

TUGAS AKHIR

UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 1000 WP MENGGUNAKAN *SOFTWARE* HOMER DI DUSUN BINTANG ASIH

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

AQSAL ABIZAR RANGKUTI

17077220016



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Aqsal Abizar Rangkuti

NPM : 1707220016

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 1000 WP MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER DI DUSUN BINTANG ASIH

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, ..5 Juni..... 2023

Mengetahui dan Menyetujui

Pembimbing

(Rimbawati S.T, M.T)

Penguji I

(Noorly Evalina S.T, M.T)

Penguji II

(Indra Roza S.T, M.T)



Program Studi Teknik Elektro

(Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Aqsal Abizar Rangkuti
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 17 Januari 2000
NPM : 1707220016
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul:

“Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 WP Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang hakekatnya bukan merupakan karya tulia tugas akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi berat berupa pembatalan kelulusan kesarjanan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 5 Juni 2023

Saya yang menyatakan,



Aqsal
Aqsal Abizar Rangkuti

ABSTRAK

Energi listrik dapat dikatakan sebagai kebutuhan primer manusia. Kebutuhan tersebut seiring dengan pertambahan penduduk dan meningkatnya aktifitas masyarakat harus diimbangi dengan penambahan sumber energi listrik yang menjadi masalah mendasar pada wilayah terpencil diluar jangkauan PLN (Perusahaan Listrik Negara). Dusun Bintang Asih merupakan dusun yang terpencil, menyebabkan PLN sampai saat ini belum melakukan pengembangan aliran listrik menuju wilayah tersebut. Sehingga masyarakat tersebut memilih menggunakan pembangkit listrik tenaga surya sebagai pemenuhan energi listrik. Namun karena pembangkit listrik tersebut mengandalkan cahaya matahari, tentu saja energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya cukup fluktuasi, sehingga kinerja dari pembangkit listrik tenaga surya tersebut tidak maksimal. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisa terhadap kemampuan unjuk kerja PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) 1000 Wp di Dusun Bintang Asih menggunakan HOMER, serta melakukan analisa terhadap hasil simulasi pada unjuk kerja terhadap kinerja PLTS yang sebenarnya. Berdasarkan hasil penelitian ini, data hasil unjuk kerja PLTS maksimum terjadi pada tanggal 10 Oktober 2022 pukul 13.00, dengan intensitas cahaya sebesar 860 W/m², daya panel surya sebesar 1380 W, serta temperatur panel surya sebesar 44,77 °C. Tetapi, daya inverter maksimum terjadi pada pukul 14.00 sebesar 370 W. Sedangkan untuk data hasil simulasi HOMER PLTS maksimum terjadi pada tanggal 9 Oktober 2022 pukul 14.00, dengan intensitas cahaya sebesar 561,6 W/m², daya panel surya sebesar 645,04 W, daya inverter sebesar 833,28 W, serta temperatur panel surya sebesar 39,2 °C.

Kata kunci : Unjuk Kerja, PLTS, HOMER, Bintang Asih

ABSTRACT

Electrical energy can be regarded as a primary human need. This need along with population growth and increased community activity must be balanced with additional sources of electrical energy which is a fundamental problem in remote areas beyond the reach of the PLN (State Electricity Company). Dusun Bintang Asih is a remote hamlet, causing PLN to date to have not developed electricity flow to the area. So that the community chooses to use solar power plants as a fulfillment of electrical energy. However, because the power plant relies on sunlight, of course the electrical energy produced by solar panels fluctuates quite a bit, so the performance of the solar power plant is not optimal. The purpose of this study was to analyze the performance capability of the 1000 Wp PLTS (Solar Power Plant) in Bintang Asih Hamlet using HOMER, as well as to analyze the simulation results on the performance of the actual PLTS performance. Based on the results of this study, data on maximum PLTS performance occurred on October 10, 2022 at 13.00., with a light intensity of 860 W/m², a solar panel power of 1380 W, and a solar panel temperature of 44.77 °C. However, the maximum inverter power occurs at 14.00 of 370 W. As for data from the HOMER PLTS simulation results, the maximum occurs on October 9, 2022 at 14.00, with a light intensity of 561.6 W/m², solar panel power of 645.04 W, inverter power of 833.28 W, and solar panel temperature of 39.2 °C.

Keywords : Work Method, PLTS, HOMER, Bintang Asih

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 WP Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibu Rimbawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T. M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik-elektroan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2017.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektroan.

Medan, 21 Februari 2023

AQSAL ABIZAR RANGKUTI

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2. Landasan Teori	9
2.2.1. PLTS	9
2.2.2. Inverter	21
2.2.3. Baterai	26
2.2.4. MPPT (Maximum Power Point Tracking).....	32
2.2.5. Unjuk Kerja Pembangkit.....	37
2.2.6. Aplikasi HOMER Pro	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	59
3.1. Tempat dan Waktu	59
3.1.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian.....	59
3.1.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian	59
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	59
3.3. Data Penelitian.....	59
3.3.1. Data Beban Listrik Harian	59
3.3.2. Profil PLTS Bintang Asih	60

3.4. Metode Penelitian.....	64
3.5. Prosedur Penelitian.....	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	67
4.1. Hasil Simulasi HOMER PLTS Bintang Asih.....	67
4.2. Hasil Unjuk Kerja PLTS Bintang Asih	75
4.2.1. Data Hasil Unjuk Kerja PLTS pada Tanggal 9 Oktober 2022.....	76
4.2.2. Data Hasil Unjuk Kerja PLTS pada Tanggal 10 Oktober 2022.....	78
4.2.3. Data Hasil Unjuk Kerja PLTS pada Tanggal 11 Oktober 2022.....	81
BAB V.....	92
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	92
5.1. Kesimpulan.....	92
5.2. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sel Surya <i>Mono-Crystalline</i>	12
Gambar 2.2. Sel Surya <i>Poly-Crystalline</i>	13
Gambar 2.3. Panel Surya <i>Thin Film Solar Cell</i>	14
Gambar 2.4. <i>Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic</i>	15
Gambar 2.5. Bagian-Bagian Pembentuk Panel Surya	16
Gambar 2.6. Inverter.....	22
Gambar 2.7. Inverter Central	23
Gambar 2.8. Inverter String	24
Gambar 2.9. Baterai VRL	25
Gambar 2.10. Baterai OpzV	26
Gambar 2.11. Baterai LithiumIon	27
Gambar 2.12. Grafik Titik Daya Maksimum	31
Gambar 2.13. Grafik Maximum Power Point	32
Gambar 2.14. <i>Maximum Power Point</i>	34
Gambar 2.15. Tampilan Utama Aplikasi HOMER Pro	40
Gambar 2.16. Tampilan Menu <i>Take Tour</i> pada HOMER	42
Gambar 2.17. Tampilan Menu <i>Biomassa Resource</i> pada HOMER	44
Gambar 2.18. Tampilan Menu <i>Hydro Resource</i> pada HOMER	45
Gambar 2.19. Tampilan Menu <i>Hydro Components</i> pada HOMER	46
Gambar 2.20. Tampilan Menu <i>Combined Heat and Power</i> pada HOMER	47
Gambar 2.21. Tampilan Menu <i>Thermal Load</i> pada HOMER	47
Gambar 2.22. Tampilan Menu Boiler pada HOMER	48
Gambar 2.23. Tampilan Menu <i>Thermal Load Controller</i> pada HOMER	49
Gambar 2.24. Tampilan Menu Modul <i>Advance Load</i> pada HOMER	50
Gambar 2.25. Tampilan Menu <i>Defirabble Load</i> pada HOMER	50
Gambar 2.26. Tampilan Menu Modul <i>Advance Grid</i> pada HOMER	51
Gambar 2.27. Tampilan Menu Modul Hidrogen pada HOMER	52
Gambar 2.28. Tampilan Menu <i>Reformer</i> pada HOMER	53
Gambar 2.29. Tampilan Menu <i>Electrolyzer</i> pada HOMER	53

Gambar 2.30. Tampilan Menu <i>Hydrogen Tank</i> pada HOMER	54
Gambar 2.31. Tampilan Menu Modul <i>Advance Storage</i> pada HOMER	54
Gambar 2.32. Tampilan Menu Modul <i>Multi-Yeras</i> pada HOMER	55
Gambar 2.33. Tampilan Menu <i>Multi-Yeras Input</i> pada HOMER	56
Gambar 3.1. Peta Lokasi PLTS Bintang Asih	59
Gambar 3.2. Panel Surya di PLTS Bintang Asih	59
Gambar 3.3. Inverter pada PLTS Bintang Asih	60
Gambar 3.4. Baterai pada PLTS Bintang Asih	60
Gambar 3.5. Skema Rangkaian PLTS	61
Gambar 3.6. Diagram Blok PLTS dengan Beban	61
Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 4.1. Grafik intensitas cahaya simulasi HOMER PLTS pada 9 Oktober 2022	67
Gambar 4.2. Grafik intensitas cahaya simulasi HOMER PLTS pada 10 Oktober 2022	67
Gambar 4.3. Grafik intensitas cahaya simulasi HOMER PLTS pada 11 Oktober 2022	68
Gambar 4.4. Grafik daya panel surya dan daya inverter hasil simulasi HOMER PLTS pada 9 Oktober 2022	69
Gambar 4.5. Grafik daya panel surya dan daya inverter hasil simulasi HOMER PLTS pada 10 Oktober 2022	69
Gambar 4.6. Grafik daya panel surya dan daya inverter hasil simulasi HOMER PLTS pada 11 Oktober 2022	70
Gambar 4.7. Grafik temperatur panel surya hasil simulasi HOMER PLTS pada 9 Oktober 2022	71
Gambar 4.8. Grafik temperatur panel surya hasil simulasi HOMER PLTS pada 10 Oktober 2022	71
Gambar 4.9. Grafik temperatur panel surya hasil simulasi HOMER PLTS pada 11 Oktober 2022	72
Gambar 4.10. Grafik intensitas cahaya hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022	83

Gambar 4.11. Grafik intensitas cahaya hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022	83
Gambar 4.12. Grafik intensitas cahaya hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022	84
Gambar 4.13. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022	84
Gambar 4.14. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022	85
Gambar 4.15. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022	85
Gambar 4.16. Grafik daya inverter hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022	86
Gambar 4.17. Grafik daya inverter hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022	86
Gambar 4.18. Grafik daya inverter hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022	87
Gambar 4.19. Grafik temperatur panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022	87
Gambar 4.20. Grafik temperatur panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022	88
Gambar 4.21. Grafik temperatur panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Beberapa Material yang Digunakan Sebagai Anoda	30
Tabel 2.2. Beberapa Material yang Digunakan Sebagai Katoda	31
Tabel 2.3. Modul pada HOMER pro dan fiturnya	51
Tabel 3.1. Penggunaan Beban Harian	60
Tabel 4.1. Data Hasil Simulasi HOMER PLTS tanggal 9 Oktober 2022	66
Tabel 4.2. Data Hasil Simulasi HOMER PLTS tanggal 10 Oktober 2022	67
Tabel 4.3. Data Hasil Simulasi HOMER PLTS tanggal 11 Oktober 2022	68
Tabel 4.4. Data Tegangan dan Arus pada Panel Surya dan Inverter, pada Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 9 Oktober 2022	75
Tabel 4.5. Data Tegangan dan Arus pada Panel Surya dan Inverter, pada Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 10 Oktober 2022	77
Tabel 4.6. Data Tegangan dan Arus pada Panel Surya dan Inverter, pada Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 11 Oktober 2022	79
Tabel 4.10. Data Perhitungan Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 9 Oktober 2022	82
Tabel 4.11. Data Perhitungan Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 10 Oktober 2022	84
Tabel 4.12. Data Perhitungan Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 11 Oktober 2022	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik sudah mencapai tahap ketergantungan, sehingga dapat dikatakan sebagai kebutuhan primer manusia selain sandang, pangan serta papan. Kebutuhan tersebut seiring dengan pertumbuhan penduduk dan meningkatnya aktifitas masyarakat. Pertumbuhan ini harus diimbangi dengan penambahan sumber energi listrik yang menjadi masalah mendasar pada wilayah terpencil diluar jangkauan PLN (Carolia, 2017).

Meskipun demikian, pengembangan sumber energi listrik secara alternatif saat ini sangat populer dikalangan penggiat energi listrik tetapi sangat dipengaruhi oleh keadaan geografis seperti gunung, laut, hutan dan sebagainya (Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019). Sumber energi terbarukan memiliki potensi menghasilkan daya listrik untuk masyarakat. Proses pengembangan teknologi untuk pemanfaatan sumber-sumber energi baru dan terbarukan dalam skala kecil yang murah, dapat memenuhi kebutuhan masyarakat yang masih terus berkembang (Kurniawan & Hayat, 2020).

Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya banyak membantu kebutuhan energi listrik untuk wilayah terpencil yang sulit diakses oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sehingga pembangkit listrik tenaga surya sangat berguna bagi pemerataan dan kebutuhan listrik skala kecil agar dapat merasakan listrik yang sama dengan masyarakat yang ada ditengah kota atau yang dialiri oleh arus listrik dari Perusahaan Listrik Negara (S & Dinahkandy, 2018).

Dusun Bintang Asih merupakan dusun yang terpencil di wilayah Desa Rumah Sumbul, Kecamatan Sinembah Tanjung Muda Hulu, Kabupaten Deli Serdang. Karena sulitnya medan dan akses menuju wilayah tersebut, hingga saat ini Perusahaan Listrik Negara belum ada melakukan pengembangan aliran listrik menuju wilayah tersebut (Riandra, 2021). Sehingga masyarakat tersebut memilih menggunakan energi surya melalui pembangkit listrik tenaga surya sebagai pemenuhan energi listrik diwilayah tersebut. Namun karena pembangkit listrik

tenaga surya tersebut mengandalkan cahaya matahari tentu saja energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya cukup fluktuasi, sehingga kinerja dari pembangkit listrik tenaga surya tersebut menjadi tidak maksimal.

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga surya yang ada di Dusun Bintang Asih, Desa Rumah Sumbul tersebut maka penulis melakukan penelitian yang berjudul “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 WP Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih”. Penelitian ini diharapkan menjadi solusi untuk menjadikan kinerja pembangkit listrik tenaga surya tersebut menjadi maksimal.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang terdapat pada penelitian “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 Wp Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih” adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kemampuan dari unjuk kerja PLTS 1000 Wp untuk memenuhi kebutuhan energi listrik jika dilakukannya simulasi HOMER Pro?
2. Bagaimana hasil simulasi yang telah dilakukan pada unjuk kerja PLTS 1000 WP menggunakan aplikasi HOMER Pro terhadap kinerja PLTS?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 WP Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih” adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisa terhadap kemampuan unjuk kerja PLTS 1000 Wp yang ada di Dusun Bintang Asih menggunakan HOMER Pro.
2. Melakukan analisa terhadap hasil simulasi yang telah dilakukan pada unjuk kerja terhadap kinerja PLTS yang sebenarnya.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan tugas akhir tersebut, maka adapun ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data primer dari lapangan yang kemudian disimulasikan menggunakan aplikasi HOMER Pro untuk melihat hasil unjuk kerja PLTS 1000 Wp
2. Penelitian dilakukan dengan melakukan perbandingan antara hasil simulasi unjuk kerja yang telah dilakukan terhadap kinerja PLTS yang ada dilapangan.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 WP Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih” yaitu:

1. Sebagai sarana pengembangan potensi energi baru dan terbarukan melalui PLTS yang ada di tengah masyarakat di Dusun Bintang Asih.
2. Sebagai referensi untuk penelitian terhadap pembangkit listrik tenaga surya pada pengembangan penelitian berikutnya.
3. Sebagai pemanfaatan potensi alam yang mampu memberikan dampak positif terhadap masyarakat di Dusun Bintang Asih.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas

akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta menyelesaikan masalah yang terdapat di dalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

PLTS pada saat ini sudah banyak diaplikasikan pada beberapa wilayah atau daerah di Indonesia, terutama untuk wilayah atau daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh listrik PLN. Namun pembangunan PLTS yang dilakukan tidak diimbangi dengan perawatan- perawatan pada komponen-komponen peralatan PLTS yang sudah terpasang, sehingga menurunnya unjuk kerja atau kehandalan dari beberapa komponen peralatan pada PLTS. Penurunan unjuk dari suatu PLTS dapat menyebabkan menurunnya produksi energi yang dihasilkan. Sehingga peneliti ingin menganalisis unjuk kerja dari suatu PLTS On-Grid yang ada di Laboratorium Energi Baru Terbarukan Universitas Mataram. Dari hasil pengukuran dan hasil perhitungan diketahui bahwa besar nilai efisiensi modul surya yang dihasilkan pada hari pertama pengukuran berkisar diantara 4%-16%, efisiensi modul surya pada hari kedua pengukuran berkisar diantara 3%-16% dan efisiensi pada hari ketiga pengukuran berkisar diantara 3%-16%. Sedangkan besarnya rasio performa yang dihasilkan selama sehari pengukuran pada hari pertama adalah sebesar 1,733, rasio performa hari kedua adalah sebesar 1,852 dan rasio performa pada hari ketiga pengukuran adalah sebesar 2,523.(Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) 1 MWp terinterkoneksi jaringan di Kayubih, Bangli atau disebut PLTS Kayubih, merupakan hal baru dalam penerapan pemanfaatan energi surya fotovoltaik berskala besar di Indonesia. Keberadaan PLTS Kayubih menjadi perhatian untuk dianalisis lebih lanjut, agar potensi produksi energi listrik spesifik/final yield (YF), dan unjuk kerja/rasio performa (PR) dari PLTS diketahui terhadap lokasi pemasangan. Hal ini selanjutnya menjadi acuan dalam identifikasi dan analisis permasalahan operasi PLTS, guna pengembangan dan pengetahuan pengelolaan PLTS. Nilai optimum YF dan PR PLTS Kayubih diperoleh dengan simulasi menggunakan software PV Syst, yang berdasarkan lokasi dan konfigurasi sistem terpasang, tanpa

memperhatikan faktor shading sesuai lokasi PLTS. Selanjutnya hasil simulasi dibandingkan terhadap hasil produksi real energi listrik PLTS Kayubih. Potensi optimum energi listrik per tahun yang dihasilkan PLTS Kayubih dari hasil simulasi adalah 1656 MWh, dengan PR 83,6 %. Berdasarkan waktu operasi dari 15 Februari s.d. 30 September 2013 produksi real energi listrik PLTS Kayubih adalah 729,08 MWh, selisih 32,3% dari simulasi PVSyst sebesar 1076,94 MWh. Shading dan gangguan yang ada menurunkan produksi energi dan unjuk kerja spesifik PLTS Kayubih yaitu YF 3,20 jam/hari, dengan faktor kapasitas (CF) 13,34 % terhadap simulasi, yaitu YF 4,68 jam/hari dan CF 19,53%. (Sukerayasa, Kumara, & Setiawan, 2014)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 kW di Universitas Udayana Bukit Jimbaran memiliki komponen dan spesifikasi seperti, PV module Solarex MSX60 dengan kapasitas 60 Wp sebanyak 32 unit, inverter SP500 SinePro dengan kapasitas 500 W, charger controller SinPro 10 A dan 2 unit baterai Delkor DIN60038 dengan kapasitas masing-masing baterai 100Ah. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran tegangan dan arus PV module. Pengukuran dimulai pada pukul 07.00 WITA sampai 18.00 WITA, maka diperoleh hasil pengukuran PV module, tegangan keluaran tertinggi sebesar 12.72 V dan arus sebesar 2.37 A pada pukul 13.00 WITA. Sedangkan tegangan keluaran terendah sebesar 0.57 V dan arus sebesar 0.14 A pada pukul 18.00 WITA. Total daya dari 32 PV module sebesar 960 W. Dari 32 PV module hanya 8 buah yang digunakan untuk mensuplai beban. Agar daya PLTS optimal maka 32 PV module akan digunakan untuk mensuplai beban di area internet corner. Baterai sebanyak 15 unit dengan kapasitas 1.455 Ah, inverter dengan kapasitas 6.000 Watt dan charger controller dengan rating arus 20 Ampere sebanyak 4 unit. (Kumala, 2014)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sebuah panel surya berkapasitas 50 Wp terhadap perubahan intensitas matahari yang diterimanya. Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran intensitas cahaya matahari pada area permukaan sel surya menggunakan Luxmeter. Selanjutnya pada saat bersamaan dilakukan pengambilan data arus dan tegangan. Penelitian ini dilakukan selama 5 hari dimulai dari jam 6 pagi sampai

dengan jam 6 sore waktu setempat. Dari hasil perhitungan didapatkan daya output rata-rata sebesar 7.356809231 Watt dan dalam sehari dapat menghasilkan 95.63852 Wh. (Rizal Fauzi, 2019)

Sistem Smart Microgrid Universitas Udayana merupakan hasil kerjasama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dengan Universitas Udayana yang terdiri atas PLTS 26,4 kWp, PLTB 5 kWp, PLTD 20 kWp, baterai 192 kVAh serta terterkoneksi dengan jaringan distribusi tegangan rendah 220/380 V. Penelitian ini membahas unjuk kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya tersebut dengan software HelioScope. Hasil simulasi akan dibandingkan dengan produksi energi riil dari PLTS. Hasil simulasi produksi energi listrik PLTS sebesar 43.055,4 kWh per tahun. Sedangkan produksi riil PLTS sebesar 3.948,28 kWh, lebih rendah 4.107,4 kWh atau 9,53 % dibandingkan hasil simulasi. Faktor – factor yang mempengaruhi perbedaan produksi energi listrik hasil simulasi dengan produksi riil adalah benda-benda yang berada disekitar PLTS yang menyebabkan shading, tingkat kebersihan modul surya, perbedaan orientasi PLTS dengan orientasi optimal. (Gunawan, Kumara, & Irawati, 2019)

Pada Penelitian ini dilakukan pengkajian teknik dasar perancangan PLTS, pengamatan kinerja sistem PLTS pada jaringan mikro arus searah serta untuk mengetahui efisiensi PLTS berdasarkan kondisi geografis khususnya di kota Purwokerto. Metode penelitian ini dilakukan dengan pengukuran daya keluaran panel sel surya yang dilakukan dengan dan tanpa beban listrik, Peralatan multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus, perangkat kontroler MPPT digunakan untuk pengaturan pengisian dan pengeluaran daya pada PLTS dengan rating arus maksimal 30A, Panel sel surya dengan kapasitas 350 Wp, dan battery 65 Ah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya efisien panel surya 100watt sebesar 12,4% sedangkan efisiensi panel surya 50watt sebesar 29%, Daya yang dihasilkan oleh sistem selama 6 jam pengamatan, dalam kondisi tanpa Beban sebesar 1825,81watt dengan efisiensi kinerja rata-rata 40,12% sedangkan untuk kondisi terhubung dengan beban lampu DC 230 watt diperoleh daya sebesar 1945,36watt dengan efisiensi kinerja rata-rata 42,75%. Durasi maksimal

penggunaan baterai 65AH dengan beban lampu DC 230 Watt adalah sebesar 2 jam 2,712 jam. (Kurniawan & Hayat, 2020)

Pemerintah Provinsi Bali bekerja sama dengan Kementerian ESDM dalam pengembangan PLTS rooftop 158 kWp yang terhubung ke jaringan PLN. Energi yang dihasilkan hingga saat ini telah mengurangi suplai energi listrik dari PLN pada area Kantor Gubernur Bali. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS 158 kWp tersebut. Produksi energi di estimasi menggunakan HelioScope. Data yang diperlukan antara lain lokasi PLTS, dan spesifikasi teknis PLTS. Simulasi menghasilkan data energi total dalam satu tahun sebesar 249.764 kWh/tahun dengan energi tertinggi terjadi pada bulan Mei sebesar 24.172 kWh dan energi terendah terjadi pada bulan Januari sebesar 16.226 kWh. (Wicaksana, Kumara, Giriantari, & Irawati, 2019)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang terpasang di Rawapening Baranjang, Semarang, Jawa Tengah. Baranjang merupakan tempat permanen yang digunakan nelayan untuk menangkap ikan. Metode rekayasa digunakan dalam penelitian ini. Hasil yang diperoleh pertama, performa charging yang dimulai pada pukul 06.45-15.00 menghasilkan perubahan suhu dan arus. Kedua, ada peningkatan kapasitas baterai yang signifikan, kinerja tegangan baterai dan arus pengisian yang stabil. Ketiga, kinerja pengosongan yang dimulai pada pukul 17.00 – 06.00 menunjukkan penurunan kapasitas baterai yang signifikan, dengan arus pengosongan dan tegangan baterai tetap konstan. (Iksan, Hastawan, Zaki, & Himawan, 2019)

PLTS adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan foton dari matahari menjadi energi listrik. Faktor penting yang mempengaruhi besarnya foton yang diterima oleh sel surya adalah kebersihan modul surya. Studi pengaruh kebersihan modul surya terhadap unjuk kerja PLTS dilakukan di Denpasar pada bulan Januari sampai Maret, menggunakan dua modul surya yang indentik 14,1 Wp. Modul pertama dibersihkan secara berkala sedangkan modul kedua tidak dibersihkan. Dari studi ini, modul surya dibersihkan menghasilkan daya tertinggi 13,63 Watt. Sedangkan modul surya tidak dibersihkan menghasilkan daya tertinggi sebesar 13,45 Watt, terjadi penurunan sebesar 5,48%. Dari studi ini

didapat hasil output dari modul surya yang dibersihkan lebih besar dibandingkan modul surya tidak dibersihkan. Penurunan yang relatif kecil disebabkan oleh pembersihan permukaan modul oleh hujan yang sering terjadi, sehingga secara tidak langsung air hujan membersihkan permukaan modul dari kotoran. (Sujana, Kumara, & Giriantari, 2015)

Pemerintah Desa Padangsambian Kaja di Kota Denpasar melalui program SDGs dari Kementerian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal dan Transmigrasi telah menerapkan energi bersih dan terbarukan. Pembangkit listrik yang dioperasikan yakni Pembangkit Listrik Tenaga Surya atap berkapasitas 7,2 kWp yang terhubung ke jaringan PLN. Penelitian dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari PLTS yang terpasang dengan bantuan simulasi dari software HelioScope. Produksi energi akan dibandingkan antara hasil simulasi 2 skenario dengan hasil monitoring pada inverter dalam kurun waktu bulan Mei s.d Juli 2021, sehingga akan diketahui faktor- faktor yang memberi pengaruh terhadap produksi energi PLTS. Hasil penelitian menunjukkan potensi produksi energi setiap tahun dari hasil simulasi skenario 1 dan skenario 2 masing-masing sebesar 9.964 kWh dan 10.306 kWh, dan hasil simulasi produksi energi dalam kurun waktu bulan Mei s.d Juli pada skenario 1 dan skenario 2 masing-masing sebesar 2.937,3 kWh dan 3.057,8 kWh. Produksi energi hasil simulasi skenario 1 dan skenario 2 lebih tinggi dibandingkan dengan produksi energi riil, memiliki selisih sebesar 180,9 kWh dengan persentase 6,1% untuk skenario 1, serta sebesar 301,4 kWh dengan persentase 9,8% untuk skenario 2. (Formasakti, Setiawan, & Giriantari, 2021)

2.2. Landasan Teori

2.2.1. PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ialah suatu pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi cahaya dari matahari yang menjadi sumber utama untuk memperoleh energi listrik dengan bantuan modul PV (*photovoltaic*). Sel surya atau modul PV dapat menghasilkan energi listrik dengan jumlah yang tidak terbatas dengan langsung dari cahaya matahari, sehingga tidak perlu bahan bakar

guna dari sistem sel surya ini bisa dibilang dengan pembangkit listrik yang bersih dan ramah lingkungan (Pasiowan, Rumbayan, & Patras, 2021)(Wiranata, Kumara, & Sukerayasa, 2019).

