

**PERENCANAAN *CHARGING STATION* KENDARAAN LISTRIK  
DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *ON-GRID***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RIZKI PRATAMA PUTRA  
NPM 2015031041**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### PERENCANAAN CHARGING STATION KENDARAAN LISTRIK DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON-GRID

Oleh

**RIZKI PRATAMA PUTRA**

Sektor energi Indonesia menghasilkan hampir 600 MtCO<sub>2</sub> pada tahun 2021, dengan sektor transportasi menyumbang 23% dari total emisi nasional. Mayoritas kendaraan di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil, menyebabkan peningkatan polusi udara dan emisi gas rumah kaca. Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah Indonesia telah menetapkan target adopsi kendaraan listrik melalui Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 dan No. 55 Tahun 2019. Namun, infrastruktur pengisian daya yang tersedia masih terhubung dengan jaringan listrik yang bersumber dari pembangkit bahan bakar batu bara sehingga perlu dikembangkan infrastruktur pengisian daya yang terintegrasi dengan pembangkit listrik energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan merencanakan stasiun pengisian kendaraan listrik terintegrasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid* untuk mendukung transisi energi di sektor transportasi. Perencanaan dilakukan menggunakan simulasi MATLAB/Simulink dan PVSyst untuk sistem PLTS 60 kWp di Gedung Serba Guna Universitas Lampung. Metode penelitian meliputi analisis kelayakan teknis dan ekonomis. Hasil simulasi menunjukkan PLTS menghasilkan 88,636 MWh energi per tahun dengan *performance ratio* 84,30% dan *solar fraction* 72,40%. Analisis ekonomi menunjukkan sistem layak diimplementasikan dengan *Net Present Value* positif Rp215.959.278, *Discounted Payback Period* 13,94 tahun, *Internal Rate of Return* 11,63%, dan *Profitability Index* 1,26. Biaya pembangkitan energi (LCOE) sebesar Rp508,901/kWh. Penelitian ini membuktikan kelayakan teknis dan ekonomis integrasi PLTS *on-grid* pada stasiun pengisian kendaraan listrik, mendukung pengurangan emisi karbon di Indonesia.

Kata kunci: PLTS *On-Grid*, Stasiun Pengisian, PVSyst, NPV, DPP, IRR, PI, LCOE

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION WITH ON-GRID SOLAR POWER PLANT**

**By**

**RIZKI PRATAMA PUTRA**

*Indonesia's energy sector produced nearly 600 MtCO<sub>2</sub> in 2021, with the transportation sector contributing 23% of total national emissions. The majority of vehicles in Indonesia still rely on fossil fuels, leading to increased air pollution and greenhouse gas emissions. To address this issue, the Indonesian government has set targets for electric vehicle adoption through Presidential Regulations No. 22 of 2017 and No. 55 of 2019. However, the available charging infrastructure is still connected to the electricity grid sourced from coal-fired power plants, necessitating the development of charging infrastructure integrated with renewable energy power plants. This study aims to plan an electric vehicle charging station integrated with an On-Grid Solar Power Plant to support energy transition in the transportation sector. Planning was conducted using MATLAB/Simulink and PVSyst simulations for a 60 kWp Photovoltaic system at the University of Lampung's Convention Center. The research method includes technical and economic feasibility analyses. Simulation results show the SPP produces 88.636 MWh of energy annually with a performance ratio of 84.30% and a solar fraction of 72.40%. Economic analysis indicates the system is feasible to implement with a positive Net Present Value of IDR 215,959,278, a Discounted Payback Period of 13.94 years, an Internal Rate of Return of 11.63%, and a Profitability Index of 1.26. The Levelized Cost of Energy (LCOE) is IDR 508.901/kWh. This research demonstrates the technical and economic feasibility of integrating on-grid SPP with electric vehicle charging stations, supporting carbon emission reduction in Indonesia.*

*Key word: On-Grid PV System, Charging Station, PVSyst, NPV, DPP, IRR, PI, LCOE*

**PERENCANAAN *CHARGING STATION* KENDARAAN LISTRIK  
DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *ON-GRID***

Oleh

**RIZKI PRATAMA PUTRA**

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 : PERENCANAAN CHARGING STATION  
KENDARAAN LISTRIK DENGAN  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA  
(PLTS) ON-GRID

Nama Mahasiswa : Rizki Pratama Putra

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031041

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

**Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.**  
NIP 197108131999031003

**Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.**  
NIP 197104151998031005

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Herlinawati, S.T., M.T.**  
NIP 197103141999032001

Ketua Program Studi Teknik Elektro

**Sumadi, S.T., M.T.**  
NIP 197311042000031001

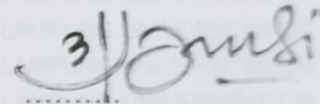
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

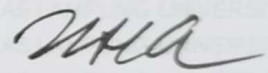
Ketua : **Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



Sekretaris : **Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M. T.**



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Osea Zebua, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **23 Oktober 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar Pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 23 Oktober 2024



Rizki Pratama Putra  
NPM 2015031041

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 05 November 2001, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Zeki Mubarak dan Ibu Royanah.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SD Negeri Pegadungan 07 Pagi pada tahun 2008 hingga 2014, SMP Negeri 169 Jakarta pada tahun 2014 hingga 2017, dan SMA Negeri 84 Jakarta pada tahun 2017 hingga tahun 2020.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2020 melalui jalur UTBK/SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis berkesempatan menjadi asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dari tahun 2022. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) yang pada tahun 2021 diamanahkan tergabung dalam Departemen Pengembangan Keteknikan sebagai anggota Divisi Penelitian dan Pengembangan serta pada tahun 2022 diamanahkan sebagai Kepala Divisi Penelitian dan Pengembangan. Penulis melaksanakan Kerja Magang di PT. Prima Layanan Nasional Enjiniring (PT. PLN E), Jakarta dalam Divisi Transmisi dan Distribusi sebagai *Junior Engineer* dan membuat laporan yang berjudul “Analisis Koordinasi Proteksi Relay *Overcurrent Relay* (OCR) Pada Penyulang 12 Trafo 1 GIS 1 Saluran Distribusi 20 kV IKN (Ibu Kota Nusantara) Rancangan Tahun 2045.”



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*“Ku persembahkan dan ku dedikasikan Skripsi ini  
untuk Kedua Orangtua Ku, Ayahanda Zeki  
Mubarok dan Ibunda Royanah yang memberikan  
semua hal terbaik demi anaknya dalam mencapai  
kesuksesan”*

## **MOTTO**

"Barangsiapa belum merasakan pahitnya belajar  
walau sebentar, ia akan merasakan hinanya  
kebodohan sepanjang hidupnya"

(Al-Imam Asy-Syafi'i)

"Belajarlh kamu semua, dan mengajarlh kamu  
semua, dan hormatilah guru-gurumu, serta berlaku  
baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu."

(HR. Thabrani)

"Education is not the learning of facts, but the  
training of the mind to think"

(Albert Einstein)

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan nikmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan *Charging Station* Kendaraan Listrik Dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang selalu memberikan motivasi dan pandangan kehidupan, mengarahkan dan membimbing dengan tulus dan penuh kesabaran.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan saran, bimbingan dan arahan dengan baik dan ramah.
7. Bapak Osea Zebua, S.T. M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, kritik dan arahan.
8. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus bagi penulis selama perkuliahan.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, pengajaran, dan pandangan hidup selama perkuliahan.
10. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
11. Bapak Zeki Mubarak dan Ibu Royanah selaku orangtua yang terus memberikan motivasi, dukungan, nasihat, dan doa tanpa henti kepada penulis untuk menyelesaikan perkuliahan dengan baik.
12. Untuk Jauhar Hizria yang selalu menemani penulis dari masa mahasiswa baru sampai dengan sekarang dan akan seterusnya.
13. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik; Pak Rachman atas kerjasamanya selama menjadi asisten laboratorium; Arnes, Syawaludin, Aymanul, dan Ipna, serta tidak lupa adik-adik asisten 2021, Imam, Tegar, Rasyid, Jerry, Rasel, Eikel, Frissa, Destalia, dan Nadia.
14. Bapak Fajar Andy Setyawan selaku pembimbing lapangan Kerja Magang PT. PLN E Jakarta.
15. Keluarga PENAMPUNGAN RUMAH AMAL, Ibu, Ayah, Taza, Bang Arif, Amal, Arda, Ahmad, Gus Auliya, Saka, Reyzal, Alfin, Herly, Ijul, dan Akmal.
16. Keluarga besar Angkatan HELLIOS 2020, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial, dan bantuan dalam berbagai hal.
17. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis.

18. Semua pihak yang terlibat dalam proses perkuliahan dan penulisan skripsi ini penulis ucapkan terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan masyarakat pada umumnya.

Bandar Lampung, 23 Oktober 2024

**Rizki Pratama Putra**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Rumusan Masalah .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Hipotesis.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
2.2. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik ( <i>Charging Station</i> ).....	7
2.2.1. <i>Charging Station</i> Rumahan (Residensial).....	8
2.2.2. <i>Charging Station</i> Komersial.....	9
2.2.3. <i>Charging Station</i> Umum .....	9
2.3. Kendaraan Listrik ( <i>Electric Vehicle</i> ) .....	10
2.3.1. <i>Battery Electric Vehicles</i> (BEV).....	10
2.3.2. <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> (PHEV).....	11
2.3.3. <i>Hybrid Electric Vehicle</i> (HEV).....	14
2.3.4. <i>Fuel Cell Electric Vehicle</i> (FCEV) .....	15
2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	15
2.4.1. Sistem PLTS <i>On-Grid</i> .....	16
2.4.2. Sistem PLTS <i>Off-Grid</i> .....	17

2.4.3. Sistem PLTS <i>Hybrid</i> .....	18
2.5. <i>Battery Energy Storage System</i> .....	19
2.6. Potensi Energi Surya .....	20
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>22</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.2. Alat dan Bahan.....	23
3.3. Tahapan Penelitian .....	23
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.5. Analisis Kelayakan Teknis .....	26
3.5.1. Menghitung Rata-Rata Waktu Penyinaran Matahari .....	26
3.5.2. Menghitung Kapasitas PLTS ( <i>Watt-Peak</i> ).....	26
3.5.3. Menghitung Jumlah Modul Panel Surya.....	27
3.5.4 Menghitung Luas Area Efektif .....	27
3.5.5 Konfigurasi Modul Panel Surya.....	27
3.5.6 Kapasitas Inverter .....	28
3.6. Analisis Kelayakan Ekonomis .....	28
3.6.1 Biaya Investasi Awal .....	28
3.6.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan .....	28
3.6.3 Biaya Siklus Hidup PLTS ( <i>Life Cycle Cost</i> ).....	29
3.6.4 <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCoE).....	29
3.6.5 <i>Net Present Value</i> (NPV) .....	30
3.6.6 <i>Discounted Payback Period</i> (DPP).....	30
3.6.7 <i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	31
3.6.8 <i>Profitability Index</i> (PI) .....	32
3.7. Skema <i>Charging Station</i> Dengan PLTS <i>On-Grid</i> .....	32
3.7.1 Pemodelan Sel Surya .....	33
3.7.2 <i>Boost Converter</i> .....	34
3.7.3 <i>Three-Phase DC-AC Inverter</i> .....	36
3.7.4 <i>Buck Converter</i> .....	37
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>40</b>
4.1. Lokasi Pemasangan PLTS .....	40
4.2. Kebutuhan Energi Listrik dan Profil Beban Listrik .....	41
4.3. Data Iradiasi Matahari dan Suhu .....	43

4.3.1. Rata-Rata Waktu Penyinaran Matahari .....	44
4.3.2. Pemilihan Komponen.....	44
4.4. Analisis Kelayakan Aspek Teknis.....	46
4.4.1. Menghitung Kapasitas <i>Array</i> Panel Surya ( <i>Watt-Peak</i> ).....	47
4.4.2. Menghitung Jumlah Modul Surya.....	47
4.4.3. Menghitung Luas Area.....	48
4.4.4. Menentukan Kapasitas Inverter.....	48
4.4.5. Menentukan Konfigurasi Panel Surya.....	48
4.4.6. Desain Sistem PLTS <i>On-Grid</i> Menggunakan <i>Software</i> PVSyst .....	50
4.4.7. Analisis Potensi Energi .....	50
4.5. Pemodelan dan Simulasi.....	55
4.5.1. Pemodelan <i>Charging Station</i> Dengan PLTS <i>On-Grid</i> .....	55
4.5.2. <i>Array</i> Panel Surya .....	55
4.5.3. Pemodelan Simulasi <i>Boost Converter</i> .....	57
4.5.4. Simulasi <i>Charging Station</i> Dengan PLTS <i>On-Grid</i> .....	59
4.5.5. Pemodelan <i>Charger</i> Baterai Li-Ion.....	66
4.5.6. Simulasi <i>Charger</i> Baterai Li-Ion.....	69
4.6. Analisis Kelayakan Aspek Ekonomis.....	72
4.6.1. Menghitung Biaya Investasi Awal .....	72
4.6.2. Biaya Operasional dan Pemeliharaan .....	74
4.6.2. Biaya Siklus Hidup PLTS ( <i>Life Cycle Cost</i> ).....	74
4.6.3. <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCoE).....	74
4.6.4. <i>Net Present Value</i> (NPV) .....	78
4.6.5. <i>Discounted Payback Period</i> (DPP) .....	78
4.6.6. <i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	79
4.6.7. <i>Profitability Index</i> (PI) .....	80
<b>V. PENUTUP</b> .....	<b>82</b>
5.1. Kesimpulan.....	82
5.2. Saran .....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>84</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>88</b>



