

**STUDI KELAYAKAN PLTS ATAP *ON GRID* DAN EFEK TERHADAP  
PROFIL TEGANGAN DI JARINGAN TEGANGAN RENDAH (JTR)**

**(Skripsi)**

Oleh

**FATUR RAHMAN**

**1915031045**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2023**

## **ABSTRAK**

### **STUDI KELAYAKAN PLTS ATAP *ON GRID* DAN EFEK TERHADAP PROFIL TEGANGAN DI JARINGAN TEGANGAN RENDAH (JTR)**

**Oleh :**

**FATUR RAHMAN**

Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar, di mana teknologi pembangkit listrik *photovoltaic* (PV) berkembang pesat dan banyak *stakeholder* berminat untuk membangun pembangkit listrik PV tersebut. Transisi energi fosil ke energi baru terbarukan semakin ditingkatkan oleh Indonesia untuk mewujudkan target *Net Zero Emission* (NZE) di tahun 2060. Energi bersih menjadi alternatif pasokan energi listrik di Indonesia kedepannya. Seperti pembangkit tenaga surya, air, dan angin. Dalam penelitian ini, dilakukan perencanaan PLTS Atap *on grid* di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang menggunakan software PVSyst dan Helioscope. Untuk analisis efek injeksi PLTS ke *grid* menggunakan software Etap 12.6.0. Secara teknis, PLTS *on grid* di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang mampu menghasilkan energi tahunan hingga 110,7 MWh. Secara ekonomis, dengan memperhitungkan parameter NPV, IRR, dan Payback Period, nilai NPV sebesar Rp128.912.672, nilai IRR sebesar 8% dan Payback Period pada tahun ke-10, maka PLTS *on grid* di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang dinyatakan layak untuk diimplementasikan. Dengan adanya injeksi daya PLTS ke *grid* dapat meningkatkan besar tegangan pada bus yang terhubung langsung ke PV.

*Kata kunci*— PLTS *On grid*, NPV, IRR , Profil Tegangan

## **ABSTRACT**

### **FEASIBILITY STUDY OF PV ROOFTOP *ON GRID* AND EFFECT ON VOLTAGE PROFILE IN LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK**

**By :**

**FATUR RAHMAN**

Indonesia has a large solar energy potential, where photovoltaic (PV) power plant technology is developing rapidly and many stakeholders are interested in building PV power plants. The transition of fossil energy to new renewable energy is increasingly enhanced by Indonesia to realize the Net Zero Emission (NZE) target in 2060. Clean energy is an alternative to electricity supply in Indonesia in the future. Such as solar, water, and wind power plants. In this study, an on-grid rooftop solar power plant was planned at the Tanjungkarang Polytechnic Rectorate Building using PVSyst and Helioscope software. To analyze the effect of PLTS injection into the grid using Etap 12.6.0 software. Technically, the on-grid solar power plant at the Tanjungkarang Polytechnic Rectorate Building is capable of producing annual energy of up to 110.7 MWh. Economically, by calculating the NPV, IRR, and Payback Period parameters, the NPV value is Rp128,912,672, the IRR value is 8% and the Payback Period is in the 10th year, so the PLTS on grid at the Tanjungkarang Polytechnic Rectorate Building is declared feasible to implement. With the injection of PLTS power into the grid, it can increase the voltage on the bus that is directly connected to the PV.

*Keyword— On grid Solar Power Plant, NPV, IRR , Voltage Profile*

**STUDI KELAYAKAN PLTS ATAP *ON GRID* DAN EFEK TERHADAP  
PROFIL TEGANGAN DI JARINGAN TEGANGAN RENDAH (JTR)**

Oleh

**FATUR RAHMAN**

(Skripsi)

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

Pada

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi : **STUDI KELAYAKAN PLTS ATAP ON GRID  
DAN EFEK TERHADAP PROFIL TEGANGAN DI  
JARINGAN TEGANGAN RENDAH (JTR)**

Nama Mahasiswa : Fatur Rahman

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915031045

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



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

**Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.**  
NIP. 198806242019031015

2. Mengetahui

Ketua Jurusan  
Teknik Elektro

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

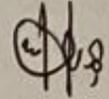
Ketua Program Studi  
Teknik Elektro

**Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**  
NIP. 197404222000122001

MENGESAHKAN

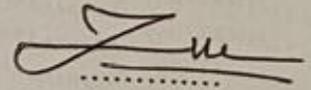
1. Tim Penguji

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



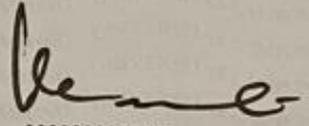
.....

Sekretaris : Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.



.....

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



.....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Maret 2023

## 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, 12 April 2023



Fatur Rahman

NPM 1915031045

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang, Sumatera Selatan pada tanggal 14 April 2001, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari bapak Setyo Hartono dan Ibu Febrina. Penulis memiliki riwayat pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar Pusri (SD Pusri) Palembang, pada tahun 2006 hingga tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMP Pusri) Palembang, pada tahun 2012 hingga tahun 2015, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 5 Palembang pada tahun 2015 hingga tahun 2018.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2019 jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis berkesempatan menjadi asisten dosen mata kuliah Menggambar Teknik dan Praktikum Analisa Sistem Tenaga tahun 2022 dan tergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dari tahun 2021. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) yang pada tahun 2020-2021 sebagai anggota Departemen PPD. Penulis berkesempatan belajar lintas kampus di Universitas Padjadjaran dan Institut Teknologi Nasional Malang dalam program Pertukaran Mahasiswa Merdeka Dalam Negeri (PMM-DN) pada tahun 2021. Kemudian mengikuti program magang bersertifikat di Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2022 sebagai Solar PV Engineer and Business Development. Diakhir masa studi penulis menjadi founder Society of Renewable Energy (SRE) Unila.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**KUPERSEMBAHKAN**

**KARYA INI UNTUK**

**PAPA DAN MAMA**

**SETYO HARTONO DAN FEBRINA**

**SERTA**

**KEDUA SAUDARA**

**AZMI DAN WAHYU**

**KELUARGA BESAR, DOSEN, TEMAN, DAN**

**ALMAMATER**

## MOTTO DAN QUOTES

"Jika Kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan"

**(Imam Syafi'i)**

Take a chance, Take a challenge, Make it Easy

Fokus pada diri sendiri jauh lebih baik daripada fokus pada pencapaian orang lain

Hargai dan nikmati proses, karena hasil yang baik dilewati oleh proses yang luar biasa

Semua orang akan sukses pada waktunya masing-masing

Jangan hiraukan masa depanmu, karena rezeki, jodoh, ajal sudah ditetapkan oleh Allah subhanahu wa ta'ala, tugas kita hanya berusaha maksimal dan berdoa

Jangan lupa berdoa, karena kita tidak ada apa-apanya tanpa kehendak dan seizin Allah subhanahu wa ta'ala

**(Fatur Rahman)**

## SANWACANA

Segala puji hanya milik Allah *subhanahu wa ta'ala*, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam*, suri teladan yang telah membawa risalah agama yang haq dan lurus ini kepada kita semua untuk kita ikuti dan taati.

Tugas Akhir dengan judul “**Studi Kelayakan PLTS Atap On grid dan Efek Terhadap Profil Tegangan di Jaringan Tegangan Rendah (JTR)**” 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. Kedua orang tua tercinta, kedua saudara, dan nenek dari ibu penulis yang selalu mendoakan yang terbaik untuk penulis, memberikan support baik lisan maupun materil sehingga penulis dimudahkan untuk 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. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. 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.
7. Bapak Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan saran, bimbingan dan arahan dengan baik dan ramah.
8. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, kritik dan arahan.
9. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus bagi penulis selama perkuliahan.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
11. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
12. Bapak dan Ibu dosen Laboratorium Sistem Tenaga Listrik yang telah memberikan fasilitas dan amanah kepada penulis
13. Ibu Virgo selaku kepala teknisi dan kelistrikan Rektorat Poltekkes Tanjungkarang Lampung yang telah berkenan mengizinkan penulis untuk penelitian di Rektorat Poltekkes, memberikan arahan, informasi, dan kebutuhan data terkait penelitian penulis.

14. Om erwin, bang jun, dan masyarakat lingkungan masjid al-hayah yang memberikan kemudahan penulis untuk bermukim dan teman-teman kajian lainnya yang sangat menghargai kehadiran saya selama berkuliah dan tinggal di sini.
15. Mas Idris sebagai karib pertama saat kuliah yang sering memberi arahan, masukan, membantu antar jemput dan memberikan pandangan kepada penulis sehingga menjadikan langkah-langkah penulis mudah hingga mencapai gelar sarjana saat ini.
16. Seluruh Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik; Pak Rahman atas kerjasamanya selama menjadi asisten laboratorium; Al Hadi, Khai, Dwi, Adam, Aqila, Adhi, Natasya, Adrian, Muklas, dan Mirza. Serta adik-adik STL 2020, Rizki, Aymanul, Arnes, Ipna, Syawal, Saka.
17. Keluarga besar Angkatan ETERNITY 2019, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial dan pengalaman dalam berorganisasi.
18. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis
19. Keluarga Besar KKN Desa Ringin Sari 2023, Kecamatan Suoh beserta warga-warga desa yang telah memberikan motivasi dan nilai-nilai kehidupan yang sangat bermakna dan sebagai tempat istirahat penulis di sela-sela pengerjaan hasil skripsi.

