

**STUDI PERANCANGAN SISTEM PLTS *ON-GRID*
MENGUNAKAN SIMULASI *SOFTWARE HOMER*
PRO PADA KAWASAN PLTD SETAJAM DI PT PLN
(PERSERO) ULP DABO SINGKEP**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana S1 Pada
Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung



OLEH:

NAMA : SONNY NUR HIDAYAT

NIM : 30602200258

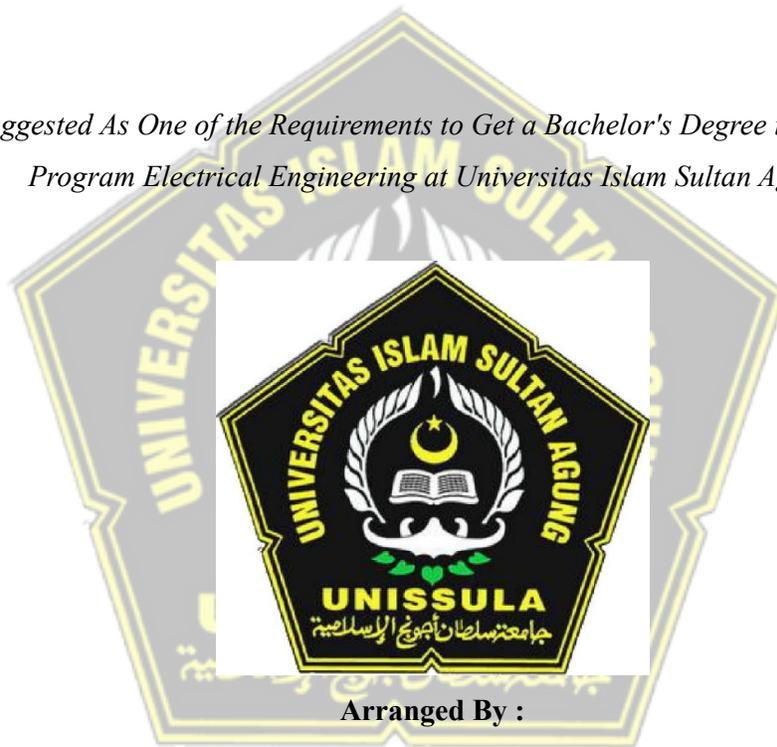
**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

FINAL PROJECT

**STUDY OF ON-GRID PLTS SYSTEM DESIGN USING
HOMER PRO SOFTWARE SIMULATION IN THE
SETAJAM PLTD AREA AT PT PLN (PERSERO) ULP
DABO SINGKEP**

*Suggested As One of the Requirements to Get a Bachelor's Degree in a Study
Program Electrical Engineering at Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By :

SONNY NUR HIDAYAT

30602200258

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sonny Nur Hidayat
NIM : 30602200258
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“STUDI PERANCANGAN SISTEM PLTS *ON-GRID* MENGGUNAKAN SIMULASI *SOFTWARE* HOMER PRO PADA KAWASAN PLTD SETAJAM DIPT PLN (PERSERO) ULP DABO SINGKEP”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 3 Maret 2025

Yang Menyatakan



Sonny Nur Hidayat

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**STUDI PERANCANGAN SISTEM PLTS ON-GRID MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE HOMER PRO PADA KAWASAN PLTD SETAJAM DI PT PLN (PERSERO) ULP DABO SINGKEP**” ini disusun oleh:

Nama : SONNY NUR HIDAYAT
NIM : 30602200258
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 4 Maret 2025

Pembimbing I



Ir. Ida Widiastuti, M.T.
NIDN : 0005036501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro




Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

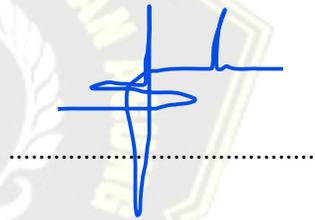
Laporan Tugas Akhir dengan judul “**STUDI PERANCANGAN SISTEM PLTS ON-GRID MENGGUNAKAN SIMULASI *SOFTWARE* HOMER PRO PADA KAWASAN PLTD SETAJAM DI PT PLN (PERSERO) ULP DABO SINGKEP**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 4 Maret 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Suryani Alifah, MT., Ph.D.
NIDN : 0625036901
Ketua



Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM.
NIDN : 0628086501
Penguji I



Ir. Ida Widiastuti, MT.
NIDN : 0005036501
Penguji II



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sonny Nur Hidayat
NIM : 30602200258
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“STUDI PERANCANGAN SISTEM PLTS *ON-GRID* MENGGUNAKAN SIMULASI *SOFTWARE HOMER PRO* PADA KAWASAN PLTD SETAJAM DI PT PLN (PERSERO) ULP DABO SINGKEP”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 3 Maret 2025

Yang Menyatakan



Sonny Nur Hidayat

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penelitian ini saya persembahkan untuk :

Diri saya sendiri atas penyelesaian penyusunan Tugas Akhir dengan kondisi sambil bekerja di unit terluar dan jauh dari lokasi kampus.

Kedua Orang Tua Saya,

Atas berbagai bentuk dukungan moril dan semangat sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

D-III Teknik Elektro 2018 Universitas Diponegoro

Kepada rekan-rekan seperjuangan dimasa kuliah baik rekan kuliah dan khususnya teman-teman kos Pak Wandu.

Keluarga PT PLN (Persero) ULP Dabo Singkep

Terima kasih terhadap rekan kerja dari Manajer, Team Leader, dan teman-teman staff dalam membantu saya selama proses pengumpulan data sampai Tugas Akhir selesai.

S-1 Teknik Elektro 2022 Unisulla

Kepada rekan satu angkatan di Unisulla yang mungkin tidak kenal satu persatu karena kuliah daring, terima kasih atas kebersamaanya semoga tetap jaga ukhwuwah islamiyah.

Ibu Ida Widihastuti

Terima kasih atas bimbingan dan arahan yang bapak berikan selama perkuliahan berlangsung sampai dengan penyusunan laporan Tugas Akhir.

HALAMAN MOTTO

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا لَهَا مَا كَسَبَتْ وَعَلَيْهَا مَا اكْتَسَبَتْ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا إِنْ نَسِينَا أَوْ
أَخْطَأْنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ عَلَى الَّذِينَ مِنْ قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا لَا طَاقَةَ
عُنُقِنَا بِهٖ وَاعْفُ عَنَّا وَاعْفِرْ لَنَا وَارْحَمْنَا أَنْتَ مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ ﴿٢٨٦﴾

Artinya:

Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya. Baginya ada sesuatu (pahala) dari (kebajikan) yang diusahakannya dan terhadapnya ada (pula) sesuatu (siksa) atas (kejahatan) yang diperbuatnya. (Mereka berdoa,) “Wahai Tuhan kami, janganlah Engkau hukum kami jika kami lupa atau kami salah. Wahai Tuhan kami, janganlah Engkau bebani kami dengan beban yang berat sebagaimana Engkau bebani orang-orang sebelum kami. Wahai Tuhan kami, janganlah Engkau pikulkan kepada kami apa yang tidak sanggup kami memikulnya. Maafkanlah kami, ampunilah kami, dan rahmatilah kami. Engkaulah pelindung kami. Maka, tolonglah kami dalam menghadapi kaum kafir.” (Al Baqarah: 286)

طَلَبُ الْعِلْمِ فَرِيضَةٌ عَلَى كُلِّ مُسْلِمٍ

Artinya :

“Menuntut ilmu itu wajib atas setiap Muslim” (HR. Ibnu Majah no. 224, dari sahabat Anas bin Malik radhiyallahu 'anhu, dishahihkan Al Albani dalam Shahiih al-Jaami'ish Shaghiir no. 3913).

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan Hidayat, Taufik, dan Rahmat-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Studi Perancangan Sistem PLTS *On-grid* Menggunakan Simulasi *Software* Homer Pro pada Kawasan PLTD Setajam di PT PLN (Persero) ULP Dabo Singkep”**.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Strata-I (S1) di program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan bimbingan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dan memberikan dukungan.

1. Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.H. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Dr. Ir. Novi Mariyana, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ir. Ida Widiastuti, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan dan bantuannya hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Kedua orangtua dan keluarga yang selalu memberikan do'a, semangat, dukungan, dan kasih sayang yang tiada hentinya kepada penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini
7. Kepada teman-teman Teknik Elektro angkatan 2022 yang telah membantu penulis dalam penulisan laporan Tugas Akhir Ini.

Penulis menyadari dalam menyusun Tugas Akhir ini banyak kekurangan, dari segi materi, penyusunan, dan tampilan Tugas Akhir. Saran dan kritik sangat dibutuhkan penulis untuk menjadikan Tugas Akhir ini lebih baik untuk kedepannya. Penulis berharap semoga penyusunan Tugas Akhir dapat memberikan manfaat dan referensi. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan ridha-Nya kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.



Semarang, 3 Maret 2025

Yang Menyatakan,

Sonny Nur Hidayat

ABSTRAK

Penggunaan energi baru terbarukan di Indonesia semakin menjadi fokus utama dalam rangka memenuhi ketahanan energi nasional yang terus meningkat, sekaligus bertujuan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Sumber energi matahari merupakan salah satu energi yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau PLTS yang terhubung secara On-grid merupakan sistem yang terhubung langsung dengan sistem grid tanpa perlu adanya penambahan baterai, menawarkan solusi yang berkelanjutan untuk memanfaatkan potensi sinar matahari yang melimpah, khususnya di daerah dengan intensitas sinar matahari tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem PLTS On-grid yang efisien dan optimal, pada sistem PLTS On-grid menawarkan penghematan biaya investasi yang besar dikarenakan sistem PLTS On-grid tidak memerlukan baterai sebagai peralatan sistem utama. Perancangan sistem PLTS ini terletak di Kawasan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Setajam yang berada di bawah pengelolaan PT PLN (Persero) ULP Dabo Singkep, pada penelitian ini akan disimulasikan menggunakan aplikasi Homer Pro untuk menganalisis kelayakan sistem secara teknis.

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah perencanaan yang diimplementasikan melalui simulasi menggunakan aplikasi Homer Pro, yang dapat membantu menganalisis berbagai skenario konfigurasi sistem energi terbarukan dan sistem kelistrikan secara komprehensif. Simulasi ini mempertimbangkan berbagai faktor yang terdiri dari data radiasi matahari di wilayah Dabo Singkep, beban listrik yang ada, serta kapasitas dan karakteristik operasional PLTD Setajam. Parameter-parameter teknis, seperti kapasitas panel surya, ukuran inverter, biaya investasi dan operasional, juga akan dimasukkan dalam simulasi untuk menilai efisiensi biaya dan kinerja dari masing-masing konfigurasi.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kawasan PLTD Setajam optimal dilakukan pemasangan sistem PLTS On-grid, hal ini ditunjukkan dengan tingginya nilai iradiasi matahari sebesar 4,636 kWh/m²/d. Optimasi sistem PLTD Setajam dengan beban rata-rata pelanggan sebesar 4,024 MW, disimulasikan dengan aplikasi Homer Pro didapat konfigurasi sistem terbaik yaitu kombinasi sistem PLTS On-grid dengan PLTD, dimana sistem PLTS mampu berkontribusi untuk mensuplai sistem kelistrikan sebesar 10,9% dengan total produksi listrik tahunan sebesar 198.8520 kWh/tahun, sedangkan sistem PLTD mampu mensuplai sistem kelistrikan sebesar 89,1% dengan total produksi listrik tahunan sebesar 36.082.440 kWh/tahun. Kombinasi antara sistem PLTS dan PLTD On-grid mampu memberikan efisiensi yang besar terhadap operating cost, dimana untuk operating cost PLTD Setajam sebelum adanya sistem PLTS On-grid sebesar Rp 19.500.000.000/tahun. Biaya operating cost tersebut akan turun dengan diterapkannya kombinasi sistem PLTS On-grid dengan sistem PLTD, kombinasi kedua sistem tersebut menghasilkan biaya operating cost sebesar Rp 17.600.000.000/tahun, dimana terjadi penghematan biaya sebesar Rp 1.900.000.000/tahun. Selain itu, penelitian ini merupakan wujud kepedulian terhadap upaya pengembangan energi baru terbarukan di Indonesia, khususnya dalam mendukung kebijakan pemerintah yang menargetkan peningkatan proporsi energi terbarukan, dengan target net zero emission.

Kata Kunci : PLTS On-grid, PLTD Setajam, Homer Pro, iradiasi

ABSTRACT

The use of new renewable energy in Indonesia is increasingly becoming a major focus in order to meet the increasing national energy security, while also aiming to reduce dependence on fossil energy. Solar energy is one of the potential energies to be developed in Indonesia. Solar Power Plants or PLTS connected On-grid are systems that are directly connected to the grid system without the need for additional batteries, offering a sustainable solution to utilize the potential of abundant sunlight, especially in areas with high sunlight intensity. This study aims to design an efficient and optimal On-grid PLTS system, the On-grid PLTS system offers large investment cost savings because the On-grid PLTS system does not require batteries as the main system equipment. The design of this PLTS system is located in the Setajam Diesel Power Plant (PLTD) Area which is under the management of PT PLN (Persero) ULP Dabo Singkep, in this study it will be simulated using the Homer Pro application to analyze the technical feasibility of the system.

The method used in the research is planning implemented through simulation using the Homer Pro application, which can help analyze various scenarios of renewable energy system configurations and electricity systems comprehensively. This simulation considers various factors consisting of solar radiation data in the Dabo Singkep area, existing electricity loads, and the capacity and operational characteristics of the Setajam PLTD. Technical parameters, such as solar panel capacity, inverter size, investment and operational costs, will also be included in the simulation to assess the cost efficiency and performance of each configuration.

The results of this study indicate that the Setajam PLTD area is optimal for the installation of the On-grid PLTS system, this is indicated by the high solar irradiation value of 4.636 kWh/m²/d. Optimization of the Setajam PLTD system with an average customer load of 4.024 MW, simulated with the Homer Pro application, obtained the best system configuration, namely a combination of the On-grid PLTS system with PLTD, where the PLTS system is able to contribute to supplying the electricity system by 10.9% with a total annual electricity production of 198,8520 kWh/year, while the PLTD system is able to supply the electricity system by 89.1% with a total annual electricity production of 36,082,440 kWh/year. The combination of the PLTS system and the On-grid PLTD is able to provide great efficiency to the operating cost, where the operating cost of the Setajam PLTD before the On-grid PLTS system was IDR 19,500,000,000/year. The operating cost will decrease with the implementation of the combination of the On-grid PLTS system with the PLTD system, the combination of the two systems produces an operating cost of IDR 17,600,000,000/year, where there is a cost savings of IDR 1,900,000,000/year. In addition, this research is a form of concern for efforts to develop new renewable energy in Indonesia, especially in supporting government policies that target an increase in the proportion of renewable energy, with a net zero emission.