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 <i>Charging Station</i> Kendaraan Listrik .....	8
Gambar 2.2 <i>Charging Station</i> Skala Rumahan.....	9
Gambar 2.3 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU).....	10
Gambar 2.4 Arsitektur dan Komponen BEV.....	11
Gambar 2.5 Arsitektur dan Komponen PHEV .....	12
Gambar 2.6 <i>Series Hybrid</i> .....	12
Gambar 2.7 <i>Parallel Hybrid</i> .....	13
Gambar 2.8 <i>Series-Parallel Hybrid</i> .....	14
Gambar 2.9 Arsitektur dan Komponen HEV .....	14
Gambar 2.10 Arsitektur dan Komponen FCEV.....	15
Gambar 2.11 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	16
Gambar 2.12 Sistem PLTS <i>On-Grid</i> .....	17
Gambar 2.13 Sistem PLTS <i>Off-Grid</i> .....	18
Gambar 2.14 Sistem PLTS <i>Hybrid</i> .....	18
Gambar 2.15 Baterai.....	19
Gambar 2.16 Tampilan <i>Software</i> Simulasi.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 3.2 Skema <i>Charging Station</i> Dengan PLTS <i>On-Grid</i> .....	32
Gambar 3.3 Rangkaian Ekuivalen Sel Surya.....	33
Gambar 3.4 DC – DC <i>Boost Converter</i> .....	35
Gambar 3.6 DC – DC <i>Buck Converter</i> .....	37
Gambar 3. 7 Rangkaian <i>Buck Converter</i> Sakelar Tertutup.....	37
Gambar 3.8 Rangkaian <i>Buck Converter</i> Sakelar Terbuka.....	38
Gambar 4.1 Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Lampung .....	40
Gambar 4.2 Penentuan Parameter PLTS Menggunakan PVSyst.....	50
Gambar 4.3 Grafik <i>Output</i> Total Energi PLTS.....	53
Gambar 4.4 Energi Pemakaian Sendiri dan Energi Ekspor ke <i>Grid</i> .....	54
Gambar 4.5 Grafik Iradiasi Matahari Data <i>Real-Time</i> Web Solcast.com.....	59
Gambar 4.6 Grafik Keluaran Tegangan PV, Arus PV, Daya PV Setelah <i>Boost Converter</i> .....	60
Gambar 4.7 Grafik Iradiasi Matahari Data Pengukuran Langsung.....	62
Gambar 4.8 Grafik Keluaran Tegangan PV, Arus PV, Daya PV Setelah <i>Boost Converter</i> .....	62

Gambar 4.9 Keluaran Daya Aktif PV Array, <i>Grid</i> , dan Beban untuk Parameter Iradiasi (a) <i>Real-Time</i> Web Solcast.com (b) Pengukuran Langsung.....	64
Gambar 4.10 Rangkaian Pengisian Baterai Li-Ion .....	69
Gambar 4.11 Kontroler CC - CV .....	69
Gambar 4.12 Hasil Simulasi Tegangan dan Arus <i>Charging</i> Baterai.....	70
Gambar 4.13 Grafik SoC Baterai .....	71
Gambar 4.14 Grafik <i>Discounted Payback Period</i> .....	79

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian .....	22
Tabel 4.1 Parameter Baterai Sebagai Beban .....	41
Tabel 4.2 Profil Beban Harian.....	42
Tabel 4.3 Data Iradiasi Matahari dan Suhu.....	43
Tabel 4.4 Spesifikasi Modul Panel Surya .....	45
Tabel 4.5 Spesifikasi Inverter.....	46
Tabel 4.6 Potensi Energi PLTS Dengan <i>Software</i> PVSyst.....	51
Tabel 4.7 Parameter PV Module dan PV Array .....	55
Tabel 4.8 Data Iradiasi Matahari ( $W/m^2$ ) 30 Juni 2024 dan Suhu ( $^{\circ}C$ ).....	56
Tabel 4.9 Spesifikasi <i>Boost Converter</i> .....	57
Tabel 4.10 Parameter Baterai Li-Ion .....	66
Tabel 4.11 Parameter <i>Charger Baterai</i> .....	66
Tabel 4.12 Parameter <i>Buck Converter</i> .....	67
Tabel 4.13 Biaya Investasi Awal.....	72
Tabel 4.14 Perhitungan Kelayakan Ekonomi .....	76
Tabel 4.15 Nilai NPV Positif dan NPV Negatif .....	79
Tabel 4.16 Ringkasan Investasi PLTS .....	81
Tabel 4. 17 Analisis Kelayakan Ekonomi PLTS <i>On-Grid</i> 60 kWp .....	81

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Sektor energi di Indonesia menghasilkan emisi mencapai hampir 600 MtCO<sub>2</sub> pada tahun 2021, terutama dari industri energi pembangkitan listrik. Sektor ini menyumbang 50% dari total semua sektor yang menyumbang emisi di Indonesia. Terdapat sektor transportasi yang menyumbang seperempat dari emisi sektor energi di Indonesia yang mencapai 23% dari total semua sektor yang menyumbang emisi di Indonesia [1]. Pada sektor transportasi, transportasi jalan raya merupakan kontributor terbesar yang mencapai 90% emisi dari sektor transportasi [2]. Hampir keseluruhan kendaraan yang berada di Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil. Di sisi lain, ketersediaan bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu bara semakin menipis sementara kebutuhan akan energi fosil terus meningkat. Dampak yang akan terjadi bila terus bergantung kepada energi fosil salah satunya juga menimbulkan polusi udara akibat emisi gas buang sehingga akan menyebabkan efek rumah kaca [3].

Berdasarkan data dan angka tersebut menunjukkan bahwa sektor transportasi sangat berpeluang sebagai sasaran dalam transisi energi mengurangi emisi karbon akibat bahan bakar fosil. Transisi energi ke energi ramah lingkungan dapat dicapai dengan meningkatkan efisiensi kendaraan dan beralih ke kendaraan listrik. Peralihan kendaraan bahan bakar minyak ke kendaraan listrik adalah strategi untuk mengurangi emisi karbon pada sektor transportasi dan mengurangi penggunaan cadangan sumber energi fosil. Indonesia memiliki rencana dan target adopsi kendaraan listrik yang tertuang pada Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) di mana menargetkan adopsi mobil listrik sebanyak 2.200 unit dan motor listrik sebanyak 2.100.000 unit pada tahun

2025 [4]. Maka, untuk mencapai target tersebut, pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden (Perpres) No. 55 Tahun 2019 tentang percepatan program kendaraan dengan motor listrik. Peraturan ini guna mendorong penetrasi percepatan transisi kendaraan motor listrik berbasis baterai untuk jalan umum [5]. Percepatan program ini perlu pengembangan industri kendaraan listrik dan penyediaan infrastruktur pendukungnya.

Perkembangan kendaraan listrik yang pesat perlu dibarengi adanya infrastruktur pengisian kendaraan listrik. Stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU) atau *charging station* adalah infrastruktur yang vital bagi pengguna kendaraan listrik. Pada umumnya, setiap pembelian kendaraan listrik akan mendapatkan *charger onboard* yang dapat digunakan pada listrik di rumah-rumah pengguna. Namun, pengisian kendaraan listrik seperti ini membutuhkan waktu lebih dari 5 jam sesuai dengan kapasitas baterai kendaraan karena keterbatasan daya yang disalurkan. Maka, perlu dibangun fasilitas *charging station* kendaraan listrik yang memiliki kemampuan *fast charging* guna mengurangi waktu pengisian kendaraan listrik. Saat ini *charging station* atau SPKLU masih terhubung langsung dengan jaringan listrik (*Grid* PLN) yang mana pembangkitan listrik tersebut masih didominasi dengan pembangkit listrik berbahan fosil [6].

Dengan semakin banyaknya *charging station* yang terhubung dengan jaringan listrik (*grid*) maka akan semakin besar pembangkitan daya listrik yang dilakukan. Hal ini menjadi tantangan tersendiri dalam usaha melakukan transisi energi dalam sektor transportasi dan menjadi pertanyaan dari kalangan masyarakat yang menganggap usaha ini hanya memindahkan sumber penghasil emisi karbon, karena dengan banyaknya *charging station* baru maka pembangkit listrik bahan bakar fosil harus meningkatkan produksi listrik untuk memasok *charging station* tersebut. Di lain sisi, apabila banyak *charging station* yang beroperasi dan melakukan pengisian secara bersama maka akan berakibat pada kestabilan sistem [6]. *Charging station* dengan pembangkit listrik energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dapat menjadi solusi dalam mengurangi emisi karbon dan dampak pada jaringan listrik (*grid*) dalam menjaga keseimbangan sistem [7].

Dengan adanya permasalahan tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai *charging station* dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *on-grid* sebagai strategi dalam mencapai transisi energi pada sektor transportasi dengan mengurangi pemakaian energi listrik dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Dalam penelitian ini juga akan menganalisis kelayakan terhadap aspek teknis dan ekonomis dari perencanaan *charging station* dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *on-grid*.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan *charging station* dengan sumber energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid*.
2. Menganalisis *output photovoltaic* untuk parameter *irradiance* di lokasi *charging station*.
3. Menghitung kelayakan ekonomi sistem *charging station* dengan sumber energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid* yang direncanakan.

## 1.3. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan dan penentuan lokasi *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid*?
2. Apakah *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid* layak dalam aspek ekonomi?

#### 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Desain PLTS yang direncanakan menyesuaikan kondisi atap *charging station*, atap gedung, atau lahan yang memungkinkan pemasangan PLTS.
2. Kapasitas baterai kendaraan listrik yang melakukan pengisian daya diasumsikan sama.
3. Asumsi energi yang dihasilkan PLTS dengan menggunakan *software* PVSystem.
4. Data iradiasi matahari diambil berdasarkan pengambilan data menggunakan solar power meter per satu jam dan data *realtime* dari Web *Solcast* serta data *Meteonorm* 8.1.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran penggunaan energi terbarukan dalam perencanaan *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid* untuk mengurangi konsumsi energi dari jaringan (*grid*).
2. Memberikan kontribusi dalam menuju energi bersih dengan pemanfaatan *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid*.

#### 1.6. Hipotesis

Dengan merencanakan PVCS maka *charging station* dapat disuplai dari sumber energi *photovoltaic* serta secara teknis dan ekonomis layak, sehingga dapat diterapkan pada *charging station* untuk pengisian kendaraan listrik.

## **1.7. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini untuk memberikan gambaran sederhana terkait pembahasan yang ada di dalam tugas akhir dan memudahkan dalam memahami isi tugas akhir. Adapun sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penelitian.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi teori pendukung penelitian yang merupakan pengantar dalam pemahaman terkait penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber ilmiah, seperti jurnal, proseding, dan buku yang digunakan sebagai panduan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian, metode yang digunakan pada penelitian, dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan data simulasi dan analisis data yang didapat dari penelitian tugas akhir ini.

### **BAB V. SIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi simpulan yang diperoleh dari pembahasan pada laporan tugas akhir dan saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan tugas akhir ini.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

J. Zhang *et al.*, [8] dalam penelitian “*Design Scheme For Fast Charging Station For Electric Vehicles With Distributed Photovoltaic Power Generation,*” menyajikan skema stasiun pengisian daya cepat untuk kendaraan listrik yang dilengkapi dengan sistem pembangkit listrik *photovoltaic* terdistribusi dengan area contoh lokasi konstruksi adalah di Beijing. Pada studi ini, tata letak stasiun dikembangkan dan manfaat pengoperasian stasiun dianalisis. Skema desain ini merealisasikan tujuan desain “rasionalisasi, modularisasi, dan intelegensi. Skema desain ini bisa digunakan sebagai referensi untuk pembangunan stasiun pengisian cepat di wilayah perkotaan.

