

PROPOSAL TUGAS AKHIR
ANALISIS KINERJA PLTS DI PESANTREN KUALA MADU
MENGGUNAKAN HOMER

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

Disusun Oleh :

MUHAMMAD IVAN
2207220026



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Ivan

Tempat/Tgl Lahir : Medan , 11 Desember 2004

NPM : 2207220026

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

**“ANALISIS KINERJA PLTS DI PESANTREN KUALA MADU
MENGUNAKAN HOMMER ”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

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

Medan, 13 September 2026

Saya yang menyatakan,



Muhammad Ivan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Kinerja PLTS di Pesantren Kuala Madu Menggunakan HOMER”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi yang ditempuh oleh penulis.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, arahan, serta motivasi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak/Ibu Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Kepada Mamak dan Bapak, terima kasih atas doa, dukungan, pengorbanan, dan segala hal yang telah diberikan kepada penulis selama menjalani pendidikan. Tanpa doa dan dukungan Mamak dan Bapak, penulis tidak akan sampai pada tahap ini. Semoga apa yang telah penulis capai dapat menjadi salah satu bentuk kebanggaan dan rasa terima kasih kepada Mamak dan Bapak.
3. Kepada Kakak, terima kasih atas dukungan, semangat, nasihat, dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama menjalani perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sudah selalu memberikan semangat ketika penulis menghadapi berbagai kesulitan dalam proses penyelesaian pendidikan.
4. Kepada seluruh Bapak/Ibu dosen dan staf di [Nama Fakultas/Program Studi] yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan.
5. Kepada semua pihak yang telah membantu penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan

saran yang membangun demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta dapat menjadi bahan referensi bagi penelitian selanjutnya, khususnya yang berkaitan dengan analisis kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan HOMER.

Penulis

Muhammad Ivan
2207220026

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik. Pemanfaatan PLTS pada lingkungan pesantren perlu dianalisis untuk mengetahui kinerja sistem dan kontribusinya terhadap kebutuhan beban listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem PLTS di Pesantren Kuala Madu menggunakan perangkat lunak HOMER, mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS, serta mengetahui kemampuan PLTS dalam memenuhi kebutuhan beban listrik pesantren. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan memanfaatkan data beban listrik, radiasi matahari, spesifikasi komponen PLTS, serta parameter ekonomi sebagai data masukan dalam pemodelan HOMER. Analisis dilakukan melalui proses pemodelan, simulasi, dan optimasi sistem PLTS grid-connected. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi produksi energi listrik, capacity factor, renewable fraction, kemampuan PLTS dalam memenuhi beban, serta parameter ekonomi sistem berupa net present cost (NPC) dan cost of energy (COE). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem photovoltaic (PV) dengan kapasitas 10 kW menghasilkan energi listrik sebesar 13.583 kWh/tahun dengan capacity factor sebesar 15,51% dan renewable fraction sebesar 4,42%. Kebutuhan energi listrik Pesantren Kuala Madu mencapai sekitar 291.643,03 kWh/tahun, sehingga produksi energi dari PLTS masih belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan beban. Energi listrik yang diperoleh dari jaringan mencapai 278.739 kWh/tahun, sedangkan tidak terdapat energi yang dijual kembali ke jaringan. Dengan demikian, PLTS pada kondisi sistem yang dianalisis berperan sebagai sumber energi tambahan yang membantu mengurangi sebagian kebutuhan listrik dari jaringan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi dalam pengembangan dan peningkatan pemanfaatan energi surya di Pesantren Kuala Madu.

Kata kunci: PLTS, HOMER, kinerja sistem, Pesantren Kuala Madu.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	6
2.1.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	6
2.1.2 Prinsip Kerja PLTS	7
2.1.3 Jenis – Jenis PLTS.....	8
2.2 Komponen Penyusun PLTS.....	12
2.3 Energi Surya dan Radiasi Matahari.....	17
2.4 Parameter Kinerja PLTS	20
2.4.1 Produksi Energi Listrik.....	20
2.4.2 Capacity Factor (CF)	21
2.4.3 Renewable Fraction (RF).....	21
2.4.4 Net Present Cost (NPC).....	22
2.4.5 Cost of Energy (COE)	23
2.5 Homer	23
2.5.1 Pengertian Homer	23
2.5.2 Fungsi Homer	24
2.5.3 Simulasi Sistem	24
2.5.4 Optimasi Sistem.....	24
2.5.5 Analisis Sensitivitas.....	25
2.5.6 Tampilan Homer	25
2.5.7 Input Data pada HOMER	25
2.5.8 Input Data pada HOMER	26

2.6 Penelitian Terdahulu	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Jenis Penelitian	20
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	20
3.3 Objek Penelitian	20
3.4 Teknik Pengumpulan Data	21
3.4.1 Observasi	21
3.4.2 Dokumentasi	21
3.4.3 Studi Literatur	21
3.5 Variabel Penelitian	21
3.5.1 Variabel Input	21
3.5.2 Variabel Output	21
3.6 Prosedur Penelitian	22
3.6.1 Bagan Alir Penelitian	22
3.7 Teknik Analisis Data	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Gambaran Umum Sistem PLTS Pesantren Kuala Madu	36
4.2 Data Beban Listrik Pesantren	37
4.3 Data Sistem PLTS dan Radiasi Matahari	40
4.3.1 Data Sistem PLTS	40
4.3.2 Data Radiasi Matahari	41
4.4 Pemodelan dan Simulasi PLTS Menggunakan HOMER	42
4.5 Hasil Simulasi HOMER Pro	51
4.6 Analisis Kinerja PLTS	52
4.6.1 Analisis Produksi Energi PLTS	52
4.6.2 Analisis Capacity Factor	53
4.6.3 Analisis Renewable Fraction	54
4.6.4 Analisis Kemampuan PLTS Memenuhi Beban	54
4.6.5 Analisis Ekonomi Sistem	55
4.7 Pembahasan	56
4.7.1 Produksi Energi Listrik PLTS	56
4.7.2 Analisis Capacity Factor	58
4.7.3 Analisis Renewable Fraction	59
4.7.4 Kemampuan PLTS dalam Memenuhi Beban Listrik	60
4.7.5 Analisis Ekonomi Sistem	61

4.7.6	Evaluasi Kinerja PLTS secara Keseluruhan	62
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		69

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Beban Listrik Pesantren Kuala Madu	25
Tabel 4.2 Data Komponen Sistem PLTS	28
Tabel 4.3 Data Radiasi Matahari Bulanan	29
Tabel 4.4 Parameter Pemodelan HOMER Pro	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTS	6
Gambar 2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid	7
Gambar 2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid	8
Gambar 2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid	9
Gambar 2.5 Panel Surya (Photovoltaic/PV)	10
Gambar 2.6 Inverter	10
Gambar 2.7 Solar Charge Controller (SCC)	12
Gambar 2.8 Tampilan Perangkat Lunak HOMER	17
Gambar 4.1 Schematic Sistem PLTS Grid-Connected pada HOMER Pro	33
Gambar 4.2 Input Electric Load pada HOMER Pro	34
Gambar 4.3 Solar GHI Resource pada HOMER Pro	34

Gambar 4.4 Parameter Photovoltaic (PV) pada HOMER Pro	35
Gambar 4.5 Parameter Converter pada HOMER Pro	35
Gambar 4.6 Parameter Grid pada HOMER Pro	36
Gambar 4.7 Parameter Ekonomi Sistem pada HOMER Pro	36
Gambar 4.8 Hasil Optimasi Sistem PLTS pada HOMER Pro	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan penduduk, perkembangan teknologi, serta meningkatnya aktivitas ekonomi dan pendidikan. Di sisi lain, ketergantungan terhadap energi fosil masih menimbulkan berbagai permasalahan, seperti keterbatasan cadangan energi dan peningkatan emisi karbon yang berdampak terhadap lingkungan (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan energi baru terbarukan menjadi salah satu strategi yang terus dikembangkan untuk mendukung ketahanan energi nasional. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi surya yang dimanfaatkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki potensi energi surya mencapai sekitar 4,8–5,1 kWh/m² per hari sehingga sangat potensial untuk pengembangan sistem PLTS di berbagai wilayah Indonesia.

PLTS merupakan sistem pembangkit yang memanfaatkan modul fotovoltaik untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Menurut Rusirawan & Nurprabowo (2024), teknologi fotovoltaik menjadi salah satu solusi penyedia energi listrik yang ramah lingkungan karena memanfaatkan sumber energi yang tersedia secara alami dan berkelanjutan. Selain itu, penggunaan PLTS dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil serta menekan biaya operasional listrik dalam jangka panjang.

Namun demikian, kinerja PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan, kapasitas panel surya, efisiensi

inverter, kapasitas baterai, serta karakteristik beban listrik yang digunakan. Menurut Simanjuntak & Triyanto (2024), perubahan kondisi beban dan konfigurasi sistem akan mempengaruhi jumlah energi yang dihasilkan serta tingkat efisiensi sistem PLTS secara keseluruhan. Oleh karena itu, evaluasi kinerja PLTS perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan energi listrik pengguna.

Dalam melakukan evaluasi dan optimasi sistem energi terbarukan, salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah Homer (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables). Menurut Beluco dkk. (2020), Homer merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk melakukan simulasi, optimasi, dan analisis teknis maupun ekonomis pada sistem energi terbarukan maupun sistem hibrida. Melalui Homer, berbagai parameter seperti produksi energi tahunan, Net Present Cost (NPC), Cost of Energy (COE), renewable fraction, dan capacity factor dapat dianalisis untuk menentukan tingkat kinerja dan efisiensi suatu sistem PLTS.

Pesantren sebagai lembaga pendidikan berbasis keagamaan memiliki kebutuhan energi listrik yang cukup besar untuk menunjang kegiatan pembelajaran, penerangan, operasional administrasi, serta kebutuhan asrama santri yang berlangsung hampir selama 24 jam. Oleh karena itu, penerapan PLTS pada lingkungan pesantren menjadi alternatif yang potensial dalam mendukung kemandirian energi sekaligus mengurangi biaya penggunaan listrik. Akan tetapi, keberhasilan implementasi PLTS tidak hanya ditentukan oleh keberadaan instalasi pembangkit, melainkan juga oleh kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan energi listrik secara optimal.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Husna & Santoso (2025) menunjukkan bahwa simulasi menggunakan Homer mampu menentukan konfigurasi sistem PLTS yang optimal berdasarkan parameter teknis dan ekonomi. Sementara itu, Hartopo & Rosyadi (2025) menyatakan bahwa penggunaan Homer pada sistem energi surya dapat menghasilkan konfigurasi pembangkit dengan nilai Net Present Cost (NPC) dan Levelized Cost of Energy (LCOE) yang lebih efisien.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada sektor rumah tangga, gedung perkantoran, dan daerah terpencil, sedangkan penelitian mengenai analisis kinerja PLTS pada lingkungan pesantren masih relatif terbatas, khususnya pada Pesantren Kuala Madu. Padahal karakteristik konsumsi energi listrik pada lingkungan pesantren memiliki pola yang berbeda dibandingkan rumah tangga maupun perkantoran karena adanya aktivitas pendidikan dan kegiatan asrama yang berlangsung sepanjang hari.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan penelitian mengenai analisis kinerja PLTS di Pesantren Kuala Madu menggunakan Homer untuk mengetahui tingkat efektivitas, efisiensi, serta kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan energi listrik pesantren. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi dan rekomendasi dalam pengembangan sistem PLTS yang lebih optimal serta menjadi referensi bagi lembaga pendidikan lain dalam penerapan energi terbarukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Pesantren Kuala Madu berdasarkan hasil simulasi menggunakan Homer?

2. Berapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS di Pesantren Kuala Madu?
3. Bagaimana kemampuan sistem PLTS dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di Pesantren Kuala Madu?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Pesantren Kuala Madu menggunakan Homer.
2. Untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS di Pesantren Kuala Madu.
3. Untuk mengetahui kemampuan sistem PLTS dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di Pesantren Kuala Madu.

1.4 Ruang Lingkup

Untuk memperjelas masalah yang akan dibahas dan agar tidak terjadi pembahasan yang terlalu luas, maka ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada sistem PLTS yang terdapat di Pesantren Kuala Madu.
2. Analisis sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak Homer.
3. Data yang digunakan meliputi data radiasi matahari, data beban listrik, dan spesifikasi komponen PLTS.
4. Parameter yang dianalisis meliputi produksi energi listrik, konsumsi energi listrik, serta kinerja sistem PLTS berdasarkan hasil simulasi Homer.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kinerja sistem PLTS di Pesantren Kuala Madu berdasarkan hasil analisis menggunakan Homer.
2. Menjadi bahan evaluasi terhadap pemanfaatan PLTS di Pesantren Kuala Madu.
3. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisis kinerja PLTS menggunakan Homer.
4. Mendukung pengembangan pemanfaatan energi baru terbarukan, khususnya energi surya, pada sektor pendidikan dan pesantren.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.1.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

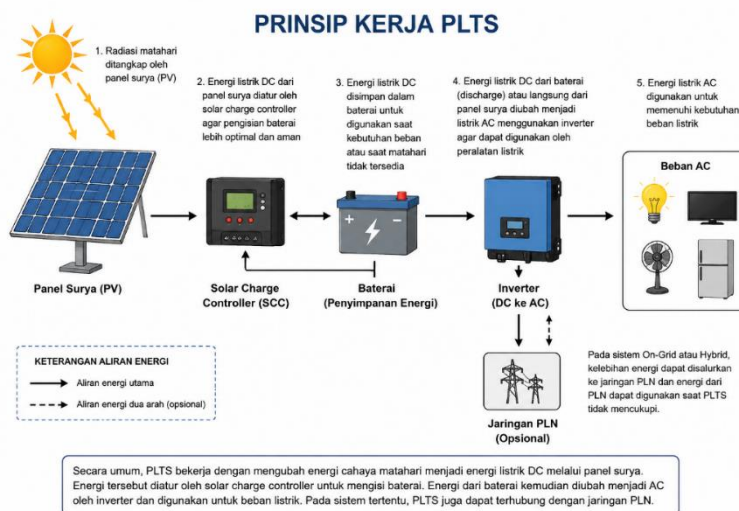
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi radiasi matahari sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan energi listrik melalui proses konversi menggunakan modul fotovoltaik (*photovoltaic* atau PV). Energi cahaya matahari yang diterima oleh modul surya akan diubah menjadi energi listrik arus searah (*Direct Current/DC*), kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) menggunakan inverter sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik. Menurut Manullang dkk. (2020), PLTS merupakan sistem pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari yang dikonversi menjadi energi listrik menggunakan teknologi photovoltaic (PV).

