

**ANALISA KELAYAKAN PLTS *ON-GRID* SEBAGAI SUMBER
ENERGI *ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION*
(EVCS / SPKLU)**

(Skripsi)

Oleh
Nadia Ade Puspita



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ANALISA KELAYAKAN PLTS ON-GRID SEBAGAI SUMBER
ENERGI *ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION*
(*EVCS / SPKLU*)**

**Oleh
NADIA ADE PUSPITA**

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISA KELAYAKAN PLTS *ON-GRID* SEBAGAI SUMBER ENERGI *ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION* (*EVCS / SPKLU*)

Oleh:

Nadia Ade Puspita

Penggunaan energi dan transportasi berbasis fosil memiliki dampak lingkungan yang negatif, seperti emisi CO₂, pemanasan global dan polusi udara. KESDM menetapkan target bauran energi primer yang berasal dari EBT sebesar 31% pada 2050 sebagai upaya menuju *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060. Indonesia melalui Perpres No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan EV untuk Transportasi Jalan, yang perlu dibarengi dengan infrastruktur pengisian kendaraan Listrik. Penggunaan PLTS Sebagai suplai energi SPKLU menjadi Solusi dan merupakan harapan untuk masa depan yang berkelanjutan. Saat ini SPKLU disuplai jaringan PLN berbahan energi primer fosil. Perancangan PLTS On-Grid sebagai sumber energi *EVCS / SPKLU* untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mendukung transisi menuju energi bersih. Metode yang digunakan yaitu Mengoptimalkan konfigurasi sistem dengan menganalisa Kelayakan Teknis, Emisi dan Ekonomis. PLTS On-Grid dengan jumlah modul sebanyak 75 modul menghasilkan potensi energi sebesar 58,54 MWh/tahun, sehingga mampu memenuhi kebutuhan beban mobil Listrik SPKLU sebesar 17 MWh/tahun. Sistem ini mereduksi emisi karbon sebesar 1.029 *tCO₂eq*. Analisa ekonomis dan investasi, didapatkan hasil NPV bernilai positive Rp. 177.073.429, DPP sebesar 11,57 tahun dan PI sebesar 1,38 sehingga dikatakan Layak.

Kata kunci: PLTS On-Grid, SPKLU, *Net Zero Emission*, NPV.

ABSTRACT

FEASIBILITY ANALYSIS OF ON-GRID PLTS AS A SOURCE OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION (EVCS / SPKLU) ENERGY

By

Nadia Ade Puspita

The use of fossil-based energy and transportation has negative environmental impacts, such as CO₂ emissions, global warming and air pollution. The Ministry of Energy and Mineral Resources has set a primary energy mix target originating from EBT of 31% by 2050 as an effort towards Net Zero Emission (NZE) by 2060. Indonesia through Presidential Decree No. 55 of 2019 concerning the Acceleration of EVs for Road Transportation, which needs to be accompanied by electric vehicle charging infrastructure. Using PLTS as an energy supply for SPKLU is a solution and is a hope for a sustainable future. Currently SPKLU is supplied by a PLN network made from fossil primary energy. Design of On-Grid PLTS as an EVCS / SPKLU energy source to reduce dependence on fossil energy and support the transition to clean energy. The method used is optimizing the system configuration by analyzing technical, emissions and economic feasibility. On-Grid PLTS with a total of 75 modules produces an energy potential of 58.54 MWh/year, so it is able to meet the load needs of SPKLU electric cars of 17 MWh/year. This system reduces carbon emissions by 1,029 *tCO₂eq*. Economic and investment analysis, the results obtained were that the NPV was positive Rp. 177,073,429, the DPP was 11.57 years and the PI was 1.38 so it was said to be feasible.

Key Words: PLTS On-Grid, EVCS, Net Zero Emission, NPV.

MENGESAHKAN

Tim Penguji

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

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

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

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

NIP. 19750928/20011010021

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 Januari 2025**

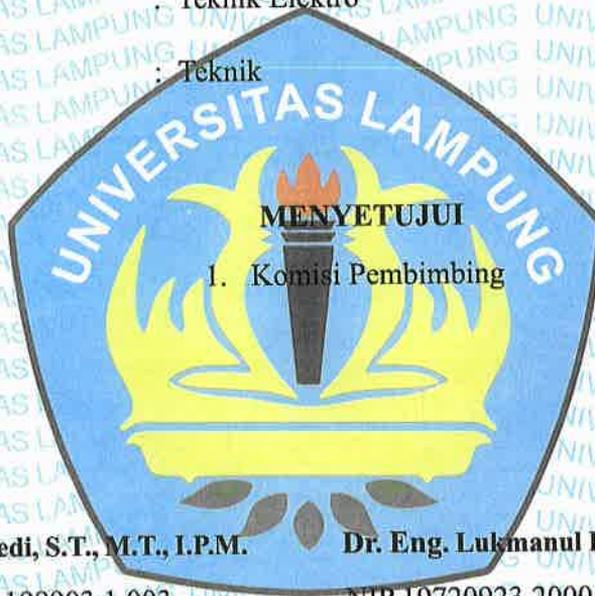
Judul Skripsi : ANALISA KELAYAKAN PLTS ON-GRID SEBAGAI SUMBER ENERGI ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION (EVCS/SPKLU)

Nama Mahasiswa : NADIA ADE PUSPITA

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115031120

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T., I.P.M.

NIP 19710813 199903 1 003

Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., I.P.M.

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

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 sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Februari 2025



Nadia Ade Puspita

NPM 2115031120

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 13 November 2003, merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Agusta Yusuf dan Ibu Enda Purnama. Penulis memiliki tiga orang saudara, yaitu kakak Perempuan yang bernama Meliza Ade Puspita, kakak laki laki bernama Ade Putra Ramadani dan Nadhirsyah Ade Patria. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat dasar di SD Kartika II-5 Bandar

Lampung yang diselesaikan pada tahun 2015, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Al-Azhar 3 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2018, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMA N 12 Bandar Lampung.

Penulis diterima di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2021. Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung dalam Asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik pada tahun 2023. Berperan aktif menjadi asisten dosen Mata Kuliah Menggambar Teknik dan asisten Praktikum Analisa Sistem Tenaga tahun 2024. Penulis juga tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) sebagai anggota Department PPD dan menjadi *Co-Founder* dan Presiden dari *Society of Renewable Energy* (SRE) Unila, serta menjadi Wakil Ketua Bidang Perdagangan, Per-Industrialian dan BUMN di Himpunan Pengusaha Muda Indonesia PT Unila.

Penulis telah melakukan kerja praktik di Kantor PT. PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang, Lampung selama 40 hari. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul **“ANALISA KELAYAKAN PLTS ON-GRID SEBAGAI SUMBER ENERGI *ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION*”**.

Bismillahirrohmanirrohiim

**KUPERSEMBAHKAN
SKRIPSI INI KEPADA**

**MAMAH DAN PAPAH
ENDA PURNAMA DAN AGUSTA YUSUF**

**SERTA
KAKAK DAN PONAKANKU**

**KELUARGA BESAR, DOSEN, SAHABAT, TEMAN
DAN
ALMAMATER**

MOTTO dan QUOTES

**Allahumma inni as-aluka 'ilman naafian, wa rizqan tayyiban, wa'amalan
mutaqobbalan"**

**-Ya Allah, aku memohon kepadamu ilmu yang bermanfaat, rezeki yang baik
dan amal yang diterima-**

**"Berani. Kamu lahir untuk hal hal besar, lebih daripada Dirimu sendiri"
(Ad Maiora Natus Sum)**

"Calculate your next steps, your whole life is ahead of you"

"Saat kamu merasa tidak bisa, tapi kamu berusaha. Itu namanya bisa"

SANWACANA

Puji Syukur kepada Allah *subhanahu wa ta'ala*, atas limpahan Rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa kita curahkan kepada Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam*.

Tugas akhir dengan judul “Analisa Kelayakan PLTS *On-Grid* Sebagian suplai energi *Electric Vehicle Charging Station* (EVCS/SPKLU)” 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. Mamah dan Papah, Kakak (Kanjeng, Uan, Iyay, punan dan abang) serta ponakan ponakan penulis yang selalu mendoakan, mendukung dan memfasilitasi penulis sehingga penulis dimudahkan dalam menyelesaikan tugas akhir di waktu yang tepat.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T., I.P.M. selaku dosen pembimbing utama yang selalu membimbing, mengarahkan dan support penulis dengan tulus dan penuh kesabaran. Menanamkan karakter disiplin, detail dan logic pada penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik.

7. Bapak Dr.Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., I.P.M. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan arahan, saran dan koreksi kepada penulis dengan baik, sehingga penulis mendapat pembelajaran untuk lebih kritis.
8. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan, saran dan kritik yang membangun kepada Penulis.
9. Ibu Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, support dan arahan selama penulis menjadi Mahasiswa Teknik Elektro.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis selama perkuliahan.
11. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
12. Bapak Ibu Dosen Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dan Pak Rahman yang telah memberikan support dan fasilitas kepada penulis.
13. Alysa, Choi dan Diah yang sudah menjadi Sahabat penulis dari Mahasiswa Baru hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Memberi semangat, tawa dan menjadi pendengar yang baik untuk penulis.
14. Andin dan Shelo, Sahabat penulis yang membersamai penulis dalam penulisan Tugas Akhir, memberikan support, pundak dan kegembiraan kepada penulis.
15. Seluruh Keluarga Besar Lab. Sistem Tenaga Listrik Imam, Frissa, Desta, Rasyid, Jerry, Eikel, Tegar dan Rasel, yang sudah membersamai penulis selama menjadi Asisten dan saat mengerjakan Tugas Akhir. Rika sahabat sekaligus seperbimbingan dengan penulis.
16. Sahabat TK Anita, Sahabat SMP (Davina, Eti, Ameng, Sinta), Sahabat SMA (Najwa dan Jesika) dan teman KKN (Dhiya dan Sakinah) yang sampai saat ini masih tetap setia menemani penulis.
17. Pina dan Reinisa, sepupu yang selalu ada.

18. Keluarga Himatro Unila dan Excalto Akt 21 yang telah menemani penulis selama perkuliahan.
19. Diri Sendiri, Nadia Ade Puspita. Diri yang tidak kenal takut, selalu berani mencoba dan selalu berusaha. Dengan karakternya yang gupek, dia bisa kontrol semuanya. Tidak ada minggu atau bulan tanpa produktif, dengan harapan semoga anak yang menulis ini panen kesuksesan di masa nya. Thankyou Nadia, You've done ur best, let's continue the journey -Adult life.

Penulis Menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

BandarLampung, 29 Januari 2025



Nadia Ade Puspita

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1	19
PENDAHULUAN	19
1.2 Tujuan Penelitian	21
1.3 Rumusan Masalah.....	21
1.4 Batasan Masalah	22
1.5 Manfaat Penelitian	22
1.6 Hipotesis	22
1.7 Sistematika Penulisan	22
BAB 2	24
TINJAUAN PUSTAKA	24
2.1 Penelitian Terdahulu	24
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	27
2.2.1 Jenis PLTS	28
2.2.2 Komponen Sistem PLTS	30
2.2.3 Faktor Pengoperasian Panel Surya.....	36
2.3 Charging Station / SPKLU.....	38
2.3.1 Klasifikasi <i>Charging Station</i>	38
2.4 <i>Electric Vehicle</i> / Mobil Listrik.....	40
2.4.1 Jenis Kendaraan Listrik.....	41
2.5 Baterai Kendaraan Listrik (EV).....	44
2.6 Emisi Karbon.....	45
2.6.1 Pengurangan Emisi.....	46
2.6.2 Aksi mitigasi	46
BAB III	48
METODE PENELITIAN	48
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	48

3.2 Alat dan Bahan.....	49
3.3 Tahapan Penelitian.....	49
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	51
3.5 Analisis Kelayakan Teknis.....	51
3.5.1 Pemilihan Komponen Sistem PLTS.....	52
3.5.2 Jumlah Panel Surya.....	52
3.5.3 Kapasitas Array Panel Surya.....	52
3.5.4 Kapasitas Daya Inverter.....	52
3.5.5 Konfigurasi Modul Panel Surya.....	53
3.5.6 Desain 3D sistem PLTS menggunakan <i>software</i> Helioscope.....	54
3.5.7 Skema PLTS On-Grid sebagai Supply Charging Station.....	54
3.5.8 Manajemen Energi <i>Charging Station</i>	55
3.5.9 Konfigurasi dan Output Simulasi menggunakan PVsyst.....	57
3.6 Analisa Emisi.....	58
3.6.1 Parameter Ex-post.....	58
3.6.2 Perhitungan Emisi Baseline.....	59
3.6.3 Perhitungan Penurunan Emisi.....	59
3.7 Analisa Ekonomi.....	59
3.7.1 Menghitung <i>Bill of Quantity</i> (BoQ).....	60
3.7.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan.....	60
3.7.3 Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>).....	60
3.7.4 <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCoE).....	61
3.7.5 Faktor Pemulihan Modal (<i>Capital Recovery Factor</i>).....	61
3.8 Teknik Analisis Ekonomi Kelayakan Investasi.....	61
3.8.1 <i>Net Present Value</i> (NPV).....	61
3.8.2 <i>Discounted Payback Period</i>	62
3.8.3 <i>Profitability Index</i> (PI) atau <i>Benefit Cost Ration</i> (BCR).....	63
BAB IV	64
HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1 Lokasi Penelitian.....	64
4.2 Analisa Kelayakan Teknik.....	65
4.2.1 Kebutuhan Beban dan Profil Beban.....	65