Sebuah panel surya adalah kumpulan hubungan dari modul surya, yang pada gilirannya terbuat dari beberapa sel surya yang saling berhubungan. Sel-sel mengubah energi matahari menjadi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaiik (Massaneda, 2019). Kebanyakan panel surya menggunakan inverter untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh modul ke dalam arus bolak-balik (AC) yang dapat masuk ke infrastruktur yang ada untuk lampu listrik, motor dan beban lainnya. Modul dalam panel surya biasanya pertama-tama dihubungkan secara seri untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan; string individu kemudian terhubung secara paralel untuk memungkinkan sistem untuk menghasilkan lebih banyak (Fathurrachman, Busaeri, & Hiron, 2022).

Output listrik dari modul tergantung pada ukuran dan jumlah sel. Panel listrik surya dapat dalam segala bentuk dan ukuran, dan dapat dibuat dari bahan yang berbeda. Kebanyakan panel surya memiliki 30-36 sel dihubungkan secara seri. Setiap sel memproduksi sekitar 0,5 V di bawah sinar matahari, sehingga panel menghasilkan 15 V sampai 18 V. Panel ini dirancang untuk mengisi baterai 12 V. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. (Roal, 2015) Cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan hole yang bermuatan negative kemudian elektron dan hole mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini dikenal sebagai photoelectric. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari bahan semi konduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon terdiri atas dua jenis lapisan sensitif: lapisan negatif (tipe-n) serta lapisan positif (tipe-p). Dikarenakan sel surya berikut mudah pecah dan berkarat jadi sel ini diciptakan dalam wujud panel dengan ukuran tertentu yang dilapisi plastic ataupun kaca bening yang kedap air dan panel

tersebut dikenal dengan panel surya (Sukerayasa et al., 2014)(Hutasuhut, Rimbawati, Riandra, & Irwanto, 2022)

Total pengeluaran listrik dari sel surya adalah sebanding dengan Voltage/tegangan operasi dikalikan dengan arus kerja sekarang. Sel surya bisa menghasilkan arus Voltage yang berbeda-beda. Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energy surya yang di konversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya (Carolia, 2017). Intensitas radiasi surya terpengaruh waktu siklus perputaran bumi, cuaca yang terdiri dari kualitas serta kuantitas awan, pergantian musim serta posisi garis lintang. Di Indonesia intensitas radiasi sinar matahari ialah 4 – 5 jam per hari. Produksi energi surya di suatu wilayah bisa dihitung dengan:

$$E = I \times A \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

E = Energi surya yang dihasilkan (W)

I = Isolasi/Intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima dalam satu jam (W/m)

1. Jenis-Jenis Panel Surya

Adapun Jenis-jenis panel surya yang umum antara lain:

a. *Mono-Crystalline*

Mono-Crystalline merupakan jenis panel surya yang paling banyak digunakan karena kelebihan yang dimilikinya. panel surya ini terbuat dari silikon yang diiris tipis-tipis dengan menggunakan mesin. Irisan bisa menjadi lebih tipis dan juga karakterisitiknya identik karena penggunaan mesin potong ini (Istiawan, 2019).



Gambar 2.1. Sel Surya Mono-Crystalline

Untuk kelebihanannya, jenis panel surya ini sebagai salah satu sel surya yang paling efisien digunakan. Hal ini disebabkan karena penampangannya dapat menyerap cahaya matahari dengan lebih efisien dibandingkan dengan bahan panel surya yang lainnya.

Efisiensi konversi cahaya matahari menjadi listrik yang dimiliki oleh bahan sel surya ini adalah sekitar 15%. Jumlah ini merupakan salah satu jumlah yang cukup besar jika dibandingkan dengan bahan penyusun sel surya yang lain meski dengan ukuran penampang yang sama. Panel surya ini juga menjadi salah satu yang jenis panel surya yang banyak digunakan karena paling cocok untuk kebutuhan sehari-hari. Seperti digunakan pada berbagai peralatan listrik termasuk Pompa Submersible dengan panel surya ini.

Kelemahan dari jenis solar panel ini adalah membutuhkan cahaya yang sangat terang ketika beroperasi. Sehingga, akan mengalami pengurangan efisiensi jika berada pada cuaca yang berawan dan mendung. Untuk ciri-ciri panel surya monocrystalline silicon ini memiliki warna hitam dan juga bentuk yang tipis seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

b. *Poly-crystalline*



Gambar 2.2. Sel Surya Poly-Crystalline

Panel surya *Poly-crystalline* merupakan teknologisel surya yang terbuat dari batang silikon yang kemudian dicairkan. Sel surya ini memiliki kelebihan dari segi susunannya yang lebih rapi dan lebih rapat. Untuk ciri-cirinya, sel surya ini memiliki penampilan yang unik, yaitu mempunyai tampilan seperti retakan-retakan di dalamnya (Rif et al., 2012).

Panel surya *Poly-crystalline* juga memiliki kekurangan yang cukup mirip dengan *Mono-crystalline*. *Poly-crystalline* memiliki kekurangan ketika digunakan pada daerah yang rawan dan sering mendung. Ketika diletakkan atau digunakan pada area seperti ini, maka efisiensi yang dimiliki panel surya ini akan turun.

Jika dibandingkan dengan efisiensi *Mono-Crystalline*, *Poly-Crystalline* ini memiliki efisiensi yang lebih rendah. Oleh karena itu untuk menghasilkan tenaga listrik dengan jumlah yang sama, jenis panel surya ini akan diperlukan penampang yang lebih besar

c. *Thin Film Solar Cell*



Gambar 2.3. Panel Surya Thin Film Solar Cell

Thin Film Solar Cell merupakan sebuah teknologi panel surya yang dibuat dengan menggunakan sel surya yang tipis yang kemudian dipasangkan pada sebuah lapisan dasar. Jika dilihat secara fisik, solar panel ini merupakan film solar sel yang memiliki dua lapisan (Muslimah, 2021).

Kelebihan yang dimiliki oleh teknologi panel surya ini adalah dari kondisi fisiknya. Sesuai dengan namanya, panel surya ini memiliki ukuran yang sangat tipis, hal ini menyebabkan panel surya ini memiliki bobot yang lebih ringan dan memiliki sifat yang lebih fleksibel. Selain itu, *Thin Film Solar Cell* merupakan teknologi yang dapat bekerja dengan sangat baik ketika berada pada cahaya fluorescent.

Untuk kekurangannya, efisiensi yang dimiliki oleh panel surya yang satu ini memang cukup rendah. Anda hanya bisa mendapatkan penangkapan sebesar 8,5% untuk penampang yang sama luasnya dengan *Mono-crystalline* dan *Poly-crystalline*. Untuk penggunaannya, jenis panel yang satu ini memang lebih cocok digunakan untuk kebutuhan komersil.

d. *Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic*



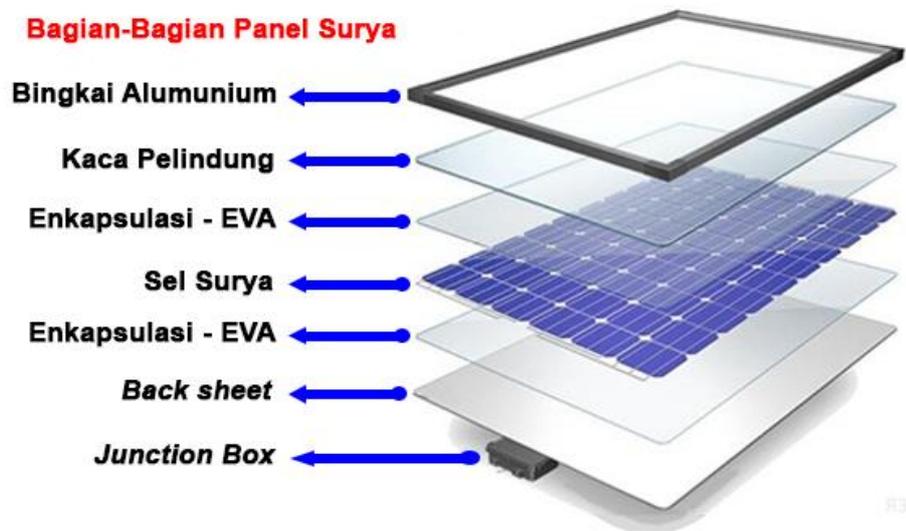
Gambar 2.4. *Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic*

Sesuai dengan namanya, teknologi sel surya ini memiliki tiga lapisan. *Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic* tidak bisa digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, seperti untuk menyalakan alat elektronik, memasak, memanaskan air dan lainnya

Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic merupakan jenis panel yang digunakan untuk perangkat yang diterbangkan ke angkasa luar. Oleh karena itu, kemampuan dan efisiensi yang dimilikinya sangat tinggi. Perangkat ini merupakan perangkat yang mampu menghasilkan daya listrik hingga 45%, lebih besar dibandingkan dengan jenis-jenis tenaga surya yang lainnya. Akan tetapi biasanya jenis sel surya ini memiliki bobot yang sangat berat dan juga sangat rapuh jika dibandingkan dengan teknologi solar panel yang lainnya.

2. Bagian-Bagian Pembentuk Panel Surya

Adapun bagian-bagian pembentuk panel surya yang umum antara lain(Meilasari, 2021):



Gambar 2.5. Bagian-Bagian Pembentuk Panel Surya

a. Bingkai Alumunium

Bingkai pada panel surya berfungsi untuk melindungi bagian tepi laminasi dan juga sebagai rangka dari panel surya itu sendiri. Bingkai umumnya dibuat dari alumunium yang mempunyai bobot ringan, tetapi dengan kekuatan yang mumpuni untuk menjaga dari angin yang kencang, tumbukan, atau gesekan yang mungkin terjadi. Selain itu, bingkai juga harus memiliki konstruksi yang kokoh supaya kuat pada saat dipasang pada posisinya.

b. Kaca Pelindung

Kaca pelindung atau *tempered glass* memiliki dua sisi, yaitu depan dan belakang. Lembaran kaca sisi depan berfungsi untuk melindungi sel surya dari cuaca dan benturan dari hujan es atau puing-puing apapun yang ada di udara, sedangkan pada bagian sisi belakang kaca diberi lapisan anti reflektif supaya mengurangi kerugian dan meningkatkan transmisi cahaya.

c. Enkapsulasi-EVA

Enkapsulasi, yaitu pelapisan pada sebuah material. Sedangkan EVA adalah singkatan dari “*Ethylene Vinyl Acetate*”, yaitu lapisan polimer yang sangat transparan, seperti plastik yang dirancang khusus untuk merangkum sel dan menahannya pada posisinya selama pembuatan.

Bahan EVA harus memiliki spesifikasi, seperti tahan lama, toleran terhadap suhu, dan kelembaban ekstrem. Selain itu, bahan ini juga memiliki peran penting dalam kinerja jangka panjang dengan mencegah masuknya kelembaban dan kotoran.

Laminasi perlu dilakukan di kedua sisi sel surya agar memberikan penyerapan kejutan, membantu melindungi sel surya dan kabel interkoneksi dari getaran, dan dampak buruk lain dari benturan benda lainnya.

d. Sel Surya

Sel surya atau sel fotovoltaik adalah hal bagian paling penting dari panel surya. Karena pada sel surya inilah tempat terjadinya konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik atau biasa disebut dengan proses fotovoltaik.

e. Back Sheet

Seperti namanya, Back sheet adalah lapisan paling belakang dari panel surya. Berfungsi untuk memberikan perlindungan mekanis dan isolasi listrik. Secara umum, bahannya terbuat dari berbagai polimer atau plastik termasuk PP(*Polypropylene*), PET(*Polyethylene Terephthalate*), dan PVF(*Polyvinyl Flourida*) yang menawarkan berbagai tingkat perlindungan, stabilitas termal, dan ketahanan UV jangka panjang.

Biasanya back sheet berwarna putih, tetapi tersedia juga bening atau hitam tergantung dari pabrikan dan modulnya.

f. Junction Box

Junction box berfungsi untuk menyembunyikan kumpulan jaringan kabel sehingga terlihat jauh lebih rapi. Selain itu, junction box juga membuat kabel-kabel terhindar dari korsleting, karat, ataupun gangguan lainnya.

3. Kelebihan dan Kekurangan Panel Surya

a. Kelebihan Panel Surya

Panel surya sebagai pembangkit energi listrik memiliki beberapa kelebihan (Boedoyo, 2012), diantaranya adalah sebagai berikut :

1) Tidak Pernah Habis

Penggunaan panel surya sebagai pembangkit listrik tidak akan pernah habis. Karena bahan bakar utama untuk membangkitkan energi listrik sel surya ialah energi matahari yang mana energi ini tidak akan pernah habis dan jumlahnya sangat berlimpah di bumi.

2) Biaya Perawatan Rendah

Sel surya (*solar cell*) memiliki biaya perawatan yang rendah. Karena panel surya hanya membutuhkan perawatan instalasi, dan tidak membutuhkan perawatan yang maksimal sebab, PLTS memproduksi energi dalam keadaan diam dan tidak menimbulkan kerusakan apapun serta bunyi yang berisik.

3) Ramah Lingkungan

Ramah lingkungan dikarenakan pembangkit ini tidak menyumbangkan polusi udara akibat proses pembangkitan energinya yang tidak menggunakan bahan bakar fosil.

b. Kekurangan Panel Surya

Kekurangan dari penggunaan panel surya untuk digunakan sebagai pembangkit listrik diantaranya adalah sebagai berikut :

1) Biaya Awal Pembangunan Besar

PLTS membutuhkan biaya awal untuk pembangkitan ini sangat besar karena harga dari tiap komponen yang relatif mahal.

2) Daya Yang Dihasilkan Tidak Pasti

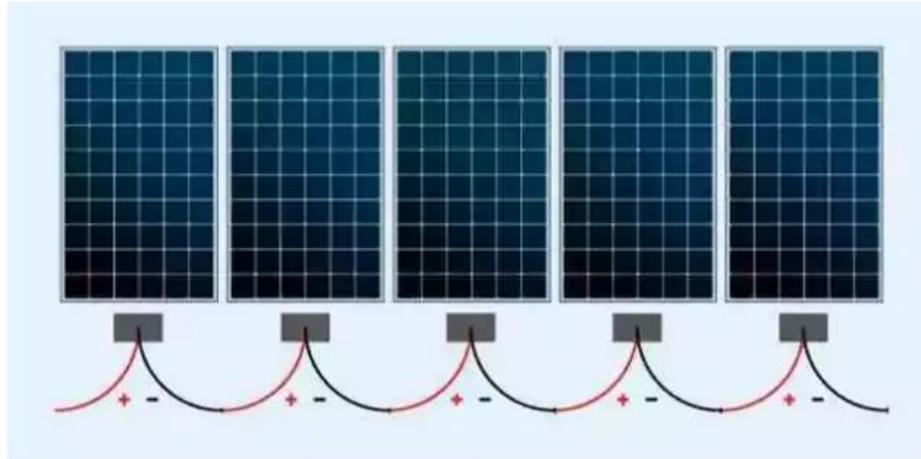
Daya yang di hasilkan oleh pembangkit ini tidaklah pasti karena bergantung pada cahaya yang di terimanya , jika cuaca mendung maka daya yang dihasilkan tidaklah banyak dan ketika malam hari maka energi yang dihasilkan tidak ada sama sekali.

4. Rangkaian Seri dan Paralel pada Panel Surya

Pemasangan rangkaian pada panel surya (*solar cell*) hampir sama dengan pemasangan pada rangkaian baterai, yaitu ketika dirangkai secara seri maka tegangan akan bertambah, sedangkan arus sama, tetapi jika dirangkai secara paralel maka arus akan bertambah, sedangkan tegangan sama.

Rangkaian seri pada panel surya digunakan apabila ingin membutuhkan tegangan listrik yang besar dan arus yang sama atau tetap. Cara pemasangannya juga lebih mudah dan ringkas. Intinya, setiap kutub positif dari panel surya disambungkan ke kutub negatif pada panel surya yang lain, begitu juga sebaliknya.

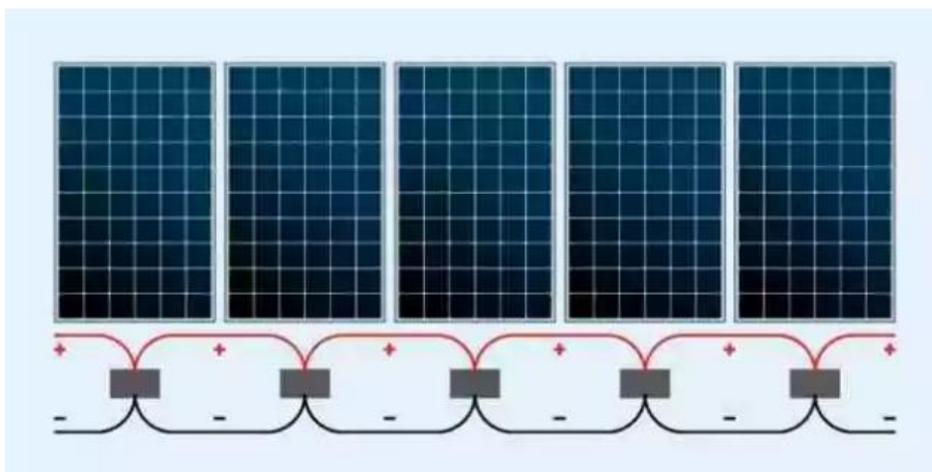
Pemasangan rangkaian seri pada panel surya relatif lebih ringkas dan tidak memerlukan banyak kabel. Tetapi, rangkaian seri panel surya memiliki kekurangan yang cukup besar, yaitu ketika salah satu panel surya rusak atau tidak bisa berfungsi maka aliran listrik akan terhenti di panel surya yang rusak tersebut. Dengan kata lain, sistem kelistrikan pada seluruh panel surya tidak dapat digunakan atau bekerja.



Gambar 2.6. Rangkaian Seri Panel Surya

Rangkaian paralel pada panel surya digunakan apabila ingin membutuhkan arus listrik yang besar dan tegangan listrik yang sama atau tetap. Cara pemasangan dari sistem kelistrikan panel surya secara paralel, yaitu kutub positif dari panel surya

Pemasangan rangkaian paralel pada panel surya relatif lebih ribet dan memerlukan lebih banyak kabel. Tetapi rangkaian paralel panel surya memiliki kelebihan yang cukup besar, yaitu ketika salah satu panel surya tidak bisa beroperasi atau rusak, maka sistem kelistrikan pada seluruh panel surya masih dapat bekerja atau digunakan.



Gambar 2.7. Rangkaian Paralel Panel Surya

2.2.2. Inverter

Inverter ialah rangkaian elektronika daya yang dipergunakan mengkonversi tegangan searah (DC) menuju suatu tegangan bolak-balik (AC). Sekarang ini terdapat sejumlah topologi inverter, dari yang hanya memproduksi tegangan keluaran kotak bolak-balik (modified sine wave) hingga yang dapat memproduksi tegangan sinus murni (pure sine wave), inverter satu fasa, tiga fasa hingga multifasa (Duka, Setiawan, & Weking, 2018).

Inverter ialah rangkaian yang merubah tegangan searah ke tegangan bolak-balik. Metode yang dipergunakan adalah switching, yaitu dengan menghidupkan serta menonaktifkan switch secara bergantian hingga tercipta pulsa ataupun gelombang kotak dengan arah positif serta negatif. Saat dijalankan berkali-kali, tegangan DC yang hanya lurus satu arah akan berubah menjadi suatu sinyal kotak dengan kerapatan serta keregangan yang berbeda. Dengan metode PWM (Pulse Width Modulation), kerapatan serta keregangan itu akan terbaca sebagai sinyal sinus.

Pemilihan inverter yang akan digunakan diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani, sehingga efisiensi kerja inverter menjadi maksimal sesuai dengan kebutuhan daya yang akan dilayani. Ukuran inverter harus 25- 30% lebih besar dari P_{PM} array pada konfigurasi panel surya. Perhitungan kapasitas inverter dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$\text{Inverter: } 130\% \times P_{PM\text{array}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$$P_{PM\text{array}} = \text{Daya maksimum array panel surya (W)}$$

1. Jenis Inverter

Saat ini, inverter juga banyak digunakan pada bidang otomatisasi industri dan perangkat-perangkat yang membutuhkan daya dengan presisi yang tinggi serta dapat diubah parameternya secara linier. Beberapa contohnya seperti fungsi inverter pada air conditioner yang memiliki banyak kelebihan dibandingkan air

conditioner konvensional dan fungsi inverter sel surya yang banyak digunakan pada perangkat penghasil listrik menggunakan cahaya matahari (panel sel surya).

Kebutuhan energi listrik dengan arus bolak balik (AC) mempunyai jenis yang berbeda-beda. Jenis-jenis inverter tersebut diantaranya, yaitu: inverter mobil atau portable inverter, UPS, solar inverter, dan variable speed drive (Karunia Putri, 2016).

a. *Uninterruptible Power Supply (UPS)*

Jenis ini adalah gabungan antara inverter dengan rectifier dan stabilizer, dimana inverter berfungsi untuk mengubah arus listrik DC menjadi arus listrik AC sedangkan rectifier berfungsi sebaliknya. Dengan begitu, peran dari rectifier ini adalah untuk mengisi tegangan ke dalam baterai.

Sebaliknya, inverter yang berperan untuk mengembalikan ke arus PLN. Lalu, tugas dari stabilizer yang akan menstabilkan tegangan pada rectifier kemudian membuat baterai bisa terisi pada tegangan optimal.

b. *Car Inverter / Portable Inverter*

Penggunaan jenis inverter ini adalah yang paling sering ditemukan. Pada saat ponsel atau laptop sedang mengisi daya didalam mobil, maka yang digunakan adalah tegangan arus AC yang ada di dalamnya. Tetapi, inverter jenis ini memiliki kekurangan.

Kekurangan dari inverter jenis ini adalah daya yang dihasilkan kecil, yaitu tidak lebih dari 200 W. Ini karena sumber daya dari jenis inverter ini diambil dari aki mobil. Maka, ketika digunakan secara bersamaan antara mengisi daya ponsel atau laptop dengan daya yang dipakai untuk mengoperasikan mobil, risikonya adalah membuat aki jadi cepat rusak karena arus listriknya harus dibagi.

c. *Solar Inverter*

Solar inverter adalah jenis inverter yang digunakan untuk mengubah arus listrik bertegangan DC dari solar cell ataupun dari aki untuk menjadi arus listrik

AC. Mengikuti perkembangan zaman, Solar inverter juga dilengkapi dengan baterai charger sehingga bisa digunakan sekaligus untuk mengisi daya baterai.

d. *Variable Speed Drive*

Jenis inverter Variable Speed Drive (VSD) ini adalah gabungan antara inverter dengan rectifier sebagaimana pada UPS. Bedanya, pada VSD ini tidak dilengkapi dengan baterai sebagaimana yang ada pada UPS.

Frekuensi tegangan DC pada jenis ini nantinya bisa disesuaikan untuk kemudian dikonversi kembali menjadi arus listrik bertegangan AC. Fungsi ini umumnya bisa ditemukan pada perangkat-perangkat listrik berjenis induksi seperti pada motor listrik.

Di dalam PLTS, jenis inverter dibagi menjadi 3 jenis yaitu inverter Grid Tie, inverter Hybrid (bi-directional) dan inverter Stand Alone (directional).

a. Inverter *Grid Tie*

Inverter *Grid Tie* berfungsi untuk memberikan aliran jaringan listrik setelah menerima energi dari Panel Surya. Inverter ini akan otomatis mati atau tidak memiliki daya saat terjadi power outage pada sistem On Grid, kelebihan KWh yang diperoleh dari Panel Surya bisa disalurkan kembali ke jaringan listrik PLN untuk dapat dipakai bersama.

b. Inverter *Stand Alone (directional)*

Inverter *Stand Alone(directional)* adalah inverter yang secara langsung terhubung dengan battery dari panel surya dalam suatu sistem yang terisolasi atau jauh dari jaringan PLN dan pembangkit listrik lainnya.

c. Inverter *Hybrid (bi-directional)*

Inverter *Hybrid (bi-directional)* adalah inverter yang secara fungsi merupakan gabungan dari sistem On Grid dan Off Grid, dengan cara menggunakan battery sebagai penyimpan energi listrik dari panel surya, kemudian

energi tersebut dialirkan kepada beban tanpa bantuan listrik dari PLN yang terhenti.



Gambar 2.8. Inverter

2. Performa Inverter

Inverter memiliki performa yang dibedakan menjadi dua yaitu untuk PLTS Off Grid sistem dengan pemakaian sendiri atau Stand Alone dan sistem PLTS On Grid (grid connected) ini terdapat perbedaan karakteristik yang sangat berbeda, yaitu (Arifin, 2019) :

- a. Di PLTS Off-Grid, inverter dapat menyuplai tegangan AC secara tetap atau konstan yang bersumber dari modul PV sesuai dengan kapasitas modul PV yang dihasilkan untuk mencapai beban yang tercukupi.
- b. Di PLTS On-Grid, inverter bisa menghasilkan tegangan yang sama dari tegangan dan frekuensi yang disesuaikan untuk jaringan pada waktu yang sama, dalam proses ini inverter digunakan untuk mengoptimalkan dan memaksimalkan keluaran daya dari modul PV.