R. Herdian, A. Lomi, and A. Uji Krismanto [9] dalam penelitian berjudul “Analisis Manajemen Energi *Charging Station* Dengan Pemanfaatan PLTS 0.5 MWp *On Grid* di ITN Malang,” menyatakan semakin berkembangnya kendaraan bermotor listrik yang pesat maka dibuat simulasi perancangan untuk stasiun pengisian kendaraan listrik berkapasitas 22 kW dengan memanfaatkan PLTS di kampus ITN Malang berkapasitas 0,5 MWp. Studi kasus pada penelitian ini menggunakan mobil i-Miev dengan kapasitas baterai sebesar 16 kW. Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink 2019. Dari hasil penelitian dapat diketahui hasil analisis *output* daya yang dihasilkan PLTS, waktu pengisian energi pada baterai, dan perhitungan tagihan listrik pengisian. Dari keempat jenis mobil listrik yang diasumsikan dalam sehari, *charging station* dapat mengisi penuh baterai sampai 3 hingga 4 kali dalam pengisian penuh dengan kapasitas baterai 80 kWh hingga 246 kWh. Jumlah tagihan pada mobil listrik berkisar antara Rp155.520,- hingga Rp355.224,- perhari. Dengan nilai beban kampus tertinggi yang di tambah dengan beban *charging station*, masih

banyak energi PLTS yang tersisa, energi yang tersisa akan di ekspor ke jaringan (PLN) dan nilai energi yang dapat di ekspor berkisar 1.547,3935 kWh hingga 1.655,2935 kWh yang terjadi pada tanggal 10 Agustus 2022.

Sriyadi, Sriyadi, Arief, Yanuar Z, Wilyanti, Sinka, Al-Hakim, Rosyid R [10] dalam penelitian berjudul “DESAIN PLTS ATAP SPKLU DI UNIT INDUK DISTRIBUSI JAKARTA RAYA,” membuat desain PLTS atap dengan kapasitas 300 kWp untuk SPKLU di PLN UID Jakarta Raya dengan meliputi kelayakan aspek teknis, lingkungan, dan ekonomis dengan menggunakan bantuan *software Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) PRO* versi 3.2. Hasil penelitian menunjukkan konfigurasi sistem terbaik secara *on grid* dengan kelayakan ekonomi  $NPC(Rp) = 1,06B$ ,  $COE = 69,96 \text{ Rp/kWh}$ , dan  $PBP = 16$  tahun. Tersedianya potensi energi matahari yang cukup besar dengan rata-rata 4,76 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan pemanfaatan EBT yang besar dengan *renewable fraction* 68,6%. Total produksi energi (kWh/tahun) dari PLTS atap 632,038 atau 72,3% dari sistem. Dampak penurunan emisi gas rumah kaca berupa karbon dioksida 313,96 Kg/tahun, sulfur dioksida 4,583 Kg/tahun, dan nitrogen oksida 361,7 Kg/tahun.

## 2.2. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (*Charging Station*)

*Charging Station* atau Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) merupakan fasilitas penunjang bagi pengguna kendaraan listrik. *Charging station* adalah infrastruktur penting dalam mendukung pengisian energi listrik ke dalam baterai kendaraan-kendaraan listrik [6]. Untuk negara-negara dengan jumlah kendaraan listrik yang sudah banyak, *charging station* yang tersedia biasanya disediakan oleh Perusahaan penyedia tenaga listrik. *Charging station* menyediakan fasilitas pengisian dengan tegangan AC atau DC, serta terdapat fitur *monitoring* saat melakukan pengisian [11]. Terdapat satu atau lebih kabel dengan konektor seperti *nozzle* pompa bensin pada *charging station* yang terhubung pada soket pengisian daya kendaraan listrik dan memiliki fungsi untuk mengisi daya listrik [9].

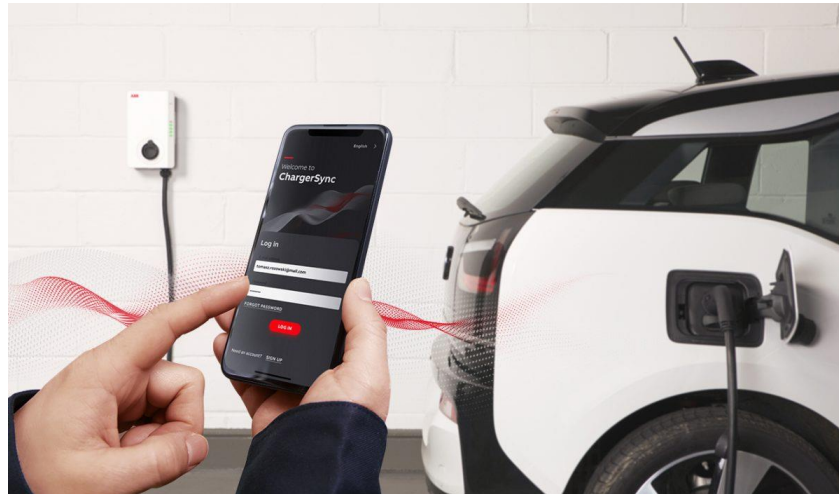


Gambar 2.1 *Charging Station* Kendaraan Listrik  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/a365zJhPjevH52mS7>)

*Charging station* tersedia berbagai macam konektor untuk pengisian kendaraan listrik yang standar digunakan di dunia. Untuk pengisian daya dengan tegangan AC menggunakan konektor J1772, Mennekes, dan BG/T sedangkan untuk pengisian dengan tegangan DC menggunakan konektor CCS, CHAdeMO, dan BG/T [11].

### **2.2.1. *Charging Station* Rumahan (Residensial)**

Pada sistem stasiun pengisian rumahan (residensial) terdapat komponen pendukung dalam pengoperasian, seperti jaringan listrik (*grid*) yang merupakan sumber daya listrik *charging station*, EVSE (*Electric Vehicle Supply Equipment*) adalah perangkat yang mengirimkan suplai daya ke kendaraan listrik, OBC AC/DC (*On-Board Converter*) adalah komponen yang mengubah arus AC menjadi arus DC pada kendaraan listrik, BMS (*Battery Management System*) yang berfungsi untuk mengontrol daya *input* atau *output* pada baterai, *pilot wire* adalah kabel untuk memeriksa kondisi baterai sebelum pengisian [11]. *Charging station* kendaraan listrik rumahan hanya mendukung pengisian daya AC 1 fasa dengan tegangan 120 V dan arus 32 A [9].



Gambar 2.2 *Charging Station* Skala Rumahan  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/2d6kF6rg6mKVVNi7A>)

### 2.2.2. *Charging Station* Komersial

Pada *charging station* komersial, peralatan pengisian baterai kendaraan listrik di tempatkan dan dioperasikan ketika kendaraan listrik sedang parkir seperti gedung pusat perbelanjaan, kantor, lingkungan Pendidikan, dan lainnya. Tipe *charging station* ini mendukung pengisian daya baterai dengan tegangan 240 V dan arus 20 – 63 A. Tipe ini dikenal sebagai “*Mennekes Connector*” [9].

### 2.2.3. *Charging Station* Umum

*Charging station* kendaraan listrik ini berada pada tempat umum layaknya SPBU ataupun *rest area* untuk pengendara yang menempuh perjalanan jauh dan jenis pengisian ini umumnya berbayar. *Charging station* tipe ini memiliki tegangan sebesar 480 Vdc dan arus 125 A [9]. *Charging station* umum dibagi menjadi 3 bagian, yaitu [12]:

1. Stasiun Penyedia Listrik Umum (SPLU) adalah stasiun yang digunakan untuk mengisi daya kendaraan listrik khususnya sepeda motor listrik.
2. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) adalah stasiun pengisian umum khusus mobil listrik. SPKLU dapat mengisi daya dengan waktu normal ataupun waktu cepat.
3. Stasiun Penukaran Baterai Kendaraan Listrik Umum (SPBKLU)



Gambar 2.3 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/JK2ALdrSDuzv8KtSA>)

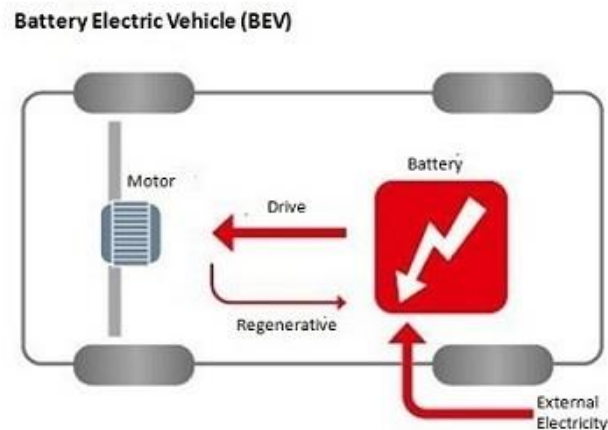
### 2.3. Kendaraan Listrik (*Electric Vehicle*)

Kendaraan listrik atau *electric vehicle* merupakan jenis kendaraan yang digerakkan menggunakan motor listrik baik untuk keseluruhan sistem ataupun kombinasi dengan motor bahan bakar. Kendaraan yang hanya digerakkan dengan motor listrik disebut *Battery Electric Vehicle* (BEV) atau Kendaraan Listrik Baterai (KLB). Baterai pada kendaraan motor listrik berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang nantinya digunakan motor listrik. Energi listrik pada baterai disuplai dari proses pengisian (*charging*) dengan sumber energi *charging station* berasal dari listrik pada jaringan (*grid*). Selain kendaraan motor listrik dengan baterai, terdapat jenis Kendaraan Listrik Hibrida (KLH) atau *Hybrid Electric Vehicle* (HEV). Kendaraan listrik terdapat dua sistem penggerak, yaitu motor listrik dan motor bahan bakar. Tujuan dari kendaraan hibrida ini adalah untuk meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar pada motor bahan bakar [13]. Terdapat beberapa jenis mobil listrik, di antara lain:

#### 2.3.1. *Battery Electric Vehicles* (BEV)

Kendaraan listrik baterai adalah kendaraan yang menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik yang akan digunakan untuk menggerakkan motor listrik pada kendaraan listrik. Energi listrik yang tersimpan pada baterai diperoleh

melalui proses pengisian dari sumber listrik eksternal seperti jaringan listrik (*grid*) atau melalui regenerative pengereman. Pada kendaraan listrik dengan baterai tidak memiliki mesin pembakaran. Teknologi yang terdapat pada BEV adalah motor listrik, pengontrol motor, dan baterai.

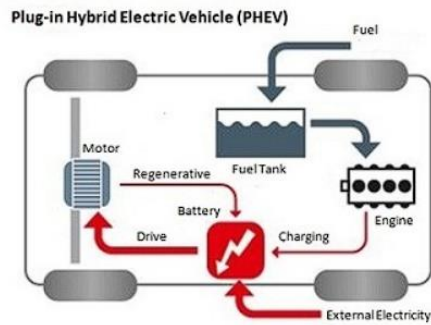


Gambar 2.4 Arsitektur dan Komponen BEV  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/YApCsyKPEnQ6TUeS7>)

Prinsip kerja *Battery Electric Vehicle* dengan mengkonversi daya dari baterai DC ke AC untuk menggerakkan motor listrik pada kendaraan. Lalu pedal akselerator mengirimkan sinyal ke modul kontrol untuk menyesuaikan kecepatan kendaraan dengan mengubah nilai frekuensi daya AC dari inverter ke motor dan motor terhubung dengan roda dan memutarnya melalui roda gigi.

### 2.3.2. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)*

Kendaraan listrik jenis *Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)* merupakan kendaraan listrik yang memiliki fleksibilitas dalam sumber bahan bakar. Berbeda dengan jenis BEV yang hanya mengandalkan energi dari penyimpanan baterai, kendaraan listrik jenis PHEV tidak hanya memiliki sumber energi listrik yang tersimpan pada baterai namun juga dapat dijalankan menggunakan sumber energi dari pembakaran bahan bakar minyak [14]. Kendaraan PHEV memungkinkan untuk mengisi baterai kendaraan melalui sumber listrik eksternal.

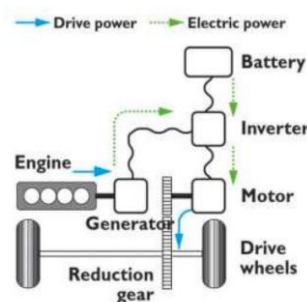


Gambar 2.5 Arsitektur dan Komponen PHEV  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/mVHpdd6NjtpKaQNPA>)

Berdasarkan penggabungan mesinnya, PHEV dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Series Hybrid*

Pada jenis ini mesin sebagai sumber tenaga dihubungkan secara seri dengan motor listrik sebagai tenaga penggerak. Mesin digunakan untuk menggerakkan generator sebagai penghasil tenaga listrik yang nantinya digunakan oleh motor listrik sebagai penggerak kendaraan. Torsi dari motor listrik ditransmisikan dan dikonversi menjadi gaya dorong pada roda penggerak. Jika tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan cukup kecil, maka energi listrik yang dihasilkan dari generator akan disalurkan untuk mengisi baterai [15].



