

**EVALUASI *TECHNOECONOMY* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA *ON-GRID* PADA SWALAYAN ANEKA
JAYA NGALIYAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE HOMER***



DISUSUN OLEH :

ADITAMA NANANG FAISOL

30601700003

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

2024

**EVALUASI *TECHNOECONOMY* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA *ON-GRID* PADA SWALAYAN ANEKA
JAYA NGALIYAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE HOMER***

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar S1
Pada Program Studi Teknik Elektro
Universitas Islam Sultan Agung



DISUSUN OLEH :

ADITAMA NANANG FAISOL

30601700003

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

2024

**TECHNOECONOMY EVALUATION OF ON-GRID SOLAR
POWER PLANT AT ANEKA JAYA NGALIYAN
SUPER TERRANTIES USING HOMER SOFTWARE**

THIS REPORT IS PREPARED TO MEET ONE OF THE REQUIREMENTS TO
GET A BACHELORS DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY OF
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



DISUSUN OLEH :

ADITAMA NANANG FAISOL

30601700003

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

SEMARANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI *TECHNOECONOMY* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *ON-GRID* PADA SWALAYAN ANEKA JAYA NGALIYAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE HOMER*” ini disusun oleh :

Nama : ADITAMA NANANG FAISOL
NIM : 30601700003
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 28 Agustus 2024



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI *TECHNOECONOMY* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *ON-GRID* PADA SWALAYAN ANEKA JAYA NGALIYAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE HOMER*” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada :


Hari : Rabu

Tanggal : 28 Agustus 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

Munaf Ismail, S.T., M.T.
NIDN : 0613127302
Ketua



.....

Ir. Budi Pramono Jati, MM.,
MT.
NIDN : 0623126501
Penguji I



.....

Prof. Dr. Ir. H Muhamad
Haddin, M.T.
NIDN : 0618066301
Penguji II



.....

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aditama Nanang Faisol
NIM : 30601700003
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“EVALUASI *TECHNOECONOMY* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *ON-GRID* PADA SWALAYANANEKA JAYA NGALIYAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE HOMER*”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

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

Semarang, 28 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Aditama Nanang Faisol

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahillabill'alamiin

Rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, cinta, serta kasih saayang yang telah memberikan kekuatan dan juga kesabaran yang berlimpah sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam selalu terlimpah kepada Baginda Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafa'at beliau di yaumul qiamah nanti, aamiin. Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul Evaluasi *technoeconomy* Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid* pada swalayan Aneka Jaya Ngaliyan menggunakan *Software* HOMER yang saya persembahkan kepada orang-orang yang sangat saya sayangi dan cintai terutama kedua orangtua saya Ibu, Bapak tercinta sebagai wujud rasa terimakasih karena telah memeberikan semangat, dukungan, motivasi, dan mendoakan saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Telah selesainya Tugas Akhir ini merupakan capaian awal yang bisa saya persembahkan untuk memulai kehidupan baru. Saya tahu bahwa Tugas Akhir ini tidak ada apa-apanya dibandingkan dengan perjuangan orang tua saya dalam membiayai saya selama ini, tetapi saya akan selalu berusaha untuk membuat kedua orang tua saya selalu bahagia dengan usaha saya semaksimal mungkin terutama untuk ibu saya. Saya ingin membuktikan bahwa saya juga dapat dibanggakan. Terima kasih atas seluruh kerja keras bapak, untuk setiap doa yang tak henti-hentinya diucapkna untuk kesuksesan saya, saya masih hanya bisa membalas dengan ucapakan kata terimakasih yang sebesr-besarnya. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan ibu dan bapak amin.

Terima kasih juga untuk kakak dan adik, juga seluruh teman-teman atas semangat dan motivasi yang telah diberikan untuk saya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

MOTTO

“Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yangdemikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyu”

(Qs. Al Baqarah: 45)

“Dan sungguh akan kami berikan cobaan kepadamu, dengan sedikit ketakutan,kelaparan, kekurangan harta, jiwa dan buah-buahan. Dan berikanlah berita gembira kepada orang-orang yang sabar”

(Qs. Al Baqarah: 155)

“Ya Rabbku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku,dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku, supaya mereka mengerti perkataanku” (Qs. Thaha: 25-28)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”(Qs. Al Insyirah: 5)



KATA PENGANTAR

Assalamu'allaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah alhamdulillah alhamdulillah puji syukur yang tak terhingga atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan sekaligus laporan Tugas Akhir yang berjudul ” Evaluasi *technoconomy* Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid* pada swalayan Aneka Jaya Ngaliyan menggunakan *Software* HOMER” dengan sebaik – baiknya, sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi besar junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