PLTS menjadi salah satu teknologi energi terbarukan yang banyak dikembangkan karena memanfaatkan sumber energi yang tersedia secara alami, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Selain itu, penggunaan PLTS dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil serta mendukung upaya pengurangan emisi karbon di sektor energi. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang cukup besar dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sekitar 4,5–5,1 kWh/m² per hari sehingga sangat mendukung pengembangan sistem PLTS di berbagai sektor, termasuk sektor pendidikan dan pesantren (Zulni, 2023).

2.1.2 Prinsip Kerja PLTS

Prinsip kerja PLTS didasarkan pada efek fotovoltaiik (*photovoltaic effect*), yaitu proses perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik oleh sel surya (*solar cell*). Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, foton dari cahaya matahari akan melepaskan elektron pada material semikonduktor sehingga menghasilkan aliran arus listrik searah (DC). Selanjutnya energi listrik DC tersebut akan disalurkan menuju inverter untuk diubah menjadi arus bolak-balik (AC) agar dapat digunakan oleh peralatan listrik maupun disalurkan ke jaringan listrik apabila sistem menggunakan konfigurasi *on-grid* (Rahmanta dkk, 2023).

Secara umum, aliran energi pada sistem PLTS dimulai dari penyerapan radiasi matahari oleh panel surya, kemudian energi listrik yang dihasilkan akan melewati *solar charge controller* untuk mengatur proses pengisian baterai pada sistem yang menggunakan penyimpanan energi. Selanjutnya inverter akan mengubah energi listrik DC menjadi AC sebelum digunakan oleh beban listrik.

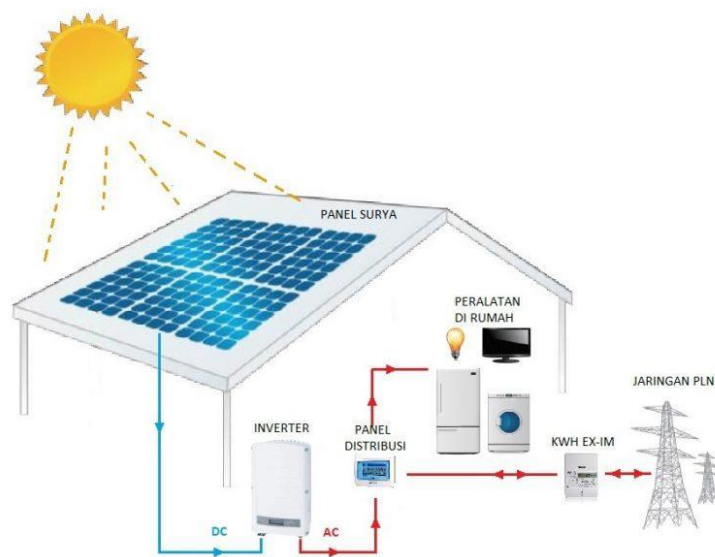


Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTS

2.1.3 Jenis – Jenis PLTS

a. PLTS On-Grid

PLTS on-grid merupakan sistem PLTS yang terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN tanpa menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi utama. Energi listrik yang dihasilkan panel surya akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban, sedangkan apabila produksi listrik PLTS melebihi kebutuhan beban maka kelebihan energi dapat disalurkan kembali ke jaringan listrik (export energy). Sebaliknya, apabila produksi energi dari PLTS tidak mencukupi, maka kebutuhan listrik akan dipenuhi oleh jaringan PLN (Prayogo, 2019).



Gambar 2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid

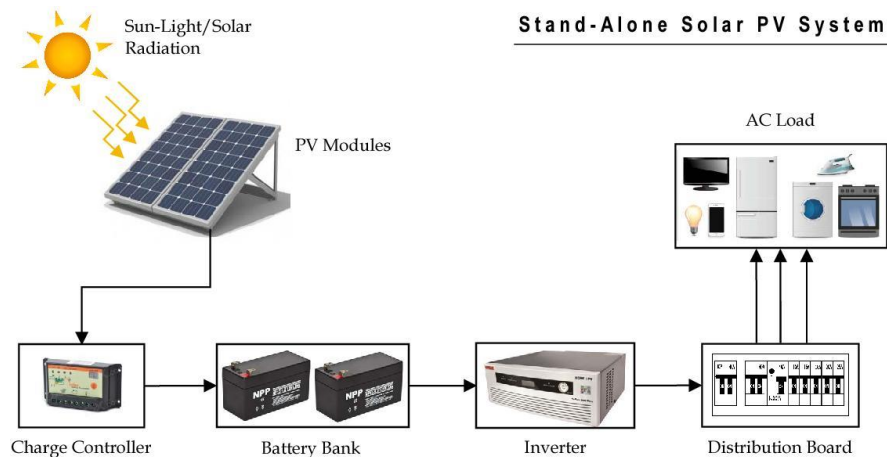
Pada sistem ini:

- Jika produksi listrik PLTS lebih besar dari kebutuhan beban, maka kelebihan energi dapat disalurkan ke jaringan PLN.

- Jika produksi listrik PLTS lebih kecil dari kebutuhan beban, maka kekurangannya akan dipasok oleh PLN.

b. PLTS Off-Grid

PLTS off-grid merupakan sistem PLTS yang beroperasi secara mandiri dan tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN (Prayogo, 2019). Sistem ini menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi sehingga energi yang dihasilkan pada siang hari dapat digunakan kembali pada malam hari atau saat intensitas matahari rendah. Sistem off-grid umumnya diterapkan pada daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.



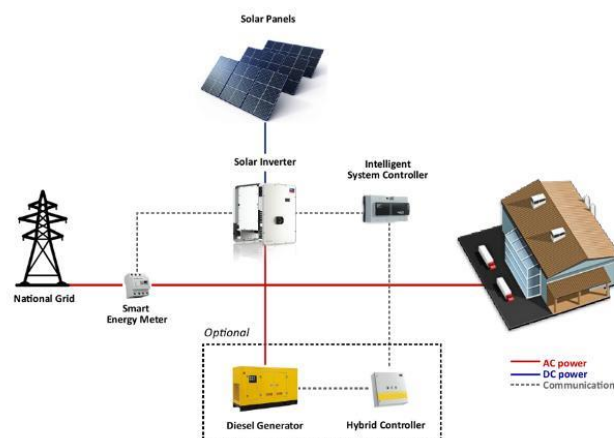
Gambar 2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid

Pada sistem PLTS ini, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya (PV Panels) akan dikonversi menjadi energi listrik arus searah (DC) dan digunakan untuk menyuplai kebutuhan beban melalui off-grid inverter. Selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban, energi listrik yang berlebih akan disimpan pada battery bank sebagai cadangan energi. Ketika produksi energi dari panel surya menurun, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung, baterai akan menyuplai energi listrik untuk memenuhi kebutuhan beban. Sistem ini tidak

terhubung dengan jaringan PLN sehingga seluruh kebutuhan energi listrik bergantung pada panel surya dan baterai.

c. PLTS Hybrid

PLTS hybrid merupakan sistem pembangkit yang menggabungkan PLTS dengan sumber energi lain seperti PLTD, PLTB, maupun jaringan PLN untuk meningkatkan keandalan sistem dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Menurut Karnanto dkk. (2023), sistem pembangkit hybrid merupakan sistem yang mengintegrasikan dua atau lebih sumber energi dalam satu sistem pembangkit untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan penyediaan energi Listrik



Gambar 2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid

Pada sistem PLTS hybrid, energi listrik diperoleh dari kombinasi panel surya, baterai, dan jaringan PLN atau sumber energi lainnya. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keandalan pasokan energi listrik serta mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan.

2.1.4 Karakteristik dan Keunggulan PLTS

PLTS memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional karena sumber energi yang digunakan berasal

dari radiasi matahari. Produksi energi listrik pada PLTS tidak bersifat konstan sepanjang waktu, tetapi berubah mengikuti intensitas radiasi matahari yang diterima oleh modul photovoltaic. Pada siang hari, ketika radiasi matahari tersedia dalam jumlah yang cukup, panel surya dapat menghasilkan energi listrik secara optimal. Sebaliknya, produksi energi akan menurun ketika intensitas radiasi berkurang akibat kondisi cuaca, awan, hujan, maupun faktor lingkungan lainnya. Kondisi tersebut menyebabkan karakteristik produksi energi PLTS bersifat intermiten dan perlu diperhitungkan dalam proses perencanaan maupun evaluasi sistem.

Salah satu keunggulan PLTS adalah sumber energinya berasal dari matahari yang tersedia secara alami dan dapat diperbarui. Sistem PLTS juga tidak membutuhkan bahan bakar dalam proses pembangkitan energi listrik sehingga biaya bahan bakar dapat diminimalkan. Selain itu, proses pembangkitan listrik menggunakan photovoltaic tidak menghasilkan emisi secara langsung selama sistem beroperasi. Hal tersebut menjadikan PLTS sebagai salah satu alternatif pembangkit yang dapat mendukung pengurangan penggunaan energi fosil dan pengembangan energi baru terbarukan.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, PLTS juga memiliki keterbatasan. Ketergantungan terhadap radiasi matahari menyebabkan produksi listrik mengalami perubahan berdasarkan waktu dan kondisi cuaca. Pada malam hari, panel photovoltaic tidak menghasilkan energi listrik sehingga sistem yang membutuhkan pasokan energi secara terus-menerus memerlukan sumber energi tambahan atau sistem penyimpanan energi. Pada sistem on-grid seperti yang digunakan dalam penelitian ini, jaringan listrik dapat berfungsi sebagai sumber

energi tambahan ketika produksi PLTS tidak mampu memenuhi kebutuhan beban. Oleh karena itu, evaluasi terhadap hubungan antara produksi energi PLTS dan kebutuhan beban menjadi penting untuk mengetahui tingkat kontribusi sistem terhadap konsumsi energi listrik.

2.2 Komponen Penyusun PLTS

2.2.1 Panel Surya (Photovoltaic/PV)

Panel surya atau Photovoltaic (PV) merupakan komponen utama dalam sistem PLTS yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Menurut Rusirawan dan Nurprabowo (2024), teknologi fotovoltaiik memanfaatkan material semikonduktor untuk mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik.

Prinsip kerja panel surya didasarkan pada efek fotovoltaiik (photovoltaic effect), yaitu proses pelepasan elektron pada material semikonduktor akibat paparan foton dari cahaya matahari sehingga menghasilkan arus listrik searah (Direct Current/DC). Semakin besar intensitas radiasi matahari yang diterima, maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya.



Gambar 2.5 Panel Surya (Photovoltaic/PV)

2.2.2 Inverter

Inverter merupakan perangkat yang berfungsi mengubah arus searah (Direct Current/DC) yang dihasilkan oleh panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (Alternating Current/AC) sehingga dapat digunakan oleh peralatan listrik maupun disalurkan ke jaringan listrik PLN.

Berdasarkan penggunaannya, inverter pada sistem PLTS dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Grid-Tied Inverter, digunakan pada sistem PLTS on-grid yang terhubung dengan jaringan PLN.
2. Off-Grid Inverter, digunakan pada sistem PLTS mandiri yang menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi.
3. Hybrid Inverter, digunakan pada sistem PLTS hybrid yang menggabungkan panel surya, baterai, dan jaringan PLN atau sumber energi lainnya.



Gambar 2.5 Inverter

2.2.3 Baterai

Baterai merupakan komponen penyimpanan energi (*energy storage*) pada sistem PLTS yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan kembali ketika produksi energi menurun, seperti pada malam hari atau saat kondisi cuaca mendung (Linden & Reddy, 2011). Jenis baterai yang umum digunakan pada sistem PLTS antara lain:

1. Lead Acid Battery

Lead Acid Battery merupakan jenis baterai yang paling banyak digunakan pada sistem PLTS karena memiliki harga yang relatif murah dan mudah diperoleh. Namun, baterai ini memiliki umur pakai yang lebih pendek dibandingkan baterai jenis lainnya.

2. Lithium-Ion Battery

Lithium-Ion Battery memiliki efisiensi yang tinggi, umur pakai yang lebih panjang, serta bobot yang lebih ringan dibandingkan baterai timbal-asam (lead acid). Akan tetapi, biaya investasinya relatif lebih mahal.

3. Gel Battery

Gel Battery merupakan pengembangan dari baterai timbal-asam yang menggunakan elektrolit berbentuk gel sehingga lebih tahan terhadap getaran dan memiliki tingkat perawatan yang lebih rendah.

4. AGM (Absorbent Glass Mat) Battery

AGM Battery menggunakan separator berbahan serat kaca untuk menyerap elektrolit sehingga memiliki kemampuan pengisian yang lebih cepat serta tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan baterai timbal-asam konvensional.

2.2.4 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller (SCC) merupakan perangkat yang berfungsi mengatur proses pengisian dan pengosongan baterai sehingga baterai terlindungi dari kondisi overcharging maupun overdischarging. Selain itu, SCC juga berfungsi menjaga kestabilan tegangan dan arus yang masuk ke baterai sehingga umur pakai baterai dapat meningkat. Berdasarkan metode pengontrolannya, SCC dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. PWM (Pulse Width Modulation), yaitu SCC yang bekerja dengan cara menyesuaikan lebar pulsa tegangan untuk mengatur proses pengisian baterai.
2. MPPT (Maximum Power Point Tracking), yaitu SCC yang mampu mencari titik daya maksimum dari panel surya sehingga efisiensinya lebih tinggi dibandingkan PWM.



Gambar 2.6 Solar Charge Controller (SCC)

Setiap komponen dalam sistem PLTS memiliki fungsi yang saling berkaitan dalam proses pembangkitan dan pemanfaatan energi listrik. Panel photovoltaic berperan sebagai sumber utama yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik DC. Energi listrik tersebut selanjutnya diproses oleh inverter agar dapat digunakan oleh beban listrik dalam bentuk arus AC. Pada sistem yang

menggunakan baterai, energi listrik yang berlebih dapat disimpan sehingga dapat digunakan kembali ketika produksi photovoltaic mengalami penurunan.