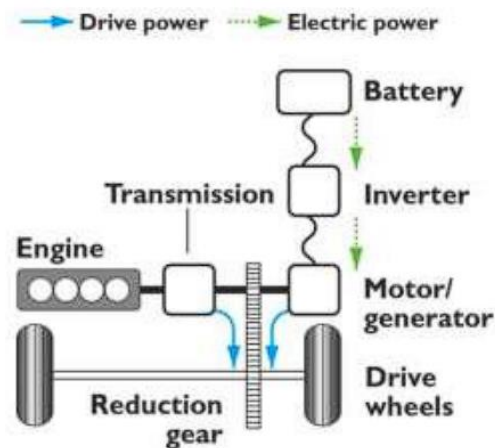
Gambar 2.6 *Series Hybrid*  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/X6BnaG9AUKFSnUbi6>)

Jika energi listrik yang dihasilkan oleh baterai mencukupi untuk menggerakkan kendaraan, maka mesin dapat dimatikan secara otomatis oleh sistem pengendali. Pada saat percepatan atau kecepatan tinggi, dimana kendaraan membutuhkan tenaga yang besar, melebihi dari tenaga yang

dapat diberikan oleh mesin, maka tenaga dari baterai dapat membantu untuk mensuplai listrik pada motor listrik.

## 2. *Parallel Hybrid*

Pengabungan mesin *parallel hybrid* menggunakan mesin dan motor listrik menjadi dua tenaga penggerak yang dihubungkan secara paralel. Jumlah baterai yang digunakan pada susunan ini dapat lebih banyak dibandingkan dengan susunan *series hybrid*. Generator tidak lagi dibutuhkan pada *parallel hybrid*, tetapi dibutuhkan kopling mekanik untuk menggabungkan mesin ICE (*Internal Combustion Engine*) dengan motor listrik. Pada susunan *parallel hybrid* memungkinkan mengisi baterai dari sumber eksternal saat kendaraan berhenti [15].



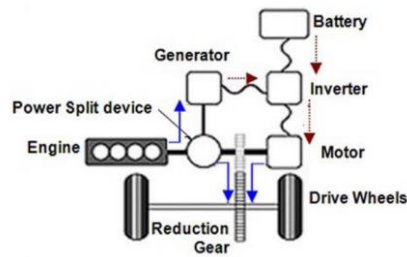
Gambar 2.7 *Parallel Hybrid*

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/X6BnaG9AUKFSnUbi6>)

## 3. *Series-Parallel Hybrid*

Kendaraan dengan tenaga system hybrid seri-paralel adalah kendaraan yang dapat dioperasikan dengan sistem tenaga hybrid seri dan juga dapat dengan system tenaga hybrid paralel. Pengembangan sistem ini dimaksudkan dapat mengambil keunggulan dari system hybrid seri serta keunggulan dari sistem hybrid paralel. Pada kendaraan ini ukuran dan tenaga mesin ICE (*internal combustion engine*) dan tenaga motor listrik dapat lebih kecil dari sistem seri dengan tenaga total yang dihasilkan lebih besar. Disamping itu mode operasinya bisa lebih banyak dibandingkan sistem hybrid seri maupun system hybrid paralel [15].





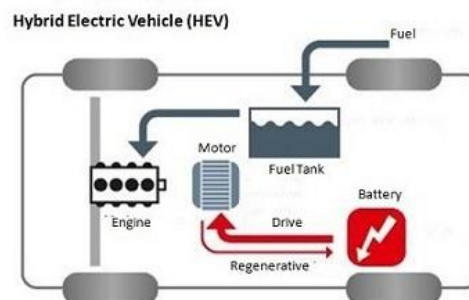
Gambar 2.8 *Series-Parallel Hybrid*

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/UwvUUowwPJoCwzcM6>)

Komponen pokok dari kendaraan jenis ini lebih banyak daripada kendaraan berjenis *hybrid* paralel dan *hybrid* seri, pada *hybrid* seri-paralel dibutuhkan 30 komponen pembagi daya untuk dapat mengatur tenaga menjadi sistem seri atau sistem paralel sesuai dengan kebutuhan operasi. Mode operasinya bisa lebih banyak dan lebih memungkinkan mengatur penggunaan energi menjadi lebih efisien dan efektif, maka dibutuhkan sistem pengendalian yang lebih rumit dibanding *hybrid* seri maupun *hybrid* paralel.

### 2.3.3. *Hybrid Electric Vehicle (HEV)*

Kendaraan listrik *hybrid* (HEV) adalah kendaraan yang menggunakan dua sistem penggerak, yaitu motor listrik dan mesin pembakaran (ICE). Pada HEV, mesin pembakaran menjadi penggerak utama kendaraan, sedangkan motor listrik digunakan pada kondisi medan yang menyebabkan tingkat konsumsi bahan bakar tinggi seperti tanjakan, saat kecepatan kendaraan rendah, dan saat *start/stop* di lampu lalu lintas. Pengisian baterai pada HEV terjadi karena putaran mesin dan gerakan roda. Kendaraan ini tidak memiliki *charging port* sehingga baterai kendaraan tidak dapat diisi oleh sumber eksternal [15].

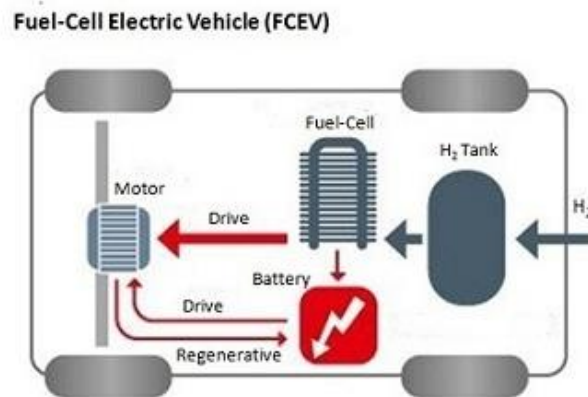


Gambar 2.9 Arsitektur dan Komponen HEV

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/LShHpGwMnuVu8WAm7>)

### 2.3.4. Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

FCEV adalah kendaraan yang menggunakan sistem *fuel cell* sebagai sumber energi untuk menggerakkan kendaraan. Energi kimia dari *fuel cell* dihasilkan dari gas *hydrogen* yang tersimpan di dalam *tank* sebagai pengganti bahan bakar minyak [15]. FCEV tidak menimbulkan emisi karbon sama sekali.



Gambar 2.10 Arsitektur dan Komponen FCEV  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/LbDefU6U4H8Wf4dEA>)

Kendaraan FCEV menghasilkan listrik dari proses perubahan *hydrogen* oleh *cell-cell* yang berada pada *tank* penyimpanan *hydrogen*. Listrik yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan kendaraan dan saat pengereman regenerative maka energi listrik dapat tersimpan pada baterai pada kendaraan.

### 2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit daya listrik yang memanfaatkan pancaran sinar atau cahaya matahari untuk mengkonversi radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik melalui sel surya (*Photovoltaic*). Sel surya atau *photovoltaic* sendiri adalah lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor yang tersusun menjadi modul surya. Listrik yang dihasilkan dari modul surya adalah listrik DC [16]. PLTS merupakan salah satu pembangkit energi terbarukan karena PLTS tidak menimbulkan polusi, baik dalam bentuk suara ataupun emisi karbon.

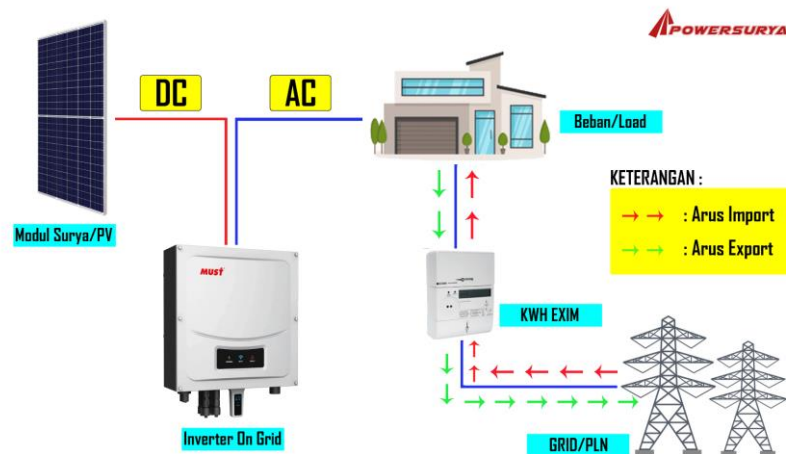


Gambar 2.11 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/YcCTozb43rxfYziD8>)

Berdasarkan lokasi pemasangan PLTS terbagi menjadi 2 sistem, yaitu sistem tersebar (*distribute PV plant*) dan sistem terpusat (*centralized PV plant*). Sedangkan, berdasarkan konfigurasinya PLTS dibagi menjadi 2 macam, yaitu sistem PLTS terhubung dengan jaringan atau PLTS *On-grid* (*grid-connected PV plant*) dan sistem PLTS tidak terhubung dengan jaringan atau PLTS *Off-Grid* (*off-grid PV plant*). Bila penggunaan pembangkit listrik tenaga surya digabungkan dengan pemabngkit listrik lain maka sistem ini disebut sistem *hybrid* [16].

#### 2.4.1. Sistem PLTS *On-Grid*

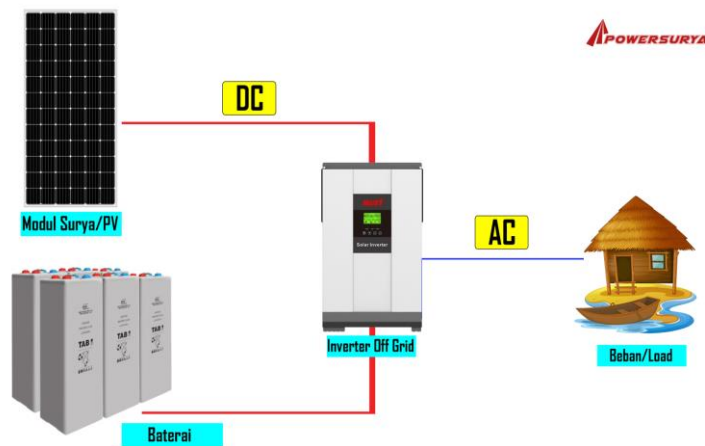
Sistem PLTS *On-Grid* atau *Grid-Connected PV Plant* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga matahari dengan modul surya yang terhubung dengan jaringan listrik PLN [17]. Sistem PLTS *On-Grid* terhubung dengan jaringan listrik (*grid*) pada sisi tegangan rendah menggunakan *grid tie inverter* yang fungsinya mengubah listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya menjadi listrik AC yang nantinya akan digunakan oleh beban. PLTS *On-Grid* tidak menggunakan baterai sebagai sistem penyimpanan energi akibatnya pada siang hari beban listrik disuplai daya yang berasal dari PLTS tetapi saat malam hari penggunaan listrik oleh beban disuplai oleh jaringan listrik PLN [18]. Sistem PLTS *on-grid* memiliki kelebihan, yaitu biaya instalasi yang lebih murah, dapat mengurangi tagihan listrik karena dapat berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung dengan jaringan yang sama.



Gambar 2.12 Sistem PLTS *On-Grid*  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/mfK7iLDz33QKjFoQ9>)

#### 2.4.2. Sistem PLTS *Off-Grid*

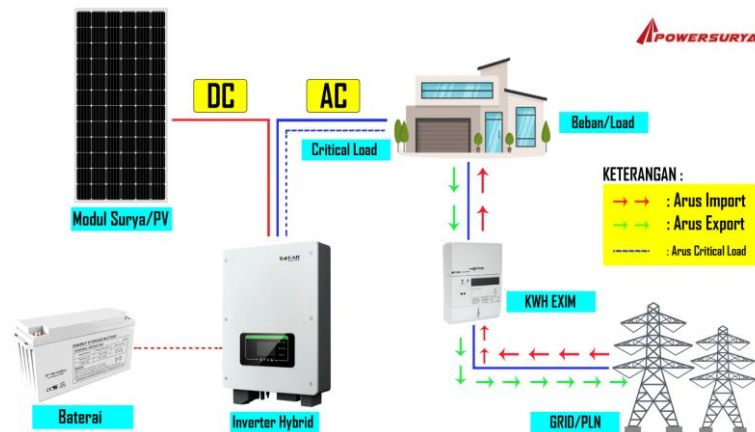
Sistem PLTS *Off-Grid* adalah sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN atau *grid*. Satu-satunya sumber pembangkitannya adalah daya yang dihasilkan oleh modul surya atau *photovoltaic* itu sendiri sehingga *output* daya listriknya secara mandiri menyuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan (beban) [17]. Sistem PLTS *Off-Grid* menggunakan komponen baterai sebagai tempat menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul surya untuk menyuplai listrik sesuai dengan kebutuhan beban dan dapat menyuplai daya pada saat malam hari [18]. Pada sistem PLTS *Off-Grid* memiliki kelebihan, yaitu ketika jaringan listrik PLN dan modul surya tidak bekerja maka baterai akan bekerja untuk menyuplai beban. Ketika siang hari modul surya bekerja untuk menyuplai daya utama ke beban sedangkan kelebihan daya yang dihasilkan oleh modul surya akan disalurkan menuju baterai dan disimpan sebagai energi cadangan yang nantinya akan digunakan ketika malam hari (modul surya tidak bekerja) [7].



