

**ANALISIS KELAYAKAN PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA SURYA (PLTS) *HYBRID* DI LABORATORIUM TERPADU  
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RUTH RIZHKA ASIMA  
1855031013**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### ANALISIS KELAYAKAN PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *HYBRID* DI LABORATORIUM TERPADU TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG

Oleh

RUTH RIZHKA ASIMA

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat menyebabkan sumber energi fosil untuk pembangkit listrik saat ini menjadi semakin menipis. Untuk keberlangsungan ketersediaan energi listrik dibutuhkan sumber energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan, salah satunya energi surya. PLTS sistem *On-Grid* lebih ekonomis karena tidak menggunakan baterai dan kelebihan energi yang dihasilkan dapat diekspor ke *grid* untuk mengurangi biaya tagihan listrik. Namun saat ini peraturan tersebut sudah tidak diberlakukan lagi dengan adanya Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2024 Pasal 13, yaitu kelebihan energi yang diekspor ke *grid* tidak dapat digunakan untuk mengurangi biaya tagihan listrik. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan merancang sistem PLTS *Hybrid* yang dilengkapi dengan baterai untuk menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan. Perancangan dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* PVSyst 7.4 dan menggunakan metode analisis kelayakan teknis dan ekonomis. Hasil simulasi perancangan PLTS *Hybrid* dengan berdasarkan luas atap Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung menghasilkan energi sebesar 53.261 kWh per tahun dengan *performance ratio* 83,018% dan *solar fraction* 53,55%. Analisis ekonomi menunjukkan sistem layak diimplementasikan dengan *Net Present Value* positif Rp423.074.546, *Discounted Payback Period* (DPP) selama 8,89 tahun, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 16,008% dan *Profitability Index* (PI) sebesar 1,69. Rancangan PLTS *Hybrid* ini layak diimplementasikan ditinjau dari aspek teknis dan ekonomis meskipun PLTS *Hybrid* membutuhkan biaya lebih besar daripada sistem *On-Grid*.

Kata kunci: PLTS *Hybrid*, PVSyst, NPV, DPP, IRR, PI.

## **ABSTRACT**

### **FEASIBILITY DESIGN ANALYSIS OF THE HYBRID SOLAR PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEM IN ELECTRICAL ENGINEERING INTEGRATED LABORATORY UNIVERSITY OF LAMPUNG**

**By**

**RUTH RIZHKA ASIMA**

*As electrical energy demand increases, the fossil energy sources for power plants is becoming less available. To maintain the availability of electrical energy, it is necessary to utilize alternative renewable energy that is environmentally friendly, one of which is solar energy. On-Grid Solar PV is more cost-effective because it does not require batteries and the excess energy produced can be exported to the grid to reduce electricity bills. However, this regulation is no longer enforced due to the existence of the Minister of Energy and Mineral Resources Regulation No. 2 of 2024 Clause 13, states that the excess energy that is exported to the grid cannot be used to lower the cost of electricity bills. Therefore, this research aims to design a Hybrid Solar PV system that uses batteries to store the excess energy produced. The design was performed by simulation using PVSyst 7.4 software and using technical and economic feasibility analysis methods. The simulation results of Hybrid Solar PV design based on laboratory roof area produce 53,261 kWh of energy annually with a performance ratio of 83.018% and a solar fraction of 53.55%. According to economic analysis, it indicates that the system is feasible to implement with a positive NPV of Rp423.074.546, DPP of 8.89 years, IRR of 16.008% and PI of 1.69. This Hybrid Solar PV design is feasible to implement from a technical and economic aspects, even though it requires higher costs than On-Grid Solar PV.*

*Key words: Hybrid Solar PV System, PVSyst, NPV, DPP, IRR, PI.*

**ANALISIS KELAYAKAN PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA SURYA (PLTS) *HYBRID* DI LABORATORIUM TERPADU  
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG**

**Oleh**

**RUTH RIZHKA ASIMA**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

Judul Skripsi : **ANALISIS KELAYAKAN PERANCANGAN  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA  
(PLTS) HYBRID DI LABORATORIUM  
TERPADU TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Ruth Rizhka Asima**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1855031013**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



**Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.**  
NIP 19710813 199903 1 003

**Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.**  
NIP 19720923 200012 1 002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan  
Teknik Elektro

**Herlinawati, S.T., M.T.**  
NIP 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi  
Teknik Elektro

**Sumadi, S.T., M.T.**  
NIP 19731104 200003 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

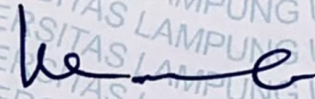
**Ketua : Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



**Sekretaris : Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.**



**Penguji : Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP 19750928 200112 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Desember 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi saya yang berjudul “ANALISIS KELAYAKAN PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *HYBRID* DI LABORATORIUM TERPADU TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya nyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung 22 Januari 2025



**Ruth Rizhka Asima**  
NPM 1855031013

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Lampung pada 28 April 2000. Penulis merupakan anak semata wayang dari pasangan Bapak Sanering Hutabarat (†) dan Ibu Nike Sitorus. Penulis bertempat tinggal di Jl. Kayu Mas Timur 007/003 No. 59 Kelurahan Pulo Gadung, Kecamatan Pulo Gadung, Kota Jakarta Timur. Penulis mengawali pendidikan di TK Permata Cinderella (2004—2006), SD Negeri 07 Pulo Gadung (2006—2012), SMP Negeri 74 Jakarta (2012—2015), dan SMA Negeri 31 Jakarta (2015—2018). Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPTN—Barat).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) dengan menjadi bagian Anggota Divisi Sosial pada periode 2019 dan Anggota Divisi Kerohanian pada periode 2020. Penulis juga aktif mengambil peran dalam kepanitiaan yang diselenggarakan Forum Komunikasi Mahasiswa Kristiani Fakultas Teknik (FKMK-FT) sebagai Anggota Sie. Publikasi dan Dokumentasi (PDD) pada acara Paskah 2019, Sekretaris Umum pada acara Kamp Penyambutan Mahasiswa Baru (KPMB) 2019, dan Koordinator Sie. Publikasi dan Dokumentasi (PDD) pada acara Natal 2019. Selain itu, penulis berkesempatan menjadi Asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi (TTT) pada tahun 2021 hingga 2022.

Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. PLN (Persero) UPK Tarahan (PLTU Tarahan), Lampung Selatan pada tahun 2021 dengan judul laporan “Analisis Hasil Pengujian Keserempakan dan Tahanan Kontak Pemutus Tenaga Jenis Vakum Pada Motor AC Di Unit 3 PT. PLN (Persero) UPK Tarahan”.



Pada tahun 2024 penulis melaksanakan penelitian dengan judul “Analisis Kelayakan Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid* di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung” di bawah bimbingan Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. Pada tanggal 20 Desember 2024 penulis melaksanakan ujian skripsi sebagai syarat untuk menyelesaikan masa studinya. Ujian tersebut dilaksanakan penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Demikian riwayat hidup penulis yang dapat dibuat per Januari 2025.

# MOTTO

“Percayalah kepada Tuhan dengan segenap hatimu, dan janganlah bersandar kepada pengertianmu sendiri. Akuilah Dia dalam segala lakumu, maka Ia akan meluruskan jalanmu.”

**(Amsal 3:5-6)**

“Janganlah takut, sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang, sebab Aku ini Allahmu; Aku akan meneguhkan, bahkan akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang membawa kemenangan.”

**(Yesaya 41:10)**

“Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman Tuhan, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.”

**(Yeremia 29:11)**

“Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apa pun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan Syukur.”

**(Filipi 4:6)**

“Dan apa saja yang kamu minta dalam doa dengan penuh kepercayaan, kamu akan menerimanya.”

**(Matius 22:21)**

“Apabila engkau memutuskan berbuat sesuatu, maka akan tercapai maksudmu, dan xiahaya terang menyinari jalan-jalanmu.”

**(Ayub 22:28)**

“Allah itu bagi kita tempat perlindungan dan kekuatan, sebagai penolong dalam kesesakan sangat terbukti.”

**(Mazmur 46:2)**

# PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan karya ini untuk:*

**Tuhan Yesus Kristus,**

yang senantiasa memberkati, menyertai, dan menolong anak-Nya.

**Bapak Sanering Hutabarat (†) dan Ibu Nike Sitorus,**

yang merawat, membesarkan, dan selalu mendoakan kehidupan anaknya.

**Keluarga Besar Hutabarat dan Sitorus,**

yang telah memberikan dukungan dan semangat.

**Carlos Purba,**

yang tidak pernah bosan memberikan semangat, perhatian, dan membantu serta mengapresiasi selama lima tahun terakhir.