Kinerja masing-masing komponen akan memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Kapasitas photovoltaic menentukan besarnya potensi energi yang dapat dihasilkan, sedangkan efisiensi inverter memengaruhi besarnya energi yang dapat dikonversikan dari DC menjadi AC. Selain itu, faktor derating juga perlu diperhatikan karena kondisi nyata sistem dapat mengalami kehilangan energi akibat temperatur, kabel, debu, ketidaksesuaian modul, dan faktor teknis lainnya. Dengan demikian, kapasitas terpasang suatu PLTS tidak selalu sama dengan energi aktual yang dapat digunakan oleh beban.

Pada sistem PLTS on-grid, jaringan listrik memiliki fungsi sebagai sumber pendukung ketika produksi energi dari photovoltaic tidak mencukupi kebutuhan beban. Sebaliknya, ketika produksi photovoltaic lebih besar daripada kebutuhan beban, kelebihan energi dapat menjadi energi yang tidak termanfaatkan atau dapat disalurkan ke jaringan sesuai dengan konfigurasi dan kebijakan sistem. Hubungan antara photovoltaic, inverter, beban, dan jaringan listrik tersebut perlu dimodelkan dengan tepat dalam perangkat lunak HOMER agar hasil simulasi dapat menggambarkan kondisi sistem secara lebih realistis.

Aliran energi pada sistem PLTS secara sederhana dapat dijelaskan melalui beberapa tahap. Pertama, radiasi matahari diterima oleh modul photovoltaic. Kedua, modul photovoltaic mengubah energi radiasi tersebut menjadi energi listrik DC. Ketiga, inverter mengubah energi DC menjadi AC. Keempat, energi listrik digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban. Apabila energi PLTS tidak mencukupi, kekurangan energi akan dipasok oleh jaringan listrik. Pola aliran

energi tersebut menjadi dasar dalam pemodelan sistem PLTS Pesantren Kuala Madu menggunakan HOMER.

2.3 Energi Surya dan Radiasi Matahari

2.3.1 Pengertian Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang berasal dari radiasi matahari dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan untuk menghasilkan energi listrik melalui teknologi fotovoltaik (photovoltaic). Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2023), energi surya merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia karena ketersediaannya yang melimpah sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya dinilai lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama proses pembangkitan energi listrik.

Menurut Rusirawan & Nurprabowo (2024), energi surya merupakan sumber energi alternatif yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia karena berada di wilayah tropis yang memiliki intensitas penyinaran matahari relatif tinggi sepanjang tahun.

2.3.2 Potensi Energi Surya di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah khatulistiwa sehingga memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data Kementerian ESDM, rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia berkisar antara **4,5–5,1 kWh/m²/hari**, sehingga sangat mendukung pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) baik dalam skala rumah tangga maupun skala industri.

Potensi energi surya yang besar tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki peluang besar dalam pengembangan energi baru terbarukan guna mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan mendukung target bauran energi nasional.

2.3.3 Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari merupakan jumlah energi matahari yang diterima oleh suatu permukaan dalam satuan luas dan waktu tertentu. Intensitas radiasi matahari umumnya dinyatakan dalam satuan **kWh/m²/hari** atau **W/m²**. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh besarnya intensitas radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya (Masters, 2013).

Semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya, maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS. Sebaliknya, apabila intensitas radiasi matahari menurun akibat kondisi cuaca atau faktor lingkungan lainnya, maka produksi energi listrik dari panel surya juga akan mengalami penurunan. Secara matematis, energi radiasi matahari dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$H=G \times t \quad (2.1)$$

Keterangan :

- H = energi radiasi matahari (Wh/m²)
- G= intensitas radiasi matahari (W/m²)
- t= lama penyinaran matahari (jam)

2.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Radiasi Matahari

Besarnya radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, menurut Darwin dkk (2020) faktornya antara lain:

1. Kondisi Cuaca

Keberadaan awan, hujan, dan kabut dapat mengurangi intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya.

2. Letak Geografis

Posisi suatu wilayah terhadap garis khatulistiwa mempengaruhi jumlah energi matahari yang diterima sepanjang tahun.

3. Sudut Kemiringan Panel

Kemiringan panel surya yang sesuai dengan posisi matahari dapat meningkatkan penyerapan radiasi matahari.

4. Temperatur Lingkungan

Peningkatan suhu panel surya dapat menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi listrik pada modul fotovoltaik.

5. Shading (Bayangan)

Bayangan yang berasal dari pohon, bangunan, maupun objek lainnya dapat mengurangi kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik.

Selain faktor cuaca, geografis, sudut kemiringan panel, temperatur, dan shading, kondisi lingkungan sekitar instalasi juga dapat memengaruhi jumlah radiasi yang diterima oleh modul photovoltaic. Debu dan kotoran yang menempel pada permukaan panel dapat mengurangi jumlah radiasi yang masuk ke permukaan sel surya. Penurunan radiasi yang diterima tersebut selanjutnya dapat menyebabkan penurunan daya keluaran photovoltaic. Oleh karena itu, kebersihan

permukaan modul merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan sistem PLTS.

Temperatur modul juga memiliki hubungan dengan kinerja photovoltaic. Meskipun peningkatan temperatur biasanya terjadi bersamaan dengan meningkatnya intensitas matahari, kenaikan temperatur modul yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi konversi photovoltaic. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa besarnya radiasi matahari bukan satu-satunya faktor yang menentukan produksi energi listrik. Karakteristik modul, temperatur, kondisi lingkungan, dan faktor kehilangan sistem secara bersama-sama memengaruhi energi listrik aktual yang dihasilkan.

Variasi radiasi matahari juga menyebabkan produksi energi photovoltaic berbeda antarbulan. Bulan dengan nilai GHI yang lebih tinggi secara umum memiliki potensi produksi energi yang lebih besar dibandingkan bulan dengan nilai GHI yang lebih rendah. Berdasarkan data yang digunakan dalam penelitian ini, nilai GHI di lokasi penelitian berada pada kisaran 4,08–5,02 kWh/m²/hari. Nilai tertinggi terjadi pada bulan Maret, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan November. Perbedaan tersebut menjadi salah satu pertimbangan dalam simulasi tahunan menggunakan HOMER karena perangkat lunak memperhitungkan variasi sumber daya matahari selama periode operasi.

2.4 Parameter Kinerja PLTS

2.4.1 Produksi Energi Listrik

Produksi energi listrik merupakan jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dalam periode waktu tertentu. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Lambert, Gilman, & Lilienthal, 2006) :

$$E = P \times t \quad (2.2)$$

Keterangan:

- E = energi listrik yang dihasilkan (Wh atau kWh)
- P = daya listrik yang dihasilkan (W atau kW)
- t = waktu operasi (jam)

Semakin besar daya yang dihasilkan dan semakin lama waktu operasi, maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS.

2.4.2 Capacity Factor (CF)

Capacity Factor merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat pemanfaatan kapasitas terpasang dari suatu pembangkit listrik selama periode tertentu.

$$CF = \frac{E_{actual}}{P_{rated} \times 8760} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

- CF = Capacity Factor (%)
- E_{actual} = energi listrik aktual yang dihasilkan selama satu tahun (kWh/tahun)
- P_{rated} = kapasitas terpasang sistem PLTS (kW)
- 8760 = jumlah jam dalam satu tahun (24×365)

Nilai Capacity Factor yang tinggi menunjukkan bahwa sistem PLTS bekerja secara optimal dalam memanfaatkan kapasitas terpasangnya.

2.4.3 Renewable Fraction (RF)

Renewable Fraction merupakan persentase kontribusi energi terbarukan terhadap total energi yang digunakan oleh sistem.

$$RF = \frac{E_{renewable}}{E_{total}} \times 100\% \quad (2.4)$$

dengan:

- RF = Renewable Fraction (%)
- $E_{renewable}$ = energi yang berasal dari sumber energi terbarukan (kWh)
- E_{total} = total energi yang digunakan oleh sistem (kWh)

Semakin besar nilai *Renewable Fraction*, maka semakin besar pula kontribusi energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan energi sistem.

2.4.4 Net Present Cost (NPC)

Net Present Cost (NPC) merupakan total biaya sistem selama umur proyek yang telah dikonversi ke nilai saat ini (*present value*). Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi suatu sistem PLTS.

$$NPC = \frac{C_{ann,total}}{CRF(i,N)} \quad (2.5)$$

dengan:

- NPC = Net Present Cost (\$ atau Rp)
- $C_{ann,total}$ = total biaya tahunan sistem
- $CRF(i, N)$ = Capital Recovery Factor
- i = tingkat suku bunga tahunan (%)
- N = umur proyek (tahun)

Semakin kecil nilai NPC, maka semakin ekonomis sistem yang dianalisis.

2.4.5 Cost of Energy (COE)

Cost of Energy (COE) merupakan biaya rata-rata yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik dari sistem PLTS.

$$COE = \frac{C_{ann,total}}{E_{served}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

- COE= Cost of Energy (\$/kWh atau Rp/kWh)
- $C_{ann,total}$ = total biaya tahunan sistem
- E_{served} = total energi listrik yang berhasil dilayani oleh sistem (kWh/tahun)

Nilai COE digunakan sebagai indikator untuk mengetahui tingkat keekonomian energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS.

2.5 Homer

2.5.1 Pengertian Homer

Homer (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi, optimasi, dan analisis sistem pembangkit energi terbarukan maupun sistem hibrida. Homer dikembangkan oleh National Renewable Energy Laboratory (NREL) untuk membantu perancang sistem dalam menentukan konfigurasi sistem energi yang paling optimal berdasarkan aspek teknis dan ekonomis.

Menurut Lambert, Gilman, dan Lilienthal (2006), Homer merupakan perangkat lunak yang mampu memodelkan berbagai konfigurasi sistem energi

serta mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter teknis dan biaya selama umur proyek.

2.5.2 Fungsi Homer

Dalam penelitian sistem energi terbarukan, Homer memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

1. Melakukan simulasi kinerja sistem pembangkit energi terbarukan.
2. Menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal.
3. Melakukan analisis ekonomi terhadap sistem yang dirancang.
4. Membandingkan berbagai alternatif konfigurasi sistem pembangkit.
5. Membantu pengambilan keputusan dalam perencanaan sistem energi terbarukan.

2.5.3 Simulasi Sistem

Simulasi sistem merupakan proses perhitungan kinerja sistem berdasarkan data masukan seperti radiasi matahari, profil beban listrik, spesifikasi komponen, dan parameter ekonomi. Homer akan menghitung produksi energi, konsumsi energi, serta keseimbangan energi sistem untuk setiap periode operasi.

Hasil simulasi yang dihasilkan antara lain meliputi produksi energi listrik, konsumsi energi, kelebihan energi (excess electricity), serta kekurangan energi (capacity shortage).

2.5.4 Optimasi Sistem

Optimasi sistem merupakan proses pencarian konfigurasi sistem yang paling sesuai berdasarkan kombinasi komponen yang tersedia dan kriteria ekonomi yang telah ditentukan. Homer akan mengevaluasi berbagai kemungkinan konfigurasi

sistem untuk memperoleh sistem dengan biaya terendah namun tetap memenuhi kebutuhan beban listrik.

Parameter ekonomi yang umumnya digunakan dalam proses optimasi antara lain Net Present Cost (*NPC*), Cost of Energy (*COE*), dan biaya operasional sistem.

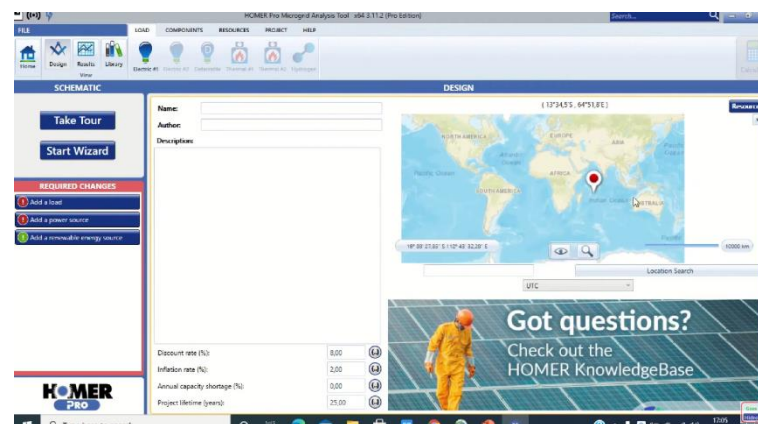
2.5.5 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter tertentu terhadap kinerja dan biaya sistem. Parameter yang biasanya dianalisis antara lain perubahan intensitas radiasi matahari, harga komponen, tingkat suku bunga, dan pertumbuhan beban listrik.

Melalui analisis sensitivitas, dapat diketahui tingkat ketahanan sistem terhadap perubahan kondisi operasi maupun perubahan parameter ekonomi di masa mendatang.

2.5.6 Tampilan Homer

Homer menyediakan antarmuka yang memudahkan pengguna dalam memasukkan data sistem, menjalankan simulasi, serta menampilkan hasil analisis dalam bentuk tabel maupun grafik.



Gambar 2.6 Tampilan Perangkat Lunak Homer

2.5.7 Input Data pada HOMER

Dalam proses pemodelan sistem energi, perangkat lunak HOMER membutuhkan beberapa jenis data sebagai masukan agar sistem yang disimulasikan dapat menggambarkan kondisi aktual. Data utama yang digunakan meliputi profil beban listrik, sumber daya matahari, kapasitas photovoltaic, converter atau inverter, jaringan listrik, serta parameter ekonomi. Profil beban digunakan untuk menunjukkan pola kebutuhan energi listrik pada setiap periode waktu, sedangkan data radiasi matahari digunakan untuk menggambarkan ketersediaan sumber energi surya pada lokasi penelitian.

Data komponen photovoltaic yang dimasukkan ke dalam HOMER meliputi kapasitas sistem, efisiensi, derating factor, umur komponen, biaya modal, biaya penggantian, dan biaya operasional. Sementara itu, parameter converter digunakan untuk menentukan kemampuan perangkat dalam melakukan konversi energi serta tingkat efisiensinya. Pada sistem on-grid, data jaringan listrik juga diperlukan, seperti harga pembelian energi listrik dari jaringan dan kapasitas jaringan yang digunakan dalam model.