Gambar 2.13 Sistem PLTS *Off-Grid*  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/i1RUwUS3XrbjVZVKA>)

### 2.4.3. Sistem PLTS *Hybrid*

Sistem PLTS *hybrid* adalah kombinasi dari PLTS *on-grid* (tanpa baterai) ataupun *off-grid* (menggunakan baterai). PLTS *hybrid* memiliki kelebihan, yaitu dapat memaksimalkan penyediaan energi dari berbagai macam potensi sumber daya daerah yang ada. Sistem PLTS *hybrid* memiliki keandalan yang lebih tinggi karena dilengkapi dengan ekstra penyimpanan energi (baterai) sehingga tidak akan terjadi kedip listrik dan pengguna dapat menentukan sendiri daya yang akan disuplai ke beban [19].



Gambar 2.14 Sistem PLTS *Hybrid*  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/ZEnEsa1RH8N8azcP9>)

### 2.5. Battery Energy Storage System

Baterai digunakan sebagai penyimpan cadangan energi listrik yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* dalam bentuk energi arus searah (DC) yang digunakan pada saat panel surya sudah tidak menghasilkan energi [20]. Satuan kapasitas yang disimpan pada baterai adalah *Ampere hour* (Ah). Berdasarkan pemakaiannya, baterai dibedakan menjadi 2, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang oleh listrik, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang.



Gambar 2.15 Baterai

Teknologi baterai untuk perangkat penyimpanan energi dapat dibedakan berdasarkan kepadatan energi, efisiensi pengisian dan pengosongan (*charge – discharge*), masa pakai, dan keramahan lingkungan perangkat. Parameter penting pada baterai adalah nilai *State of Charge* (SOC). Nilai SOC adalah kondisi muatan yang tersimpan di dalam baterai setelah proses *charging/discharging*. Nilai SOC harus berada pada rentang nilai yang seharusnya agar menghindari penggunaan baterai yang tidak wajar. Nilai SOC dapat dimodelkan dengan persamaan (2.1) berikut:

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (2.1)$$

$SOC_{min}$  adalah nilai minimal SOC pada baterai,  $SOC(t)$  adalah nilai SOC pada waktu, dan  $SOC_{max}$  adalah nilai maksimal SOC pada baterai.

Parameter penting lain dalam baterai adalah nilai *Depth of Discharge* (DOD) yang merupakan kondisi kapasitas baterai sesaat atau setelah *discharge*. Nilai DOD adalah persentase kapasitas baterai yang telah dikosongkan (terpakai) terhadap kapasitas maksimum baterai. Perhitungan nilai DOD didapat dari hasil pengurangan persentase kapasitas penuh baterai dengan nilai SOC baterai [21].

$$DOD(t) = 100\% - SOC(t) \quad (2.2)$$

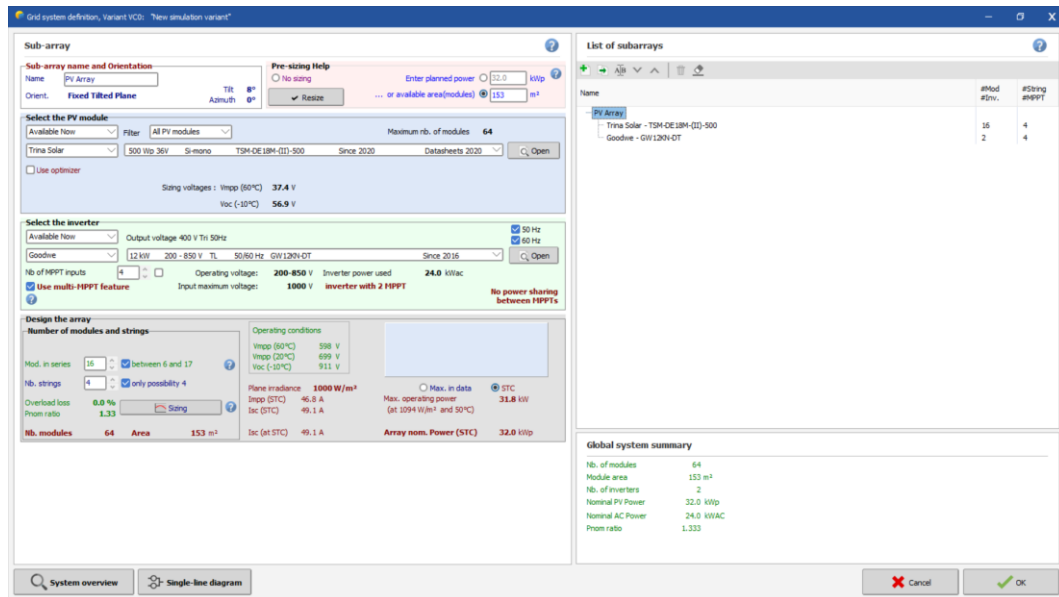
Parameter selanjutnya dari baterai adalah nilai *State of Health* (SOH) yang merupakan rasio kondisi baterai saat ini terhadap kondisi ideal atau kapasitas saat baterai masih baru. Nilai SOH dinyatakan dalam persentase (%). Nilai SOH dapat menurun akibat meningkatnya hambatan internal pada baterai sehingga membuat Sebagian kapasitas baterai tidak dapat digunakan. Perhitungan nilai SOH dilakukan dengan cara membandingkan nilai kapasitas total saat ini (Ah) dengan kapasitas awal baterai /*Beginning of Life Capacity* (BOL Capacity).

$$SOH = \frac{\text{Kapasitas Total}}{\text{Kapasitas BOL}} \times 100\% \quad (2.3)$$

## 2.6. Potensi Energi Surya

Dalam perencanaan sistem PLTS terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan, seperti *Pre-sizing* yang bertujuan untuk menentukan luas area atau besar daya yang diinginkan, pemilihan komponen-komponen untuk sistem PLTS, jumlah komponen yang akan digunakan, susunan panel surya yang akan dipasang baik itu secara seri ataupun paralel (jumlah *string*). Dengan memperhatikan beberapa parameter-parameter tersebut maka prediksi potensi energi yang dihasilkan PLTS akan diketahui. Semua perencanaan yang telah dibuat dapat dilakukan simulasi dengan bantuan *software* untuk mendapatkan gambaran nyata dari sistem PLTS saat nantinya beroperasi. PVsyst merupakan salah satu *software* yang dapat mensimulasikan sistem PLTS dengan gambaran yang nyata karena

*software* tersebut dapat menampilkan potensi energi yang dihasilkan, besaran daya listrik yang diproduksi, besaran daya listrik yang mengalir menuju beban, serta mengetahui rugi-rugi pada sistem tersebut. Hal ini dapat dilakukan karena pada *software* tersebut dilengkapi *database* yang bersumber dari data meteorologi, dan juga menggunakan model komponen riil seperti yang terdapat di pasaran.



Gambar 2.16 Tampilan *Software* Simulasi



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam kurun waktu, yaitu pada bulan Februari 2024 - Oktober 2024 di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No.	Nama Kegiatan	Bulan								
		Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt
1.	Studi literatur dan terbimbing									
2.	Pembuatan proposal									
3.	Seminar proposal									
4.	Pengumpulan data									
5.	Simulasi dan pengolahan data									
6.	Evaluasi hasil simulasi									
7.	Penyusunan laporan									
8.	Seminar hasil									
9.	Ujian komprehensif									

### 3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi AMD Ryzen 5 3500U Radeon Vega Mobile Gfx, dilengkapi prosesor 2,10 GHz, serta sistem operasi Windows 11 Pro 64-bit sebagai media pemodelan dan simulasi.
2. Perangkat lunak *Simulink* sebagai perangkat lunak untuk simulasi PVCS.
3. Perangkat lunak PVSyst untuk mengetahui kapasitas ukuran PLTS dan energi yang dihasilkan dari sistem PLTS.
4. Perangkat lunak Microsoft Excel untuk validasi perhitungan dan pembuatan grafik.

### 3.3. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini penulis mengidentifikasi permasalahan terkait perancangan pemodelan *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid* untuk mengetahui kelayakan teknis dan kelayakan ekonomis.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini adalah pencarian data serta referensi yang akan mendukung dan menjadi acuan untuk pelaksanaan penelitian. Studi literatur akan diperoleh data sekunder, artikel ilmiah, buku, skripsi, dan jurnal-jurnal ilmiah nasional ataupun internasional yang berkaitan dengan topik penelitian.

3. Perencanaan Teknis

Pada tahap ini membahas perencanaan *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid*. Menentukan spesifikasi komponen yang akan digunakan, menghitung kapasitas daya yang dapat dibangkitkan dan energi yang dapat dihasilkan PLTS menggunakan perangkat lunak PVSyst, serta melihat konsumsi energi. Pada *software* PVSyst dapat menentukan konfigurasi sistem yang akan digunakan, seperti menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan, dan menentukan jumlah inverter yang dibutuhkan. Kapasitas setiap komponen PLTS dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang direncanakan.

#### 4. Perencanaan Ekonomis

Pada tahap ini membahas terkait total biaya investasi yang diperlukan untuk merealisasikan perancangan *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid* dan sistem penyimpanan baterai. Melakukan *financial analysis* untuk mengetahui kelayakan dari perencanaan tersebut menggunakan beberapa parameter seperti, NPV (*Net Present Value*), IRR (*Internal Rate of Return*), PP (*Payback Period*), dan PI (*Profitable Index*) berdasarkan nilai investasi awal yang dikeluarkan.

#### 5. Simulasi dan Analisis

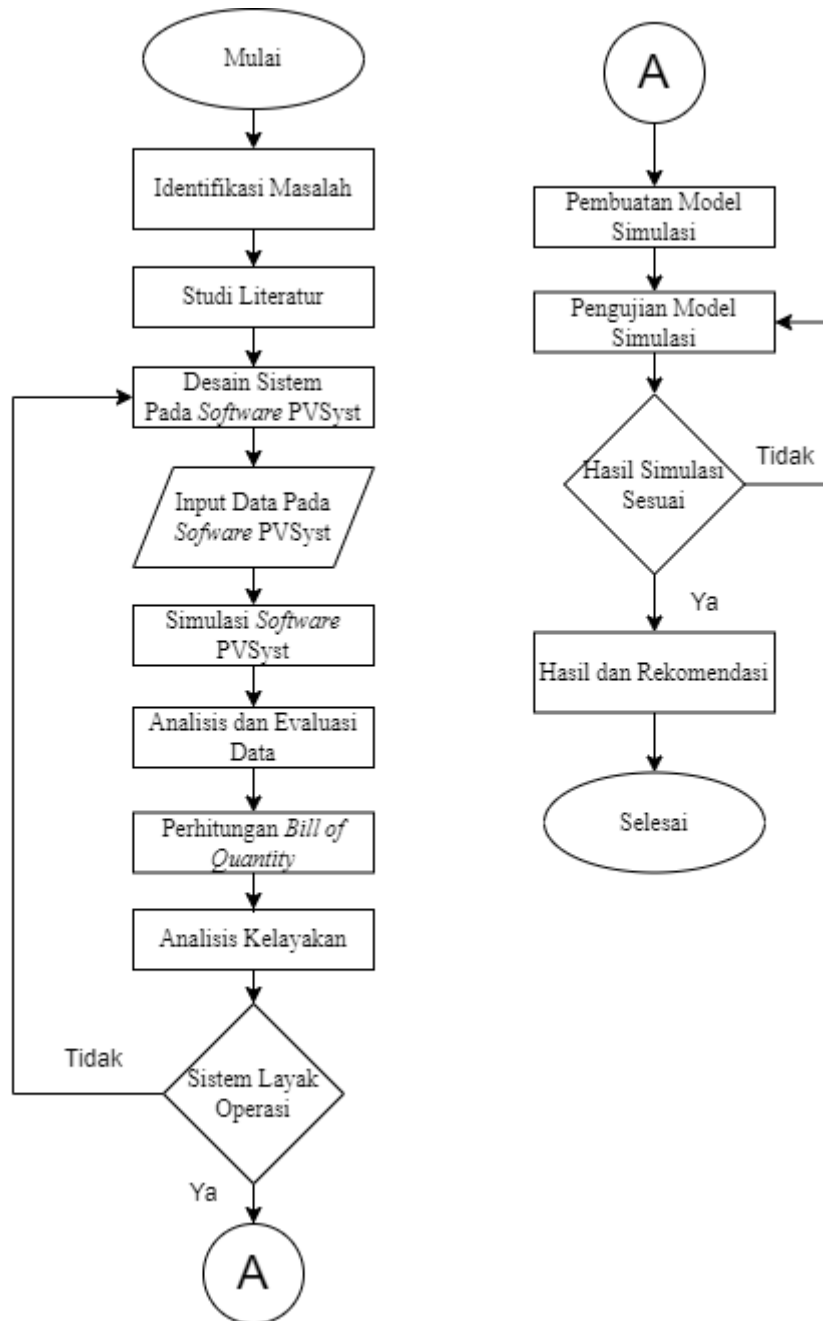
Pada tahap ini dilakukan pemodelan dan simulasi dari stasiun pengisian kendaraan listrik dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan sistem penyimpanan baterai menggunakan *software* MATLAB/Simulink. Sistem yang akan dibuat terdiri dari sistem panel surya, *boost converter*, DC-AC Inverter, jaringan listrik (*grid*), dan rangkaian *EV Battery Charger*. Pada simulasi dilakukan untuk melihat *output* sistem panel surya terhadap nilai iradiasi matahari yang diberikan, mengetahui jumlah energi yang dibutuhkan oleh *charging station*. Hasil simulasi juga dapat melihat jumlah energi yang dapat di ekspor ke jaringan (*grid*).