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, 12 April 2023

Fatur Rahman

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Hipotesis.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.1.1 Potensi Pengembangan PLTS di Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.....	7
2.1.2 Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro.....	8
2.1.3 Impact assessment of <i>grid</i> tied Atap PV systems on LV distribution network.....	8
2.1.4 Impact of Solar Panel Orientation on the Integration of Solar Energy in Low-Voltage Distributions <i>Grids</i> .....	9

2.1.5	Analisis Penyambungan PLTS Oelpuah 5 MWP ke Sistem Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV PT.PLN Unit Layanan Kupang ...	10
2.2	Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	10
2.3	Jenis-jenis Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	11
2.3.1	Sistem PLTS <i>on-grid</i> .....	11
2.3.2	Sistem PLTS Terpusat .....	12
2.3.3	Sistem PLTS <i>Off grid</i> .....	12
2.4	Komponen-komponen PLTS Atap.....	13
2.4.1	Modul Surya.....	13
2.4.2	Inverter.....	14
2.4.3	kWh Exim .....	15
2.4.4	PV Array combiner.....	16
2.4.5	AC Combiner box.....	17
2.5	Cara Kerja PLTS Atap <i>on grid</i> .....	17
2.6	Faktor utama yang mempengaruhi keluaran daya modul surya.....	18
2.6.1	Iradiasi Matahari.....	18
2.6.2	Suhu dan temperatur .....	19
2.6.3	Tahanan Beban .....	20
2.7	Konfigurasi Modul Surya .....	21
2.8	Helioscope.....	22
BAB III .....		24
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	24
3.2	Alat dan Bahan .....	25
3.3	Tahapan Penelitian .....	25

3.4	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.5	Proyeksi Luasan Atap Gedung.....	27
3.6	Analisis Teknis.....	28
3.6.1	Menghitung total daya yang dibangkitkan PLTS (Watt peak).....	28
3.6.2	Konfigurasi Modul Surya.....	28
3.6.3	Menghitung kapasitas inverter.....	29
3.6.4	Rata-rata penyinaran matahari.....	29
3.6.5	Desain PV menggunakan software PVSyst.....	30
3.6.6	Pemodelan PV menggunakan software Helioscope.....	30
3.7	Analisis ekonomis.....	31
3.7.1	Menghitung Bill of Quantity (BoQ).....	31
3.7.2	Financial Analysis.....	32
3.8	Simulasi aliran daya.....	34
BAB IV	.....	36
4.1	Lokasi Penelitian.....	36
4.2	Profil Beban di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang.....	37
4.3	Total Kebutuhan Energy Tahunan Gedung.....	39
4.4	Desain 3D sistem PLTS menggunakan software Helioscope.....	41
4.5	Desain dan perhitungan sistem PLTS Atap <i>on grid</i> .....	43
4.6	Output Energi PVSyst.....	45
4.7	Data Radiasi Matahari.....	47
4.8	Pemilihan Komponen.....	48
4.9	Bill of Quantity (BoQ).....	49
4.10	Financial Analysis.....	50

4.11 Profil Tegangan sebelum dan sesudah Injeksi PLTS saat <i>weekday</i> .....	51
4.12 Profil Tegangan sebelum dan sesudah Injeksi PLTS saat <i>weekend</i> .....	54
<b>BAB V</b> .....	<b>36</b>
5.1 Kesimpulan .....	36
5.2 Saran .....	36

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya ( <i>United States</i> , 2011) .....	11
Gambar 2. Sistem PLTS Terdistribusi (RENAC, 2020).....	12
Gambar 3. Modul <i>Monocrystalline</i> ( <i>sanspower.com</i> ) .....	13
Gambar 4. Modul <i>Polycrystalline</i> ( <i>indonesian.monocrystalline-solarpanel.com</i> ).....	14
Gambar 5. Inverter ( <i>wedosolarindonesia.com</i> ).....	15
Gambar 6. kWh Exim ( <i>pasangpanelsurya.com</i> ) .....	16
Gambar 7. PV Array Combiner box ( <i>ecosolarwarehouse.co.za</i> ).....	16
Gambar 8. AC combiner box (JARWIN, 2022).....	17
Gambar 9. Cara kerja PLTS Atap <i>on grid</i> ( <i>sunergi.co.id</i> ) .....	18
Gambar 10. Kurva karakteristik arus dan tegangan terhadap iradiasi matahari ( <i>www.renac.de</i> ).....	19
Gambar 11. Kurva karakteristik arus dan tegangan terhadap suhu temperatur ( <i>www.renac.de</i> ).....	20
Gambar 12. Kurva karakteristik arus dan tegangan dengan perpotongan hambatan ( <i>www.renac.de</i> ).....	21
Gambar 13. Konfigurasi PV Array (Hafidz, 2019) .....	21
Gambar 14. Tampilan helioscope di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang.....	22
Gambar 15. Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 16. Proyeksi luas atap Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang.....	28
Gambar 17. <i>Interface PVSyst System Setting</i> .....	30
Gambar 18. <i>Interface Helioscope software</i> .....	31
Gambar 19. <i>Single Line Diagram</i> .....	35
Gambar 20. Tampak Atas Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang .....	36
Gambar 21. Perbandingan Kebutuhan Beban harian gedung saat <i>weekday</i> dan <i>weekend</i> .....	39
Gambar 22. Total pemakaian energi bulanan gedung .....	41

Gambar 23. Desain PLTS Atap Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang.....	42
Gambar 24. <i>Single Line Diagram</i> PLTS Atap Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang.....	42
Gambar 25. <i>Setting</i> PVSyst sistem PLTS <i>on grid</i> .....	43
Gambar 26. Output energi PVSyst .....	46
Gambar 27. Iradiasi Matahari.....	48
Gambar 28. Bill of Quantity.....	50
Gambar 29. Profil Tegangan setelah injeksi daya PLTS saat <i>weekday</i> .....	53
Gambar 30. Pengaruh iradiasi terhadap injeksi daya aktif dan reaktif saat <i>weekday</i> .	53
Gambar 31. Profil Tegangan setelah injeksi daya PLTS saat <i>weekend</i> .....	55
Gambar 32. Pengaruh iradiasi terhadap injeksi daya aktif dan reaktif saat <i>weekend</i> .	55

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Perbandingan jenis modul surya .....	14
Tabel 2. Jadwal Pelaksanaan Kegiatan .....	24
Tabel 3. Profil Beban <i>weekday</i> harian Gedung Rektoret Poltekkes Tanjungkarang ..	37
Tabel 4. Profil Beban <i>weekend</i> harian Gedung Rektoret Poltekkes Tanjungkarang ...	38
Tabel 5. Data total kebutuhan energi di Gedung Rektoret Poltekkes Tanjungkarang	40
Tabel 6. <i>Output</i> Energi PLTS dari software PVSyst .....	45
Tabel 7. Data Rata-rata Iradiasi Matahari .....	47
Tabel 8. Data Spesifikasi Panel Surya .....	48
Tabel 9. Data Spesifikasi Inverter .....	49
Tabel 10. Bill of Quantity .....	50
Tabel 11. Parameter financial Analysis .....	51
Tabel 12. Profil Tegangan sebelum dan sesudah Injeksi PLTS saat <i>weekday</i> .....	52
Tabel 13. Profil Tegangan sebelum dan sesudah Injeksi PLTS saat <i>weekday</i> .....	54

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi semua kalangan. Sumber energi listrik saat ini masih didominasi oleh energi fosil sebagai pasokan energi listrik dalam bentuk minyak bumi, dan batubara. Persentase pemanfaatan energi fosil hingga Februari 2023 di Indonesia mencapai 86% (IESR, 2023). Penggunaan energi fosil secara besar-besaran mendorong pertumbuhan ekonomi, namun seringkali membawa kerusakan bumi dan dampak buruk terhadap lingkungan di sekitarnya, seperti, emisi karbon dan efek gas rumah kaca akibat dari proses pembangkitannya [12]. Dampak buruk dari pembakaran energi fosil ini mendapatkan perhatian dari pemerintah dan dunia. Energi bersih menjadi harapan masyarakat untuk dapat memenuhi kebutuhan energi di masa mendatang. Energi yang ramah lingkungan sehingga pengembangannya sangat dinantikan agar kelak berperan menjadi andalan utama pasokan energi nasional. [16]. Pemanfaatan EBT ini terus digalakkan salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga surya [15].

Berdasarkan Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN), Indonesia menargetkan bauran energi baru terbarukan paling sedikit sebesar 23% di tahun 2025 dan paling sedikit 31% di tahun 2050. Sementara untuk energi surya diproyeksikan sebesar 6,5 GW di tahun 2025 dan 45 GW di tahun 2050 atau sebesar 22 persen dari potensi surya sebesar 207,9 GW [13]. Energi surya merupakan salah satu bagian dari energi baru terbarukan yang memiliki potensi energi dan iradiasi yang cukup besar. Pembangkitan energi surya ini tidak menghasilkan gas buangan seperti pada pembangkit fosil lainnya sehingga mampu memberikan kontribusi dalam mewujudkan *green energy*.

Lampung memiliki luas wilayah 34.623,8 km<sup>2</sup>[20]. Proyeksi terkait penyediaan energi primer di Lampung untuk sektor energi baru terbarukan ialah sebesar 2355.9 Ribu TOE di tahun 2025 dan sebesar 9032.3 Ribu TOE di tahun 2050 [21]. Dengan persentase target bauran energi baru terbarukan di Lampung sebesar 36% di tahun 2025 dan 47% di tahun 2050 [21]. Energi surya menjadi potensi energi yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dan rata-rata penyinaran matahari di Provinsi Lampung sebesar 37,24 persen di tahun 2021[20]. Penyinaran matahari terbesar terletak pada kabupaten Lampung Barat dengan potensi energi surya sebesar 136 W/m<sup>2</sup>disusul dengan Kabupaten Way Kanan sebesar 109 W/m<sup>2</sup>[22].

Secara umum PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu, *on grid system* dan *off grid system*. Dalam penelitian ini menggunakan sistem *on grid* karena dinilai lebih ekonomis dibanding *off grid/standalone*. PLTS *on grid/grid connected* juga dapat terhubung dengan jaringan PLN dan mampu mengeksport daya berlebih yang dihasilkan PLTS ke jaringan PLN sehingga akan terjadi ekspor impor yang akan terbaca oleh komponen kWh meteran exim. Berdasarkan tempat pemasangan PLTS dibagi menjadi dua jenis, yaitu Atap dan ground mounted. Penggunaan PV Atap berada di atap rumah atau bangunan milik konsumen *residensial* maupun industrial. [23]. Sedangkan PV *groundmounted* membutuhkan lahan yang kosong untuk tempat pembangkitannya. Dalam penelitian ini menggunakan jenis PV Atap karena dinilai lebih praktis dan dapat memanfaatkan luasan atap yang tidak terpakai sebagai tempat pembangkitan listrik surya serta *alternative energy* dari listrik PLN.

Ada banyak metode dalam mendesain atau merencanakan pembangkit listrik tenaga surya ini. Dalam penelitian ini menggunakan metode simulasi *software* PVSyst dan Helioscope. Helioscope merupakan *software* berbasis web dari Folsom Labs yang dapat digunakan oleh para desainer PV untuk melakukan simulasi lengkap perencanaan berupa tampilan 3D. Helioscope juga mampu

mengetahui potensi *shading*, output daya, *losses* system, hingga database modul PV dan inverter yang cukup lengkap. [4][10]. *Software* ini tidak memerlukan komputer yang canggih untuk beroperasi karena berbasis web dan dapat digunakan dengan mudah mulai dari menentukan alamat lokasi, area atap titik bangunan untuk array PV, menentukan jenis modul PV, menentukan jenis inverter, detail kondisi kotak inverter serta combiner box. Kemudian metode simulasi *software* ini juga mampu mengekspor langsung ke model 2D dan 3D seperti autocad dan sketch up. Helioscope dan PVSyst memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri di dalam fituranya. Helioscope mudah digunakan karena merupakan perangkat lunak berbasis web dan dapat disimulasikan dengan tampilan 3D. PVSyst merupakan software yang digunakan untuk pembelajaran, pengukuran, dan analisis data dari sistem PV secara lengkap.. [24]

Beberapa peneliti mengatakan masuknya konsumen PLTS Atap menimbulkan masalah stabilitas, keandalan dan kualitas daya. Efek masuknya pembangkit tenaga surya berpengaruh kepada rugi-rugi daya dan profil tegangan jaringan. Dilakukan simulasi aliran daya menggunakan software ETAP 12.6.0 untuk mengetahui seberapa signifikan perubahan profil tegangan akibat injeksi daya PLTS atap. Data yang digunakan sebanyak dua, yaitu *weekday* dan *weekend*. Dengan adanya fluktuasi iradiasi matahari dan beban saat *weekday* dan *weekend* dapat dianalisa seberapa signifikan perubahannya terhadap profil tegangan gedung.