## SANWACANA

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, karunia, dan penyertaan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik. Skripsi dengan judul “Analisis Kelayakan Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid* di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung” dibuat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Selama masa pengerjaan skripsi ini, penulis tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak melalui bimbingan, dukungan, doa, motivasi, serta bantuan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa memberkati, menyertai, menolong serta menemani penulis selama hidupnya.
2. Bapak Sanering Hutabarat (†) dan Ibu Nike Sitorus selaku orang tua penulis yang telah merawat, membesarkan, dan selalu mendoakan untuk kebaikan hidup penulis. Terima kasih telah berjuang dan bekerja keras untuk memfasilitasi berbagai macam aspek kebutuhan hidup penulis demi mengusahakan kehidupan yang lebih baik untuk penulis.
3. Ruth Rizhka Asima yang sudah memilih bertahan dan berjuang menyelesaikan skripsi demi meneruskan kehidupan yang lebih baik. Terima kasih sudah memilih percaya kepada Tuhan Yesus, diri sendiri, serta harapan dari orang-orang tersayang. Terima kasih karena tidak pernah berhenti berharap untuk hal-hal baik.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

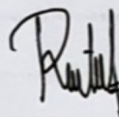
6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dalam menjalani masa pengerjaan skripsi.
9. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku pembimbing utama yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing serta memberi arahan dan semangat kepada penulis. Terima kasih untuk setiap ilmu, saran, nasihat serta kritik yang membangun selama proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung.
10. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku pembimbing pendamping yang selalu memberikan semangat, arahan, nasihat, saran dan kritik yang membangun khususnya dalam hal penulisan laporan akhir selama proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa di Teknik Elektro Universitas Lampung.
11. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng selaku penguji utama dalam proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas saran, kritik, ilmu dan nasihat yang membangun proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa di Teknik Elektro Universitas Lampung.
12. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, pengajaran, serta bimbingan selama penulis menjalani perkuliahan di Teknik Elektro Universitas Lampung.
13. Seluruh staff Jurusan Teknik Elektro serta Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi.
14. Carlos Purba yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan yang dibutuhkan penulis. Terima kasih atas apresiasi dan perhatian yang diberikan untuk setiap pencapaian penulis selama proses mengerjakan skripsi.
15. Keluarga Besar Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Pak Sugiarto, rekan-rekan Lab. TTT dan STL, serta beberapa dari Teknik Elektro 2020 dan 2021 yang telah memberikan semangat, bantuan, serta berpartisipasi demi kelancaran pengambilan data dan seminar yang dilakukan penulis.

16. Teman-teman Teknik Elektro 2018 yang telah memberikan semangat, bantuan, serta saling berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan tugas akhir.
17. Semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan pengerjaan skripsi dan tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sebagai penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 22 Januari 2025

Penulis



Ruth Rizhka Asima

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Manfaat Penelitian .....	2
1.4 Rumusan Masalah.....	2
1.5 Batasan Penelitian .....	3
1.6 Hipotesis .....	3
1.7 Sistematika Penulisan .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terkait .....	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) .....	7
2.2.1 PLTS <i>On-Grid</i> .....	8
2.2.2 PLTS <i>Off-Grid</i> .....	9
2.2.3 PLTS <i>Hybrid</i> .....	10
2.3 Komponen PLTS .....	11
2.3.1 Modul Surya .....	11
2.3.2 Inverter .....	14
2.3.3 Baterai.....	15
2.4 <i>Software</i> PVSyst 7.4 .....	18

<b>III. Metodologi Penelitian .....</b>	<b>19</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Tahapan Penelitian .....	19
3.4 Diagram Alir .....	21
3.5 Perhitungan Aspek Teknis.....	22
3.5.1 Rata-Rata Waktu Penyinaran Matahari .....	22
3.5.2 Konfigurasi Panel Surya.....	22
3.5.3 Jumlah Modul Surya.....	23
3.5.4 Daya yang Dibangkitkan .....	23
3.5.5 PV Area.....	23
3.5.6 Energi yang Dihasilkan .....	23
3.5.7 Kapasitas Inverter .....	24
3.5.8 Baterai.....	24
3.6 Analisis Ekonomi.....	24
3.6.1 Menghitung Biaya Investasi Awal.....	24
3.6.2 Menghitung Biaya Operasional dan Pemeliharaan .....	25
3.6.3 Menghitung <i>Net Present Value</i> (NPV) .....	25
3.6.4 Menghitung <i>Discounted Payback Period</i> (DPP).....	26
3.6.5 Menghitung <i>Internal Rate of Return</i> (IRR) .....	26
3.6.6 Menghitung <i>Profitability Index</i> (PI) .....	26
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1 Lokasi Penelitian.....	27
4.2 Kebutuhan Energi di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung .....	28
4.3 Data Radiasi Matahari dan Temperatur .....	29
4.3.1 Rata-rata Waktu Penyinaran Matahari.....	29
4.3.2 Daya Keluaran Panel Saat Temperatur Meningkat.....	30
4.4 Komponen.....	31
4.5 Analisis Aspek Teknis .....	34
4.5.1 Konfigurasi Panel Surya.....	34
4.5.2 Menghitung Jumlah Panel Surya.....	35



4.5.3 Menghitung Daya yang Dibangkitkan.....	36
4.5.4 Menghitung PV Area .....	36
4.5.5 Menentukan Kapasitas Inverter .....	37
4.5.6 Pemodelan Simulasi .....	37
4.6 Analisis Aspek Ekonomi.....	46
4.6.1 Menghitung Biaya Investasi Awal .....	46
4.6.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan.....	48
4.6.3 <i>Net Present Value</i> (NPV).....	48
4.6.4 <i>Discounted Payback Period</i> (DPP) .....	50
4.6.5 <i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	52
4.6.6 <i>Profitability Index</i> (PI).....	53
<b>V. PENUTUP.....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>60</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	7
Gambar 2 Sistem PLTS <i>On-Grid</i> .....	9
Gambar 3 Sistem PLTS <i>Off-Grid</i> .....	10
Gambar 4 Sistem PLTS <i>Hybrid</i> .....	11
Gambar 5 Modul Surya <i>Monocrystalline</i> .....	12
Gambar 6 Modul Surya <i>Polycrystalline</i> .....	13
Gambar 7 Modul Surya <i>Thin Film</i> .....	13
Gambar 8 Inverter .....	14
Gambar 9 Baterai .....	15
Gambar 10 Prinsip Kerja Baterai .....	16
Gambar 11. Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 12. Atap Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung .....	27
Gambar 13. Skema Panel Surya dengan 68 Modul.....	35
Gambar 14. Orientasi Panel .....	38
Gambar 15. Parameter PLTS.....	39
Gambar 16. Pemakaian Energi Harian.....	40
Gambar 17. Energi yang Dihasilkan PLTS untuk Pemakaian Sendiri ( $E_{Solar}$ ) .	45
Gambar 18. Energi yang Dihasilkan Selama 25 Tahun.....	45
Gambar 19. Grafik <i>Discounted Payback Period</i> .....	51

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kebutuhan Energi Selama 24 Jam.....	28
Tabel 2. Data Radiasi Matahari dan Temperatur.....	29
Tabel 3. Data Spesifikasi Modul Surya.....	31
Tabel 4. Data Spesifikasi Inverter .....	32
Tabel 5. Data Spesifikasi Baterai .....	33
Tabel 6. Potensi Energi PLTS Tanpa Menggunakan Baterai.....	41
Tabel 7. Potensi Energi PLTS <i>Hybrid</i> .....	43
Tabel 8. Biaya Investasi Awal .....	47
Tabel 9. <i>Net Present Value</i> .....	49
Tabel 10. <i>Discounted Payback Period</i> .....	50
Tabel 11. NPV Positif dan NPV Negatif.....	52

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Setiap tahun kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah populasi manusia. Khususnya di Indonesia pertambahan jumlah penduduk membuat konsumsi listrik semakin meningkat. Meningkatnya kebutuhan energi listrik membuat bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama pembangkit listrik menjadi semakin menipis, selain itu juga memiliki sifat yang tidak ramah lingkungan karena dapat menyebabkan pencemaran lingkungan seperti efek gas rumah kaca. Mengatasi hal tersebut perlu adanya energi alternatif lain yang sifatnya ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Energi baru terbarukan (EBT) yang tersedia di alam seperti angin, air, dan matahari dapat menjadi solusi alternatif untuk sumber energi utama pembangkit listrik karena sifatnya yang selalu tersedia (tidak akan habis) dan ramah lingkungan.

Indonesia merupakan negara yang terletak di khatulistiwa dan memiliki iklim tropis sehingga memiliki intensitas penyinaran matahari yang tinggi. Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan sebesar 400.000 MW dan 50% diantaranya atau sekitar 200.000 MW adalah potensi energi surya. Namun pemanfaatan energi surya sendiri saat ini baru sekitar 150 MW atau 0,08% dari potensinya. Pemerintah melalui Kementerian ESDM menargetkan terpasangnya PLTS Atap sebesar 3.600 MW secara bertahap hingga tahun 2025 [1]. Melihat besarnya potensi energi surya di Indonesia dan juga dukungan regulasi dari pemerintah, maka PLTS atap dapat menjadi solusi yang tepat untuk diaplikasikan.