Ketepatan data masukan sangat menentukan hasil simulasi. Data yang tidak sesuai dengan kondisi sistem sebenarnya dapat menghasilkan gambaran kinerja yang kurang representatif. Oleh sebab itu, data spesifikasi komponen dan profil beban yang digunakan dalam penelitian harus disesuaikan dengan kondisi PLTS dan kebutuhan energi listrik di Pesantren Kuala Madu. Dalam penelitian ini, data tersebut dikombinasikan dengan data radiasi matahari sehingga HOMER dapat melakukan perhitungan produksi energi dan keseimbangan energi sistem.

2.5.8 Output Hasil Simulasi HOMER

Hasil simulasi HOMER memberikan informasi mengenai performa sistem berdasarkan konfigurasi yang telah dimasukkan. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengetahui jumlah energi yang dihasilkan oleh photovoltaic, energi yang dikonsumsi oleh beban, energi yang berasal dari jaringan, serta energi berlebih yang tidak digunakan. Selain parameter energi, HOMER juga memberikan informasi ekonomi berupa biaya modal, biaya operasional, biaya penggantian komponen, Net Present Cost, dan Cost of Energy.

Output tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja PLTS di Pesantren Kuala Madu. Produksi energi photovoltaic digunakan untuk mengetahui kontribusi pembangkit terhadap kebutuhan listrik. Capacity Factor digunakan untuk melihat tingkat pemanfaatan kapasitas photovoltaic, sedangkan Renewable Fraction menunjukkan persentase kebutuhan energi yang dapat dipenuhi oleh sumber energi terbarukan. Sementara itu, NPC dan COE digunakan untuk memberikan gambaran mengenai aspek ekonomi sistem.

Dengan demikian, hasil simulasi HOMER tidak hanya menunjukkan jumlah energi yang dapat dihasilkan oleh PLTS, tetapi juga memberikan gambaran mengenai kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan beban dan aspek keekonomiannya. Penggunaan beberapa parameter secara bersamaan memungkinkan evaluasi sistem dilakukan secara lebih menyeluruh.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pemanfaatan perangkat lunak Homer dalam analisis dan perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya telah banyak dilakukan.

Lisdawati, Silalahi, dan Purba (2022) melakukan penelitian mengenai perancangan PLTS sistem on-grid berbasis Homer pada SMP Negeri 1 Teriak, Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu menghasilkan energi listrik sebesar 9.969 kWh per tahun dengan nilai Net Present Cost (NPC) sebesar Rp36.064.610 dan Levelized Cost of Energy (LCOE) sebesar Rp189,47/kWh. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa HOMER mampu digunakan untuk menganalisis aspek teknis dan ekonomis sistem PLTS secara efektif.

Selanjutnya, Rusydi dkk. (2023) melakukan penelitian mengenai perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid yang menggabungkan PLTB dan PLTS menggunakan Homer pada wilayah Gunung Ahuawali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi sistem yang optimal mampu menghasilkan energi sebesar 164.707 kWh per tahun dengan nilai NPC sebesar Rp10.758.260.000 dan biaya energi sebesar Rp6.866/kWh. Penelitian ini membuktikan bahwa Homer dapat digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem pembangkit yang paling optimal berdasarkan parameter teknis dan ekonomi.

Penelitian lain dilakukan oleh Samodrawati dan Sukasri (2024) mengenai optimasi kapasitas PLTS hybrid di Nusa Penida menggunakan Homer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat lunak Homer mampu menentukan kapasitas komponen yang optimal sehingga sistem dapat beroperasi secara efisien dengan biaya investasi dan operasional yang lebih rendah.

Syaukani, Afrianto, dan Hadi (2025) juga melakukan simulasi perancangan pembangkit hybrid PLTS-PLTD di Pulau Bungin, Kabupaten

Sumbawa menggunakan Homer. Penelitian tersebut menganalisis berbagai konfigurasi sistem berdasarkan nilai NPC, LCOE, dan efisiensi energi sehingga diperoleh konfigurasi pembangkit yang paling ekonomis dan andal untuk memenuhi kebutuhan beban listrik masyarakat setempat.

Selain itu, Bukit dkk. (2021) melakukan penelitian mengenai perancangan PLTS untuk analisis biaya dan potensi daya di Departemen Teknik Sipil Universitas Diponegoro menggunakan Helioscope dan Homer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan energi sebesar 381.145 kWh per tahun dengan produksi energi dari panel surya sebesar 288.141 kWh per tahun. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan Homer sangat membantu dalam mengevaluasi kinerja dan kelayakan ekonomi sistem PLTS.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa HOMER telah banyak digunakan dalam analisis, simulasi, dan optimasi sistem PLTS maupun sistem pembangkit hybrid berdasarkan aspek teknis dan ekonomis. Namun, penelitian mengenai analisis kinerja PLTS pada lingkungan pesantren, khususnya di Pesantren Kuala Madu, masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem PLTS pada Pesantren Kuala Madu menggunakan Homer sehingga diharapkan dapat memberikan informasi mengenai performa sistem serta kontribusinya dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di lingkungan pesantren.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Pesantren Kuala Madu menggunakan perangkat lunak Homer. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini menghasilkan data berupa nilai numerik yang diperoleh dari hasil simulasi dan perhitungan parameter kinerja sistem PLTS, seperti produksi energi listrik, Capacity Factor (CF), Renewable Fraction (RF), Net Present Cost (NPC), dan Cost of Energy (COE). Menurut Sugiyono (2022), penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang digunakan untuk meneliti populasi atau sampel tertentu dengan data penelitian berupa angka yang dianalisis menggunakan metode statistik atau perhitungan matematis.

3.2 Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berada di Pesantren Kuala Madu, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada keberadaan sistem PLTS yang telah dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik di lingkungan pesantren sehingga memungkinkan dilakukan analisis terhadap kinerja teknis dan ekonomis sistem tersebut menggunakan perangkat lunak Homer. Penelitian dilaksanakan mulai bulan Agustus 2026 sampai dengan September 2026 yang meliputi tahap pengumpulan data, proses simulasi menggunakan Homer, analisis hasil simulasi, dan penyusunan laporan penelitian.

3.3 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang digunakan di Pesantren Kuala Madu. Analisis dilakukan terhadap parameter teknis dan ekonomis sistem PLTS yang meliputi produksi energi listrik, Capacity Factor (CF), Renewable Fraction (RF), Net Present Cost (NPC), dan Cost of Energy (COE). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Homer untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat efisiensi dan kelayakan sistem PLTS yang digunakan.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi observasi, dokumentasi, dan studi literatur.

3.4.1 Observasi

Observasi dilakukan dengan cara mengamati secara langsung kondisi sistem PLTS yang terdapat pada Pesantren Kuala Madu. Kegiatan observasi bertujuan

untuk memperoleh informasi mengenai jumlah komponen, kapasitas sistem, serta kondisi operasional PLTS yang digunakan.

3.4.2 Dokumentasi

Metode dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data berupa foto instalasi PLTS, spesifikasi teknis komponen, data kapasitas sistem, serta dokumen pendukung lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

3.4.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengkaji berbagai jurnal ilmiah, buku, standar teknis, dan referensi lain yang berkaitan dengan sistem PLTS, energi surya, serta penggunaan perangkat lunak Homer dalam analisis sistem energi terbarukan. Menurut Creswell (2018), studi literatur merupakan bagian penting dalam penelitian karena berfungsi untuk memperkuat landasan teori dan mendukung analisis hasil penelitian.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas variabel input dan variabel output.

3.5.1 Variabel Input

Variabel input merupakan parameter yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak Homer untuk proses simulasi sistem PLTS. Variabel tersebut meliputi intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan, kapasitas panel surya, kapasitas inverter, kapasitas baterai, profil beban listrik, biaya investasi, biaya operasional, dan umur proyek.

3.5.2 Variabel Output

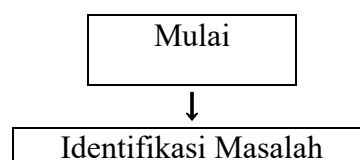
Variabel output merupakan hasil yang diperoleh dari proses simulasi menggunakan HOMER. Variabel output pada penelitian ini meliputi produksi energi listrik, Capacity Factor (CF), Renewable Fraction (RF), Net Present Cost (NPC), dan Cost of Energy (COE). Parameter tersebut merupakan indikator utama dalam mengevaluasi kinerja teknis dan ekonomis suatu sistem energi terbarukan.

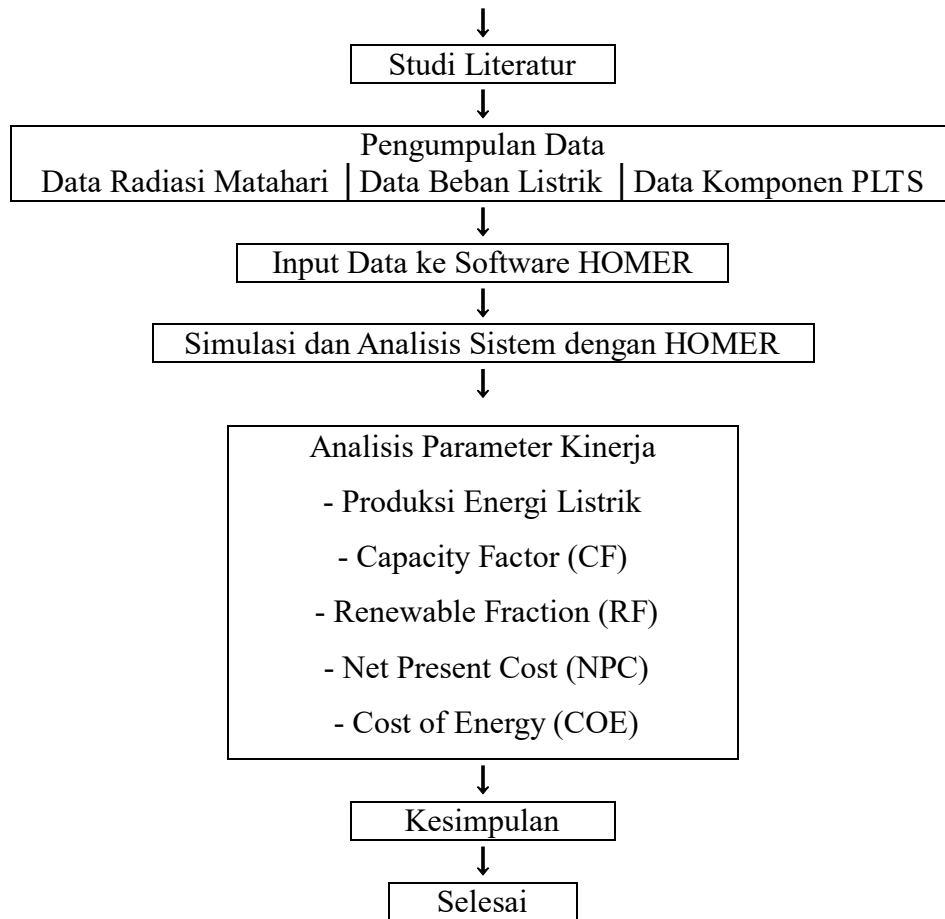
3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang dimulai dari identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan. Tahapan pertama adalah melakukan identifikasi masalah dan menentukan tujuan penelitian. Tahapan berikutnya adalah pengumpulan data primer dan data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian. Selanjutnya dilakukan proses input data ke dalam perangkat lunak Homer yang meliputi data radiasi matahari, profil beban listrik, spesifikasi komponen, dan parameter ekonomi sistem.

Setelah seluruh data dimasukkan ke dalam perangkat lunak Homer, dilakukan simulasi dan optimasi sistem untuk memperoleh konfigurasi sistem yang optimal berdasarkan parameter teknis dan ekonomis. Hasil simulasi kemudian dianalisis berdasarkan nilai produksi energi listrik, Capacity Factor (CF), Renewable Fraction (RF), Net Present Cost (NPC), dan Cost of Energy (COE). Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah diperoleh.

3.6.1 Bagan Alir Penelitian





3.7 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak Homer dengan metode simulasi dan optimasi sistem energi terbarukan. Homer akan melakukan perhitungan terhadap seluruh kemungkinan konfigurasi sistem berdasarkan data input yang diberikan, kemudian menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal berdasarkan aspek teknis dan ekonomis. Menurut Lambert, Gilman, dan Lilienthal (2006), Homer menggunakan metode simulasi tahunan dengan interval waktu tertentu untuk menghitung keseimbangan energi dan biaya sistem selama umur proyek.

Hasil simulasi dianalisis secara deskriptif menggunakan parameter produksi energi listrik, Capacity Factor (CF), Renewable Fraction (RF), Net Present Cost

(NPC), dan Cost of Energy (COE). Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat pemanfaatan energi surya, efisiensi sistem, serta kelayakan ekonomi dari sistem PLTS yang diterapkan pada Pesantren Kuala Madu.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Sistem PLTS Pesantren Kuala Madu

Penelitian ini dilakukan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terdapat di Pesantren Kuala Madu, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara. Sistem PLTS tersebut dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik di lingkungan pesantren. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem PLTS berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER.

Analisis dilakukan dengan menggunakan data yang berkaitan dengan sistem PLTS dan kebutuhan energi listrik pada pesantren. Data yang digunakan meliputi data radiasi matahari, data beban listrik, serta spesifikasi komponen PLTS. Data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak HOMER untuk dilakukan proses simulasi dan optimasi sistem.

Hasil simulasi HOMER digunakan untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS serta kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di Pesantren Kuala Madu. Selain itu, kinerja sistem dianalisis berdasarkan beberapa parameter, yaitu produksi energi listrik, Capacity Factor (CF), Renewable Fraction (RF), Net Present Cost (NPC), dan Cost of Energy (COE). Parameter tersebut digunakan untuk memberikan gambaran mengenai kinerja teknis dan ekonomis sistem PLTS yang dianalisis.

Dengan demikian, analisis pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pemanfaatan PLTS di Pesantren Kuala Madu, khususnya dalam menghasilkan energi listrik dan memenuhi kebutuhan beban

listrik pesantren. Hasil analisis tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan evaluasi terhadap kinerja sistem PLTS yang digunakan.

4.2 Data Beban Listrik Pesantren

Data beban listrik merupakan salah satu data utama yang digunakan dalam penelitian ini karena diperlukan sebagai input dalam proses simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER. Data beban digunakan untuk mengetahui kebutuhan energi listrik di Pesantren Kuala Madu serta melihat kemampuan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam memenuhi kebutuhan tersebut.