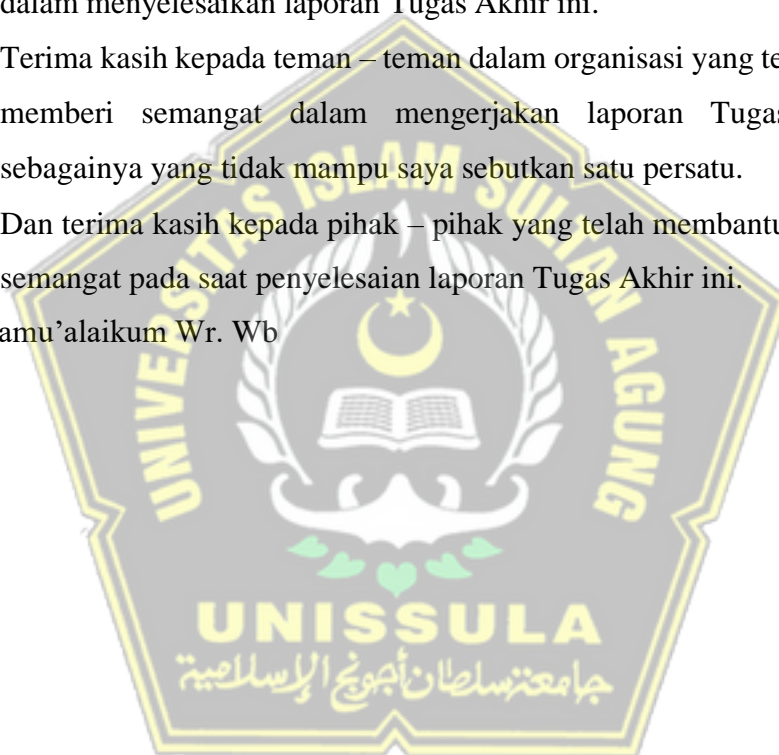
Laporan Tugas Akhir merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa/i untuk meraih gelar sarjana (S1) di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas mendapat bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa setulus hati, penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua orang tua saya, Ibu Ismiyati dan Bapak Khambali tercinta yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap sujudnya.
3. Terima kasih kepada Dosen Pembimbing saya Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT. yang telah membantu dan membimbing saya dengan sabar sampai laporan Tugas Akhir ini terselesaikan.
4. Dr. Novi Marliyana, ST., MT. selaku Dekan di Fakultas Teknologi Industri beserta jajarannya.
5. Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu selama dibangku kuliah.
7. Staff dan Karyawan Fakultas Teknologi Industri yang sudah membantu dalam segala urusan Tugas Akhir mulai dari surat permohonan penelitian sampai sidang.
8. Terima kasih kepada saudara-saudara saya telah memberi dukungan dan

do'a perhatian yang amat sangat berharga sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

9. Terima kasih kepada pihak Aneka Jaya Ngaliyan memberikan izin kepada saya untuk dapat melakukan penelitian di Aneka Jaya Ngaliyan.
10. Terima kasih kepada mas fadlun, mas deva, mas cahya, mas umam, mas tomo, dan teman-teman kopi langit yang telah memberikan dukungan, semangat, nasihat, dan memfasilitasi selama penelitian berlangsung.
11. Terima kasih kepada teman seperjuangan yaitu seluruh mahasiswa Teknik Elektro 2017 yang telah memberikan semangat, nasehat dan dukungan dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
12. Terima kasih kepada teman – teman dalam organisasi yang telah membantu memberi semangat dalam mengerjakan laporan Tugas Akhir lain sebagainya yang tidak mampu saya sebutkan satu persatu.
13. Dan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dan memberi semangat pada saat penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb



DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vi
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1. Sumber Energi Listrik.....	8
2.2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	8
2.2.2.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	10
2.2.2.2. Komponen PLTS.....	13
2.2.2.3. Penentuan Jumlah Modul Surya.....	16
2.2.2.4. Efisiensi Sel Surya.....	19
2.2.2.5. Menghitung Daya Keluaran Panel Surya.....	21
2.2.2.6. Menghitung Daya Yang Dihasilkan Radiasi Matahari.....	21
2.2.2.7. Menghitung Efisiensi Daya Keluaran Panel Surya.....	22