PLTS *On-Grid* dinilai lebih ekonomis dari segi biaya karena tidak menggunakan baterai serta kelebihan energi yang tidak terpakai dapat di ekspor ke jaringan listrik (*grid*) untuk mengurangi biaya tagihan, namun saat ini revisi Peraturan Menteri

ESDM No. 2 Tahun 2024 Pasal 13 mengatakan bahwa kelebihan energi yang di ekspor pengguna PLTS ke PLN tidak diperhitungkan dalam pengurangan biaya tagihan listrik [2]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perancangan PLTS *Hybrid* pada Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dari sisi teknis dan ekonomi. Harapannya desain PLTS *Hybrid* ini dapat menjadi solusi atas peraturan yang berlaku saat ini.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem PLTS *Hybrid* pada Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.
2. Menganalisis kelayakan perancangan PLTS *Hybrid* di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dari aspek teknis dan ekonomi.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi pertimbangan dalam perencanaan dan proses instalasi PLTS *Hybrid* di Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.
2. Mendukung penggunaan *green energy* di lingkungan Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Sebagai referensi untuk pengembangan penelitian yang berkaitan dengan PLTS.

## 1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur kebutuhan beban pada Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

2. Mengetahui potensi energi yang dapat dihasilkan oleh penggunaan PLTS di Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Menganalisis kelayakan investasi terhadap parameter *Discounted Payback Period* (DPP) *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Profitability Index* (PI).

## 1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data intensitas cahaya matahari didapat dari *database* meteonorm.
2. Desain PLTS yang dirancang hanya menyesuaikan luas area atap bangunan.
3. Data beban diukur pada kondisi hari kerja dengan mengasumsikan beban konstan setiap harinya selama 1 tahun.

## 1.6 Hipotesis

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rancangan PLTS *Hybrid* yang layak secara aspek teknis dan ekonomi.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### BAB I. PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Memuat teori yang mendukung dan berkaitan dengan topik penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal, dan penelitian ilmiah yang digunakan untuk penulisan laporan tugas akhir ini.

## BAB III. METODE PENELITIAN

Memaparkan latar waktu dan tempat, alat dan bahan, serta tahapan penelitian dalam pembuatan tugas akhir.

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan sistem PLTS dengan menentukan aspek teknis pada komponen yang akan digunakan, mensimulasikan sistem PLTS, serta menganalisis kelayakan dari aspek teknis dan ekonomi sebagai pembahasan pada penelitian ini.

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari data dan pembahasan yang telah dianalisis serta saran untuk pengembangan penelitian berikutnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait yang menjadi sumber referensi untuk penelitian ini diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Naftali Al Hilaliya mengenai “Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On Grid* Pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Unila” [3]. Pada penelitian tersebut sistem PLTS *On-Grid* pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Unila dirancang berdasarkan kebutuhan energi pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro unila dan berdasarkan lahan yang tersedia. Dari dua skenario tersebut, hasil perancangan PLTS *On-Grid* pada Gedung Laboratorium Teknik Unila dinilai layak untuk diimplementasikan ditinjau dari aspek teknis maupun aspek ekonomi menggunakan metode *Net Present Value* (NPV) dan *Discounted Payback Period* (DPP). *Performance ratio* dari masing-masing skenario sebesar 83,59% dan 83,53%. Nilai NPV yang diperoleh adalah positif dan jangka waktu pengembalian investasi masing-masing selama 7,78 tahun dan 7,8 tahun.

Selanjutnya penelitian dengan judul “Analisis Ekonomi Teknik Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Hybrid* Pada Atap Kandang Ayam *Closed House* di Tualang Kabupaten Serdang Bedagai” yang dilakukan oleh Ardilla Dwi Budiarta, Susatyo Handoko dan Ajud Ajulian Zahra [4]. Penelitian ini membahas perencanaan sistem PLTS *Hybrid* dari segi ekonomi dengan menggunakan *software* HOMER untuk memenuhi kekurangan energi dari PLN dan sebagai upaya penghematan biaya listrik PLN. Metode yang digunakan untuk menganalisis kelayakan dari segi aspek ekonomi yaitu *Net Present Value* (NPV) dan *Discounted Payback Period* (DPP). Hasilnya dengan nilai NPV sebesar -Rp39.680.602,31 (<0) dan DPP selama 24,06 tahun, sistem PLTS *Hybrid* tersebut tidak layak



diimplementasikan. Hal ini dikarenakan biaya penggantian komponen yaitu baterai dan inverter selama masa proyek yang sangat mahal.

Penelitian mengenai “*Grid-Connected Self-Consumption Photovoltaic Solar Energy Production Design and Simulation Evaluation in Type II Climate Areas of Southeastern Philippines*” dilakukan oleh Anastacio G. Pantaleon [5]. Penelitian ini merancang pembangkit listrik tenaga surya yang terkoneksi dengan *grid* dan menggunakan baterai sebagai cadangan penyimpanan energi. Simulasi dilakukan menggunakan *software* PVSyst 7.2 dengan sudut kemiringan  $10^\circ$  dan  $0^\circ$  terhadap azimuth, modul surya *monocrystalline* kapasitas 360 Wp, 2 unit inverter kapasitas 3,6 kVA, dan 6 unit baterai *lithium ion* dengan jenis *Lithium Cobalt Oxide* (LCO) dengan tegangan 48,1 V dan arus 54 Ah. *Performance ratio* pada simulasi adalah 81,1% dan pada analisis ekonomi menghasilkan laba sebesar 54,8% serta jangka waktu pengembalian investasi selama 10,5 tahun.

“*Feasibility Analysis and Simulation of The Solar Photovoltaic Rooftop System Using PVSyst Software*” merupakan penelitian yang dilakukan oleh Md. Samiul Islam, Faridul Islam, dan Md. Ahsan Habib yang membahas tentang analisis kelayakan pada simulasi PLTS menggunakan *software* PVSyst [6]. Komponen yang digunakan pada penelitian ini adalah modul surya *monocrystalline* kapasitas 250 Wp, inverter kapasitas 3 kW, dan baterai *lithium ion* dengan tegangan 13 V dan arus 100 Ah. *Performance ratio* yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 73%.

Penelitian selanjutnya yaitu “*Energy Storage Integration with Solar PV for Increased Electricity Access: A Case Study of Burkina Faso*” oleh Hamza Abid, Jagruti Thakur, Dilip Khatiwada, dan David Bauner [7]. Penelitian ini membahas analisis kelayakan tekno-ekonomi pada PLTS dengan dua opsi penyimpanan yaitu baterai *lithium ion* dan *Pumped Hydro Storage* (PHS) untuk elektrifikasi pedesaan dan perkotaan. Hasil dari penelitian ini yaitu PLTS dengan sistem penyimpanan PHS lebih layak diimplementasikan daripada PLTS dengan penyimpanan baterai *lithium ion*. PLTS yang menggunakan baterai (*litium ion*) memerlukan biaya yang sangat mahal dengan *Net Present Cost* yang mencapai lebih dari dua kali lipat

dibandingkan dengan PLTS yang menggunakan PHS sebagai penyimpanan energi. Selain itu masa pakai baterai listrik juga rendah dibandingkan dengan PHS.

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit listrik ramah lingkungan yang memanfaatkan energi terbarukan yaitu cahaya matahari sebagai sumber energi penghasil listrik [8], [9]. Melalui sistem fotovoltaik, paparan radiasi matahari diserap oleh sel surya lalu kemudian diubah menjadi energi listrik [10], [11]. Semakin tinggi tingkat intensitas radiasi matahari (iradiasi) yang mengenai sel surya, maka semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan. *Output* daya listrik yang dihasilkan PLTS adalah berupa listrik searah (DC) [12]. Listrik DC diubah menjadi listrik AC dengan menggunakan inverter sehingga energi listrik dapat dipergunakan untuk pemakaian peralatan elektronik. PLTS ditunjukkan pada gambar berikut [8].