Keywords: *PLTS On-grid, PLTD Setajam, Homer Pro*

DAFTAR ISI

TITLE PAGE.....	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	v
SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Potensi Energi Listrik	12
2.2.2 Sistem PLTS	13
2.2.3 Instalasi Panel Surya.....	15
2.2.4 Sub Sistem PLTS	17
2.2.5 Daya Terpasang dan Daya Mampu PLTS.....	18
2.2.6 Sistem <i>On-grid</i>	19
2.2.7 Kemiringan Modul	19

2.2.8	<i>Grid-Connected Distributed</i>	19
2.2.9	<i>Grid-Connected Centralized</i>	20
2.2.10	Fotovoltaik	20
2.2.11	Jenis Penal Surya	21
2.2.12	Solar Charge Controller (SCC).....	22
2.2.13	Konversi Energi Panel Surya	24
2.2.14	Analisis Tapak	24
2.2.15	Perangkat lunak Homer Pro	25
2.2.16	VISIO	25
BAB III METODE PENELITIAN.....		27
3.1	Metode penelitian	27
3.2.1	Objek Penelitian	27
3.2.2	Model Perencanaan PLTS.....	27
3.2.3	Komponen	28
3.2	Prosedur Penelitian.....	28
3.2.1	Pengambilan Data.....	28
3.2.2	Perhitungan Kapasitas dan Jumlah Modul Panel Surya..	29
3.2.3	Perhitungan dan Penentuan Inverter.....	29
3.4	Tahapan Penelitian.....	30
3.3.1	Diagram Alir Penelitian.....	31
3.3.2	Analisis Tapak	31
3.3.3	Radiasi	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Data Luas Lahan Kosong	32
4.2	Iradiasi Matahari.....	33
4.3	Besarnya Beban Sistem PLTD Setajam.....	34
4.4	Spesifikasi Komponen Utama.....	34
4.4.1	Panel Surya	35
4.4.2	Inverter.....	36
4.4.3	Kebutuhan Panel Surya	37
4.4.4	Rancangan Teknis Modul Panel Surya	38

4.4.5 Pemasangan Panel Surya Seri.....	39
4.4.6 Pemasangan Panel Surya Pararel.....	39
4.4.7 Menentukan Kebutuhan Sub Sistem PLTS.....	40
4.4.8 Menghitung Daya Terpasang dan Daya Mamapu PLTS	41
4.5 Rancangan <i>Grid</i> PLTD Setajam	42
4.6 Simulasi PLTS di PLTD Setajam Menggunakan Homer Pro ...	42
4.6.1 Skema Konfigurasi Sistem	43
4.6.2 Mengatur Pembebanan Sistem	44
4.6.3 Menentukan Aspek Ekonomi.....	44
4.6.4 Menentukan Kebutuhan Inverter dan Panel Surya	45
4.6.5 Sistem <i>Grid</i>	46
4.6.6 Optimasi LCOE (<i>Levelized Cost of Electricity</i>).....	47
4.6.7 Optimasi Produksi Listrik Tahunan	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sudut Kemiringan Panel Surya.....	19
Gambar 2. 2 Panel Surya Jenis Polikristal.....	21
Gambar 2. 3 Panel Surya Jenis Monokristal.....	22
Gambar 2. 4 Panel Surya Jenis Thin Film	22
Gambar 3. 1 Lokasi PLTD Setajam	27
Gambar 3. 2 Model Perencanaan PLTS <i>On-grid</i> PLTD Setajam	28
Gambar 3. 3 Diagram Alur Penelitian	30
Gambar 4. 1 Foto Satelit PLTD Setajam dan Area Rencana Pemasangan PLTS	32
Gambar 4. 2 Canadiansolar 325MS.....	35
Gambar 4. 3 Sinexcel PWS1-500KTL-EX.....	36
Gambar 4. 4 SLD Sistem PLTD Setajam Grid Dengan Sistem PLTS Setajam...	42
Gambar 4. 5 Skema Konfigurasi PLTS <i>On-grid</i> melalui Homer Pro.....	43
Gambar 4. 6 Beban Sistem PLN ULP Dabo Singkep	44
Gambar 4. 7 Penghitungan Aspek Ekonomi Pada Sistem PLTS Melalui Aplikasi Homer Pro.....	45
Gambar 4. 8 Parameter Inverter pada aplikasi Homer Pro	46
Gambar 4. 9 Parameter Modul Panel Surya pada Aplikasi Homer Pro.....	46
Gambar 4. 10 Parameter Jaringan Listrik PLN (Grid PLTD) pada Homer Pro ..	47
Gambar 4. 11 Konfigurasi Sistem PLTS <i>On-grid</i> dan PLTD pada Homer Pro ...	48
Gambar 4. 12 Hasil Optimasi Konfigurasi Sistem PLTS pada Homer Pro	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Iradiasi Matahari di PLTD Setajam	33
Tabel 4. 2 Data Beban Sistem Dabo Singkep Selama Tahun 2024.....	34
Tabel 4. 3 Spesifikasi Canadiansolar 325MS.....	35
Tabel 4. 4 Sinexcel PWS1-500KTL-EX	37
Tabel 4. 5 Kebutuhan Panel Surya dan Inverter.....	45
Tabel 4. 6 Daftar Mesin PLTD Setajam	47



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Letak negara Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, memiliki cadangan energi yang melimpah, baik dari sumber fosil maupun non-fosil. Meskipun demikian, sebagian besar energi yang diproduksi dan digunakan hingga kini masih berasal dari sumber fosil. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang stabil dalam beberapa tahun terakhir, permintaan energi terus meningkat. Ketergantungan yang tinggi terhadap energi fosil yang terbatas dapat memicu krisis energi. Oleh karena itu, isu energi tetap menjadi prioritas pemerintah, terutama dengan semakin besarnya dampak lingkungan akibat penggunaan energi fosil dalam berbagai sektor sosial-ekonomi [1].

PT PLN Persero berupaya mampu memenuhi kebutuhan energi listrik nasional di era globalisasi saat ini, kebutuhan akan sumber energi listrik merupakan unsur paling penting. Mayoritas kebutuhan sehari-hari melibatkan penggunaan barang elektronik, sehingga listrik menjadi salah satu kebutuhan pokok. Dengan meningkatnya permintaan listrik, kontinuitas pasokan listrik menjadi lebih kritis, yang menyebabkan beban kerja pembangkit semakin berat dan cadangan minyak bumi di Indonesia maupun di dunia semakin menipis.

Konsumsi energi listrik di Indonesia selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya sejalan dengan pertumbuhan ekonomi nasional. Diperkirakan, kebutuhan listrik di Indonesia akan mengalami pertumbuhan rata-rata 6,5% per tahun hingga tahun 2030. Jika pemerintah tidak dapat memenuhi kebutuhan ini dengan efektif, akan menjadi masalah besar. Saat ini, kapasitas energi listrik yang dapat dipasok oleh PLN sebagai perusahaan listrik nasional hanya sekitar 1500-2000 MW. Mengingat kondisi tersebut, penting untuk mulai mengembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan sehingga Indonesia bisa menjadi salah satu negara percontohan untuk mengembangkan green energy. Diharapkan pemanfaatan sumber energi baru terbarukan dapat dioptimalkan di masa mendatang, pemenuhan energi listrik di Indonesia selama ini sangat bergantung pada energi fosil, salah satunya masih banyaknya pembangkit listrik di Indonesia berbahan bakar solar [2].

Salah satu upaya untuk mewujudkan transformasi menuju energi terbarukan serta komitmen untuk mendukung penggunaan energi ramah lingkungan di UP3 Tanjungpinang, ULP Dabo Singkep mencanangkan penggunaan sistem PLTS *On-grid* yang memanfaatkan lahan kosong di Kawasan PLTD Setajam sebagai *supplay* pendukung pembangkitan untuk mengurangi emisi gas karbon. Sistem PLTS *On-grid* memiliki keuntungan, yaitu tidak diperlukannya baterai sebagai penunjang utama sistem kelistrikan, berbeda dengan sistem PLTS off grid yang memerlukan baterai sebagai penunjang utama sistem kelistrikan, dimana baterai merupakan komponen termahal pada sistem PLTS. Potensi energi matahari di kawasan PLTD Setajam sangat besar, kawasan PLTD Setajam mengalami penyinaran penuh selama 12 bulan dengan nilai iradiasi matahari rata-rata pada tahun 2024 sebesar 4,636 kWh/m²/d. Potensi energi matahari yang berlimpah di Indonesia akan dimanfaatkan sebagai sumber energi PLTS *On-grid* untuk mendukung sistem kelistrikan Wilayah Dabo Singkep dengan beban rata-rata pelanggan 4,024 MW dan beban puncak 5,632 MW, dimana saat ini masih ditopang sepenuhnya oleh sistem PLTD. Sebagai penunjang perancangan atau analisis suatu sistem pembangkit listrik, maka digunakan aplikasi Homer Pro yang mampu melakukan simulasi dan analisis terkait keadaan sumber energi suatu daerah berdasarkan lokasi yang telah ditentukan. Karena hal itulah sebagai langkah taktis dan strategis maka disusun laporan tugas akhir dengan judul ***“STUDI PERANCANGAN SISTEM PLTS ON-GRID PADA KAWASAN PLTD SETAJAM MENGGUNAKAN SIMULASI SOFTWARE HOMER PRO DI PT PLN (PERSERO) ULP DABO SINGKEP”***. langkah ini sebagai wujud dukungan PT PLN (Persero) untuk mengimplementasikan upaya *Net Zero Emission (NZE)*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, dapat diperoleh beberapa permasalahan yang akan dibahas pada penelitian sebagai berikut :

- a) Berapa besar potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS dengan diterapkannya PLTS *On-grid* di kawasan PLTD Setajam.

- b) Bagaimana merencanakan PLTS dengan sistem *On-grid* Terhubung dengan Sistem PLTD.
- c) Seberapa besar keuntungan pemasangan sistem PLTS *On-grid* dengan sistem PLTD.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalahnya dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a) Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari PT PLN Persero, ULP Dabo Singkep, PLTD Setajam.
- b) Data radiasi yang digunakan menggunakan data dari satelit NASA sedangkan data iklim menggunakan data dari RETScreen Expert.
- c) Data radiasi harian dan iklim merupakan data tahun 2024.
- d) Kapasitas PLTS *On-grid* yang dirancang disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia di lingkungan PLTD Setajam.
- e) Penghitungan luas lahan yang tersedia bersumber data dari Google Earth.
- f) Penelitian ini tidak membahas teknik pemasangan sistem PLTS
- g) Simulasi menggunakan aplikasi Homer Pro

1.4 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan dari penelitian yang dilakukan :

- a) Untuk mengetahui seberapa besar potensi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dengan metode PLTS *On-grid* di PLTD Setajam.
- b) Merencanakan PLTS dengan sistem *On-grid* yang terhubung dengan Sistem PLTD Setajam
- c) Untuk Mengetahui Keuntungan Pemasangan Sistem PLTS *On-grid* terhubung dengan Sistem PLTD.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Mengetahui potensi energi matahari di PLTD Setajam.

- b) Mengetahui tingkat kestabilan sistem kelistrikan PT PLN ULP Dabo Singkep PLTD Setajam akibat pemasangan PLTS *On-grid*.
- c) Mengetahui pengaruh iklim terhadap parameter pergerakan matahari yang berpengaruh terhadap Iradiasi.
- d) Mengetahui nilai efisiensi panel surya berdasarkan jenis.
- e) Mengetahui jenis panel surya yang sesuai untuk diterapkan dalam suatu sistem.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika dari laporan ini sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang konteks permasalahan, pertanyaan penelitian, lingkup masalah, tujuan dari penelitian, manfaat penelitian, metode yang digunakan, serta struktur penulisan penelitian yang akan dilaksanakan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Memuat penjelasan tentang sistem beban pelanggan potensi energi listrik, sistem PLTS, sistem *On-grid*, dan jenis panel surya.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metodologi penelitian, yang mencakup penggunaan berbagai alat, bahan dan sarana pendukung. Selain itu, dijelaskan langkah-langkah prosedur penelitian, termasuk pembuatan model dan simulasi, yang dilakukan untuk mencapai hasil penelitian yang diinginkan.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Melakukan perhitungan kebutuhan material penyusun sistem PLTS *On-grid* yang terhubung dengan sistem PLTD *Setajam*, kemudian melakukan perhitungan dampak pemakaian sistem PLTS *On-grid* terhadap sistem di Unit Layanan Pelanggan (ULP) Dabo Singkep

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini terfokus pada potensi PLTS di atas permukaan tanah, yang terintegrasi dengan sistem *On-grid*. Penelitian ini dianggap sebagai gambaran penggunaan dan efisiensi listrik di masa depan di lingkungan PLTD Setajam. Dalam penelitian ini, penulis memanfaatkan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik ini sebagai dasar utama. Penelitian tersebut antara lain:

- a) Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya di tempat olah raga setempat Werdi Guna, Desa Gunaksa, Kabupaten Klungkung. Dalam penelitian ini, peneliti merancang sistem PLTS *On-grid* tanpa baterai dengan pemasangan di atas tanah (Ground Mounted) untuk menekan biaya tagihan listrik. Penelitian ini menggunakan metode perancangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan PLTS ini dapat menghasilkan produksi energi sebesar 52.955 kWh per tahun, dengan total biaya investasi yang diperlukan sebesar Rp 580.469.095[3].
- b) Perancangan sistem microgrid untuk mempercepat akses terhadap energi listrik (*energy access*) pada kawasan wisata Setu Rawalumbu Kota Bekasi. Penelitian ini diawali dengan penentuan profil beban yang akan diusulkan, dilanjutkan dengan perancangan sistem, pemilihan komponen, serta validasi biaya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode perancangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem microgrid di kawasan wisata Setu Rawalumbu mampu mengurangi emisi gas sebesar 23% pada tahun 2015 dan meningkat hingga 31% pada tahun 2050[4].
- c) Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS *On-grid* dan Off Grid di Indonesia, pada penelitian ini peneliti memulai dari mengidentifikasi biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan sistem PLTS *On-grid*, mempunyai sumber energi surya yang besar dengan intensitas radiasi matahari yang nilai rata-ratanya sekitar 4.8 kWh/m² per hari. Namun

hal tersebut belum dimanfaatkan secara optimal, sedangkan masih ada wilayah di Indonesia yang belum teraliri listrik karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa terdapat beberapa solusi dari masalah ini salah satunya adalah dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), terdapat dua jenis sistem PLTS yaitu sistem *On-grid* dan off grid kedua sistem ini memiliki kelebihan dan kekurangannya masing masing baik dalam segi teknis dan biaya yang harus dikeluarkan [5].