#### 6. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, penulis membuat laporan terkait hasil yang telah didapatkan dan untuk pertanggungjawaban terhadap penelitian yang dilakukan. Hasil laporan penelitian ini dapat dijadikan saran apakah pembangunan *charging station* yang terintegrasi dengan PLTS *On-Grid* baterai ini layak dilakukan atau tidak layak.

### 3.4. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.5. Analisis Kelayakan Teknis

Dalam merencanakan suatu sistem PLTS (dari aspek teknis) harus dipertimbangkan faktor-faktor seperti rencana pola operasi PLTS (terkoneksi atau tidak dengan *grid*) pada lokasi yang direncanakan. Faktor tersebut menentukan pemilihan jenis dan kapasitas peralatan atau komponen utama yang akan digunakan, seperti modul panel surya dan inverter. Selain itu, tingkat keandalan sistem PLTS yang direncanakan juga mempengaruhi konfigurasi, kapasitas, dan jumlah dari komponen yang digunakan. Tujuan dari perencanaan teknis untuk menghitung kebutuhan daya listrik, menentukan besar daya yang akan dibangkitkan, menghitung jumlah dan kapasitas komponen, serta menentukan konfigurasi sistem yang akan dibangun.

#### 3.5.1. Menghitung Rata-Rata Waktu Penyinaran Matahari

Menghitung rata-rata waktu penyinaran matahari dapat menggunakan persamaan (3.1) berikut:

$$PSH = \frac{GHI}{GSTC} \quad (3.1)$$

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. Menghitung Kapasitas PLTS (*Watt-Peak*)

Dalam menghitung daya yang dibangkitkan *array* panel surya diperlukan data kebutuhan beban energi harian dan data iradiasi rata-rata harian di tempat yang akan dipasang PLTS, maka besaran daya yang dibangkitkan oleh *array* panel surya dapat dihitung. Dalam menghitung kapasitas *array* panel surya, perlu mempertimbangkan efisiensi dan luas modul surya yang digunakan.

### 3.5.3. Menghitung Jumlah Modul Panel Surya

Dalam menentukan jumlah modul panel surya yang dibutuhkan, maka dapat dihitung menggunakan persamaan (3.2) berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{Watt-Peak}}{P_{mpp}} \quad (3.2)$$

Dimana:

$P_{Watt-Peak}$  = Daya yang dapat dibangkitkan *array* modul surya (Watt-Peak)

$P_{mpp}$  = Daya keluaran maksimum panel surya

### 3.5.4 Menghitung Luas Area Efektif

Luas area efektif merupakan area khusus untuk penempatan *array* panel surya, maka untuk menghitung luas area efektif modul surya dapat menggunakan persamaan (3.3) berikut:

$$\text{Luas Area (m}^2\text{)} = \text{Luas Modul Surya} \times \text{Jumlah Modul Surya} \quad (3.3)$$

### 3.5.5 Konfigurasi Modul Panel Surya

Dalam menentukan konfigurasi modul surya yang akan dipasang dapat digunakan persamaan (3.4), (3.5), dan (3.6) berikut:

$$\text{Minimal modul seri per string} = \frac{V_{minInverter}}{V_{ocModul}} \quad (3.4)$$

$$\text{Maksimal modul seri per string} = \frac{V_{maxInverter}}{V_{ocModul}} \quad (3.5)$$

$$\text{Maksimal modul paralel per string} = \frac{I_{maxInverter}}{I_{scModul}} \quad (3.6)$$

Dimana:

$V_{minInverter}$  = Tegangan minimum *input* DC Inverter (V)

$V_{maxInverter}$  = Tegangan maksimum *input* DC Inverter (V)

$I_{maxInverter}$  = Arus maksimum *input* DC Inverter (A)

$V_{ocModul}$  = Tegangan *open-circuit* panel (V)

$I_{scModul}$  = Arus *short-circuit* panel (A)

### 3.5.6 Kapasitas Inverter

Dalam menentukan kapasitas inverter perlu dipertimbangkan besarnya energi DC yang dihasilkan oleh *array* panel surya dan besar daya yang akan dihasilkan oleh keluaran inverter [22]. Nilai rasio DC/AC atau total daya modul surya dibanding keluaran inverter yang ideal berkisar antara 1.1 – 1.3.

## 3.6. Analisis Kelayakan Ekonomis

Analisis kelayakan ekonomis dipengaruhi oleh biaya total investasi yang harus dikeluarkan untuk membeli komponen yang dibutuhkan, biaya operasional dan pemeliharaan, biaya siklus hidup, biaya pembangkitan energi oleh PLTS, serta penjualan energi yang dihasilkan, nilai tingkat diskonto, dan nilai inflasi yang mempertimbangkan parameter kelayakan ekonomis suatu pekerjaan/proyek.

### 3.6.1 Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal merupakan biaya yang digunakan untuk membeli komponen-komponen saat akan melakukan pemasangan PLTS. Komponen yang akan digunakan pada PLTS dipertimbangkan sesuai dengan kapasitas sistem PLTS yang akan dipasang. Maka dari itu, diperlukan adanya *Bill of Quantities* (BoQ) untuk menentukan komponen yang diperlukan beserta harga satuan item komponen hingga total rancangan anggaran biaya pemasangan.

### 3.6.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan per tahun untuk sistem PLTS biasanya sebesar 1 – 2 % dari total biaya investasi awal [23]. Sehingga untuk menghitung biaya operasional dan pemeliharaan dapat menggunakan persamaan (3.7) berikut:

$$\text{Biaya O\&M per Tahun} = 1\% \times \text{Biaya Investasi Awal} \quad (3.7)$$

### 3.6.3 Biaya Siklus Hidup PLTS (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup merupakan biaya yang harus dikeluarkan selama sistem PLTS bekerja. Biaya siklus hidup dapat dihitung menggunakan persamaan (3.8) berikut [24]:

$$LCC_n = \sum_{t=1}^n \text{Biaya investasi} + \text{Biaya O\&M} + \text{Biaya penggantian alat} \quad (3.8)$$

Dimana:

$$LCC_n = \text{Biaya siklus hidup}$$

### 3.6.4 *Levelized Cost of Energy (LCoE)*

LCOE digunakan untuk mengukur biaya rata-rata pembangkitan listrik selama sistem masih menghasilkan energi. LCOE dihitung dengan mengambil total biaya sistem energi, termasuk biaya konstruksi, operasi, dan pemeliharaannya, dan membaginya dengan jumlah total energi yang diproduksi selama masa pakainya [25]. Menghitung *LCOE* dan Pembangkitan energi listrik yang dihasilkan pada tahun ke- $t$  untuk menentukan harga jual energi listrik PLTS yang dirumuskan pada persamaan (3.9) dan (3.10) berikut:

$$Et = \sum_{t=1}^n E_{t=i}(1 - d)^t \quad (3.9)$$

$$LCoE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{LCC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}} \quad (3.10)$$

Dimana:

$$LCC = \text{Life Cycle Cost atau arus keluar}$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{LCC}{(1+r)^t} = \text{Total Present Value Life Cycle Cost}$$

$$r = \text{Nilai suku bunga}$$

$$E_t = \text{Total pembangkitan energi listrik yang dihasilkan pada tahun ke-}t$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} = \text{Total Present Value pembangkitan energi listrik}$$

$$n = \text{Umur pakai pembangkit}$$

$$d = \text{Faktor degradasi}$$



### 3.6.5 *Net Present Value (NPV)*

*Net Present Value* atau NPV adalah indikator pertama dalam menentukan kelayakan ekonomi suatu proyek dengan perhitungan antara biaya ( arus kas keluar) dengan pendapatan ( arus kas masuk) [26]. NPV menentukan nilai akhir masa pakai suatu proyek dengan mempertimbangkan arus kas yang didiskontokan. NPV menjadi penentu untuk membandingkan suatu proyek dengan umur dan biaya investasi awal yang sama. NPV tidak memberikan gambaran tentang profitabilitas suatu proyek [27]. Menentukan nilai dari *Net Present Value* (NPV) dapat menggunakan persamaan (3.11) berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - IA \quad (3.11)$$

Dimana:

$NCF_t$  = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n

IA = Investasi awal

$\frac{1}{(1+i)^t}$  = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur proyek)

Suatu proyek dapat dikatakan layak atau tidak dalam pengambilan keputusan investasi dengan menggunakan metode *Net Present Value* dapat dinyatakan dengan dua kriteria, yaitu [26], [27]:

1. Jika nilai NPV < 0, maka proyek dinyatakan tidak layak untuk dilaksanakan
2. Jika nilai NPV > 0, maka proyek dinyatakan layak untuk dilaksanakan

### 3.6.6 *Discounted Payback Period (DPP)*

*Discounted Payback Period* (DPP) adalah alat analisis keuangan yang menilai berapa tahun yang dibutuhkan agar arus kas sama dengan biaya investasi awal dan menentukan seberapa cepat investasi yang ditanamkan dapat dikembalikan [26]. Untuk menentukan nilai *Discounted Payback Period* (PP) dapat menggunakan persamaan (3.12) berikut:

$$DPP = n + \frac{a - b}{c - b} \times 1 \text{ tahun} \quad (3.12)$$

Dimana:

- n = Tahun terakhir jumlah arus kas bernilai negative  
 a = Jumlah investasi awal  
 b = Total kumulatif arus kas pada tahun ke-n  
 c = Total kumulatif arus kas pada tahun ke-(n+1)

Suatu proyek dapat dikatakan layak atau tidak dalam pengambilan keputusan investasi berdasarkan umur proyek dengan menggunakan metode *Payback Period* dapat dinyatakan dengan dua kriteria, yaitu:

1. Jika nilai  $DPP < Life\ Time$  Proyek, maka proyek dinyatakan layak untuk dilaksanakan
2. Jika nilai  $DPP > Life\ Time$  Proyek, maka proyek dinyatakan tidak layak untuk dilaksanakan

### 3.6.7 Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat diskonto yang menjadikan NPV nol. Berbeda dengan NPV, IRR tidak memberikan informasi mengenai total pendapatan namun memberikan gambaran tentang profitabilitas dengan memberikan tingkat pengembalian yang diperoleh dari suatu proyek. IRR yang lebih besar dari tingkat bunga berarti proyek tersebut menghasilkan nilai. Nilai IRR yang tinggi berarti mempunyai profitabilitas yang tinggi [27]. Dalam menentukan nilai IRR maka dapat digunakan persamaan (3.13) berikut:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1) \quad (3.13)$$

Dimana:

- $i_1$  = Nilai suku bunga yang digunakan ketika NPV terakhir bernilai positif  
 $i_2$  = Nilai suku bunga yang digunakan ketika NPV terakhir bernilai negatif  
 $NPV_1$  = NPV terakhir bernilai positif  
 $NPV_2$  = NPV terakhir bernilai negatif