Semua konsep di inverter ini menjelaskan dari keseluruhan rangkaian yang terdapat dalam Inverter di suatu sistem PLTS dan hubungan antara inverter dengan beban yang ada di jaringan lainnya, inverter dibagi atas dua yaitu:

a. Inverter Central

Inverter ini biasa digunakan pada skala menengah hingga skala besar (utilitas). Central inverter ini pada umumnya menggunakan sistem 3 fasa dan Dengan bantuan transformator frekuensi jaringan (grid frequency transformator) untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan.



Gambar 2.9. Inverter Central

b. Inverter String

Inverter String dapat digunakan pada sistem PLTS skala kecil dan lebih fleksibel biasanya digunakan pada sistem PLTS rumah tangga, pada inverter ini berfungsi untuk mengatasi batasan daya yang mencakup luas dan inverter string ini lebih murah dari proses pabrikasi dan mengingat ukurannya juga lebih kecil dari pada central inverter. Sistem inverter ini mempunyai kelebihan yaitu lebih mudah dalam perbaikan dan waktu yang dibutuhkan tidak selama Inverter Central, sehingga tidak banyak hasil produksi yang terbuang ketika perbaikan.



Gambar 2.10. Inverter String

2.2.3. Baterai

Baterai berfungsi untuk menyimpan daya yang diproduksi panel surya yang tak langsung dipergunakan oleh beban. Daya yang tersimpan bisa dipergunakan waktu radiasi matahari rendah atau malam hari. Listrik yang tersimpan di baterai berwujud daya kimia. Baterai mempunyai dua fungsi penting pada sistem PLTS, yakni guna memberi daya listrik ke sistem saat daya tak tersedia oleh panel surya dan guna menyimpan daya berlebih yang diproduksi panel surya. Proses yang terjadi pada baterai adalah charge (pengisian arus), discharge (pengeluaran arus), overcharge (pengisian arus berlebih). Dalam keadaan normal, baterai digunakan di malam hari ataupun waktu cuaca berawan ataupun mendung. Jika timbul daya energi beban yang berlebih pada konsumen saat siang hari, baterai bisa dioperasikan guna menambah beban (Turhan & Çetiner, 2012).

1. Jenis Baterai

Bagi sistem PLTS, terdapat sejumlah baterai yang bisa dipergunakan, antara lain:

a. Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*)

Kemasannya tertutup rapi jadi sangat sedikit senyawa / bahan yang bisa keluar / masuk baterai, karenanya baterai berikut tak membutuhkan perawatan lebih serta sangat cocok diterapkan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya. Terdapat dua jenis baterai VRLA yaitu Gel dan AGM. Pada jenis Gel, elektrolit didalam baterai pada bentuk gel dengan penambahan bahan tertentu sedangkan tipe AGM (*Absorbed Glass Mat*) memiliki elektrolit yang terserap di sebuah material glass mat (Carolia, 2017).



Gambar 2.11. Baterai VRL

b. Baterai OPzV

Baterai OPzV didasarkan pada teknologi pelat tubular dan pengentalan elektrolit menjadi gel. Konstruksi baterai disegel membuat baterai OPzV bebas perawatan. Baterai OPzV optimal untuk aplikasi di sektor dengan tingginya jumlah pemakaian (*discharge*) seperti misalnya pada sistem pembangkit listrik tenaga surya serta untuk operasi dengan pemakaian terus menerus seperti dalam aplikasi telekomunikasi (Carolia, 2017).



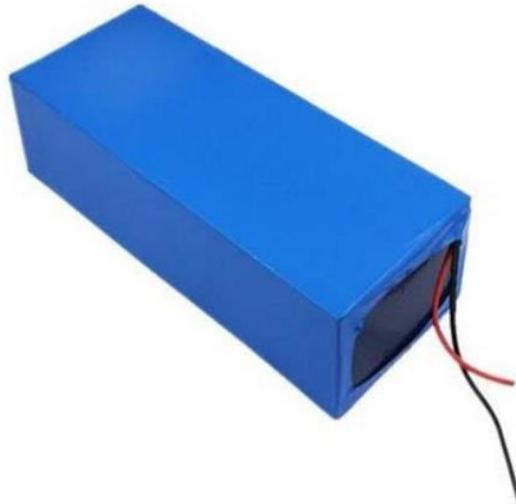
Gambar 2.12. Baterai OPzV

c. Baterai Ion Litium

Baterai ini umumnya dinamakan Li-ion atau LIB yang merupakan salah satu jenis baterai isi ulang. Di dalamnya, saat dilepaskan, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke positif, serta kembali waktu pengisian ulang. Ia menggunakan senyawa litium interkalasi guna senyawa elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang digunakan pada litium non-rechargeable (Baho, 2021). Baterai *ion litium* merupakan baterai paling *energetic* dibandingkan baterai *recharger* yang lain, baterai ini dapat menyimpan listrik sampai 150 Wh dalam 1 kg baterai, dibandingkan dengan baterai NiMH dapat menyimpan sekitar 100 Wh per kg tapi secara umum biasanya hanya 60-70 Wh

Kapasitas baterai adalah jumlah Ampere jam ($Ah = \text{kuat arus/Ampere} \times \text{waktu/hour}$), artinya baterai dapat memberikan atau menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan turun (*drop voltage*) yaitu sebesar 1,75Volt (tiap sel memiliki tegangan sebesar 2Volt, jika dipakai maka tegangan akan terus turun dan kapasitas efektif dikatakan sudah terpakai semuanya bila tegangan sel telah menyentuh 1,75Volt), dalam kondisi ini baterai

harus diisi ulang. Pengeluaran lambat atau pengeluaran arus yang rendah dapat mengakibatkan waktu pengeluaran juga diperpanjang atau kapasitas lebih tinggi (Hamid, Amin, & D, 2016).



Gambar 2.13. Baterai Lithium Ion

2. Komposisi Baterai

Baterai pada umumnya memiliki empat komponen utama yaitu elektroda positif (anoda), elektroda negatif (katoda), elektrolit, dan separator (Perdana, 2020).

a. Elektroda Negatif (Anoda)

Anoda merupakan elektroda yang berfungsi sebagai pengumpul ion lithium serta merupakan material aktif. Parameter pengembangan dari material untuk digunakan sebagai anoda antara lain kepadatan energi yang dihasilkan serta siklus pemakaian atau *cyclability*. Material yang dapat dipakai sebagai anoda harus memiliki karakteristik antara lain memiliki kapasitas energi yang besar, memiliki kemampuan menyimpan dan melepas muatan/ion yang bagus, memiliki tingkat siklus pemakaian yang lama, mudah untuk diproses/dibuat, aman dalam pemakaian (tidak beracun), dan harganya murah. Salah satu material yang dapat berperan sebagai anoda adalah material yang berbasis carbon seperti LiC_6 atau

grafit. Selain grafit, material berbasis karbon yang dapat digunakan untuk anoda yaitu *soft carbon*, *graphene* dan *hard carbon*. Material lain yang dapat berperan sebagai anoda antara lain lithium titanium oxide (LTO). Material ini aman dipakai serta memiliki tingkat siklus pemakaian yang cukup lama. Pengembangan material pada anoda ini terus berlanjut seiring penelitian mengenai sifat-sifat suatu material. Tabel 2.1. memberikan contoh beberapa material yang pernah digunakan sebagai anoda dengan kapasitas energinya.

Tabel 2.1. Beberapa Material yang Digunakan Sebagai Anoda

Material	Kapasitas (teori) (Ah/kg)	Kapasitas (Ah/kg)
Li _x V ₂ O ₂	75	40
Li _x V ₂ O ₂ /Ppy	75	47
LiV ₃ O ₈	145	40-45
Li ₂ Mn ₄ O ₉	156	110
Li ₄ Mn ₅ O ₁₂	202	110
Polypyrrole (Ppy)	120	52,5

b. Elektroda Positif (Katoda)

Katoda merupakan elektroda yang fungsinya sama seperti anoda yaitu pengumpul ion serta material aktif. Namun perbedaannya adalah katoda merupakan elektroda positif. Beberapa karakteristik yang harus dipenuhi suatu material yang digunakan sebagai katoda antara lain material tersebut terdiri dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktifitas yang tinggi seperti logam, memiliki kerapatan energi yang tinggi, memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah strukturnya atau terdegradasi baik saat pemakaian maupun pengisian ulang), harganya murah dan ramah lingkungan. Pada tahun 1980 material LiCoO₂ menjadi kandidat material pertama yang digunakan sebagai katoda pada *Lithium-Ion Battery*. Kerapatan energi yang dimiliki LiCoO₂ sebesar 140 A.h/kg. Walaupun demikian material tersebut memiliki kestabilan yang rendah dan harganya relative mahal. Sejalan dengan peningkatan performa katoda, beberapa

penelitian yang dilakukan antara lain membuat katoda dari LiMO_2 ($M = \text{Co}$ (Cobalt); Ni (Nikel) ; Mn (Mangan); dan lainnya). LiMO_2 tersebut dibentuk dalam bentuk layer-layer (seperti pada gambar 1). Adapula material yang digunakan sebagai katoda dibentuk dalam bentuk spinel LiM_2O_4 ($M : \text{Mn}$ (Mangan)); serta olivine LiMPO_4F ($M : \text{Fe}$) dapat dilihat pada gambar 2 dan 3 (Bo Xu, 2012). Tabel 2.2. menunjukkan beberapa jenis material yang dapat digunakan untuk katoda dengan besar kapasitas energinya yang dapat disimpan.

Tabel 2.2. Beberapa Material yang Digunakan Sebagai Katoda

Material	Kapasitas (teori) (Ah/kg)	Kapasitas (Ah/kg)
LiCoO_2	140	112
LiMn_2O_4	148	84,6
$\text{LiMn}_2\text{O}_4/\text{MWCNTs}$	148	117
LiMnO_2	-	62
$\gamma\text{-MnO}_2$	148	120
LiMnPO_4	170	75

c. Elektrolit

Elektrolit adalah bagian yang berfungsi sebagai penghantar ion lithium dari anoda ke katoda atau sebaliknya. Karakteristik elektrolit yang penting untuk diperhatikan antara lain konduktivitas, aman (tidak beracun) serta harganya murah. Elektrolit ini terbagi dalam dua jenis yaitu elektrolit cair dan elektrolit padat. Kedua jenis ini memiliki kelebihan serta kekurangannya. Kelebihan dari elektrolit cair antara lain memiliki konduktivitas ionik yang besar, harga yang murah, dan aman. Namun kekurangannya adalah memiliki performa siklus pemakaian yang rendah (tidak tahan lama) yaitu hanya berkisar 25 kali siklus dan dapat mengurangi kerapatan energi. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai elektrolit cair antara lain LiNO_3 , LiClO , Li_2SO_4 , garam LiNO_3 , garam Li_2SO_4 , LiPF_6 . Elektrolit padat sendiri keuntungannya yaitu memiliki konduktivitas yang besar serta dapat tahan lama dibandingkan dengan elektrolit

yang cair. Jenis elektrolit padat ini berupa keramik atau polimer organik. Contoh material yang dipakai untuk elektrolit padat antara lain yaitu $(La, Li)TiO_3$.

d. Separator

Separator adalah suatu material berpori yang terletak di antara anoda dan katoda berfungsi untuk mencegah agar tidak terjadi hubungan singkat dan kontak antara katoda dan anoda. Selain itu separator harus dapat dilewati oleh ion lithium dengan baik. Tidak hanya sebagai pembatas antar elektroda, separator memiliki peranan penting dalam proses penghasilan listrik, pengisian ulang, dan tentunya keamanan pada baterai litium ion sendiri. Beberapa hal yang penting untuk memilih material agar dipilih sebagai separator antara lain material tersebut bersifat insulator, memiliki hambatan listrik yang kecil, kestabilan mekanik (tidak mudah rusak), memiliki sifat hambatan kimiawi untuk tidak mudah terdegradasi dengan elektrolit serta memiliki ketebalan lapisan yang seragam atau sama di seluruh permukaan. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai separator antara lain polyolefins (PE dan PP), Polyvinylidene fluodire (PVdF), PTFE (teflon), PVC, dan polyethylene oxide

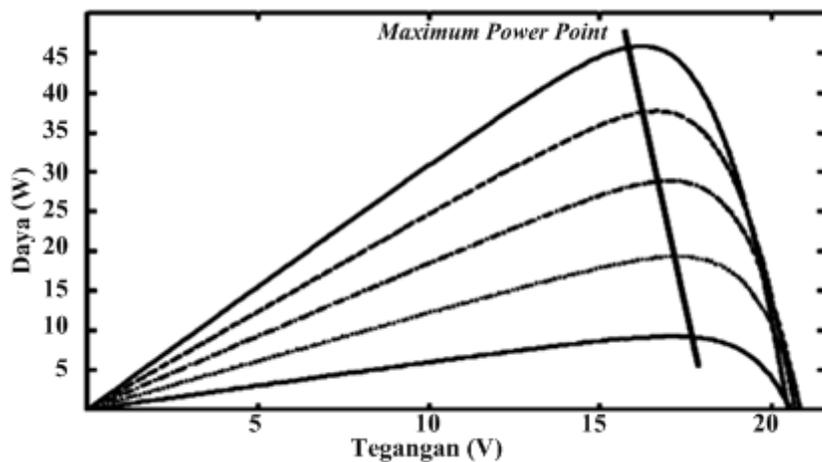
2.2.4. MPPT (Maximum Power Point Tracking)

MPPT adalah sebuah metode untuk mendapatkan daya maksimum dari sebuah sumber energi (energi matahari, angin, maupun yang lain) pada berbagai kondisi lingkungan dan kondisi beban. Titik daya maksimum pada berbagai kondisi pencahayaan ditunjukkan pada Gambar 2.12. Tingkat pencahayaan tertinggi ditunjukkan pada kurva paling atas, sementara tingkat pencahayaan yang lebih rendah ditunjukkan pada kurva di bawahnya. Titik daya maksimum dari berbagai kondisi pencahayaan ini dihubungkan dengan sebuah garis yang hampir vertikal (Wibisono, Pramono, & Muslim, 2014).

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sistem elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol sistem panel surya agar dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT adalah kontrol elektronis yang

terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada panel surya, bukan sistem pelacakan mekanis.

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya ketika beroperasi diantaranya suhu yang mempengaruhi besar tegangan, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan, dsb. Sistem MPPT memungkinkan kondisi yang bervariasi itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu.

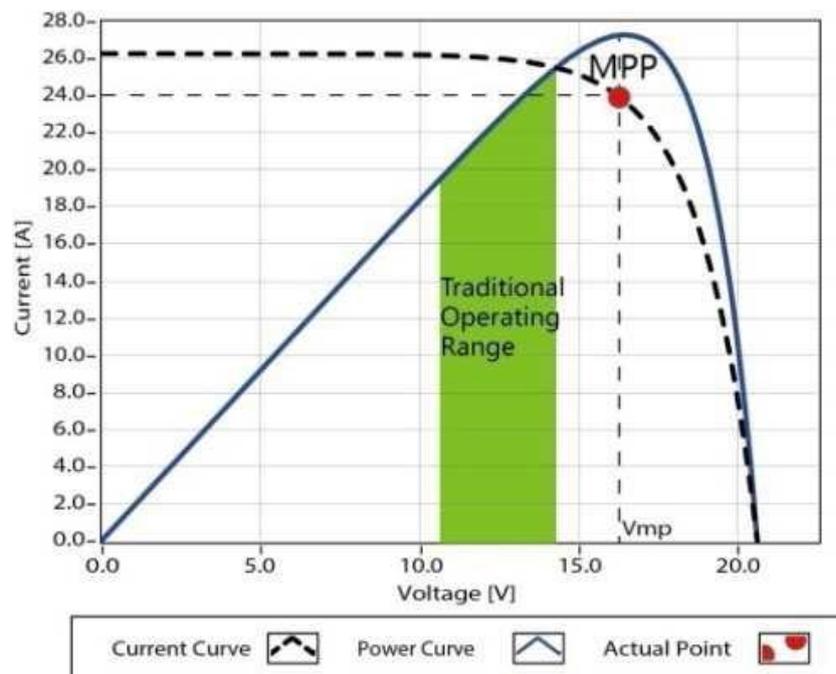


Gambar 2.14 Grafik Titik Daya Maksimum

Tegangan di mana modul PV dapat menghasilkan daya maksimum disebut 'titik daya maksimum' (atau tegangan daya puncak). Daya maksimum bervariasi dengan radiasi matahari, suhu lingkungan, dan suhu sel surya.

Prinsip utama MPPT adalah mengekstraksi daya maksimum yang tersedia dari modul PV dengan membuatnya beroperasi pada tegangan paling efisien (titik daya maksimum). Artinya, MPPT atau *Maximum Power Point Tracking* akan memeriksa output modul PV, membandingkannya dengan tegangan baterai, lalu memperbaiki daya apa yang dapat dihasilkan modul PV untuk mengisi daya baterai dan mengubahnya menjadi tegangan terbaik untuk mendapatkan arus maksimum ke dalam baterai. Itu juga dapat memasok daya ke beban DC, yang terhubung langsung ke baterai. MPPT paling efektif bekerja pada kondisi berikut ini (Wananda, 2019) :

- a. Cuaca dingin, berawan atau hari berawan: Biasanya, modul PV bekerja lebih baik pada suhu dingin dan MPPT digunakan untuk mengekstraksi daya maksimum yang tersedia dari mereka.
- b. Ketika baterai sangat habis: MPPT dapat mengekstrak lebih banyak arus dan mengisi baterai jika kondisi pengisian baterai lebih rendah.



Gambar 2.15. Grafik Maximum Power Point

Teknologi Pelacakan Titik Daya Maksimum (MPPT) yang dapat mengunci ke titik efisiensi tertinggi dari panel surya untuk mengekstrak energi maksimum dan mengirimkannya ke baterai. MPPT terus membandingkan dan menyesuaikan berbagai titik pada kurva output panel surya untuk menemukan titik MPP (efisiensi tertinggi). Proses pelacakan sepenuhnya otomatis dan tidak memerlukan keterlibatan pengguna.

Sesuai Gambar 2.13, teknologi MPPT akan ‘meningkatkan’ arus pengisian baterai (amp) melalui pelacakan MPP. Dengan asumsi efisiensi konversi sebesar 100% pada tata surya, arus baterai akan meningkat sesuai dengan rumus (Universe, 2016):

$$PPV = Pbat$$

$$VMpp \times Ipv = Vbat \times Ibat \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

PPV = Daya masukan

Pbat = Daya keluaran

VMpp = Tegangan input

Ipv = Arus input

Vbat = Tegangan baterai

Ibat = Arus baterai

Biasanya, VMpp selalu lebih tinggi dari Vaat. Karena prinsip kekekalan energi, Ibat selalu lebih tinggi dari Ipy. Semakin besar perbedaan antara VMpp & Vbat, semakin besar perbedaan antara Ipy & Bar. Semakin besar perbedaan antara tegangan surya dan baterai, semakin besar pengurangan efisiensi konversi pengontrol standar. Sehingga dengan menggunakan MPPT solar charge controller ini, efisiensi sistem PV dapat ditingkatkan secara signifikan.

Gambar 2.13. adalah kurva titik daya maksimum panel surya. Area yang diarsir adalah rentang pengisian dari pengontrol PWM standar. Teknologi MPPT dari kontroler ini dapat menggeser titik pada kurva ke arus yang lebih tinggi, dan meningkatkan efisiensi sebesar 20%-30% (rata-rata) dibandingkan dengan kontroler PWM standar.

Beberapa pengontrol muatan surya MPPT tidak dapat melacak beberapa titik MPP secara akurat, akibatnya mereka mengunci diri ke titik yang salah dan bekerja dengan efisiensi yang berkurang. Pengontrol muatan surya ini memiliki teknologi MPPT khusus yang dapat menangani beberapa titik MPP dan melacak titik MPP yang sebenarnya dengan cepat dan akurat, meningkatkan efisiensi sistem dan menghindari pemborosan energi.



Gambar 2.16 Maximum Power Point

1. Fungsi dan Kegunaan MPPT

MPPT mempunyai beberapa fungsi dan kegunaan, yaitu:

- a. MPPT dapat mencegah pengisian energi baterai yang berlebihan dengan membatasi jumlah dan laju pengisian daya ke baterai. MPPT juga mencegah pengurasan baterai dengan mematikan sistem jika daya yang tersimpan turun di bawah kapasitas 50 persen dan mengisi baterai pada level voltase yang benar. Ini membantu menjaga baterai lebih awet dan sehat (Faizal & Setyaji, 2016).
- b. Perlindungan kelebihan beban: Jika arus yang mengalir ke baterai jauh lebih tinggi daripada yang dapat ditangani circuit, sistem mungkin kelebihan beban. Hal ini dapat menyebabkan panas berlebih dan menyebabkan kebakaran. MPPT menyediakan fungsi penting dari perlindungan beban berlebih. Dalam sistem yang lebih besar, direkomendasikan perlindungan keamanan ganda dari pemutus sirkuit atau sekering.

- c. Pemutusan tegangan rendah: Fitur ini berfungsi sebagai pemutusan otomatis beban tidak kritis dari baterai ketika tegangan turun di bawah ambang yang telah ditentukan. Pemutus ini akan secara otomatis terhubung kembali ke baterai saat sedang diisi. Hal ini akan mencegah pelepasan muatan berlebih dan melindungi peralatan elektronik agar tidak beroperasi pada voltase yang sangat rendah (Kamil, 2016).
- d. Blokir Arus Terbalik: Panel surya mengalirkan arus melalui baterai ke satu arah. Pada malam hari, panel dapat secara alami mengalirkan sebagian arus tersebut ke arah sebaliknya. Ini dapat menyebabkan sedikit pengosongan dari baterai. MPPT mencegah hal ini terjadi dengan bertindak sebagai katup.

2.2.5. Unjuk Kerja Pembangkit

Unjuk kerja pembangkit adalah prestasi kerja pembangkit yang mencerminkan segi kemampuan, epektifitas dan efisiensi. Khususnyadalam hubungan dengan pemeliharaan dan pencegahan, unjuk kerja dinyatakan dalam efisiensi atau parameter-parameter lain yang menunjukkan kemampuan pemanfaatan energi. Dengan mengetahui unjuk kerja suatu pembangkit, maka dapat diambil penilaian kondisi yang baik atau tidak baik dan penilaian secara teknis dan ekonomi dari bekerjanya suatu pembangkit. Sehingga berdasarkan gejala yang ditimbulkan dari penilaian tersebut dapat diprediksi. Sehingga dapat dilakukan tindakan-tindakan pecegahan (Ilintamon, Pakiding, & Tumaliang, 2019).

Metode pemantauan unjuk kerja pembangkit adalah dengan prosedur yang disederhanakan (*simplifield procedure*), yaitu baik pengumpulan data dan perhitungan parameter-parameternya dilakukan dengan penyederhanaanagar memperoleh hasil yang cepat dan mudah walaupun tidak seakurat pada saat *comisioning test* (Aditya, 2017).

Namun demikian, hasil yang diperoleh dari *simplifield procedure* masih dapat dipertanggung jawabkan. Ini dikarenakan tujuan utama dari pada pengukuran unjuk kerja ini adalah mencermati kecenderungan yang

diperbandingkan dari waktu ke waktu. Sedangkan frekuensi pemantauan dan perhitungan parameter-parameter unjuk kerja dilakukan sebulan sekali pada beban yang sama.

Parameter unjuk kerja pembangkit dapat diambil dari peralatan-peralatan utama yang secara kualitas mempunyai pengaruh besar terhadap pemanfaatan pembangkit tersebut. Parameter unjuk kerja pembangkit juga dapat diambil dari faktor utama yang mempengaruhi kinerja pembangkit tersebut.

Pada PLTS, faktor utama yang mempengaruhi variasi produksi energi listrik pada pembangkit adalah iradiasi matahari, temperatur modul surya, dan shading yang terjadi selama waktu operasi. Iradiasi mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan PLTS, temperatur modul mempengaruhi tegangan yang dihasilkan PLTS, sedangkan shading mempengaruhi iradiasi matahari yang diterima modul surya pada proses pembangkitan, yang sekaligus berpengaruh terhadap unjuk kerja PLTS.

Performa atau unjuk kerja PLTS jika dilihat berdasarkan alat ukur kWh meter sendiri sangatlah mudah untuk dilaporkan, namun ketika tujuannya sebagai suatu perbandingan kelayakan yang adil antara pembangkit-pembangkit tersendiri, tidaklah sesederhana itu. Pertama-tama iklim dari matahari ialah berbeda dari satu lokasi dengan lokasi lainnya, dan data cuaca tidak selalu dapat diperkirakan lebih dekat. Selanjutnya, energi terpasang real pada umumnya tidak diketahui secara persis, akibat efek dari shading yang tidak diketahui (Sukerayasa et al., 2014). Pemanasan berlebih, dan ketersediaan jaringan. Akan tetapi standar presentasi berbeda dari performa atau unjuk kerja PLTS sudah dikembangkan dari waktu ke waktu, dan yang paling biasa digunakan pada umumnya untuk mengetahui keluaran energi dari suatu PLTS selama periode tahunan atau bulanan berdasarkan pada hal berikut:

1. Performa spesifik dalam kWh bersih (net kWh) yang terkirim ke jaringan per kW dari daya nominal modul surya yang terpasang sama dengan (equivalent) terhadap jumlah dari beban Penuh untuk pembangkit.

2. Faktor kapasitas (capacity factor). Hal ini didapat sebagai persamaan jam beban penuh sekitar Dalam % dari waktu sebelumnya.
3. Rasio performa bulanan dan tahunan, digambarkan sebagai jumlah aktual dari energi PLTS ke jaringan pada satu periode, dibagi oleh jumlah teoritis menurut data STC dari modul surya.