- d) Analisis penyambungan PLTS Oelpuah 5 MWP ke sistem saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 KV PT PLN Unit Layanan Kupang. Pada penelitian ini peneliti memulai dengan melakukan analisis sistem PLTS terhubung dengan jaringan tegangan menengah 20KV, berdampak penyambungan PLTS berkapasitas 5 MWP ke SUTM 20 kV, ditinjau dari aliran daya dan besar perubahan tegangan, komposisi pembangkitan, serta faktor daya listrik, ketika PLTS bekerja dalam kondisi cuaca cerah, ataupun hujan, dan bagaimana kondisi sistem dengan dan tanpa beroperasinya PLTD LMVPP. Dari hasil analisis diperoleh, profil tegangan pada titik interkoneksi PLTS Oelpuah ke penyulang Oesao dan Gardu Hubung Undana berubah-ubah tergantung kondisi cuaca. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa saat cuaca cerah kondisi tegangan pada gardu hubung Undana dan penyulang Oesao stabil namun saat kondisi cuaca berawan dan hujan tegangan distribusi pada penyulang Oesao dan Gardu Hubung Undana mengalami penurunan[6].
- e) Validasi Akurasi Data Iradiasi Matahari NASA untuk Empat Wilayah Afrika. Pada penelitian ini peneliti memulai dengan mengumpulkan data negara berkembang yang mengalami keterbatasan dalam memperoleh data meteorologi karena kurangnya instrumen pengukuran atau tidak tersedianya stasiun cuaca. Saat ini, berbagai basis data spasial, seperti NASA/Power, Meteonorm, dan Solargis, menyediakan data iradiasi matahari untuk

berbagai lokasi dan interval waktu. Penelitian ini bertujuan untuk memverifikasi keakuratan data iradiasi matahari dari data dasar NASA dengan membandingkannya terhadap pengukuran berbasis darat di empat lokasi di Aljazair. Metode yang digunakan meliputi perbandingan data iradiasi matahari dari NASA selama 34 tahun (1984–2017) dengan data berbasis darat yang dikumpulkan selama satu tahun penuh di M'Sila, Saida, Tamanrasset, dan Nouakchott. Analisis dilakukan menggunakan enam parameter statistik pada skala waktu harian, bulanan, dan tahunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data perkiraan NASA dapat digunakan sebagai alternatif yang dapat diandalkan jika tidak tersedia data iradiasi matahari dari pengukuran langsung. Penggunaan data estimasi jangka panjang sangat direkomendasikan, sehingga proyek energi surya di Aljazair dan Mauritania dapat memanfaatkannya untuk perencanaan dan pengembang[7].

- f) Analisis kinerja pembangkit listrik fotovoltaik Sourdun. Pada penelitian ini peneliti memulai dengan menganalisis kinerja pembangkit listrik fotovoltaik Sourdun di Prancis selama tujuh tahun menggunakan standar IEC 61724. Pembangkit dengan kapasitas 4,5 MWp ini terletak di daerah beriklim sedang dan hangat serta menggunakan panel fotovoltaik polikristalin. Metodologi yang digunakan dengan cara mengumpulkan data dari sistem pemantauan menunjukkan tingkat degradasi rata-rata sebesar 0,209% per tahun, yang konsisten dengan hasil penelitian lain pada utilitas serupa yang dianalisis saya. Hasil penelitian menunjukkan nilai degradasi dihitung berdasarkan perubahan tahunan dalam rasio kinerja yang telah dikoreksi terhadap suhu. Rasio kinerja tahunan berkisar antara 84,12% hingga 90,54%, dengan nilai tertinggi pada musim semi dan terendah pada musim panas, serta rata-rata sebesar 87,18%. Selain itu, evolusi tahunan rata-rata dari hasil referensi dan hasil akhir masing-masing tercatat sebesar 3,92 jam dan 3,33 jam. Hasil penelitian ini memberikan wawasan mengenai stabilitas dan efisiensi jangka panjang pembangkit listrik fotovoltaik di wilayah termasuk sedang[8].

- g) Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) hybrid di gedung ICT Universitas Diponegoro menggunakan *software* PVSYST 7.0. Pada penelitian ini peneliti memulai dengan menganalisis data Power Data Access Viewer NASA tahun 2019, Gedung ICT Universitas Diponegoro memiliki tingkat radiasi matahari rata-rata sebesar 5,52 kWh/m²/hari. Oleh karena itu, area rooftop dan area parkir terbuka dapat dimanfaatkan sebagai lokasi pemasangan PLTS. PLTS ini menggunakan sistem hybrid yang mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama dan baterai sebagai cadangan. Selain itu, sistem dilengkapi dengan Automatic Transfer Switch (ATS) yang memungkinkan koneksi ke jaringan PLN saat kapasitas baterai mencapai batas minimum. Metodologi yang digunakan berupa perancangan sistem yang disimulasi menggunakan *software* PVSyst 7.0 menunjukkan bahwa dengan konfigurasi 132 modul berkapasitas 310 Wp/modul, 144 baterai berkapasitas 12V 200Ah/baterai, 1 unit inverter 50 kW, dan 4 unit SCC 100 A/unit, sistem dapat menghasilkan energi listrik sebesar 91,5 MWh per tahun. Setelah melalui proses konversi, energi listrik yang tersedia berkurang menjadi 65,383 MWh, dengan 57,181 MWh digunakan untuk beban dan 8,202 MWh disimpan dalam baterai sebagai cadangan, menghasilkan efisiensi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan PLTS hybrid di Gedung ICT Universitas Diponegoro dapat menjadi solusi energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan[9].
- h) Analisis potensi dan unjuk kerja perencanaan pembangkit listrik tenaga surya di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro. Pada penelitian ini peneliti memulai dengan menganalisis potensi dalam pemanfaatan energi matahari, dimana besarnya radiasi matahari dipengaruhi oleh letak garis lintang, kondisi atmosfer, dan posisi matahari terhadap khatulistiwa. Berdasarkan data Power Data Access Viewer NASA tahun 2019, Semarang memiliki tingkat radiasi matahari rata-rata sebesar 5,5 kWh/m²/hari. Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro memiliki gedung berkonsep Undip First Bioclimatic and Biophilic Green Building, dengan area rooftop dan sarana parkir sepeda motor yang belum

dimanfaatkan secara optimal. Dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi, area tersebut berpotensi dikembangkan sebagai siteplan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metodologi penelitian ini merancang sistem PLTS *On-grid*, yang terintegrasi dengan jaringan listrik PLN, di mana PLN menjadi pemasok utama dan PLTS sebagai sumber energi tambahan. Simulasi dilakukan menggunakan *software* PVSyst 6.43 untuk menganalisis potensi dan kinerja sistem PLTS yang direncanakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTS ini berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 387,7 MWh per tahun. Setelah proses konversi, energi yang tersedia menjadi 374,11 MWh, dengan pembagian 260,05 MWh digunakan untuk mensuplai beban gedung dan 114,06 MWh dikirim ke jaringan listrik PLN (Grid). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan PLTS di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro dapat menjadi solusi energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan[10].

- i) Analisis potensi dan unjuk kerja perencanaan pembangkit listrik tenaga surya di SMA Negeri 4 Semarang. Pada penelitian ini peneliti memulai dengan mengumpulkan data Power Data Access Viewer NASA tahun 2019, Indonesia memiliki tingkat radiasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari, sementara Kota Semarang memiliki tingkat radiasi lebih tinggi, yaitu 5,6 kWh/m²/hari. SMA Negeri 4 Semarang memiliki lahan kosong dan area parkir terbuka yang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metodologi dalam penelitian ini merancang sistem PLTS Off Grid, yang sepenuhnya mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama dengan photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik serta baterai sebagai cadangan daya, termasuk untuk suplai energi pada malam hari. Simulasi dilakukan menggunakan *software* PVSyst 6.43 untuk menganalisis potensi dan kinerja sistem PLTS yang direncanakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTS ini memiliki potensi menghasilkan energi listrik sebesar 84,489 MWh per tahun, dengan konfigurasi 480 modul berkapasitas 100 Wp/modul, 68 baterai berkapasitas

24V 200Ah/baterai, 1 unit inverter 45 kWh, dan 5 unit SCC 460A/unit. Setelah proses konversi, energi yang tersedia berkurang menjadi 75,530 MWh, dengan distribusi 62,414 MWh untuk mensuplai beban dan 12,116 MWh disimpan dalam baterai sebagai cadangan daya serta suplai energi di malam hari. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan PLTS Off Grid di SMA Negeri 4 Semarang dapat menjadi solusi energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan[11].

- j) Analisis studi kelayakan pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN. Pada penelitian ini peneliti menganalisis terkait perlunya mendorong penggunaan energi terbarukan sebagai sistem cadangan atau alternatif. Graha YPK PLN direncanakan menggunakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-grid* untuk mengurangi ketergantungan pada listrik PLN. Sistem ini tetap terhubung dengan jaringan PLN, di mana energi listrik dari modul surya digunakan sebagai suplai utama dan PLN sebagai sumber cadangan. Metodologi perencanaan PLTS ini mencakup luas area 52 m² dengan konfigurasi 24 modul surya berkapasitas 450 Wp, 1 inverter berkapasitas 15.330 Watt, serta menggunakan data radiasi matahari rata-rata tahun 2021 sebesar 4,67 kWh/m²/hari. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui produksi energi, efisiensi sistem, serta analisis ekonomi, termasuk biaya investasi dan waktu pengembalian modal. Hasil dari penelitian ini menghasilkan potensi energi dengan impor sebesar 9.240,4 kWh/bulan dan ekspor ke jaringan sebesar 1.380,61 kWh/bulan. Biaya energi listrik yang dihasilkan sebesar Rp. 1.444,70/kWh. Dari segi ekonomi, total biaya investasi sistem ini mencapai Rp. 257.105.000 dengan waktu pengembalian investasi selama 16 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa implementasi PLTS *On-grid* di Graha YPK PLN dapat menjadi solusi energi yang lebih efisien dalam jangka panjang[12].
- k) Perancangan sistem kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLN dan PLTS) Kapasitas 800 Wp. Penelitian ini dilatar belakangi peningkatan kebutuhan energi listrik dan keterbatasan sumber energi fosil mendorong pemanfaatan energi terbarukan, salah satunya melalui Pembangkit Listrik

Tenaga Surya (PLTS). Program Green Building di Gedung Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Semarang bertujuan untuk menerapkan energi terbarukan dengan menggunakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH). Sistem ini menggabungkan listrik dari PLN dan PLTS sebagai sumber energi alternatif guna meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan energi. Penelitian ini menggunakan metodologi perancangan sistem PLTH di gedung ini menggunakan 4 panel surya berkapasitas 200 WP, inverter, baterai 12V 100 Ah, panel kontrol, serta didukung oleh PLC (Programmable Logic Controller) dan *software* SCADA untuk pemantauan dan pengendalian sistem secara otomatis. Sistem ini memungkinkan integrasi antara listrik dari PLN dan energi yang dihasilkan oleh PLTS, dengan mekanisme pengalihan daya otomatis saat terjadi penurunan suplai dari salah satu sumber. Hasil dari penelitian ini di implementasikan melalui PLTH di Gedung Laboratorium Teknik Listrik berhasil mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dan meningkatkan efisiensi energi dengan dukungan sistem kontrol otomatis. Integrasi antara PLN dan PLTS memungkinkan cadangan daya yang lebih stabil dan berkelanjutan. Dengan adanya sistem ini, penerapan Green Building dapat lebih efektif dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil serta mendukung program keberlanjutan di Politeknik Negeri Semarang[13].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Potensi Energi Listrik

Indonesia memiliki potensi energi matahari yang sangat besar, menjadikannya salah satu negara dengan prospek pengembangan PLTS yang menjanjikan. Sebagai negara tropis yang berada di garis khatulistiwa, Indonesia menerima sinar matahari sepanjang tahun dengan rata-rata intensitas radiasi sebesar 4,8 kWh/m² per hari. Dengan wilayah yang luas, total potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik diperkirakan mencapai 207,8 GWp, jauh melebihi kapasitas listrik yang telah terpasang saat ini. Meskipun memiliki potensi yang besar, pemanfaatan energi surya di Indonesia masih relatif rendah.

Hingga kini, kapasitas terpasang PLTS baru sekitar 1 GWp, masih jauh dari potensi maksimumnya. Untuk meningkatkan penggunaan energi surya, pemerintah telah menerapkan berbagai strategi, salah satunya melalui program PLTS Atap, yang memungkinkan rumah tangga, industri, dan perkantoran menghasilkan listrik sendiri dari tenaga matahari. Selain itu, pengembangan PLTS skala besar di wilayah dengan intensitas matahari tinggi, seperti Nusa Tenggara, Sulawesi, Papua, dan Jawa Timur, menjadi prioritas dalam percepatan transisi energi terbarukan.

Salah satu keunggulan utama PLTS adalah sifatnya yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Berbeda dengan pembangkit berbahan bakar fosil yang menghasilkan emisi karbon tinggi, PLTS tidak menyebabkan polusi udara serta dapat berkontribusi dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, biaya operasional dan pemeliharaan PLTS lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit konvensional, sehingga dalam jangka panjang dapat menjadi solusi energi yang lebih ekonomis. Namun, pengembangan PLTS di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan. Salah satu kendala utama adalah intermitensi energi, di mana produksi listrik bergantung pada kondisi cuaca dan waktu siang hari. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan sistem penyimpanan energi seperti baterai, sehingga listrik tetap dapat digunakan meskipun matahari tidak bersinar. Selain itu, biaya investasi awal untuk pembangunan PLTS masih cukup tinggi, meskipun harga panel surya terus mengalami penurunan berkat kemajuan teknologi. Dengan berbagai peluang dan tantangan yang ada, pengembangan PLTS di Indonesia memerlukan dukungan kebijakan yang kuat, insentif bagi investor, serta peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya transisi ke energi bersih. Jika dimanfaatkan secara optimal, energi surya dapat menjadi salah satu pilar utama dalam menciptakan ketahanan energi nasional serta mendukung target *Net Zero Emission 2060*. Pemanfaatan PLTS yang lebih luas tidak hanya akan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, tetapi juga membuka peluang ekonomi baru dalam sektor energi terbarukan[14].

2.2.2 Sistem PLTS

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah teknologi yang mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama dalam menghasilkan listrik.

Teknologi ini bekerja dengan cara mengubah sinar matahari menjadi listrik melalui modul fotovoltaik atau sel surya. Prosesnya melibatkan efek fotolistrik pada sel-sel yang tersusun dalam panel surya untuk menyerap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi arus searah (DC), yang kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) melalui inverter sehingga dapat memenuhi berbagai kebutuhan mulai dari rumah tangga, industri, perkantoran, hingga fasilitas umum. Pada sistem PLTS yang bersifat off-grid atau hybrid, listrik yang dihasilkan tidak langsung digunakan melainkan disimpan dalam baterai. Hal ini memastikan ketersediaan listrik saat sinar matahari tidak mencukupi, seperti pada malam hari atau saat kondisi cuaca mendung dan hujan. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya menawarkan solusi energi yang ramah lingkungan, tetapi juga mendukung elektrifikasi di daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik konvensional.