Perencanaan PLTS Atap ini dilakukan di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang provinsi Lampung dengan memanfaatkan luasan atap yang ada dan mengurangi konsumsi energi *grid*. Dalam perencanaan PLTS ini akan dilakukan analisis teknis, ekonomis, serta efek masuknya PLTS *on grid* terhadap profil tegangan rendah.

## 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan PLTS Atap *on grid* di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang
2. Menganalisis kelayakan PLTS di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang
3. Menganalisis pengaruh PLTS terhadap profil tegangan di jaringan tegangan rendah

## 1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merencanakan PLTS Atap *on grid* di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang?
2. Apakah Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang layak untuk dipasang PLTS Atap?
3. Bagaimana pengaruh PLTS Atap *on grid* di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang terhadap profil tegangan di jaringan rendah?

## 1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kemiringan atap dan jumlah modul surya mengikuti atap yang terpasang
2. Beban harian diambil selama dua hari yakni *weekday* dan *weekend* dengan asumsi bebannya sama pada hari *weekday* dan *weekend* lainnya
3. PV diinjeksi pada jaringan tegangan rendah
4. Tidak ada obstacle yang menghalangi PV

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi konsumsi dan pembelian energi dari *grid*
2. Menghasilkan analisis biaya investasi dan kelayakan dalam perencanaan PLTS Atap *on grid*

3. Menjadi bahan kajian untuk penelitian yang berkaitan dengan perubahan profil tegangan setelah adanya injeksi PLTS ke jaringan tegangan rendah

## 1.6 Hipotesis

Pemanfaatan PLTS Atap di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang akan didapat energi yang maksimal karena melihat posisi atap yang luas, tidak adanya *shading* atau penghalang seperti gedung yang lebih tinggi di sekitaran objek penelitian. Kemudian cukup signifikan memperbaiki profil tegangan di jaringan yang terkoneksi dengan memaksimalkan kapasitas daya PLTS yang mampu dibangkitkan.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada laporan kerja praktik yang dipakai oleh penulis adalah sebagai berikut:

### 1. PENDAHULUAN

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

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas penelitian terdahulu dan gambaran materi secara umum mengenai pembangkit listrik tenaga surya, jenis-jenis PLTS, komponen utama PLTS, sistem kerja PLTS *on grid*, hingga desain teknis plts dan pengaruhnya terhadap *grid* PLN

### 3. METODE PENELITIAN

Membahas metode yang digunakan pada penelitian ini. Mulai dari memberikan keterangan waktu dan tempat penelitian, *time schedule*, hingga metode desain simulasi dengan *software* helioscope untuk merencanakan aspek teknis dan pengaruhnya ke jaringan PLN setelah diinjeksi oleh PLTS di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil penelitian yang didapat setelah melakukan simulasi *software* helioscope, PVSyst dan etap 12.6.0. serta perhitungan langsung untuk

pemakaian beban harian. Lalu menganalisa potensi daya yang dihasilkan, penghematan, dan kontribusi reduksi emisi karbon

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Memberikan informasi terkait analisis teknis dan ekonomis serta efek injeksi daya PLTS terhadap profil tegangan rendah Dan memaparkan kesimpulan beserta saran berdasarkan data laporan skripsi dari hasil pembahasan BAB IV.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

##### **2.1.1 Potensi Pengembangan PLTS di Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi**

Penelitian ini dilakukan oleh Virgiano M.J. Mamangkey, Glanny M.Ch. Mangindaan, dan Lily S. Patras pada tahun 2021. Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar potensi pengembangan PLTS Atap di Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Penelitian ini membahas kebutuhan energi yang ada saat ini, sebagian besar terpenuhi oleh energi yang bersumber dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas alam. Namun persediaan energi yang ada saat ini semakin berkurang. Jika tak segera ditangani, kemungkinan tak terhindarkan lagi adanya krisis energi. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan untuk permasalahan ini adalah pemanfaatan Matahari atau tenaga surya untuk di konversikan menjadi energi listrik. Dalam penyusunan pengembangan PLTS di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado menggunakan software Helioscope. Dimana hasil dalam penelitian ini Sistem PLTS yang digunakan adalah sistem PLTS *On grid* pada atap Gedung (Roof Top) dengan menggunakan software Helioscope berkapasitas total 40 kWp di gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Luas PV area yang di rancang dalam perencanaan ini terbagi dua yaitu area 1 sebesar 300,228m<sup>2</sup> dan Area 2 sebesar 448.175m<sup>2</sup> dengan jumlah modul yang di design adalah sebanyak 125 module untuk kedua area yang di orientasikan ke arah utara 10° dengan kemiringan panel 10°, sementara daya yang diperkirakan dapat dibangkitkan PLTS sesuai design adalah 59,9 mWh..

### **2.1.2 Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro**

Penelitian ini dilakukan oleh Fian Hidayat pada tahun 2018. Pada penelitian ini membahas analisis ekonomis PLTS di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Dari penelitian tersebut dijelaskan bahwa Meningkatnya kebutuhan energi listrik mengakibatkan bertambahnya penggunaan pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang ketersediaanya semakin lama semakin menipis. Hal tersebut menjadi alasan berkembangnya energi baru terbarukan. Sel surya merupakan salah satu energi baru terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia, karena intensitas Matahari yang tinggi. Dan diharapkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat meringankan beban PLN dalam menyediakan kebutuhan energi listrik. Penelitian ini membahas analisa ekonomi perencanaan sistem PLTS terhubung dengan jaringan listrik PLN hasil simulasi HOMER dan PVsyst. Dari sisi ekonomi menganalisis biaya investasi dan alur kas selama investasi PLTS, menggunakan beberapa metode, yaitu Net Present Value (NPV), Benefit–Cost Ratio (B-CR), dan Discounted Payback Period (DPP). Serta menghitung harga jual energi listrik untuk memperoleh kelayakan investasi. Hasil perhitungan analisis ekonomi teknik berdasarkan simulasi HOMER dan PVsyst dengan harga jual energi sebesar RP 840,2 tidak layak, karena tidak mampu mengimbangi biaya investasi awal yang tinggi. Setelah dilakukan analisis sensitivitas dengan menaikkan harga jual energi, hasil perhitungan analisis ekonomi teknik berdasarkan simulasi HOMER dapat dikatakan layak apabila harga jual energi sebesar Rp 1932,8/kWh, sedangkan untuk PVsyst sebesar Rp 1440,2/kWh, karena mampu menutup biaya investasi.

### **2.1.3 Impact assessment of *grid tied* Atap PV systems on LV distribution network**

Penelitian ini dilakukan oleh Forson Peprah, Samuel Syamfi, Mark Amo-Boateng, Dr.Eric Effah-Donyina pada tahun 2022. Pada penelitian ini membahas pengaruh sistem PLTS Atap pada jaringan distribusi tegangan rendah. Penelitian ini didasari dengan tingginya permintaan listrik di dunia saat ini dan kebutuhan

untuk mengurangi emisi karbon. Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh pembangkitan PV atap pada rugi-rugi distribusi (kerugian daya) dan profil tegangan jaringan menggunakan software python dengan menggunakan dua skenario yang berbeda dan enam injeksi PV (1 – 6 kWp). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa jaringan yang terhubung dengan sistem PV atap berpotensi mengurangi susut distribusi secara substansial dan tidak melanggar batas tegangan standar. Kehilangan daya bersih yang tercatat pada jaringan dengan injeksi PV dari 1 – 6 kWp berada di kisaran 1,1 kW–88,9 kW pada faktor daya yang buruk dan masing-masing 0,7 kW dan 89,1 kW pada faktor daya yang ditingkatkan. Variasi profil tegangan berkisar antara 0,97 pu dan 1,05 pu untuk jaringan konvensional dan prosumer.

#### **2.1.4 Impact of Solar Panel Orientation on the Integration of Solar Energy in Low-Voltage Distributions Grids**

Penelitian ini dilakukan oleh Joannes I. Laveyne , Dimitar Bozalakov, Greet Van Eetvelde, Lieven Vandeveld pada tahun 2020. Pada penelitian ini membahas dampak orientasi panel surya terhadap integrasi PLTS pada jaringan tegangan rendah. Penelitian ini didasari akibat banyaknya tantangan bagi operator jaringan distribusi tegangan rendah dikarenakan meningkatnya penggunaan PLTS Atap di Belgia dan beberapa negara lain. Permasalahan untuk selalu menjaga kestabilan tegangan jaringan menjadi tantangan tersendiri bagi mereka. . Dengan menempatkan panel surya pada kemiringan dan sudut azimuth yang berbeda, profil produksi daya mungkin dapat digeser agar lebih selaras dengan profil konsumsi daya perumahan. Agar dapat mendekati dengan kondisi kehidupan nyata, data iradiasi nyata dan model jaringan yang ada digunakan untuk penelitian ini. Kedua model yang dikembangkan sebagai hasil dampak jaringan dievaluasi. Profil produksi PV yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai input untuk simulasi jaringan, di mana kami menentukan output PV tahunan, energi PV yang dibatasi karena kondisi tegangan berlebih di jaringan, kerugian jaringan, dan faktor ketidakseimbangan tegangan. Terlihat bahwa orientasi optimal untuk

memaksimalkan keluaran PV adalah pada azimuth  $0^\circ$  (menghadap ke selatan) dengan sudut kemiringan  $34,5^\circ$ . Orientasi ini juga menyebabkan jumlah daya PV tertinggi dibatasi oleh kondisi tegangan berlebih dan kerugian tertinggi di jaringan distribusi

### **2.1.5 Analisis Penyambungan PLTS Oelpuah 5 MWP ke Sistem Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV PT.PLN Unit Layanan Kupang**

Penyambungan PLTS ke SUTM 20 KV berdampak terhadap kualitas jaringan distribusi tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penyambungan PLTS Oelpuah 5 MWP ke SUTM 20 kV. Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif menjelaskan dampak aliran daya, perubahan tegangan, komposisi pembangkitan, serta faktor daya listrik, ketika PLTS bekerja dalam kondisi cuaca cerah, berawan, dan hujan, dan bagaimana kondisi sistem dengan dan tanpaberoperasinya PLTD LMVPP. Dari hasil analisis diperoleh, profil tegangan pada titik penyambungan PLTS Oelpuah ke penyulang Oesao dan Gardu Hubung Undana berubah-ubah tergantung kondisi cuaca. Komposisi suplai daya listrik pembangkit juga mengalami perubahan diakibatkan kondisi cuaca. Saat cerah PLTS menyuplai 3,2 MW, PLTD LMVPP menyuplai 12,6 MW, saat berawan PLTS menyuplai 915 kW, PLTD LMVPP menyuplai 15 MW dan saat cuaca hujan PLTS tidak dapat menyuplai daya ke sistem, dan PLTD LMVPP harus menambahh suplai daya listriknya menjadi 16 MW. Saat PLTD LMVPPlepas dari sistem,maka setiap pengurangan komposisi daya pada PLTS akibat cuaca yang berubah tersebut dialihkan ke PLTU IPP.Faktor daya listrik pada titik penyambungan PLTS yakni di penyulang Oesao, juga dipengaruhi dengan kondisi cuacayang berubah

## **2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu jenis energi baru terbarukan yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai penghasil energi listrik. Teknologi PV (*photovoltaic*) menjadi komponen yang mampu mengonversi cahaya

matahari tersebut menjadi energi listrik. Energi surya merupakan salah satu potensi energi baru terbarukan yang tak terbatas nilainya karena matahari akan terus bersinar mengelilingi bumi. Berbeda dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), PLTS menjadi pembangkit listrik ramah lingkungan dan tidak menghasilkan emisi karbon berbeda dengan PLTU yang menghasilkan uap dan udara yang tidak bersih saat terjadinya proses pembangkitan listrik.