### 3.6.8 Profitability Index (PI)

Indeks Profitabilitas (PI) menunjukkan berapa banyak keuntungan atau kerugian yang diperoleh proyek dalam jangka waktu tertentu. Jika nilai  $PI = 1$  artinya titik balik modal. Ketika nilai  $PI$  sama dengan 2 maka artinya keuntungan investasi menjadi dua kali lipat [28]. Nilai  $PI$  dapat dihitung dengan persamaan (3.14) berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t (1 + i)^{-t}}{IA} \quad (3.14)$$

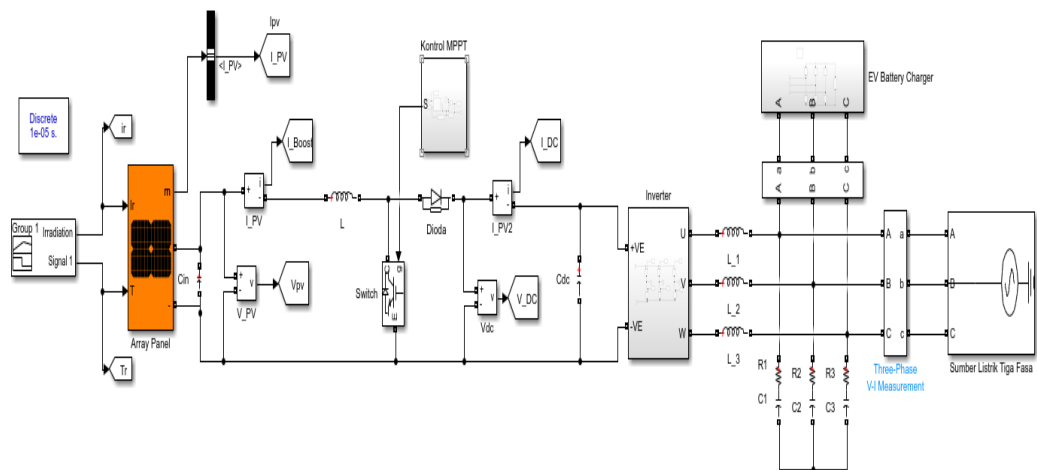
Dimana:

$\sum_{t=1}^n NCF_t (1 + i)^{-t}$  = Total nilai sekarang arus kas bersih

IA = Investasi Awal

### 3.7. Skema Charging Station Dengan PLTS On-Grid

Berikut merupakan skema dari desain dan simulasi yang akan dilakukan menggunakan *software Simulink*.

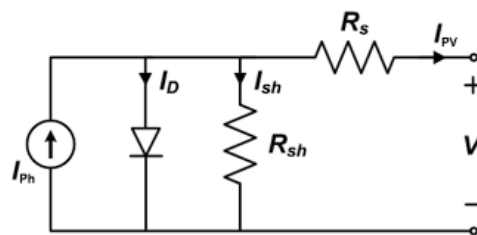


Gambar 3.2 Skema *Charging Station Dengan PLTS On-Grid*

### 3.7.1 Pemodelan Sel Surya

Pemodelan sel surya *photovoltaic* (PV) dapat dilakukan sebagai baik sumber arus maupun tegangan, sehingga kombinasi seri dan paralel dapat dilakukan pada sel surya. Rangkaian dari sel surya dapat digambarkan dengan sebuah sumber *photocurrent*, diode, resistansi seri ( $R_s$ ), dan resistansi paralel ( $R_{sh}$ ) [29].

*Photocurrent* ( $I_{ph}$ ) memiliki nilai yang bervariasi bergantung terhadap paparan radiasi matahari yang mengenai sel surya dan suhu permukaan sel surya. Resistansi seri dan resistansi paralel merupakan resistansi dalam dari sel surya.



Gambar 3.3 Rangkaian Ekuivalen Sel Surya

Berdasarkan Gambar 3.3 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (3.15)$$

Dimana:

$I_{PV}$  = Arus keluaran *photovoltaic* (A)

$I_{ph}$  = Arus *photocurrent* (A)

$I_D$  = Arus diode (A)

$I_{sh}$  = Arus shunt (A)

Tegangan jatuh diode mengatur arus yang melalui elemen-elemen tersebut dirumuskan dengan persamaan (3.16) berikut:

$$V_D = V_{PV} + I_{PV}R_s \quad (3.16)$$

Dimana:

$V_D$  = Tegangan yang melewati diode dan resistor  $R_{sh}$  (V)

$V_{PV}$  = Tegangan yang melewati terminal keluaran (V)

$I_{PV}$  = Arus *output* (A)

$R_s$  = Resistansi seri ( $\Omega$ )

Berdasarkan persamaan diode Shockley, arus yang dialihkan melalui diode adalah sebagai berikut:

$$I_D = I_o \left[ e^{\left(\frac{qV_D}{nkT}\right)} - 1 \right] \quad (3.17)$$

Dimana:

$I_o$	= Arus balik saturasi (A)
$n$	= Faktor ideal dioda
$q$	= Elektron ( $1.6 \times 10^{-19}$ C)
$k$	= Konstanta Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$ J/K)
$T$	= Suhu absolut

Berdasarkan hukum Ohm, arus yang dialihkan melalui resistor shunt adalah sebagai berikut:

$$I_{Sh} = \frac{V_D}{R_{Sh}} \quad (3.18)$$

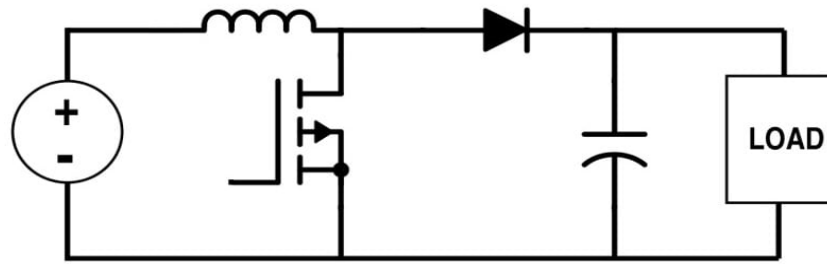
Dengan mensubstitusikan persamaan (3.17) dan (3.18) ke persamaan (3.11) dan menggunakan persamaan (3.16) maka dihasilkan persamaan karakteristik sel surya yang menghubungkan parameter sel surya dengan arus dan tegangan keluaran [29].

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left( e^{\left(\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{nkT}\right)} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{R_{sh}} \quad (3.19)$$

Persamaan (3.19) bergantung pada paparan iradiasi matahari, suhu sel surya, dan nilai referensi yang disediakan oleh produsen panel surya untuk kondisi operasi *Standard Test Condition* (STC) di mana nilai iradiasi matahari adalah  $1000 \text{ W/m}^2$  dan nilai suhu adalah  $25^\circ\text{C}$ .

### 3.7.2 Boost Converter

*Boost Converter* merupakan jenis DC – DC *Converter* yang memiliki nilai tegangan tegangan yang lebih besar dibandingkan tegangan masukan. Rangkaian *Boost Converter* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 DC – DC *Boost Converter*

Ketika sakelar dalam kondisi tertutup, maka diode dalam keadaan *reverse bias* sehingga arus akan melalui induktor (L) dan terjadi penyimpanan muatan. Ketika sakelar terbuka, maka dioda dalam keadaan *forward bias* dan induktor (L) akan membuang muatannya bersama-sama dengan tegangan sumber mengisi kapasitor, sehingga tegangan keluaran akan lebih besar nilainya dari tegangan masukan.

Saat merancang *boost converter* sesuai dengan tegangan keluaran yang diperlukan, *duty cycle* dapat dihitung dengan persamaan (3.20) berikut [30]:

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} \quad (3.20)$$

Nilai induktor dipilih berdasarkan estimasi arus riak induktor pada tegangan input maksimum. Persamaan untuk mencari nilai induktor diberikan oleh persamaan (3.21) berikut:

$$L_{min} \geq \frac{D(1-D)^2 R}{2 \times f} \quad (3.21)$$

Dimana  $\Delta IL$  adalah perkiraan arus riak induktor. Untuk mode kondisi kontinu (CCM), induktansi yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan (3.22) berikut:

$$L = \frac{V_s \times D}{\Delta I_L \times f} \quad (3.22)$$

Nilai kapasitor dihitung dengan variasi tegangan keluaran atau riak yang dapat dilihat dari persamaan (3.23) berikut:

$$C = \frac{D}{\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) \times f_s \times R_o} \quad (3.23)$$

Dimana  $\Delta V_o$  adalah riak tegangan yang diinginkan, untuk riak tegangan 1% maka nilai kapasitor dapat dihitung dengan persamaan (3.24) berikut:

$$C = \frac{D}{0.01 \times f_s \times R_o} \quad (3.24)$$

### 3.7.3 Three-Phase DC-AC Inverter

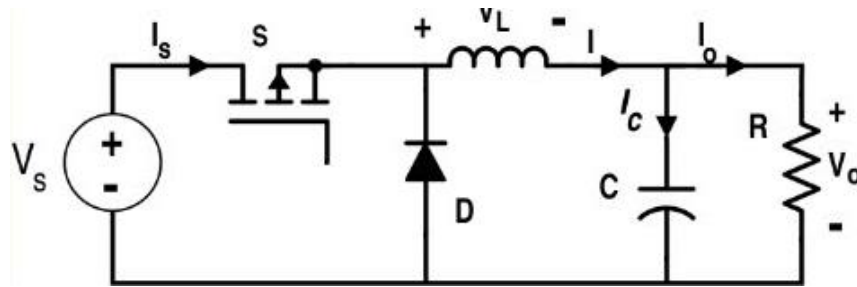
Pada sistem PLTS *On-Grid* atau PLTS *Off-Grid*, Inverter DC-AC adalah komponen yang dibutuhkan untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan panel surya menjadi listrik AC yang dibutuhkan oleh beban dengan frekuensi 50 Hz. Inverter bekerja dengan mengambil tegangan referensi dari jaringan (*grid*) sebagai acuan standard pembangkitan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Selanjutnya sinyal dikirim menuju *gate* dari komponen pensakelaran seperti IGBT. Sistem pensakelaran mengubah sumber tegangan DC menjadi AC ataupun sebaliknya. Filter pasif juga bekerja dengan mengubah sinyal keluaran inverter menjadi gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50 Hz dan keluaran sinyal AC inverter terhadap sinyal *grid* memiliki perbedaan fasa sehingga dapat mendeteksi beda 3 fasa *delay* PWM. Maka dari itu nilai tegangan dan beda fasa *output* inverter dapat diubah sesuai nilai referensi *grid* [31].

Inverter tiga fasa terdiri dari 6 komponen *switching* dan memerlukan 6 sinyal PWM untuk bekerja. Inverter tiga fasa terbagi menjadi dua topologi sesuai dengan kebutuhannya, yaitu *Voltage Source Inverter* (VSI) dan *Current Source Inverter* (CSI).

Sinyal keluaran inverter dapat dikontrol dengan Teknik PWM dengan mengatur periode *ON* dan *OFF* dari pensakelaran inverter. *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) lebih banyak digunakan untuk mengontrol tegangan dan frekuensi *output* inverter yang dapat dilakukan sesuai dengan fungsi sinus yang digunakan. Sinyal untuk pemicu pensakelaran inverter didapatkan dari komparasi sinyal segitiga yang juga disebut dengan sinyal *carrier* dengan sinyal *sinusoidal* tiga fasa yang juga disebut dengan sinyal *reference*. Sinyal *carrier* memiliki frekuensi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sinyal *reference*.

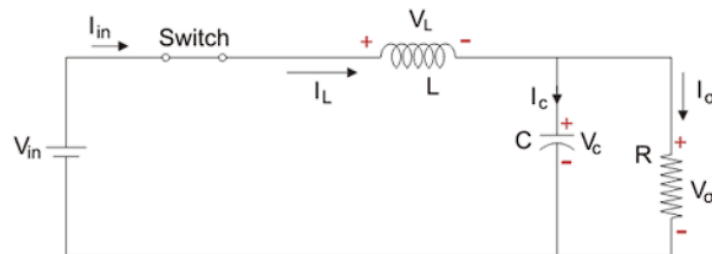
### 3.7.4 Buck Converter

*Buck Converter* merupakan converter dc-dc yang memiliki nilai tegangan keluaran lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan masukan. Rangkaian dasar *Buck Converter* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.5 DC – DC *Buck Converter*

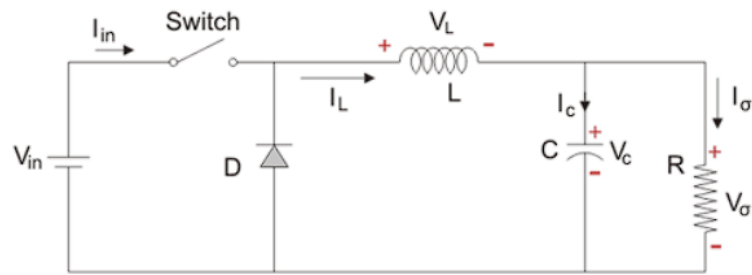
Ketika berada pada *state ON*, sakelar akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (konduksi) selama interval waktu  $dt$ , maka arus dari tegangan sumber  $V_{in}$  akan mengalir melalui induktor  $L$ , beban dan kembali lagi ke sumber. Dioda dalam keadaan *reverse bias*. Karena tegangan yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor meningkat secara linear.