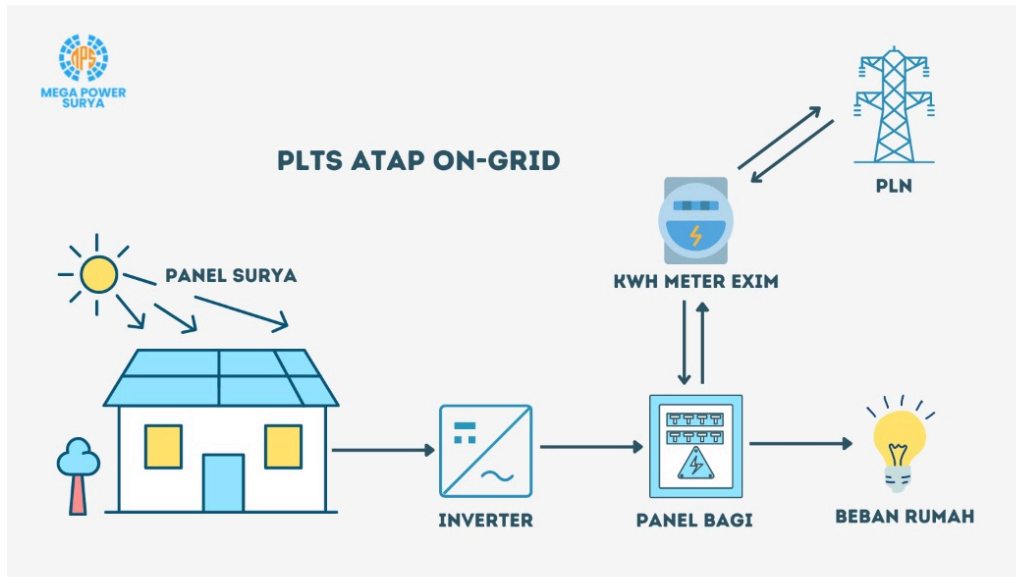
Gambar 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi listrik yang diproduksi oleh PLTS dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, temperatur, dan faktor bayangan yang mengenai modul surya. PLTS pada dasarnya adalah teknologi pembangkit listrik alternatif dan ramah lingkungan yang dapat dirancang untuk mensuplai kebutuhan listrik skala kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri, terhubung ke jaringan listrik (*grid*), maupun secara *Hybrid* dan baik dengan metode desentralisasi satu rumah satu pembangkit maupun dengan metode sentralisasi secara terpusat.

### 2.2.1 PLTS *On-Grid*

PLTS *On-Grid* merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber penghasil energi listrik tetapi juga terhubung dengan jaringan listrik (*grid*) dalam menyuplai daya ke beban [13]. Pada siang hari panel surya akan bekerja menghasilkan energi listrik untuk disuplai ke beban dan kelebihan dari energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan disalurkan ke *grid*. Ketika malam hari saat panel surya tidak bekerja untuk menghasilkan energi listrik, maka secara otomatis energi listrik akan disuplai dari *grid* karena pada sistem *On-Grid* ini PLTS terhubung ke jaringan listrik (*grid*).

PLTS *On-Grid* dapat diaplikasikan pada bangunan-bangunan yang berada dalam jangkauan jaringan listrik (*grid*). Sistem PLTS *On-Grid* memiliki kelebihan dari segi biaya instalasi yang relatif lebih ekonomis dibandingkan sistem PLTS *Off-Grid* dan *Hybrid* karena pada sistem PLTS *On-Grid* tidak menggunakan baterai sebagai penyimpan cadangan energi, sehingga tipe PLTS ini merupakan tipe yang paling banyak digunakan [14]. Hal ini juga sekaligus menjadi kekurangan PLTS *On-Grid* karena tidak menggunakan baterai sehingga tidak memiliki cadangan energi listrik untuk disuplai ke beban ketika malam hari saat panel surya tidak bekerja dan terjadi pemadaman listrik [15], [16]. Berikut adalah gambar PLTS *On-Grid* [17].



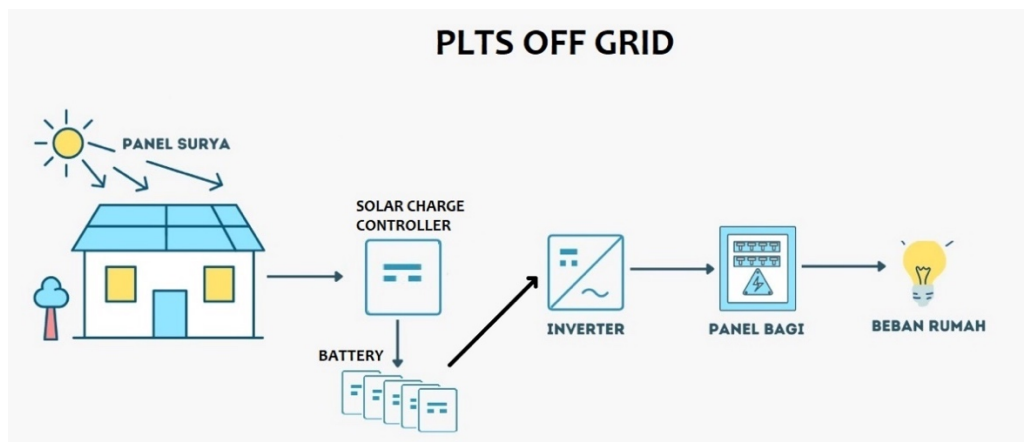
Gambar 2 Sistem PLTS *On-Grid*

### 2.2.2 PLTS *Off-Grid*

PLTS *Off-Grid* adalah sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi matahari sebagai satu satunya sumber penghasil energi listrik. Tipe PLTS ini dikatakan *Off-Grid* karena tidak terhubung dengan jaringan listrik (*grid*) [18]. PLTS *Off-Grid* menggunakan baterai sebagai penyimpanan cadangan listrik. Ketika siang hari panel surya akan memproduksi energi listrik untuk disuplai ke beban. Kelebihan energi listrik yang dihasilkan panel surya selama bekerja pada siang hari akan disalurkan ke baterai. Kemudian cadangan energi listrik yang tersimpan di dalam baterai akan digunakan pada malam hari disaat panel surya tidak menghasilkan energi listrik [19].

Sistem PLTS *Off-Grid* memiliki kelebihan yaitu ketika panel surya tidak menghasilkan energi listrik pada malam hari, baterai dapat digunakan untuk menyuplai beban, namun karena pada sistem *Off-Grid* ini menggunakan baterai maka ada penambahan untuk biaya instalasi yang menjadikan biayanya relatif lebih mahal dibandingkan tipe *On-Grid*. Sistem PLTS *Off-Grid* dapat menjadi solusi

untuk memenuhi kebutuhan listrik secara mandiri pada daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik (*grid*). Berikut adalah gambar PLTS *Off-Grid* [20].

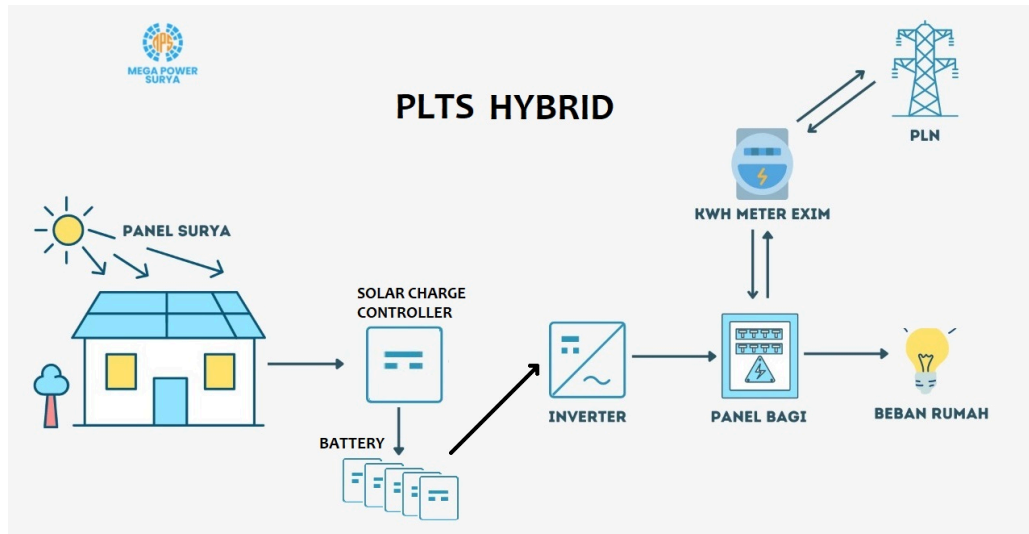


Gambar 3 Sistem PLTS *Off-Grid*

### 2.2.3 PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* adalah gabungan antara sistem PLTS *On-Grid* dan *Off-Grid*, dimana PLTS ini tidak hanya menggunakan energi matahari sebagai sumber penghasil energi listrik tetapi juga terhubung ke jaringan listrik (*grid*) dan menggunakan baterai sebagai penyimpanan cadangan energi listrik [18]. Sistem PLTS *Hybrid* ini bertujuan untuk mengoptimalkan suplai energi.

Ketika siang hari panel surya akan memproduksi energi listrik untuk disuplai ke beban, apabila energi listrik yang dihasilkan panel surya telah memenuhi kebutuhan beban maka energi listrik akan mengisi baterai hingga penuh [21]. Pada waktu panel surya sedang tidak bekerja, maka secara otomatis cadangan energi listrik yang tersimpan pada baterai akan digunakan untuk menyuplai beban, apabila baterai telah habis dan tidak cukup untuk menyuplai beban, maka inverter secara otomatis akan mengalihkan penggunaan listrik melalui jaringan listrik (*grid*) [22], [23]. Berikut adalah gambar PLTS *Hybrid* [24].