4.2.2 Data Iradiasi Matahari dan Suhu.....	68
4.2.3 Pemilihan Komponen Modul Surya	69
4.2.4 Pemilihan Komponen Inverter	70
4.2.5 Desain 3D sistem PLTS On-Grid.....	71
4.2.6 Menghitung Jumlah Panel Surya.....	72
4.2.7 Kapasitas Array Panel Surya	72
4.2.8 Kapasitas Daya Inverter.....	72
4.2.9 Konfigurasi Panel Surya.....	73
4.2.10 Konfigurasi sistem PLTS pada <i>Software</i> PVsyst.....	74
4.2.11 Analisa Potensi Energi.....	75
4.2.12 Output Energi PVsyst.....	78
4.3 Analisa Emisi	80
4.3.1 Perhitungan Emisi Baseline	80
4.3.2 Perhitungan Penurunan Emisi.....	81
4.4 Analisa Kelayakan Ekonomis	83
4.4.1 <i>Bill of Quantity</i>	83
4.4.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan	85
4.4.3 Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>)	86
4.4.4 <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCoE).....	86
4.4.5 <i>Net Present Value</i> (NPV)	89
4.4.6 <i>Discounted Payback Period</i> (DPP)	89
4.4.7 Faktor Pemulihan Modal (<i>Capital Recovery Factor</i>).....	90
4.4.8 <i>Profitability Index</i> (PI) atau <i>Benefit Cost Ration</i> (BCR)	91
V. PENUTUP	93
5.1. Kesimpulan	93
5.2. Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	28
Gambar 2. 2 Sistem PLTS Off Grid.....	29
Gambar 2. 3 Sistem PLTS On-Grid.....	29
Gambar 2. 4 Sistem PLTS Hybrid	30
Gambar 2. 5 Modul Surya.....	31
Gambar 2. 6 Sel PV	31
Gambar 2. 7 Modul PV	32
Gambar 2. 8 Rangkaian Panel Surya	33
Gambar 2. 9 Inverter	34
Gambar 2. 10 MPPT with DC/DC Converter.....	35
Gambar 2. 11 kWh Exim	35
Gambar 2. 12 Solar Irradiance	36
Gambar 2. 13 Sudut Radiasi	37
Gambar 2. 14 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum	38
Gambar 2. 15 Charging Station While Parked.....	39
Gambar 2. 16 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum	40
Gambar 2. 17 Hybrid Electric Vehicle	42
Gambar 2. 18 Perbandingan Standar HEV dan Plug-in HEV (PHEV).....	43
Gambar 2. 19 Klasifikasi dan Fitur HEV.....	43
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 3. 2 Skema Sistem.....	54
Gambar 3. 3 Mode Operasi A	55
Gambar 3. 4 Mode Operasi B	55
Gambar 3. 5 Mode Operasi C	56
Gambar 3. 6 Mode Operasi D.....	56
Gambar 4. 1 Atap Gedung El's Coffee Bypass	64
Gambar 4. 2 Kebutuhan Beban (EV).....	67
Gambar 4. 3 Frekuensi Profil Beban.....	67
Gambar 4. 4 Desain 3D PLTS menggunakan Helioscope	71
Gambar 4. 5 Setting Konfigurasi PLTS On-Grid.....	74
Gambar 4. 6 Grafik Discounted Payback Period	90

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Efisiensi konversi berbagai teknologi modul PV [3][11].....	32
Tabel 2. 1 Perbandingan Jenis Baterai yang digunakan pada EV	44
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	48
Tabel 4. 1 Kebutuhan Energi Listrik.....	65
Tabel 4. 2 Profil Beban	66
Tabel 4. 3 Data Iradiasi dan Temperatur	68
Tabel 4. 4 Spesifikasi Panel Surya.....	69
Tabel 4. 5 Spesifikasi Inverter	70
Tabel 4. 6 Bill of Quantity	83
Tabel 4. 7 Analisa Ekonomi.....	87
Tabel 4. 8 Ringkasan Analisa Ekonomi	91
Tabel 4. 9 Analisa Kelayakan Ekonomi.....	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Datasheet Solar Panel.....	100
Lampiran 2 Datahseet Inverter.....	102
Lampiran 3 Tarif Listrik PLN	104
Lampiran 4 Nilai Suku Bunga	105
Lampiran 5 Simulasi PVsyst.....	106
Lampiran 6. Daftar Harga Komponen	115

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu fasilitas dasar manusia, karena penggunaan Listrik yang luas dalam berbagai aspek kehidupan [1] namun, penggunaan energi dengan bahan bakar fosil memiliki dampak lingkungan yang negatif, seperti emisi CO₂, pemanasan global dan polusi udara. Pemerintah Indonesia melalui kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) menetapkan target bauran energi primer yang berasal dari energi baru dan terbarukan (EBT) sebesar 23% pada 2025 dan 31% pada 2050 sebagai upaya dalam mengurangi emisi sekitar 29-41% ditahun 2030 dan *Net Zero Emission* (NZE) pada 2060 [2]. Per tahun 2022 Kementerian energi dan Sumber daya Mineral (ESDM) Siaran PERS mengungkapkan Indonesia memiliki potensi EBT yang sangat melimpah hingga total potensinya 3.686 GW dengan potensi Energi Surya terbesar yaitu 3.295 GW dan hal ini dijadikan modal utama dalam menjalankan transisi energi Indonesia. Revolusi energi terbarukan merupakan harapan untuk masa depan yang berkelanjutan seperti Penggunaan Pembangkit Listrik dengan sumber terbarukan seperti matahari yang akan berkontribusi pada kemakmuran dan kesehatan Masyarakat [3].

Berdasarkan Proyeksi Emisi Gas Rumah Kaca per sektor pengguna pada Perda Prov. Lampung No 9 tahun 2019 tentang RUED didapat sektor transportasi merupakan sektor penyumbang emisi terbesar, yaitu sebesar 1,1 juta tonCO₂ pada tahun 2020 dan 1,4 juta tonCO₂ pada tahun 2030 [4]. Pemerintah melalui Perpres No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan [5]. *Electric Vehicle* (EV)

menjadi Solusi untuk untuk mengurangi penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil karena cadangan bahan bakar fosil yang pasokannya terbatas dan menghasilkan emisi gas rumah kaca [6]. EV menjanjikan pengoperasian yang lebih ramah lingkungan, bebas kebisingan, efisiensi energi yang lebih baik dan lebih sedikit perawatan mesinnya dibanding mesin ICE [7].

Perkembangan kendaraan listrik perlu dibarengi dengan infrastruktur pengisian kendaraan listrik. Secara umum pengisian kendaraan listrik dapat dilakukan secara mandiri di rumah ataupun dilakukan pada stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU) [2]. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mengeluarkan Permen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 13 Tahun 2020 Tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik untuk Kendaraan Bermotor berbasis baterai. Saat ini SPKLU masih terhubung langsung dengan jaringan Listrik PLN dengan pembangkitan listrik tersebut masih didominasi dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Dengan ini, Banyaknya *Charging station* yang beroperasi dan melakukan pengisian secara bersama akan mempengaruhi kestabilan sistem. PLTS Sebagian Sumber energi terbarukan digunakan dalam menyediakan sumber energi listrik pada SPKLU, sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban yang terus meningkat. PLTS merupakan strategi dalam transisi energi yang hampir tersedia di perkotaan maupun perdesaan, *carbon saving* dan dapat mengurangi dampak pada kestabilan sistem jaringan listrik (grid) [8].

Pada penelitian ini, penulis akan merancang PLTS yang terhubung ke jaringan AC sebagai sumber energi untuk Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (*Electric Vehicle Charging Station*) yang terdapat pada El's *Coffee Bypass* Bandar Lampung. PLTS disimulasikan berdasarkan konfigurasi pada *Software* PVsyst, sehingga Output dari simulasi menunjukkan potensi energi dari sistem PLTS. Pada radiasi maksimum, Energi yang dihasilkan PV mampu memenuhi kebutuhan beban dan kelebihan energi di kirim ke Grid. Grid digunakan saat energi yang dihasilkan PLTS tidak dapat memenuhi kebutuhan beban atau pada saat PLTS tidak menghasilkan

daya pada malam hari. Dalam penelitian ini, penulis akan menganalisis kelayakan terhadap aspek teknis, ekonomis dan emisi karbon yang dihasilkan dalam Perancangan sistem PLTS On-Grid sebagai sumber energi EVCS/SPKLU.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan mendesign PLTS PLTS On-Grid sebagai Sumber Energi bagi *Electric Vehicle Charging Station* (SPKLU).
2. Analisis Kelayakan Teknis dan Emisi dari perencanaan PLTS *On-Grid* Sebagai sumber energi *Electric Vehicle Charging Station* (SPKLU).
3. Menghitung dan Analisis Kelayakan Ekonomis perencanaan PLTS *On-Grid* sebagai sumber energi *Electric Vehicle Charging Station* (SPKLU).

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. SPKLU yang berada di El's Coffee Bandar Lampung merupakan salah satu SPKLU diantara 20 SPKLU di Bandar Lampung. Dengan luas atap pada bangunan yang memadai, menjadikan Rooftop El's Coffee berpotensi untuk dibangun PLTS yang dapat digunakan sebagai suplai energi untuk kebutuhan beban EV pada SPKLU. Maka bagaimana perencanaan perancangan PLTS dengan sistem *On-Grid* sebagai suplai SPKLU menggunakan *Software* PVsyst dan Helioscope?
2. Dalam melakukan simulasi perancangan dan analisa, sebelum lanjut pada tahap pengaplikasian secara langsung pada *Rooftop El's Coffee*, perlu diketahui apakah PLTS *On-Grid* sebagai sumber energi SPKLU, layak dalam aspek teknis dan ekonomis?
3. Dalam kontribusi menuju *Net Zero Emission*, berapa tCO₂ yang dapat dihemat pada perancangan sistem PLTS *On-Grid*?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Desain PLTS menyesuaikan 1 sisi atap bangunan *Els'Coffee* yang memungkinkan pemasangan PLTS *On-Grid*.
2. Kelayakan teknis dan emisi sistem PLTS *On-Grid* berdasarkan simulasi pada *software* PVsyst dan *design* menggunakan Helioscope.
3. Data Iradiasi matahari berdasarkan data Meteoronom 8.1.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Berkontribusi dalam Energi Baru Terbarukan dengan perencanaan PLTS *On-Grid* sebagai suplai *Electric Vehicle Charging Station*.
2. Mendukung transisi menuju kendaraan listrik dan memberikan Gambaran infrastruktur yang ramah lingkungan untuk mendukung penggunaan kendaraan listrik di Masyarakat.
3. Memberikan Gambaran tentang kelayakan teknis, ekonomi dan emisi dalam perencanaan PLTS *On-Grid*.

1.6 Hipotesis

Sistem PLTS *On-Grid* mampu memenuhi kebutuhan beban EV pada *Electric Vehicle Charging Station* (SPKLU). Sistem dikatakan layak dalam aspek Teknis, Ekonomis, dan Penghematan emisi CO₂.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir yang dipakai oleh penulis adalah 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 penelitian terdahulu dan teori secara umum, 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 metode yang digunakan pada penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian, desain PLTS menggunakan *software* Helioscope, Output potensi energi dari konfigurasi PLTS *On-grid* menggunakan *software* PVsyst, hingga Analisa kelayakan ekonomis dan penghematan Emisi dari perancangan Sistem PLTS On-Grid Sebagai sumber EVCS/SPKLU.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang Analisa data kebutuhan beban, Analisa kelayakan teknis dan emisi berdasarkan Output dari simulasi *Software* PVsyst dan Helioscope dan Analisa kelayakan ekonomis dari hasil perhitungan.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi simpulan dan saran berdasarkan pembahasan dan data pada laporan skripsi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Analysis of microgrid integrated Photovoltaic (PV) Powered Electric Vehicle Charging Stations (EVCS) under different solar irradiation conditions in India: A way towards sustainable development and growth.

Himabindu N., Santoshkumar Hampannavara, Deepa B., Swapna M.

Menipisnya bahan bakar fosil dan meningkatnya kepedulian lingkungan telah membuka peluang bagi pengembangan energi bersih dan hijau menggunakan sumber energi terbarukan. Pengisian EV bertenaga fotovoltaik (PV) secara substansial dapat mengurangi jejak karbon jika dibandingkan dengan pengisian EV berbasis jaringan utilitas konvensional. Penggabungan tenaga surya dan pengisian EV adalah salah satu metode terbaik dalam pembangunan berkelanjutan EV. Statistik terbaru menunjukkan bahwa penggunaan EV di berbagai kota di India telah berkembang dan pengembangan infrastruktur pengisian daya merupakan tantangan besar bagi negara padat penduduk. Pertama, model permintaan teoritis dan model stokastik untuk lalu lintas EV dan pola pemanfaatan sumber daya dikembangkan. Kedua, konfigurasi optimal dan penilaian tekno-ekonomi Stasiun Pengisian EV bertenaga surya (EVCS) di jaringan mikro dianalisis untuk empat kota India yang berbeda (Shillong, Bengaluru, Jaipur dan Kashmir) dengan kondisi radiasi matahari yang bervariasi. Terakhir, manfaat lingkungan dari EVCS bertenaga PV surya dinilai dan dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi dan efisiensi investasi yang optimal di setiap wilayah perkotaan sangat dipengaruhi oleh nilai iradiasi matahari dan *feed-*

in-tariff (FIT) PLTS atap. Kashmir dengan kondisi iradiasi matahari yang tinggi dapat berinvestasi dalam EVCS surya dibandingkan dengan kota-kota lain.