Gambar 3. 6 Rangkaian *Buck Converter* Sakelar Tertutup

Ketika berada pada *state OFF*, sakelar menjadi terbuka mengakibatkan arus dari sumber input tidak dapat mengalir melewati sakelar ini. Sehingga sumber untuk tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda menjadi aktif. Arus mengalir dari induktor menuju beban melalui dioda dan kembali menuju induktor. Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil dibandingkan saat *state ON* dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara linear.





Gambar 3.7 Rangkaian *Buck Converter* Sakelar Terbuka

Saat merancang *buck converter* sesuai dengan tegangan keluaran yang diperlukan, *duty cycle* dapat dihitung dengan persamaan (3.25) berikut:

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (3.25)$$

Dalam mendesain konverter perlu ditetapkan beberapa variabel, seperti tegangan keluaran, tegangan keluaran, arus keluaran, dan frekuensi *switching*. Untuk menentukan.

Untuk kondisi ideal, membuka dan menutupnya switch akan membuat induktor L mengalami pengisian dan pelepasan muatan. Penentuan besarnya nilai induktansi L dilakukan dengan memperhatikan arus pada induktor dimana agar buck converter bekerja pada mode kontinu sehingga besarnya induktansi harus memenuhi persamaan (3.26) berikut:

$$L_{min} > \frac{(1-D)R}{2f} \quad (3.26)$$

Untuk menentukan nilai induktansi puncak ke puncak arus induktor pada operasi kontinu dengan persamaan (3.27) berikut:

$$\Delta i_L = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) \cdot DT \quad (3.27)$$

$$\Delta i_L = \left( \frac{V_s - V_o}{L_f} \right) \cdot D$$

$$\Delta i_L = \frac{V_o(1-D)}{L_f}$$

Besarnya nilai induktor dihitung dengan persamaan (3.28) berikut:

$$L = \frac{V_o(1-D)}{\Delta i_L f} \quad (3.28)$$

$$L = \frac{V_{in} \cdot D(1-D)}{\Delta i_L f}$$

Sedangkan, untuk menentukan nilai kapasitansi pada kapasitor C dapat dilakukan dengan memperhatikan *ripple* yang terjadi pada tegangan keluaran. Persamaan hubungan faktor *ripple* dinyatakan pada persamaan (3.29) berikut:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (3.29)$$

Sehingga besarnya nilai kapasitor dapat dihitung dengan persamaan (3.31) berikut:

$$C = \frac{(1-D)}{8L\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)f^2} \quad (3.30)$$

## V. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian berhasil merencanakan sistem charging station yang terintegrasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid. Dengan kapasitas yang dirancang sebesar 60 kWp, PLTS On-Grid mampu menyuplai energi untuk memenuhi kebutuhan pengisian kendaraan listrik. Perancangan sistem PLTS On-Grid ini menghasilkan potensi energi sebesar 88,636 MWh/tahun dengan nilai performance ratio sebesar 84,30% dan nilai solar fraction sebesar 72,40%.
2. Simulasi menunjukkan bahwa output energi photovoltaic sangat dipengaruhi oleh nilai iradiasi matahari di lokasi pemasangan. Peningkatan iradiasi menghasilkan output daya yang lebih besar, menunjukkan bahwa perencanaan lokasi yang strategis dengan paparan matahari optimal sangat penting. Nilai *Global Horizontal Irradiation* pada lokasi GSG dalam setahun sebesar 1785,6 kWh/m<sup>2</sup>. Nilai *Global Horizontal Irradiation* tertinggi terjadi pada bulan Oktober, sedangkan nilai *Global Horizontal Irradiation* terendah terjadi pada bulan Juni sebesar 133,1 kWh/m<sup>2</sup>.
3. Berdasarkan analisis ekonomis dan kelayakan investasi, sistem PLTS *On-Grid* yang dirancang layak untuk dijalankan karena nilai NPV dari proyek bernilai positif dengan jangka waktu pengembalian 13,94 tahun. Selain itu, didapatkan nilai *profitability index* sebesar 1,26 dan nilai IRR sebesar 11,63%. Harga pembangkitan energi per kWh dari sistem sebesar Rp.508,901.

## 5.2. Saran

1. Perlu adanya penelitian dengan menggunakan konfigurasi sistem yang lain, seperti PLTS *Off-Grid* dan PLTS *Hybrid* sebagai hasil pembandingan baik dari aspek teknis maupun aspek ekonomis untuk mendapatkan konfigurasi yang optimal dari sistem PLTS untuk memenuhi kebutuhan stasiun kendaraan listrik.
2. Perencanaan sistem perlu dicoba untuk diimplementasikan agar mendapatkan hasil yang nyata dari penggunaan energi surya untuk memenuhi kebutuhan energi pada stasiun kendaraan listrik di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Adnan Padhilah Ilham Rizqian Fahreza Surya Pintoko Aji, D. D. Arinaldo Handriyanti Puspitarini Julius C Adiatma, and F. C. Tumiwa Julius Adiatma, “*Indonesia Electric Vehicle Outlook 2023 Electrifying Transport Sector: Tracking Indonesia EV Industries and Ecosystem Readiness,*” *Inst. Essent. Serv. Reform*, 2023.
- [2] A. Bagaskara *et al.*, “*Indonesia Energy Transition Outlook 2023: Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Pursuing Energy Security in the Time of Transition,*” *Inst. Essent. Serv. Reform*, p. Please cite this report as: IESR (2022). Indonesia, 2023, [Online]. Available: [www.irena.org](http://www.irena.org).
- [3] D. Harjono and W. Widodo, “Analisis Sistem Penggerak Motor BLDC Pada Mobil Listrik Ponocar,” *J. Elit*, vol. 2, no. 1, pp. 11–22, 2021, doi: 10.31573/elit.v2i1.212.
- [4] *National Energy General Plan (NEGP)*, vol. s7-XI, no. 287. 1891, p. 508.
- [5] C. S. Candra, “*Evaluation of Barriers to Electric Vehicle Adoption in Indonesia through Grey Ordinal Priority Approach,*” *Int. J. Grey Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 38–56, 2022, doi: 10.52812/ijgs.46.
- [6] S. Palaloi and M. Nurhuda, "Sistem Pengisian Kendaraan Listrik Dari Pv Dan Grid Pln: Studi Kasus Charging Station 20 Kw", B2tke Puspipstek, no. January. 2020.
- [7] V. Sharma, S. Mahfuzul, M. H. Haque, and T. Kauschke, “*Effects of high solar photovoltaic penetration on distribution feeders and the economic impact,*” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 131, no. December 2019, p.

- 110021, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110021.
- [8] J. Zhang *et al.*, “Design scheme for fast charging station for electric vehicles with distributed photovoltaic power generation,” *Glob. Energy Interconnect.*, vol. 2, no. 2, pp. 150–159, 2019, doi: 10.1016/j.gloi.2019.07.003.
- [9] R. Herdian, A. Lomi, and A. Uji Krismanto, “Analisis Manajemen Energi Charging Station Dengan Pemanfaatan Plts 0.5 Mwp On Grid Di Itn Malang,” *Dr. Diss. Inst. Teknol. Nas. Malang*, 2022.
- [10] S. Sriyadi, Y. Z. Arief, S. Wilyanti, and R. R. Al-Hakim, “Desain Plts Atap Spklu Di Pln Unit Induk Distribusi Jakarta Raya,” *Electro Luceat*, vol. 9, no. 1, pp. 50–63, 2023, doi: 10.32531/jelekn.v9i1.597.
- [11] I. P. Dharmawan, I. N. S. Kumara, and I. N. Budiastira, “Perkembangan Infrastruktur Pengisian Baterai Kendaraan Listrik Di Indonesia,” *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 3, p. 90, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i03.p12.
- [12] Ira Fitriana, A. Sugiyono, Adiarso, and E. Hilmawan, "Penguatan Ekonomi Berkelanjutan Melalui Penerapan Kendaraan Berbasis Listrik", no. June 2021. 2020.
- [13] N. S. Kumara, “Tinjauan Perkembangan Kendaraan Listrik Dunia Hingga Sekarang,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, pp. 89–96, 2012.
- [14] M. Aziz, Y. Marcellino, I. A. Rizki, S. A. Ikhwanuddin, and J. W. Simatupang, “Studi Analisis Perkembangan Teknologi Dan Dukungan Pemerintah Indonesia Terkait Mobil Listrik,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 45, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7898.
- [15] B. A. Saputro, “Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol Terhadap Performa Dan Emisi Kendaraan Jenis *Plug in Hybrid, Hybrid* Dan *Internal Combustion Engine*,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2020.
- [16] Surya, I. K. A. Setiawan, I. N. S. Kumara, and I. W. Sukerayasa, “Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp

- Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli,” *Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 27–33, 2014.
- [17] T. K. A. W. Hasanah, “Kajian Sistem Kinerja PLTS *Off-Grid* 1 kWp DI STT-PLN,” *J. Energi Keslitrikan*, vol. 1, no. 69, pp. 5–24, 2018.
- [18] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap Di Indonesia. 2020.
- [19] P. Surya and M. Junus, “Kajian PLTS *on-grid* pada gedung X Politeknik Negeri Malang untuk melayani beban perkantoran menggunakan perangkat HOMER PRO,” *J. Eltek*, vol. 19, no. 2, p. 96, 2021, doi: 10.33795/eltek.v19i2.320.
- [20] W. C. Diantari Aita Retno, Erlina, “Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 120–125, 2018.
- [21] E. Nasrullah, S. Alam, and A. Arif, “Perancangan Alat Ukur *State of Charge*, *Depth of Discharge* Dan *State of Health* Baterai Lithium-Ion (Li-Ion) Dan Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-Mh) Menggunakan Arduino Nano,” *Pros. SINTA 2022*, pp. 204–212, 2022, [Online]. Available: <http://sinta.eng.unila.ac.id/prosiding/index.php/ojs/article/view/85>.
- [22] B. Paudel *et al.*, “*Techno-economic and environmental assessment of utilizing campus building rooftops for solar PV power generation*,” *Int. J. Green Energy*, vol. 00, no. 00, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1080/15435075.2021.1904946.
- [23] J. Windarta, E. W. Sinuraya, D. Mahardhika, and I. Muammar, “Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem *On Grid* untuk *Supply* Listrik pada Lingkungan Bank Perkreditan Rakyat Pedesaan di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara ditinjau dari Teknis dan Ekonomi Teknik,” *Semin. Nas. Pengabd. Kpd. Masy. UNDIP 2020*, pp. 73–82, 2020.
- [24] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, “Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Departemen Teknik Elektro

- Universitas Diponegoro,” *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 875, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.875-882.
- [25] S. Afonaa-Mensah, F. Odoi-Yorke, and I. Babatunde Majeed, “Evaluating the impact of industrial loads on the performance of solar PV/diesel hybrid renewable energy systems for rural electrification in Ghana,” *Energy Convers. Manag. X*, vol. 21, no. October 2023, p. 100525, 2024, doi: 10.1016/j.ecmx.2024.100525.
- [26] P. Gamonwet and S. Dhakal, “The assessment of the value of electricity saving and economic benefit to residential solar rooftop PV customer: The case of Thailand,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 50, no. April, 2023, doi: 10.1016/j.esr.2023.101203.
- [27] Ö. Gönül, A. C. Duman, B. Barutçu, and Ö. Güler, “Techno-economic analysis of PV systems with manually adjustable tilt mechanisms,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 35, 2022, doi: 10.1016/j.jestch.2022.101116.
- [28] S. Rodrigues *et al.*, “Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries,” *Sol. Energy*, vol. 131, pp. 81–95, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.02.019.
- [29] A. S. Samosir, “Modeling and evaluation of solar photovoltaic emulator based on simulink model,” *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 22, pp. 10288–10295, 2015.
- [30] P. Sahu, D. Verma, and S. Nema, “Physical Design and Modelling of Boost Converter systems,” *2016 Int. Conf. Electr. Power Energy Syst.*, pp. 10–15, 2018, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7915898>.
- [31] Asnil, Krismadinata, and I. Husnaini, “Desain dan Analisis Inverter Tiga Fasa Menggunakan Metode SPWM,” *Semin. Nas. Tek. Elektro*, pp. 16–20, 2018.