Pengumpulan data beban listrik dilakukan dengan mengidentifikasi peralatan listrik yang digunakan di lingkungan Pesantren Kuala Madu. Data yang diperoleh meliputi jenis beban, jumlah peralatan, daya masing-masing peralatan, lama waktu penggunaan, serta energi listrik yang digunakan. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan profil konsumsi energi listrik yang akan dimasukkan ke dalam perangkat lunak HOMER.

Adapun data beban listrik yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Beban Listrik Pesantren Kuala Madu

NO	Beban	Jumlah unit	Daya (W)	Total Beban	Jam pemakaian (WH)	Daya
1	Lampu laundry	8	20	160	8	1.280
2	Lampu tempat strika	8	20	160	8	1.280
3	Lampu Kantin	4	20	80	8	6.40
4	Kipas angin laundry	4	64	256	8	2.048
5	Kipas angin tempat strika	2	64	128	8	1.024
6	Kipas angin kantin	2	64	128	8	1.024
7	Lampu kantor	5	20	100	14	1400
8	Lampu Kamar mandi	100	20	2000	8	16.000

9	Kipas angin kamar	42	64	2688	9	24.192
10	Mesin cuci	18	400	7200	8	57.600
11	Kipas angin masjid	7	210	1470	10	14.700
12	AC kantor	5	600	3000	12	36.000
13	AC perpustakaan	3	600	1800	12	21.600
14	Lampu ruang belajar	78	20	1560	7	10.920
15	Kipas ruang belajar	26	64	1664	7	11.648
16	Lampu masjid	12	20	2560	6	1.200
17	Pompa air	25	250	6,250	9	56250
18	Sound system masjid	6	500	3000	5	1500
19	Komputer perpustakaan	2	500	1000	8	8000
20	Tv perpustakaan	1	150	150	8	1200
21	Ac kelas	5	400	1000	8	8000
22	Lampu Klinik	3	20	60	10	600
23	Ac perpustakaan	2	400	800	8	2400
24	Lampu perpustakaan	3	20	60	8	480
25	Lampu pondok	3	20	60	12	720
26	Lampu ruang makan Pria	15	20	300	6	1800
27	Kipas ruang makan Pria	10	64	640	6	2.688
28	kulkas	2	80	160	8	1.280
29	komputer kantor guru	5	90	450	9	4.410
30	TV ruang belajar	22	70	1540	5	7.700
31	Lampu Pos Satpam	4	20	80	12	960
32	Lampu toilet umum	10	20	200	16	3200
33	AC masjid	3	400	1200	10	12.000
34	Ac thafis	3	400	1200	6	7.200
35	Infokus	6	180	1080	6	6.480
36	cctv	20	224	4480	24	107.520
37	print	12	50	600	8	4.800
38	Mesin fotokopi	1	1500	1500	8	12.000
39	AC Tata usaha	2	400	800	8	6400
40	Print Tata usaha	5	50	250	8	2000
41	Komputer Tata Usaha	5	200	1000	8	8000
42	Lampu Tata Usaha	4	20	80	8	640
43	AC UKS	2	400	800	8	6400
44	Lampu UKS	4	20	80	8	640
45	Pompa air Tata Usaha	1	250	250	8	2000
46	Sound system Pesantren	1	900	900	2	1800
47	Rice cooker	10	390	3900	10	39.000
48	Blander	6	150	900	3	2.700
49	Kulkas dapur	4	150	600	24	14.400
50	Lampu Ruag makan wanita	15	20	300	6	1800
51	Lampu Ruang makan pria	10	64	640	6	2688
52	Lampu Kamar pria	100	20	2000	14	28.000

53	Lampu kamar wanita	122	20	2440	14	34.160
54	Kipas kamar pria	44	80	3520	14	49.280
55	Kipas kamar wanita	60	80	4800	14	67.200
56	Lampu thafiz	10	20	200	8	1600
57	Wifi	5	18	90	24	2.160
58	Dispenser	10	400	4000	12	48.000
59	Charger Hp	20	10	400	4	1600
60	Mesin Doorsmer	1	650	650	9	5.850
61	Jam digital masjid	2	20	40	24	960
62	Mesin air kamar cewe	12	150	1800	10	18000

Berdasarkan data beban yang digunakan dalam penelitian, total konsumsi energi listrik pesantren adalah sebesar 799,022 kWh per hari. Data tersebut menjadi profil beban yang dimasukkan ke dalam HOMER untuk menggambarkan kebutuhan energi listrik selama satu tahun.

Total kebutuhan energi listrik dalam satu tahun dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{load} = 799,022 \times 365$$

$$E_{load} = 291.643,03 \text{ kWh/tahun}$$

Dengan demikian, kebutuhan energi listrik pesantren yang digunakan dalam simulasi adalah sebesar 291.643,03 kWh/tahun.

Data beban yang digunakan juga menunjukkan bahwa pesantren memiliki kebutuhan listrik yang cukup besar. Pada penelitian sebelumnya terhadap objek yang sama, total energi beban sebesar 799,022 kWh/hari juga digunakan sebagai dasar analisis dan sistem PLTS on-grid 10 kWp.

Sebagai gambaran biaya listrik berdasarkan tarif Rp900/kWh, biaya energi berdasarkan konsumsi harian adalah:

$$Biaya = 799,022 \times 900$$

$$Biaya = \text{Rp}719.119,8/\text{hari}$$

Sehingga secara pendekatan, biaya energi listrik selama satu tahun adalah:

$$291.643,03 \times 900 = \text{Rp}262.478.727/\text{tahun}$$

Nilai tersebut merupakan pendekatan berdasarkan seluruh kebutuhan energi listrik yang disuplai dengan tarif Rp900/kWh dan bukan merupakan nilai biaya operasi hasil simulasi HOMER.

4.3 Data Sistem PLTS dan Radiasi Matahari

4.3.1 Data Sistem PLTS

Sistem PLTS yang dimodelkan dalam HOMER menggunakan modul photovoltaic CanadianSolar MaxPower CS6X-325P. Kapasitas PLTS yang digunakan dalam simulasi adalah 10 kW.

Komponen utama yang digunakan dalam pemodelan terdiri dari photovoltaic (PV), converter/inverter, dan jaringan PLN. Sistem tidak menggunakan baterai sehingga energi listrik yang tidak dapat dipenuhi oleh PLTS akan dipenuhi oleh jaringan PLN.

Parameter utama sistem PLTS yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Komponen Sistem PLTS

Parameter	Nilai
Modul PV	CanadianSolar MaxPower CS6X-325P
Kapasitas PV	10 kW
Efisiensi PV	16,94%
Derating factor	88%
Umur PV	25 tahun
Converter	Generic System Converter
Kapasitas converter	10 kW

Parameter	Nilai
Efisiensi inverter	95%
Umur inverter	15 tahun
Sistem	On-grid
Kapasitas jaringan PLN	999.999 kW
Harga listrik PLN	Rp900/kWh
Harga jual energi ke PLN	Rp0/kWh

Pada pemodelan ekonomi, biaya investasi PV dihitung berdasarkan biaya sistem PLTS sebesar Rp8.716.109/kW, sedangkan biaya converter dihitung sebesar Rp1.285.714/kW. Dengan kapasitas PV dan converter masing-masing 10 kW, biaya modal awal sistem menjadi sekitar Rp100 juta.

Dasar biaya tersebut mengacu pada RAB perencanaan PLTS yang terdiri dari modul surya, inverter, struktur mounting, kabel, proteksi, grounding, monitoring, instalasi, transportasi, administrasi, dan cadangan biaya. RAB pembanding tersebut memiliki total sebesar Rp331.800.000 untuk perencanaan PLTS sekitar 33 kWp.

4.3.2 Data Radiasi Matahari

Data radiasi matahari yang digunakan dalam simulasi diperoleh dari data NASA POWER pada lokasi penelitian. Data tersebut digunakan sebagai input sumber daya matahari pada HOMER dalam bentuk nilai Global Horizontal Irradiance (GHI).

Tabel 4.3 Data Radiasi Matahari Bulanan

Bulan	GHI (kWh/m ² /hari)
-------	--------------------------------

Bulan	GHI (kWh/m ² /hari)
Januari	4,490
Februari	4,990
Maret	5,020
April	4,870
Mei	4,770
Juni	4,710
Juli	4,560
Agustus	4,520
September	4,270
Oktober	4,280
November	4,080
Desember	4,130

Berdasarkan data tersebut, radiasi matahari di lokasi penelitian berada pada kisaran **4,08–5,02 kWh/m²/hari**. Nilai radiasi tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 5,02 kWh/m²/hari, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan November sebesar 4,08 kWh/m²/hari.

4.4 Pemodelan dan Simulasi PLTS Menggunakan HOMER

Pemodelan dan simulasi sistem PLTS pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER Pro. Pemodelan bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem PLTS dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Pesantren Kuala Madu dengan mempertimbangkan sumber energi surya dan jaringan listrik. Sistem yang dimodelkan terdiri atas beban listrik, photovoltaic (PV), converter, jaringan listrik (grid), dan sumber daya radiasi matahari.

Tahap pertama dalam pemodelan adalah memasukkan data beban listrik sebagai *Electric Load*. Berdasarkan data kebutuhan energi listrik Pesantren Kuala Madu, beban energi yang digunakan dalam simulasi sebesar 799,022 kWh/hari. Profil beban dimasukkan ke HOMER dalam interval waktu 60 menit sehingga kebutuhan energi listrik dapat direpresentasikan dalam bentuk profil beban setiap jam selama satu tahun.

Tahap kedua adalah memasukkan komponen photovoltaic (PV). Modul PV yang digunakan dalam pemodelan adalah CanadianSolar MaxPower CS6X-325P. Kapasitas sistem PV ditetapkan sebesar 10 kW sesuai dengan kapasitas PLTS yang dianalisis. Sistem PV memiliki efisiensi sebesar 16,94%, umur penggunaan 25 tahun, dan *derating factor* sebesar 88%. PV dihubungkan pada DC bus dalam konfigurasi sistem.

Tahap ketiga adalah memasukkan converter yang berfungsi sebagai penghubung antara sisi DC dan AC. Kapasitas converter yang digunakan dalam simulasi ditetapkan sebesar 10 kW. Efisiensi inverter dan rectifier masing-masing ditetapkan sebesar 95%, sedangkan umur penggunaan inverter ditetapkan sebesar 15 tahun.

Tahap berikutnya adalah memasukkan jaringan listrik (*grid*) sebagai sumber energi tambahan. Grid digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban ketika energi yang dihasilkan oleh PLTS tidak mencukupi. Pada pemodelan ini digunakan tarif energi listrik sebesar Rp900/kWh. Harga jual kembali energi listrik (*grid sellback price*) ditetapkan sebesar Rp0/kWh karena sistem penelitian tidak dimodelkan untuk memperoleh pendapatan dari penjualan energi listrik ke jaringan.

Data radiasi matahari kemudian dimasukkan sebagai sumber daya surya (*Solar GHI Resource*). Data tersebut berasal dari NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) dan digunakan dalam bentuk rata-rata radiasi matahari harian setiap bulan. Nilai radiasi matahari tersebut menjadi input HOMER dalam memperkirakan energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PV sepanjang tahun.

Setelah seluruh komponen dan parameter dimasukkan, sistem PLTS dimodelkan dalam konfigurasi grid-connected. HOMER Pro kemudian melakukan proses simulasi untuk menghitung keseimbangan energi antara produksi PV, kebutuhan beban, dan energi yang diperoleh dari jaringan listrik. Metode *dispatch* yang digunakan dalam simulasi adalah Cycle Charging (CC).

Parameter ekonomi proyek juga dimasukkan ke dalam HOMER Pro. Nilai *nominal discount rate* ditetapkan sebesar 8%, *expected inflation rate* sebesar 2%, dan umur proyek sebesar 25 tahun. Mata uang yang digunakan dalam pemodelan adalah Rupiah (Rp).

Biaya investasi PV dimasukkan berdasarkan biaya sistem sebesar Rp8.716.109/kW, sedangkan biaya converter sebesar Rp1.285.714/kW. Dengan kapasitas PV dan converter masing-masing 10 kW, biaya modal awal sistem yang dimodelkan berada pada kisaran Rp100 juta.

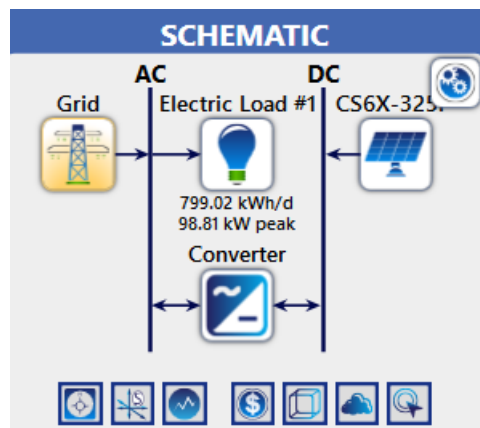
Setelah seluruh parameter sistem dimasukkan, dilakukan proses *Calculate* pada HOMER Pro. Hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk menganalisis kinerja PLTS berdasarkan produksi energi listrik, *Capacity Factor* (CF), *Renewable Fraction* (RF), energi listrik yang masih dipasok oleh jaringan, serta

parameter ekonomi sistem. Hasil simulasi tersebut kemudian disajikan dan dianalisis pada subbab berikutnya.