Gambar 4 Sistem PLTS *Hybrid*

## 2.3 Komponen PLTS

### 2.3.1 Modul Surya

Modul surya adalah komponen utama dari PLTS yang tersusun atas beberapa sel surya. Rangkaian seri paralel pada modul surya dapat mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan, dimana untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar modul surya disusun secara seri dan untuk mendapatkan arus yang lebih besar maka modul disusun secara paralel. Modul surya terbuat dari bahan semikonduktor umumnya jenis silikon [23]. Fungsi dari modul surya ini adalah menghasilkan energi listrik melalui konversi radiasi sinar matahari yang mengenai sel surya. Prinsip kerjanya yaitu ketika cahaya matahari mengenai sel surya, maka sel surya tersebut akan menyerap radiasi matahari dan menghasilkan energi listrik DC pada terminal keluaran akibat perpindahan elektron-elektron pada sel surya yang bergerak dari N ke P. Berdasarkan material pembuatnya, modul surya dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

### 1. *Monocrystalline*

Modul surya *monocrystalline* terbuat dari batang kristal silikon murni tunggal yang diiris dengan ketebalan 200-250  $\mu\text{m}$  [25]. Warna modul surya ini cenderung hitam gelap. *Monocrystalline* memiliki efisiensi yang paling tinggi yaitu sekitar 16%-25% dan mampu menghasilkan daya listrik persatuan luas yang tinggi karena menggunakan silikon murni. Umur pemakaian modul surya *monocrystalline* hingga 25 tahun, paling lama dibandingkan jenis lain. Jenis modul surya ini juga cocok digunakan pada temperatur tinggi ketika panas terik. Kelemahannya yaitu harganya yang mahal dibandingkan jenis lain karena proses produksinya yang sangat panjang dan memerlukan biaya yang mahal [26]. Berikut gambar modul surya *monocrystalline* [27].



Gambar 5 Modul Surya *Monocrystalline*

### 2. *Polycrystalline*

Modul surya *polycrystalline* terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur, dicetak persegi, didinginkan, dan diiris dengan ketebalan 180–300  $\mu\text{m}$  [25]. Warna modul surya ini lebih biru mencolok. Kristal silikon *polycrystalline* tidak semurni jenis *monocrystalline*. Efisiensinya juga tidak sebesar *monocrystalline* yaitu hanya 14%-16%[26]. *Polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar untuk menghasilkan daya listrik yang sama dengan jenis *monocrystalline*. Keunggulan dari *polycrystalline* yaitu lebih ekonomis (proses produksi yang lebih sederhana dibandingkan jenis *monocrystalline*) dan berfungsi dengan baik dalam menghasilkan listrik pada saat kurangnya cahaya

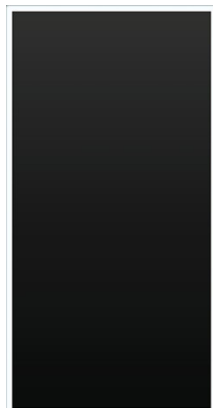
matahari (mendung atau berawan) [25]. Berikut gambar modul surya *polycrystalline* [27].



Gambar 6 Modul Surya *Polycrystalline*

### 3. *Thin Film*

*Thin film* merupakan jenis modul surya yang memiliki struktur lapisan yang lebih tipis dan fleksibel dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Modul surya ini menjadi alternatif pilihan yang ekonomis, karena tidak menggunakan kristal silikon (*amorphous silicon*) [26]. *Amorphous silicon* banyak ditemukan penggunaannya pada peralatan elektronik seperti kalkulator dan jam tangan. Efisiensi jenis *amorphous silicon* ini yaitu hanya 9%-10%. Kelemahan dari *thin film* adalah efisiensinya yang paling rendah dibandingkan dengan jenis lainnya serta umur pemakaian yang paling singkat dibanding dengan jenis lainnya. Berikut gambar modul surya *thin film* [27].



Gambar 7 Modul Surya *Thin Film*



### 2.3.2 Inverter

Inverter adalah salah satu komponen pada PLTS yang berfungsi untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi listrik AC agar dapat digunakan untuk menyuplai beban atau dialirkan ke jaringan listrik (*grid*). Prinsip kerja inverter yaitu seperti saklar atau *switch* otomatis yang saling membuka dan menutup secara bergiliran untuk mengubah tegangan DC menjadi AC [28]. Berikut gambar inverter [29].



Gambar 8 Inverter

Inverter dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracker (MPPT)* yang berguna untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh modul surya [30]. MPPT merupakan salah satu jenis *solar charge controller*. SCC berfungsi untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Alat ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai untuk mencegah terjadinya *over discharge* dan *over charge*. Ketika baterai sudah terisi penuh maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti untuk melindungi baterai dari kelebihan pengisian muatan, begitupun sebaliknya ketika baterai sudah mencapai batas pelepasan muatan, SCC akan secara otomatis memberhentikan proses pelepasan muatan dari baterai ke beban agar tidak terjadi *over discharge*. Kelebihan pengisian muatan ke baterai dan pelepasan muatan dari baterai akan mengurangi umur pakai baterai.

### 2.3.3 Baterai

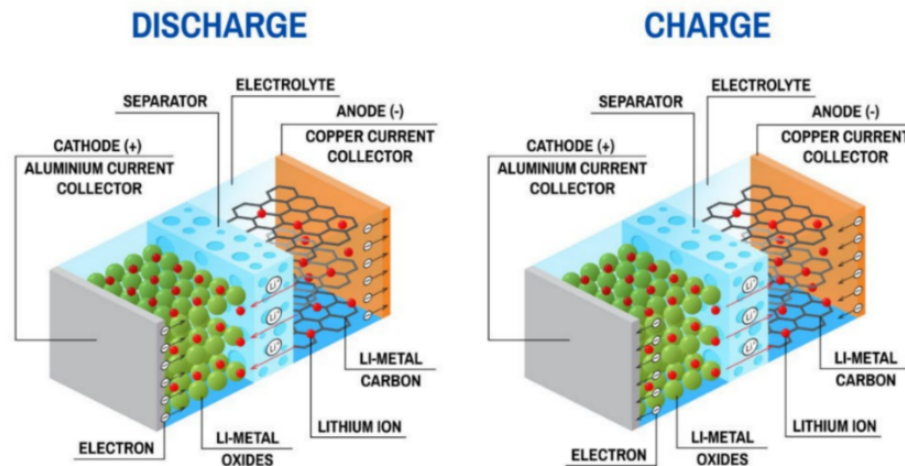
Komponen inti selain modul surya dan inverter yang digunakan pada PLTS *Hybrid* yaitu baterai. Baterai mengalami proses elektrokimia untuk menghasilkan energi listrik [31]. Baterai berguna untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk listrik DC. Ketika kebutuhan beban telah disuplai oleh energi listrik yang dihasilkan panel surya, maka secara otomatis energi listrik tersebut akan mengisi baterai hingga penuh dan dapat digunakan sebagai sumber cadangan energi listrik. Baterai akan digunakan saat panel surya tidak bekerja yaitu pada malam hari dan ketika panel surya tidak dapat bekerja maksimal saat mendung atau hujan ataupun pada saat jaringan listrik (*grid*) sedang mengalami gangguan. Berikut gambar baterai [32].



Gambar 9 Baterai

Satu paket baterai terdiri dari beberapa sel baterai. Satu sel baterai tersusun atas elektroda negatif (anoda) yang tersusun dari bahan non-logam, elektroda positif (katoda) yang tersusun dari bahan logam, elektrolit, dan separator. Prinsip kerja baterai melalui dua proses yaitu pada saat pelepasan muatan (*discharging*) dan pengisian (*charging*). Pelepasan muatan (*discharging*) baterai terjadi pada saat baterai terhubung pada beban. Pada kondisi tersebut elektron akan bergerak dari elektroda negatif (anoda) melewati beban menuju elektroda positif (katoda). Ketika atom di anoda kehilangan elektron maka akan menghasilkan ion positif. Ion positif tersebut akan bergerak menuju katoda melalui elektrolit. Pengisian baterai (*charging*) terjadi saat baterai terhubung dengan suplai daya dari PLTS. Pada kondisi tersebut elektron akan bergerak dari elektroda positif (katoda) melewati

sumber menuju ke elektroda negatif (anoda) dan ion positif pada katoda akan bergerak melalui elektrolit menuju anoda. Berikut adalah gambar dari proses *charging* dan *discharging* baterai [33].