Berdasarkan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 61724: pedoman pemantauan kinerja sistem *Photovoltaic* untuk pengukuran, pertukaran data dan analisis, parameter unjuk kerja PLTS dipresentasikan ke dalam formula sebagai berikut(Fajri, 2020):

1. Hasil Akhir / Final Yield (YF)

Hasil akhir atau final yield (YF) bisa didapatkan dari periode tahunan, Bulan, atau harian dari produksi energi (kWh AC) dari sistem ini dibagi Dengan daya puncak yang dihasilkan dari PV Array (kWp DC) yang Terpasang saat kondisi pengujian standar (STC) dengan nilai radiasi Matahari sebesar 1000 W/m² dan temperatur modul PV sebesar 25° C.

$$YF = \frac{E_{pv}}{P_o}(\text{kWh AC} / \text{kWp DC}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

P_o : Daya Puncak (kWp DC)

EPV : Energi yang dikirim ke beban oleh PLTS (kWh AC)

2. Hasil Acuan / Reference Yield (YR)

Hasil acuan atau reference yield (YR) merupakan nilai total dari radiasi cahaya matahari dalam satu bidang permukaan bumi (HT) dengan satuan kWh/m² dibagi dengan radiasi matahari di Array PV acuan 1000 W/m².

$$YR = \frac{Ht}{Gstc}(\text{kWh} / \text{m}^2 / \text{kWp}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

HT : Iradiasi pada bidang array (kWh/m²)

GSTC : Iradiasi referensi pada kondisi STC (1000 W/m²)

3. Rasio Performa / Ratio Performance (PR)

Kualitas dari suatu PLTS dapat juga melalui nilai Performance Ratio (PR). PR biasanya dinyatakan dalam persentase, yang menunjukkan total pada saat sistem dari DC menjadi keluaran AC.

$$PR = \frac{Pr (Kwh)}{PSH(hours) \times Ps (W)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

PR : Performance Ratio (%)

Pr: Daya yang terukur (dalam 1 hari) (kWh) / Daya yang terbangkitkan PLTS

Ps: Daya berdasarkan data spesifikasi ((W) / Kapasitas PLTS

YF: Nilai aktual output PLTS (kWh)

YR: Output nominal PLTS yang dihitung (kWh)

Commissioning Test adalah proses memastikan atau pengujian operasional suatu pekerjaan secara real maupun secara simulasi untuk memastikan pekerjaan telah selesai dilaksanakan. Proses pengujian juga dilakukan untuk memastikan bahwa pekerjaan telah memenuhi semua peraturan yang berlaku sesuai standar yang ditetapkan antara pelaksana kerja dan pemilik atau klien akhir (Renaldo Rizqi & Ali, 2018).

Dengan adanya pelaksanaan commissioning ini akan didapatkan kepastian hasil suatu pekerjaan. Pelaksanaan komisioning biasanya dilakukan apabila

pelaksana kerja telah menyelesaikan pekerjaannya dan siap untuk melakukan start-up.

Apabila komisioning ini tidak dilaksanakan, maka tidak pernah diketahui fungsi dan kinerja peralatan, sub-sistem, dan sistem. Sehingga hasil pekerjaan tidak layak untuk dioperasikan.

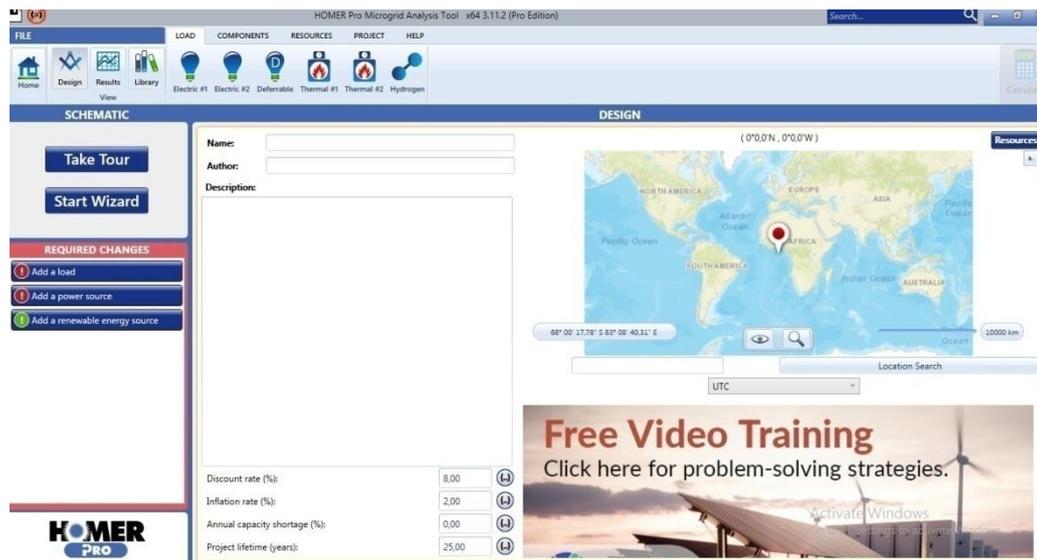
2.2.6. Aplikasi HOMER Pro

HOMER merupakan simulasi pemodelan komputer yang dikembangkan oleh The National Renewable Energy Laboratory (NREL) Amerika Serikat untuk optimasi desain sistem pembangkit listrik. HOMER adalah singkatan The Hybrid Optimization Model for Electric Renewables. Perangkat lunak HOMER Pro adalah standar global untuk mengoptimalkan desain mikrogrid di semua sektor, mulai dari pembangkit listrik desa dan utilitas pulau hingga kampus dan pangkalan militer yang terhubung dengan jaringan. HOMER menyederhanakan tugas evaluasi desain untuk sistem tenaga off-grid dan grid-connected (Pasiowan et al., 2021)

Pada dasarnya, program aplikasi HOMER bekerja atas tiga prinsip yaitu simulasi, optimasi dan analisa sensitivitas. Program Aplikasi HOMER mensimulasikan sejumlah konfigurasi sistem untuk memperoleh konfigurasi sistem optimal yang terbaik. HOMER memberikan keleluasaan pada setiap perancang untuk memasukkan nilai sekumpulan nilai untuk satu variabel masukan. Variabel masukan yang diinput dalam berupa multiplikasi nilai disebut variabel sensitifitas, dengan demikian tahapan proses sensitifitas, perangkat lunak HOMER menampilkan multiplikasi optimasi dalam rentang variabel yang mempengaruhi nilai masukan seperti harga bahan bakar, suku bunga, tarif dasar listrik, umur komponen, beban, dan variabel pembangkit listrik terbarukan lainnya (Usman & Syuhada, 2015).

Ketika Pengguna ingin mengeksplorasi efek perubahan pada faktor- faktor seperti ketersediaan sumber daya dan kondisi ekonomi mungkin berpengaruh pada efektivitas biaya konfigurasi sistem yang berbeda, Pengguna dapat menggunakan model untuk melakukan analisis sensitivitas. Untuk melakukan

analisis sensitivitas, Pengguna berikan HOMER dengan nilai sensitivitas yang menggambarkan berbagai sumber daya ketersediaan dan biaya komponen. HOMER mensimulasikan setiap sistem konfigurasi pada rentang nilai. Pengguna dapat menggunakan hasil analisis sensitivitas untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki dampak terbesar pada desain dan operasi sistem tenaga. Pengguna juga bisa menggunakan Hasil analisis sensitivitas HOMER untuk menjawab pertanyaan umum tentang pilihan teknologi untuk menginformasikan perencanaan dan keputusan kebijakan.



Gambar 2.17. Tampilan Utama Aplikasi HOMER Pro

HOMER menyederhanakan tugas merancang sistem pembangkit terdistribusi, baik di dalam maupun di luar jaringan. Algoritma analisis optimasi dan sensitivitas HOMER memungkinkan Anda untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dan teknis dari sejumlah besar opsi teknologi dan untuk memperhitungkan variasi dalam biaya teknologi dan ketersediaan sumber daya energi (Riandra, 2021).

Untuk bekerja secara efektif dengan HOMER, maka dibutuhkan penerapan tentang ketiga kemampuan inti HOMER, yaitu: simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas, serta bagaimana mereka berinteraksi.

HOMER adalah model simulasi. Maka, HOMER akan mensimulasikan sistem yang layak untuk semua kemungkinan kombinasi peralatan yang ingin dipertimbangkan. Tergantung pada bagaimana konfigurasi dari permasalahan yang terjadi, HOMER dapat mensimulasikan ratusan atau bahkan ribuan sistem (HOMER, 2016).

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan membuat perhitungan keseimbangan energi di setiap langkah waktu dalam setahun. Untuk setiap langkah waktu, HOMER membandingkan permintaan listrik dan panas dalam langkah waktu yang ditetapkan dengan energi yang dapat disuplai sistem dalam langkah waktu yang ditetapkan, dan menghitung aliran energi yang keluar dan energi yang masuk di setiap komponen sistem. Untuk sistem yang menyertakan baterai atau generator bertenaga bahan bakar, HOMER juga memutuskan dalam setiap langkah waktu bagaimana mengoperasikan generator dan apakah akan mengisi atau mengeluarkan baterai.

HOMER melakukan perhitungan keseimbangan energi ini untuk setiap konfigurasi sistem yang ingin dipertimbangkan. Kemudian menentukan apakah konfigurasi layak, (yaitu apakah dapat memenuhi permintaan listrik di bawah kondisi yang ditentukan), dan memperkirakan biaya pemasangan dan pengoperasian sistem selama masa proyek. Perhitungan biaya sistem, serta memperhitungkan biaya seperti modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga.

Langkah optimasi mengikuti semua simulasi. sistem simulasi tersebut diurutkan dan difilter menurut kriteria yang telah ditetapkan, sehingga dapat dilihat kemungkinan yang paling cocok. Meskipun HOMER pada dasarnya adalah model pengoptimalan ekonomis, juga dapat menjadi opsi untuk meminimalkan penggunaan bahan bakar.

HOMER Pro memiliki dua algoritma optimasi. Pertama, algoritma pencarian *original grid* mensimulasikan semua konfigurasi sistem yang layak yang ditentukan oleh Ruang Pencarian. Kedua, pengoptimal HOMER menggunakan algoritma turunan bebas berpemilik untuk mencari sistem dengan biaya terendah. HOMER kemudian menampilkan daftar konfigurasi, diurutkan

berdasarkan biaya bersih terkini (kadang-kadang disebut biaya siklus hidup), yang dapat digunakan untuk membandingkan opsi desain sistem.

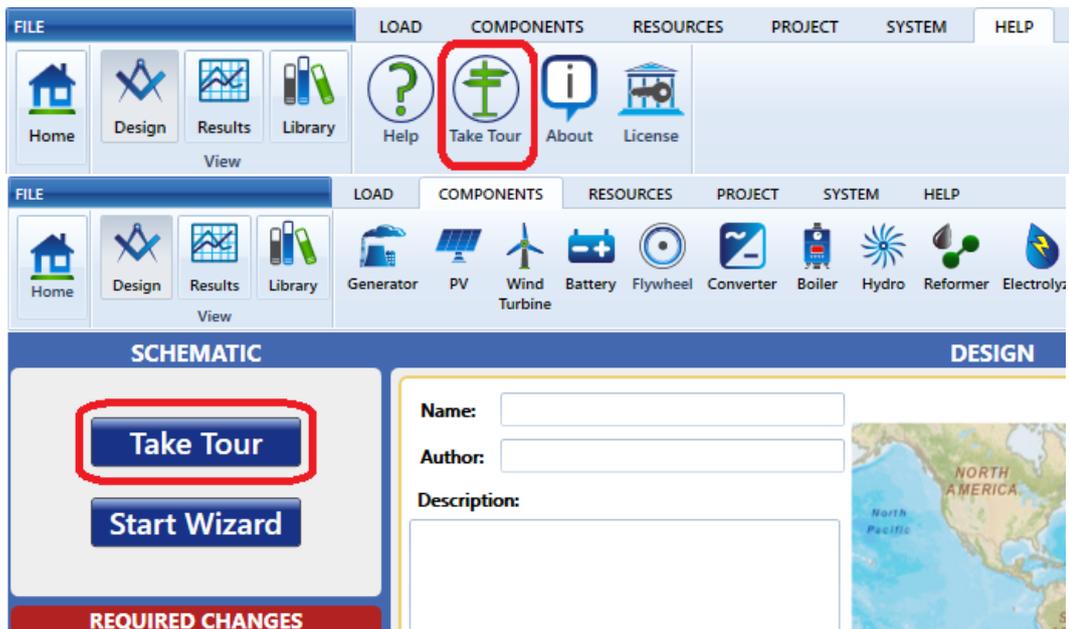
Analisis sensitivitas adalah langkah opsional yang memungkinkan Anda memodelkan dampak variabel yang berada di luar kendali Anda, seperti kecepatan angin, biaya bahan bakar, dll, dan melihat bagaimana sistem optimal berubah dengan variasi ini.

Saat Anda mendefinisikan variabel sensitivitas sebagai input, HOMER mengulangi proses pengoptimalan untuk setiap variabel sensitivitas yang telah ditentukan. Misalnya, jika didefinisikan kecepatan angin sebagai variabel sensitivitas, HOMER akan mensimulasikan konfigurasi sistem untuk rentang kecepatan angin yang telah ditentukan.

1. *Tour*

HOMER Pro dapat membantu di dalam merancang sistem tenaga mikro terbaik untuk memenuhi kebutuhan yang diinginkan. “Tour” ini dimaksudkan untuk membantu Anda memulai dengan cepat dengan perangkat lunak.

Tour tersedia dari toolbar “*Help*” kapan saja atau melalui tombol besar pada “*Schematic*” saat pertama kali memulai proyek baru.



Gambar 2.18. Tampilan Menu *Take Tour* pada HOMER

Tour ini dimaksudkan untuk membantu di dalam memulai HOMER Pro secara cepat dengan berjalan melalui satu cara untuk menjalankan analisis. Hal ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan studi tentang bagaimana sistem tenaga beroperasi atau untuk mencakup semua bidang HOMER. Ini akan memberikan keakraban pada dasar antarmuka.

2. Modul pada HOMER

Beberapa Modul pada HOMER tersedia, telah menambahkan fungsionalitas tingkat lanjut ke HOMER Pro. Modul baru akan tersedia saat dikembangkan. Tabel di bawah ini mencantumkan modul yang tersedia saat ini.

Tabel 2.3. Modul pada HOMER pro dan fiturnya

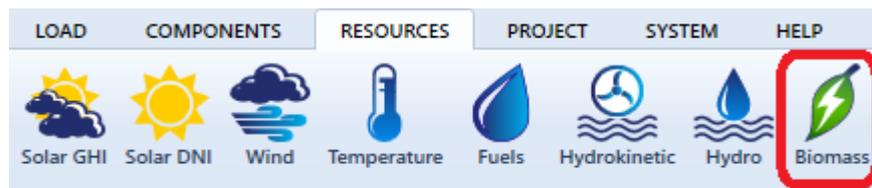
Modul	Fitur
Biomassa	Sumber daya biomassa, bahan bakar bio-gas, bio-gas dan generator co-fired.
Hidro	Komponen hidro dan sumber daya hidro.
<i>Combined Heat and Power</i>	Beban termal, boiler, pengontrol beban termal, dan panas generator
<i>Advanced Load</i>	Beban listrik tambahan dan beban yang dapat ditanggihkan.
<i>Advance Grid</i>	Tarif waktu nyata, harga waktu penggunaan (disebut tarif terjadwal dalam HOMER), model ekstensi grid dan biaya permintaan
Hidrogen	Termasuk komponen reformer, elektroliser, tangki hidrogen, dan sel bahan bakar (generator berbahan bakar hidrogen tersimpan), serta beban hidrogen.

Modul	Fitur
<i>Advance Storage</i>	Membuka model baterai kinetik yang dimodifikasi dengan kehilangan yang bergantung pada laju, efek suhu pada kapasitas, degradasi karena siklus, dan efek suhu pada degradasi. Efek degradasi baterai paling baik dimodelkan dengan model multi-years
<i>Multi-Years</i>	Model eskalasi atau variasi harga jaringan atau bahan bakar, pertumbuhan beban, perubahan insentif ekonomi, degradasi baterai, dan degradasi PV.

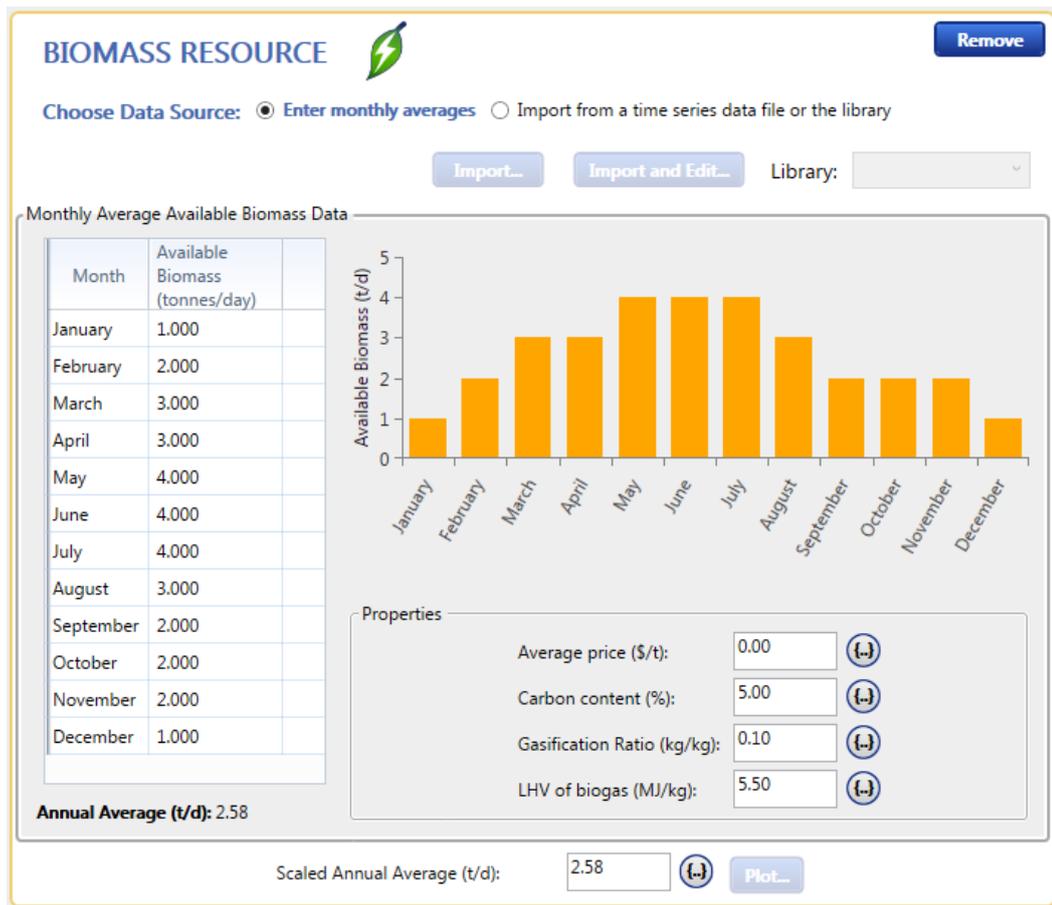
a. Modul Biomassa

Modul Biomassa dimungkinkan untuk memodelkan gasifikasi biomassa dan generator berbahan bakar biogas atau co-fired. Ini dapat menambahkan sumber daya antara biomassa, bahan bakar biogas, dan generator berbahan bakar biogas. Modul Biomassa dapat mendukung pengguna yang memodelkan sistem yang berjalan pada sebagian besar jenis bahan baku biomassa dan proses gasifikasi.

Untuk menentukan ketersediaan dan biaya bahan baku biomassa, terdapat di menu "*Biomass Resource*". Karena biomassa mentah umumnya tidak dapat digunakan dalam generator, pertama-tama biomassa tersebut diubah menjadi biogas melalui proses yang disebut gasifikasi. Parameter proses ini dapat ditentukan di sini. Biogas dapat dibakar dalam biogas atau *generator co-fired* seperti bahan bakar lainnya.



Gambar 2.19. Tampilan Menu *Biomassa Resource* pada HOMER



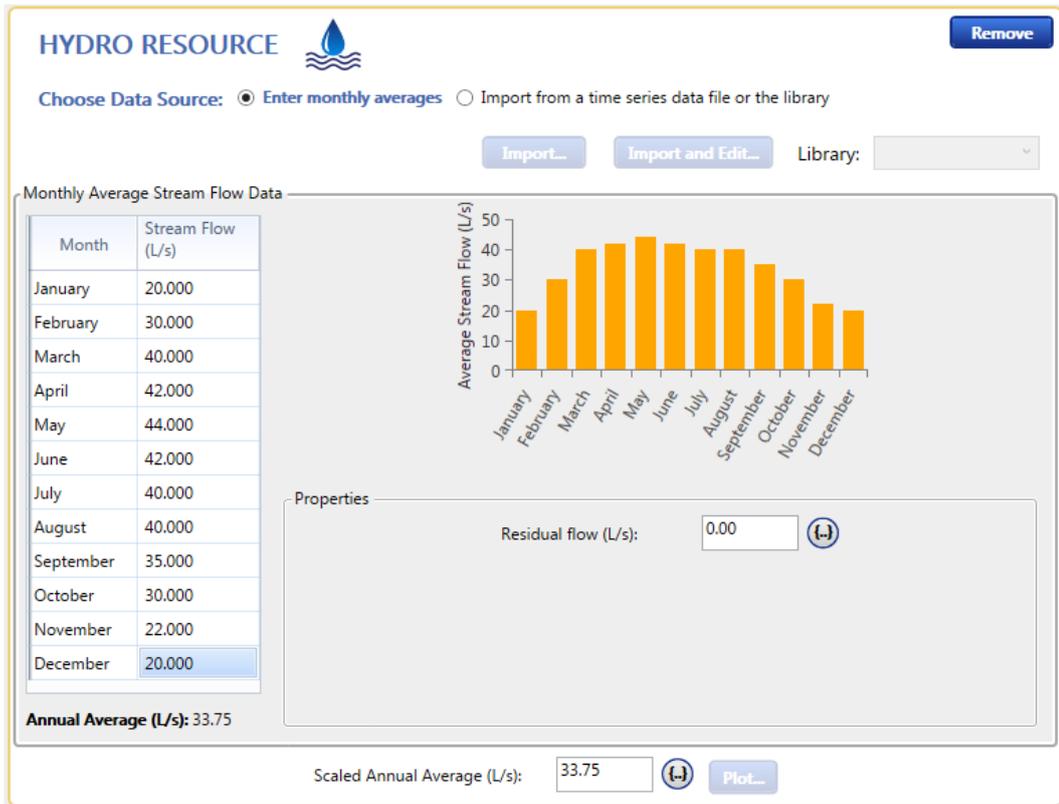
Gambar 2.19. Tampilan Menu *Biomassa Resource* pada HOMER

b. Modul Hidro

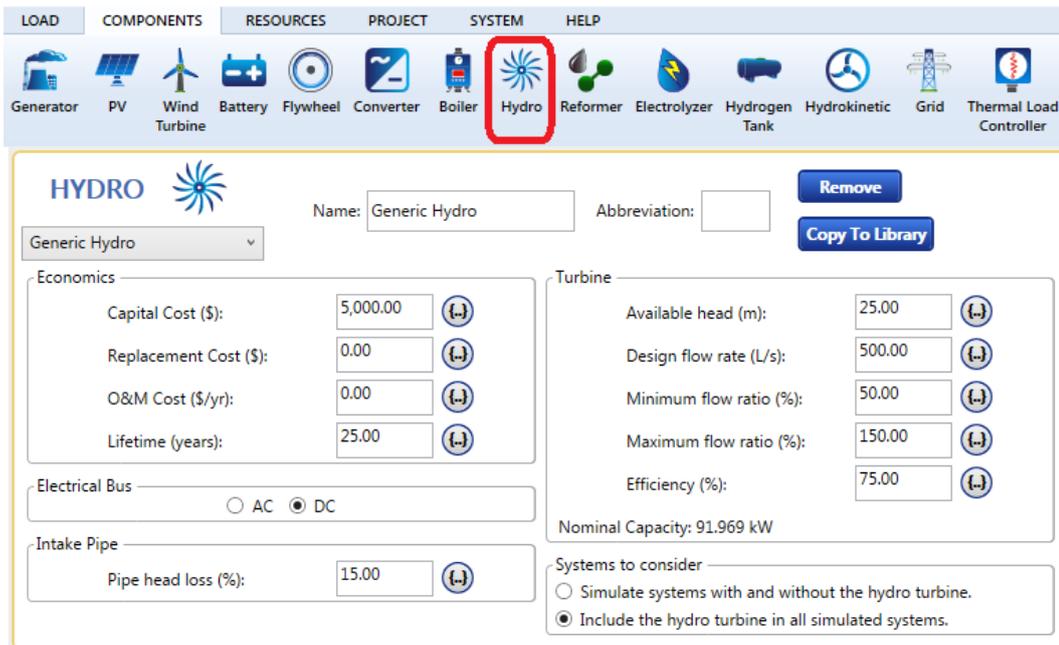
Modul Hidro dapat ditambahkan melalui menu ‘*Hydro Resource*’ dan ‘*Hydro Component*’. Menu ‘*Hydro Resource*’ merupakan menu yang dapat menentukan aliran-aliran, baik sebagai nilai dua belas bulanan, atau sebagai deret waktu yang diimpor. Modul Hidro sangat ideal untuk pengguna yang memodelkan sistem yang mencakup pembangkit listrik tenaga air konvensional, kecil, atau mikro.



Gambar 2.18. Tampilan Menu *Hydro Resource* pada HOMER



Gambar 2.20. Tampilan Menu *Hydro Resource* pada HOMER



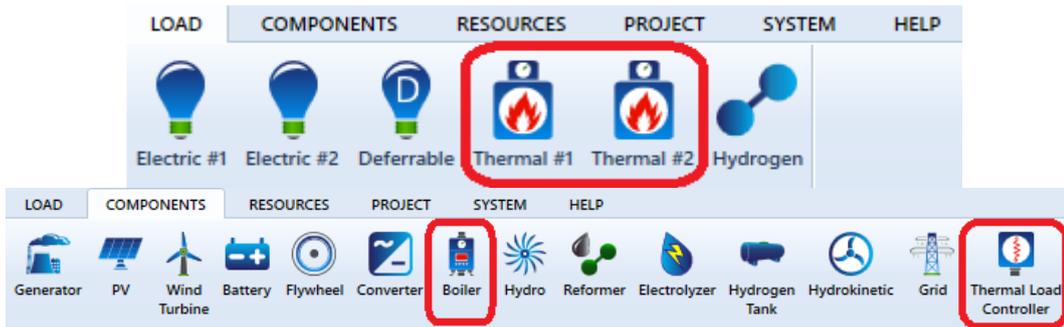
Gambar 2.21. Tampilan Menu *Hydro Components* pada HOMER

Untuk dapat menentukan biaya, available head, laju aliran desain, jangkauan operasi, dan kerugian sistem hidro di menu 'Hydro Component'.

c. Modul *Combined Heat and Power*

Modul *Combined Heat and Power* digunakan untuk memodelkan pemanas gedung, boiler, kogenerasi dan pemulihan panas, dan sistem apa pun yang menuntut dan/atau memasok energi panas.