Tabel 4.4 Parameter Pemodelan HOMER Pro

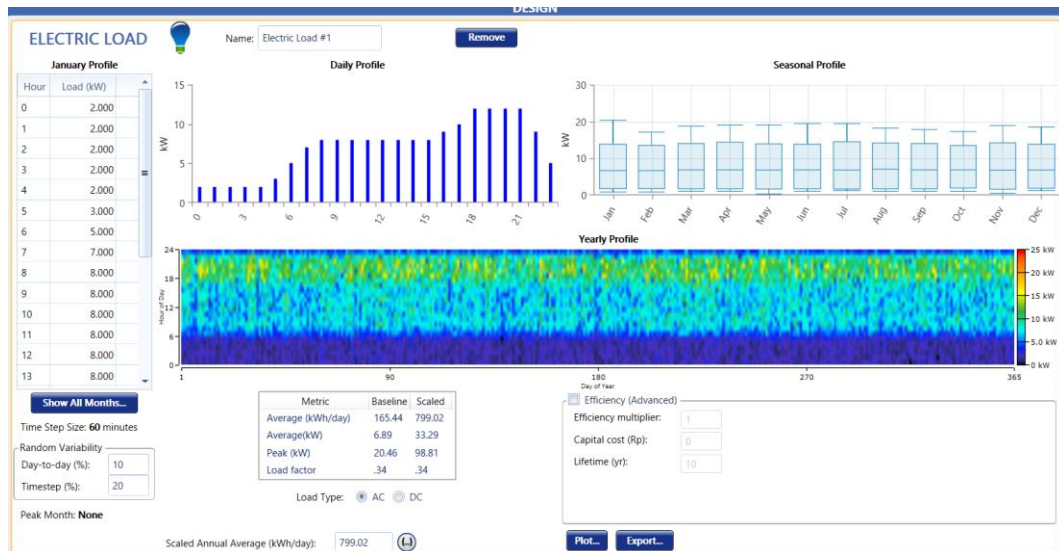
Parameter	Nilai
Beban energi	799,022 kWh/hari
Kapasitas PV	10 kW
Modul PV	CanadianSolar MaxPower CS6X-325P
Efisiensi PV	16,94%
Derating factor PV	88%
Umur PV	25 tahun
Kapasitas converter	10 kW
Efisiensi inverter	95%
Efisiensi rectifier	95%
Umur inverter	15 tahun
Biaya PV	Rp8.716.109/kW
Biaya converter	Rp1.285.714/kW
Tarif listrik grid	Rp900/kWh
Grid sellback price	Rp0/kWh
Discount rate	8%
Inflation rate	2%
Umur proyek	25 tahun
Dispatch strategy	Cycle Charging (CC)
Mata uang	Rupiah (Rp)

Berdasarkan Tabel 4.4, seluruh parameter yang digunakan dalam pemodelan sistem PLTS pada HOMER Pro telah ditentukan sesuai dengan data beban listrik, spesifikasi komponen, sumber daya matahari, serta parameter ekonomi yang digunakan dalam penelitian. Parameter tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam perangkat lunak HOMER Pro untuk membentuk model sistem PLTS *grid-connected*. Dokumentasi proses pemodelan dan pengaturan parameter pada HOMER Pro ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Schematic Sistem PLTS Grid-Connected pada HOMER Pro

Gambar 4.1 menunjukkan konfigurasi sistem PLTS *grid-connected* yang dimodelkan menggunakan HOMER Pro. Sistem terdiri atas photovoltaic (PV) CanadianSolar MaxPower CS6X-325P sebagai sumber energi surya, converter sebagai penghubung antara sisi DC dan AC, grid sebagai sumber energi tambahan, serta Electric Load sebagai beban listrik Pesantren Kuala Madu. Berdasarkan model tersebut, beban listrik yang digunakan dalam simulasi sebesar 799,02 kWh/hari dengan beban puncak sebesar 98,81 kW.



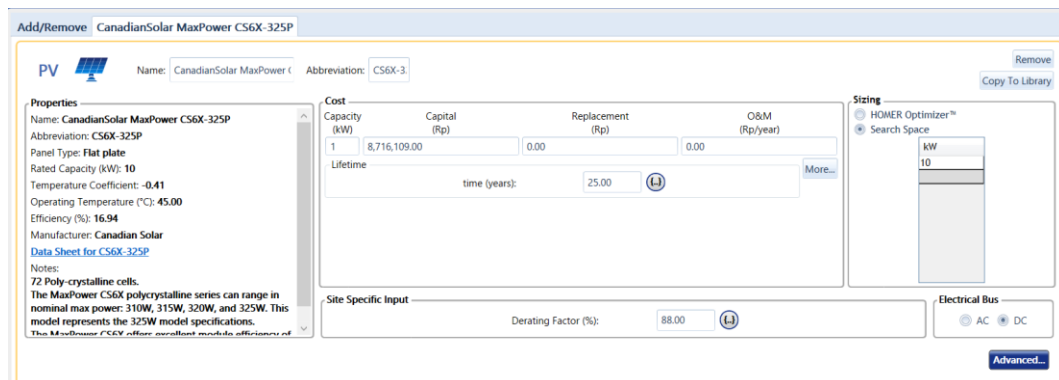
Gambar 4.2 Input Electric Load pada HOMER Pro

Gambar 4.2 menunjukkan profil beban listrik yang digunakan dalam pemodelan HOMER Pro. Berdasarkan hasil scaling, kebutuhan energi listrik yang digunakan dalam simulasi sebesar 799,02 kWh/hari dengan beban rata-rata sebesar 33,29 kW dan beban puncak sebesar 98,81 kW. Profil beban menggunakan interval waktu 60 menit dan memiliki nilai *load factor* sebesar 0,34. Data profil beban tersebut digunakan HOMER Pro untuk menghitung kebutuhan energi listrik selama periode simulasi satu tahun.



Gambar 4.3 Solar GHI Resource pada HOMER Pro

Gambar 4.3 menunjukkan data sumber daya radiasi matahari (*Solar GHI Resource*) yang digunakan dalam pemodelan HOMER Pro. Data radiasi matahari diperoleh dari NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) dengan periode data selama 42 tahun, yaitu Juli 1983 sampai Juni 2025. Berdasarkan data yang digunakan, nilai radiasi matahari harian berada pada kisaran 4,08–5,02 kWh/m²/hari dengan nilai rata-rata tahunan sebesar 4,56 kWh/m²/hari. Nilai radiasi tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 5,02 kWh/m²/hari, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan November sebesar 4,08 kWh/m²/hari. Data tersebut digunakan HOMER Pro sebagai dasar dalam memperkirakan produksi energi listrik dari sistem photovoltaic (PV).



The screenshot displays the 'Add/Remove' window for a 'CanadianSolar MaxPower CS6X-325P' PV module in HOMER Pro. The interface includes the following sections:

- Properties:**
 - Name: CanadianSolar MaxPower CS6X-325P
 - Abbreviation: CS6X-3
 - Panel Type: Flat plate
 - Rated Capacity (kW): 10
 - Temperature Coefficient: -0.41
 - Operating Temperature (°C): 45.00
 - Efficiency (%): 16.94
 - Manufacturer: Canadian Solar
 - Data Sheet for CS6X-325P
 - Notes: 72 Poly-crystalline cells. The MaxPower CS6X polycrystalline series can range in nominal max power: 310W, 315W, 320W, and 325W. This model represents the 325W model specifications.
- Cost:**
 - Capacity (kW): 1
 - Capital (Rp): 8,716,109.00
 - Replacement (Rp): 0.00
 - O&M (Rp/year): 0.00
 - Lifetime time (years): 25.00
- Sizing:**
 - Rated Capacity: 10 kW
 - Search Space: 10 kW
- Site Specific Input:**
 - Derating Factor (%): 88.00
 - Electrical Bus: AC

Gambar 4.4 Parameter Photovoltaic (PV) pada HOMER Pro

Gambar 4.4 menunjukkan parameter photovoltaic (PV) yang digunakan dalam pemodelan HOMER Pro. Modul PV yang digunakan adalah CanadianSolar MaxPower CS6X-325P dengan kapasitas sistem sebesar 10 kW. Modul memiliki efisiensi sebesar 16,94%, umur penggunaan 25 tahun, dan *derating factor* sebesar 88%. Biaya modal PV dimasukkan sebesar Rp8.716.109/kW, sedangkan biaya penggantian dan biaya operasi dan pemeliharaan ditetapkan sebesar Rp0. PV pada

pemodelan ini dihubungkan pada DC bus. Kapasitas PV yang digunakan dalam *Search Space* ditetapkan sebesar 10 kW.

The screenshot shows the 'Converter' configuration window in HOMER Pro. The 'Name' is 'System Converter' and the 'Abbreviation' is 'Converter'. The 'Capacity (kW)' is 10. The 'Capital (Rp)' is Rp1,285,714.00, 'Replacement (Rp)' is Rp0.0, and 'O&M (Rp/year)' is Rp0.0. The 'Inverter Input' parameters are: Lifetime (years) 15.00, Efficiency (%) 95.00, and Relative Capacity (%) 100.00. The 'Rectifier Input' parameters are: Efficiency (%) 95.00. The 'Search Space' is set to 10 kW.

Gambar 4.5 Parameter Converter pada HOMER Pro

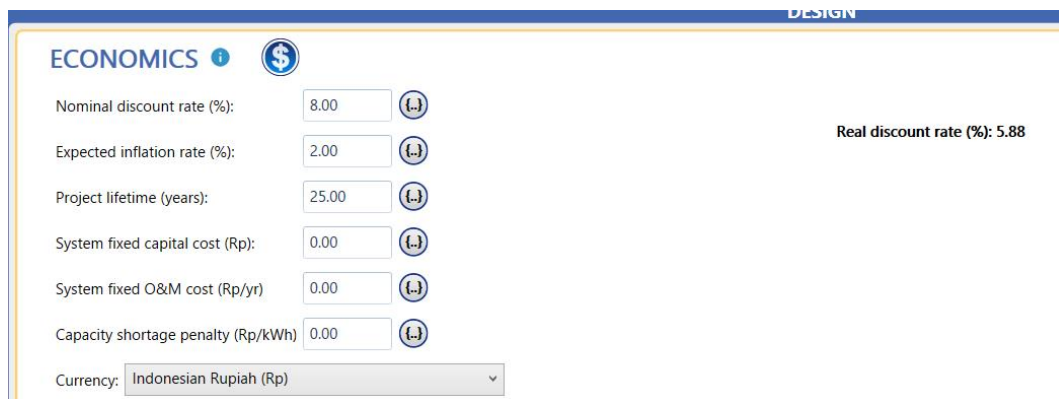
Gambar 4.5 menunjukkan parameter converter yang digunakan dalam pemodelan HOMER Pro. Converter yang digunakan merupakan *Generic System Converter* dengan kapasitas sebesar 10 kW pada *Search Space*. Biaya modal converter dimasukkan sebesar Rp1.285.714/kW, sedangkan biaya penggantian dan biaya operasi dan pemeliharaan ditetapkan sebesar Rp0. Converter memiliki umur penggunaan selama 15 tahun dengan efisiensi inverter sebesar 95%. Efisiensi rectifier juga ditetapkan sebesar 95% dengan kapasitas relatif sebesar 100%.

The screenshot shows the 'Advanced Grid' configuration window in HOMER Pro. The 'Name' is 'Grid' and the 'Abbreviation' is 'Grid'. The 'Simple Rates' option is selected. The 'Grid Power Price (Rp/kWh)' is 900.000 and the 'Grid Sellback Price (Rp/kWh)' is 0.000. The 'Net Metering' option is selected, with 'Net purchases calculated monthly' chosen.

Gambar 4.6 Parameter Grid pada HOMER Pro

Gambar 4.6 menunjukkan parameter jaringan listrik (*grid*) yang digunakan dalam pemodelan HOMER Pro. Jaringan listrik dimodelkan menggunakan pengaturan *Simple Rates* dengan harga pembelian energi listrik dari jaringan

sebesar Rp900/kWh. Harga jual kembali energi listrik (*grid sellback price*) ditetapkan sebesar Rp0/kWh. Pada pemodelan ini, fitur *Net Metering* tidak diaktifkan sehingga energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS tidak diperhitungkan sebagai pendapatan dari penjualan energi ke jaringan. Grid digunakan sebagai sumber energi tambahan untuk memenuhi kebutuhan beban ketika produksi energi dari PLTS tidak mencukupi.



The screenshot shows the 'ECONOMICS' tab in HOMER Pro. It includes a list of input parameters with their current values and a calculated 'Real discount rate (%)' of 5.88. The parameters are:

Parameter	Value
Nominal discount rate (%)	8.00
Expected inflation rate (%)	2.00
Project lifetime (years)	25.00
System fixed capital cost (Rp)	0.00
System fixed O&M cost (Rp/yr)	0.00
Capacity shortage penalty (Rp/kWh)	0.00
Real discount rate (%)	5.88
Currency	Indonesian Rupiah (Rp)

Gambar 4.7 Parameter Ekonomi Sistem pada HOMER Pro

Gambar 4.7 menunjukkan parameter ekonomi yang digunakan dalam pemodelan HOMER Pro. Nilai *nominal discount rate* ditetapkan sebesar 8%, *expected inflation rate* sebesar 2%, dan umur proyek ditetapkan selama 25 tahun. Biaya modal tetap sistem (*system fixed capital cost*), biaya operasi dan pemeliharaan tetap (*system fixed O&M cost*), serta *capacity shortage penalty* ditetapkan sebesar Rp0. Mata uang yang digunakan dalam pemodelan adalah Rupiah (Rp). Berdasarkan parameter tersebut, HOMER Pro menghitung nilai ekonomi sistem selama umur proyek yang selanjutnya digunakan untuk menentukan *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost of Energy* (COE).

RESULTS

Summary

Tables

Graphs

Calculation Report

Compare Economics

Column Choices

Export...

Optimization Results

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Architecture

Cost

System

CS6X-325P

Converter

Grid

CS6X-325P
(kW)

Grid
(kW)

Converter
(kW)

Dispatch

NPC
(Rp)

COE
(Rp)

Operating cost
(Rp/yr)

Initial capital
(Rp)

Ren. Frac.
(%)

Total Fuel
\$/yr)

Capital Cost
(Rp)

Production
(kWh/yr)

Rectifier Mean Output
(kW)

Inverter Mean Output
(kW)

Energy Purchased
(kWh)

Energy
(kWh)

10.0

999,999

10.0

CC

Rp3,34B

Rp886.71

Rp251M

Rp100M

4.42

0

87,161,088

13,583

0

1.47

278,739

0

Gambar 4.8 Hasil Optimasi Sistem PLTS pada HOMER Pro

Gambar 4.8 menunjukkan hasil optimasi sistem PLTS yang diperoleh dari simulasi HOMER Pro. Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi sistem terdiri atas PV CanadianSolar MaxPower CS6X-325P sebesar 10 kW, converter sebesar 10 kW, dan jaringan listrik (*grid*) sebagai sumber energi tambahan. Strategi *dispatch* yang digunakan adalah Cycle Charging (CC). Konfigurasi tersebut menghasilkan nilai *Net Present Cost* (NPC) sebesar Rp3,34 miliar dan *Cost of Energy* (COE) sebesar Rp886,71/kWh. Produksi energi listrik dari PV sebesar 13.583 kWh/tahun, sedangkan energi listrik yang dibeli dari jaringan sebesar 278.739 kWh/tahun. Nilai *Renewable Fraction* yang diperoleh sebesar 4,42%.

4.5 Hasil Simulasi HOMER Pro

Hasil simulasi HOMER menunjukkan konfigurasi sistem yang terdiri dari PV 10 kW, converter 10 kW, dan jaringan PLN, dengan strategi dispatch Cycle Charging (CC).