Simulasi *Software* PVSyst 7.3 pada Rancangan Sistem PLTS *On-Grid* 48,4 kWp di Gedung Perpustakaan PNJ Serta Analisa Aspek Tekno-Ekonomi dan *Carbon Saving*.

Andre Halomoan Sitorus, Noor Hidayati, Tatun Hayatun Nufus, Arifia Eka Yuliana.

Sebagai fasilitas umum, gedung Perpustakaan Politeknik Negeri Jakarta memiliki kebutuhan listrik yang cukup besar untuk operasionalnya. Kebutuhan listrik tersebut dipenuhi oleh melalui pasokan dari jaringan listrik PLN. Penggunaan sistem PLTS pada gedung Perpustakaan PNJ dapat memiliki dampak positif dalam jangka panjang karena tidak memerlukan bahan bakar dan memerlukan perawatan yang minim. Penelitian ini akan melakukan simulasi software PVSyst 7.3 pada hasil perancangan sistem PLTS on-grid berkapasitas 48,4 kWp pada gedung perpustakaan Politeknik Negeri Jakarta, melakukan analisa tekno-ekonomi, dan analisa *carbon saving*. Hasil simulasi PVSyst 7.3 pada sistem PLTS on-grid 48,4 kWp ini adalah hasil energi sebesar 68,55 MWh/ tahun, specific production sebesar 1416 kWh/kWp/tahun, dan efisiensi sistem pada 80,36%. Hasil perhitungan tekno ekonomi sistem PLTS ini adalah didapat Net Present Value sebesar Rp. 951.624.881, Internal Rate of Return sebesar 9,76%, Return of Investment sebesar 145,54%, Levelized Cost of Energy pada Rp. 781/kWh, dan Payback Periode pada 9 tahun 4 bulan. Carbon Saving yang didapatkan dari penerapan sistem PLTS ini adalah sebesar 1379 Ton CO₂.

Simulation test of 50 MW grid-connected “Photovoltaic+Energy storage” system based on pvsyst software

Fangfang Wang a, Renjie Li, Guangjin Zhao, Dawei Xia, Weishu Wang.

Penelitian ini membahas tentang sistem Fotovoltaik + Penyimpanan Energi berkapasitas 50 MW menggunakan perangkat lunak PVsyst dalam strategi “*Double Carbon*” nasional yang bertujuan meningkatkan pembangkit listrik energi baru terbarukan. Desain sistem memungkinkan simulasi yang efektif dan optimalisasi arsitektur dan kapasitas penyimpanan energinya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem dapat mencapai operasi 24 jam yang stabil meskipun ada fluktuasi sinar matahari dan permintaan puncak, berkontribusi pada pengurangan signifikan sekitar 1.121.310.388 tonCO₂ selama siklus hidupnya. Kinerja kolaboratif dari array fotovoltaik, unit penyimpanan energi dan jaringan dengan temuan yang menunjukkan variasi musiman dalam pembangkit listrik, terutama output yang lebih tinggi dari Maret hingga September. Parameter kinerja utama, termasuk kondisi iradiasi matahari dan kapasitas penyimpanan baterai, efisiensi perangkat konsumsi daya yang akan mempengaruhi kinerja sistem.

Perencanaan Charging Station Kendaraan Listrik Dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLts) On-Grid

Rizki Pratama Putra

Sektor energi Indonesia menghasilkan hampir 600 MtCO₂ 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.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi yang kemudian diubah menjadi energi listrik menggunakan prinsip fotovoltaic. Efek *photovoltaic* terjadi ketika cahaya matahari diserap oleh sel surya, foton dari cahaya akan membangkitkan dan membebaskan elektron sehingga mengalir dalam semikonduktor tipe n dan p yang menciptakan arus Listrik DC [7] [8]. Inverter digunakan untuk konversi arus DC yang dihasilkan PLTS menjadi arus AC untuk dapat digunakan pada beban AC [3].

Matahari merupakan sumber energi bersih yang tidak ada habisnya, radiasi matahari mencapai bumi sekitar 1.000 W/m² meskipun bervariasi sesuai dengan Lokasi dan waktu. Suhu dan intensitas radiasi matahari menjadi faktor pengaruh pada Daya yang dihasilkan atau daya yang tersimpan pada sistem *photovoltaic* (PV) [9]. PLTS menjadi pembangkit Listrik yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon

sehingga dapat menjadi Solusi untuk penerapan energi bersih dan ramah lingkungan [3].

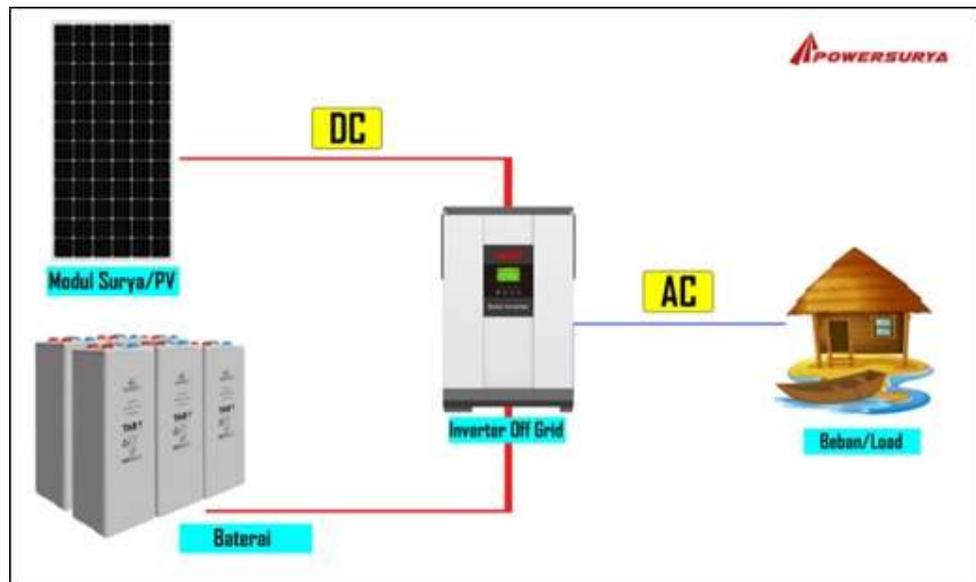


Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.2.1 Jenis PLTS

2.2.1.1 PLTS Off Grid

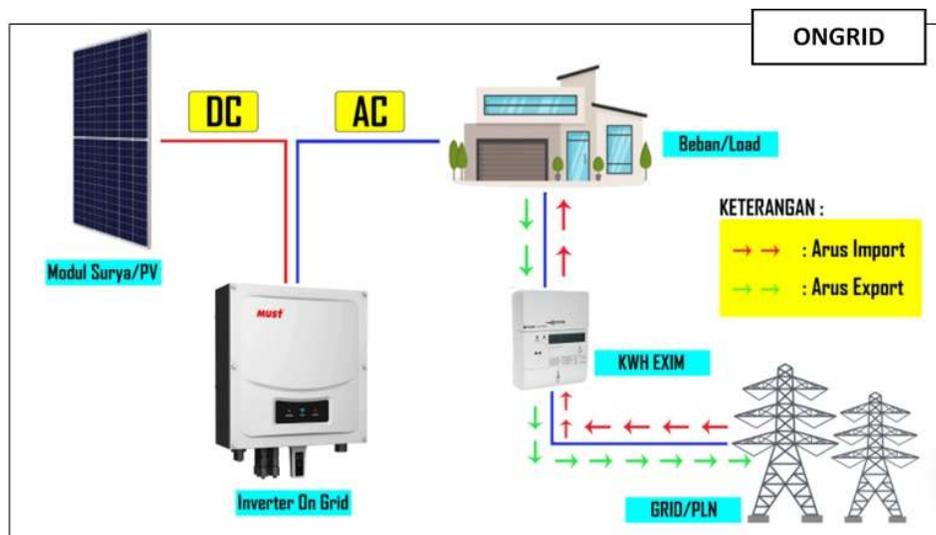
Sistem PLTS *Off Grid* merupakan sistem PLTS yang tidak ter-interkoneksi atau tidak terhubung dengan jaringan PLN. Sistem ini biasa disebut sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Sistem PLTS *Off Grid* biasanya merupakan sistem dengan pola pemasangan *distributed* atau tersebar dengan kapasitas pembangkitan skala kecil, oleh karena itu PLTS *Off Grid* sangat cocok untuk daerah terpencil atau daerah yang belum terdapat jaringan Listrik PLN. Sistem PLTS *Off Grid* biasanya dilengkapi dengan sistem penyimpanan (*storage*) dengan media baterai untuk menjamin ketersediaan pasokan Listrik ke beban saat malam hari atau saat kondisi cuaca mendung [10].



Gambar 2. 2 Sistem PLTS *Off Grid*

2.2.1.2 PLTS On Grid (*Grid Connected PV Plant*)

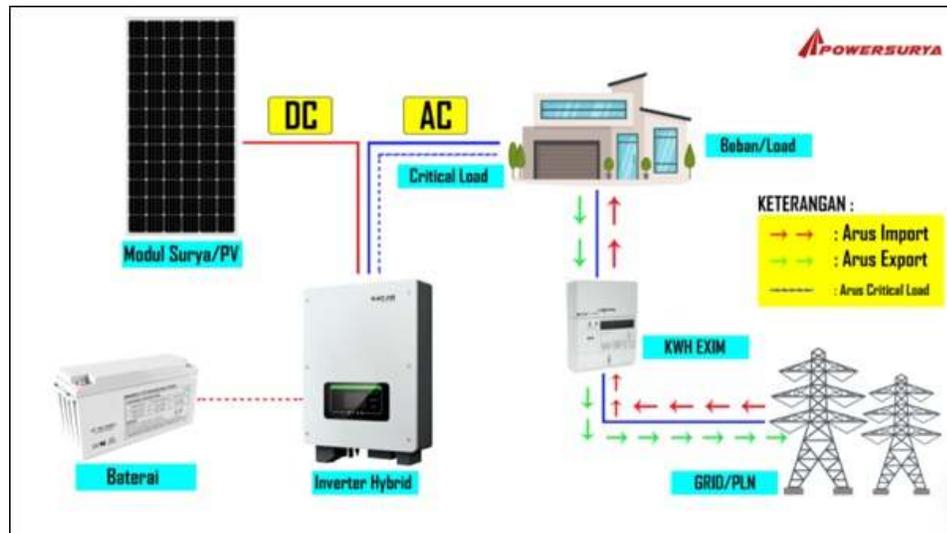
PLTS dengan sistem *Grid Connected* yang ter-interkoneksi atau terhubung dengan jaringan Listrik PLN (*Grid*). Sistem PLTS *On Grid* hanya berfungsi ketika terdapat radiasi matahari dengan tujuan dari sistem ini yaitu untuk mengurangi penggunaan Listrik dari PLN (penghematan tagihan Listrik).



Gambar 2. 3 Sistem PLTS *On-Grid*

2.2.1.3 PLTS *Hybrid*

Sistem PLTS *Hybrid* adalah sistem PLTS yang ter-interkoneksi atau terhubung dengan jaringan PLN (*Grid*) dan juga memiliki sistem penyimpanan (*storage*) berupa baterai untuk backup (*critical load*). Baterai akan menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan PLTS saat siang hari untuk memenuhi kebutuhan beban pada malam hari atau saat kondisi cuaca mendung.



Gambar 2. 4 Sistem PLTS Hybrid

2.2.2 Komponen Sistem PLTS

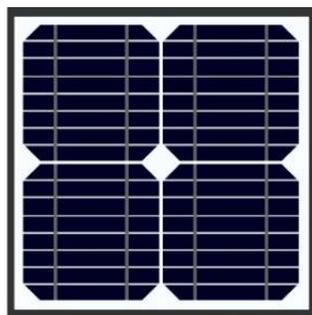
2.2.2.1 Modul Surya

Panel surya atau modul surya adalah gabungan dari beberapa sel surya yang saling terhubung dan merupakan alat yang digunakan untuk menyerap dan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik DC. Sinar matahari mengandung energi foton yang ketika mengenai permukaan sel surya, maka elektron akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik, peristiwa ini disebut *photovoltaic*. Listrik yang dihasilkan modul surya tergantung iradiasi matahari yang diterima. Saat cuaca mendung, modul surya akan tetap menghasilkan Listrik namun dengan daya yang kecil karena nilai iradiasi yang kecil. Sel PV terbuat dari bahan semikonduktor peka cahaya. Terdapat

dua kategori besar teknologi yang digunakan untuk sel PV yaitu *crystalline silicon* atau silikon kristal yang mayoritas digunakan untuk produksi sel PV, dan *thin film* yang merupakan kategori baru [11].