Gambar 10 Prinsip Kerja Baterai

Pengisian (*charging*) dan pelepasan muatan (*discharging*) baterai terjadi pada setiap sel baterai. Pada proses *charging*, antara satu sel dengan sel yang lain memiliki kemungkinan waktu pengisian yang berbeda, begitupun pada saat proses *discharging*, waktu pelepasan muatan antara sel satu dengan yang lainnya berbeda. Dalam sebuah baterai, jika terdapat sel yang telah terisi penuh namun proses pengisian terus dilanjutkan maka akan terjadi *over charging* yang akan menyebabkan temperatur sel tersebut meningkat dan dapat merusak baterai, begitupun jika salah satu sel baterai telah digunakan hingga habis dan aliran muatan tidak diputus maka akan terjadi *over discharging* yang dapat mempengaruhi kondisi kesehatan baterai.

BMS (*Battery Management System*) dapat melakukan *cell balancing* yang bertujuan untuk menyeimbangkan tegangan baterai pada saat pengisian dan pelepasan sehingga tidak terjadi *over charging* dan *over discharging* pada sel baterai. BMS juga berfungsi untuk mencegah terjadinya kerusakan baterai yang disebabkan oleh temperatur tinggi (*over heat*) dan kelebihan arus (*over current*).

Jadi BMS berguna untuk memantau dan mengatur kinerja sel baterai pada saat proses pengisian dan pengurasan pada setiap sel baterai agar tidak terjadi *over voltage*, *over heat*, dan *over current* [34], [35]. Tujuannya untuk menjaga kondisi keamanan baterai sehingga dapat berfungsi secara efektif, efisien, dan tahan lama [36].

Baterai memiliki *Depth of Discharge* (DoD) yang merupakan persentase batas pengosongan baterai, oleh karena itu baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimum karena akan mempengaruhi usia pakai dari baterai tersebut [37]. Contohnya ketika suatu baterai memiliki DoD 80%, maka hanya 80% dari energi yang tersedia dapat digunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan [38]. Baterai juga memiliki siklus (*cycle*), dimana siklus (*cycle*) merupakan proses pengisian dan pengurasan baterai. Satu siklus baterai artinya baterai telah melewati satu kali proses pengisian dan satu kali proses pengurasan, sementara siklus hidup (*cycle life*) baterai yaitu jumlah dari siklus (*cycle*) pengisian dan pengurasan baterai. Siklus hidup (*cycle life*) baterai dipengaruhi oleh temperatur, kelembapan, dan *Depth of Discharge* (DoD) dari baterai. Semakin tinggi DoD maka siklus hidup semakin rendah. Beberapa jenis baterai yang digunakan untuk sistem PLTS adalah sebagai berikut:

1. Baterai *Lead Acid*

Baterai ini memiliki dua jenis yaitu *Flooded Lead Acid* (aki basah) dan *Sealed Lead Acid* (aki kering). Jenis baterai dari *Sealed Lead Acid* adalah *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) yang dibedakan menjadi VRLA AGM (*Valve Regulated Lead Acid Absorbent Glass Mat*) dan VRLA Gel. Baterai *lead acid* memiliki keunggulan yaitu ekonomis sehingga dapat menghemat biaya dan mudah didaur ulang. Kekurangannya adalah memerlukan ventilasi dan perawatan rutin, memiliki DoD rendah sehingga perlu di isi lebih sering, serta memiliki kedalaman debit yang rendah sehingga umur pemakaiannya pendek sekita 5 sampai dengan 10 tahun saja [39][40].

## 2. Baterai *Lithium*

- a. Baterai *lithium ion* biasa digunakan pada kendaraan listrik. Keunggulan baterai ini memiliki densitas kepadatan energi yang tinggi sehingga dapat menyimpan lebih banyak energi di ruang yang lebih kecil dibanding dengan *lead acid*, selain itu hampir tidak memerlukan perawatan rutin, memiliki umur pakai yang panjang dengan minimal 10 tahun, memiliki kemampuan *discharge* yang tinggi sehingga dapat menggunakan lebih banyak energi yang tersimpan di baterai, memiliki kemampuan pengisian dan pengosongan yang tinggi, serta ringan. Kekurangan dari *lithium ion* yaitu harganya yang lebih mahal dibandingkan dengan *lead acid*, cenderung tidak stabil pada temperatur tinggi, dan memiliki peluang terbakar dibandingkan jenis baterai lainnya sehingga memerlukan BMS (*Battery Management System*).
  
- b. *Lithium Ferro Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>) merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Baterai ini memiliki karakteristik umur pakai yang lebih lama dibanding asam timbal, memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi yang cukup baik, dapat memberikan arus tinggi serta mempertahankannya tanpa menyebabkan kerusakan, selain itu siklus pengisian dan pengosongannya tinggi [41] [33].

### 2.4 *Software PVSyst 7.4*

PVSyst berfungsi untuk mendesain, mengukur, dan mensimulasikan sistem PLTS yang akan dirancang, sehingga kelayakan investasi pada perencanaan sistem PLTS tersebut dapat diketahui. PVSyst terbagi dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVSyst juga dilengkapi *database* dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS.

### **III. Metodologi Penelitian**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Adapun waktu dan tempat penelitian yaitu dilakukan pada bulan Juli 2024 sampai dengan selesai, bertempat di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop Lenovo
2. Perangkat lunak PVSyst 7.4
3. PQA *Analyzer*
4. Data lokasi dan luas atap objek penelitian
5. Data kebutuhan energi
6. Data iradiasi matahari dan temperatur
7. Data spesifikasi komponen PLTS *Hybrid*

#### **3.3 Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Proses mendapatkan teori-teori yang mendukung mengenai PLTS *Hybrid* dari berbagai referensi seperti jurnal, penelitian terdahulu, maupun buku.

## 2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung, Kota Bandar Lampung. Pada tahapan ini bertujuan mencari data yang diperlukan untuk perancangan PLTS.

## 3. Aspek Teknis

Pada tahapan ini, penulis melakukan perancangan sistem PLTS *Hybrid* dengan menentukan sudut kemiringan atap, spesifikasi panel surya, spesifikasi inverter, konfigurasi panel surya, menginput data beban harian, melakukan simulasi tanpa baterai kemudian kelebihan energi menjadi dasar perhitungan untuk menentukan baterai. menggunakan *software* PVSyst 7.4, setelah itu melakukan simulasi dengan baterai untuk menganalisis hasil akhir.

## 4. Analisis Ekonomi

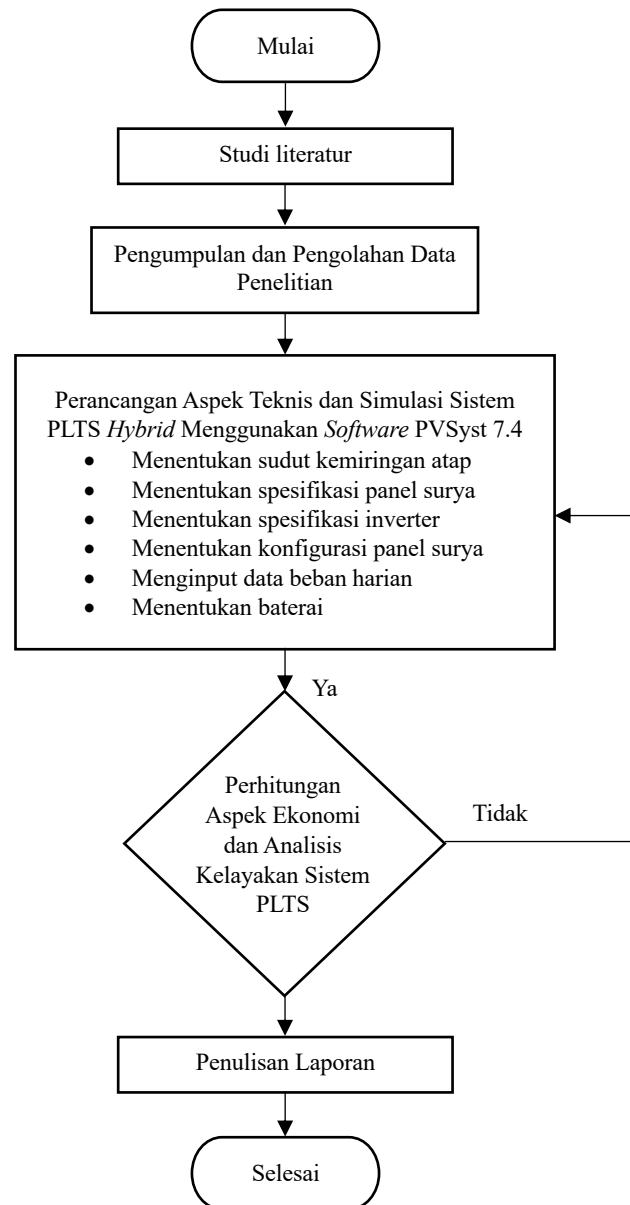
Analisis ekonomi pada penelitian ini dimulai dengan menghitung biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, *Net Present Value* (NPV), *Discounted Payback Period* (DPP), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Profitability Index* (PI) untuk menentukan apakah investasinya merugikan atau menguntungkan serta menentukan periode pengembalian investasi.