Tabel 4.5 Hasil Simulasi HOMER

Parameter	Hasil
Kapasitas PV	10 kW
Kapasitas Converter	10 kW
NPC	Rp3,34 miliar
COE	Rp886,71/kWh
Operating Cost	Rp251 juta/tahun
Initial Capital	Rp100 juta

Parameter	Hasil
Renewable Fraction	4,42%
Produksi energi PV	13.583 kWh/tahun
Energi dibeli dari PLN	278.739 kWh/tahun
Energi dijual ke PLN	0 kWh/tahun
Total fuel consumption	0 L/tahun

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, sistem PLTS menghasilkan energi listrik sebesar 13.583 kWh/tahun. Sementara itu, energi listrik yang masih harus dipenuhi dari jaringan PLN sebesar 278.739 kWh/tahun.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa PLTS belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan energi listrik pesantren. Jaringan PLN masih menjadi sumber energi utama karena kapasitas PLTS yang digunakan hanya sebesar 10 kW dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik pesantren yang mencapai sekitar 291.643 kWh/tahun.

4.6 Analisis Kinerja PLTS

4.6.1 Analisis Produksi Energi PLTS

Berdasarkan hasil simulasi HOMER, produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV sebesar:

$$E_{PV} = 13.583 \text{ kWh/tahun}$$

Jika dirata-ratakan dalam satu hari:

$$E_{PV,hari} = \frac{13.583}{365}$$

$$E_{PV,hari} = 37,21 \text{ kWh/hari}$$

Dengan demikian, sistem PLTS 10 kW menghasilkan energi rata-rata sekitar 37,21 kWh per hari.

Jika dibandingkan dengan kebutuhan energi pesantren sebesar 799,022 kWh/hari, kontribusi energi PV dapat dihitung:

$$Kontribusi = \frac{13.583}{291.643,03} \times 100\%$$

$$Kontribusi = 4,66\%$$

Artinya, secara energi tahunan, produksi PV hanya mampu memberikan kontribusi sekitar 4,66% terhadap kebutuhan energi listrik pesantren.

4.6.2 Analisis Capacity Factor

Capacity Factor digunakan untuk mengetahui tingkat pemanfaatan kapasitas pembangkit dibandingkan dengan energi maksimum yang dapat dihasilkan apabila PLTS beroperasi pada kapasitas nominal selama satu tahun.

Rumus Capacity Factor:

$$CF = \frac{E_{PV}}{P_{PV} \times 8760} \times 100\%$$

Dengan:

- $E_{PV} = 13.583 \text{ kWh/tahun}$
- $P_{PV} = 10 \text{ kW}$

Maka:

$$CF = \frac{13.583}{10 \times 8760} \times 100\%$$

$$CF = 15,51\%$$

Jadi, Capacity Factor PLTS sebesar 15,51%.

Nilai tersebut menunjukkan bahwa dalam satu tahun kapasitas PLTS tidak digunakan secara penuh selama 8.760 jam. Kondisi ini merupakan akibat dari

sumber energi matahari yang hanya tersedia pada siang hari serta adanya perubahan intensitas radiasi matahari sepanjang waktu.

4.6.3 Analisis Renewable Fraction

Hasil simulasi HOMER menunjukkan nilai Renewable Fraction sebesar 4,42%.

Nilai tersebut menunjukkan bahwa sekitar 4,42% kebutuhan energi listrik sistem dapat dikategorikan berasal dari sumber energi terbarukan yang dimodelkan, yaitu energi matahari.

Dengan nilai Renewable Fraction yang relatif kecil, sistem energi pesantren masih sangat bergantung pada jaringan PLN. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas PLTS 10 kW belum cukup besar untuk memberikan kontribusi energi yang dominan terhadap keseluruhan kebutuhan listrik pesantren.

4.6.4 Analisis Kemampuan PLTS Memenuhi Beban

Kebutuhan energi listrik pesantren dalam satu tahun adalah sekitar:

291.643,03 kWh/tahun

Sedangkan energi yang dihasilkan oleh PLTS adalah:

13.583 kWh/tahun

Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa produksi energi PLTS jauh lebih kecil daripada kebutuhan energi listrik pesantren.

Energi listrik yang dibeli dari jaringan PLN berdasarkan hasil HOMER mencapai:

278.739 kWh/tahun

Dengan demikian, jaringan PLN masih berperan sebagai sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan listrik pesantren. PLTS berfungsi sebagai

sumber energi tambahan yang mengurangi sebagian kebutuhan energi dari jaringan PLN.

Tidak adanya energi yang dijual ke jaringan PLN, yaitu 0 kWh/tahun, juga menunjukkan bahwa dalam konfigurasi hasil simulasi tidak terdapat kelebihan energi yang diekspor ke jaringan.

4.6.5 Analisis Ekonomi Sistem

Hasil simulasi menunjukkan Initial Capital sebesar sekitar Rp100 juta. Nilai tersebut berasal dari biaya investasi komponen PV dan converter.

Biaya PV:

$$10 \times Rp8.716.109 = Rp87.161.090$$

Sedangkan biaya converter:

$$10 \times Rp1.285.714 = Rp12.857.140$$

Sehingga total biaya modal awal secara pendekatan:

$$Rp87.161.090 + Rp12.857.140 = Rp100.018.230$$

Nilai tersebut ditampilkan HOMER secara pembulatan menjadi sekitar Rp100 juta.

Hasil simulasi juga menunjukkan Net Present Cost (NPC) sebesar Rp3,34 miliar. NPC merupakan total biaya sistem selama periode proyek dengan mempertimbangkan biaya investasi dan biaya operasi selama umur proyek.

Sementara itu, nilai Cost of Energy (COE) sebesar Rp886,71/kWh. Nilai ini menunjukkan biaya rata-rata energi listrik yang dihasilkan atau dilayani oleh sistem berdasarkan perhitungan ekonomi HOMER.

Biaya operasi sistem berdasarkan hasil simulasi adalah sekitar Rp251 juta/tahun. Nilai ini terutama dipengaruhi oleh kebutuhan energi yang masih harus dipenuhi dari jaringan PLN karena produksi PLTS relatif kecil dibandingkan total kebutuhan beban.

4.7 Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan HOMER Pro, sistem PLTS yang dianalisis terdiri atas photovoltaic (PV) berkapasitas 10 kW, converter 10 kW, dan jaringan listrik (grid) sebagai sumber energi tambahan. Konfigurasi tersebut menggunakan strategi dispatch Cycle Charging (CC) dan menghasilkan nilai NPC sebesar Rp3,34 miliar, COE sebesar Rp886,71/kWh, serta Renewable Fraction sebesar 4,42%. Produksi energi listrik dari PV sebesar 13.583 kWh/tahun, sedangkan energi listrik yang dibeli dari jaringan sebesar 278.739 kWh/tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PLTS pada kondisi pemodelan yang digunakan belum mampu menjadi sumber energi utama untuk memenuhi seluruh kebutuhan listrik Pesantren Kuala Madu.

4.7.1 Produksi Energi Listrik PLTS

Hasil simulasi menunjukkan bahwa PV berkapasitas 10 kW mampu menghasilkan energi listrik sebesar 13.583 kWh/tahun, atau rata-rata sekitar 37,21 kWh/hari. Apabila dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik pesantren sebesar 799,022 kWh/hari, produksi energi PV hanya memberikan kontribusi sekitar 4,66% terhadap kebutuhan energi tahunan. Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kebutuhan energi listrik pesantren masih harus dipenuhi oleh jaringan listrik.

Menurut Lambert, Gilman, dan Lilienthal (2006), produksi energi listrik dalam pemodelan HOMER ditentukan berdasarkan keseimbangan antara sumber energi, karakteristik beban, dan kondisi operasi sistem selama periode simulasi. Teori tersebut sesuai dengan hasil penelitian, karena energi yang dihasilkan PV tidak hanya dipengaruhi oleh kapasitas terpasang, tetapi juga oleh ketersediaan sumber energi matahari dan kebutuhan beban listrik.

Selain itu, Rusirawan dan Nurprabowo (2024) menjelaskan bahwa teknologi photovoltaic memanfaatkan radiasi matahari untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Semakin besar energi matahari yang diterima modul, semakin besar pula potensi energi listrik yang dapat dihasilkan. Dasar teori tersebut telah digunakan dalam BAB II penelitian ini.

Berdasarkan data sumber daya matahari yang digunakan dalam HOMER, radiasi matahari di lokasi penelitian berada pada kisaran 4,08–5,02 kWh/m²/hari, dengan rata-rata tahunan sebesar 4,56 kWh/m²/hari. Nilai radiasi tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 5,02 kWh/m²/hari dan terendah pada bulan November sebesar 4,08 kWh/m²/hari. Dengan adanya variasi radiasi tersebut, produksi energi PV juga mengalami perubahan sepanjang tahun.

Dengan demikian, produksi sebesar 13.583 kWh/tahun menunjukkan bahwa sistem PV 10 kW dalam pemodelan ini telah mampu menghasilkan energi listrik dari sumber energi terbarukan, tetapi kontribusinya terhadap kebutuhan listrik pesantren masih relatif kecil. Hal ini terutama disebabkan oleh perbandingan antara kapasitas PV yang terpasang dengan kebutuhan energi listrik pesantren yang cukup besar.

4.7.2 Analisis Capacity Factor

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Capacity Factor (CF) sistem PV sebesar 15,51%. Nilai tersebut diperoleh dari perbandingan energi aktual yang dihasilkan PV selama satu tahun dengan energi maksimum yang secara teoritis dapat dihasilkan apabila PV beroperasi pada kapasitas nominal 10 kW selama 8.760 jam. Hasil perhitungan tersebut telah ditunjukkan pada analisis kinerja sebelumnya.

Menurut teori yang digunakan dalam BAB II, Capacity Factor merupakan parameter untuk mengetahui tingkat pemanfaatan kapasitas terpasang suatu pembangkit selama periode tertentu. Semakin tinggi nilai CF, semakin besar tingkat pemanfaatan kapasitas pembangkit tersebut.

Nilai CF sebesar 15,51% menunjukkan bahwa PV tidak menghasilkan daya nominal 10 kW secara terus-menerus sepanjang tahun. Kondisi tersebut merupakan karakteristik sistem PLTS karena produksi listrik bergantung pada ketersediaan radiasi matahari. Pada malam hari tidak terdapat radiasi matahari yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik, sedangkan pada siang hari intensitas radiasi mengalami perubahan akibat kondisi atmosfer dan cuaca.

Dengan demikian, nilai CF sebesar 15,51% dapat digunakan untuk menggambarkan tingkat pemanfaatan kapasitas PV pada sistem yang dianalisis. Nilai tersebut juga memperlihatkan bahwa kapasitas PV 10 kW belum dimanfaatkan pada tingkat yang tinggi sepanjang periode satu tahun, sehingga produksi energi tahunan masih relatif rendah dibandingkan kebutuhan energi listrik pesantren.

4.7.3 Analisis Renewable Fraction

Hasil simulasi HOMER menunjukkan nilai Renewable Fraction (RF) sebesar 4,42%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sekitar 4,42% energi yang digunakan oleh sistem berasal dari sumber energi terbarukan, yaitu energi matahari.

Menurut teori pada BAB II, Renewable Fraction merupakan persentase kontribusi energi terbarukan terhadap total energi yang digunakan oleh sistem. Semakin besar nilai RF, semakin besar pula kontribusi energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan energi sistem.

Nilai RF sebesar 4,42% menunjukkan bahwa kontribusi PLTS terhadap keseluruhan kebutuhan energi listrik pesantren masih rendah. Hasil ini sejalan dengan produksi energi PV sebesar 13.583 kWh/tahun yang jauh lebih kecil dibandingkan kebutuhan energi listrik pesantren sebesar sekitar 291.643,03 kWh/tahun.

Rendahnya nilai RF juga menunjukkan bahwa sistem masih memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap jaringan listrik. Kondisi tersebut sesuai dengan karakteristik PLTS on-grid, di mana energi dari jaringan digunakan untuk memenuhi kekurangan energi ketika produksi PV tidak mencukupi. Menurut Prayogo (2019), pada sistem PLTS on-grid, apabila produksi PLTS lebih kecil daripada kebutuhan beban, kekurangan energi akan dipasok oleh jaringan PLN.

Oleh karena itu, PLTS pada konfigurasi penelitian ini lebih tepat dipandang sebagai sumber energi tambahan yang membantu mengurangi sebagian

kebutuhan listrik dari jaringan, bukan sebagai sumber utama energi listrik pesantren.

4.7.4 Kemampuan PLTS dalam Memenuhi Beban Listrik

Kebutuhan energi listrik Pesantren Kuala Madu berdasarkan hasil pemodelan adalah sebesar 799,022 kWh/hari atau sekitar 291.643,03 kWh/tahun. Sementara itu, energi yang dihasilkan oleh PV hanya sebesar 13.583 kWh/tahun. Selisih kebutuhan tersebut menyebabkan sistem masih membutuhkan pasokan energi dari jaringan listrik sebesar 278.739 kWh/tahun.

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa sistem PLTS 10 kW belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan beban listrik pesantren. Jaringan listrik masih menjadi sumber energi utama dalam sistem, sedangkan PV berfungsi sebagai sumber energi tambahan.

Kondisi ini sesuai dengan teori PLTS on-grid yang dijelaskan oleh Prayogo (2019), yaitu jaringan listrik tetap digunakan ketika energi yang dihasilkan PLTS tidak mencukupi kebutuhan beban. Dengan demikian, keberadaan grid pada model HOMER bukan menunjukkan kegagalan sistem PLTS, tetapi merupakan bagian dari karakteristik sistem grid-connected yang digunakan dalam penelitian.

Perbandingan antara produksi PV dan kebutuhan energi juga menunjukkan bahwa kapasitas 10 kW masih relatif kecil dibandingkan karakteristik beban pesantren. Oleh sebab itu, berdasarkan hasil simulasi, sistem PLTS belum dapat berdiri sendiri dalam memenuhi kebutuhan energi listrik dan masih memerlukan jaringan listrik sebagai sumber pendukung utama.