Modul *Combined Heat and Power* menambahkan dua (2) beban termal, pengontrol beban termal, komponen boiler, dan parameter rasio pemulihan panas di menu generator.

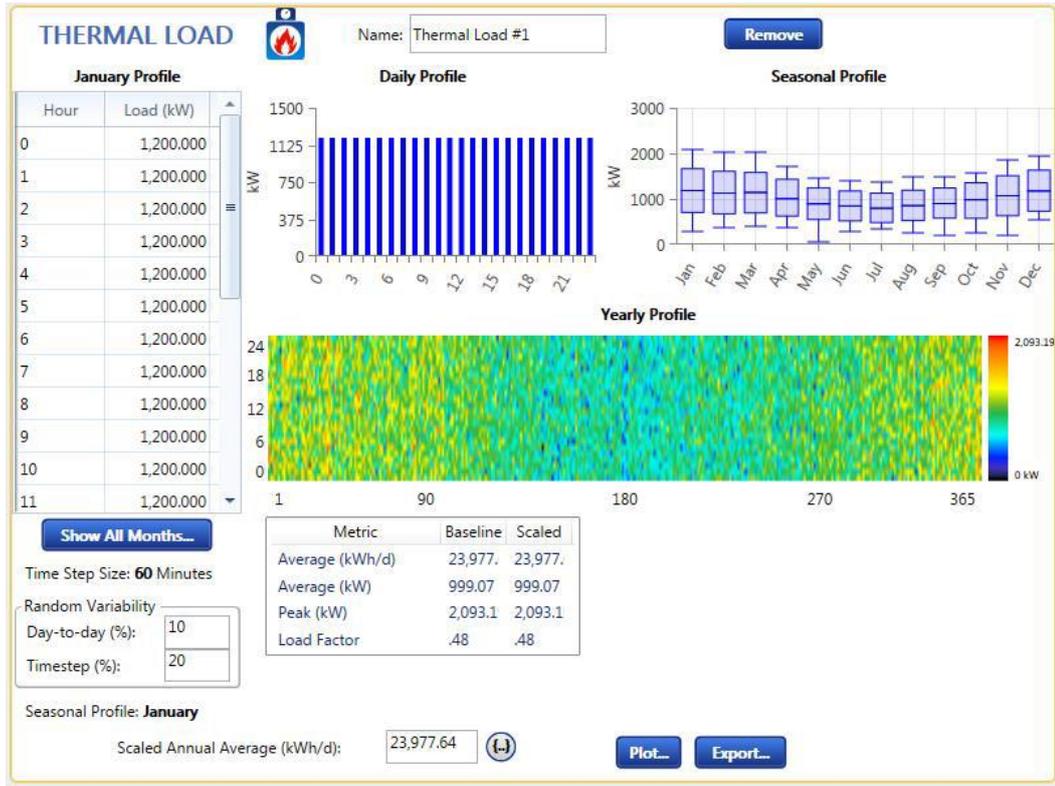


Gambar 2.22. Tampilan Menu *Combined Heat and Power* pada HOMER

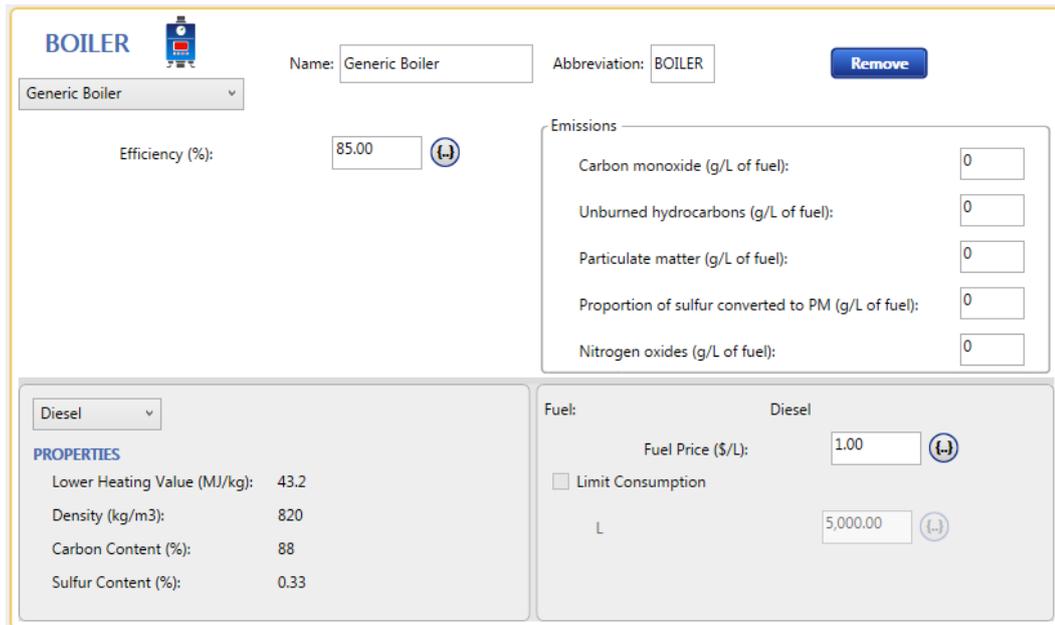
Beban termal dapat memodelkan bangunan, proses industri, peralatan seperti pendingin penyerapan panas, dan sistem lain yang mengkonsumsi energi panas. Modul *Combined Heat and Power* menambahkan parameter "Rasio Pemulihan Panas" ke menu generator. Untuk mengatur sistem *Combined Heat and Power*, atur parameter ini ke angka yang lebih besar dari nol.



Gambar 2.23. Tampilan Menu *Thermal Load* pada HOMER



Gambar 2.21. Tampilan Menu *Thermal Load* pada HOMER



Gambar 2.24. Tampilan Menu *Boiler* pada HOMER

Jika terdapat beban termal, maka harus menambahkan *'Boiler'*. HOMER tidak memperhitungkan kekurangan kapasitas beban termal, sehingga setiap bagian yang tidak terpenuhi akan dipasok oleh boiler. Ini juga mengapa kapasitas boiler tidak terbatas.

Pengontrol beban termal mengubah listrik ekstra menjadi panas. Opsi “jangan sertakan pengontrol beban termal dalam pengoptimalan” akan mengabaikan biaya pengontrol beban termal dan akan memungkinkan kapasitas tak terbatas.

THERMAL LOAD CONTROLLER

Name: Thermal Load Controller Abbreviation: TLC Remove Copy To Library

Thermal Load Controller

Properties

Name: **Thermal Load Controller**
 Abbreviation: TLC
 Manufacturer: **Generic**
 Website: www.homerenergy.com
 Notes:
This is a generic Thermal Load Controller.

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$200.00	\$200.00	\$0.00

Multiplier: [-] [-] [-]

Search Space

Size (kW)
100

Lifetime (years): 20.00 [-]

Bus Connection: Both

Do not include the thermal load controller in the optimization.

Gambar 2.25. Tampilan Menu *Thermal Load Controller* pada HOMER

d. Modul *Advance Load*

Modul *Advance Load* (Modul Beban Lanjutan) digunakan untuk membuat model dengan beban AC dan DC, atau membuat model beban yang dapat ditangguhkan seperti pemompaan atau HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*)



Gambar 2.26. Tampilan Menu Modul *Advance Load* pada HOMER

Modul *Advance Load* menambahkan beban listrik kedua dan beban yang dapat ditangguhkan. Beban yang dapat ditangguhkan adalah beban yang membutuhkan sejumlah energi yang disuplai, tetapi dapat menunggu hingga daya tersedia dan tidak perlu disuplai pada saat tertentu.

The image shows the 'DEFERRABLE LOAD' configuration window. It includes a table for monthly averages, input fields for scaled annual average, storage capacity, peak load, and minimum load ratio, and a graph area.

Month	Average Load (kWh/d)
January	0.000
February	0.000
March	0.000
April	0.000
May	0.000
June	0.000
July	0.000
August	0.000
September	0.000
October	0.000
November	0.000
December	0.000

Annual Average (kWh/d): 0.00

Name: Deferrable Load [Remove]

Scaled Annual Average (kWh/d): 0.00

Storage Capacity (kWh): 0.00

Peak Load (kW): 0.00

Minimum load ratio (%): 0.00

Electrical Bus: AC DC

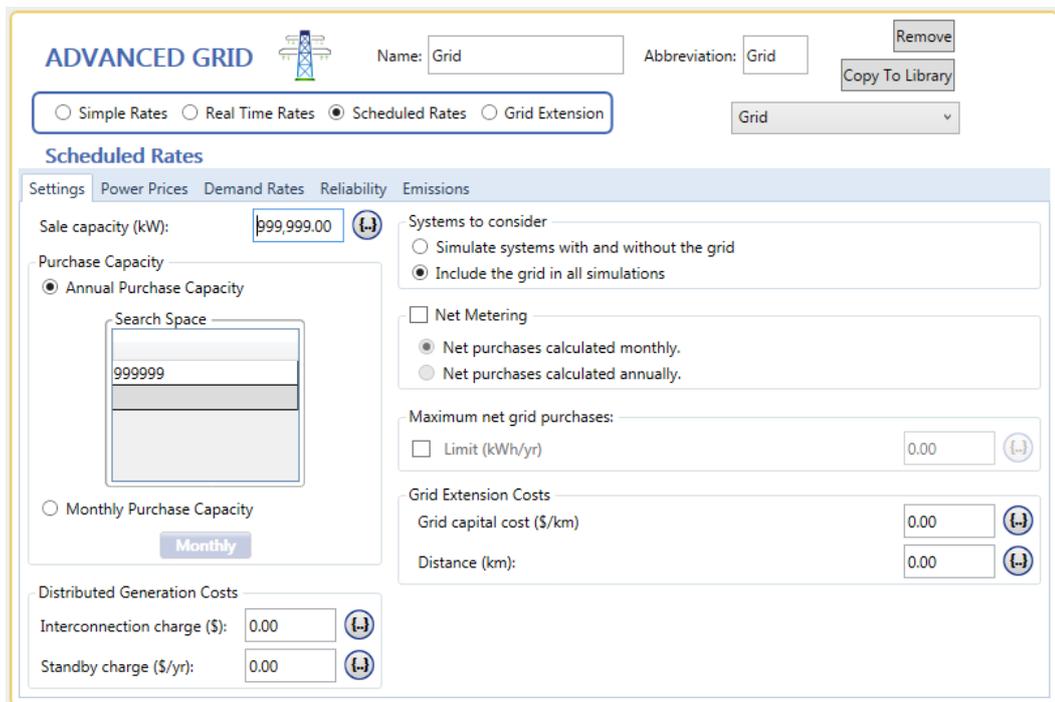
The graph area shows a vertical axis from 0 to 10 and a horizontal axis with months from January to December. The plot area is currently empty.

Gambar 2.27. Tampilan Menu Deferrable Load pada HOMER

e. Modul *Advanced Grid*

Modul *Advanced Grid* sangat ideal untuk pengguna yang akan memodelkan sistem yang terhubung ke grid dengan harga grid yang bervariasi, spesifikasi grid yang terperinci, atau sistem off-grid di mana ekstensi grid dimungkinkan. Modul ini memungkinkan untuk pemodelan sistem yang terhubung ke jaringan dengan harga waktu nyata atau terjadwal, analisis ekstensi jaringan, dan pemadaman jaringan. Modul ini menambahkan tarif waktu nyata, tarif terjadwal, ekstensi grid, dan menu keandalan ke grid.

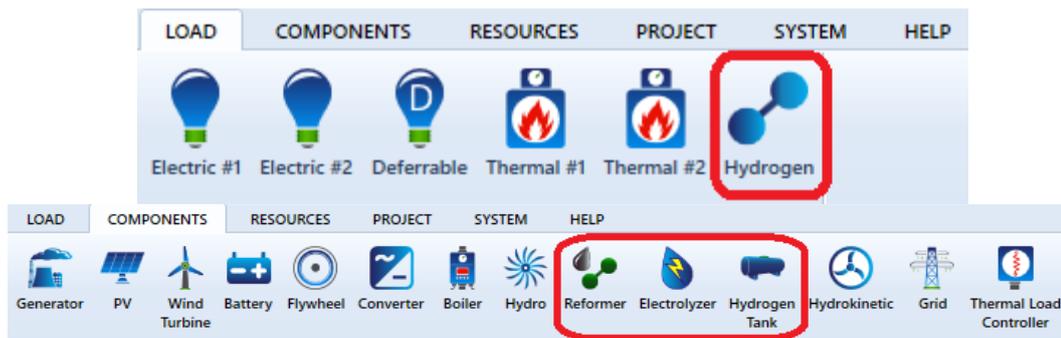
Modul *Advanced Grid* juga menambahkan pilihan berikut: biaya interkoneksi, biaya siaga, kapasitas penjualan, kapasitas pembelian, dan pembelian bersih maksimum. Model ini juga menambahkan pilihan untuk pengukuran bersih, dan beberapa parameter kontrol lanjutan untuk menyesuaikan saat pengiriman memutuskan untuk membeli atau menjual daya dan mengisi atau mengeluarkan baterai berdasarkan tarif jaringan.



Gambar 2.28. Tampilan Menu Modul *Advance Grid* pada HOMER

Modul *Advanced Grid* juga dapat melakukan analisis ekstensi, yang membandingkan biaya ekstensi grid dengan biaya sistem mandiri. Dan juga dapat menentukan biaya modal dan biaya pemeliharaan ekstensi jaringan di menu ekstensi jaringan. *Advanced Grid* juga mencakup kemampuan untuk memodelkan pemadaman grid terjadwal dan ac

f. Modul Hidrogen



Gambar 2.29. Tampilan Menu Modul Hidrogen pada HOMER

Modul Hidrogen memungkinkan untuk pembuatan model sistem yang menghasilkan, menyimpan, dan mengonsumsi hidrogen. Ini sangat ideal untuk pengguna yang memodelkan sel bahan bakar, operasi off-grid jarak jauh, proses industri besar, atau sistem apa pun dengan produksi, penyimpanan, atau konsumsi hidrogen.

Modul ini menambahkan komponen *reformer*, *electrolyzer*, dan *hydrogen tank*. Modul ini juga menambahkan beban hidrogen dan generator berbahan bakar hidrogen yang tersimpan.

REFORMER 

Name: Abbreviation: Remove Copy To Library

Generic Reformer

Properties

Name: **Reformer**
 Abbreviation: **Reformer**
 Manufacturer: **Generic**
 Website: www.homerenergy.com
 Notes: **This is a generic reformer.**

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Multiplier:

Lifetime (years):

Efficiency (%):

Delivery Cost (\$/kg/km):

Properties

Lower Heating Value (MJ/kg): 43.2
 Density (kg/m3): 820
 Carbon Content (%): 88
 Sulfur Content (%): 0.33

Fuel: Diesel
 Fuel Price (\$/L):

Limit Consumption
 L

Search Space
 Size (kW)

Gambar 2.30. Tampilan Menu *Reformer* pada HOMER

ELECTROLYZER 

Name: Abbreviation: Remove Copy To Library

Properties

Name: **Electrolyzer**
 Abbreviation: **Electrolyzer**
 Manufacturer: **Generic**
 Website: www.homerenergy.com
 Notes: **This is a generic electrolyzer.**

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Multiplier:

Lifetime (years):

Efficiency (%):

Minimum load ratio (%):

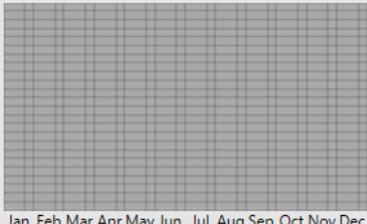
Electrical Bus
 AC DC

Step 1: Select a mode:
 Forced On Optimized

Step 2: Select a time period:
 All Week
 Weekdays
 Weekends

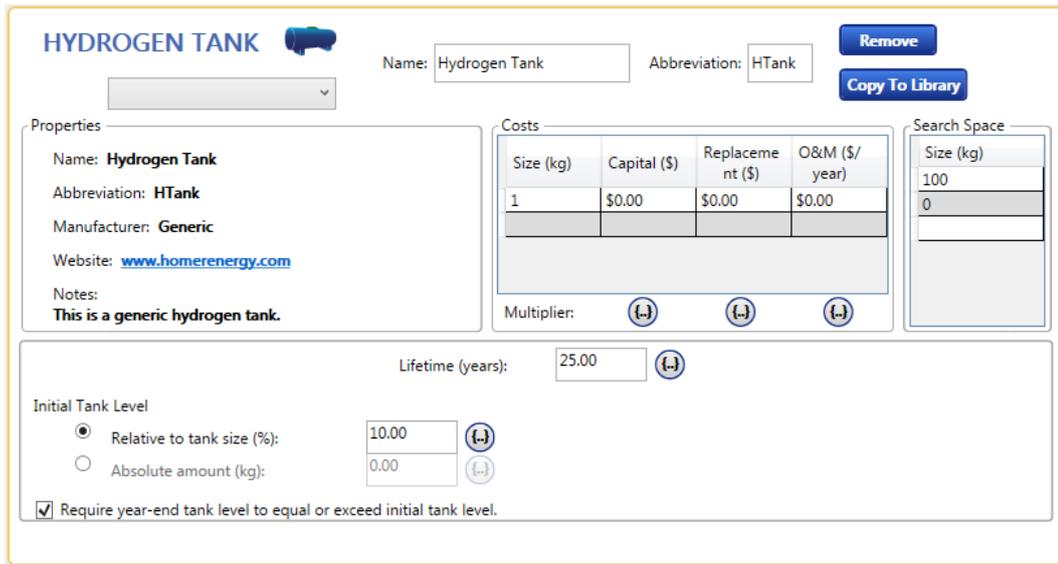
Step 3: Click on the chart to when the selected operating applies.

Electrolyzer Schedule



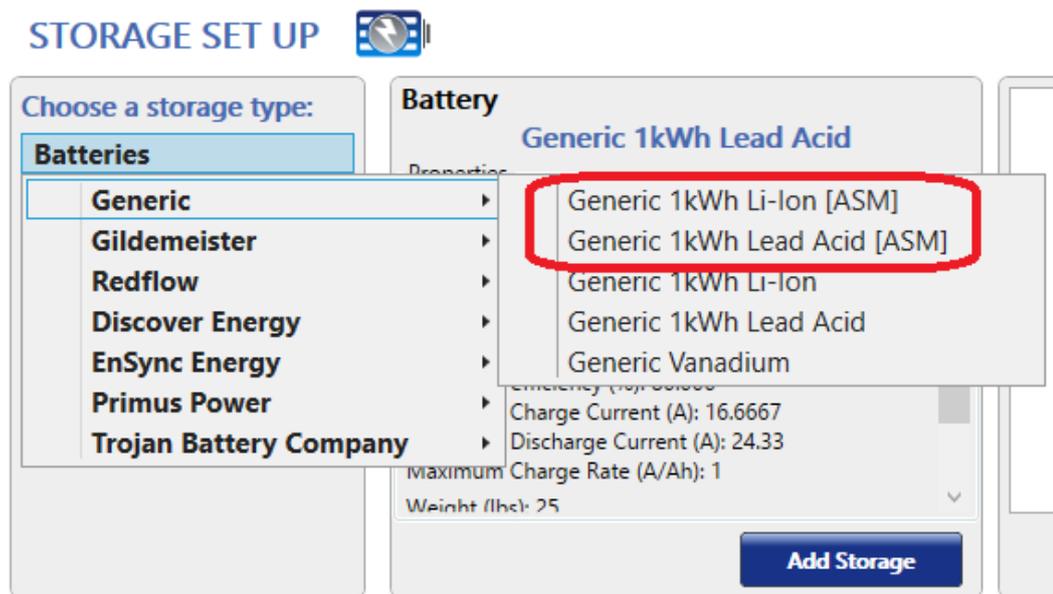
Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Gambar 2.31. Tampilan Menu *Electrolyzer* pada HOMER



Gambar 2.32. Tampilan Menu *Hydrogen Tank* pada HOMER

g. Modul Advance Storage



Gambar 2.33. Tampilan Menu Modul *Advance Storage* pada HOMER

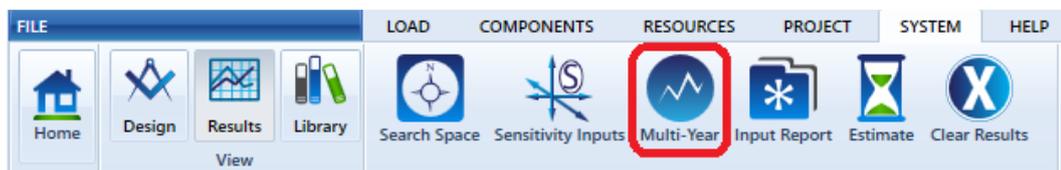
Modul *Advance Storage* (Modul Penyimpanan Lanjutan) membuka kunci Model Baterai Kinetik Modifikasi di HOMER. Model Baterai Kinetik Modifikasi

(MKBM) mencakup kehilangan yang bergantung pada laju, perubahan kapasitas dengan suhu, kedalaman pengosongan variabel untuk masa pakai siklus, dan peningkatan laju degradasi pada suhu yang lebih tinggi. Dengan Modul Penyimpanan Lanjutan, maka dapat membuat baterai yang baru menggunakan MKBM, menambahkan baterai tersebut ke model HOMER Anda, dan menghitung hasil untuk model HOMER yang menyertakan baterai dengan fitur ini.

MKBM dirancang untuk kepraktisan. Meskipun cara kerja bagian dalam model agak rumit, parameter yang diperlukan untuk merancang baterai dengan MKBM relatif sederhana. Beberapa lembar data baterai menyertakan semua informasi yang diperlukan. MKBM menambahkan seri resistensi terhadap model baterai, yang meningkatkan akurasi model. Untuk beberapa baterai, dalam beberapa kondisi, ini dapat mewakili perilaku yang sebenarnya dengan lebih baik.

MKBM juga mencakup variasi kapasitas dengan suhu. Misalnya, banyak baterai menunjukkan penurunan kapasitas yang tersedia pada suhu dingin. Modul Advance Storage menjadi lebih kuat bila dikombinasikan dengan modul Multi-tahun. Saat HOMER dijalankan dalam mode Multi-tahun, Model Baterai Kinetik Modifikasi mencakup penurunan kinerja selama masa pakai baterai. Perhitungan degradasi ini melacak suhu, waktu, dan kedalaman parsial dari siklus pelepasan selama simulasi.

h. Modul *Multi-Years*



Gambar 2.34. Tampilan Menu Modul *Multi-Yeras* pada HOMER

Modul *Multi-Years* (Modul Multi-Tahun) dimungkinkan untuk memodelkan perubahan yang dapat terjadi selama masa proyek. Modul Multi-Years

menyertakan beberapa model parameter, yaitu: Degradasi PV, eskalasi harga jaringan, pertumbuhan beban, dan eskalasi harga bahan bakar.

InputMulti-Years dimungkinkan untuk menentukan degradasi atau pertumbuhan dalam bentuk persentase setiap tahun. Pada modul ini juga dapat memasukkan rangkaian pengganda dari tahun ke tahun untuk mencocokkan perkiraan yang bukan sekadar persentase per tahun.

Modul *Multi-Years* menambahkan beberapa fitur ke hasil HOMER. Selain itu, modul ini dapat melihat setiap tahun dari kehidupan proyek di hasil simulasi. Modul *Multi-Years* juga menambahkan plot *Multi-Years*, yang dimungkinkan untuk memplot kuantitas hasil apa pun selama umur proyek.

Multi-Year Inputs x		
<input checked="" type="checkbox"/> Enable		
Project lifetime (years): <input type="text" value="25"/>		
Grid: GridPrice (%/year): <input type="text" value="0"/> Years	Fixed O&M Cost (%/year): <input type="text" value="0"/> Years	PV: Degradation (%/year): <input type="text" value="0"/> Years
Diesel: Fuel Price (%/year): <input type="text" value="0"/> Years	Electric Load #1: Scaled Ave (%/year): <input type="text" value="0"/> Years	
<input type="button" value="OK"/>		

Gambar 2.35. Tampilan Menu *Multi-Yeras Input* pada HOMER

Menggunakan modul *Multi-Years* dengan modul Advance Storage akan membuka potensi penuh dari kedua fitur ini. Modul Advance Storage mencakup kemampuan untuk memodelkan penurunan kinerja baterai selama masa pakai baterai. Aspek modul Penyimpanan Lanjutan ini hanya tersedia jika Anda memiliki modul Multi-Years.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

4.1.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian

Lokasi pelaksanaan penelitian dilakukan di Dusun Bintang Asih Desa Rumah Sumbul, Kecamatan Sinembah Tanjung Muda Hulu, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara.

4.1.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang akan dilaksanakan mulai dari 5 Mei 2022 – 20 Oktober 2022.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan Bahan Penelitian yang digunakan dalam penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 Wp
2. Solar Power Meter
3. AVO Meter
4. Laptop
5. HOMER Pro Microgrid Analysis Tool x64 3.14.2

3.3. Data Penelitian

Berikut data-data yang digunakan pada penelitian Unjuk Kerja PLTS 1000 WP di Dusun Bintang Asih Desa Rumah Sumbul.

3.3.1. Data Beban Listrik Harian

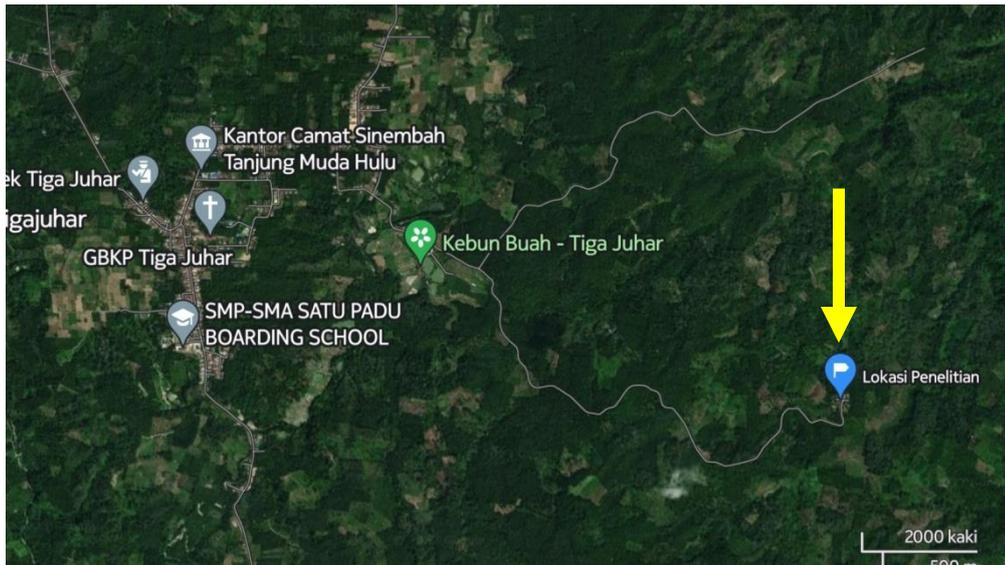
Berikut data beban listrik harian yang terdapat di Dusun Bintang Asih Desa Rumah Sumbul.