Potensi alam Indonesia, yang berada di garis khatulistiwa, intensitas radiasi matahari rata-rata mencapai $4,8 \text{ kWh/m}^2$ per hari dengan potensi total energi surya lebih dari 200 GWp. Pemanfaatan energi surya secara optimal dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin menipis serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini mengingat pembangkit listrik berbahan bakar fosil tidak hanya menghasilkan emisi karbon yang mempercepat pemanasan global, tetapi juga mencemari udara dan mengancam kesehatan manusia serta keseimbangan ekosistem[15].

Kebutuhan panel surya didapatkan dari luas area modul panel surya yang akan digunakan di lokasi pemasangan, untuk menentukan jumlah panel surya maksimum dan minimum yang dapat digunakan, maka dilakukan penghitungan dengan rumus berikut:

- a) Rumus penghitungan jumlah maksimum panel surya yang dapat digunakan dalam satu sistem[16]:

$$\text{Maximum Number Solar Panel} = \frac{\text{Area} \times \text{Maximum Instalation}}{\text{Solar Panel Area}} \quad 2.1$$

Keterangan

Area = Lasa area yang digunakan untuk pemasangan panel surya (m²)

Maximum Instalation = Jumlah pemasangan maksimum panel surya (%)

Solar Panel Area = Luas panel surya yang digunalan sesuai name plate (m²)

- b) Rumus penghitungan jumlah minimum panel surya yang dapat digunakan dalam satu sistem[16]:

$$\text{Minimum Number Solar Panel} = \frac{\text{Area} \times \text{Minimum Instalation}}{\text{Solar Panel Area}} \quad 2.2$$

Keterangan

Area = Lasa area yang digunakan untuk pemasangan panel surya (m²)

Minimum Instalation = Jumlah pemasangan Minimum panel surya (%)

Solar Panel Area = Luas panel surya yang digunalan sesuai name plate (m²)

2.2.3 Instalasi Panel Surya

Pemasangan modul panel surya, diperlukan untuk mengetahui jumlah panel surya yang dibutuhkan, baik tersusun secara seri maupun paralel, cara untuk menentukan jumlah modul yang terpasang seacara seri maupun paralel dapat kita tentukan dengan persamaan:

a) Pemasangan panel surya yang disusun seri maksimum[16]:

$$\text{Maximum Series Solar Panel Instalation} = \frac{\text{Maximum Inverter Voltage}}{V_{\text{mpp Modul}}} \quad 2.3$$

Keterangan:

Maximum Inverter Voltage = Tegangan maksimum inverter sesuai spesifikasi Pabrikan (V)

$V_{\text{mpp Modul}}$ = Tegangan maksimum keluaran modul panel surya (V)

b) Pemasangan panel surya yang disusun seri minimal[16]:

$$\text{Minimum Series Solar Panel Instalation} = \frac{\text{Minimum Inverter Voltage}}{V_{\text{mpp Modul}}} \quad 2.4$$

Keterangan:

Minimum Inverter Voltage = Tegangan maksimum inverter sesuai spesifikasi Pabrikan (V)

$V_{\text{mpp Modul}}$ = Tegangan maksimum keluaran modul panel surya (V)

c) Pemasangan panel surya yang disusun paralel maksimum[16]:

$$\text{Maximum Parallel Solar Panel} = \frac{\text{Inverter capacity} \times \text{Maximum Tolerancy}}{V_{\text{mpp Modul}} \times \text{Seri Modul Instalation}} \quad 2.5$$

Inverter capacity = Kapasitas inverter (V)

Maximum Tolerancy = Toleransi maksimum penggunaan inverter (%)

V_{mpp} = Daya nyata keluaran panel surya (W)

Seri Modul Instalation = Jumlah panel surya yang disusun secara seri (Unit)

d) Pemasangan panel surya yang disusun paralel minimal[16]:

$$\text{Minimum Parallel Solar Panel} = \frac{\text{Inverter capacity} \times \text{minimum Tolerancy}}{V_{\text{mpp Modul}} \times \text{Seri Modul Instalation}} \quad 2.6$$

Keterangan:

Inverter capacity = Kapasitas inverter (V)

Maximum Tolerancy = Toleransi minimal penggunaan inverter (%)

V_{mpp} = Daya nyata keluaran panel surya (W)

Seri Modul Instalation = Jumlah panel surya yang disusun secara seri
(Unit)

2.2.4 Sub Sistem PLTS

Sub-sistem dalam PLTS merupakan sistem kecil yang akan mendukung sistem utama bekerja, terdiri dari beberapa komponen yang bekerja bersama untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Persamaan untuk menentukan kebutuhan sub sistem PLTS sebagai berikut:

a) Menentukan kebutuhan sub sistem PLTS maksimum[17]:

$$\text{Maximum Solar Panel Sub System} = \frac{\text{Maximum Parallel Solar Panel}}{\text{Capacity Inverter Solar Panel}} \quad 2.7$$

Keterangan:

Maximum Pararel Solar Panel = Jumlah maksimum solar panel yang dapat digunakan dalam kondisi pemasangan paralel (unit)

Capacity Inverter Solar Pane = Jumlah panel surya dalam satu inverter (W)

b) Menentukan kebutuhan sub sistem PLTS minimum[17]:

$$\text{Maximum Solar Panel Sub System} = \frac{\text{Minimum Parallel Solar Panel}}{\text{Capacity Inverter Solar Panel}} \quad 2.8$$

Keterangan:

Minimum Pararel Solar Panel =Jumlah minimal solar panel yang dapat digunakan dalam kondisi pemasangan pararel (unit)

Capacity Inverter Solar Panel =Jumlah panel surya dalam satu inverter (W)

2.2.5 Daya Terpasang dan Daya Mampu PLTS

a) Daya terpasang

Daya terpasang adalah kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS berdasarkan jumlah dan spesifikasi panel surya yang dipasang. Daya ini biasanya dinyatakan dalam satuan kilowatt peak (kWp). Rumus untuk menentukan daya terpasang PLTS[17]:

$$\text{Daya Terpasang} = P_m \times \text{Array} \times \text{Sub System} \quad 2.9$$

Keterangan

P_m = Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya (Wp)

Array = Gabungan dari beberapa string yang diparalelkan (Unit)

Sub System = Sistem kecil dalam rangkaian panel surya (Unit)

b) Daya mampu

Daya mampu adalah jumlah daya listrik aktual yang dapat dihasilkan dan disediakan oleh sistem PLTS dalam kondisi operasional nyata. Rumus untuk menentukan daya terpasang PLTS[17]:

$$\text{Daya Mampu} = \text{Daya Mampu} \times \text{FKT} \times \text{Inverter Peak Efficiency} \quad 2.10$$

Keterangan

Daya Mampu = Total daya sistem (Wp)

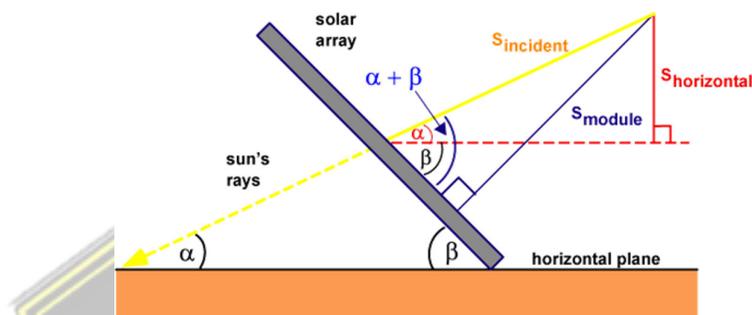
FKT = Nilai koreksi temperatur

Inverter Peak Efficiency = Nilai efisiensi real inverter (%)

2.2.6 Sistem *On-grid*

PLTS *On-grid* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terintegrasi langsung dengan jaringan listrik, dimana sistem ini tidak memerlukan baterai sebagai media penyimpanan energi. Listrik yang dihasilkan dari panel surya dapat langsung memenuhi kebutuhan energi, sementara kelebihan daya dialirkan kembali ke jaringan listrik PLN melalui mekanisme ekspor-impor listrik.[18]

2.2.7 Kemiringan Modul



Gambar 2. 1 Sudut Kemiringan Panel Surya

Panel surya untuk mencapai efisiensi maksimum, modul harus mendapatkan paparan sinar matahari pada sudut kemiringan yang optimal. Mengingat intensitas iradiasi matahari bervariasi di setiap lokasi berdasarkan garis lintang dan waktu, maka evaluasi sudut kemiringan menggunakan data lokasi perencanaan modul menjadi penting untuk mengoptimalkan potensi yang ada.

2.2.8 *Grid-Connected Distributed*

Grid-connected distributed merupakan sistem PLTS *On-grid* yang menyediakan listrik bagi pelanggan yang tersambung ke jaringan tertentu. Misalnya, penerapan PLTS di kawasan perumahan yang tersambung ke jaringan tegangan rendah 230/400 V AC. Dalam sistem ini, setiap rumah memiliki instalasi PLTS sebagai sumber energi tambahan, selain pasokan dari jaringan nasional (PLN). Akibatnya, energi yang dihasilkan oleh PLTS yang berada dekat dengan beban memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan listrik yang disuplai oleh PLN.

2.2.9 *Grid-Connected Centralized*

Sistem PLTS *On-grid* dengan konfigurasi *grid-connected centralized* merupakan sistem pembangkitan listrik terpusat yang menyuplai energi dalam jumlah besar ke jaringan PLN. Sistem ini didesain untuk menghasilkan daya tinggi dan menyalurkannya ke jaringan dengan tegangan menengah atau tinggi, biasanya dengan lokasi yang terpisah dari area beban listrik. Karena sifatnya yang terpusat, kehilangan daya pada sisi pembangkitan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan sistem distribusi yang tersebar, meskipun masih terjadi kehilangan daya selama penyaluran. [19].

2.2.10 Fotovoltaik

Teknologi fotovoltaik adalah metode untuk mengubah energi matahari menjadi listrik melalui konversi langsung menggunakan sel surya. Proses ini bekerja berdasarkan efek fotolistrik, di mana sinar matahari yang mengenai permukaan sel memicu pembebasan elektron dari material semikonduktor, sehingga menghasilkan arus searah. Selanjutnya, arus searah tersebut diubah menjadi arus bolak-balik melalui inverter agar listrik dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, mulai dari rumah tangga hingga industri dan infrastruktur umum. Sel fotovoltaik umumnya dibuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menyerap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi listrik dengan efisiensi yang bervariasi, tergantung pada jenis dan teknologi sel yang digunakan. Saat ini, terdapat beberapa varian teknologi fotovoltaik seperti monokristalin, polikristalin, dan thin-film yang masing-masing memiliki keunggulan dan kekurangan dalam hal efisiensi, biaya produksi, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan. Sebagai salah satu sumber energi terbarukan, sistem fotovoltaik menawarkan berbagai manfaat, antara lain ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon, biaya operasional yang rendah, serta fleksibilitas dalam penerapannya dari skala kecil hingga skala besar yang mampu memasok listrik ke jaringan nasional. Namun, tantangan yang masih dihadapi meliputi keterbatasan efisiensi konversi energi, ketergantungan pada intensitas sinar matahari, serta kebutuhan akan sistem penyimpanan seperti baterai untuk memastikan ketersediaan listrik saat sinar matahari tidak tersedia [20].

2.2.11 Jenis Panel Surya

Untuk menentukan panel surya berkualitas bagus atau tidak dapat dilihat berdasarkan efisiensi. Efisiensi panel surya mengacu pada persentase energi matahari yang berhasil diubah menjadi listrik oleh sel fotovoltaik dalam kondisi tertentu. Semakin tinggi efisiensinya, semakin besar pula listrik yang dapat dihasilkan dari sinar matahari yang sama. Nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis material yang digunakan dalam sel surya, kondisi lingkungan, suhu, intensitas cahaya matahari, serta desain teknologi panel itu sendiri.[21]

a. Polikristal (Poly-crystalline)

Panel surya ini memiliki struktur kristal yang tidak teratur akibat proses pengecoran dalam pembuatannya. Karena efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristal, jenis ini memerlukan area yang lebih luas untuk menghasilkan daya yang setara, sehingga biasanya ditawarkan dengan harga yang lebih terjangkau.



Gambar 2. 2 Panel Surya Jenis Polikristal

b. Monokristal

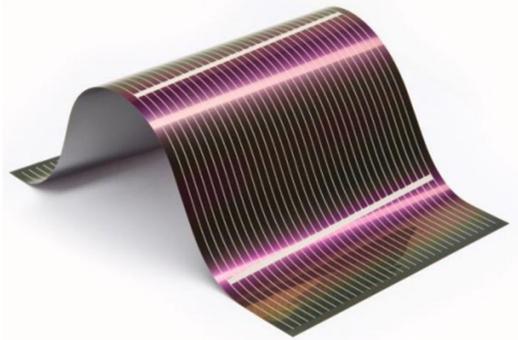
Panel ini dikenal sebagai yang paling efisien karena mampu menghasilkan daya listrik per satuan area yang sangat tinggi, dengan efisiensi mencapai sekitar 15%. Namun, panel ini memiliki kekurangan, yaitu performanya tidak optimal di lokasi dengan sinar matahari yang terbatas, sehingga efisiensinya menurun drastis saat kondisi cuaca berawan atau di tempat yang teduh.



Gambar 2. 3 Panel Surya Jenis Monokristal

c. Thin Film Solar Cell (TFSC)

Thin Film Solar Cell merupakan tipe panel surya yang diproduksi dengan menempatkan lapisan material fotovoltaik yang sangat tipis pada substrat dasar. Karena lapisan yang sangat tipis ini, panel yang dihasilkan memiliki berat yang rendah, fleksibilitas tinggi, dan umumnya lebih ekonomis dalam proses produksinya. Teknologi ini juga dikenal dengan istilah TFPV (Thin Film Photovoltaic). Thin Film Solar Cell memiliki kekurangan efisiensinya umumnya lebih rendah dibandingkan dengan panel surya berbasis silikon kristalin, sehingga memerlukan area yang lebih luas untuk menghasilkan daya yang setara. Selain itu, daya tahan dan performa jangka panjangnya bisa jadi tidak seoptimal teknologi lain, karena beberapa jenis thin film cenderung mengalami degradasi performa lebih cepat. Penggunaan bahan tertentu dalam produksinya juga dapat menimbulkan tantangan lingkungan jika tidak dikelola dengan benar.