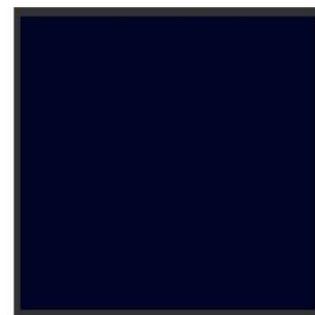
Gambar 2. 5 Modul Surya



Mono Crystalline Solar PV



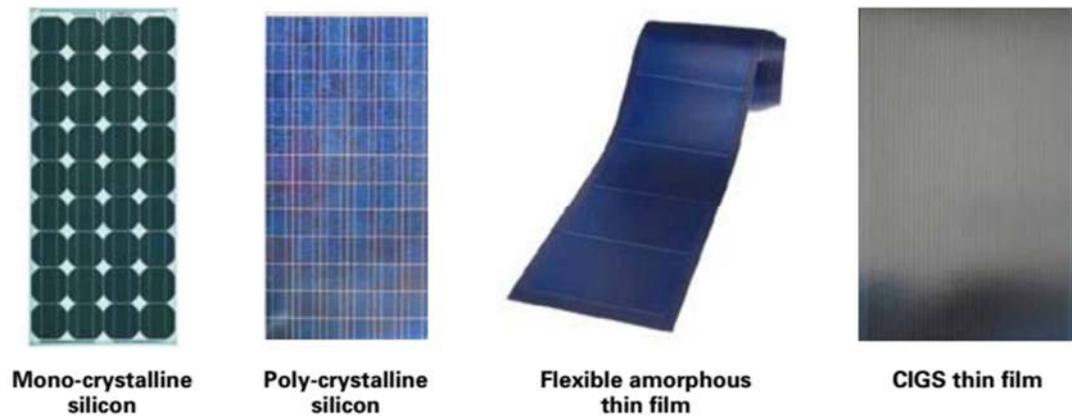
Poly Crystalline Solar PV



Thin Film Solar PV

greensarawak.com

Gambar 2. 6 Sel PV



Gambar 2. 7 Modul PV

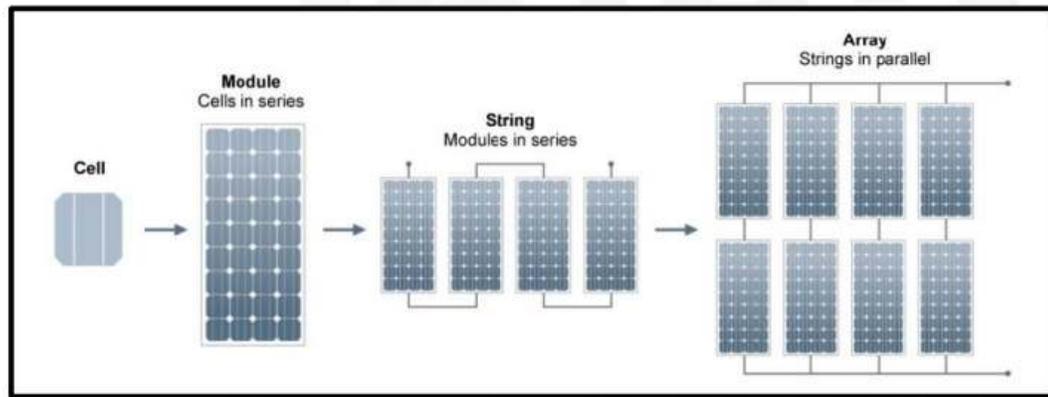
Silikon sel merupakan bahan yang paling umum digunakan dan populer dalam modul sel surya, terhitung sekitar 90% dari pasar sel *photovoltaic*. *Crystalline cells* terbuat dari bahan baku silikon ultra murni dan struktur kristal yang sempurna. Silikon sel memiliki efisiensi konversi yang sangat baik namun memiliki biaya produksi yang tinggi dan kebutuhan energi yang lebih tinggi selama siklus hidupnya. Sel ini menggunakan lapisan silikon yang umumnya memiliki ketebalan 150-200 mikron (seperlima milimeter) sedangkan *Thin Film* membutuhkan lebih sedikit bahan dari semikonduktor dalam produksi untuk menyerap jumlah sinar matahari. Lapisan bahan semikonduktor thin film setebal 0,3 hingga 2 mm. Lapisan semikonduktor yang sangat tipis menyebabkan biaya bahan baku jauh lebih rendah daripada biaya peralatan modal dan biaya proses. Penggunaan Thin Film meningkat karena fleksibilitas dan pemasangan yang mudah [12]. Selain perbedaan tampilan, perbedaan paling nyata antara teknologi sel PV adalah pada efisiensi konversinya dan koefisien suhu daya, dirangkum pada tabel 1.

Tabel 1. 1 Efisiensi konversi berbagai teknologi modul PV [3][11]

<i>Technology</i>	<i>Module Efficiency</i>	<i>Temperature Coefficient</i>
<i>Mono-crystalline Silicon</i>	15-20 %	-0,4 to - 0,5
<i>Poly-crystalline Silicon</i>	13 – 15 %	-0,4 to - 0,5
<i>Amorphous Silicon (a-Si)</i>	5 – 10 %	-0,21

Sebagian besar teknologi *thin film* memiliki koefisien suhu negative yang lebih rendah dibandingkan dengan *crystalline*, dengan kata lain *thin film* cenderung kehilangan lebih sedikit kapasitas terukurnya saat suhu meningkat. Modul Pv memiliki suhu sel 25%. Kinerja sel fotovoltaik menurun seiring dengan meningkatnya suhu sel.

Modul surya terbentuk dari sel sel PV atau sel surya yang disusun dan saling terhubung secara seri maupun paralel. Modul umumnya terdiri dari 33 / 36 sel surya dan 72 sel surya. Modul surya dapat dihubungkan secara seri dan paralel sehingga dapat menghasilkan tegangan dan arus sesuai kebutuhan. Modul surya yang saling dihubungkan disebut Rangkaian panel surya. Panel surya yang dihubungkan secara baris dan kolom disebut dengan *array*, sehingga dapat dikatakan *array* merupakan susunan dari panel surya yang terdiri dari beberapa modul surya, yang didalam modul surya terdapat beberapa sel surya [13].



Gambar 2. 8 Rangkaian Panel Surya

2.2.2.2 Inverter

Inverter adalah alat yang digunakan untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Dalam sistem PLTS, modul surya menghasilkan arus DC yang kemudian diubah menjadi arus AC menggunakan Inverter sesuai dengan kebutuhan beban yang menggunakan arus AC [3].



Gambar 2. 9 Inverter

Inverter juga dilengkapi dengan *Maximum power Point Tracker* (MPPT) yang berfungsi untuk mengontrol dan mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh modul surya untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Hal ini karena tegangan DC yang dihasilkan oleh panel surya memiliki kecenderungan tidak stabil sesuai dengan iradiasi matahari yang diserap oleh panel surya. Inverter satu fasa yang digunakan pada PLTS untuk sistem dengan penggunaan beban yang kecil, sedangkan untuk sistem dengan penggunaan beban yang besar dan terhubung dengan jaringan (grid) umumnya menggunakan inverter 3 fasa [10].

2.2.2.3 MPPT with DC/DC Converter

MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) digunakan untuk mengoptimalkan keluaran daya dari susunan PV dengan mengubah rasio pada converter DC/DC [14]. MPPT bekerja dengan melacak titik daya keluaran maksimum dari sistem PV. Prinsip kerja MPPT yaitu dengan membaca setiap titik keluaran di kurva karakteristik P-V pada panel surya. Sistem kendali MPPT akan mengatur produksi dan penyimpanan daya sistem PV dengan memanfaatkan DC-DC *boost converter*. Sistem kendali MPPT akan mengubah titik kerja sehingga converter memaksakan kerja panel surya selalu mencapai titik daya maksimum. *Boost converter* dikendalikan oleh *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berasal dari duty cycle hasil dari operasi algoritme MPPT [9].



Gambar 2. 10 MPPT with DC/DC Converter

2.2.2.4 Kwh Exim

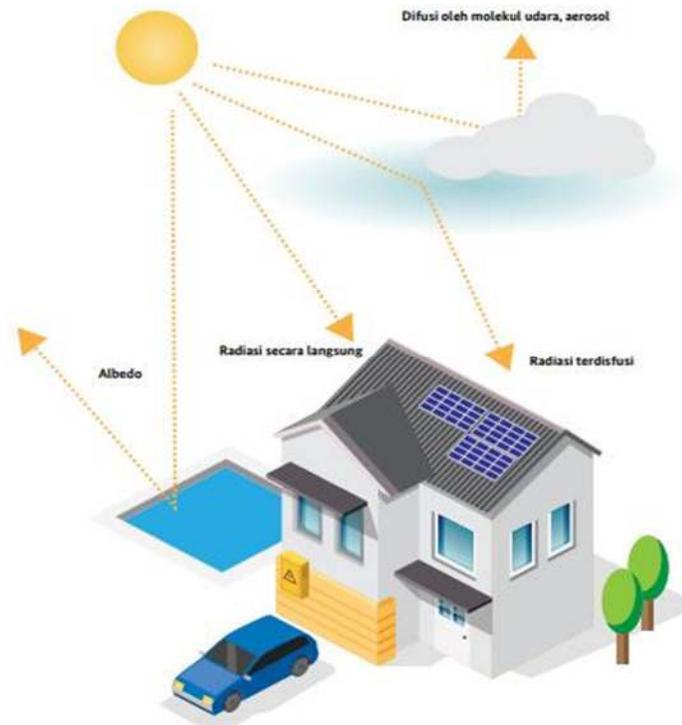
Kwh meter Exim adalah perangkat yang terpasang pada PLTS atap yang digunakan untuk *export-import* pemakaian listrik. Meteran exim berfungsi untuk mencatat berapa besar kapasitas daya yang diekspor pemilik PLTS kepada jaringan dan berapa besar kapasitas daya yang dikonsumsi oleh pemilik PLTS dari jaringan .



Gambar 2. 11 kWh Exim

2.2.3 Faktor Pengoperasian Panel Surya

2.2.3.1 *Solar Irradiance* atau *Insolation*

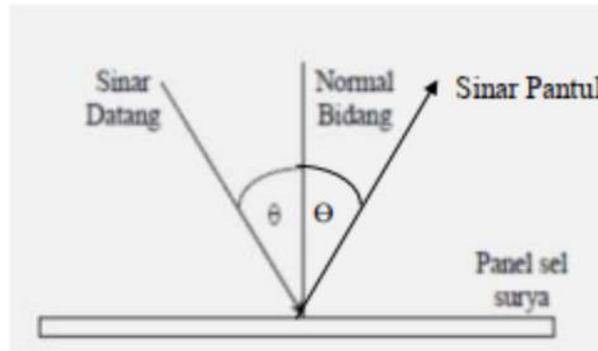


Gambar 2. 12 Solar Irradiance

Solar Irradiance atau *Insolation* merupakan ukuran energi radiasi matahari yang diterima di suatu permukaan luas pada satuan waktu . Satuan *Irradiance* adalah watt per meter persegi (W/m^2). Radiasi matahari terdiri dari sinar matahari langsung dan sinar matahari terdifusi (dipantulkan oleh awan), keduanya dikenal sebagai radiasi global. Radiasi terdifusi adalah fungsi dari jumlah uap air, partikel debu dan unsur jejak (*trace elements*) lain di atmosfer yang menyebabkan cahaya tersebar [3]. Radiasi terdifusi hadir dalam kondisi hari yang berawan dan radiasi secara langsung dengan nilai yang rendah. Intensitas radiasi secara langsung mulai dari $100 W/m^2$ untuk hari berawan dan mencapai $1.000 W/m^2$ untuk hari dengan langit yang cerah. Modul surya mampu menyerap radiasi langsung dan terdifusi, namun teknologi berbasis kristal yang umum digunakan lebih sensitif terhadap radiasi langsung dibanding dengan radiasi terdifusi [13] .

2.2.3.2 Sudut datang terhadap Radiasi yang diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah datangnya sinar dengan komponen tegak lurus bidang panel [10].



Gambar 2. 13 Sudut Radiasi

Panel akan menerima radiasi matahari maksimum pada saat matahari berada tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel akan membentuk sudut θ seperti pada gambar 2.13 dan kondisi ini menandakan bahwa panel akan menerima radiasi lebih rendah dengan factor $\cos \theta$ [10].

2.2.3.3 Temperatur Panel Surya

Daya yang dihasilkan panel surya dipengaruhi oleh temperature sel surya. Temperatur sel surya adalah temperature yang diukur pada permukaan panel surya dan daya luaran panel akan berkurang jika temperature sel surya meningkat, ditunjukkan dengan nilai pada koefisien yang bernilai negative. Koefisien temperatur daya menunjukkan seberapa kuat pengaruh temperature sel surya terhadap daya listrik yang dihasilkan panel. Besarnya nilai koefisien temperature daya tergantung pada jenis panel surya dan koefisien akan bernilai nol apabila pengaruh temperature terhadap daya listrik panel surya diabaikan [15].

2.2.3.4 Bayangan (Shading)

Bayangan akan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Saat salah satu atau lebih dari *cell photovoltaic* tertutup dari sinar matahari akan menghasilkan

bayangan yang mengurangi daya keluaran dari panel surya. Bayangan dapat diklasifikasikan sebagai bayangan sementara, bayangan yang dihasilkan dari lokasi, bangunan ataupun bayangan yang disebabkan oleh sistem itu sendiri [10].

2.3 Charging Station / SPKLU

Stasiun Pengisian kendaraan Listrik umum (SPKLU) yaitu stasiun pengisian daya kendaraan Listrik yang terhubung langsung ke panel distribusi Listrik. *Charging station* memiliki kabel yang dilengkapi dengan konektor yang mirip dengan *nozzle* pompa bensin dan digunakan dengan cara yang sama yaitu dihubungkan ke soket pengisian daya *Electric Vehicle* untuk mengisi daya baterai [16].