Tabel 3.1. Penggunaan Beban Harian

Pukul (WIB)	Beban Harian (Kw)
00.00	0,050
01.00	0,052
02.00	0,052
03.00	0,055
04.00	0,067
05.00	0,082
06.00	0,102
07.00	0,115
08.00	0,130
09.00	0,211
10.00	0,230
11.00	0,257
12.00	0,282
13.00	0,300
14.00	0,329
15.00	0,317
16.00	0,349
17.00	0,368
18.00	0,410
19.00	0,432
20.00	0,458
21.00	0,215
22.00	0,101
23.00	0,062

3.3.2. Profil PLTS Bintang Asih

PLTS Bintang Asih dibangun diatas gedung mushola dengan luas lahan 170 m². Secara geografis, PLTS Bintang Asih terletak pada koordinat 3,25° Lintang Utara, 98,74° Bujur Timur dengan ketinggian ± 300 meter diatas permukaan laut. Terlihat dari atas lokasi PLTS Bintang Asih menggunakan Google Maps, yang dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 3.1. Peta Lokasi PLTS Bintang Asih

PLTS Bintang Asih dengan daya 1000 WP ini memakai sistem *Off Grid*. Alasan PLTS ini memakai sistem *Off Grid*, karena kondisi dari dusun Bintang Asih yang tidak teraliri listrik dari PLN. Sehingga, PLTS menjadi salah satu pembangkit listrik terpenting dalam mensuplai listrik di dusun Bintang Asih.



Gambar 3.2. Panel Surya di PLTS Bintang Asih

PLTS Bintang Asih terdiri dari 1 (satu) *string* panel surya. Dalam satu *string* panel surya, terdiri dari 3 modul panel surya yang dirangkai secara paralel.

Per modul panel surya memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Rated Max Power (Pmax)	: 330 WP
Open Circuit Voltage (VOC)	: 45,65 V
Short Circuit Current (ISC)	: 9,15 A
Current at Pmax (Imp)	: 8,75 A
Voltage at Pmax (Vmp)	: 37,8 V

Kemudian, PLTS ini menggunakan baterai jenis lead acid dengan kapasitas 12 V 100 Ah sebanyak 2 unit. Lalu, PLTS Bintang Asih memakai inverter dengan kapasitas 2 kW, dengan tegangan input 24 VDC dan tegangan output 220 VAC. Bentuk inverter dan baterai dapat ditunjukkan pada gambar dibawah.



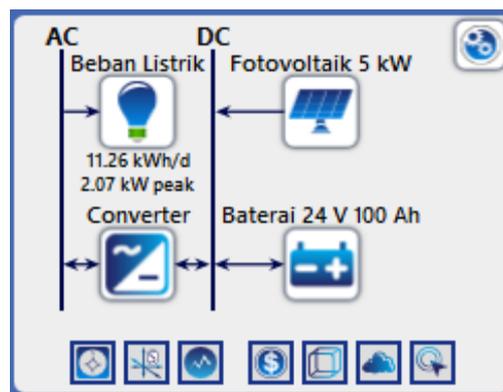
Gambar 3.3. Inverter pada PLTS Bintang Asih



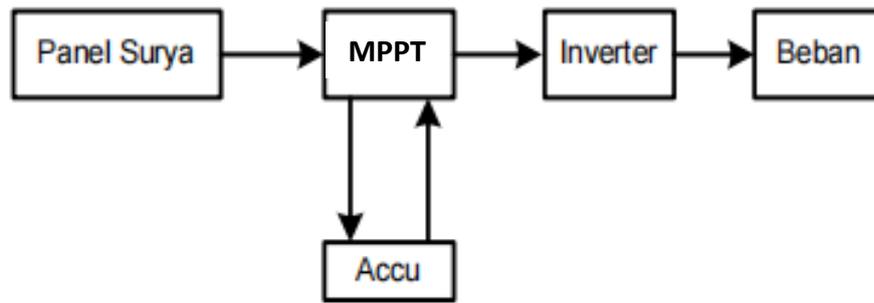
Gambar 3.4. Baterai pada PLTS Bintang Asih

3.3.3. Desain Sistematis Skema Rangkaian PLTS pada Aplikasi HOMER

Berikut gambar desain sistematis skema rangkaian pembangkit listrik tenaga surya yang akan dibahas pada penelitian ini.



Gambar 3.5. Skema Rangkaian PLTS



Gambar 3.6. Diagram Blok PLTS dengan Beban

3.4. Metode Penelitian

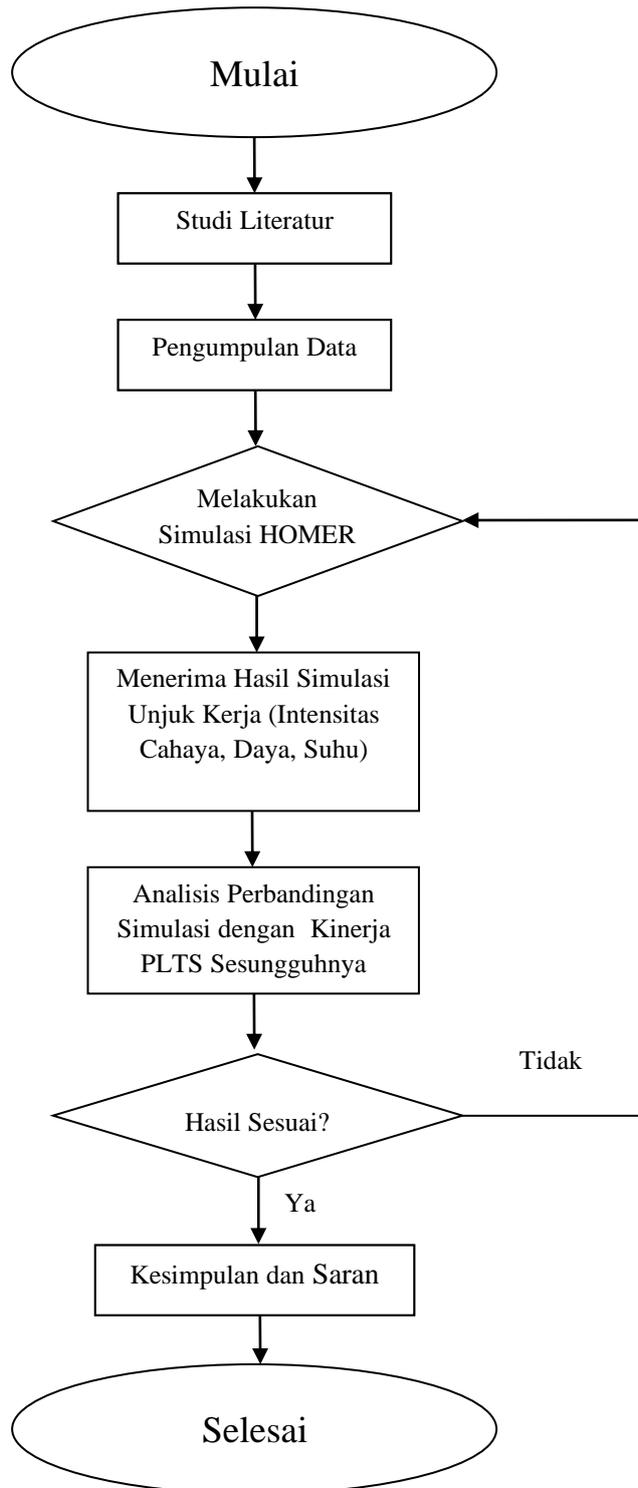
Penelitian yang dilakukan berbentuk penelitian simulasi dengan bantuan aplikasi simulasi HOMER Pro. Data yang digunakan merupakan data primer yang didapatkan di lapangan dengan menggunakan alat ukur yang kompetabel dengan data yang dibutuhkan. Diharapkan simulasi yang dihasilkan dengan konfigurasi yang telah ditetapkan, dapat menghasilkan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan, sehingga dapat diterapkan di dunia nyata.

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian digunakan sebagai langkah awal hingga akhir penelitian agar dapat berjalan dengan baik. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada penulisan tugas akhir sebagai berikut.

1. Menentukan tema penelitian dengan cara melakukan studi literatur untuk memperoleh berbagai konsep untuk mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.
2. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
3. Melakukan pengumpulan data penelitian di lapangan
4. Melakukan pengimputan data ke dalam aplikasi HOMER Pro
5. Melakukan simulasi unjuk kerja pada aplikasi HOMER Pro
6. Melihat hasil simulasi unjuk kerja pada PLTS 1000 Wp yang ada di lapangan.

7. Melakukan analisa perbandingan antara simulasi unjuk kerja PLTS yang sebenarnya.
8. Menarik kesimpulan dan saran.
9. Selesai.



Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Simulasi HOMER PLTS Bintang Asih

Simulasi HOMER yang dilakukan pada PLTS bertujuan untuk mengetahui dan mengamati nilai keluaran pada PLTS saat beroperasi di dalam simulasi. Simulasi HOMER dilakukan dengan memasukkan data dan parameter yang telah dipersiapkan, yaitu: data panel surya, data inverter, data baterai, dan data beban listrik. Untuk data intensitas cahaya, didapatkan dari data GH (Global Hour) yang tersedia pada HOMER. Kemudian, data dan parameter tersebut diolah atau dikalkulasikan untuk mendapatkan hasil simulasi yang sesuai.

Simulasi HOMER PLTS Bintang Asih ini, menggunakan sampel uji selama 3 hari. Sampel tersebut terhitung dari tanggal 9 Oktober 2022 sampai dengan 11 Oktober 2022, dimulai dari pukul 09.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB. Berikut merupakan hasil dari simulasi HOMER PLTS Bintang Asih.

Tabel 4.1. Data Hasil Simulasi HOMER PLTS tanggal 9 Oktober 2022

Jam	Intensitas Cahaya (W/m²)	Daya Panel Surya (W)	Daya Inverter (W)	Temperatur Panel Surya (°C)
09.00	370	600	150	32,62
10.00	490	790	240	35,53
11.00	490	780	250	35,48
12.00	480	770	360	35,18
13.00	410	660	290	33,54
14.00	310	490	190	30,91
15.00	250	400	250	29,51
16.00	250	400	240	27,57

Pada tabel 4.1., data hasil simulasi PLTS dengan HOMER pada tanggal 9 Oktober 2022 yang tertinggi, didapatkan pada jam 10.00 dan 12.00. Dimana pada jam 10.00, intensitas cahaya dan daya panel surya sebesar 490 W/m² dan 780 W, serta temperatur panel surya sebesar 35,53 °C. Sedangkan pada jam 12.00, daya inverter PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022 sebesar 360 W.

Tabel 4.2. Data Hasil Simulasi HOMER PLTS tanggal 10 Oktober 2022

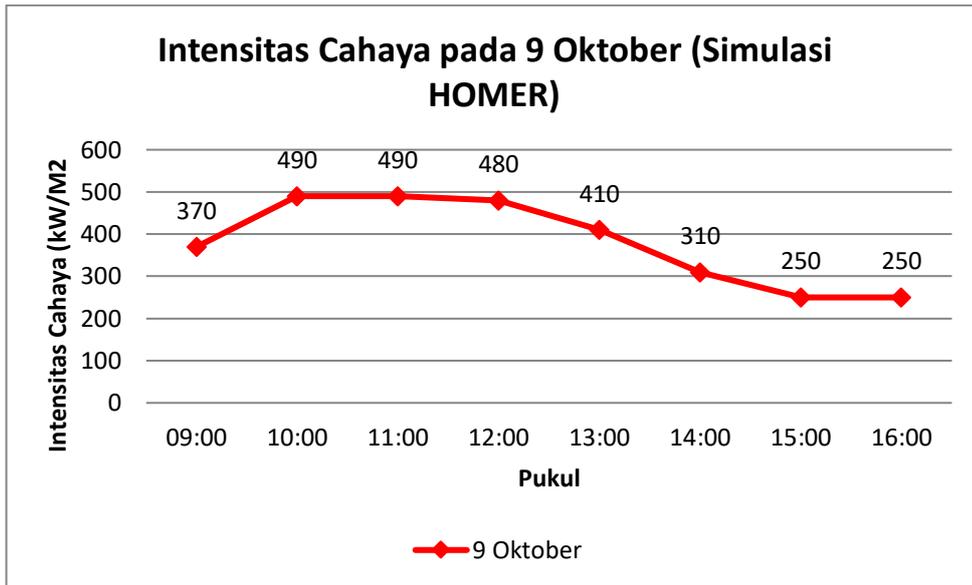
Jam	Intensitas Cahaya (W/m²)	Daya Panel Surya (W)	Daya Inverter (W)	Temperatur Panel Surya (°C)
09.00	310	500	150	31,06
10.00	230	370	180	29,08
11.00	190	310	200	28,14
12.00	380	610	280	32,83
13.00	860	1380	300	44,77
14.00	690	1100	330	40,45
15.00	780	1260	370	42,96
16.00	570	920	270	37,53

Pada tabel 4.2., data hasil simulasi PLTS dengan HOMER pada tanggal 9 Oktober 2022 yang tertinggi didapatkan pada jam 13.00 dan 15.00. Dimana pada jam 13.00, intensitas cahaya dan daya panel surya sebesar 860 W/m² dan 1380 W, serta temperatur panel surya sebesar 44,77 °C. Sedangkan pada jam 15.00, daya inverter PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022 sebesar 370 W.

Tabel 4.3. Data Hasil Simulasi HOMER PLTS tanggal 11 Oktober 2022

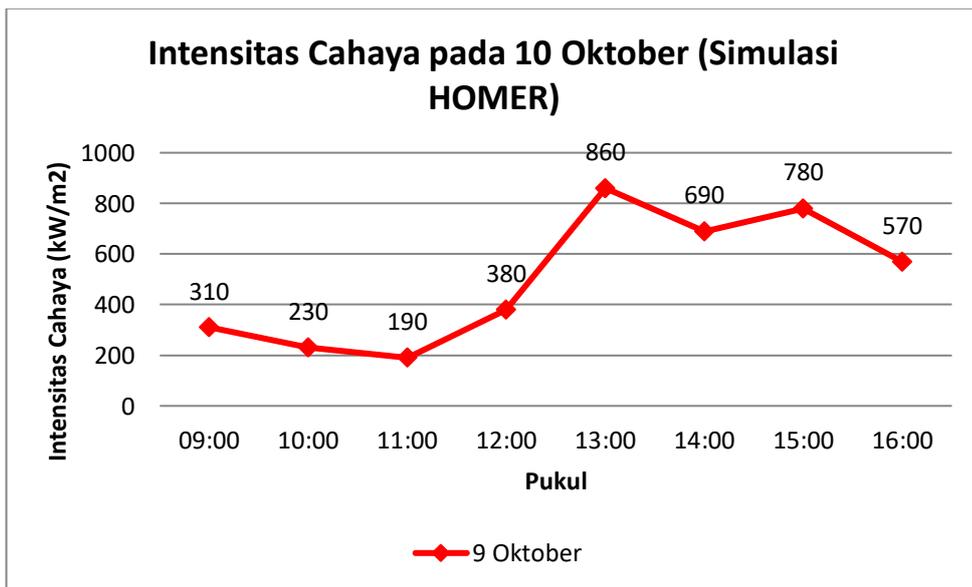
Jam	Intensitas Cahaya (W/m²)	Daya Panel Surya (W)	Daya Inverter (W)	Temperatur Panel Surya (°C)
09.00	30	130	180	24,24
10.00	110	450	180	26,13
11.00	60	250	190	24,94
12.00	110	450	280	26,11
13.00	30	140	220	24,31
14.00	90	370	270	25,64
15.00	90	390	130	25,73
16.00	60	260	270	25,02

Pada tabel 4.3., data hasil simulasi PLTS dengan HOMER pada tanggal 11 Oktober 2022 yang tertinggi, didapatkan pada jam 12.00. Dimana pada jam 12.00, intensitas cahaya dan daya panel surya sebesar 110 W/m² dan 450 W, serta temperatur panel surya sebesar 26,11 °C. Dan daya inverter PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022 sebesar 280 W.



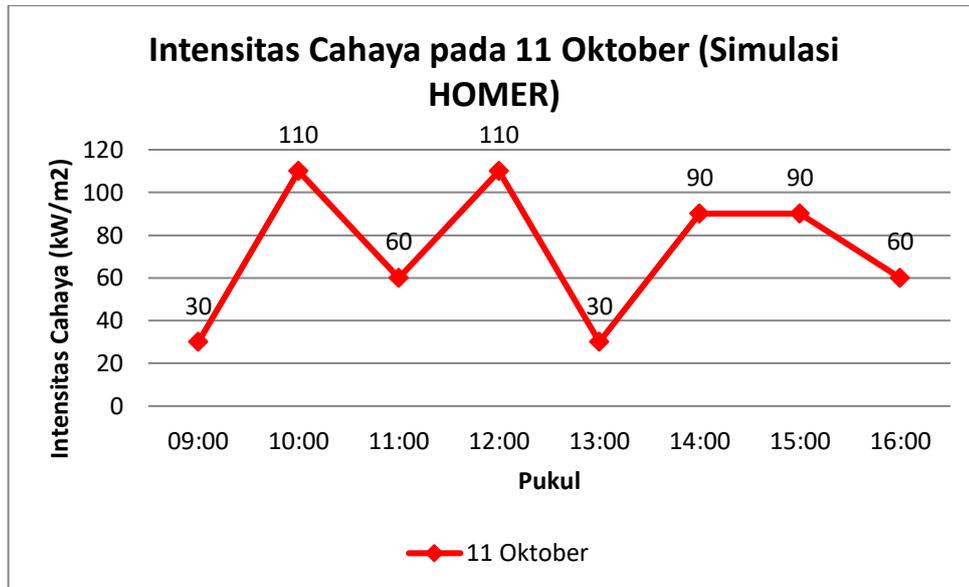
Gambar 4.1. Grafik intensitas cahaya simulasi HOMER PLTS pada 9 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022.



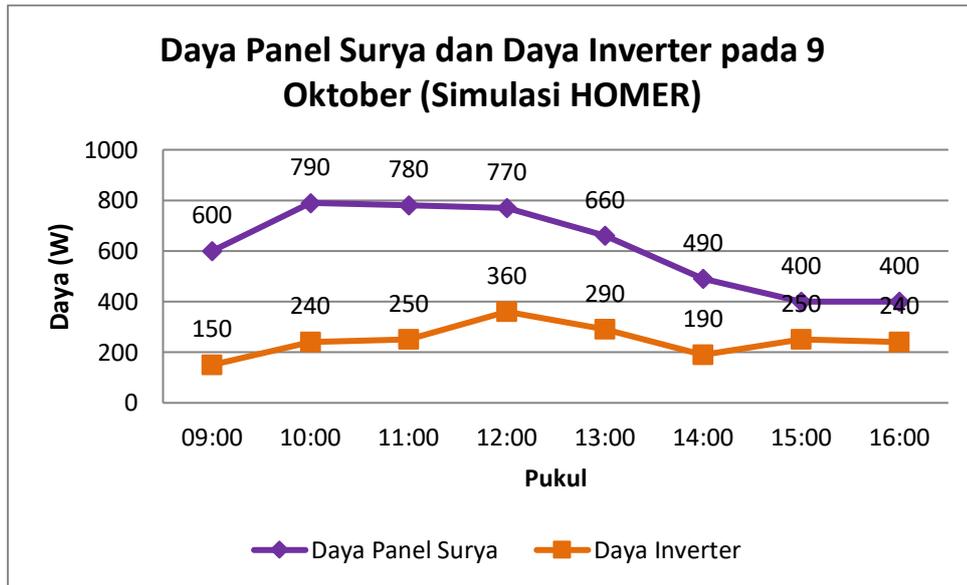
Gambar 4.2. Grafik intensitas cahaya simulasi HOMER PLTS pada 10 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022.



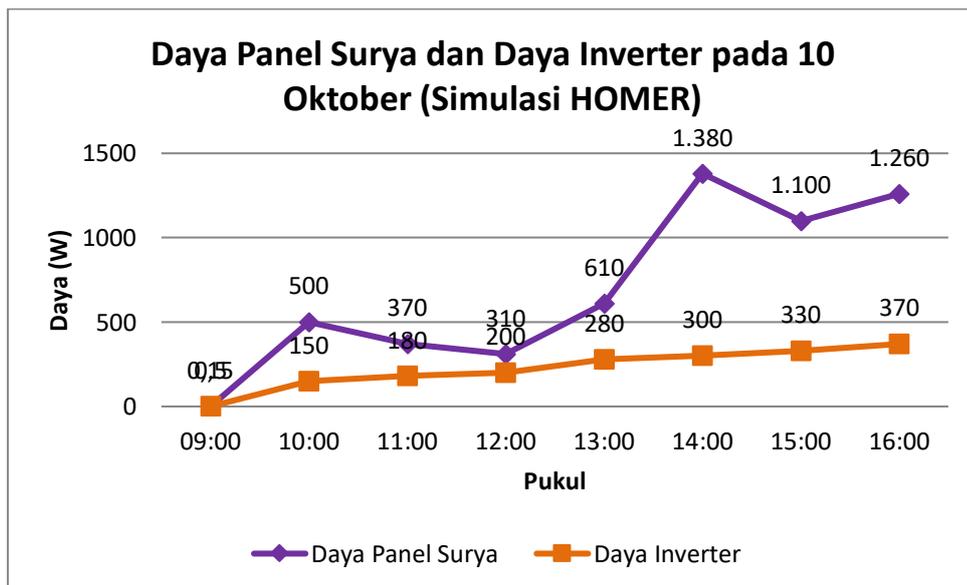
Gambar 4.3. Grafik intensitas cahaya simulasi HOMER PLTS pada 11 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022.



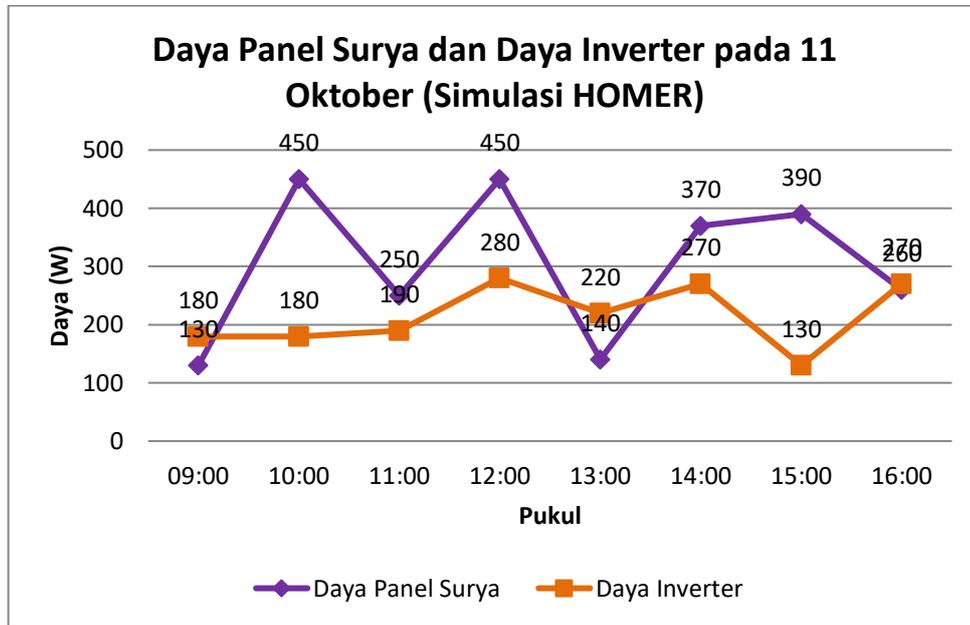
Gambar 4.4. Grafik daya panel surya dan daya inverter hasil simulasi HOMER PLTS pada 9 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya dan daya inverter yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022.



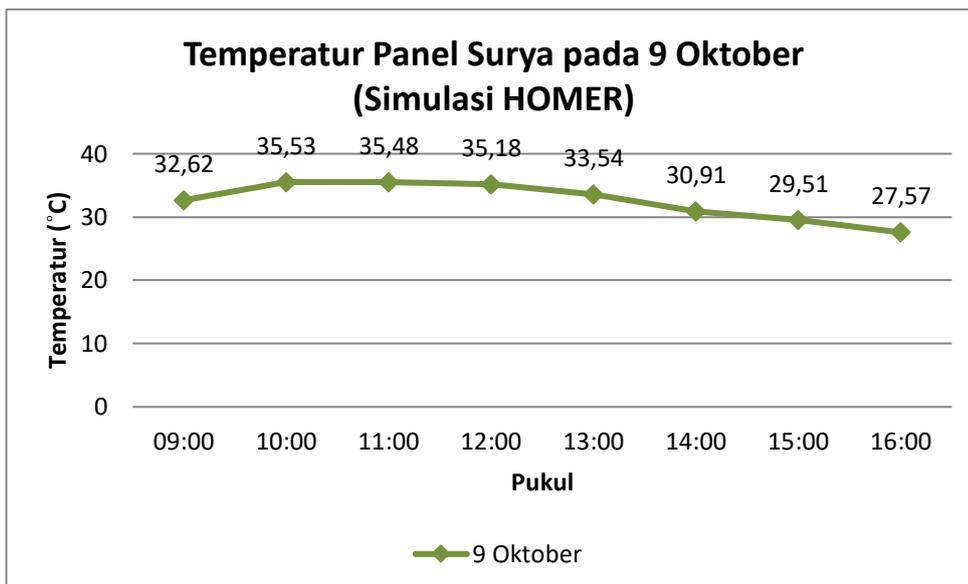
Gambar 4.5. Grafik daya panel surya dan daya inverter hasil simulasi HOMER PLTS pada 10 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya dan daya inverter yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022.