Gambar 2. 4 Panel Surya Jenis Thin Film

2.2.12 Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller adalah suatu perangkat kontrol yang

memiliki fungsi untuk mengatur tegangan dan arus listrik yang dikeluarkan dari modul surya, melakukan pengisian baterai, mencegah baterai agar tidak *over charging*. Hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan SCC ini adalah memperhatikan besar tegangan dan daya yang di keluarkan panel surya yang akan diterima oleh baterai.

Solar charge controller (SCC) terbagi atas 2 tipe yaitu PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Kedua tipe SCC ini memiliki metode pengisian daya yang berbeda pada saat mengisi daya baterai darimodul PV. Kedua teknologi tersebut digunakan secara luas pada industri Panel surya *off-grid*, dan keduanya merupakan opsi yang baik untuk efisiensi pengisian baterai. Keputusan untuk menggunakan PWM atau MPPT tidak selalu berdasarkan pada tipe mana yang memiliki metode terbaik dalam pengisian daya baterai, melainkan menentukan tipe mana yang akan bekerja dengan baik dari sistem yang akan kita terapkan[17].

Pulse Width Modulation (PWM) akan tetap bekerja ketika baterai dalam kondisi penuh. Selama pengisian daya, SCC memungkinkan mengalirkan arus bergantung pada sebanyak modul PV bangkitkan dengan tujuan untuk mencapai target tegangan untuk tahap pengisian, ketika baterai menghampiri target pengisian, SCC akan dengan cepat beralih menghubungkan baterai ke panel array dan memutuskan hubungan baterai dengan modul PV, dimana SCC mengatur tegangan baterai dalam keadaan konstan, saklar cepat ini disebut PWM dan memastikan baterai terisi secara efisien selagi melindunginya dari *overcharge* darimodul PV.

Maximum Power Point Tracking (MPPT) memiliki fitur yang dimana koneksi antara modul PV tidak tidak berhubungan langsung. Hubungan tidak langsung ini termasuk *DC/DC converter* yang mengambil kelebihan daya dari modul PV dan mengkonversikanya kedalam arus tambahan pada daya yang lebih rendah tanpa kehilangan

daya. MPPT beroperasi berdasarkan algoritma yang mengikuti titik daya maksimal pada modul PV dan kemudian di atur untuk mempertahankan daya agar tetap efisien untuk sistem[17].

2.2.13 Konversi Energi Panel Surya

Proses konversi energi pada panel surya merupakan rangkaian tahapan yang kompleks, di mana sinar matahari diubah menjadi listrik. Proses ini dimulai dari sel fotovoltaik, komponen utama pada panel surya, yang berisi lapisan semikonduktor umumnya silicon yang telah diproses untuk membentuk struktur sambungan p-n. Struktur ini terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan tipe-p (positif) dan tipe-n (negatif). Saat kedua lapisan tersebut bertemu, terbentuk daerah deplesi yang memiliki medan listrik internal, berfungsi untuk memisahkan elektron dan lubang (hole) ketika sel terkena sinar matahari. Ketika sinar matahari menyentuh permukaan sel, foton yang ada diserap oleh material semikonduktor. Penyerapan ini memberikan energi kepada elektron sehingga mereka dapat melompat dari pita valensi ke pita konduksi, menghasilkan pasangan elektron dan lubang. Medan listrik yang ada di daerah deplesi kemudian mendorong elektron ke arah lapisan tipe-n dan lubang ke arah lapisan tipe-p, sehingga terbentuk arus listrik searah (DC) yang dikumpulkan melalui elektroda pada kedua sisi sel. Setelah arus DC dihasilkan, sel-sel fotovoltaik biasanya disusun secara seri dan paralel dalam sebuah panel surya untuk mencapai tegangan dan arus yang sesuai. Karena peralatan listrik dan jaringan distribusi umumnya menggunakan arus bolak-balik (AC), maka arus DC tersebut harus dikonversi menjadi AC. Konversi ini dilakukan oleh inverter, yang tidak hanya mengubah DC menjadi AC, tetapi juga mengoptimalkan kinerja panel melalui teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk memastikan panel beroperasi pada titik daya maksimum dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

2.2.14 Analisis Tapak

Analisis tapak adalah evaluasi menyeluruh terhadap suatu lokasi guna menentukan kecocokannya untuk pengembangan proyek, baik itu untuk infrastruktur, perumahan, industri, maupun instalasi energi terbarukan seperti panel

surya. Proses ini mencakup pemeriksaan aspek fisik termasuk topografi, kondisi tanah, sistem drainase, dan faktor geoteknik yang memengaruhi stabilitas serta konstruksi serta analisis aksesibilitas dan infrastruktur, seperti kemudahan transportasi, ketersediaan jaringan listrik, pasokan air, dan fasilitas pendukung lainnya. Selain itu, analisis tapak juga menilai potensi lingkungan dan iklim melalui pemeriksaan intensitas sinar matahari, pola cuaca, dan risiko alam seperti banjir atau gempa, serta meninjau aspek sosial dan ekonomi, yang mencakup dampak terhadap masyarakat lokal, nilai ekonomi lahan, serta dukungan dari kebijakan dan peraturan setempat. Dengan demikian, evaluasi tapak yang komprehensif memungkinkan perencana dan pengembang untuk mengidentifikasi peluang serta hambatan di lokasi, sehingga strategi pengembangan dapat disusun secara lebih tepat dan efisien.

2.2.15 Perangkat lunak Homer Pro

Homer Pro merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory* untuk mengoptimalkan model sistem pembangkit listrik. Perangkat ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis, baik yang terhubung ke jaringan listrik maupun yang tidak, dengan menghitung keseimbangan energi selama satu tahun untuk setiap konfigurasi yang dipertimbangkan. Selanjutnya, Homer Pro menentukan konfigurasi yang optimal dengan menilai apakah sistem tersebut mampu memenuhi kebutuhan listrik sesuai kondisi yang ditetapkan serta memperkirakan biaya instalasi dan operasional selama masa proyek, mencakup perhitungan biaya modal, penggantian, operasi, dan pemeliharaan.

2.2.16 VISIO

Visio adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Microsoft Corporation untuk membuat berbagai jenis diagram, seperti bagan organisasi, denah lokasi, dan diagram jaringan. Aplikasi ini memanfaatkan grafik vektor dalam pembuatan berbagai skema dan diagram. Bagian dan fungsi visio dapat dikategorikan sebagai berikut:

a) *Data Linking*

Fitur ini berguna untuk menghubungkan data dengan visualisasi, seperti struktur organisasi, jaringan IT, atau tata letak, guna meningkatkan kinerja. Visio menggunakan elemen grafis seperti ikon, warna, dan teks untuk menyederhanakan dan meningkatkan visualisasi informasi yang kompleks.

b) *Modeling*

Visio dapat dimanfaatkan oleh system analyst untuk menggambarkan proses bisnis. Aplikasi ini menyediakan berbagai kategori diagram berdasarkan kegunaannya, seperti flowchart, ERD (*Entity Relationship Diagram*), dan DFD (*Data Flow Diagram*).

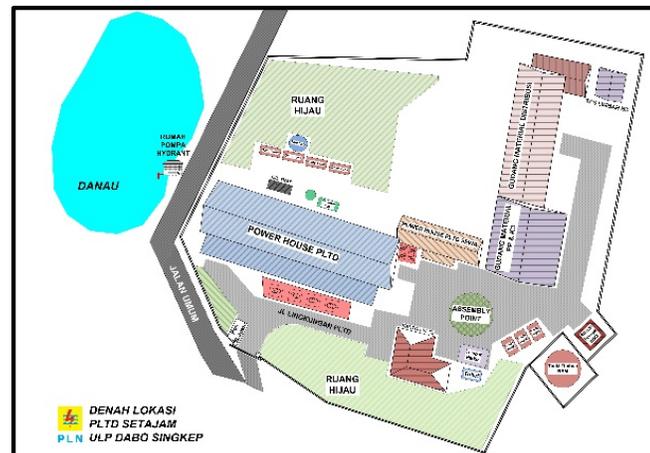


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode penelitian

3.2.1 Objek Penelitian

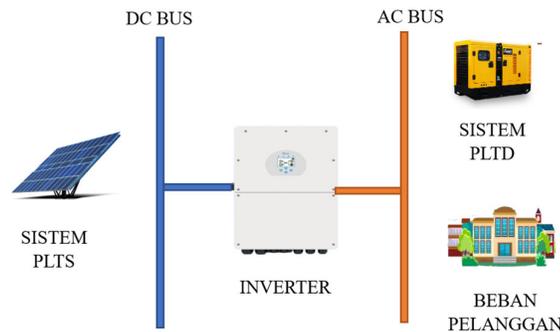
Penelitian dilakukan dengan mengambil lokasi di area PLTD Setajam, yang berlokasi di Jl. Setajam, Desa Dabo Lama, Kecamatan Singkep, Kabupaten Lingga, 52871, dengan koordinat PLTD Setajam terletak di $-0.482470, 104.555806$. Gambar 3.1 menunjukkan PLTD Setajam.



Gambar 3.1 Lokasi PLTD Setajam

3.2.2 Model Perencanaan PLTS

Dalam laporan penelitian ini, desain PLTS diatur untuk mengoptimalkan manajemen energi. Sistem PLTS *On-grid* akan terhubung dengan sistem PLTD sehingga menjadi satu kesatuan sistem, sistem PLTS akan memainkan peran penting dalam jaringan listrik.



Gambar 3. 2 Model Perencanaan PLTS *On-grid* PLTD Setajam

3.2.3 Komponen

Komponen utama dalam penelitian ini berupa modul panel surya ber tipe monocrystalline dengan spesifikasi 325 Wp. Modul jenis ini dikenal memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan modul polycrystalline. Meskipun harganya cenderung lebih mahal, namun memiliki nilai efisiensi listrik yang lebih tinggi, sehingga penggunaan lahan dan biaya instalasi dapat ditekan.

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam tugas akhir ini disusun untuk merencanakan suatu sistem PLTS *On-grid* yang handal dan efisien, melalui langkah-langkah yang akan dijalankan secara rinci dalam proses penelitian. Dalam studi ini, digunakan pendekatan metode perancangan sebagai dasar pelaksanaannya.

3.2.1 Pengambilan Data

Penelitian ini membutuhkan dua jenis data, yaitu data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan langsung dari lokasi penelitian di lingkungan PLTD Setajam, sedangkan data sekunder diperoleh dari berbagai platform yang mendukung penelitian ini.

Data primer yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu luas lahan yang tersedia di lingkungan PLTD Setajam yang akan dimanfaatkan untuk pemasangan sistem PLTS dan data rata-rata beban pelanggan PLTD Setajam selama 1 Januari 2024 s.d. 31 Desember 2024.

Data sekunder yang digunakan mencakup informasi iradiasi matahari harian dan bulanan, serta data koordinat lokasi pembangunan PLTS. Data iradiasi

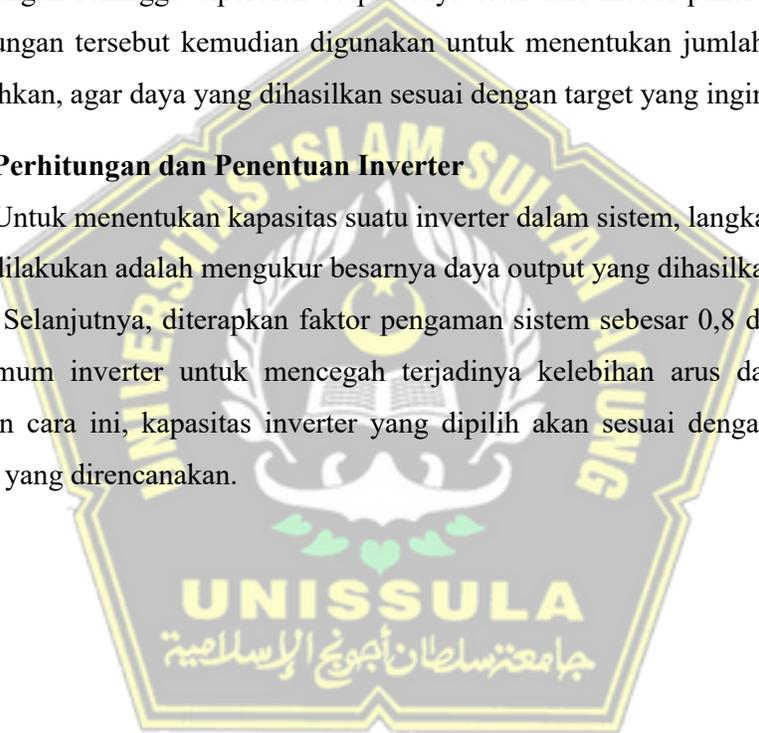
diperoleh melalui perangkat lunak RETScreen Expert, yang menyediakan basis data kondisi cuaca global dari satelit NASA, sedangkan data koordinat PLTS diambil dari Google Earth.

3.2.2 Perhitungan Kapasitas dan Jumlah Modul Panel Surya

Perhitungan kapasitas modul panel surya dilakukan dengan menggunakan data konsumsi energi dan perhitungan luas permukaan area. Selanjutnya, untuk mengetahui total daya yang dapat dihasilkan dari seluruh area, dilakukan perhitungan sehingga diperoleh output daya total dari modul panel surya. Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan untuk menentukan jumlah panel yang dibutuhkan, agar daya yang dihasilkan sesuai dengan target yang ingin dicapai.

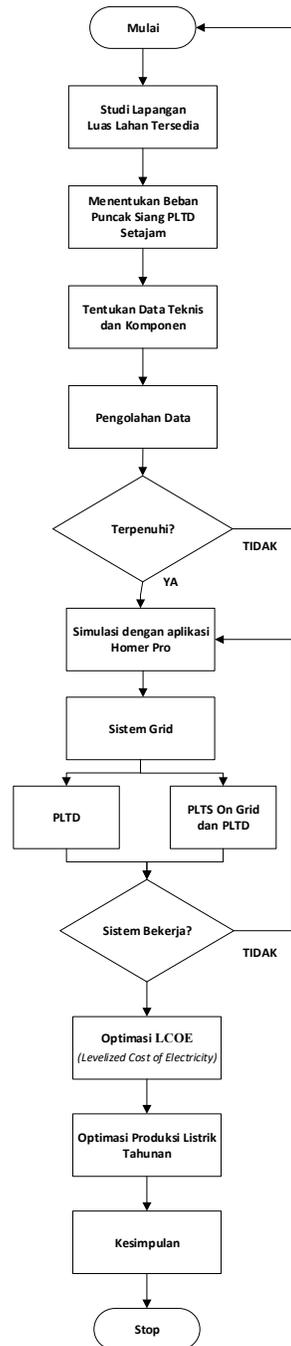
3.2.3 Perhitungan dan Penentuan Inverter

Untuk menentukan kapasitas suatu inverter dalam sistem, langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengukur besarnya daya output yang dihasilkan oleh panel surya. Selanjutnya, diterapkan faktor pengaman sistem sebesar 0,8 dari kapasitas maksimum inverter untuk mencegah terjadinya kelebihan arus dan tegangan. Dengan cara ini, kapasitas inverter yang dipilih akan sesuai dengan kebutuhan sistem yang direncanakan.