Gambar 2. 14 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum

2.3.1 Klasifikasi *Charging Station*

2.3.1.1 Residential Charging Station

Stasiun Pengisian ini digunakan pemilik mobil listrik untuk mengisi baterai kendaraan di rumah sendiri. *Residential Charging Station* merupakan jenis stasiun pengisian yang paling banyak digunakan karena para pemilik sudah bisa mengisi daya baterai kendaraan dirumah dan tidak perlu mencari stasiun pengisian kendaraan listrik

umum. *Charging station* kendaraan listrik rumahan hanya mendukung pengisian daya AC 1 fasa dengan tegangan 120V dan arus 32 A [16].



Gambar 2. 15 Residential *Charging Station*

2.3.1.2 Charging While Parked

Charging While Parked banyak dijumpai di pusat perbelanjaan dan kantor. *Charging While Parked* digunakan secara umum (*public*) dan bisa bersifat komersial (diperjual belikan). Jenis pengisian ini bisa berupa *slow charging* ataupun *fast charging*.



Gambar 2. 15 Charging Station While Parked

2.3.1.3 Charging Station Umum

Charging station kendaraan listrik umum bisa ditemukan pada tempat umum ataupun *rest area* yang disediakan untuk pengendara yang sedang dalam perjalanan dan dapat digunakan secara umum (*public*) serta bersifat komersil. *Charging station* tipe ini memiliki tegangan sebesar 480 Vdc dan arus 125 A. SPKLU (stasiun pengisian kendaraan listrik umum) dapat mengisi daya kendaraan listrik dalam waktu normal ataupun *fast charging* [16].



Gambar 2. 16 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum

2.4 *Electric Vehicle* / Mobil Listrik

Electric Vehicle atau Mobil Listrik adalah jenis kendaraan yang menggunakan tenaga listrik sebagai sumber energinya untuk beroperasi. *Electric Vehicle* menggantikan mesin pembakaran internal yang menggunakan bahan bakar fosil dengan mesin listrik dan baterai yang dapat diisi ulang. Kendaraan listrik atau *Electric Vehicle* digerakkan dengan motor listrik baik keseluruhan sistem ataupun sebagian dengan kombinasi motor bakar [16].

2.4.1 Jenis Kendaraan Listrik

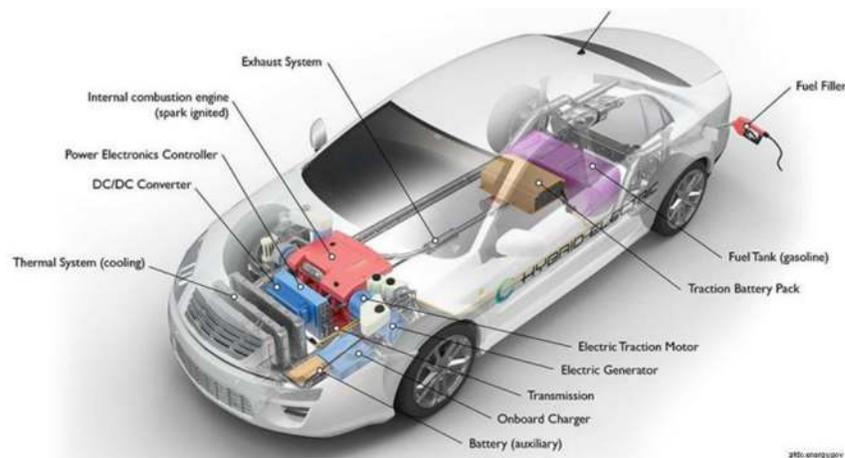
Klasifikasi kendaraan listrik hibrida berdasarkan konfigurasinya dibedakan menjadi tiga, yaitu *Series Hybrid Electric Vehicle* (S-HEV), *Parallel Hybrid Electric Vehicle* (P-HEV), *Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle* (SP-HEV). Berdasarkan Tingkat kehibridaannya, *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) dibedakan menjadi empat yaitu, *micro hybrid*, *mild hybrid*, *full hybrid* dan *plug-in hybrid*.

2.4.1.1 Battery *Electric Vehicle* atau Kendaraan Listrik Baterai (KLB)

KLB adalah kendaraan Listrik yang menggunakan penyimpanan energi Listrik berupa baterai, yang akan dikonversi menjadi energi mekanik oleh motor Listrik. Energi Listrik didalam baterai diperoleh melalui proses pengisian (*charging*) yang berasal dari sumber energi Listrik eksternal atau Listrik dari jaringan (*grid*) [17].

2.4.1.2 Hybrid *Electric Vehicle* (HEV) atau Kendaraan Listrik Hibrida (KLH)

KLH atau HEV mengkombinasikan teknologi dari *battery operated electric vehicle* (BEV) dan *internal combustion engine vehicle* (ICE). KLH adalah kendaraan Listrik yang menggunakan motor listrik dan motor bakar sebagai sistem penggerakannya, Motor bakar masih menjadi penggerak utama kendaraan dan motor listrik akan digunakan pada kondisi medan yang tingkat konsumsi bahan bakarnya besar seperti pada saat kecepatan rendah saat lalu lintas ramai, *start* atau *stop* di lampu lalu lintas dan saat medan berat seperti tanjakan [17]. Tujuan utama dari HEV yaitu untuk bisa meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar pada kendaraan. Salah satunya saat *system stop-start*. Saat HEV berhenti di lampu lalu lintas, ICE sementara dapat dimatikan, dan kemudian dapat hidup kembali secara otomatis saat pengemudi menginjak pedal gas, melepaskan pedal rem atau memindahkan posisi transmisi, dengan hal ini tenaga dari motor listrik dapat membantu atau memberikan tenaga tambahan. [18].

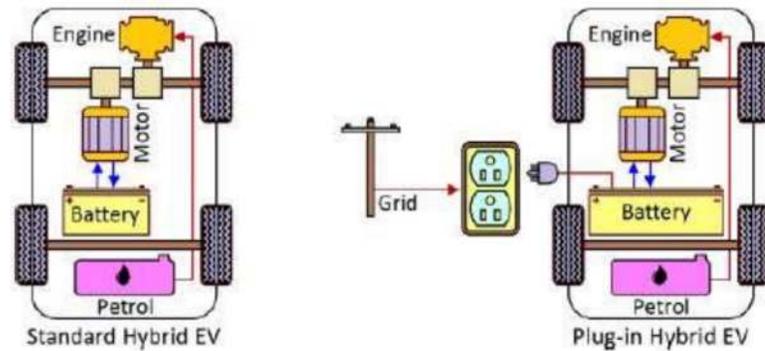


Gambar 2. 17 Hybrid Electric Vehicle

Energi Listrik pada HEV dihasilkan oleh generator yang digerakkan oleh ICE. Energi Listrik ini kemudian digunakan untuk memutar motor listrik dan untuk mengisi baterai. Sistem pengisian baterai dalam KLH hanya bisa dilakukan melalui sistem internal dari kendaraan, tetapi hal ini dinilai tidak praktis karena jarak tempuh yang pendek. Untuk mengatasi hal ini, kemudian dikembangkan kendaraan yang menggunakan sistem *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, atau PHEV) [18].

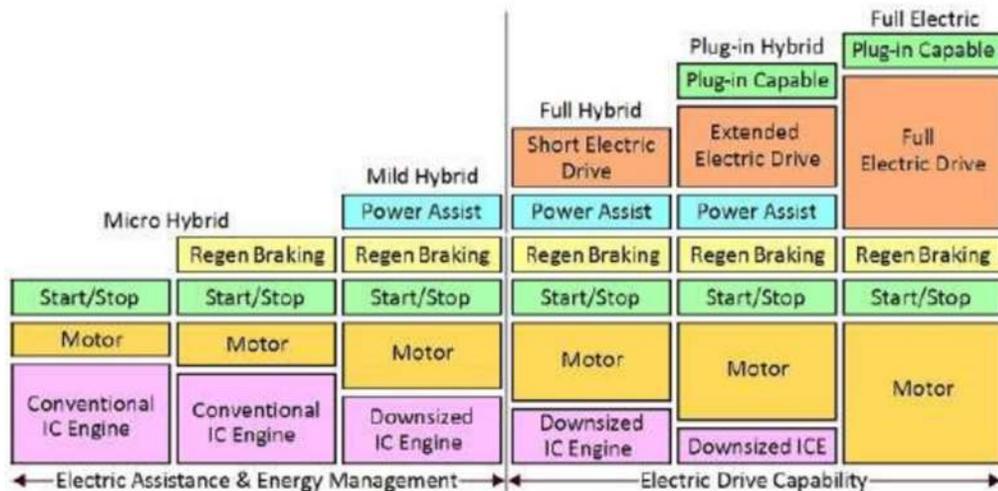
2.4.1.3 *Plug-in Hybrid* (PHEV)

PHEV adalah kendaraan listrik yang memiliki ICE yang lebih kecil, baterai dengan kapasitas yang lebih besar dan motor Listrik yang lebih besar. Baterai PHEV dapat diisi ulang dengan sumber daya dari eksternal seperti jaringan (grid). Hal ini berbeda dengan HEV yang lain, dimana baterai HEV pada umumnya diisi dengan menggunakan generator yang digerakkan mesin atau dari pengereman regenerative. PHEV memiliki jangkauan berkendara dengan listrik (*electric driving mode*) lebih pendek dibandingkan dengan mobil listrik (*electric vehicle*). Tetapi PHEV memiliki jangkauan lebih besar (*electric driving mode*) dibandingkan dengan tipe *hybrid* lainnya, karena ICE atau generator dapat membantu sistem ketika baterai habis. Pada PHEV memiliki motor Listrik yang lebih besar sehingga PHEV juga memiliki kemampuan pengereman regenerative yang lebih tinggi dibandingkan dengan HEV lainnya [19].



Gambar 2. 18 Perbandingan Standar HEV dan Plug-in HEV (PHEV)

Pada gambar 2.19 dibawah ini, menunjukkan beberapa macam tipe HEV dengan fitur yang dimiliki tiap tipe HEV. Didalam gambar tersebut menggambarkan perbandingan ukuran atau kapasitas dari motor listrik, *internal combustion engine* dan *electric drive mode*. Semakin kekanan menunjukkan semakin besar kapasitas motor Listrik yang digunakan dan semakin kecil kapasitas ICE yang digunakan, hal ini berarti semakin kekanan maka kapasitaas berkendara dalam mode Listrik semakin besar. *Full Electric Vehicle* menjadi puncak dari semua perkembangan kendaraan *hybrid*.



Gambar 2. 19 Klasifikasi dan Fitur HEV

2.5 Baterai Kendaraan Listrik (EV)

Baterai merupakan aplikasi yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan paling penting digunakan dalam kendaraan Listrik (EV). Sistem baterai dirancang menggunakan konfigurasi modular, dimana sejumlah sel baterai digabungkan menjadi paket baterai dan paket baterai bersama dengan berbagai komponen sub sistem lainnya, membentuk sebuah sistem baterai [20]. Baterai dievaluasi berdasarkan daya dan kapasitas energinya. Kapasitas energi baterai dihitung dalam rentang 0,02 hingga 40 Ampere-jam (Ah) tergantung jenis kendaraan Listrik berbasis baterai (BES). Selain itu, jumlah energi yang tersimpan dalam baterai dihitung berdasarkan energi spesifik yang berkisar antara 30 hingga 180 Wh/kg dan Tingkat pengisian daya (State of Charge/SOC) yang dapat digunakan oleh baterai. Dengan ini jumlah energi yang terkandung dalam setiap persen dari kapasitas baterai saat ini dapat diketahui [21] Sekitar 80% dari kapasitas penyimpanan energi asli, baterai dikatakan habis.

Dalam pengaplikasian pada kendaraan listrik (EV) terdapat berbagai jenis baterai berdasarkan pola kimia, seperti Baterai Li-ion, nikel logam hibrida (Ni-MH) dan baterai lead acid menjadi beberapa jenis baterai isi ulang yang paling populer dan umum digunakan [20]. Karakteristik masing masing baterai diuraikan pada tabel :

Tabel 2. 1 Perbandingan Jenis Baterai yang digunakan pada EV

Jenis Baterai	Biaya (/kWh)	Efisiensi (%)	Cycle	Life (Years)	Energi Spesifik (Wh/kg^{-1})	Daya Spesifik (Wh/kg^{-1})
Li-based battery	100-2000	80-95	500-18000	~15	90-190	250-400
Ni-based battery	150-2400	50-90	100-40000	15-20	30-70	50-1000
Lead-acid battery	50-200	70-90	500-4500	3-15	30-50	50-180

2.6 Emisi Karbon

Karbon adalah unsur yang terbentuk dalam berbagai senyawa. Emisi karbon merujuk pada pelepasan gas gas yang mengandung karbon ke atmosfer bumi. Penggunaan bahan bakar fosil dalam sektor industri dan energi menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah besar dan menjadi faktor utama penyebab terjadinya gas rumah kaca dan pemanasan global. Selain sektor industri dan energi seperti Pembangkit Listrik berbahan bakar fosil, sektor transportasi juga menjadi kontributor utama emisi, sehingga menimbulkan perubahan iklim dan degradasi lingkungan [21]. Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas yang terkandung dalam atmosfer yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Emisi GRK merupakan lepasnya GRK ke atmosfer pada suatu area di waktu tertentu [22].

Berdasarkan perjanjian Paris, Konsep nol emisi bersih merujuk paada target yang dirancang untuk membatasi pemanasan global hingga 1,5 derajat celcius [23][24]. Untuk mencapai *Net Zero Emission*, Indonesia berkomitmen mengurangi emisi karbon untuk menjaga kenaikan suhu global dengan menaikkan target Enhanced *Nationally Determined Contribution* (E-NDC) dari target sebelumnya yaitu 29% atau setara dengan 835 juta ton CO₂ menjadi 32% atau setara dengan 912 juta ton CO₂ pada tahun 2030. Sumber energi terbarukan sebagai jawaban untuk membantu menetralkan efek gas rumah kaca dan memberikan waktu penggunaan yang lebih lama dibandingkan dengan sumber energi berbahan bakar fosil [25].