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (*United States*, 2011)

### 2.3 Jenis-jenis Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya terbagi menjadi dua jenis yaitu *grid-connected* dan *off grid*.

#### 2.3.1 Sistem PLTS *on-grid*

Sistem PLTS ini terhubung ke jaringan distribusi tegangan rendah. PLTS jenis ini memanfaatkan atap bangunan sebagai lahan untuk pemasangan panel surya. Misalnya, rumah tangga dan bangunan non perumahan atau komersil. Perbedaan dasar antara keduanya terletak pada kapasitas yang terpasang. Biasanya PLTS Atap ini dipasang untuk mendapatkan pendapatan dari hasil ekspor daya PLTS dan akhirnya juga akan mendapatkan penghematan dari tagihan listrik yang digunakan [2]



Gambar 2. Sistem PLTS Terdistribusi (RENAC, 2020)

### 2.3.2 Sistem PLTS Terpusat

Sistem PLTS ini berskala utilitas. PLTS jenis ini juga memerlukan lahan kosong yang luas untuk mendesain panel surya. Berbeda dengan skala perumahan disebut PLTS Atap. Namun untuk jenis ini biasa disebut dengan PLTS *ground mounted*. [2]

### 2.3.3 Sistem PLTS *Off grid*

Sistem PLTS *off grid / standalone* ini beroperasi secara independen tanpa terhubung ke jaringan listrik PLN. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari [3]. PLTS model ini sangat cocok diterapkan untuk daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar) yang dimana jaringan listrik PLN tidak sampai ke daerah mereka karena salah satunya faktor infrastruktur yang tidak memadai.

## 2.4 Komponen-komponen PLTS Atap

### 2.4.1 Modul Surya

Modul surya merupakan kumpulan dari sel surya yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Modul surya akan menghasilkan listrik selama terkena matahari dan akan tetap menghasilkan listrik walaupun keadaan mendung namun dengan daya yang kecil karena iradiasi yang kurang. Terdapat beberapa jenis teknologi surya ini diantaranya [4].

#### 1. *Monocrystalline*

Modul surya tipe ini terbuat dari batangan kristal murni yang diiris tipis-tipis dengan teknologi khusus . Monocrytalline ini akan menghasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi sekitar 15 – 20 % efisiensinya. Warna dari modul ini adalah hitam pekat yang sangat mudah diidentifikasi. Dengan efisiensi tersebut, membuat modul ini menjadi bahan paling efisien untuk konversi sinar matahari menjadi energi listrik. [5]



Gambar 3. Modul *Monocrystalline* (*sanspower.com*)

#### 2. *Polycrystalline*

Modul surya tipe ini terbuat dari beberapa batangan kristal silikon yang dileburkan. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya *monocrystalline* dan yang dihasilkan juga tidak identic serta efisiensinya rendah sekitar 13 – 16%. [5]



Gambar 4. Modul Polycrystalline (*indonesian.monocrystalline-solarpanel.com*)

Tabel 1. Perbandingan jenis modul surya

	<b>Monocrystalline</b>	<b>Polycrystalline</b>
Jenis Sel	Silikon tunggal	Campuran silikon dengan bahan lainnya
Warna	Hitam	Kebiruan
Efisiensi panel	Sekitar 15-20 %	Sekitar 13-16 %
Kebutuhan Area	6-9 m <sup>2</sup> per kWp	8- 9 m <sup>2</sup> per kWp
Ketahanan Suhu	Relatif lebih baik dalam kondisi suhu panas juga teduh	Kurang baik bekerja dalam kondisi suhu panas
Garansi	25 Tahun	25 Tahun

#### 2.4.2 Inverter

Inverter merupakan komponen untuk mengonversi tegangan DC dari modul PV menjadi tegangan AC untuk pemakaian langsung atau untuk menyimpan kelebihan daya ke dalam baterai. Inverter juga dilengkapi Maximum Power Point Tracker (MPPT) yang berfungsi untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh modul surya [3].

Tegangan DC yang dihasilkan oleh panel surya memiliki kecenderungan yang tidak stabil sesuai dengan tingkat dari radiasi matahari yang didapatkan. Inverter pada PLTS satu phase digunakan untuk sistem dengan penggunaan beban yang kecil, sedangkan untuk penggunaan beban yang cukup besar umumnya menggunakan inverter tiga phase ataupun sistem yang terhubung secara langsung dengan jaringan PLN (*grid connected*). [1]



Gambar 5. Inverter ([wedosolarindonesia.com](http://wedosolarindonesia.com))

### 2.4.3 kWh Exim

kWh meter EXIM merupakan perangkat yang berfungsi untuk *ekspor-impor* pemakaian listrik dari PLTS ke PLN secara *bidirectional*. Perangkat ini juga berfungsi mencatat berapa banyak produksi listrik dan berapa banyak energi listrik yang dikonsumsi pelanggan dengan sistem net metering. Net metering adalah sistem yang mengizinkan pelanggan menghasilkan listrik sendiri. Kemudian jika pelanggan memiliki produksi energi listrik berlebih maka secara otomatis akan di suplai ke *grid* PLN untuk mendapatkan penghematan tagihan listrik bulanan atau dikenal dengan kredit energi listrik. [6]



Gambar 6. kWh Exim (*pasangpanelsurya.com*)

#### 2.4.4 PV Array combiner

Sebelum masuk ke inverter, kabel DC dari PV array akan masuk ke combiner box terlebih dahulu untuk dikoneksikan dengan komponen proteksi yang ada seperti Fuse Holder dan Surge Protection Device (SPD). Nilai rating dari kedua komponen tersebut menyesuaikan dari keluaran tegangan dan arus pada PV array. [7]



Gambar 7. PV Array Combiner box (*ecosolarwarehouse.co.za*)

#### 2.4.5 AC Combiner box

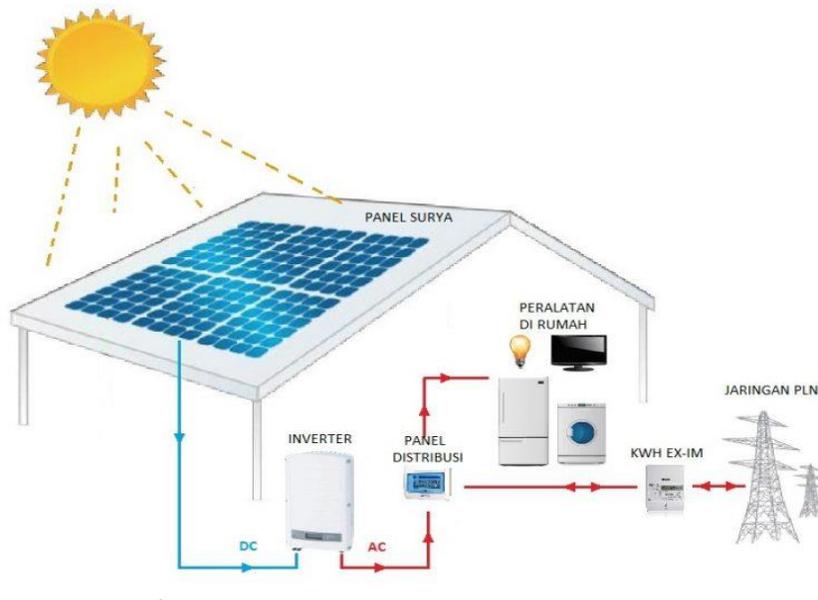
Sebelum terkoneksi ke panel utama PLN, kabel AC dari inverter dihubungkan terlebih dahulu ke AC combiner box yang berisi komponen proteksi sama halnya PV array combiner. Untuk inverter satu fase menggunakan kabel tiga pole sedangkan tiga fase menggunakan lima pole. [7]



Gambar 8. AC combiner box (JARWIN, 2022)

#### 2.5 Cara Kerja PLTS Atap *on grid*

Cara kerja PLTS Atap *on-grid* ini yaitu ketika matahari menyinari modul surya maka akan menghasilkan listrik searah dan listrik tersebut dihubungkan ke komponen proteksi DC pada combiner box lalu ke inverter mengubah listrik searah menjadi listrik arus bolak-balik. Setelah melewati proses perubahan listrik di inveter maka listrik akan masuk ke beban pada rumah. Jika semua beban sudah terpenuhi maka daya yang lebih akan dikirim ke jaringan PLN tetapi bila dari beban tidak tercukupi maka akan dibantu dengan jaringan PLN. [4]

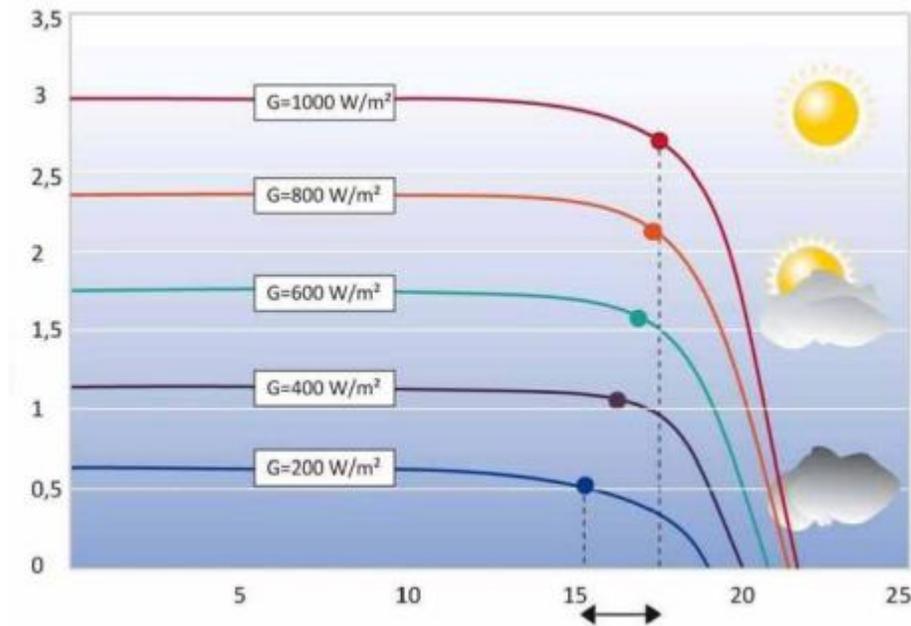


Gambar 9. Cara kerja PLTS Atap *on grid* (*sunergi.co.id*)