4.7.5 Analisis Ekonomi Sistem

Dari aspek ekonomi, hasil simulasi HOMER menunjukkan Initial Capital sekitar Rp100 juta, yang berasal dari investasi PV dan converter. Biaya PV yang dimasukkan ke dalam model adalah sekitar Rp87,16 juta, sedangkan biaya converter sekitar Rp12,86 juta. Hasil simulasi selanjutnya menghasilkan NPC sebesar Rp3,34 miliar, COE sebesar Rp886,71/kWh, dan Operating Cost sekitar Rp251 juta/tahun.

Menurut teori pada BAB II, Net Present Cost (NPC) merupakan total biaya sistem selama umur proyek yang dikonversikan ke nilai saat ini dan digunakan untuk mengevaluasi aspek ekonomi suatu sistem PLTS. Sementara itu, Cost of Energy (COE) merupakan biaya rata-rata yang diperlukan untuk menghasilkan atau melayani satu satuan energi listrik.

Nilai NPC sebesar Rp3,34 miliar menunjukkan bahwa apabila sistem dianalisis selama umur proyek 25 tahun, terdapat biaya keseluruhan sistem yang cukup besar apabila seluruh biaya investasi dan operasi diperhitungkan dalam nilai sekarang. Besarnya biaya tersebut juga berkaitan dengan kebutuhan listrik pesantren yang tinggi dan masih dominannya penggunaan energi dari jaringan.

Sementara itu, nilai COE sebesar Rp886,71/kWh menunjukkan biaya rata-rata energi berdasarkan konfigurasi dan parameter ekonomi yang dimasukkan ke dalam HOMER. Dalam model penelitian ini, tarif pembelian listrik dari grid ditetapkan sebesar Rp900/kWh, sedangkan harga jual kembali energi ke jaringan ditetapkan Rp0/kWh dan net metering tidak diaktifkan. Oleh karena itu, sistem tidak memperoleh pendapatan dari penjualan energi listrik ke jaringan.

Nilai Operating Cost sekitar Rp251 juta/tahun juga menunjukkan bahwa biaya operasi masih sangat dipengaruhi oleh energi yang harus dibeli dari jaringan. Hal tersebut konsisten dengan hasil teknis sebelumnya, yaitu produksi PV yang masih jauh lebih kecil dibandingkan kebutuhan beban.

4.7.6 Evaluasi Kinerja PLTS secara Keseluruhan

Berdasarkan seluruh parameter yang dianalisis, kinerja sistem PLTS 10 kW di Pesantren Kuala Madu menunjukkan bahwa sistem telah mampu menghasilkan energi listrik dari sumber energi matahari, tetapi kontribusinya terhadap kebutuhan energi keseluruhan masih terbatas. Produksi PV sebesar 13.583 kWh/tahun, kontribusi energi sekitar 4,66%, CF sebesar 15,51%, dan RF sebesar 4,42% menunjukkan bahwa pemanfaatan energi surya dalam konfigurasi yang dianalisis masih relatif kecil.

Hasil tersebut dapat dijelaskan berdasarkan teori bahwa produksi energi photovoltaic bergantung pada sumber daya matahari, karakteristik modul, kapasitas terpasang, serta kondisi operasi sistem. Rusirawan dan Nurprabowo (2024) menjelaskan bahwa teknologi photovoltaic mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik, sedangkan Lambert, Gilman, dan Lilienthal (2006) menjelaskan penggunaan HOMER untuk memodelkan kinerja dan biaya sistem energi berdasarkan kondisi operasi dan parameter yang diberikan. Teori tersebut mendukung hasil simulasi bahwa besarnya kapasitas PV dan kondisi sumber daya matahari berpengaruh terhadap energi yang dapat dihasilkan sistem.

Secara keseluruhan, sistem PLTS 10 kW pada penelitian ini dapat dikategorikan belum mampu memenuhi kebutuhan beban listrik Pesantren Kuala Madu secara keseluruhan. PLTS lebih berperan sebagai sumber energi tambahan

untuk mengurangi sebagian konsumsi listrik dari jaringan. Hal ini ditunjukkan oleh masih tingginya energi yang dibeli dari jaringan, yaitu 278.739 kWh/tahun, dibandingkan produksi energi PV sebesar 13.583 kWh/tahun.

Dengan demikian, hasil simulasi HOMER memberikan gambaran bahwa kapasitas PLTS yang dianalisis masih belum sebanding dengan kebutuhan energi listrik pesantren. Hasil ini dapat menjadi dasar evaluasi apabila pada penelitian selanjutnya akan dilakukan pengembangan kapasitas PLTS agar kontribusi energi terbarukan terhadap kebutuhan listrik pesantren dapat ditingkatkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Pesantren Kuala Madu menggunakan perangkat lunak HOMER Pro, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja PLTS berdasarkan hasil simulasi HOMER Pro menunjukkan bahwa sistem dengan kapasitas PV sebesar 10 kW dan converter sebesar 10 kW menghasilkan energi listrik dari PV sebesar 13.583 kWh/tahun. Nilai Capacity Factor (CF) sebesar 15,51% menunjukkan tingkat pemanfaatan kapasitas PV selama satu tahun, sedangkan Renewable Fraction (RF) sebesar 4,42% menunjukkan bahwa kontribusi energi terbarukan terhadap kebutuhan energi sistem masih relatif kecil. Dari aspek ekonomi, sistem menghasilkan Net Present Cost (NPC) sebesar Rp3,34 miliar dan Cost of Energy (COE) sebesar Rp886,71/kWh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PLTS telah memberikan kontribusi energi terbarukan, tetapi kontribusinya terhadap keseluruhan kebutuhan listrik pesantren masih terbatas.
2. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS berdasarkan hasil simulasi HOMER Pro adalah sebesar 13.583 kWh/tahun, atau rata-rata sekitar 37,21 kWh/hari. Jika dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik Pesantren Kuala Madu sebesar sekitar 291.643,03 kWh/tahun, maka produksi energi PV secara sederhana memberikan kontribusi sekitar 4,66% terhadap kebutuhan energi listrik pesantren. Hasil tersebut menunjukkan

bahwa kapasitas PV 10 kW masih menghasilkan energi yang relatif kecil dibandingkan total kebutuhan listrik pesantren.

3. Kemampuan PLTS dalam memenuhi kebutuhan beban listrik masih belum mencukupi seluruh kebutuhan energi pesantren. Berdasarkan hasil simulasi, energi yang dibeli dari jaringan listrik mencapai 278.739 kWh/tahun, sedangkan energi yang dihasilkan PV sebesar 13.583 kWh/tahun. Dengan demikian, jaringan listrik masih menjadi sumber energi utama untuk memenuhi kebutuhan beban, sementara PLTS berfungsi sebagai sumber energi tambahan yang membantu mengurangi sebagian kebutuhan energi dari jaringan. Tidak terdapat energi yang dijual ke jaringan karena hasil simulasi menunjukkan grid sellback sebesar 0 kWh/tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan kapasitas PLTS dapat dipertimbangkan karena kapasitas PV 10 kW pada hasil simulasi masih memberikan kontribusi yang relatif kecil terhadap kebutuhan energi listrik Pesantren Kuala Madu.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan simulasi beberapa alternatif kapasitas PV sehingga dapat diketahui kapasitas yang lebih optimal dalam meningkatkan kontribusi energi surya dan mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik.
3. Untuk memperoleh hasil analisis ekonomi yang lebih akurat, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data biaya aktual komponen PLTS,

biaya penggantian komponen, biaya operasi dan pemeliharaan, serta data tarif listrik aktual yang berlaku pada objek penelitian.

4. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data beban listrik aktual dengan interval waktu yang lebih detail, apabila tersedia, sehingga profil konsumsi listrik pesantren yang dimasukkan ke dalam HOMER dapat menggambarkan kondisi operasional yang lebih mendekati keadaan sebenarnya.
5. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan evaluasi awal bagi Pesantren Kuala Madu dalam mempertimbangkan pengembangan pemanfaatan energi surya untuk mengurangi penggunaan energi listrik dari jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Manullang, V. R. T., Nugroho, A., & Sinuraya, E. W. (2020). *Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan software HOMER di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro*. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(2), 148–156. <https://doi.org/10.14710/transient.v9i2.148-156>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024). *Konsumsi listrik masyarakat meningkat, tahun 2023 capai 1.285 kWh/kapita*. Diakses dari <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita> pada tanggal 14 Juli 2026.
- Nurprabowo, A., & Rusirawan, D. (2024). *Potential for utilizing solar energy using photo voltaic in Tana Mori, Labuan Bajo*. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3). <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i3.4616>
- Simanjuntak, R. M., & Triyanto, A. (2024). *Studi performa panel surya 100 WP menggunakan software HOMER di Universitas Pamulang*. **Jurnal Elektro**, 17(2). <https://doi.org/10.25170/jurnalelektro.v17i2.5884>
- Beluco, A., During Filho, F. A., Silva, L. M. R., Silva, J. S., Teixeira, L. E., Vasco, G., Canales, F. A., Rossini, E. G., Souza, J., Daronco, G. C., & Risso, A. (2020). *Dataset after seven years simulating hybrid energy systems with Homer Legacy*. *Data Science Journal*, 19, Article 14. <https://doi.org/10.5334/dsj-2020-014>
- Hartopo, I., & Rosyadi, A. Y. (2025). *Desain sistem PLTS hybrid dengan pemodelan HOMER Pro dan PVSyst di Desa Semang, NTT, Indonesia*. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 10(1), 113–122. <https://doi.org/10.31544/jtera.v10.i1.2025.113-122>
- Husna, F. N., & Santoso, D. B. (2025). *Simulasi PLTS off-grid rumah tangga di*

- Karawang menggunakan Homer Pro. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 9(2), 548–555. <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v9i2.1256>
- Rahmanta, M. A., Syamsuddin, A., Tanbar, F., & Damanik, N. (2023). *Analisis perkembangan teknologi modul photovoltaic (PV) untuk meningkatkan penetrasi pusat listrik tenaga surya (PLTS) di Indonesia*. *Journal of Optimization*, 7(1). <https://doi.org/10.30588/jo.v7i1.1509>
- Zulni, M. Z., & Sepannur. (2023). *Planning on solar power plant 900 VA power grid using micropower HOMER household application: Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya on-grid daya 900 VA menggunakan HOMER daya mikro aplikasi rumah tangga*. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, 3(1), 29–35. <https://doi.org/10.57152/ijeere.v3i1.475>
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2011). *Handbook of Batteries* (4th Edition). New York: McGraw-Hill Education.
- Masters, G. M. (2013). *Renewable and Efficient Electric Power Systems* (2nd Edition). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Darwin, D., Panjaitan, A., & Suwarno, S. (2020). *Analisa pengaruh intensitas sinar matahari terhadap daya keluaran pada sel surya jenis monokristal*. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 1(2), 99–106. <https://doi.org/10.53695/jm.v1i2.105>
- Lambert, T., Gilman, P., & Lilienthal, P. (2006). *Micropower System Modeling with HOMER*. In *Integration of Alternative Sources of Energy*. John Wiley & Sons
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Creswell, J. W. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th Edition). SAGE Publications.
- Lisdawati, J., Silalahi, E. M., & Purba, R. (2022). *Perancangan pembangkit listrik*

tenaga surya (PLTS) sistem on-grid berbasis HOMER untuk memenuhi energi listrik di Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Teriak, Bengkayang Kalimantan Barat. Lektrokom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 5(1), 38–46. <https://doi.org/10.33541/lektrokom.v5i1.5162>

Samodrawati, D., & Sukasri, D. (2024). *Optimasi kapasitas PLTS hybrid Nusa Penida dengan menggunakan aplikasi HOMER. Jurnal Teknologi, 12(1), 15–26. <https://doi.org/10.31479/jtek.v12i1.350>*

Bukit, A. B., Andromeda, T., & Sinuraya, E. W. (2021). *Perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk analisis biaya dan potensi daya di Departemen Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 10(1), 215–221. <https://doi.org/10.14710/transient.v10i1.215-221>*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian













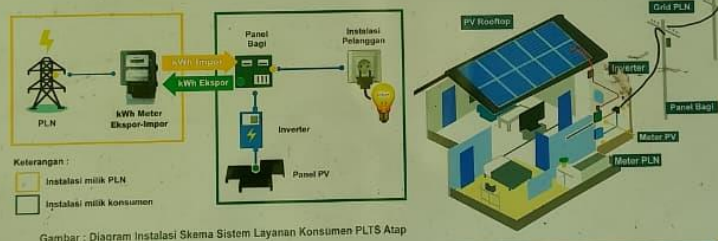
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
DIREKTORAT JENDERAL ENERGI BARU TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI
DIREKTORAT PERENCANAAN DAN PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR EBTKE

**PEKERJAAN PEMBANGUNAN PLTS
(PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA) ATAP 10 kWp**

PONPES MODERN MUHAMMADIYAH KWALA MADU

**KABUPATEN LANGKAT PROVINSI SUMUT
TAHUN ANGGARAN 2022**

GEDUNG INI MENGGUNAKAN PLTS ATAP ON GRID 10 kWp



**G
R
E
E
N
E
N
E
R
G
Y**

Pada siang hari, Modul Surya mengubah energi matahari menjadi energi listrik Arus Searah (DC) melalui sel Fotovoltaik. Selanjutnya energi listrik DC diteruskan ke peralatan Inverter untuk kemudian diubah menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC). Energi listrik diteruskan melalui Panel Bagi ke Instalasi Pelanggan. Apabila energi yang diproduksi melebihi kebutuhan listrik pelanggan, maka energi akan di ekspor ke jaringan listrik PLN. Besar energi listrik yang dikonsumsi (impor) dan yang diproduksi (ekspor) oleh pelanggan akan tercatat di kWh Meter Ekspor-Impor.

kWh Ekspor adalah jumlah energi listrik yang disalurkan dari sistem instalasi Pelanggan PLTS Atap ke sistem jaringan PLN yang tercatat pada meter kWh ekspor-impor.

kWh Impor adalah jumlah energi listrik yang diterima oleh sistem instalasi Pelanggan PLTS Atap dari sistem jaringan PLN yang tercatat pada meter kWh ekspor-impor.

Ada deposit sisa saldo kWh PLTS Atap dalam hal jumlah energi dari PLTS Atap lebih besar dari energi pemakaian minimum konsumen dari PLN pada bulan berjalan, selisih lebih (saldo) akan diakumulasikan dan diperhitungkan untuk tagihan berikutnya serta akan di reset ke nol setiap akhir triwulan.

Ada skema offset kWh yaitu energi pemakaian konsumen dari PLN dikurang dengan energi dari PLTS Atap yang dikirim ke PLN