Jumlah emisi karbon dihitung termasuk emisi langsung dari pembakaran bahan bakar fosil dan juga emisi tidak langsung dari pertambangan, produksi silicon dan transportasi. Meskipun Panel surya sebagai teknologi yang bertujuan dalam mendukung transisi menuju karbon rendah, panel surya tidak sepenuhnya bebas emisi karena tetap ada emisi yang dihasilkan selama proses produksi panel surya. *Life cycle assessment* (LCA) menunjukkan bahwa produksi modul surya membutuhkan bahan non logam dan logam yang berasal dari kegiatan pertambangan. Selain itu, masa pakai panel surya dirancang 25-30 tahun dan masa pakai inverter 15 tahun menjadikan daur ulang limbah panel bisa menjadi sumber emisi karbon lainnya [23].

2.6.1 Pengurangan Emisi

Pengurangan emisi adalah proses menurunkan atau menghilangkan efek karbon dioksida dan emisi gas rumah kaca dari berbagai sektor, seperti industri, transportasi dan sektor listrik dalam upaya mencegah pemanasan global. Terdapat banyak pendekatan untuk mengurangi emisi karbon mencapai *Net Zero Emissions* pada tahun 2050, termasuk tindakan pada efisiensi energi, penangkapan karbon, transportasi listrik dan perluasan penggunaan sumber energi bersih dan terbarukan seperti penerapan tenaga surya pengganti bahan bakar fosil [24].

2.6.2 Aksi mitigasi

Aksi mitigasi bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari pembakaran energi berbahan fosil dengan membangun dan mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang langsung diinterkoneksi ke jaringan Listrik. Aksi mitigasi dapat dilakukan dengan kriteria kelayakan PLTS yang beroperasi setelah tahun 2010 bersifat Pembangunan PLTS baru, PLTS yang ter-Interkoneksi dengan grid (*On-Grid*) dan PLTS memiliki alat ukur atau meteran listrik untuk mengetahui produksi listrik neto yang disalurkan ke sistem interkoneksi tenaga listrik. Produksi listrik neto merupakan produksi Listrik gross dikurangi dengan listrik pemakaian sendiri [26].

1. Karbon dioksida (CO₂) merupakan Sumber emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan dalam kondisi *baseline* dari pembangkitan listrik pada sistem Interkoneksi tenaga listrik.
2. Emisi *Baseline* adalah emisi GRK yang dihasilkan apabila PLTS tidak dibangun dan dioperasikan. Dengan asumsi bahwa tanpa PLTS, kebutuhan listrik suatu wilayah akan dipenuhi dari jaringan listrik (grid), sehingga emisi baseline dapat dihitung dengan Produksi listrik neto dari aksi mitigasi dikalikan dengan Faktor emisi GRK pada Sistem ketenagalistrikan.

3. Faktor Emisi GRK sistem ketenagalistrikan merupakan jumlah emisi CO₂ yang dilepaskan untuk memproduksi 1 MWh energi listrik di sistem interkoneksi tenaga listrik.
4. Faktor emisi GRK Sistem ketenagalistrikan merupakan faktor emisi karbon dioksida (CO₂) *combined margin* yang digunakan untuk pembangkitan listrik pada sistem interkoneksi tenaga listrik, nilai ini diterbitkan dan dihitung oleh Kementerian KESDM. Faktor emisi *combiner margin* yang digunakan yaitu nilai terendah antara faktor emisi *ex-post* dan *ex-ante*.
5. Jika nilai faktor emisi CO₂ *combiner margin* untuk sistem interkoneksi tidak tersedia, maka dapat menggunakan nilai faktor emisi lain yang tersedia pada sistem interkoneksi tersebut. Perhitungan Faktor emisi GRK sistem ketenagalistrikan berdasarkan panduan *Clean Development Mechanism: "Tool to calculate the emission factor an electricity system"* versi terakhir.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2024 – Januari 2025 di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan					
		Agu	Sept	Okt	Nov	Des	Jan
1.	Studi Literatur						
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. Laptop Asus Vivobook dengan spesifikasi AMD Ryzen 5 5600H *with Radeon Graphics*, dilengkapi dengan prosesor 3,30 GHz, serta sistem operasi *Windows 11 Home Single Language 64-bit operating system*.
2. *Software PV-syst* sebagai *software* untuk mengetahui kapasitas PLTS yang terpasang dan energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS.
3. Helioscope yang digunakan untuk design perancangan sistem PLTS *rooftop*
4. *Software Microsoft Excel* sebagai aplikasi olah data profile beban dan Analisa kelayakan Ekonomis.

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah
Pada tahap ini penulis mengidentifikasi permasalahan terkait kelayakan teknis dan ekonomis pada perancangan PLTS *On-Grid* sebagai suplai energi pada SPKLU atau *Electric Vehicle Charging Station*.
2. Studi Literatur
Pada tahap ini penulis melakukan pencarian referensi sebagai pendukung dan acuan dalam melaksanakan penelitian. Dalam studi literatur penulis memperoleh jurnal Internasional maupun nasional, buku, skripsi dan artikel ilmiah
3. Perencanaan Teknis
Pada tahap ini penulis melakukan design PLTS pada atap bangunan sebagai simulasi pengaplikasian PLTS menggunakan *software* Helioscope dan Perancangan konfigurasi sistem dengan menentukan jumlah, kapasitas dan tipe dari komponen sistem, serta susunan panel surya dalam seri maupun parallel menggunakan software *Pvsyst*.

4. Perencanaan Ekonomis

Pada tahap ini penulis membahas terkait biaya investasi yang diperlukan untuk merealisasikan perancangan PLTS *On Grid* sebagai suplai *Charging Station* pada SPKLU *El's Coffee*. Analisa ekonomi dilakukan menggunakan parameter seperti BoQ (Bill of Quantity) BOM (Biaya Operasional dan Pemeliharaan), LCC (Life Cycle Cost), LCoE (Levelized Cost of Energy) dan CRF (*Capital Recovery Factor*) dan untuk mengetahui kelayakan dari perencanaan menggunakan parameter seperti, NPV (*Net Present Value*), DPP (*Discounted Payback Period*), dan PI (*Profitable Index*) berdasarkan nilai investasi awal yang dikeluarkan.

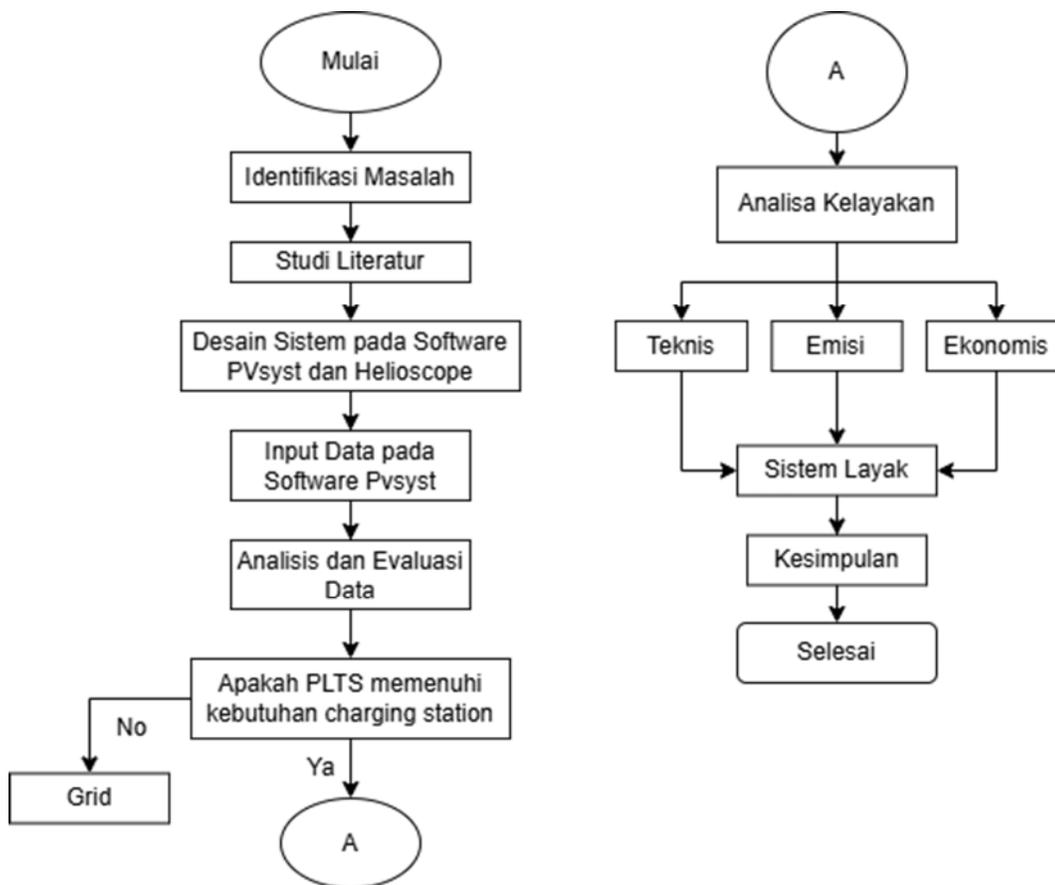
5. Simulasi dan Analisis

Pada tahap ini dilakukan pemodelan data *real time* yang akan digunakan dalam simulasi untuk melihat output sistem panel surya terhadap nilai iradiasi matahari, mengetahui potensi energi yang dihasilkan PLTS untuk dianalisa kelayakan teknis, ekonomis dan penghematan emisi pada perencanaan perancangan PLTS *On-Grid*.

6. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, penulis membuat laporan terkait hasil yang telah didapatkan untuk pertanggungjawaban terhadap penelitian yang dilakukan. Hasil laporan penelitian ini dapat dijadikan saran apakah perancangan PLTS *On Grid* sebagai Suplai *Charging Station* pada *El's Coffee* layak dilakukan atau tidak.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Analisis Kelayakan Teknis

Analisa Kelayakan Teknis dalam Perancangan sistem PLTS *On-Grid* adalah proses untuk memastikan sistem PLTS yang dirancang berfungsi secara optimal, efisien dan dan menghasilkan energi yang memenuhi kebutuhan beban. Analisa kelayakan teknis dimulai dari pemilihan komponen sistem, analisa beban dan kapasitas sistem hingga menganalisa output energi.

3.5.1 Pemilihan Komponen Sistem PLTS

Pemilihan komponen sangat penting dalam merancang sistem PLTS *On-Grid*. Setiap komponen mempengaruhi performa, efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan [3]. Semua komponen harus dipilih cermat untuk mengurangi rugi rugi sistem dan mengoptimalkan biaya [27].

3.5.2 Jumlah Panel Surya

Jumlah panel surya pada penelitian ini ditentukan dengan memaksimalkan luas atap Gedung yang tersedia. Software yang digunakan dalam merancang sistem PV dan menentukan jumlah panel yaitu Helioscope dengan menginput komponen dan kapasitas PV, tilt/azimuth, orientasi PV dan spacing design maka akan didapatkan jumlah panel yang digunakan.

3.5.3 Kapasitas Array Panel Surya

Mengetahui kapasitas array untuk memastikan sistem dirancang secara optimal dan menghasilkan daya yang dapat memenuhi kebutuhan beban. Kapasitas array panel surya dapat dihitung setelah mengetahui jumlah modul surya, yang kemudian dikalikan dengan kapasitas dari tiap modulnya.

$$\text{Kapasitas array panel surya} = \text{Kapasitas Modul} \times \text{Jumlah Modul} \quad (3.1)$$

3.5.4 Kapasitas Daya Inverter

Inverter dipilih sesuai kebutuhan dengan mempertimbangkan kompatibilitas modul PV [28]. Pada penelitian ini, panel dirancang *oversizing* dibandingkan Inverter dengan DC/AC ratio 1,1 hingga 1,3 karena PV tidak selalu beroperasi pada kapasitas maksimum. Inverter yang digunakan harus memiliki Max PV *input power* yang mampu menangani *output power* DC dari panel, hal ini dikarenakan Output DC yang dihasilkan PV tidak boleh melebihi nominal input power pada Inverter. Ketika DC power dari panel melebihi kemampuan inverter, inverter akan membatasi daya

output pada kapasitas maksimum, sehingga kelebihan daya akan terbuang dan mengurangi efisiensi sistem. Jika output DC terlalu kecil juga akan membuat inverter tidak bekerja optimal dan efisiensi sistem berkurang.