## 2.6 Faktor utama yang mempengaruhi keluaran daya modul surya

### 2.6.1 Iradiasi Matahari

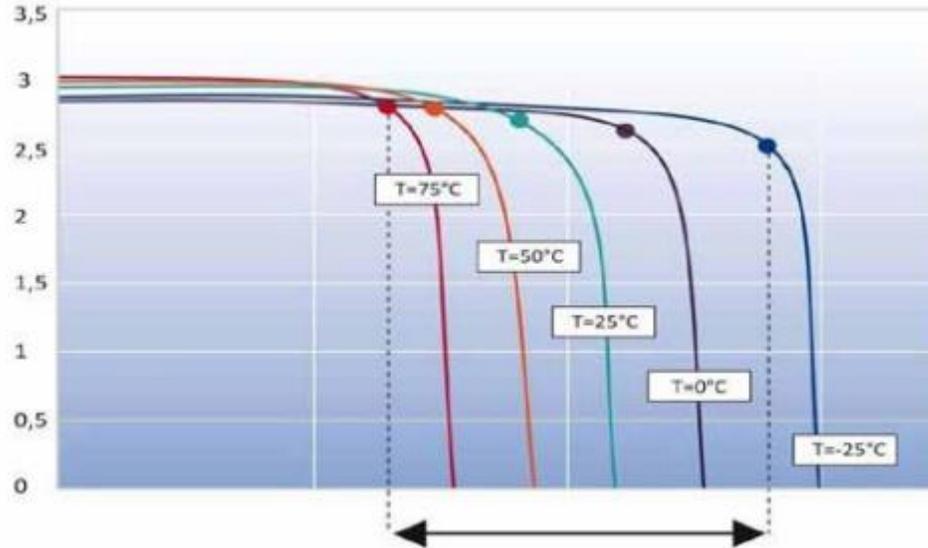
Keluaran daya dari modul surya secara langsung tergantung pada keadaan iradiasi matahari di permukaannya. Ketika radiasi matahari meningkat akan lebih banyak pasangan lubang electron yang diproduksi, oleh karena itu arus akan meningkat. Tegangan dari keluaran tidak begitu signifikan berubah terhadap pengaruh perubahan iradiasi [8]



Gambar 10. Kurva karakteristik arus dan tegangan terhadap iradiasi matahari  
([www.renac.de](http://www.renac.de))

### 2.6.2 Suhu dan temperatur

Ketika sel-sel surya terkena cahaya matahari, sel-sel tersebut memanans. Ketika memanans, arus dan tegangan akan berubah dan kemudian akan berpengaruh pada daya keluaran sel yang menurun. Ketika terkena cahaya matahari, suhu internal sel meningkat. Karena sel dan modul surya tidak dapat mengubah 100% cahaya yang diserapnya menjadi energi listrik, Sebagian energi akan hilang dalam bentuk panas yang menyebabkan suhu sel meningkat. Ini merupakan operasi normal dari kinerja sel surya. [8]

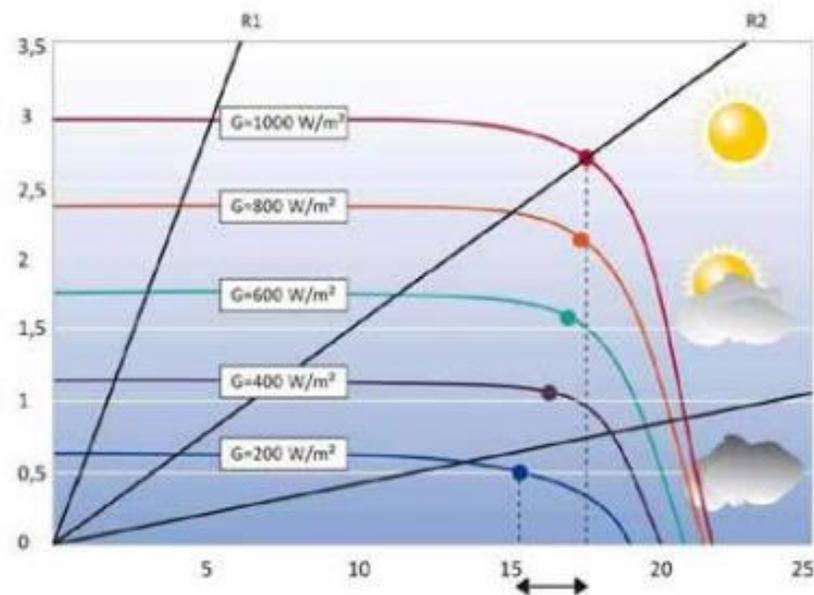


Gambar 11. Kurva karakteristik arus dan tegangan terhadap suhu temperatur ([www.renac.de](http://www.renac.de))

### 2.6.3 Tahanan Beban

Beban listrik yang terhubung ke modul surya akan menentukan titik pada I-V modul surya dimana modul akan beroperasi. Jika cahaya matahari yang tersedia lebih sedikit, maka beban akan menarik arus lebih sedikit pula. Tegangan di seluruh rangkaian beban dan jumlah arus yang ditarik dari modul ditentukan oleh penyinaran yang ada dan oleh karena itu untuk kurva I-V sesuai dengan kondisi yang ada pula, dengan persamaan. [8]

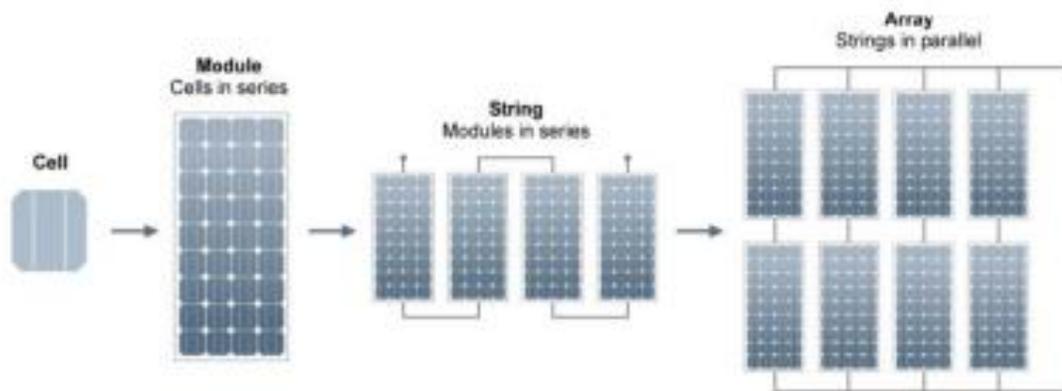
$$I = \frac{V}{R}$$



Gambar 12. Kurva karakteristik arus dan tegangan dengan perpotongan hambatan ([www.renac.de](http://www.renac.de))

## 2.7 Konfigurasi Modul Surya

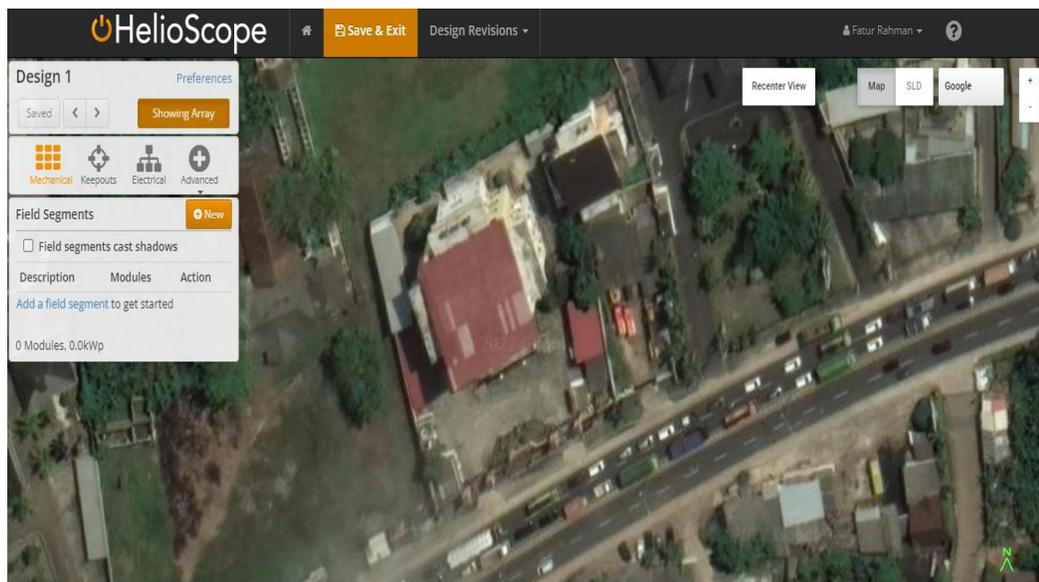
PV Array merupakan gabungan dari beberapa modul surya yang kemudian menjadi satu melalui kabel dengan susunan tertentu baik dirangkai seri maupun paralel dengan tujuan mendapatkan hasil tegangan dan arus yang diinginkan.



Gambar 13. Konfigurasi PV Array (Hafidz, 2019)

## 2.8 Helioscope

HelioScope merupakan sebuah program berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para insinyur untuk melakukan simulasi lengkap perencanaan berupa tampilan 3D sehingga pengguna mampu mengetahui potensi *shading* ataupun performa masing-masing panel yang akan di tempatkan dari berbagai posisi [4] Perangkat lunak ini memerlukan garis bujur dan garis lintang daerah tersebut atau jika nama areanya benar dimasukkan ke dalam jendela yang ditentukan, peta area tanah yang bersangkutan diunduh secara otomatis. Kemudian helioscope dapat mudah untuk memilih jenis panel dan inverter yang tepat, tata letak lengkap pabrik secara otomatis dihasilkan dengan semua data yang relevan seperti output daya, kehilangan sistem, energi ke jaringan, jumlah modul dan inverter, pengelompokan panel dll. Singkatnya, dapat dinyatakan bahwa perangkat lunak ini secara otomatis menghasilkan desain tata letak mayor komponen setelah koordinat area sampel ditentukan bersama dengan peta area, panel spesifikasi, jenis inverter, dll. [10]



Gambar 14. Tampilan helioscope di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang

Prinsip kerja dari simulasi ini menggunakan data input berupa spesifikasi teknis PLTS seperti teknologi modul surya, jenis inverter, jumlah dan jenis modul yang akan digunakan, dan luas area PLTS. Data yang digunakan HelioScope adalah data cuaca yang berasal dari stasiun cuaca di seluruh dunia dengan analisis TMY weather yaitu pemilihan kondisi cuaca yang sesuai dengan keadaan saat itu berdasarkan data 30 tahun terakhir. [4] HelioScope juga mencakup semua fitur Sistem PV dan menambahkan fungsionalitas desain AutoCad, memungkinkan desainer untuk melakukan desain yang lengkap dalam satu paket. [10]

Dalam setiap jenis racking, ada parameter tambahan seperti jarak dan tinggi yang mencerminkan spesialisasi HelioScope dalam desain sistem. Di HelioScope, kerugian *shading* memiliki kontribusi dari dua faktor utama: (1) "dekat *shading*" karena untuk jenis rak dan jarak modul, dan (2) naungan dari struktur eksternal di lingkungan. HelioScope dijalankan menggunakan GHI dan DHI sebagai input. Seperti alat simulasi lainnya, bayangan eksternal diabaikan; tetapi tidak seperti alat lainnya, efek bayangan baris ke baris adalah bagian yang tidak terpisahkan dari perhitungan HelioScope dan karenanya diperhitungkan ke dalam hasil ini. [11].

### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat penelitian dilakukan secara umum di :

Tempat : Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang

Alamat : Jalan Soekarno Hatta No.6, Hajimena, Kec Natar, Kabupaten  
Lampung Selatan, Lampung, 35142

Waktu : November 2022

Adapun pengerjaan penulisan skripsi dilakukan di :

Tempat : Laboratorium Sistem Tenaga Listrik

Alamat : Jalan Prof Sumantri Brojonegoro No 1, Bandar Lampung

Waktu : September 2022 – Maret 2023

Tabel 2. Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

No	Kegiatan	Sept	Okt	Nov	Des	Feb	Mar	
1	Studi literatur							
2	Seminar Proposal							
3	Pengambilan Data							
4	Analisis dan pembahasan							
5	Penulisan Laporan							
6	Seminar Hasil							
7	Ujian Komprehensif							

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Software Helioscope
2. Software PVSyst 7.2
3. Software etap 12.6.0
4. Data spesifikasi komponen
5. Data Profil Beban per 30 menit
6. Data intensitas cahaya per 30 menit
7. Data tagihan listrik bulanan selama 1 tahun

### 3.3 Tahapan Penelitian

#### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur mengenai PLTS *on grid*. Sumber yang menjadi referensi diantaranya adalah buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu

#### 2. Lokasi Penelitian

Penulis melakukan penelitian di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang, Kota Bandar Lampung. Pada tahapan ini bertujuan untuk mencari data yang diperlukan untuk penelitian ini terkait perencanaan dan instalasi PLTS Atap di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang.

#### 3. Perencanaan Teknis

Pada tahap ini membahas perencanaan sistem PLTS *on grid*, menentukan spesifikasi komponen yang akan digunakan, menghitung kapasitas daya yang dapat dibangkitkan serta energi yang dapat dihasilkan PLTS tersebut menggunakan software PVSyst dan helioscope untuk plot desain 3D nya

#### 4. Perencanaan Ekonomis

Pada tahap ini membahas terkait total biaya yang diperlukan untuk merealisasikan desain PLTS Atap *on grid* tersebut. Kemudian melakukan *financial analysis* guna mengetahui kelayakan proyek dengan menggunakan beberapa parameter yaitu NPV, IRR, dan Payback Period.

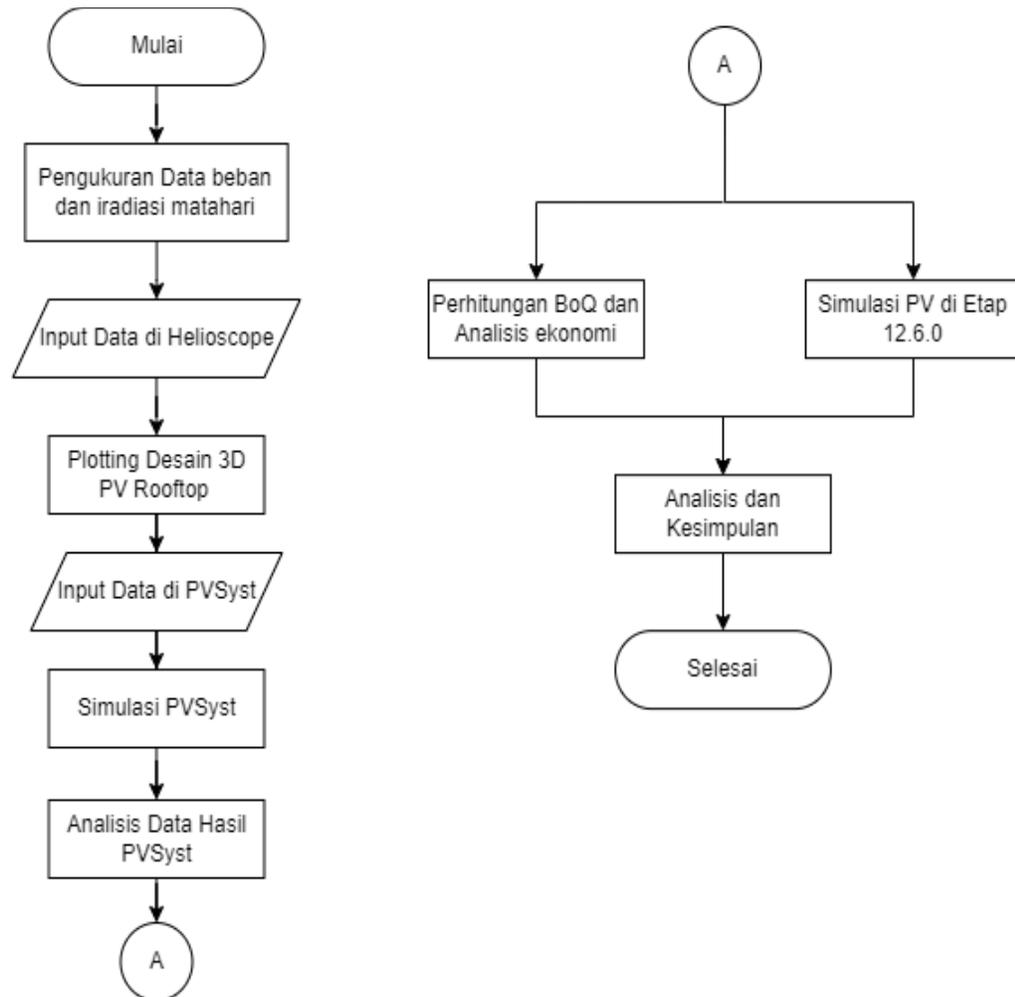
#### 5. Simulasi Aliran daya

Pada tahap ini membahas dampak dari pengaruh injeksi plts ke *grid* setelah plts terkoneksi. Setelah mendesain plts Atap dan diketahui berapa daya yang mampu dihasilkan, kemudian dilakukannya simulasi analisis aliran daya untuk mengetahui dampak dan perubahan profil tegangan saat sebelum dan sesudah diinjeksi oleh PLTS. Adapun analisa aliran daya ini dilakukan menggunakan bantuan software etap 12.6.0 dengan metode Newton Raphson

#### 6. Penulisan Laporan

Pada tahap ini menyiapkan hasil penelitian dalam bentuk laporan akhir, Hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi apakah investasi pembangunan PLTS di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjung karang layak dilakukan atau tidak. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggungjawab penulis terhadap tugas akhir yang dilakukan dan digunakan untuk seminar akhir

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 15. Diagram Alir Penelitian

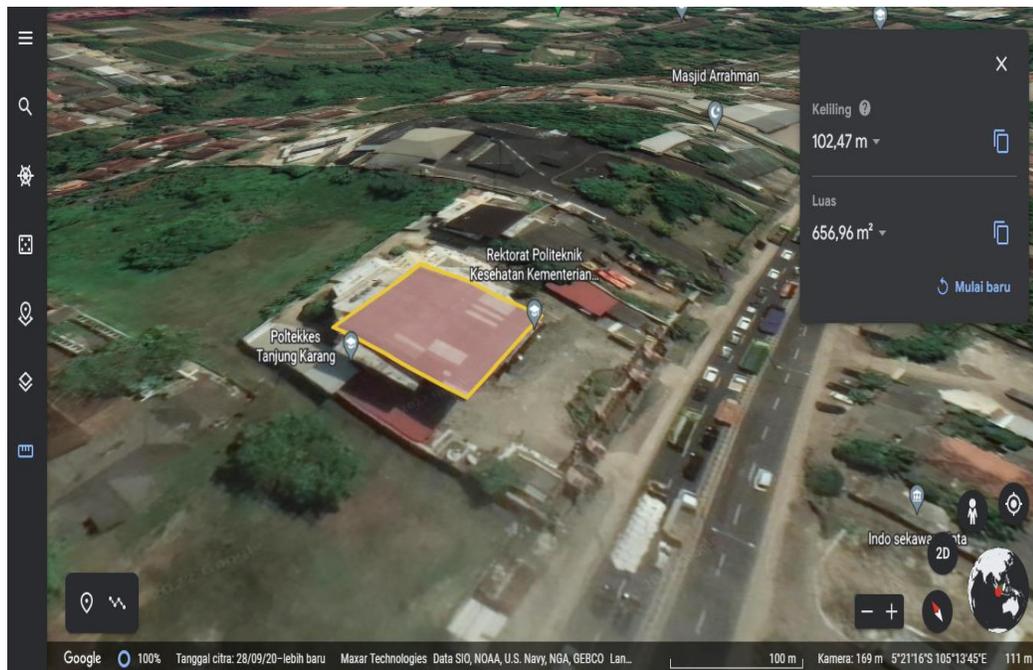
### 3.5 Proyeksi Luasan Atap Gedung

Pengukuran luasan atap gedung menggunakan software Google Earth didapatkan luasan atap Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang sebesar

Luas atap = panjang  $\times$  lebar

Luas atap = 24,49 m  $\times$  26,6 m

Luas atap = 656, 96 m<sup>2</sup>



Gambar 16. Proyeksi luas atap Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang

### 3.6 Analisis Teknis

#### 3.6.1 Menghitung total daya yang dibangkitkan PLTS (Watt peak)

Menghitung besar daya yang akan dibangkitkan dengan rumus

$$P_{watt\ peak} = \text{Jumlah panel surya} \times P_{mpp}$$

Dimana,

$$P_{watt\ peak} = \text{Daya maksimal PLTS (Wp)}$$

$$P_{mpp} = \text{Daya maksimal per modul surya (Wp)}$$

#### 3.6.2 Konfigurasi Modul Surya

Konfigurasi modul surya yang terhubung baik secara seri ataupun parallel akan bergantung pada besarnya tegangan input inverter yang akan digunakan. Berikut ini adalah perhitungan konfigurasi modul surya (Pangaribuan, 2020):

$$\text{Minimal modul seri per string} = \frac{V_{min\ inverter}}{V_{oc\ modul}}$$

$$\text{Maksimal modul seri per string} = \frac{V_{max\ inverter}}{V_{mp\ modul}}$$

$$\text{Maksimal modul parallel per string} = \frac{I_{max\ inverter}}{I_{mp\ modul}}$$

Dimana,

$V_{oc\ modul}$  = Open circuit Voltage (V)

$V_{mp\ modul}$  = Maximum power point voltage (V)

$V_{min\ inverter}$  = Minimum power point voltage (V)

$V_{max\ inverter}$  = Maksimum DC input voltage inverter (V)

$I_{mp\ modul}$  = Maksimum power point current (A)

$I_{max\ inverter}$  = Maksimum input current inverter (A)

### 3.6.3 Menghitung kapasitas inverter

Dalam menentukan kapasitas inverter tidak diperbolehkan melebihi dari kapasitas daya PLN yang terpasang. [25]. Kemudian perlu dipertimbangkan juga besar energi DC yang dihasilkan oleh PV array dan juga besar daya yang akan dihasilkan oleh inverter. Rasio DC/AC atau total daya modul disbanding inverter yang ideal adalah sekitar 1.1 – 1.3 [26].