## 5. Penulisan Laporan

Pada tahap ini, hasil penelitian ditulis dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi apakah investasi perancangan PLTS sistem *Hybrid* di Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung layak diimplementasikan atau tidak. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggungjawab penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan untuk melakukan seminar akhir.

### 3.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Diagram Alir Penelitian



### 3.5 Perhitungan Aspek Teknis

#### 3.5.1 Rata-Rata Waktu Penyinaran Matahari

Menghitung rata-rata waktu penyinaran matahari dengan rumus:

$$PSH = \frac{GHI}{GSTC}$$

Dimana,

*PSH* = *Peak Sun Hour* (Jam)

*GHI* = *Global Horizontal Irradiance* (kWh/m<sup>2</sup>)

*GSTC* = *Global Horizontal Irradiance* dalam STC (1000 W/m<sup>2</sup>)

#### 3.5.2 Konfigurasi Panel Surya

Konfigurasi panel surya dapat ditentukan dengan rumus di bawah ini:

$$\text{Minimal modul seri per string} = \frac{\text{Minimal } V_{MPP} \text{ Inverter}}{V_{OC} \text{ Panel}}$$

$$\text{Maksimal modul seri per string} = \frac{\text{Maksimal } V_{MPP} \text{ Inverter}}{V_{OC} \text{ Panel}}$$

$$\text{Maksimal string paralel} = \frac{I_{Max.PV} \text{ Inverter}}{I_{SC} \text{ Modul Surya}}$$

$$\text{Jumlah String} = \frac{\text{Jumlah modul surya}}{\text{Jumlah modul surya seri per string}}$$

### 3.5.3 Jumlah Modul Surya

Berikut persamaan untuk menghitung jumlah modul surya:

$$\text{Jumlah Modul Surya} = N_{\text{Max.Modul Seri per string}} \times \text{Jumlah String}$$

### 3.5.4 Daya yang Dibangkitkan

$$P_{\text{Watt Peak}} = \text{Jumlah Modul} \times \text{Kapasitas Modul}$$

### 3.5.5 PV Area

$$PV \text{ Area} = \frac{P_{\text{Watt Peak}}}{G_{STC} \times \eta_{PV}}$$

Dimana:

$PV \text{ Area}$  = Luas area array (m<sup>2</sup>)

$G_{STC}$  = *Global Horizontal Irradiance* dalam STC (1000 W/m<sup>2</sup>)

$\eta_{pv}$  = Efisiensi panel surya (%)

### 3.5.6 Energi yang Dihasilkan

$$E_{\text{yang di hasilkan}} = PV \text{ Area} (PSH \times TCF \times \eta_{pv} \times \eta_{\text{inverter}})$$

Dimana:

$E$  = Energi (kWh)

$\eta_{pv}$  = Efisiensi panel surya (%)

$\eta_{\text{out}}$  = Efisiensi inverter (%)

$TCF$  = *Temperature Correction Factor*

### 3.5.7 Kapasitas Inverter

Dalam menentukan kapasitas inverter, perlu mempertimbangkan besar energi DC yang dihasilkan oleh panel surya dan juga berapa besar daya yang akan dihasilkan inverter. Perbandingan kapasitas input DC dan kapasitas *output* AC disebut dengan *DC/AC ratio*.

### 3.5.8 Baterai

Baterai ditentukan dengan melakukan simulasi tanpa baterai untuk melihat jumlah kelebihan energi. Jumlah baterai ditentukan dengan mempertimbangkan besar energi baterai dan nilai DoD.

## 3.6 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dipengaruhi oleh biaya total investasi yang harus dikeluarkan, biaya operasional dan pemeliharaan, *discount rate*, nilai inflasi, *Net Present Value* (NPV), *Discounted Payback Period* (DPP), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Profitability Index* (PI) untuk menentukan kelayakan investasi.

### 3.6.1 Menghitung Biaya Investasi Awal

Biaya investasi adalah biaya komponen-komponen yang akan digunakan dalam pemasangan PLTS. Harga tersebut diperoleh dari internet dengan melihat *website* yang menjual komponen yang dibutuhkan.

### 3.6.2 Menghitung Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan pada PLTS umumnya sebesar 1-2% dari total biaya investasi.

$$OP = 1\% - 2\% \times \text{Investasi awal}$$

### 3.6.3 Menghitung *Net Present Value* (NPV)

*Net Present Value* adalah metode perhitungan selisih antara nilai sekarang dari arus kas yang masuk dengan nilai sekarang dari arus kas yang keluar pada periode waktu tertentu. Setiap aliran kas yang masuk pertahun dihitung secara satu-persatu lalu kemudian dijumlahkan lalu dikurangi oleh biaya investasi untuk mendapatkan nilai NPV.

$$NPV = \text{Kumulatif PV NCF} - \text{Biaya Investasi Awal}$$

Faktor diskonto dengan tingkat diskonto ( $i$ ) sebesar 8,44% dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$DF = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

Dimana,

$DF$  = Faktor Diskonto

$i$  = Tingkat diskonto

$n$  = Periode dalam tahun

Penentuan layak atau tidaknya perancangan PLTS *Hybrid* untuk diimplementasikan melalui nilai NPV yaitu dengan syarat :

Perancangan PLTS *Hybrid* dinilai layak untuk diimplementasikan apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai positif ( $> 0$ ).

Perancangan PLTS *Hybrid* dinilai tidak layak untuk diimplementasikan apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai negatif ( $< 0$ ).

### 3.6.4 Menghitung *Discounted Payback Period* (DPP)

Analisis *Payback Period* merupakan metode yang digunakan untuk menghitung lama periode yang diperlukan untuk mengembalikan uang yang telah diinvestasikan dari aliran kas masuk (*proceeds*) tahunan yang dihasilkan oleh proyek investasi tersebut [42].

$$DPP = t + \frac{\text{Investasi Awal} - \text{Kumulatif } NCF_t}{\text{Kumulatif } NCF_{>0} - \text{Kumulatif } NCF_t} \times 1 \text{ tahun}$$

Dimana,

$t$  = Periode sebelum arus kas kumulatif bernilai positif

$\text{Kumulatif } NCF_t$  = Arus kas kumulatif pada periode  $t$

$\text{Kumulatif } NCF_{>0}$  = Arus kas kumulatif setelah bernilai negatif

### 3.6.5 Menghitung *Internal Rate of Return* (IRR)

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1)$$

### 3.6.6 Menghitung *Profitability Index* (PI)

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t (1+i)^{-t}}{\text{Investasi Awal}}$$

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis potensi energi pada perancangan PLTS *Hybrid* di Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung, PLTS dapat menghasilkan energi sebesar 53.261 kWh per tahun dengan *Performance Ratio* sebesar 83,018% dan *Solar Fraction* 53,55%. Hasil analisis dari aspek ekonomi menunjukkan bahwa perancangan PLTS *Hybrid* layak untuk diimplementasikan karena memiliki nilai NPV positif sebesar Rp423.074.546 dengan rentang waktu pengembalian biaya modal awal investasi (DPP) selama 8,89 tahun. Selain itu pada proyek ini didapatkan nilai IRR sebesar 16,008% dan nilai PI sebesar 1,69. Penggunaan baterai berfungsi untuk menyimpan kelebihan energi. Pada simulasi rancangan ini, energi yang disimpan di baterai digunakan ketika tidak ada suplai dari panel maupun PLN (*grid*). Meskipun membutuhkan biaya lebih besar daripada sistem *On-Grid*, namun perancangan PLTS *Hybrid* layak untuk diimplementasikan ditinjau dari aspek teknis maupun ekonomi.

### 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat membahas lebih rinci mengenai faktor lain yang dapat mempengaruhi panel surya dalam memproduksi energi, seperti faktor bayangan dari objek di sekitar panel dan sudut kemiringan atap berdasarkan data konstruksi sehingga mendapatkan hasil yang sesuai berdasarkan kondisi yang sebenarnya.
2. Perencanaan sistem perlu dicoba untuk diimplementasikan agar mendapatkan hasil yang nyata dari penggunaan energi surya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Humas EBTKE, “Siaran Pers Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 303.Pers/04/SJI/2021,” in *Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda*, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), Sep. 2021.
- [2] *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2024*. Indonesia, 2024, pp. 1–35.
- [3] N. Al Hilaliya, “Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid Pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Unila,” Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2022.
- [4] A. Dwi Budiarta, S. Handoko, and A. A. Zahra, “Analisis Ekonomi Teknik Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid Pada Atap Kandang Ayam Closed House Di Tualang Kabupaten Serdang Bedagai,” *TRANSIENT*, vol. 10, no. 2, pp. 345–353, Jun. 2021.
- [5] A. G. P. Jr., “Grid-Connected Self-Consumption Photovoltaic Solar Energy Production Design and Simulation Evaluation in Type II Climate Areas of Southeastern Philippines,” *RAST Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 31–39, Mar. 2024, doi: 10.69650/rast.2024.254448.
- [6] Md. S. Islam, “Feasibility Analysis and Simulation of the Solar Photovoltaic Rooftop System Using PVsyst Software,” *International Journal of Education and Management Engineering*, vol. 12, no. 6, pp. 21–32, Dec. 2022, doi: 10.5815/ijeme.2022.06.03.
- [7] H. Abid, J. Thakur, D. Khatiwada, and D. Bauner, “Energy storage integration with solar PV for increased electricity access: A case study of Burkina Faso,” *ENERGY*, vol. 230, pp. 1–17, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120656.
- [8] B. Harianto and M. Karjadi, “Planning of Photovoltaic (PV) Type Solar Power Plant as An Alternative Energy of the Future in Indonesia,”

*ENDLESS: International Journal of Future Studies*, vol. 5, no. 2, pp. 182–195, 2022.