3.5.5 Konfigurasi Modul Panel Surya

Dengan mengetahui besarnya tegangan input inverter, menentukan hubungan seri dan parallel dalam konfigurasi sistem PLTS On-Grid penting untuk dilakukan. Perhitungan konfigurasi seri-parallel untuk mengetahui arus dan tegangan DC yang akan Masuk ke Inverter, sehingga dapat memaksimalkan kinerja Inverter. Dalam menentukan konfigurasi modul surya yang akan dipasang dapat digunakan persamaan (3.2), (3.3) dan (3.4).

$$\text{Minimal modul seri per string} = \frac{V_{min}Inverter}{V_{oc}Modul} \quad (3.2)$$

$$\text{Maksimal modul seri per string} = \frac{V_{max}Inverter}{V_{mp}Modul} \quad (3.3)$$

$$\text{Maksimal modul paralel per string} = \frac{I_{max}Inverter}{I_{mp}Modul} \quad (3.4)$$

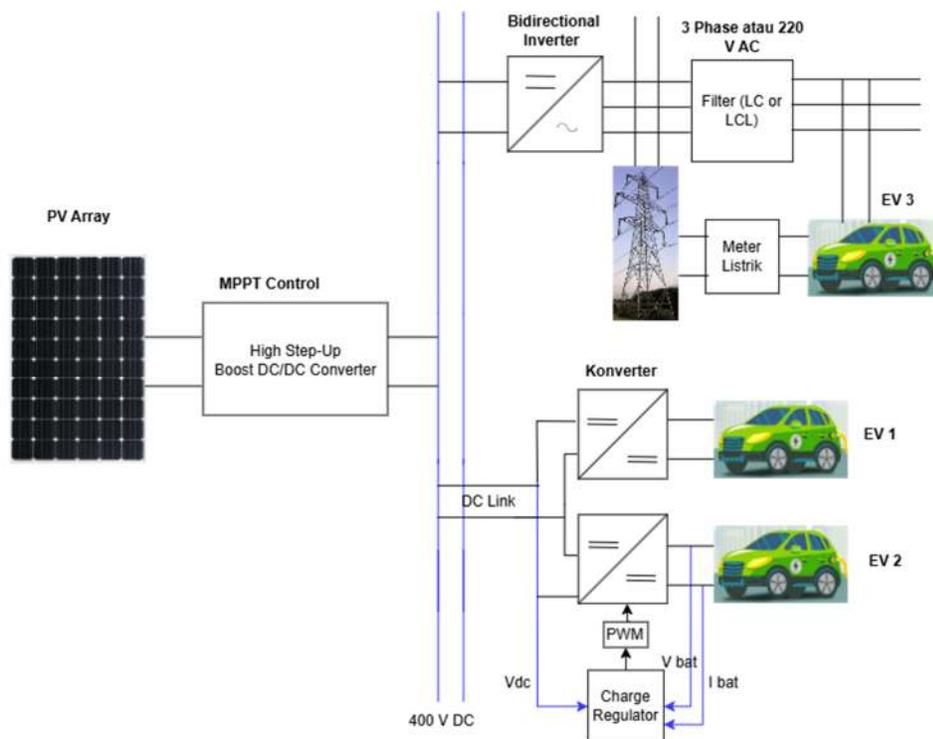
Keterangan:

$V_{min}Inverter$	= Tegangan minimum DC Inverter (V)
$V_{max}Inverter$	= Tegangan maksimum DC Inverter (V)
$I_{max}Inverter$	= Arus maksimum DC Inverter (A)
$V_{oc}Modul$	= Tegangan <i>open-circuit</i> panel (V)
$V_{mp}Modul$	= Tegangan maksimum panel (V)
$I_{mp}Modul$	= Arus maksimum panel (A)

3.5.6 Desain 3D sistem PLTS menggunakan *software* Helioscope

Desain 3D pada penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran realistis tentang bagaimana sistem PLTS akan dipasang di lokasi, termasuk tata letak panel surya dan inverter. Desain 3D membantu menentukan orientasi dan kemiringan panel yang optimal berdasarkan lokasi geografis agar radiasi yang diserap oleh panel surya dapat maksimal [27].

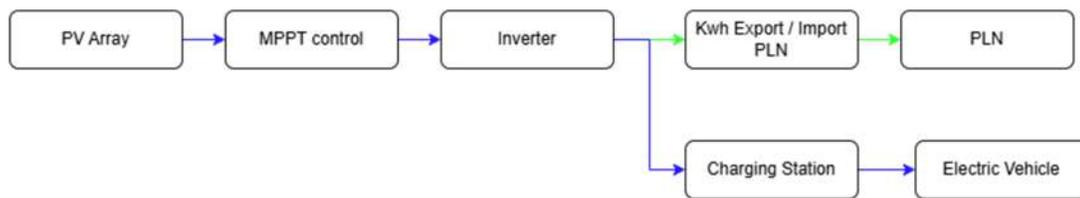
3.5.7 Skema PLTS On-Grid sebagai Supply Charging Station



Gambar 3. 2 Skema Sistem

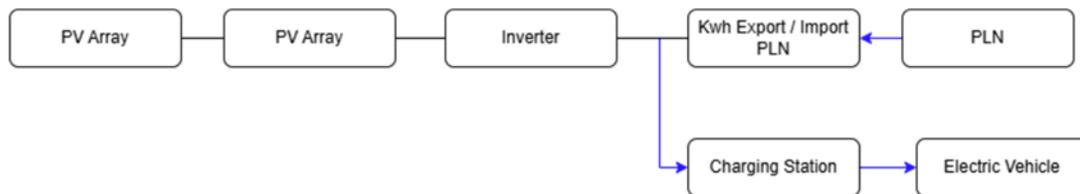
3.5.8 Manajemen Energi *Charging Station*

Konfigurasi sistem terhubung dengan jaringan yang terdiri dari sistem PV, *Grid*, konverter dua arah, Mppt *control*, kWh *exim*, *charging station* dan *electric vehicle*. Konsep manajemen energi, dimana sumber berasal dari panel surya dan *grid*. Mode operasi digunakan untuk menyesuaikan kebutuhan beban dengan ketersediaan sumber pada sistem. Ketika pada siang hari, daya yang dihasilkan panel surya akan mencapai kondisi maksimum sehingga sistem akan memaksimalkan energi dari sumber panel surya ke beban dan meminimalisir penggunaan *grid*. Grid akan mengirimkan energi ketika daya dari panel surya tidak dapat memenuhi kebutuhan beban (baterai mobil listrik) atau pada saat malam hari dan cuaca yang mendung [29]



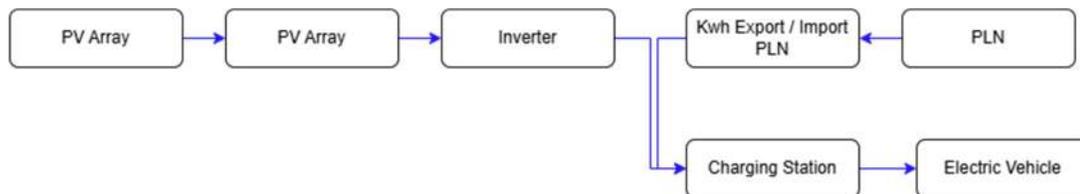
Gambar 3. 3 Mode Operasi A

Mode Operasi A yang ditunjukkan pada gambar 3.3 menunjukkan energi yang disuplai dari PLTS langsung ke beban (panah biru). Mode operasi ini terjadi ketika siang hari, dimana panel surya menerima iradiasi matahari sehingga panel dapat beroperasi pada kondisi maksimum. Kebutuhan beban dapat sepenuhnya di suplai oleh panel surya dan kelebihan energi yang dihasilkan panel surya dialirkan ke grid (panah hijau).



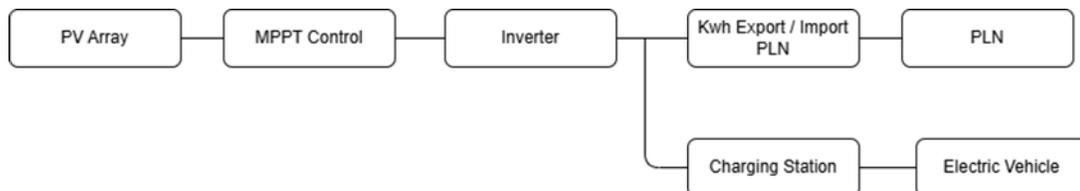
Gambar 3. 4 Mode Operasi B

Mode Operasi B yang ditunjukkan pada gambar 3.4 menunjukkan energi yang di suplai dari Jaringan *Grid* PLN ke beban. Operasi ini terjadi saat PLTS tidak menghasilkan daya seperti saat malam hari [29].



Gambar 3. 5 Mode Operasi C

Mode Operasi C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 menunjukkan energi disuplai oleh PLTS dan *Grid*. Operasi ini terjadi ketika PLTS tidak dapat memenuhi permintaan beban atau pada saat kondisi cuaca mendung sehingga cahaya matahari yang diterima plts tidak maksimal.



Gambar 3. 6 Mode Operasi D

Mode operasi D yang ditunjukkan pada gambar 3.6 menunjukkan beban (EV) tidak mendapatkan suplai dari sumber sehingga menyebabkan sistem PLTS otomatis mati. Hal ini terjadi jika jaringan *grid* PLN mati pada malam hari dan tidak mendapat suplai energi dari sumber lainnya [29].

3.5.9 Konfigurasi dan Output Simulasi menggunakan PVsyst

Konfigurasi komponen dan *load consumption* pada penelitian ini di Simulasikan menggunakan *software* PVsyst untuk mendapatkan energi dan daya yang dibangkitkan sistem agar memenuhi kebutuhan beban. Parameter parameter yang dibutuhkan dalam konfigurasi seperti jumlah dan spesifikasi komponen, susunan modul secara string dan series, hingga *load consumption*. Energi pada output simulasi berdasarkan pada Iradiasi matahari, luas area array, efisiensi modul dan *losses* pada sistem. E_{Array} merupakan energi bersih keluaran Array dan *Produced* energi merupakan energi yang tersedia pada keluaran Inverter. E_{Array} dan $E_{Produksi}$ dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 dan 3.7.

3.5.9.1 Mencari Energi Keluaran PV (E_{Array})

Sebelum menghitung E_{Array} , penting untuk melakukan perhitungan Array nominal energy (at STC effic) menggunakan persamaan

$$Array\ nominal\ energy_{STCeff} = GlobEff \times Luas\ Area\ Array \times \eta_{PV} \quad (3.5)$$

$$E_{Array} = Array\ nominal\ energy - Modul\ Array\ Losses \quad (3.6)$$

3.5.9.2 Mencari *Produced Energy*

Produced energy merupakan total energi yang dibangkitkan sistem PLTS dan merupakan jumlah total dari E_{Solar} dan E_{Grid} . Energi produksi dapat dihitung dengan persamaan

$$E_{produksi} = E_{Array} - Inverter\ losses \quad (3.7)$$

Keterangan:

$GlobEff$ = *Effective Global, corr. for IAM and shadings* (kWh/m²)

η_{PV} = Efisiensi Panel (21 %)

Modul Array *Losses* = Losses yang terjadi pada modul sebelum masuk ke Inverter

Array nominal *energy* = Energi keluaran array berdasarkan STCeff

Inverter *Losses* = Losses yang terjadi pada inverter

3.6 Analisa Emisi

Salah satu tujuan utama menggunakan PLTS Sebagian sumber energi SPKLU yaitu untuk mengurangi emisi karbon dari Pembangkit Listrik berbahan bakar fosil. Analisa emisi karbon pada penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai karbon yang dihemat karena pengoperasian PLTS untuk SPKLU dan mengetahui seberapa besar PLTS berkontribusi untuk mengurangi emisi karbon.

3.6.1 Parameter Ex-post

Parameter Ex-post merupakan bagian dari Rencana Pemantauan pada mitigasi emisi GRK.

3.6.1.1 Faktor Emisi GRK sistem ketenagalistrikan

Faktor Emisi GRK sistem ketenagalistrikan merupakan faktor emisi GRK sistem ketenagalistrikan pada tahun y menggunakan metode untuk menghitung faktor emisi Listrik dari jaringan grid. Biasa ditulis dengan FEG_y dalam satuan tonCo₂/MWh [26].

3.6.1.2 Produksi Listrik Neto

Produksi Listrik neto adalah total produksi energi listrik bersih (neto) yang dihasilkan oleh PLTS dan disalurkan ke jaringan interkoneksi pada tahun y . Produksi listrik neto harus dipantau menggunakan meteran listrik dua arah apabila terjadi pembelian listrik dari jaringan interkoneksi dan pemantauan dilakukan secara diukur setiap jam [26]. Perhitungan produksi Listrik neto dilakukan berdasarkan selisih antara :

1. Jumlah Listrik yang disuplai oleh PLTS ke jaringan Listrik
2. Jumlah listrikk yang diperlukan untuk aksi mitigasi dari jaringan.

3.6.2 Perhitungan Emisi Baseline

$$EB_y = PL_y \times FEG_y \quad (3.8)$$

Keterangan :

EB_y = Emisi *baseline* dalam periode y (tonCO₂)

PL_y = Jumlah Produksi Listrik neto (Listrik bersih) yang dihasilkan PLTS dan disalurkan ke jaringan interkoneksi pada tahun y (MWh)

FEG_y = Faktor emisi GRK sistem ketenagalistrikan pada tahun y (ton CO₂/Mwh)

3.6.3 Perhitungan Penurunan Emisi

$$PE_y = EB_y - EP_y \quad (3.9)$$

Keterangan :

PE_y = Penurunan emisi karena aksi mitigasi dalam periode y (tonCO₂)

EB_y = Emisi Baseline

EP_y = Emisi Aksi Mitigasi

3.7 Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dilakukan dengan menghitung biaya energi dan analisis terhadap kelayakan investasi PLTS *rooftop*. Biaya energi PLTS *Rooftop* yang dihitung meliputi biaya investasi awal, biaya pemeliharaan dan operasional, biaya siklus hidup (*life cycle cost*), faktor pemulihan modal (*capital recovery factor*), dan biaya energi (*cost of energy*). Sedangkan untuk Analisa kelayakan investasi PLTS *rooftop* ditentukan dengan metode *net present value* (NPV), *profitability index* (PI) dan *discount payback periode* (DPP).