### 3.6.4 Rata-rata penyinaran matahari

Menghitung rata-rata penyinaran matahari dengan persamaan

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

Dimana,

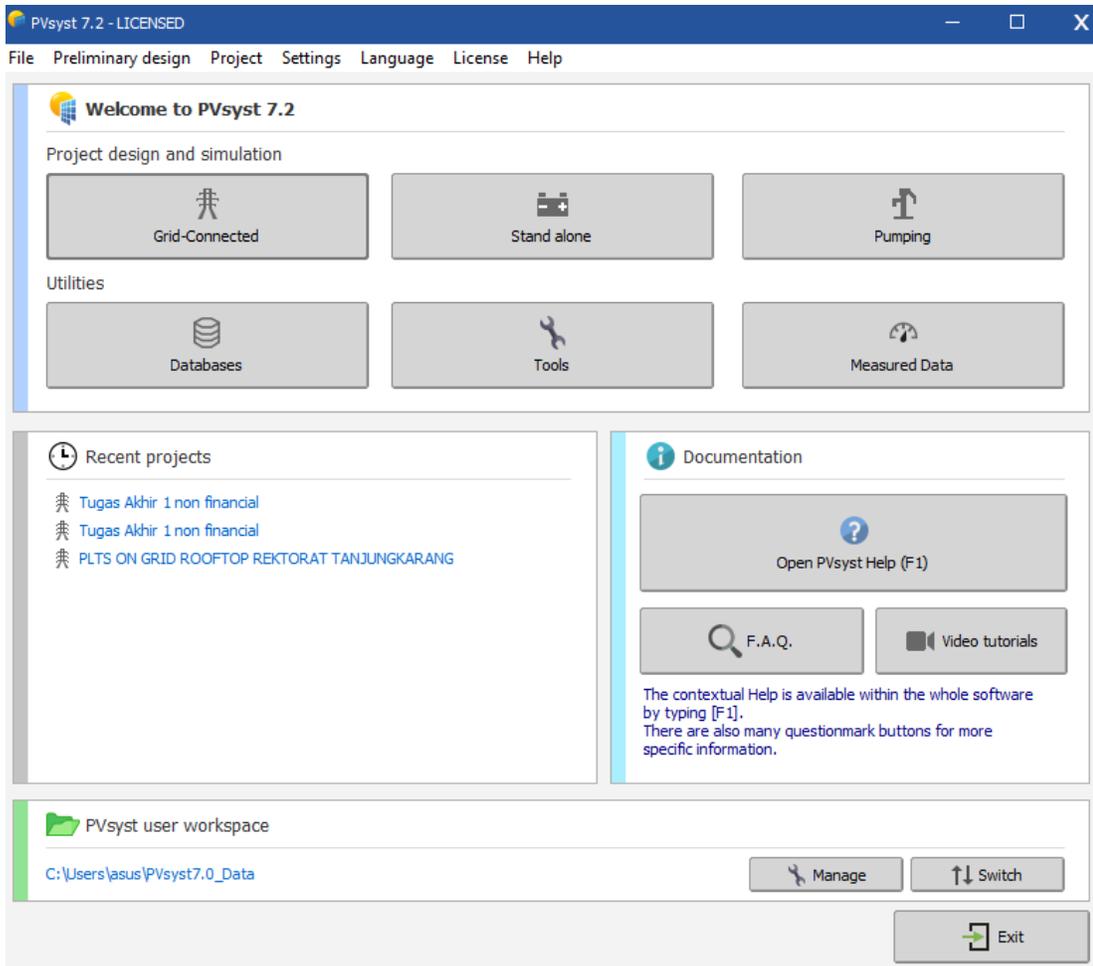
PSH = Peak Sun Hour (Jam)

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

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

### 3.6.5 Desain PV menggunakan software PVsyst

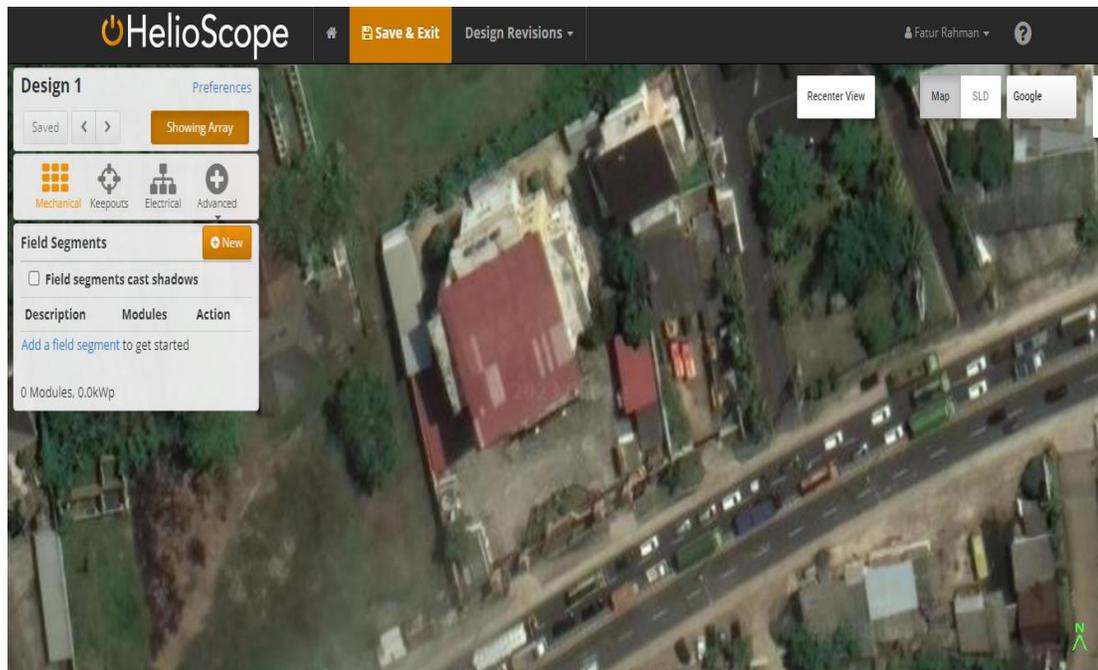
Langkah awal dalam melakukan perencanaan PLTS adalah melakukan desain menggunakan PV software. Berikut merupakan tampilan utama dari PVsyst 7.2



Gambar 17. Interface PVsyst System Setting

### 3.6.6 Pemodelan PV menggunakan software Helioscope

Setelah dilakukan proses desain untuk mengetahui produksi energi yang dihasilkan, dilakukan pemodelan 3D solar PV dengan software Helioscope untuk memudahkan pembaca dan memberikan gambaran secara langsung terkait letak modul surya Atap secara langsung



Gambar 18. *Interface Helioscope software*

### 3.7 Analisis ekonomis

#### 3.7.1 Menghitung Bill of Quantity (BoQ)

BoQ merupakan daftar komponen-komponen yang diperlukan beserta harga yang dikenakan. Dari BoQ inilah kemudian dapat dianalisa harga satuan item komponen yang diperlukan hingga total rencana anggaran biaya nya. Beberapa komponen BoQ dalam penelitian ini yaitu main component, mounting system, switchgear, cable, logistic, dan SLO.

*Main component* ini adalah modul surya dan inverter. Lalu *mounting system* berupa *L-Feet*, *Splice kit*, *Mid Clamp*, *End Clamp*, dan *Mounting rails*. Kemudian *switchgear* ini diantaranya *combiner box*, *fuse*, *Surge Protection Device (SPD)*, dan *Mini Circuit Breaker (MCB)*. Lalu terdapat kabel DC, kabel AC, *conduit*, dan kabel grounding.

Setelah diketahui jumlah dan harga setiap komponen maka diketahui biaya investasi yang diperlukan untuk pemasangan pembangkit tenaga surya di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang.

### 3.7.2 Financial Analysis

Setelah didapatkan total biaya investasi maka dilakukan analisis financial dan kelayakan menggunakan metode Net Present Value, IRR, dan Payback Period. Net Present Value (NPV) diterapkan dalam penganggaran modal untuk menganalisis profitabilitas suatu investasi [31]. NPV juga dapat diartikan sebagai nilai selisih antara cash flow yang dihasilkan dengan investasi atau modal yang dikeluarkan [32]. Untuk menentukan hasil dari nilai Net Present Value (NPV) digunakan persamaan matematika sebagai berikut

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1-i)^t} - II$$

Dimana :

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

$II$  = Investasi awal

$i$  = Tingkat Diskonto

$n$  = Periode dalam tahun (umur investasi)

Terdapat dua kriteria dalam pengambilan keputusan investasi itu dinyatakan layak atau tidak berdasarkan metode Net Present Value (NPV) adalah sebagai berikut

- Jika  $NPV > 0$ , maka proyek dinyatakan layak untuk dilaksanakan
- Jika  $NPV < 0$ , maka proyek dinyatakan tidak layak untuk dilaksanakan

Kemudian, *Internal Rate of Return* (IRR) merupakan metode tingkat hasil pengembalian atau tingkat bunga pada saat sekarang. Berikut merupakan persamaan matematis untuk mendapatkan nilai IRR dari suatu proyek

$$(P / A, i\%, n) = \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n}$$

Dimana,

$(P / A, i\%, n)$  = Faktor nilai sekarang

$i$  = nilai suku bunga

Besarnya nilai IRR adalah nilai bunga ( $i$  %) dari persamaan di atas. Langkah untuk menghitung IRR dilakukan dengan cara coba-coba dan interpolasi. Dalam menentukan kelayakan sebuah proyek yaitu dengan membandingkan IRR proyek tersebut dengan *Minimum Attractive rate of return* (MARR).