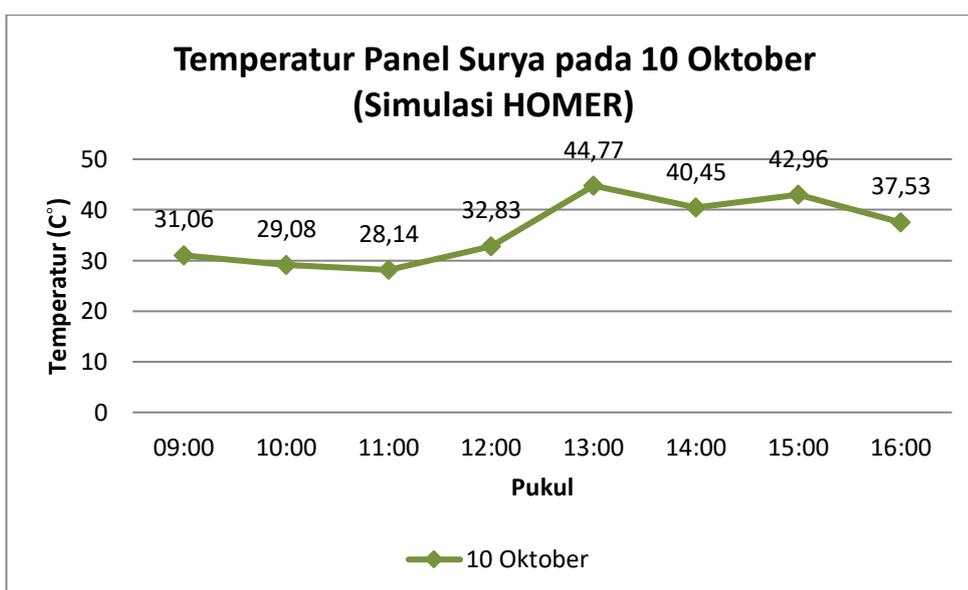
Gambar 4.6. Grafik daya panel surya dan daya inverter hasil simulasi HOMER PLTS pada 11 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya dan daya inverter yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022.



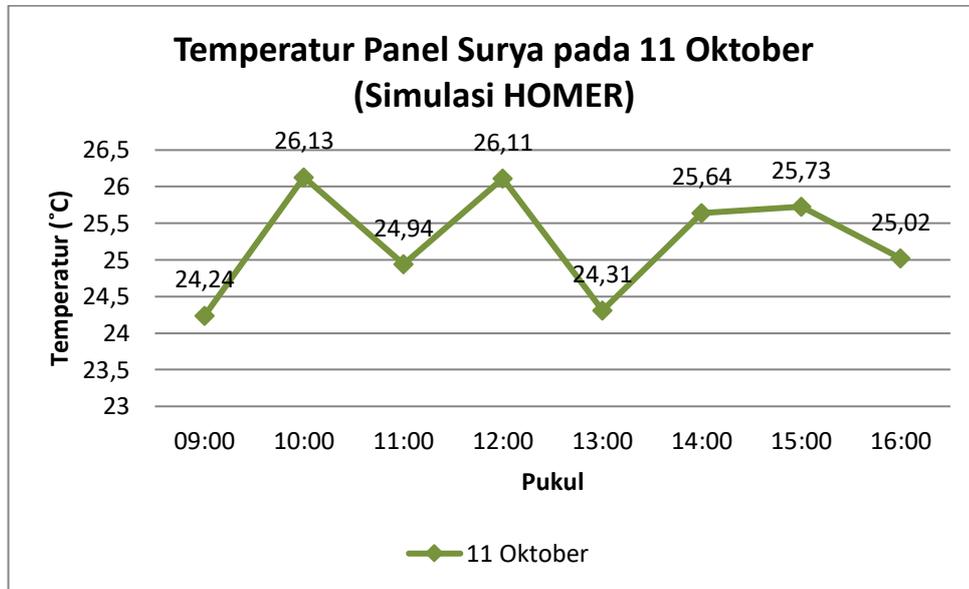
Gambar 4.7. Grafik temperatur panel surya hasil simulasi HOMER PLTS pada 9 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan temperatur panel surya yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022.



Gambar 4.8. Grafik temperatur panel surya hasil simulasi HOMER PLTS pada 10 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan temperatur panel surya yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022.



Gambar 4.9. Grafik temperatur panel surya hasil simulasi HOMER PLTS pada 11 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan temperatur panel surya yang dihasilkan oleh simulasi HOMER PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022.

4.2. Hasil Unjuk Kerja PLTS Bintang Asih

Unjuk kerja yang dilakukan pada PLTS bertujuan untuk mengetahui, mengukur dan mengamati nilai keluaran PLTS pada saat beroperasi secara riil. Untuk kerja ini dilakukan dengan mengoperasikan PLTS tersebut. Kemudian, memperhatikan kinerja dan pengambilan data dari komponen PLTS, yaitu: inverter, baterai, beban listrik dan intensitas cahaya.

Unjuk kerja PLTS Bintang Asih ini dilakukan selama 3 hari. Terhitung dari tanggal 9 Oktober 2022 sampai dengan 11 Oktober 2022, dimulai dari pukul 09.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB. Berikut merupakan data hasil dari unjuk kerja PLTS Bintang Asih.

4.2.1. Data Hasil Unjuk Kerja PLTS pada Tanggal 9 Oktober 2022

A. Data Hasil Tegangan dan Arus dari Panel Surya dan Inverter

Berikut ini merupakan data hasil tegangan arus dari panel surya dan inverter yang terdapat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data Tegangan dan Arus pada Panel Surya dan Inverter, pada Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 9 Oktober 2022

Jam	Panel Surya		Inverter	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
09.00	29,61	18,63	210	4,84
10.00	30,46	19,89	210	4,96
11.00	28,45	18,77	210	4,82
12.00	28,32	18,02	210	4,81
13.00	29,83	19,10	210	4,85
14.00	31,62	20,40	210	4,97
15.00	31,13	19,98	210	4,96
16.00	29,72	18,79	210	4,85

B. Perhitungan Daya Panel Surya dan Inverter

Untuk mendapatkan data daya panel surya dan daya inverter dari unjuk kerja PLTS, maka tegangan panel surya dikalikan dengan arus panel surya. Begitu juga dengan tegangan inverter dikalikan dengan arus inverter.

1. Panel Surya

$$\begin{aligned}\text{Pukul 09.00 : } P &= V \cdot I \\ &= (29,61) (18,63) \\ &= 551,63 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pukul 10.00 : } P &= V \cdot I \\ &= (30,46) (19,89) \\ &= 605,85 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 11.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (28,45) (18,77) \\
 &= 534,01 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 12.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (28,32) (18,02) \\
 &= 510,32 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 13.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (29,83) (19,10) \\
 &= 569,73 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 14.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (31,62) (20,40) \\
 &= 645,04 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 15.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (31,13) (19,98) \\
 &= 621,97 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 16.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (29,72) (18,79) \\
 &= 558,44 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

2. Inverter

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 09.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
 &= (210) (4,84) (0,8) \\
 &= 813,12 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 10.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
 &= (210) (4,96) (0,8) \\
 &= 833,28 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 11.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
 &= (210) (4,82) (0,8) \\
 &= 809,76 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Pukul 12.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,81) (0,8)$
 $= 808,08 \text{ Watt}$

Pukul 13.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,85) (0,8)$
 $= 814.80 \text{ Watt}$

Pukul 14.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,97) (0,8)$
 $= 834,94 \text{ Watt}$

Pukul 15.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,96) (0,8)$
 $= 833,28 \text{ Watt}$

Pukul 16.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,85) (0,8)$
 $= 814.80 \text{ Watt}$

4.2.2. Data Hasil Unjuk Kerja PLTS pada Tanggal 10 Oktober 2022

A. Data Hasil Tegangan dan Arus dari Panel Surya dan Inverter

Berikut ini merupakan data hasil tegangan arus dari panel surya dan inverter yang terdapat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data Tegangan dan Arus pada Panel Surya dan Inverter, pada Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 10 Oktober 2022

Jam	Panel Surya		Inverter	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
09.00	27,72	17,47	210	4,77
10.00	28,18	17,91	210	4,80
11.00	28,09	17,7	210	4,79
12.00	30,57	18,4	210	4,84
13.00	30,69	18,62	210	4,85

14.00	31,44	20,23	210	4,96
15.00	31,15	19,78	210	4,95
16.00	30,83	18,85	210	4,86

B. Perhitungan Daya Panel Surya dan Inverter

Untuk mendapatkan data daya panel surya dan daya inverter dari unjuk kerja PLTS, maka tegangan panel surya dikalikan dengan arus panel surya. Begitu juga dengan tegangan inverter dikalikan dengan arus inverter.

1. Panel Surya

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 09.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (27,72) (17,47) \\
 &= 484,26 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 10.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (28,18) (17,91) \\
 &= 504,70 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 11.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (28,09) (17,70) \\
 &= 497,19 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 12.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (30,57) (18,40) \\
 &= 562,48 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 13.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (30,69) (18,62) \\
 &= 571,44 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 14.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (31,44) (20,23) \\
 &= 636,03 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pukul 15.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
 &= (31,15) (19,78) \\
 &= 616,14 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 16.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
&= (15,77) (1,82) \\
&= 581,14 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

2. Inverter

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 09.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,77) (0,8) \\
&= 801,36 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 10.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,80) (0,8) \\
&= 806,40 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 11.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,79) (0,8) \\
&= 804,72 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 12.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,84) (0,8) \\
&= 813,12 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 13.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,85) (0,8) \\
&= 814,80 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 14.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,96) (0,8) \\
&= 833,28 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 15.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,95) (0,8) \\
&= 831,60 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 16.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,86) (0,8) \\
&= 816,48 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

4.2.3. Data Hasil Unjuk Kerja PLTS pada Tanggal 11 Oktober 2022

A. Data Hasil Tegangan dan Arus dari Panel Surya dan Inverter

Berikut ini merupakan data hasil tegangan arus dari panel surya dan inverter yang terdapat pada tabel 4.5.

Tabel 4.6. Data Tegangan dan Arus pada Panel Surya dan Inverter, pada Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 11 Oktober 2022

Jam	Panel Surya		Inverter	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
09.00	26,35	17,05	210	4,60
10.00	26,50	17,08	210	4,61
11.00	27,66	17,26	210	4,75
12.00	27,87	17,46	210	4,77
13.00	27,96	17,50	210	4,78
14.00	27,63	17,15	210	4,68
15.00	27,10	17,08	210	4,63
16.00	27,70	17,19	210	4,74

B. Perhitungan Daya Panel Surya dan Inverter

Untuk mendapatkan data daya panel surya dan daya inverter dari unjuk kerja PLTS, maka tegangan panel surya dikalikan dengan arus panel surya. Begitu juga dengan tegangan inverter dikalikan dengan arus inverter.

1. Panel Surya

$$\begin{aligned}\text{Pukul 09.00 : } P &= V \cdot I \\ &= (26,35) (17,05) \\ &= 449,26 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pukul 10.00 : } P &= V \cdot I \\ &= (26,50) (17,08) \\ &= 452,62 \text{ Watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 11.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
&= (27,66) (17,26) \\
&= 477,41 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 12.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
&= (27,87) (17,46) \\
&= 486,61 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 13.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
&= (27,96) (17,50) \\
&= 489,30 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 14.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
&= (27,63) (17,15) \\
&= 473,85 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 15.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
&= (27,10) (17,08) \\
&= 462,86 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 16.00 :} \quad P &= V \cdot I \\
&= (27,70) (17,19) \\
&= 476,16 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

2. Inverter

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 09.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,60) (0,8) \\
&= 772,80 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 10.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,61) (0,8) \\
&= 774,48 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pukul 11.00 :} \quad P &= V \cdot I \cdot \cos \Theta \\
&= (210) (4,75) (0,8) \\
&= 798 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

Pukul 12.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,77) (0,8)$
 $= 801,36 \text{ Watt}$

Pukul 13.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,78) (0,8)$
 $= 803,04 \text{ Watt}$

Pukul 14.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,68) (0,8)$
 $= 786,24 \text{ Watt}$

Pukul 15.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,63) (0,8)$
 $= 777,48 \text{ Watt}$

Pukul 16.00 : $P = V \cdot I \cdot \cos \Theta$
 $= (210) (4,74) (0,8)$
 $= 796,32 \text{ Watt}$

Setelah dilakukan perhitungan daya pada panel surya dan inverter, maka data perhitungan daya tersebut dikumpulkan pada tabel 4.7, 4.8, dan 4.9. Data perhitungan daya dikumpulkan bersama dengan intensitas cahaya dan temperatur.

Tabel 4.7. Data Perhitungan Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 9 Oktober 2022

Jam	Intensitas Cahaya (W/m²)	Daya Panel Surya (W)	Daya Inverter (W)	Temperatur Panel Surya (°C)
09.00	385,7	551,63	813,12	35,9
10.00	491,0	605,84	833,28	37,5
11.00	347,5	534,01	809,76	35,1
12.00	331,0	510,32	808,08	34,7
13.00	436,3	569,75	814,80	36,8
14.00	561,6	645,04	834,94	39,2

15.00	518,4	621,97	833,28	37,7
16.00	408,0	558,43	814,80	36,5

Pada tabel 4.10. di atas, data hasil simulasi PLTS dengan HOMER pada tanggal 9 Oktober 2022 yang tertinggi, didapatkan pada jam 14.00. Dimana, intensitas cahaya panel surya sebesar 561,6 W/m². Kemudian, daya panel surya dan daya inverter PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022 sebesar 645,04 W dan 834,94 W, serta temperatur panel surya sebesar 39,2°C.

Tabel 4.8. Data Perhitungan Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 10 Oktober 2022

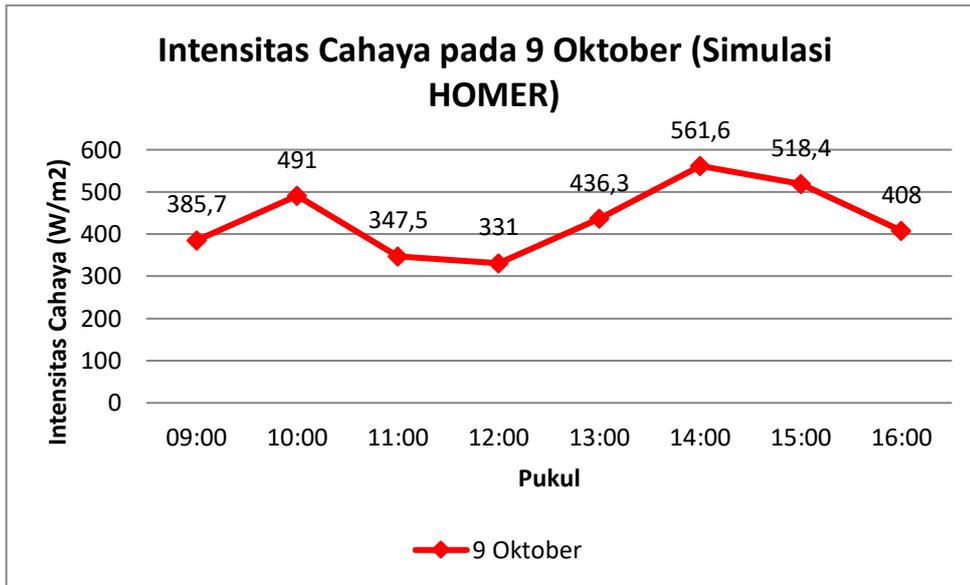
Jam	Intensitas Cahaya (W/m²)	Daya Panel Surya (W)	Daya Inverter (W)	Temperatur Panel Surya (°C)
09.00	286,7	484,26	801,36	33,8
10.00	327,4	504,70	806,40	35,1
11.00	309,5	497,19	804,72	34,7
12.00	397,9	562,48	813,12	35,9
13.00	408,0	571,44	814,80	36,5
14.00	553,5	636,03	833,28	38,2
15.00	501,2	616,14	831,60	37,6
16.00	443,5	581,14	816,48	36,9

Pada tabel 4.11. di atas, data hasil simulasi PLTS dengan HOMER pada tanggal 10 Oktober 2022 yang tertinggi, didapatkan pada jam 14.00. Dimana, intensitas cahaya panel surya sebesar 553,5 W/m². Kemudian, daya panel surya dan daya inverter PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022 sebesar 636,03 W dan 833,28 W, serta temperatur panel surya sebesar 38,2°C.

Tabel 4.9. Data Perhitungan Hasil Unjuk Kerja PLTS tanggal 11 Oktober 2022

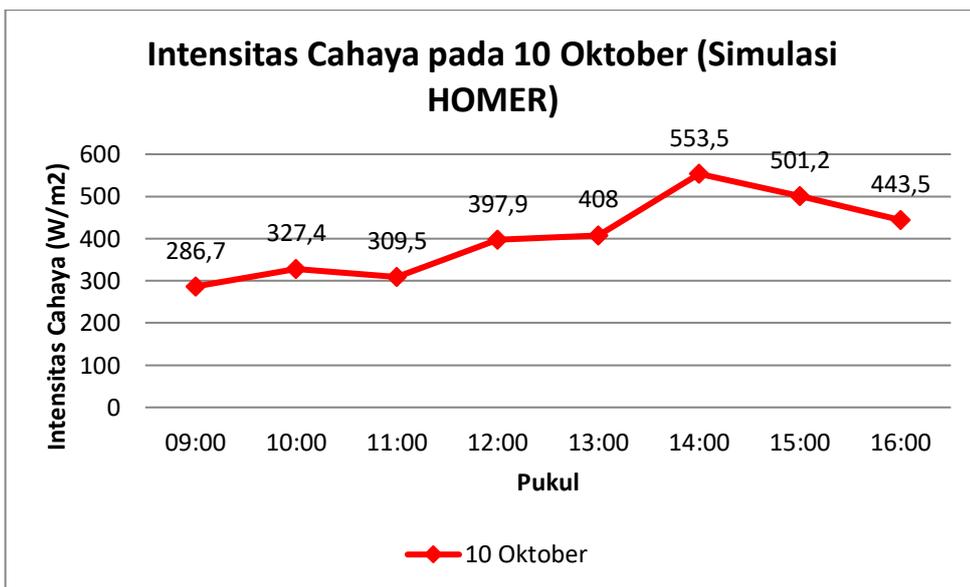
Jam	Intensitas Cahaya (W/m²)	Daya Panel Surya (W)	Daya Inverter (W)	Temperatur Panel Surya (°C)
09.00	240,1	449,26	772,80	32,4
10.00	246,2	452,62	774,48	32,9
11.00	281,2	477,41	798,00	33,1
12.00	284,7	486,61	801,36	34,0
13.00	291,5	489,30	803,04	34,6
14.00	264,1	473,85	786,24	33,5
15.00	250,4	462,86	777,48	32,8
16.00	279,1	476,16	796,32	33,7

Pada tabel 4.12. di atas, data hasil simulasi PLTS dengan HOMER pada tanggal 11 Oktober 2022 yang tertinggi, didapatkan pada jam 13.00. Dimana, intensitas cahaya panel surya sebesar 291,5 W/m². Kemudian, daya panel surya dan daya inverter PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022 sebesar 489,30 W dan 803,04 W, serta temperatur panel surya sebesar 34,6°C.



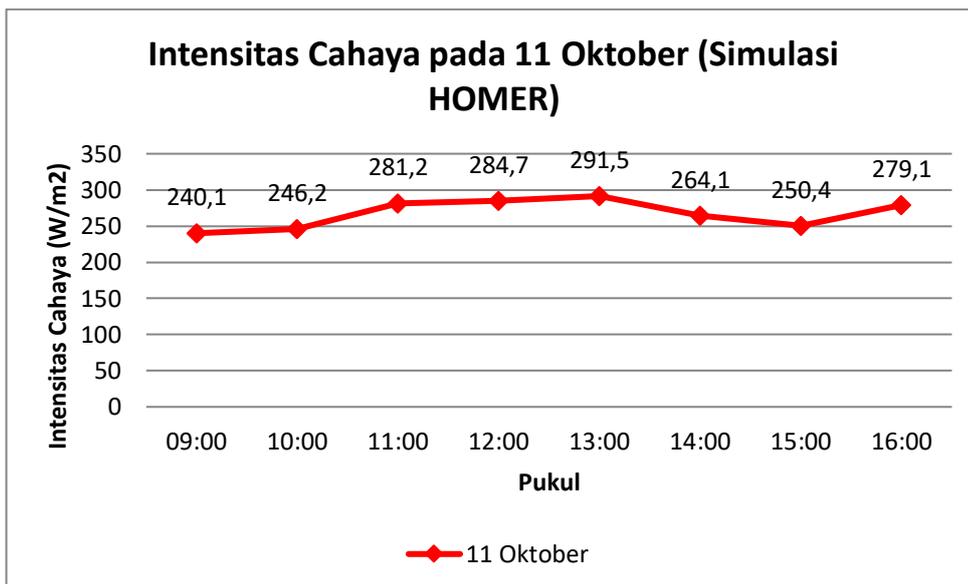
Gambar 4.10. Grafik intensitas cahaya hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022.



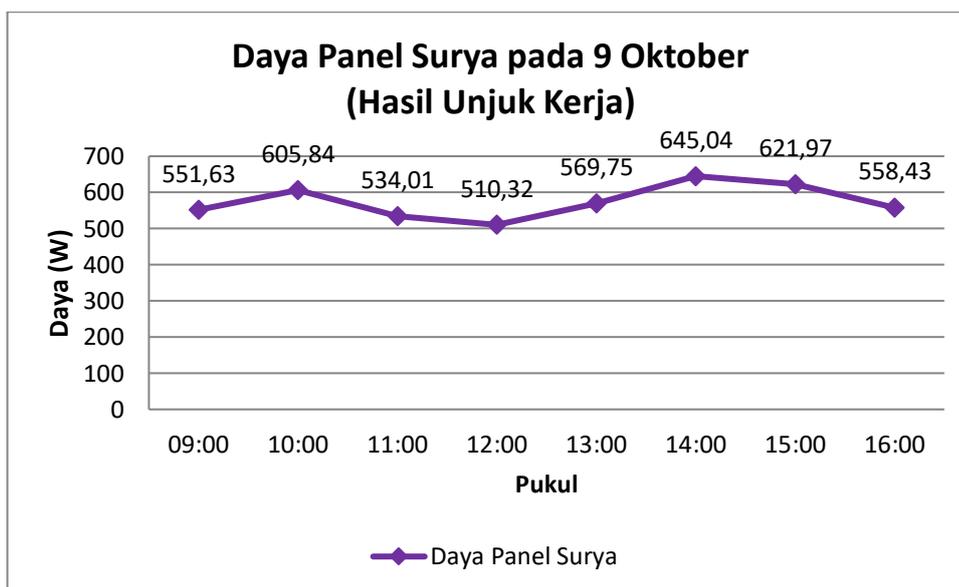
Gambar 4.11. Grafik intensitas cahaya hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022.



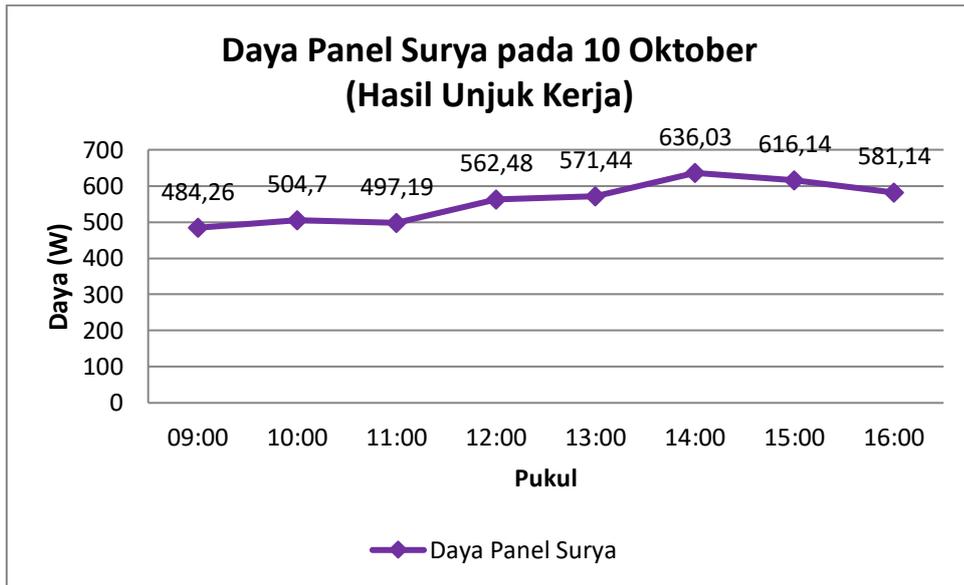
Gambar 4.12. Grafik intensitas cahaya hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022.



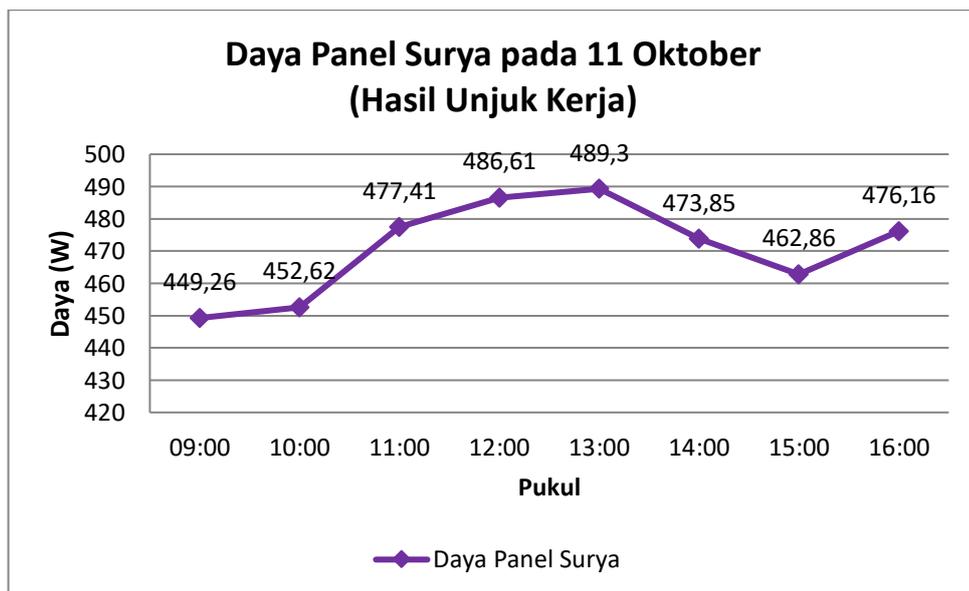
Gambar 4.13. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022.