3.7.1 Menghitung *Bill of Quantity* (BoQ)

BoQ merupakan daftar yang mencakup komponen-komponen yang dibutuhkan beserta harga yang dikenakan untuk masing masing komponen. Melalui BoQ ini, dapat dilakukan analisis harga satuan tiap komponen hingga memperoleh total estimasi anggaran biaya. Dengan mengetahui jumlah dan harga dari tiap komponen, maka biaya investasi yang diperlukan akan diketahui [27].

3.7.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya Operational dan Maintenance merupakan biaya yang dikeluarkan selama masa pakai sistem PLTS OnGrid dalam menyuplai energi kepada SPKLU, Meliputui biaya penggantian komponen, maintenance sistem dan komponen dll [30]. Untuk menghitung biaya operasional dan pemeliharaan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Biaya } O \text{ \& } M = 1\% \times \text{Biaya Investasi Awal} \quad (3.10)$$

3.7.3 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup dari suatu sistem mencakup semua biaya pengeluaran yang terjadi selama masa operasional sistem. Biaya siklus hidup (LCC) dapat diperoleh dengan persamaan [30]:

$$LCC = C + Mpw + Rpw \quad (3.11)$$

Keterangan :

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*)

C = Biaya investasi awal

Mpw = Total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek

Rpw = Biaya penggantian alat yang harus dikeluarkan selama umur proyek

3.7.4 Levelized Cost of Energy (LCoE)

LCoE digunakan untuk mengukur biaya produksi setiap kWh listrik selama masa pakai sistem PV untuk menilai efektivitas biaya dari PLTS selama sistem masih menghasilkan energi. LCOE dihitung dengan mengambil total *Present Value* LCC yang merupakan biaya siklus hidup selama proyek berlangsung dan membaginya dengan jumlah Total Et atau total energi yang diproduksi selama masa pakainya [31].

$$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{LCC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}} \quad (3.12)$$

3.7.5 Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

Faktor Pemulihan modal adalah faktor yang digunakan untuk mengonversi arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan yang seragam [31].

Faktor Pemulihan modal diperoleh dengan persamaan :

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.13)$$

Keterangan :

CRF = Faktor pemulihan modal

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

3.8 Teknik Analisis Ekonomi Kelayakan Investasi

Teknik ini digunakan untuk memberi pemahaman mengenai pengambilan keputusan berdasarkan parameter ekonomi, diantaranya [32] :

3.8.1 Net Present Value (NPV)

NPV digunakan untuk menentukan nilai saat ini dari permintaan dan pengeluaran uang yang akan terjadi di masa mendatang [33] [31].

Untuk menghitung *Net Present Value* (NPV) menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

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

IA = Investasi awal (*Initial Investment*)

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Kriteria untuk menentukan apakah usulan investasi layak diterima atau ditolak, jika :

- a. Jika nilai NPV yang diperoleh Positif (+), proyek tersebut layak dijalankan, hal ini karena menunjukkan investasi proyek dapat menghasilkan keuntungan dalam periode yang telah ditentukan.
- b. Jika nilai NPV yang diperoleh negatif (-), proyek tersebut tidak layak dijalankan karena hal ini menunjukkan bahwa investasi proyek belum mampu memberikan keuntungan dalam periode yang diperhitungkan.

3.8.2 *Discounted Payback Period*

Discounted Payback period adalah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan yang dihasilkan oleh proyek. *Discounted payback period* (DPP) merupakan periode pengembalian uang yang dihitung menggunakan faktor diskon (*discount factor*) [30]. Menggunakan persamaan :

$$PP = n + \frac{a-b}{c-b} \times 1 \text{ tahun} \quad (3.15)$$

Dimana:

n = Tahun terakhir jumlah arus kas bernilai negatif

a = Total investasi awal

b = Total kumulatif arus kas pada tahun ke-n

c = Total kumulatif arus kas pada tahun ke-(n+1)

Kriteria keputusan untuk menilai kelayakan proyek dengan metode DPP adalah

- a. Jika DPP lebih pendek dari umur proyek, maka Proyek dinilai layak.
- b. Jika DPP lebih panjang dari umur proyek, maka Proyek dianggap belum layak.

3.8.3 Profitability Index (PI) atau Benefit Cost Ratio (BCR)

Parameter PI atau BCR adalah nilai perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang (NCF) dengan biaya dan investasi awal (*cost and Investment*) yang dikeluarkan [30]. Untuk melakukan perhitungan *Cost Benefit* digunakan rumus perhitungan :

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{IA} \quad (3.16)$$

Keterangan :

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

IA = Investasi Awal

- a. Jika hasil perhitungan $PI > 1$, maka *benefit* yang dihasilkan selama umur ekonomis proyek melebihi biaya (*cost*) dan investasi yang dikeluarkan (*investment*), (Proyek dinilai layak / *favourable*)
- b. Jika hasil perhitungan $PI < 1$, *benefit* yang diperoleh selama umur ekonomis proyek tidak mencukupi untuk menutupi biaya dan investasi. (Proyek dianggap tidak layak / *unfavourable*).

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. PLTS On-Grid dengan jumlah modul terpasang sebanyak 75 modul menghasilkan daya sebesar 41,3 kWp dan potensi energi sebesar 58,54 MWh/tahun, sehingga mampu memenuhi kebutuhan beban mobil listrik pada SPKLU yaitu sebesar 17 MWh/year.
2. Penelitian ini dikatakan layak dalam aspek ekonomis dan investasi karena nilai NPV proyek bernilai + Rp. 177.073.429 dengan DPP 11,57 tahun dan nilai *probability index* lebih dari 1 yaitu 1,38 yang menunjukkan proyek ini akan mendapatkan keuntungan sebesar 38%.
3. Perencanaan PLTS On-Grid Sebagai suplai SPKLU mampu mereduksi emisi karbon sebesar 1.029 tonCO₂eq, sehingga sistem ini dapat mendukung transisi energi menuju *net zero emission*.

5.2. Saran

1. Dilakukan penelitian Kembali menggunakan data stasioner agar didapat model dalam memprediksi nilai masa depan, sehingga perencanaan PLTS yang dilakukan dapat lebih akurat.
2. Penelitian selanjutnya menggunakan beban peralatan komersil yang digunakan didalam gedung El's Coffee, supaya kelebihan energi yang dihasilkan sistem PLTS dapat disuplai ke beban tersebut. Beban yang dimaksud seperti mesin kopi, AC, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. O. Aghenta and M. Tariq Iqbal, "Design and dynamic modelling of a hybrid power system for a house in Nigeria," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/6501785.
- [2] Y. Z. Arief, S. Wilyanti, and R. R. Al-Hakim, "DESIGN OF A SOLAR ROOFTOP FOR PEVCS AT PLN DISTRIBUTION MAIN UNIT IN GREATER JAKARTA."
- [3] R. Foster, M. Ghassemi, and A. Cota, "SOLAR ENERGY Renewable Energy and the Environment."
- [4] "Perda_No_9_Tahun_2019_tentang_RUED_Provinsi_Lampung".
- [5] "Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019 Tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) Untuk Transportasi Jalan," 2019.
- [6] S. Kempston, S. R. Coles, F. Dahlmann, and K. Kirwan, "UK electric vehicle battery supply chain sustainability: A systematic review," Mar. 01, 2025, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2024.115216.
- [7] S. ABDI YONIS, Z. YUSUPOV, and M. T. GUNESER, "Designing a Solar PV-Battery based on Electric Vehicle Charging Station," *International Journal of Engineering and Innovative Research*, vol. 5, no. 2, pp. 123–136, Jun. 2023, doi: 10.47933/ijeir.1231500.
- [8] J. E. Elektro, H. B. Nurjaman, and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga." [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- [9] M. Ridho, B. Winardi, and B. Setiyono, "DESAIN DAN SIMULASI SISTEM PLTS DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING METODE PERTURB AND OBSERVE DI SMA NEGERI 4 SEMARANG MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK." [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>

- [10] Samsurizal, K. T. Mauriraya, M. Fikri, Pasra Nurmiati, and Christiono, “Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” *IKAPI*, no. PLTS.
- [11] David Tan and Ang Kian Seng, “Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems Contents.”
- [12] P. G. V. Sampaio and M. O. A. González, “Photovoltaic solar energy: Conceptual framework,” 2017, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2017.02.081.
- [13] “BUKU PANDUAN ENERGI TERBARUKAN,” Bandar Lampung, 2023.
- [14] K. K. Jaladi, S. Kumar, and L. M. Saini, “ANFIS controlled grid connected electric vehicle charging station using PV source,” in *2020 1st IEEE International Conference on Measurement, Instrumentation, Control and Automation, ICMICA 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jun. 2020. doi: 10.1109/ICMICA48462.2020.9242717.
- [15] M. S. Sheik, P. Kakati, D. Dandotiya, U. R. M, and R. C. S, “A comprehensive review on various cooling techniques to decrease an operating temperature of solar photovoltaic panels,” Dec. 01, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.nexus.2022.100161.
- [16] R. Herdian, A. Lomi, and A. Uji Krismanto, “ANALISIS MANAJEMEN ENERGI CHARGING STATION DENGAN PEMANFAATAN PLTS 0.5 MWp ON GRID DI ITN MALANG.”
- [17] N. S. Kumara, “Tinjauan Perkembangan Kendaraan Listrik Dunia Hingga Sekarang.”
- [18] J. Zhang *et al.*, “Design scheme for fast charging station for electric vehicles with distributed photovoltaic power generation,” *Global Energy Interconnection*, vol. 2, no. 2, pp. 150–159, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.gloi.2019.07.003.
- [19] A. P, S. C. Lim, and A. N, “Optimizing renewable energy-based plug-in hybrid electric vehicle charging stations for sustainable transportation in India,” *Transportation Engineering*, vol. 18, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.treng.2024.100292.
- [20] J. Wellten, J. Angelis, and E. Ribeiro da Silva, “Enabling a viable circular ecosystem for electric vehicle batteries,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 210, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.techfore.2024.123876.

- [21] C. V. M. Gopi and R. Ramesh, "Review of battery-supercapacitor hybrid energy storage systems for electric vehicles," Dec. 01, 2024, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.rineng.2024.103598.
- [22] KEMEN-ESDM, "PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA NOMOR 2 TAHUN 2023 TENTANG PENYELENGGARAAN PENANGKAPAN DAN PENYIMPANAN KARBON, SERTA PENANGKAPAN, PEMANFAATAN, DAN PENYIMPANAN KARBON PADA KEGIATAN USAHA HULU MINYAK DAN GAS BUMI," 2023. [Online]. Available: www.peraturan.go.id
- [23] M. An and X. Sun, "Carbon footprints of solar panels in China provinces based on different production and waste treatment scenarios," *J Clean Prod*, vol. 435, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.140453.
- [24] A. O. M. Maka, T. Ghalut, and E. Elsaye, "The pathway towards decarbonisation and net-zero emissions by 2050: The role of solar energy technology," *Green Technologies and Sustainability*, vol. 2, no. 3, p. 100107, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.grets.2024.100107.
- [25] F. J. Hasanov, R. Sbia, D. Papadas, and I. Kostakis, "The consumption-based carbon emissions effects of renewable energy and total factor productivity: The evidence from natural gas exporters," *Energy Reports*, vol. 12, pp. 5974–5989, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.egy.2024.11.054.
- [26] D.-K. Direktorat Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan, "METODOLOGI PENGHITUNGAN REDUKSI EMISI DAN/ATAU PENINGKATAN SERAPAN GRK," 2020.
- [27] A. Malla and K. Gautam, *Handbook for on-grid rooftop solar PV design optimization*. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), 2023. doi: 10.53055/icimod.1025.
- [28] B. Paudel *et al.*, "Techno-economic and environmental assessment of utilizing campus building rooftops for solar PV power generation," *Int J Green Energy*, vol. 18, no. 14, pp. 1469–1481, 2021, doi: 10.1080/15435075.2021.1904946.
- [29] Wahyu Bagus Rahmatulloh and Aris Heri Andriawan, "Rancang Bangun PLTS Menggunakan Sistem Hybrid Pada Rumah Tangga Untuk Mengurangi Ketergantungan Energi Listrik Dari PLN," *Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 2, no. 3, pp. 58–72, Jul. 2024, doi: 10.61132/uranus.v2i3.207.

- [30] H. Helmi Nur Jannah *et al.*, “ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PERENCANAAN PLTS ROOFTOP SISTEM ON-GRID DI SDN 1 TEMUWUH,” 2023.
- [31] H. Ali and H. A. Khan, “Techno-economic evaluation of two 42 kWp polycrystalline-Si and CIS thin-film based PV rooftop systems in Pakistan,” *Renew Energy*, vol. 152, pp. 347–357, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.12.144.
- [32] B. Maruli Pangaribuan, I. Ayu Dwi Giriantari, and I. Wayan Sukerayasa, “DESAIN PLTS ATAP KAMPUS UNIVERSITAS UDAYANA: GEDUNG REKTORAT,” 2020.
- [33] A. halomoan Sitorus, N. Hidayati, T. H. Nufus, and A. E. Yuliana, “Simulasi Software PVSyst 7.3 pada Rancangan Sistem PLTS On-Grid 48,4 kWp di Gedung Perpustakaan PNJ Serta Analisa Aspek Tekno-Ekonomi dan Carbon Saving,” *Jurnal Mekanik Terapan*, vol. 4, no. 3, pp. 156–166, Jul. 2024, doi: 10.32722/jmt.v4i3.5996.