Terdapat tiga kriteria dalam pengambilan keputusan investasi itu dinyatakan layak atau tidak berdasarkan metode IRR adalah sebagai berikut

- Jika  $IRR > MARR$ , maka proyek dinyatakan layak untuk dilaksanakan
- Jika  $IRR < MARR$ , maka proyek dinyatakan tidak layak untuk dilaksanakan

Lalu, Payback Period (PP) merupakan metode analisis kelayakan ekonomi suatu yang proyek dengan memperhitungkan jangka waktu pengembalian modal atas investasi. Payback Period (PP) menunjukkan berapa lama modal yang ditanamkan dalam investasi tersebut dapat dikembalikan. Untuk menentukan hasil dari nilai Payback period (PP) digunakan persamaan matematika sebagai berikut

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

Dimana,

$n$  = tahun terakhir jumlah arus kas negatif

$a$  = total investasi awal

$b$  = total kumulatif arus kas pada tahun ke- $n$

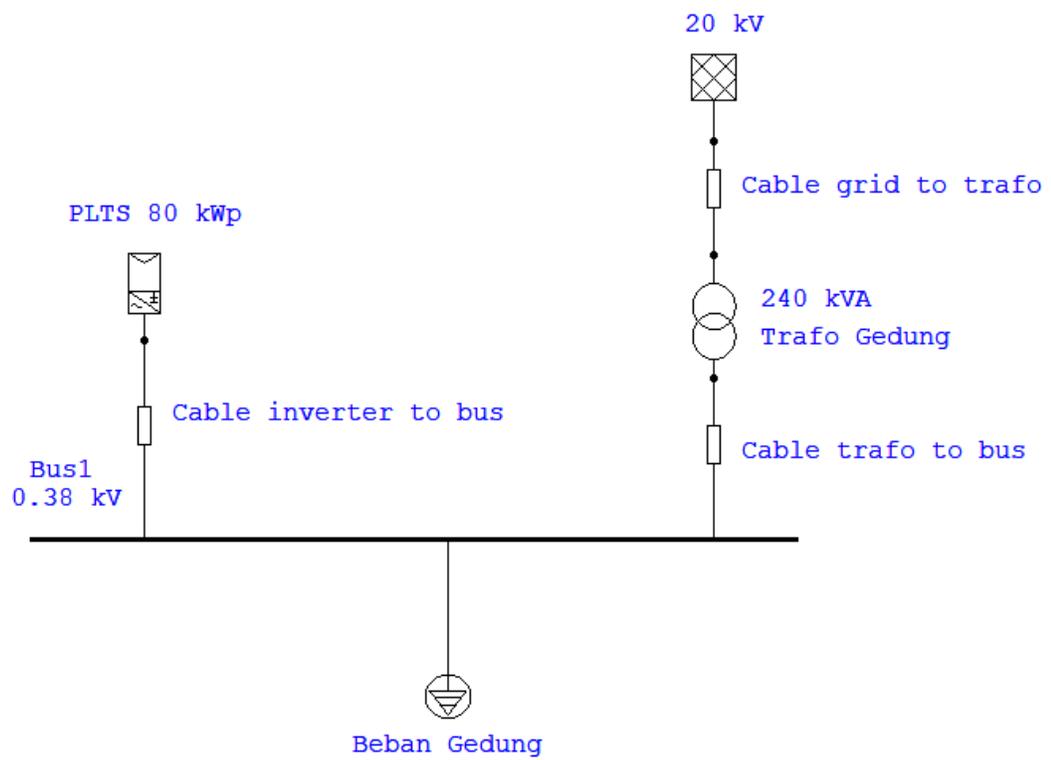
$c$  = jumlah kumulatif arus kas pada tahun ke- $(n+1)$

Terdapat dua kriteria dalam pengambilan keputusan investasi itu dinyatakan layak atau tidak berdasarkan metode Payback Period (PP) adalah sebagai berikut

- Jika  $PP > \text{Lifetime proyek}$ , maka proyek dinyatakan layak untuk dilaksanakan
- Jika  $PP < \text{Lifetime proyek}$ , maka proyek dinyatakan tidak layak untuk dilaksanakan

### **3.8 Simulasi aliran daya**

Setelah mendesain plts Atap dan diketahui berapa energi yang mampu dihasilkan, kemudian dilakukannya simulasi analisis aliran daya untuk mengetahui perubahan profil tegangan saat sebelum dan sesudah diinjeksi oleh PLTS. Adapun analisa aliran daya ini dilakukan menggunakan bantuan software etap 12.6.0 menggunakan metode *Newton Raphson*.



Gambar 19. *Single Line Diagram*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara Teknis, Perencanaan PLTS Atap *on grid* di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang menghasilkan output energi sebesar 110,7 MWh/tahun. Total suplai energi PLTS ke beban gedung sebesar 38.3 MWh/tahun dari total kebutuhan energi gedung sebesar 93.4 MWh/tahun atau 41% dari total kebutuhan beban yang dapat di suplai oleh PLTS.
2. Secara ekonomis, PLTS di Gedung Rektorat Poltekkes Tanjungkarang dinyatakan layak dengan terpenuhinya tiga parameter ekonomis yaitu  $NPV > 0$ ,  $IRR > MARR$ , dan  $Payback\ Period < Lifetime$
3. Semakin besar daya yang diinjeksikan PLTS ke *grid* maka tegangan pada bus yang terhubung akan mengalami kenaikan.

#### **5.2 Saran**

Pembahasan efek injeksi PLTS ke *grid* dilakukan dengan pengambilan data secara *real time* agar lebih terlihat perubahan profil tegangan setiap waktunya. Dengan ketersediaan data yang lebih lengkap diharapkan mampu mendapatkan analisis yang lebih akurat sesuai dengan fluktuasi beban yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fakhrial, Muhammad, “Kajian Teknis dan Ekonomis PLTS Atap Penempatan di Gedung MPP Probolinggo”
- [2] Haning, Dedi. dan Askolani, Imam, “Jenis Sistem PLTS ON-GRID dan OFF-GRID,” Buku Pegangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Jakarta Pusat : GIZ, 2020, 26-30
- [3] Ramadhani, Ing. Bagus. “Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off grid*,” Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts, Jakarta : GIZ, 2018, 1-1 – 1-7.
- [4] Dian Nugraha, Fajar, “Modul Surya,” Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Atap Rumah *On grid* di Kampung Kamurang Bogor. Jakarta : Institut Teknologi PLN, 2022, 4-5.
- [5] Alamsyah, Tomi, “Analisa Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel *Mono-Crystalline* dan *Poly-Crystalline* di Kota Pontianak dan Sekitarnya,” Pontianak, Juli 2021.
- [6] Hadiriansyah, Teddy, “Perancangan dan Perhitungan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya *on-grid* Untuk Beban Rumah di Wilayah Gang Raudhah”
- [7] Wollny, Michael, “Designing a Rooftop PV,” Solar Photovoltaic (PV) Installation System Handbook, Jakarta : DG NREEC, 2015.
- [8] Haning, Dedi. dan Askolani, Imam, “Buku Pegangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” Jakarta Pusat : GIZ, 2020.
- [9] Nadzira, Nafilah Kaumi Zafira, “Menentukan sistem proteksi PLTS *on-grid*,” Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *on grid* 2,7 kWp pada Peternakan Ayam di Rancanumpang, Kota Bandung. Jakarta : Institut Teknologi PLN, 2020, 32-33

- [10] Ali, Md Shahin, Rima, Nazmun nahar, Sakib, Md.Iftekhar Hossain Sakib, and Khan, Muhammad Fayyaz, “Helioscope Based Design of MWp, Solar PV Plant on A Marshy Land of Bangladesh And Prediction of Plant Performance With the Variation of Tilt Angle, ” Gub Journal of Science and Engineering, vol. 05, no 1. 2409-0476
- [11] Guittet, Darice L., and Janine M. Freeman. 2018. Validation of Photovoltaic Modeling Tool HelioScope Against Measured Data. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-72155.
- [12] ESDM One Map, “Energi Baru Terbarukan”. Exploring Energy and Mineral Resources of Indonesia.
- [13] Rancangan Umum Energi Nasional
- [14] Astra, I Made, “Energi dan dampaknya terhadap lingkungan”. Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Jakarta. 2010
- [15] esdm.go.id. “Capaian Kinerja sector ESDM tahun 2021 dan rencana 2022”
- [16] Liun, Edwaren. “Potensi Energi Alternatif Dalam Sistem Kelistrikan”. Pusat Pengembangan Energi Nuklir – BATAN. Jakarta : 2011.
- [17] Hasan, M.H., T.M.I. Mahlia., Hadi Nur. 2012. A Review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. Renewable and sustainable energy reviews 16 (2012) 2316-2328.
- [18] Kananda, Kiki, “Studi Awal Potensi Energi Surya Wilayah Lampung: Studi Kasus Kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) Menuju Smart Campus”. Journal of Science and Applicative Technology Vol.I No.2 2017.
- [19] Rahmat, HS, 2017. “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop *Grid*-Connected pada Gedung Pemerintah (Studi kasus : Gedung Kantor Gabungan Dinas Provinsi Riau)”. Jurusan Teknik Elektro, UIN Sultan Syarif Kasim Riau.

- [20] BPS Provinsi Lampung
- [21] RUED Lampung
- [22] Dinas ESDM Provinsi Lampung, 2020. “Peta Potensi Energi Surya”.
- [23] Harahap, Partaonan, Pasaribu, Faisal Irsan, Siregar, Chandra A, Oktrialdi, Benny. “Performance of *Grid-Connected Rooftop Solar PV System* for households during Covid-19 Pandemic”. *Journal of electrical technology UMY*. Vol 5 No 1 June 2021
- [24] “Solar Simulation Software Compared | PVsyst Vs. Helioscope | GSES.” <https://www.gses.com.au/comparison-of-bankable-energy-simulationsoftware-used-in-the-australian-solar-industry/> (accessed Aug. 16, 2021).
- [25] Permen ESDM No 49 tahun 2018 tentang PENGGUNAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP OLEH KONSUMEN PT PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO)
- [26] M. Afkar Gumintang, M.Faizal Sofyan, dan Ilman Sulaeman, “Pedoman rancangan PLTS” *Design and Control of PV Hybrid System in Practice*, Jakarta : GIZ 2020
- [27] Simamora, Pamela, dan Tumiwa, Fabby. “Apa yang membuat Biaya Pembangkitan PLTS Skala Utilitas Bertambah Murah?”. *Acceleration Low-Carbon Energy Transition*, IESR, Juli 2019.
- [28] Melia, Dini, “Aspek Finansial”. *Tinjauan Pustaka*. Politeknik Negeri Bandung
- [29] Ariani, Wisna Dwi, Kartono, dan Winardi, Bambang. “Analisis Kapasitas dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara”. Vol 3 no 2, Juni 2014
- [30] *Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM 2018 Bidang Energi - Sub Bidang Ketenagalistrikan*

[31] Hidayat, Fian, Winardi, Bambang, Nugroho, Agung. ANALISIS EKONOMI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO

[32] Pengembangan perangkat lunak optimasi ekonomi dan analisa finansial PLTS studi kasus PLTS 10 MWAC