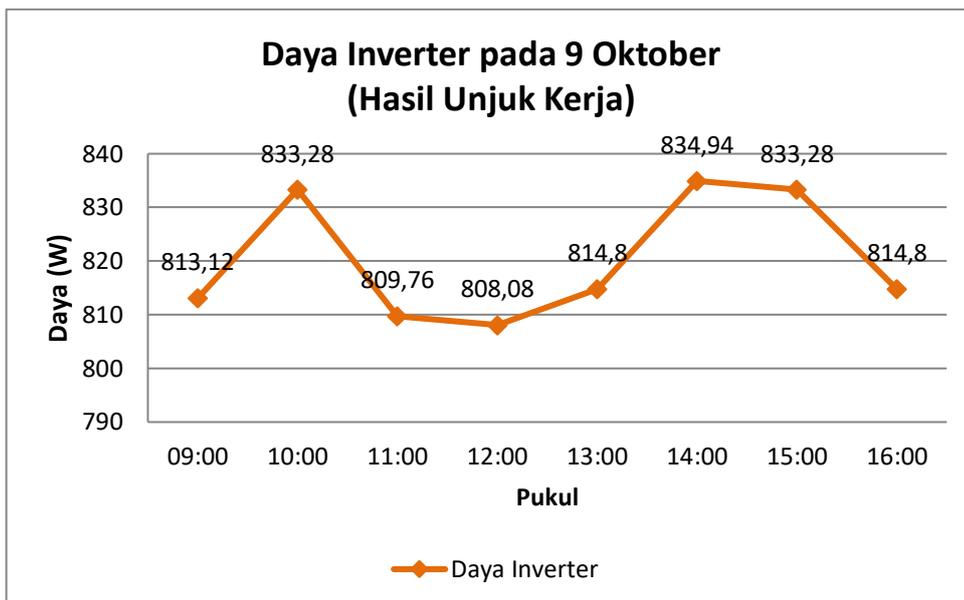
Gambar 4.14. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022.



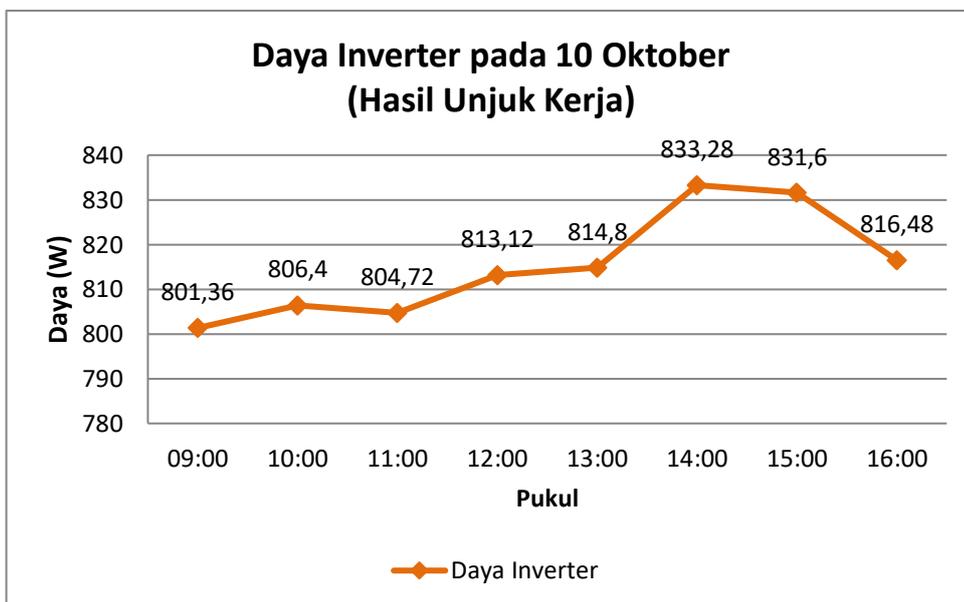
Gambar 4.15. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022.



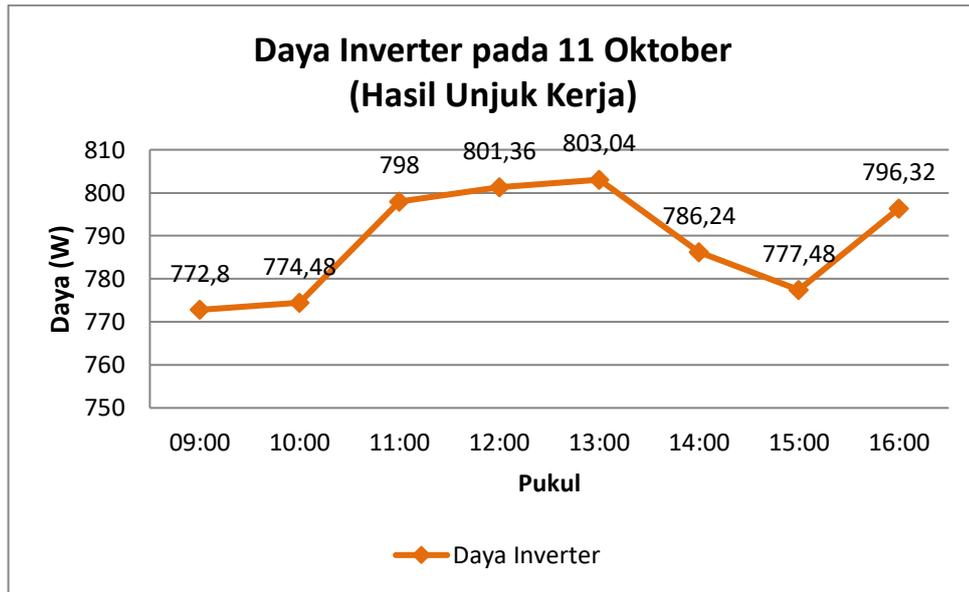
Gambar 4.16. Grafik daya inverter hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya inverter yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022.



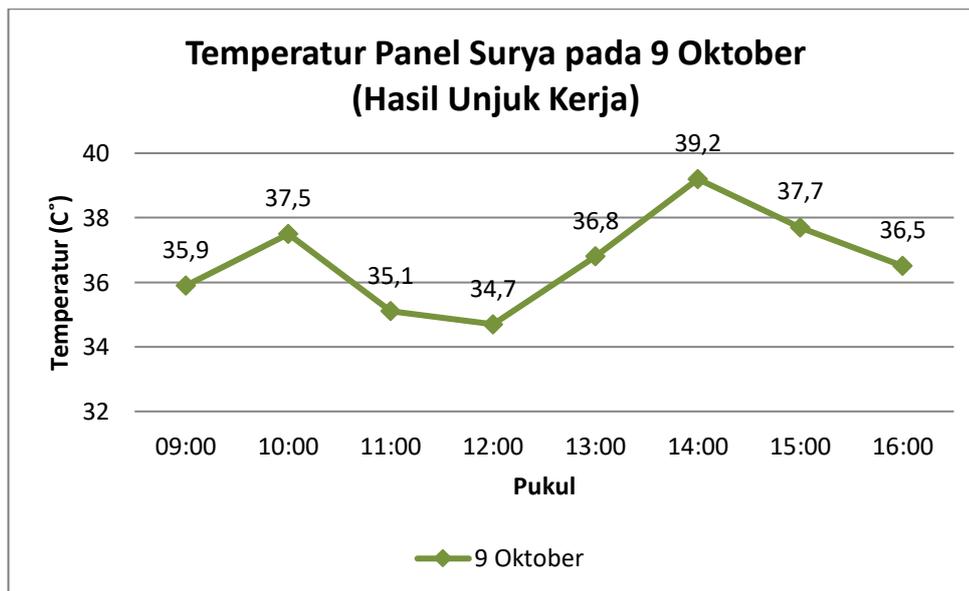
Gambar 4.17. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022.



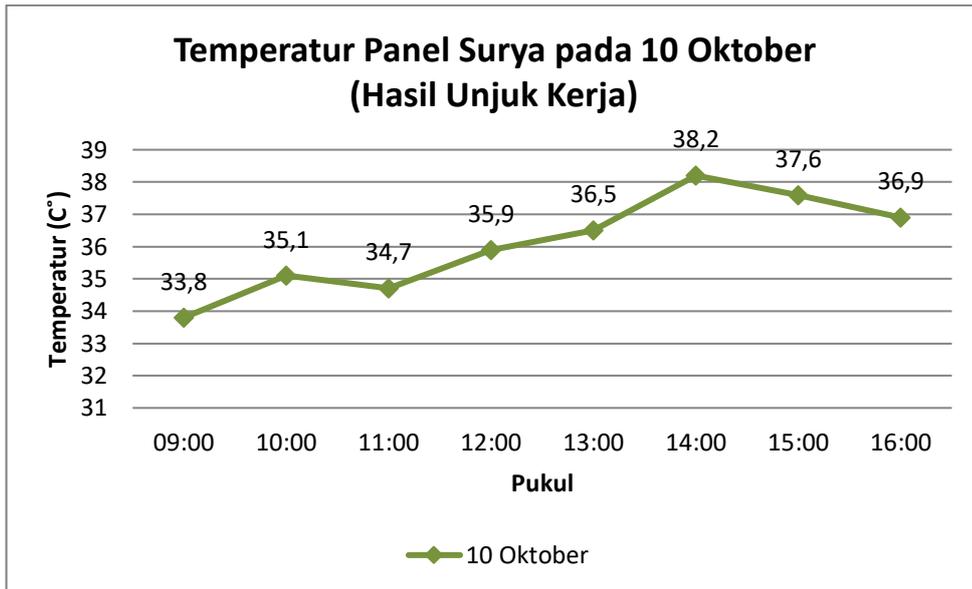
Gambar 4.18. Grafik daya panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan daya panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022.



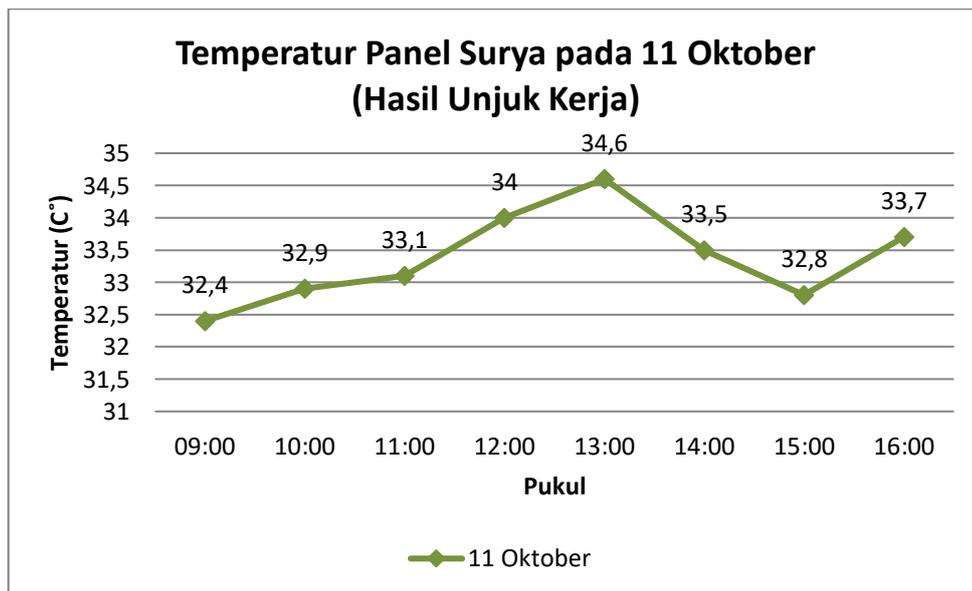
Gambar 4.19. Grafik temperatur panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 9 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan temperatur panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 9 Oktober 2022.



Gambar 4.20. Grafik temperatur panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 10 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan temperatur panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 10 Oktober 2022.



Gambar 4.21. Grafik temperatur panel surya hasil unjuk kerja PLTS pada 11 Oktober 2022.

Gambar diatas merupakan grafik yang memperlihatkan temperatur panel surya yang dihasilkan oleh unjuk kerja PLTS pada tanggal 11 Oktober 2022.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan dari penelitian “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 Wp Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih”, nilai daya panel surya pada simulasi HOMER lebih besar dibandingkan dengan nilai daya panel surya pada unjuk kerja PLTS. Sedangkan nilai inverter pada simulasi HOMER lebih kecil dibandingkan dengan nilai daya panel surya pada unjuk kerja PLTS. Hal ini disebabkan oleh perbedaan beberapa data dan perbedaan perhitungan data simulasi HOMER dengan perhitungan data yang ada di unjuk kerja PLTS.
2. Berdasarkan hasil unjuk kerja PLTS dan hasil simulasi HOMER pada PLTS, data hasil unjuk kerja PLTS maksimum terjadi pada tanggal 10 Oktober 2022 pukul 13.00, dengan intensitas cahaya sebesar 860 W/m², daya panel surya sebesar 1380 W, serta temperatur panel surya sebesar 44,77 °C. Tetapi, daya inverter maksimum terjadi pada pukul 14.00 sebesar 370 W. Sedangkan untuk data hasil simulasi HOMER PLTS maksimum terjadi pada tanggal 9 Oktober 2022 pukul 14.00, dengan intensitas cahaya sebesar 561,6 W/m², daya panel surya sebesar 645,04 W, daya inverter sebesar 833,28 W, serta temperatur panel surya sebesar 39,2 °C.

5.2. Saran

1. Untuk panel surya, sebaiknya dilakukan penambahan alat pembersih panel surya otomatis. Ini dimaksudkan agar tetap menjaga kebersihan panel surya, yang akan berpengaruh kepada hasil produksi daya yang maksimal.
2. Untuk pengukuran data, sebaiknya menggunakan perekam data, untuk mengurangi dampak dari kesalahan pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, L. (2017). Analisa Kegagalan Sistem Grounding & Penangkal Petir Pada Apartemen Pancoran Riverside. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 6(1), 23–32.
- Arifin, N. (2019). *Unjuk Kerja Desain Perencanaan dan Studi kelayakan PLTS On-Grid DC Coupling 17 kWp Menggunakan PvSyst 6.8*. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- Baho, M. (2021). *Analisa Perbandingan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Jenis Polikristal Dengan Monokristal Terhadap Output Inverter Pure Sinus Wave*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Boedoyo, M. S. (2012). Potensi dan Peranan PLTS Sebagai Energi Alternatif Masa Depan di Indonesia. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 14(2), 146–152.
- Carolia, I. R. (2017). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Komunal Sistem Off-Grid di Pegadungan*. Universitas Mataram.
- Duka, E. T. A., Setiawan, I. N., & Weking, A. I. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya , Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung. *SPEKTRUM*, 5(2), 67–73.
- Faizal, A., & Setyaji, B. (2016). Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 14(1), 22–31.
- Fajri, F. P. (2020). *Analisis Perbandingan Kinerja Sistem PLTS IT-PLN Menggunakan PVSyst*. Institut Teknologi PLN.
- Fathurrachman, M. G., Busaeri, N., & Hiron, N. (2022). Analisis Integrasi Pembangkit Listrik Hybrid Di Wilayah Daerah Pantai Tasikmalaya Selatan Menggunakan Aplikasi HOMER. *JEEE*, 3(2), 62–70.
- Formasakti, B., Setiawan, I. N., & Giriantari, D. I. A. (2021). Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Kantor Desa Padangsambian Kaja. *SPEKTRUM*, 8(4), 20–28.
- Gunawan, N. S., Kumara, I. N. S., & Irawati, R. (2019). Unjuk Kerja Pembangkit

- Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 KWp Pada Sistem Smart Microgrid Unud. *SPEKTRUM*, 6(3), 1–9.
- Haerurrozi, Abdul Natsir, S. (2019). Analisis Unjuk Kerja PLTS On-Grid Di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (EBT) Universitas Mataram. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Hamid, R. M., Amin, M., & D, I. B. (2016). Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhanan UMKM. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 4(2), 130–136.
- HOMER. (2016). *HOMER® Pro Version 3 . 7 User Manual*. 1790 30th St Suite 100 Boulder CO 80301 USA: HOMER® Energy. Retrieved from www.homerenergy.com
- Hutasuhut, A. A., Rimbawati, Riandra, J., & Irwanto, M. (2022). Analysis of hybrid power plant scheduling system diesel / photovoltaic / microhydro in remote area. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193(12024), 13. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012024>
- Iksan, N., Hastawan, A. F., Zaki, I. F., & Himawan, W. (2019). Unjuk Kerja PLTS Di Branjang Rawapening Kabupaten Semarang. *Edusaintek*, 3(5), 604–610.
- Ilintamon, A., Pakiding, M., & Tumaliang, H. (2019). Analisis Unjuk Kerja Sistem Produksi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Waena. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(3), 133–142.
- Istiawan, S. (2019). *Pengaruh Intensitas Dan Temperatur Permukaan Panel Surya Pada Berbagai Jenis Sel Surya*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Kamil, M. (2016). Pengaruh Temperatur Baterai Pada Solar Charger Controller (SCC) Pada PLTS. *MENARA Ilmu*, 10(73), 153–158.
- Karunia Putri, I. H. (2016). *Analisis Sistem Kerja Dan Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid Kapasitas 4,2 KWp Di Perumahan Magnolia 1 Tangerang Selatan*. Institut Teknologi PLN.
- Kumala, S. (2014). Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 9 KW di Universitas Udayana Bukit Jimbaran. *SPEKTRUM*, 1(1), 118–122.

- Kurniawan, I. H., & Hayat, L. (2020). Unjuk Kerja Pembangkit Energi Listrik Tenaga Matahari Pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah. *SNIT*, 4(7), 119–125.
- Massaneda, P. S. (2019). *Avaluació del funcionament d'un sistema fotovoltaic aïllat a l'ETSEIB*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Meilasari, W. T. (2021). *Perencanaan Sistem PLTS Hybrid 5 Kwp Di Kantor Desa Grujugan Jawa Tengah*. Institut Teknologi PLN.
- Muslimah, I. R. (2021). *Pengujian Kinerja Panel Surya 250 Wp Type Polychristaline Terhadap Temperatur Lingkungan Dan Sudut Kemiringan Di Daerah*. Institut Teknologi PLN.
- Oktrialdi, B., & Harahap, P. (2022). Tanah Untuk Di Aplikasikan Pada Gardu Induk. *SEMNASTEK UISU*, 1(6), 117–125.
- Pasiowan, C. M. A., Rumbayan, M., & Patras, L. S. (2021). Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan HOMER Di Desa Lalumpe. *Jurnal EECCIS*, 1–6.
- Perdana, F. A. (2020). Baterai Lithium. *INKUIRI*, 9(2), 103–109. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50082>
- Pranoto, A., Tumaliang, H., & Mangindaan, G. M. C. (2018). Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi). *Jurnal Teknologi Dan Komputer*, 7(3), 189–198.
- Renaldo Rizqi, Y., & Ali, M. (2018). Pengembangan Modul Pembelajaran Testing Commissioning Instalasi Listrik Untuk Kegiatan Diklat Di Industri. *E-Journal Universitas Negeri Yogyakarta*, 8(2), 137–143.
- Riandra, J. (2021). *Analisa Sistem Penjadwalan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (Diesel, Fotovoltaik, Dan Mikrohidro) di Dusun Bintang Asih*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Rif, M., Hp, S., Shidiq, M., Yuwono, R., Suyono, H., & S, F. (2012). Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. *Jurnal EECCIS*, 6(1), 44–48.
- Rimbawati, Hutasuhut, A. A., & Chaniago, Y. (2018). Analysis of Hybrid Power

- Plant Technology Using Data Weather in North Sumatera. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.7), 481–485.
- Rizal Fauzi, Y. (2019). Unjuk Kerja Panel Surya Kapasitas 50 Wp Terhadap Perubahan Intensitas Cahaya Matahari. *ELTI*, 1(1), 33–37.
- Roal, M. (2015). Peningkatan Efisiensi Energi Menggunakan Baterai Dengan Kendali Otomatis Penerangan Ruang Kelas Berbasis PLTS. *Jurnal ELKHA*, 7(2), 12–19.
- S, H. A., & Dinahkandy, I. (2018). Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Berbasis Sel Fotovoltaik Untuk Mengatasi Kebutuhan Listrik Rumah Sederhana Di Daerah Terpencil. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 3(2), 88–93.
- Sujana, P. ., Kumara, I. N. ., & Giriantari, I. A. . (2015). Pengaruh Kebersihan Modul Surya Terhadap Unjuk Kerja PLTS. *SPEKTRUM*, 2(3), 49–54.
- Sukerayasa, W., Kumara, S., & Setiawan, A. (2014). Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli. *Teknologi Elektro*, 13(1), 27–33.
- Turhan, M. S., & Çetiner, Y. D. D. İ. (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi. 6. *Ulusal Çati & Cephe Sempozyumu* 12, 4(2), 10.
- Universe, P. (2016). *MPPT Solar Charge Controller Instructional Manual* (PTR Tracer). Retrieved from www.photonicuniverse.com
- Usman, A. N., & Syuhada, A. (2015). Kaji Prospek Pemanfaatan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Energi Angin dan Matahari di Desa Langi Kepulauan Simeulue. *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, 3(6), 17–23.
- Wananda, N. (2019). *Analisa Perbandingan Optimasi Pengisian Daya Baterai (Accu) Pada PLTB Dan PLTS Menggunakan Solar Charger Controller Tipe PWM Dan MPPT*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Wibisono, G., Pramono, S. H., & Muslim, M. A. (2014). MPPT Menggunakan Metode Hibrid JST dan Photovoltaic. *Jurnal EECCIS*, 8(2), 181–186.
- Wicaksana, M. R., Kumara, I. N. S., Giriantari, I. A. D., & Irawati, R. (2019). Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 kWp Pada Kantor Gubernur Bali. *SPEKTRUM*, 6(3), 107–113.

- Wiranata, I. P. A., Kumara, I. N. S., & Sukerayasa, I. W. (2019). Simulasi Unjuk Kerja Plts 1 MW Kayubihhi Jika Menggunakan Sun Tracking System. *SPEKTRUM*, 6(4), 7–14.
- Yuniarti, E., Majid, A., & Faisal. (2019). Studi Perlakuan Terhadap Tanah Untuk Menentukan Nilai Resistansi Dan Tahanan Jenis Pentanahan. *Jurnal Surya Energy*, 3(2), 269–275.



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<http://fatek.umsu.ac.id>

fatek@umsu.ac.id

[umsumedan](https://www.facebook.com/umsumedan)

[umsumedan](https://www.instagram.com/umsumedan)

[umsumedan](https://www.youtube.com/umsumedan)

[umsumedan](https://www.tiktok.com/umsumedan)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 475/II.3AU/UMSU-07/F/2022

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 22 Maret 2022 dengan ini Menetapkan :

Nama : AQSAL ABIZAR RANGKUTI
Npm : 1707220016
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Semester : X (SEPULUH)
Judul Tugas Akhir : UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 1000 WP
MENGUNAKAN SOFTWARE HOMER DI DUSUN BINTANG ASIH
Pembimbing : RIMBAWATI, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 19 Sya'ban 1443 H

22 Maret 2022 M



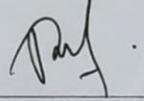
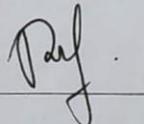
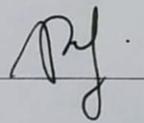
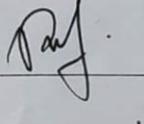
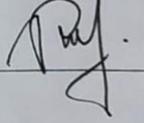
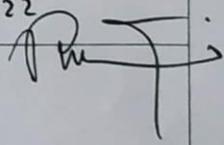
Munawar Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202



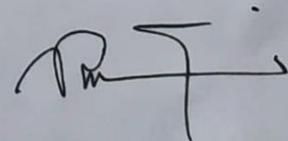
STARS

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA : AQSAL ABIZAR RANGKUTI
 NPM : 1707220016
 JUDUL TUGAS AKHIR : UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 1000 WP MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER DI DUSUN BINTANG ASIH

No.	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	Rabu / 27/7/2022	Konsultasi BAB I	
	Rabu / 3-8-2022	Revisi Bab I	
	Selasa / 9-8-2022	Konsultasi BAB II	
	Jumat / 19-8-2022	Revisi BAB II	
	Kamis / 25/8/2022	Konsultasi BAB III	
	Sabtu / 3-9-2022	Revisi BAB III	
	Jumat / 9-9-2022	ACC BAB III Ace seminar proposal 9/9 2022	

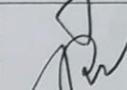
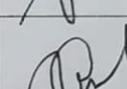
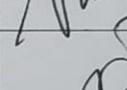
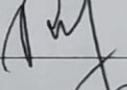
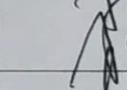
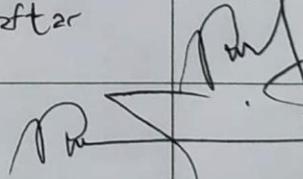
Dosen Pembimbing



RIMBAWATI, S.T., M.T.

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 WP Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih
Nama : AQSAL ABIZAR RANGKUTI
NPM : 1707220016

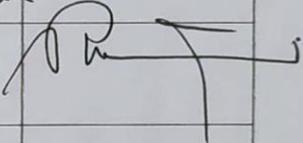
No.	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	8/10 2022	Pengambilan data	
2.	12/11 2022	Perbaikan data	
3.	23/11 2022	Simulasi data dengan aplikasi	
4.	10/12 2022	Perbaikan data hasil	
5.	14/1 2023	Perbaikan tulisan Bab IV	
6.	10/2 2023	Perbaikan tulisan Bab V	
7.	18/2 2023	Perbaikan margin dan daftar pustaka	
8.	24/2 2023	Ace seminar hasil	

Dosen Pembimbing

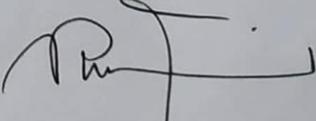

Rimbawati, S.T, M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1000 WP Menggunakan Software HOMER di Dusun Bintang Asih
Nama : AQSAL ABIZAR RANGKUTI
NPM : 1707220016

No.	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
	28/3/2023	Perbaiki Bab 4	
	4/4/2023	Perbaiki Bab 5	
	8/4/2023	Acc sidang sarjana 8/4/2022	

Dosen Pembimbing


Rimbawati, S.T, M.T

DOKUMENTASI