3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan melalui beberapa tahap yang dapat dilihat melalui bagan alir berikut.



Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Penelitian

Kajian ini membahas perancangan PLTS yang didukung oleh persamaan matematis mulai dari perhitungan hingga pembangkitan listrik. Pada penelitian ini dimulai dengan melakukan studi lapangan luas lahan yang tersedia di area PLTD Setajam, dilanjutkan dengan menentukan besar beban puncak siang pada sistem PLTD Setajam, kemudian menentukan data teknis dan komponen, ketika seluruh data sudah didapat langkah selanjutnya melakukan pengolahan data, jika data sesuai dengan ketentuan maka penelitian dilanjutkan dengan melakukan simulasi menggunakan *software* Homer Pro. Melakukan simulasi menggunakan Homer Pro dengan memilih sistem *grid* yang terdiri dari sistem PLTD dan sistem PLTS, jika semua parameter tersebut bekerja dilanjutkan dengan melakukan analisa optimasi LCOE dan optimasi produksi listrik tahunan, kemudian menentukan kesimpulan dari penelitian.

3.3.2 Analisis Tapak

Analisis tapak merupakan evaluasi komprehensif terhadap suatu lokasi guna mengidentifikasi potensi serta kendala yang mungkin memengaruhi pengembangan suatu proyek. Dalam penelitian ini, fokus analisis tapak meliputi kajian terhadap kondisi iklim, lintasan matahari dan penentuan lokasi.

3.3.3 Radiasi

Data radiasi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data sekunder yang diperoleh melalui satelit NASA. Data yang dikumpulkan bersifat harian, sehingga dalam satu tahun tersedia 365 nilai radiasi (W/m^2) dari data satelit tersebut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan selama bulan Januari 2024-Desember 2024 didapatkan hasil data potensi PLTS *On-grid*, data yang akan dibahas yaitu luas lahan kosong, iradiasi matahari, desain perencanaan, dan hasil simulasi *software* Homer Pro. Berikut adalah penjelasan secara rinci mengenai hasil dari penelitian ini.

4.1 Data Luas Lahan Kosong

Data luas lahan kosong di lingkungan PLTD Setajam diukur menggunakan *software* Google Earth yang berfungsi untuk penempatan panel surya dengan posisi diatas tanah.



Gambar 4. 1 Foto Satelit PLTD Setajam dan Area Rencana Pemasangan PLTS

Pemanfaatan lahan kosong untuk PLTS di wilayah PLTD Setajam dengan panjang 200 m dan lebar 100 m, menghasilkan luas lahan sebesar 20000 m² akan dibagi menjadi beberapa area, dimana 60%-80% akan dimanfaatkan sebagai area panel surya, 10%-20% persen akan dimanfaatkan sebagai ruang inverter, trafo dan keperluan operasional PLTS.

4.2 Iradiasi Matahari

Iradiasi matahari merupakan komponen kunci dalam pembangkitan listrik tenaga surya, sehingga pengumpulan data iradiasi sangat penting untuk menentukan potensi output daya dari modul panel surya yang dirancang. Tabel 4.1 menampilkan data iradiasi yang diperoleh melalui platform RETScreen Expert, yang bersumber dari satelit NASA.

Tabel 4. 1 Data Iradiasi Matahari di PLTD Setajam

NO	Bulan	Kecerahan Matahari	Iradiasi (kWh/m ² /d)	Suhu Bumi (C ^o)
1	Januari	0,436	4,410	26,74
2	Februari	0,51	5,310	26,90
3	Maret	0,501	5,270	27,44
4	April	0,472	4,800	28,10
5	Mei	0,474	4,550	28,49
6	Juni	0,506	4,680	28,35
7	Juli	0,484	4,550	27,87
8	Agustus	0,488	4,830	27,82
9	September	0,467	4,830	27,81
10	Oktober	0,425	4,410	27,78
11	November	0,394	3,990	27,55
12	Desember	0,401	4,000	27,09
	Rata-rata	0,463	4,636	27,66

Pada tabel 4.1 menunjukkan perubahan suhu disetiap bulanya. Oleh karena itu diketahui intensitas radiasi matahari di PLTD Setajam, Kabupaten Lingga memiliki rata-rata 4,636 kWh/m²/d, data ini merupakan data bulan Januari-Desember 2024.

4.3 Besarnya Beban Sistem PLTD Setajam

Rancangan mengenai PLTS *On-grid* membutuhkan referensi data penggunaan energi listrik. Berikut data penggunaan energi pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data Beban Sistem Dabo Singkep Selama Tahun 2024

Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Rata Rata	
Rata Rata Pemakaian (kW)	01:00	3970	4033	4230	4335	4130	3879	3837	3891	3979	3650	3721	4125	3981,667
	02:00	3837	3978	4175	4218	3950	3846	3751	3793	3885	3650	3717	4132	3911
	03:00	3801	3974	4068	4139	3870	3773	3656	3732	3839	3478	3569	3997	3824,667
	04:00	3986	4020	3990	4036	3824	3745	3647	3687	3812	3475	3557	3944	3810,25
	05:00	3933	4173	4147	4107	3791	3937	3773	3628	3913	3470	3540	4187	3883,25
	06:00	3629	4182	4182	4031	3893	3784	3846	3824	3961	3591	3648	4333	3908,667
	07:00	3704	3608	3731	3688	3818	3549	3534	3555	3584	3648	3673	3774	3655,5
	08:00	3704	3654	3715	3729	3586	3489	3593	3379	3649	3517	3545	3701	3605,083
	09:00	3793	3773	3976	3805	3465	3655	3662	3581	3777	3560	3617	4147	3734,25
	10:00	3695	3750	4001	3788	3495	3635	3555	3671	3801	3731	3854	4214	3765,833
	11:00	3385	3779	4018	3748	3437	3642	3260	3552	3544	3813	3955	4288	3701,75
	12:00	3785	3937	3947	3882	3511	3621	3244	3621	3727	3669	3910,5	4012	3738,875
	13:00	3767	3880	3927	3682	3655	3652	3279	3612	3711	3705	3921	4172	3746,917
	14:00	3860	4016	4010	3711	3491	3714	3271	3710	3755	3764	4006	4309	3801,417
	15:00	3889	4038	4048	3737	3541	3675	3375	3742	3728	3878	4054	4359	3838,667
	16:00	3888	3970	4001	3714	3554	3662	3459	3703	3672	3780	3886	4288	3798,083
	17:00	3810	3934	4029	3703	3531	3643	3685	3706	3855	3852	3937	4355	3836,667
	18:00	4704	4431	4675	4414	4607	4863	4358	4634	4309	4532	4507	4936	4580,833
	19:00	5339	5330	5415	5268	5083	5071	4155	5192	4741	5339	5632	5562	5177,25
	20:00	5035	5146	5266	5046	4865	4914	4546	4949	4528	5147	5138	5486	5005,5
	21:00	5016	5030	5109	4887	4613	4764	4419	4905	4383	4979	4961	5331	4866,417
	22:00	4765	4828	4927	4596	4477	4569	4276	4650	4199	4775	4736	5258	4671,333
	23:00	4343	4649	4602	4340	4162	4177	4155	4215	4255	4501	4551	4864	4401,167
	00:00	4219	4480	4491	4118	3865	3967	4025	4155	3764	4236	4105	4864	4190,75
JUMLAH	97857	100593	102680	98722	94214	95226	90361	95087	94371	95740	97740,5	106638	96599,23	

Beban puncak siang pada Sistem Dabo Singkep terjadi pada pukul 12.00, dengan rata rata besarnya beban puncak siang pada sebesar 3738,875 kWh. Beban puncak malam pada Sistem Dabo Singkep terjadi pada pukul 19.00, dengan rata rata besarnya beban puncak malam sebesar 5177,25 kWh. Untuk memaksimalkan sistem PLTS *On-grid* agar bekerja secara efisien maka mengacu pada beban puncak siang hari dikarenakan sistem PLTS tidak memiliki baterai sebagai sumber cadangan daya, sehingga kapasitas sistem PLTS *On-grid* harus dibawah nilai beban puncak siang. Sistem PLTS *On-grid* yang direncanakan harus mampu *mensupplay* kelistrikan pada beban puncak sebesar 60%-90%.

4.4 Spesifikasi Komponen Utama

Spesifikasi komponen utama dalam penelitian ini ditentukan dengan menetapkan jenis dan jumlah komponen yang akan digunakan. Dalam perancangan PLTS *On-grid*, komponen inti yang dipilih meliputi panel surya dan inverter. Pemilihan tersebut disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia, profil beban energi

listrik, spesifikasi teknis, dan biaya investasi awal yang tersedia. Analisis harga komponen dilakukan berdasarkan harga komponen asli, sehingga spesifikasi utama dari sistem PLTS yang dirancang dapat ditetapkan secara akurat.

4.4.1 Panel Surya



Gambar 4. 2 Canadiansolar 325MS

Spesifikasi modul panel surya yang digunakan berjenis monocrystalline dengan daya maksimum 325 Wp. Modul panel surya berjenis monocrystalline memiliki efisiensi lebih tinggi dari pada modul paenl surya berjenis polycrystalline. Modul panel surya yang akan digunakan pada penelitian ini Canadiansolar CS3K-325.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Canadiansolar 325MS

JENIS	KETERANGAN
Merek dan Model	Canadiansolar 325MS
Cell Type	Mono-Crystalline
Nominal Daya Modul (Pstc)	325 WP
Nominal Tegangan Modul (Voc)	33.5 V
Arus Hubung Singkat Modul (Isc)	10.22 A
Optimum Operating Voltage (Vmax)	40.3 V
Optimum Operating Current (Imax)	9.71 A
Power Tolerance	0 ~ + 10 W
Efisiensi Modul	19.6%
Operating Temperature	42 ± 3°C
Dimensi	1675 X 992 X 35 mm
Weight	18.5 kg
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)

Temperature Coefficients of Pmax	-40°C ~ +85°C
Lifetime	25 Tahun

4.4.2 Inverter

Inverter yang diterapkan dalam desain sistem PLTS ini adalah Sinexcel PWS1-500KTL-EX. Inverter ini dipilih dikarenakan menawarkan keandalan operasional yang tinggi serta dilengkapi dengan fitur perlindungan terhadap lonjakan tegangan, arus pendek, suhu berlebih, dan gangguan lainnya. Spesifikasi inverter tersebut:



Gambar 4. 3 Sinexcel PWS1-500KTL-EX

Tabel 4. 4 Sinexcel PWS1-500KTL-EX

JENIS	KETERANGAN
SERI	
Merk dan Model	Sinexcel PWS1-500KTL-EX
Rated Power	500 KW
INPUT	
Selectabel Volatge Range	600~900V
DC max current	873A
OUTPUT	
AC voltage	380V
AC current	760A
AC frequency	50/60Hz(±2.5Hz)
THDi	≤3%
AC PF	Listed: 0.8~1 leading or lagging (Controllable) Actual: 0.1~1 leading or lagging (Controllable)
Overload Capability	105%~115% 10min; 115%~125% 1min; 125%~150% 200ms
Cooling	Forced air cooling
Invetert Peak efficiency	98,20%
Protection	OTP, AC OVP/UVF, OFP/UFP, EPO, AC Phase Reverse, Fan/Relay Failure, OLP, GFDI, Anti-islanding
Configurable protection limits	Upper/Lower AC Voltage/Frequency limit, Battery EOD voltage.

4.4.3 Kebutuhan Panel Surya

Luas area modul panel surya dirancang berdasarkan luas area kosong di PLTD Setajam. Dari hasil pengukuran ini, akan dirancang area yang akan dimanfaatkan untuk pemasangan panel surya sehingga menghasilkan luas total pemasangan modul.

- a) untuk menentukan jumlah panel surya maksimum yang dapat digunakan di lingkungan PLTD Setajam, maka dilakukan penghitungan dengan persamaan (2.1).

$$\begin{aligned} \text{Maximum Number solar panel} &= \frac{\text{Area x Maximum Instalation}}{\text{Solar Panel Area}} \\ \text{Maximum Number solar panel} &= \frac{100 \times 200 \times 80\%}{1,675 \times 0,992} \\ \text{Maximum Number solar panel} &= \frac{16000}{1,6616} \end{aligned}$$

Maximum Number solar panel = 9629,27
 Maximum Number solar panel = 9629 Unit

- b) untuk menentukan jumlah panel surya Minimum yang dapat digunakan di lingkungan PLTD Setajam, maka dilakukan penghitungan dengan persamaan (2.2).

$$\begin{aligned} \text{Minimum Number solar panel} &= \frac{\text{Area x Minimum Instalation}}{\text{Solar Panel Area}} \\ \text{Minimum Number solar panel} &= \frac{100 \times 200 \times 60\%}{1,675 \times 0,992} \\ \text{Minimum Number solar panel} &= \frac{12000}{1,6616} \\ \text{Minimum Number solar panel} &= 7221,95 \\ \text{Minimum Number solar panel} &= 7222 \text{ Unit} \end{aligned}$$

4.4.4 Rancangan Teknis Modul Panel Surya

Rancangan teknis untuk modul panel surya pada penelitian ini berdasarkan luas area penerapan modul yang ada di Lingkungan PLTD Setajam. Energi yang dihasilkan dihitung dengan mempertimbangkan berbagai kerugian sistem, kemudian ditentukan faktor koreksi temperatur untuk modul panel surya yang diterapkan sesuai dengan lokasi yang telah ditetapkan. Faktor koreksi ini mempengaruhi daya maksimum modul, dimana setiap kenaikan suhu setempat akan mengurangi output daya. Misalnya, pada modul, peningkatan suhu sekitar 1 °C dari suhu rata-rata 26,5 °C di lokasi PLTD Setajam mengakibatkan penurunan output sebesar 0,5%. Kenaikan suhu ini didasarkan pada suhu rata-rata lingkungan PLTD Setajam, yang diperoleh dari platform RETScreen Expert sebesar 4,3 °C, sehingga daya yang dihasilkan pada setiap kenaikan suhu adalah:

$$\begin{aligned} P \text{ saat } \Delta t &= 0,5\% \times P_{Mpp} \times \text{Kenaikan suhu} \\ P \text{ saat } \Delta t &= 0,5\% \times 4,3 \times 325 \\ P \text{ saat } \Delta t &= 0,0215 \times 325 \\ P \text{ saat } \Delta t &= 6,9875 \text{ W} \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa penurunan daya output terhadap kenaikan suhu sebesar 6,9875 Watt, jadi keluaran maksimum modul yang akan digunakan menggunakan modul dengan ukuran 325 Wp antara lain:

$$P_{\text{Max } t'} = 325 - 6,9875$$

$$P_{\text{Max } t'} = 318,0125 \text{ Wp}$$

Dari pengurangan daya yang terjadi akibat kenaikan suhu lokasi modul setempat, Jadi nilai koreksi temperatur antara lain:

$$FKT = \frac{P_{\text{max } t'}}{P_{\text{max}}}$$

$$FKT = \frac{318,0125}{325}$$

$$FKT = 0,9785$$

4.4.5 Pemasangan Panel Surya Seri

- a) Pemasangan Panel Surya Seri Maksimum dapat ditentukan dengan persamaan (2.3).

$$\text{Maximum Series Solar Panel Instalation} = \frac{\text{Maximum Inverter Voltage}}{V_{\text{mpp Modul}}}$$

$$\text{Maximum Series Solar Panel Instalation} = \frac{900\text{V}}{33,5\text{V}}$$

$$\text{Maximum Series Solar Panel Instalation} = 26,86 \text{ Unit}$$

$$\text{Maximum Series Solar Panel Instalation} = 26 \text{ Unit}$$

- b) Pemasangan Panel Surya Seri Minimum dapat ditentukan dengan persamaan (2.4).

$$\text{Minimum Series Solar Panel Instalation} = \frac{\text{Minimum Inverter Voltage}}{V_{\text{mpp Modul}}}$$

$$\text{Minimum Series Solar Panel Instalation} = \frac{600\text{V}}{33,5\text{V}}$$

$$\text{Minimum Series Solar Panel Instalation} = 17,91 \text{ Unit}$$

$$\text{Minimum Series Solar Panel Instalation} = 18 \text{ Unit}$$

Sehingga didapat jumlah panel surya yang dirangkai seri untuk memaksimalkan kinerja Inverter dan mempermudah proses instalasi sebanyak 25 Unit.