- [9] W. S. Ebhota and P. Y. Tabakov, “Influence of Photovoltaic Cell Technologies and Elevated Temperature on Photovoltaic System Performance,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, pp. 1–10, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.asej.2022.101984.
- [10] R. Yasmeen, X. Yao, I. U. H. Padda, and W. U. H. Shah, “Exploring The Role of Solar Energy and Foreign Direct Investment for Clean Environment: Evidence from Top 10 Solar Energy Consuming Countries.”
- [11] J. Yu, Y. M. Tang, K. Y. Chau, R. Nazar, S. Ali, and W. Iqbal, “Role of Solar-Based Renewable Energy in Mitigating CO<sub>2</sub> Emissions: Evidence from Quantile-on-Quantile Estimation,” *Renew Energy*, vol. 182, pp. 216–226, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.renene.2021.10.002.
- [12] M. A. A. Mamun, M. M. Islam, M. Hasanuzzaman, and J. Selvaraj, “Effect of Tilt Angle on The Performance and Electrical Parameters of A PV Module: Comparative Indoor and Outdoor Experimental Investigation,” *Energy and Built Environment*, vol. 3, pp. 278–290, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.enbenv.2021.02.001.
- [13] N. M. Kumar, M. S. P. Subathra, and J. E. Moses, “On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study,” *4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, pp. 616–619, Aug. 2018, doi: 10.1109/ICEES.2018.8442403.
- [14] F. Perdiansyah, E. T. N. Fitriana, N. Aziema, P. P. Maharani, F. Khoerunnisa, and N. Winarno, “The Efficient Implementation of Hybrid Power Plants in Indonesia,” *The Indonesian Journal of Multidisciplinary Research (IJoMR)*, vol. 1, no. 2, pp. 67–74, 2021.
- [15] M. A. Omar and M. M. Mahmoud, “Grid Connected PV - Home Systems in Palestine: A Review on Technical Performance, Effects and Economic Feasibility,” *Renewable Sustainability Energy Reviews*, vol. 82, pp. 2490–2497, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2017.09.008.
- [16] I. Hernanda, R. Fairuz, and E. A. Setiawan, “Techno Economic Analysis Photovoltaic On-Grid System Java Bali to Optimize PLN Energy Consumption,” *E3S Web of Conferences*, vol. 67, Nov. 2018, doi: 10.1051/e3sconf/20186702050.
- [17] “PLTS On-Grid,” Mega Surya Power.



- [18] J. Windarta, Denis, S. Saptadi, K. Fernanda, V. R. Putra, and F. A. Widiatmoko, "On-Grid and Hybrid Solar Power Plants Comparability in Semarang City, Indonesia," *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 20, no. 3, pp. 889–899, 2022, doi: 10.5937/jaes0-34086.
- [19] S. Meliala, S. M. Jalil, W. Fuadi, and Asran, "Application of Off-Grid Solar Panels System for Household Electricity Consumptions in Facing Electric Energy Crisis," *International Journal of Engineering, Science & Information Technology (IJESTY)*, vol. 2, no. 1, pp. 30–37, 2022, doi: 10.52088/ijesty.v1i1.199.
- [20] "PLTS Off-Grid," Mega Surya Power. Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.megapowersurya.com/pemasangan-plts-off-grid/>
- [21] S. Zheng, G. Huang, and A. C. Lai, "Techno-Economic Performance Analysis of Synergistic Energy Sharing Strategies for Grid-Connected Prosumers with Distributed Battery Storages," *Renew Energy*, vol. 178, pp. 1261–1278, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.06.100.
- [22] J. Liu, X. Chen, S. Cao, and H. Yang, "Overview on Hybrid Solar Photovoltaic-Electrical Energy Storage Technologies for Power Supply to Buildings," *Energy Convers Manag*, vol. 187, pp. 103–121, 2019, doi: doi.org/10.1016/j.enconman.2019.02.080.
- [23] O. Ayadi, R. Shadid, A. Bani-Abdullah, M. Alrbai, M. Abu-Mualla, and N. A. Balah, "Experimental Comparison Between Monocrystalline, Polycrystalline, and Thin-film Solar Systems Under Sunny Climatic Conditions," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 218–230, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.06.121.
- [24] "PLTS Hybrid," Mega Surya Power. Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.megapowersurya.com/pemasangan-plts-hybrid/>
- [25] N. M. Kumar, M. S. P. Subathra, and J. E. Moses, "On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study," *4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, pp. 616–619, Aug. 2018, doi: 10.1109/ICEES.2018.8442403.
- [26] M. Taraba, J. Adamec, M. Danko, P. Drgona, and T. Urica, "Properties Measurement of The Thin Film Solar Panels under Adverse Weather Conditions," *Transportation Research Procedia*, vol. 40, pp. 535–540, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.077.
- [27] "Jenis Panel Surya," SUN Energy. [Online]. Available: <https://sunenergy.id/blog/jenis-jenis-panel-surya>

- [28] M. A. Rabbani, "Solar Power Systems and DC To AC Inverters," *ACTA TECHNICA CORVINIENSIS*, pp. 19–28, Jan. 2021.
- [29] "Hybrid Inverter GoodWe ET15-30kW," GOODWE. [Online]. Available: <https://en.goodwe.com/et-15-30kw>
- [30] B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. Jakarta Pusat: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (EnDev) Indonesia, 2018.
- [31] M. S. Guney and Y. Tepe, "Classification and Assessment of Energy Storage Systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 1187–1197, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.102.
- [32] "SmartLi LiFePO4 Battery ZXDC48 FB100B3," ZTE Corporation. Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: [https://www.zte.com.cn/global/product\\_index/smart\\_energy/smart\\_li/smart\\_li0/padpower.html](https://www.zte.com.cn/global/product_index/smart_energy/smart_li/smart_li0/padpower.html)
- [33] M. Amir *et al.*, "Energy Storage Technologies: An Integrated Survey of Developments, Global Economical / Environmental Effects, Optimal Scheduling Model, and Sustainable Adaption Policies," *J Energy Storage*, vol. 72, pp. 1–34, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.est.2023.108694.
- [34] J. Q. Y. Barsukov, "Cell-Balancing Techniques: Theory and Implementation 4.1," *Battery Power Management for Portable Devices*, pp. 111–138, 2013.
- [35] P. Ningrum, N. A. Windarko, and Suhariningsih, "Aplikasi Battery Management System (BMS) dengan State of Charge (SOC) Menggunakan Metode Modified Coulomb Counting," *JURNAL INOVTEK SERI ELEKTRO*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, Dec. 2019, doi: 10.35314/ise.v1i1.1022.
- [36] E. Loniza, J. A. Situmorang, and A. I. Cahyadi, "Cell Balancing On Three-Cell Lithium Polymer Batteries Connected In Series," *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, vol. 1, no. 3, pp. 135–142, Sep. 2017.
- [37] S. H. Kim and Y.-J. Shin, "Optimize The Operating Range for Improving The Cycle Life of Battery Energy Storage Systems Under Uncertainty by Managing The Depth of Discharge," *J Energy Storage*, vol. 73, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.est.2023.109144.
- [38] Y. A. Nugroho, G. Nugroho, and Sarwono, "Analisis Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di PT Pertamina (Persero) Unit Pengolahan IV Cilacap," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.

- [39] A. S. Munoz, M. Garcia, M. G. Reviewer, and T. Rautiainen, “Overview of Storage Technologies,” 2016.
- [40] B. Dunn, H. Kamath, and J.-M. Tarascon, “Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices,” *SCIENCE*, vol. 334, pp. 928–935, Nov. 2011, doi: 10.1126/science.1212741.
- [41] J. Lo, “Effect of Temperature on Lithium-Iron Phosphate Battery Performance and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Range,” University of Waterloo, Waterloo, 2013.
- [42] R. Saez, D. Boer, A. B. Shobo, and M. Vallès, “Self-Consumption Potential and Surplus Compensation Policy Impact on Rooftop Photovoltaic Systems in Spain,” *Renew Energy*, vol. 229, pp. 1–18, May 2024, doi: 10.1016/j.renene.2024.120713.