4.4.6 Pemasangan Panel Surya Pararel

- a) Menentukan kapasitas pemasangan panel secara pararel maksimum dengan nilai toleransi 80% dari kemampuan maksimum dapat ditentukan dengan persamaan (2.5).

$$\text{Maximum Parallel Solar Panel} = \frac{\text{Inverter capacity} \times \text{Maximum Tolerancy}}{\text{Vmpp Modul} \times \text{Seri Modul Instalation}}$$

$$\text{Maximum Parallel Solar Panel} = \frac{500000 \times 80\%}{318,0125 \times 25}$$

$$\text{Maximum Parallel Solar Panel} = \frac{400000}{7950,3125}$$

$$\text{Maximum Parallel Solar Panel} = 50,31$$

$$\text{Maximum Parallel Solar Panel} = 50$$

Sehingga didapat jumlah panel surya maksimum yang dapat dirangkai seri sebanyak 50 Unit.

- b) Menentukan kapasitas pemasangan panel secara paralel minimum dengan nilai toleransi 60% dari kemampuan maksimum dapat ditentukan dengan persamaan (2.6).

$$\text{Minimum Parallel Solar Panel} = \frac{\text{Inverter capacity} \times \text{minimum tolerancy}}{\text{Vmpp Modul} \times \text{seri modul instalation}}$$

$$\text{Minimum Parallel Solar Panel} = \frac{500000 \times 60\%}{318,0125 \times 25}$$

$$\text{Minimum Parallel Solar Panel} = \frac{300000}{7950,3125}$$

$$\text{Minimum Parallel Solar Panel} = 37,73$$

$$\text{Minimum Parallel Solar Panel} = 38$$

Sehingga didapat jumlah panel surya minimum yang dapat dirangkai seri sebanyak 38 Unit.

Sehingga didapat jumlah panel surya yang dibutuhkan untuk memaksimalkan kinerja Inverter dan mempermudah proses instalasi sebanyak 50 unit rangkaian seri.

4.4.7 Menentukan Kebutuhan Sub Sistem PLTS

Kebutuhan sub sistem PLTS berdasarkan jumlah inverter yang digunakan dapat ditentukan dengan persamaan (2.7) dan persamaan (2.8).

- a) Menentukan kebutuhan sub sistem PLTS maksimum:

$$\text{Maximum Sub System} = \frac{\text{maximum Parallel solar panel}}{\text{capacity inverter solar panel}}$$

$$\text{Maximum Sub System} = \frac{9629}{1250}$$

$$\text{Maximum Sub System} = 7,7$$

$$\text{Maximum Sub System} = 7$$

Sehingga didapat maksimum sub sistem PLTS sebanyak 7 buah sub sistem panel surya.

b) Menentukan kebutuhan sub sistem PLTS minimum:

$$\begin{aligned} \text{Minimum Sub System} &= \frac{\text{Maximum Parallel solar panel}}{\text{capacity inverter solar panel}} \\ \text{Minimum Sub System} &= \frac{7222}{1250} \\ \text{Minimum Sub System} &= 5,77 \\ \text{Minimum Sub System} &= 6 \end{aligned}$$

Sehingga didapat minimum sub sistem PLTS sebanyak 6 buah sub sistem panel surya.

Untuk memaksimalkan sistem yang ada dibutuhkan 7 sub sistem PLTS.

4.4.8 Menghitung Daya Terpasang dan Daya Mampu PLTS

Daya terpasang dan daya mampu merupakan kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS dalam menghasilkan listrik menggunakan energi matahari, dimana untuk daya terpasang berdasarkan spesifikasi produk, sedangkan daya mampu berdasarkan kemampuan asli suatu sistem yang ada.

a) Menghitung Daya Terpasang PLTS

Daya terpasang adalah kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS berdasarkan jumlah dan spesifikasi panel surya yang dipasang dapat ditentukan dengan persamaan (2.9).

$$\begin{aligned} \text{Daya Terpasang} &= P_m \times \text{Array} \times \text{Sub System} \\ \text{Daya Terpasang} &= 0,325 \times 1250 \times 7 \\ \text{Daya Terpasang} &= 2.843,75 \text{ KWP} \end{aligned}$$

b) Menghitung Daya Mampu PLTS

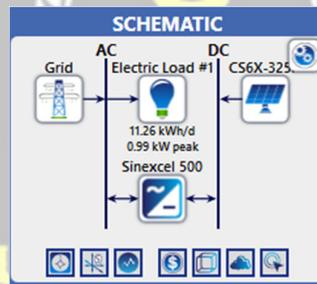
Daya mampu adalah kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS berdasarkan kondisi asli di lapangan, untuk menentukan daya mampu dapat ditentukan dengan persamaan (2.10).

$$\begin{aligned} \text{Daya Mampu} &= \text{Daya Mampu} \times \text{FKT} \times \text{Invetert Peak Efficiency} \\ \text{Daya Mampu} &= 2.843,75 \times 0,9785 \times 98,20\% \\ \text{Daya Mampu} &= 2732,52240 \text{ KWP} \end{aligned}$$

konfigurasi sistem optimal yang memungkinkan PLTS *On-grid* beroperasi secara efisien dan dengan biaya yang terjangkau, berdasarkan konfigurasi alat yang dihasilkan dari proses simulasi. Proses ini melibatkan masukan-masukan seperti biaya investasi, parameter ekonomi (data *inflasi*, *discount rate*, *replacement cost*), serta biaya operasional dan pemeliharaan. Hasil simulasi berupa rangkaian konfigurasi sistem yang diurut berdasarkan biaya terendah, sehingga dapat diidentifikasi kombinasi sistem yang memberikan manfaat berkelanjutan.

4.6.1 Skema Konfigurasi Sistem

Pada simulasi pertama di Homer Pro, beban dan sumber energi untuk skema PLTS dimasukkan ke halaman utama aplikasi berdasarkan komponen yang tersedia. Setiap komponen tersebut diberi input berupa biaya investasi awal yang telah diketahui, ditambah dengan biaya penggantian (*replacement cost*) yang menurut referensi sebesar 80% dari biaya investasi awal, serta biaya operasi dan pemeliharaan yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 4. 5 Skema Konfigurasi PLTS *On-grid* melalui Homer Pro

4.6.2 Mengatur Pembebanan Sistem



Gambar 4. 6 Beban Sistem PLN ULP Dabo Singkep

Memasukan beban sistem sesuai dengan beban pelanggan yang ada di Dabo Singkep, yang mencakup pelanggan rumah tangga, pelanggan pemerintahan, pelanggan bisnis, dan pelanggan industri sesuai dengan tabel 4.3.

4.6.3 Menentukan Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi yang memengaruhi biaya proyek selama pelaksanaan PLTS di Kawasan PLTD Setajam mencakup berbagai parameter yang diinput melalui jendela ekonomi pada aplikasi Homer Pro. Di antaranya terdapat *nominal discount rate*, yang mencerminkan beban pembayaran tambahan akibat pendanaan proyek dari sumber dalam maupun luar negeri; *expected inflation rate*, yaitu target inflasi yang berdampak pada kenaikan harga barang dan jasa secara berkelanjutan dalam periode tertentu; *project life time*, yang menunjukkan durasi proyek berlangsung; *system fixed capital cost*, yang mewakili biaya investasi awal; serta *system fixed O&M cost*, yaitu biaya operasi dan pemeliharaan tahunan selama proyek berlangsung.

ECONOMICS 

Nominal discount rate (%): 

Expected inflation rate (%): 

Project lifetime (years): 

System fixed capital cost (Rp): 

System fixed O&M cost (Rp/yr): 

Capacity shortage penalty (Rp/kWh): 

Currency:

Gambar 4. 7 Penghitungan Aspek Ekonomi Pada Sistem PLTS Melalui Aplikasi Homer Pro

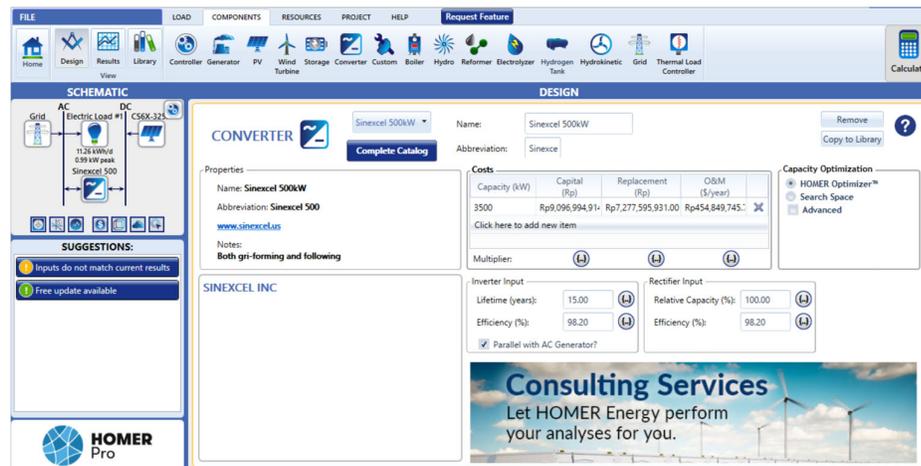
Pada Gambar 4.7 tampak bahwa setiap kolom telah diisi dengan masukan yang diperlukan. Nilai nominal *discount rate* dan *expected inflation rate* diperoleh dari halaman resmi World Bank, masing-masing sebesar 2,70% dan 1,60%. Kemudian nilai masukan untuk proyek yang direncanakan selama 25 tahun.

4.6.4 Menentukan Kebutuhan Inverter dan Panel Surya

Tabel 4. 5 Kebutuhan Panel Surya dan Inverter

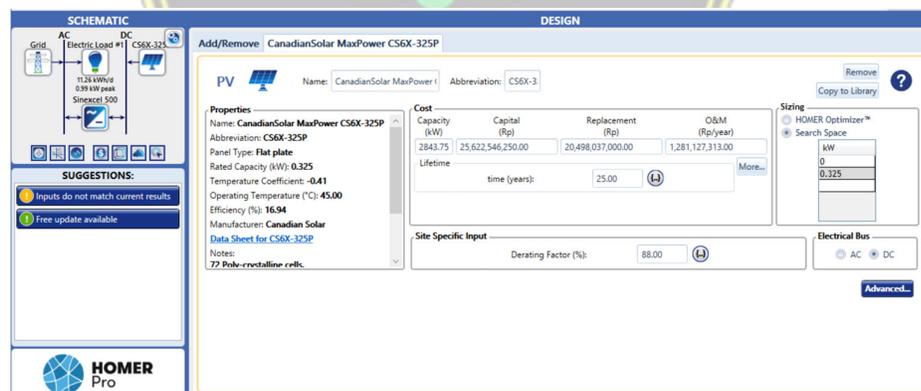
KOMPONEN				
No	Komponen	Harga/Pcs	Kuantitas	Total
1	CanadianSolar MaxPower CS6X-325P	2928291	8750	Rp. 25.622.546.250
2	Sinexcel PWS1 500KTL -EX-08M 500kW	1.299.570.702	7	Rp. 9.096.994.914

Pada tampilan parameter inverter di Homer Pro, terlihat input biaya dan parameter inverter yang mencakup kapasitas total sebesar 3500 kW, dengan total nilai investasi awal sebesar Rp 9.096.994.914, biaya penggantian sebesar Rp 7.277.595.931, biaya operasi dan pemeliharaan sebesar Rp 454.849.745 per tahun. Selain itu, parameter inverter juga menetapkan umur inverter selama 15 tahun dengan efisiensi mencapai 98,2%.



Gambar 4. 8 Parameter invereter pada aplikasi Homer Pro

Parameter masukan untuk modul panel surya mencakup jenis panel surya yang digunakan, nilai kapasitas modul panel surya, besaran biaya modal, besar biaya penggantian, besar biaya operasi, biaya pemeliharaan dan durasi umur proyek. Parameter input untuk modul panel surya yang meliputi kapasitas sebesar 2843,75 kWp, investasi awal senilai Rp 25.622.546.250, biaya penggantian sebesar Rp 20.498.037.000, serta biaya operasi dan pemeliharaan sebesar Rp 1.281.127.313 per tahun, dengan umur modul panel surya selama 25 tahun. *Derating factor* diatur menggunakan nilai *default*.



Gambar 4. 9 Parameter Modul Panel Surya pada Aplikasi Homer Pro

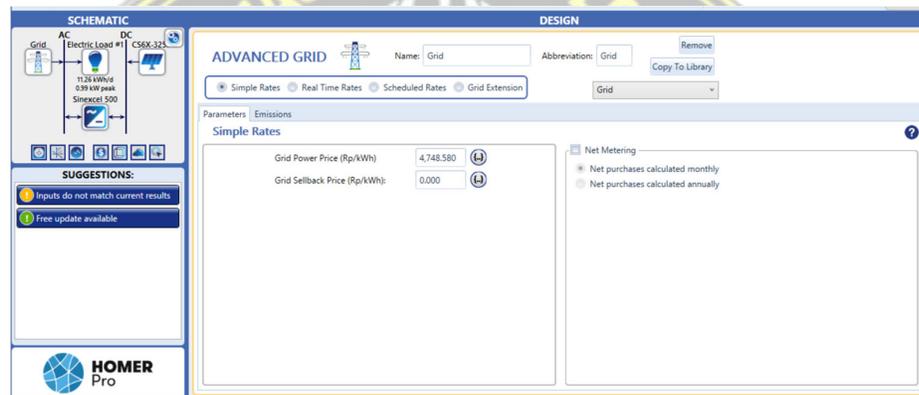
4.6.5 Sistem Grid

Pada parameter jaringan listrik *On-grid* terdapat input untuk harga produksi listrik per 1 kWh. Pada sistem PLTD Setajam, terdapat berbagai mesin pembangkit dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Daftar Mesin PLTD Setajam

NO	Mesin PLTD	Daya Mampu (KW)
1	MAK	650
2	CAT 01	850
3	CAT 02	850
4	CAT 03	850
5	CAT 04	850
6	KOM SEWA 02	530
7	KOM SEWA 04	450
8	KOM SEWA 05	530
9	CAT SEWA 03	300
Total Daya Mampu		5860

Harga produksi listrik ditetapkan sebesar 30 Sen, dengan nilai kurs rupiah yang ditetapkan saat penelitian ini dibuat yaitu Rp15.828,6 per USD, sehingga biaya produksi listrik sistem dabu singkep mencapai Rp4748,58 per kWh[22]. Masukan parameter ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.

**Gambar 4. 10** Parameter Jaringan Listrik PLN (Grid PLTD) pada Homer Pro

4.6.6 Optimasi LCOE (*Levelized Cost of Electricity*)

Dari hasil optimasi yang dilakukan pada aplikasi *Homer Pro* terdapat beberapa konfigurasi sistem komponen yang berurut sesuai dengan konfigurasi sistem terbaik dan juga biaya yang paling terjangkau. Hasil optimasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.11.

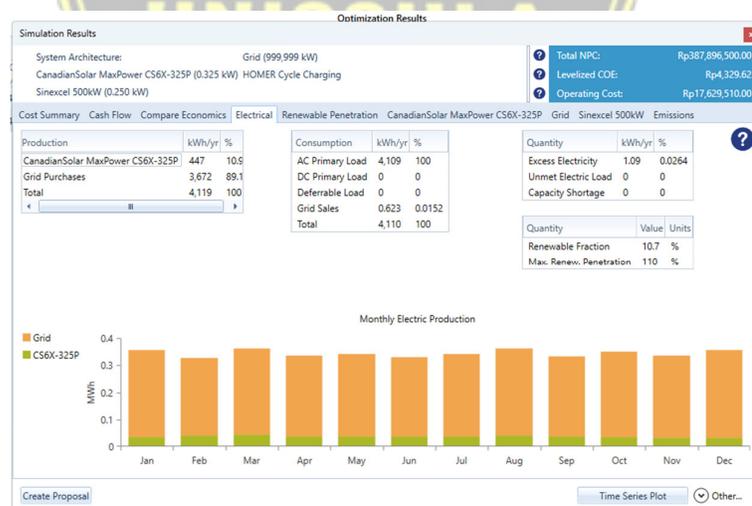
The screenshot shows the 'RESULTS' window in HOMER Pro. It displays a table of optimization results for a system configuration. The table includes columns for Architecture, Cost, System, and Project Economics. The system configuration is Grid (999,999 kW) and CanadianSolar MaxPower CS6X-325P (0,325 kW). The results show a Levelized Cost of Electricity (LCOE) of Rp4,330/kWh and an Operating Cost of Rp17,6M/yr.

Architecture	Cost	System	Project Economics
Grid (kW)	LCOE (Rp/kWh)	Rem Fra (%)	Simple Payback (yr)
999,999	Rp4,330	10,7	1,9
Sinexcel 500 (kW)	Operating cost (Rp/yr)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX
0,250	Rp17,6M	0	2,928,291
Dispatch	CAPEX (Rp)	IRR (%)	Energy Proc (kWh)
CC	Rp388M	53	447
NPC (Rp)	Rp4,749		
Rp387,896,500.00	Rp19,5M		

Gambar 4. 11 Konfigurasi Sistem PLTS *On-grid* dan PLTD pada Homer Pro

Konfigurasi sistem PLTD Setajam yang terhubung dengan sistem PLTS *On-grid* mendapatkan nilai efisiensi yang terbaik, sesuai dengan skema yang telah dibuat. Nilai LCOE (*Levelized Cost of Electricity*) untuk kombinasi kedua sistem tersebut sebesar Rp 4330,00/kWh, sedangkan jika hanya menggunakan sistem PLTD biaya LCOE sebesar Rp 4749,00/kWh, sehingga terdapat penghematan sebesar Rp 419/kWh. Nilai *operating cost* untuk kombinasi kedua sistem tersebut sebesar Rp 17.600.000.000/Tahun, sedangkan jika hanya menggunakan sistem PLTD biaya *Operating cost* sebesar Rp 19.500.000.000/Tahun, sehingga terdapat penghematan sebesar Rp 1.900.000.000/Tahun.

4.6.7 Optimasi Produksi Listrik Tahunan



Gambar 4. 12 Hasil Optimasi Konfigurasi Sistem PLTS pada Homer Pro

Pada gambar 4.12 terlihat hasil optimasi produksi listrik tahunan yang pertama

mengintegrasikan sistem PLTS dan PLTD. Berdasarkan konfigurasi tersebut, sistem PLTS menghasilkan rata-rata listrik per jam sebesar 447 kWh dengan total produksi tahunan sebesar 3.915.720 kWh, sedangkan sistem PLTD menghasilkan rata-rata listrik per jam sebesar 3.672 kWh dengan total produksi tahunan sebesar 32.166.720 kWh. Optimasi ini menghasilkan data konsumsi beban rata-rata per jam sebesar 4.119 kWh. Secara keseluruhan, sistem ini memproduksi total energi listrik sebesar 36.082.440 kWh per tahun, dengan kontribusi listrik dari sistem PLTD mencapai 89,1% dan sistem PLTS menyumbang 10,9% dari total produks.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

kesimpulan yang dapat diambil dari laporan tugas akhir tentang sistem PLTS *On-grid* antara lain:

1. Nilai kecerahan matahari di kawasan PLTD Setajam selama tahun 2024 sebesar 0,463, dimana nilai kecerahan maksimum terjadi pada Bulan Februari dengan nilai 0,51, sedangkan nilai kecerahan paling rendah terjadi pada Bulan November sebesar 0,394. Iradiasi pada Kawasan PLTD setajam selama tahun 2024 sebesar 4,636 (kWh/m²/d), dimana nilai iradiasi matahari maksimum terjadi pada Bulan Februari dengan nilai 5.310 (kWh/m²/d), sedangkan nilai kecerahan paling rendah terjadi pada Bulan November. Suhu bumi rata rata di kawasan PLTD Setajam tercatat sebesar 27,66 °C selama tahun 2024, dimana suhu maksimum terjadi pada Bulan Mei dengan suhu sebesar 28,49 °C, sedangkan suhu terendah tercatat pada bulan 26,74 °C terjadi pada Bulan Januari.
2. Rancangan teknis modul panel surya, dirancang berdasarkan ketersediaan lahan yang ada di PLTD Setajam seluas 20.000 m², dimana lahan tersebut akan dilakukan instalasi sebanyak 7 sub sistem PLTS. Pada masing masing sub sistem terdapat satu buah inverter dan terdapat 1250 panel, panel panel tersebut dirangkai secara seri dan paralel sehingga menghasilkan suatu sistem keseluruhan dengan daya spesifikasi daya terpasang PLTS sebesar 2843750 kWp, sedangkan kemampuan daya mampu sebesar 2732522,40 kWp.
3. Total biaya investasi untuk komponen utama pada sistem PLTS *On-grid* sebesar Rp. 34.719.541.164,00. Terdiri dari investasi panel surya sebesar Rp. 25.622.546.250,00 dan investasi inverter sebesar Rp. 9.096.994.914,00.
4. Dari hasil simulasi sistem melalui aplikasi Homer Pro didapat konfigurasi sistem terbaik yaitu kombinasi sistem PLTS dan PLTD,

dimana sistem PLTS mampu berkontribusi untuk mensuplai sistem sebesar 10,9% dengan total produksi listrik tahunan sebesar 3.915.720 kWh/tahun, sedangkan sistem PLTD mampu mensuplai sistem sebesar 89,1% dengan total produksi listrik tahunan sebesar 32.166.720 kWh/tahun.

5. Kombinasi kedua sistem PLTS dan PLTD mampu menekan biaya *operating cost* dimana untuk kombinasi sistem PLTS dan PLTD menghasikan biaya *operating cost* sebesar Rp 17.600.000.000 / Tahun sedangkan jika hanya menggunakan sistem PLTD biaya *operating cost* sebesar Rp 19.500.000.000 /Tahun. dimana terdapat penghematan biaya sebesar 1.900.000.000 /Tahun.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis terhadap sistem PLTS *On-grid* antara lain:

1. Data penelitian yang digunakan harus sesuai dengan kebijakan pengadaan dan belanja PT PLN (Persero), dimana untuk setiap pengadaan dan belanja dilakukan lelang terlebih dahulu.
2. Penghitungan biaya pokok produksi PLTD harus sesuai kondisi dilapangan.
3. Perancangan sistem PLTS harus memperhatikan dampak negatif terhadap masyarakat dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Santoso, “KEBIJAKAN ENERGI DI INDONESIA : MENUJU KEMANDIRIAN,” *J. Anal. Kebijak.*, vol. 1, no. 1, 2019, doi: 10.37145/jak.v1i1.21.
- [2] A. Prastika, “Hubungan Antara Tingkat Konsumsi Energi Listrik dengan Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia,” *J. Ilmu Ekon. JIE*, vol. 7, no. 01, pp. 18–29, 2023, doi: 10.22219/jie.v7i01.25042.
- [3] I. P. Dedi Wiriastika, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI TEMPAT OLAH SAMPAH SETEMPAT WERDI GUNA DESA GUNAKSA KABUPATEN KLUNGKUNG,” *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i01.p6.
- [4] C. O. P. Marpaung, U. Siahaan, and M. M. Sudarwani, “Perancangan Sistem Microgrid Untuk Mempercepat Akses Terhadap Energi Listrik (Energy Access) Pada Kawasan Wisata Setu Rawalumbu Kota Bekasi,” *J. Comunitas Serv. J. Terkait Kegiat. Pengabd. Kpd. Masyarakat, terkhusus Bid. Teknol. Kewirausahaan dan Sos. Kemasyarakatan*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.33541/cs.v2i1.1659.
- [5] L. Halim, “Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS On Grid dan Off Grid di Indonesia,” *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 5, no. 2, 2022, doi: 10.24853/resistor.5.2.131-136.
- [6] F. Likadja, W. F. Galla, and D. C. Kase, “ANALISIS PENYAMBUNGAN PLTS OELPUAH 5 MWP KE SISTEM SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV PT. PLN UNIT LAYANAN KUPANG,” *J. Media Elektro*, 2022, doi: 10.35508/jme.v0i0.6592.
- [7] M. Jed, N. Ihaddadene, M. El Hacem Jed, R. Ihaddadene, and M. El Bah, “Validation of the Accuracy of NASA Solar Irradiation Data for Four African Regions,” *Int. J. Sustain. Dev. Plan.*, vol. 17, no. 1, 2022, doi: 10.18280/ijstdp.170103.
- [8] M. E. H. Jed, P. O. Logerais, C. Malye, O. Riou, F. Delaleux, and M. El Bah, “Analysis of the performance of the photovoltaic power plant of Sourduin (France),” *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 14, no. 6, 2021, doi: 10.1080/19397038.2021.1971321.
- [9] R. A. Nugroho, B. Winardi, and S. Sudjadi, “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) HYBRID DI GEDUNG ICT UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYS 7.0,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i2.377-383.
- [10] W. Nugroho, A. Nugroho, and B. Winardi, “ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI GEDUNG FAKULTAS PSIKOLOGI UNIVERSITAS DIPONEGORO,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, 2020, doi: 10.14710/transient.v9i2.181-188.
- [11] F. Tirta, B. Winardi, and B. Setiyono, “ANALISIS POTENSI DAN

- UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI SMA NEGERI 4 SEMARANG,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 4, 2020, doi: 10.14710/transient.v9i4.490-496.
- [12] P. Pawenary, P. Khairunnisyah, and A. E. Pradana, “Analisa Studi Kelayakan Pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 3, 2022, doi: 10.22441/jte.2022.v13i3.006.
- [13] L. E. Nuryanto, “Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Pln Dan Plts) Kapasitas 800 Wp,” *Orbith*, vol. 17, no. 3, 2021.
- [14] Z. Tharo and H. Hamdani, “Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga,” *J. Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 3, no. 2, 2020.
- [15] H. Bayu and J. Windarta, “Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di Indonesia,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.10043.
- [16] A. Bhatia, “Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems,” no. Photovoltaic Systems, p. 125.
- [17] F. R. Rosnita Rauf, Ritnawati, H. A. Ahmad Thamrin Dahri, E. Richard A. M. Napitupulu, and P. S. Aminur, Dean Corio, *Matahari sebagai Energi Masa Depan Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*, 1st ed. padang: Abdul Karim, 2023.
- [18] G. Pahrudin, S. Fadillah, and N. F. Mutmainah, “Analisis Permintaan dan Penyediaan Energi Fosil dari berbagai Subsektor di Indonesia pada Masa Mendatang,” *J. Eng. Environmental Energy Sci.*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.31599/joes.v1i1.977.
- [19] N. Amelia Hutagalung, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, “ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP ON-GRID 463,25 kWp DI PERUSAHAAN FARMASI PADA KAWASAN PT JAKARTA INDUSTRIAL ESTATE PULOGADUNG, JAKARTA TIMUR,” *J. SPEKTRUM*, vol. 10, no. 2, 2023, doi: 10.24843/spektrum.2023.v10.i02.p9.
- [20] D. Y. Kusuma, “PELATIHAN OPERASIONAL DAN PEMELIHARAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) GRID-TIE UTILITY SCALE SEBAGAI UPAYA EDUKASI MASYARAKAT KALURAHAN SERUT, GEDANGSARI, GUNUNG KIDUL MENUJU DESA MANDIRI ENERGI,” *Dharmakarya*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.24198/dharmakarya.v12i1.36584.
- [21] Y. Apriani, D. Dipociala, Z. Saleh, and W. Oktaviani, “Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Sensor Tegangan Baterai Untuk PLTS,” *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n1.2420.
- [22] Rifky Syofiadi, “PLN Ajak Komunitas Global Kolaborasi Wujudkan Energi Bersih,” vol. 1, p. 1, 2023, [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2023/12/di-cop28-dubai-pln-ajak-komunitas-global-kolaborasi-wujudkan-energi-bersih/>