2.3 Perangkat Lunak Homer	22
2.3.1. Prinsip Kerja HOMER.....	22
2.3.2. Pemodelan Fisik HOMER	27
2.3.3. Menghitung Data Ekonomis	30
BAB III MODEL PENELITIAN	35
3.1 Model Penelitian	35
3.2 Lokasi Penelitian.....	35
3.3 PLTS Aneka Jaya Ngaliyan	36
3.4 Bahan dan Data Penelitian	36
3.4.1. Potensi Radiasi Matahari	36
3.5 Sistem Kelistrikan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.....	37
3.6 Data Teknik Ekonomis Komponen PLTS Aneka Jaya Ngaliyan	38
3.6.1. Panel Surya	38
3.6.2. Inverter.....	39
3.7 Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Hasil Kinerja Panel Surya	42
4.1.1. Hasil Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya	42
4.1.2. Hasil Perhitungan Daya Yang Dibangkitkan Matahari	44
4.1.3. Hasil Perhitungan Efisiensi Daya Keluaran Panel Surya ..	46
4.2 Analisa Ekonomis PLTS Aneka Jaya Ngaliyan Menggunakan Software HOMER.....	47
4.2.1. Pemodelan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan	48
4.2.2. Model PLTS Aneka Jaya Ngaliyan	48
4.3 Analisa Hasil Simulasi	49
4.3.1. Analisa Produksi Listrik PLTS	50
4.3.2. Penggunaan Energi Listrik di PLTS Aneka Jaya.....	50
4.4 Biaya Pada PLTS Aneka Jaya.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	xviii
LAMPIRAN.....	xix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	struktur modul fotovoltaik	9
Gambar 2. 2	PLTS On-Grid	11
Gambar 2. 3	PLTS Off-Grid.....	12
Gambar 2. 4	PLTS Hybrid.....	12
Gambar 2. 5	Modul Surya	13
Gambar 2. 6	Inverter.....	14
Gambar 2. 7	Batrai	15
Gambar 2. 8	Surya, Panel Surya dan Array Hubungan Sel[17]	16
Gambar 2. 9	Karakteristik Kurva PV	18
Gambar 2. 10	Diagram Skematik Rangkaian dari Sistem Menggunakan HOMER	22
Gambar 2. 11	Grafik Analisis Sensitivitas	25
Gambar 2. 12	Data Beban Pada HOMER	27
Gambar 2. 13	Analogi Tangki Untuk Deferrable Load.....	28
Gambar 3. 1	Single Line Diagram PLTS Aneka Jaya Ngaliyan Sistem On-Grid	35
Gambar 3. 2	Diagram alir evaluasi kinerja panel surya.....	41
Gambar 4. 1	Produksi Energi Listrik PLTS Aneka Jaya.....	50
Gambar 4. 2	Total penggunaan energi listrik PLTS Aneka Jaya	51
Gambar 4. 3	Biaya Saat ini PLTS Aneka Jaya	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Radiasi Matahari dari NASA.....	37
Tabel 3. 2 Tabel spesifikasi panel surya PLTS Aneka Jaya Ngaliyan	38
Tabel 3. 3 Spesifikasi Inverter PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.	39
Tabel 3. 4 Data Teknis dan Ekonomi PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.....	40
Tabel 4. 1 Data Radiasi Matahari PLTS Aneka Jaya Ngaliyan 2023.....	42
Tabel 4. 2 Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya	43
Tabel 4. 3 Radiasi Matahari 1-30 september 2023.....	44
Tabel 4. 4 Perhitungan Daya yang Dibangkitkan Radiasi Matahari	45
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Efisiensi Daya Keluaran Panel Surya	46
Tabel 4. 6 Hasil Pemodelan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan on-grid.....	49



ABSTRAK

Dampak konsumsi energi listrik PLN pada suatu swalayan akan menyebabkan membengkaknya tagihan listrik. Solusinya adalah bagaimana menurunkan konsumsi energi listrik PLN sehingga tagihan listriknya tidak meningkat, antara lain dengan memasang Pembangkit listrik Tenaga surya (PLTS).

Penelitian ini membahas tentang Evaluasi *Technoeconomy* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada swalayan. Model ditetapkan sebagai sebuah sistem kelistrikan pada swalayan dengan kombinasi jaringan listrik PLN dan PLTS Atap. Parameter yang ditetapkan adalah beban-beban listrik: AC, Lampu, pompa, destinasi permainan anak, luas atap, spesifikasi modul PLTS. HOMER digunakan simulasi untuk perhitungan *Technoeconomy* PLTS. Sebagai objek penelitian ditentukan Aneka Jaya Ngaliyan.

Hasil menunjukkan bahwa HOMER mampu digunakan untuk perhitungan *Technoeconomy* PLTS pada swalayan, hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan efisiensi panel surya sebesar 58 kW (14%), dan project life time 25 tahun didapatkan NPC sebesar Rp. 507.498.200,- dan COE sebesar Rp. 426,69.

Kata Kunci : *Technoeconomy*, PLTS, HOMER, NPC, COE

ABSTRAK

The impact of PLN electricity consumption on a supermarket will cause electricity bills to rise. The solution is how to reduce PLN's electricity consumption so that electricity bills do not increase, including by installing a solar power plant (PLTS).

This research discusses the Technoeconomic Evaluation of Solar Power Plants (PLTS) in supermarkets. The model is defined as a supermarket electrical system with a combination of the PLN electricity network and rooftop PLTS. The parameters set are electrical loads: AC, lights, pumps, children's play destinations, roof area, PLTS module specifications. HOMER used simulations for PLTS Technoeconomy calculations. As the research object, Aneka Jaya Ngaliyan was determined.

The results show that HOMER can be used for calculating the Technoeconomy of PLTS in supermarkets, this is proven by the results of calculating the efficiency of solar panels of 58 kW (14%), and a project life time of 25 years obtained by NPC of IDR. 507,498,200,- and COE of Rp. 426.69.

Keywords: Technoeconomy, PLTS, HOMER, NPC, COE

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terletak di garis katulistiwa. Lokasi Indonesia yang istimewa ini memungkinkan seluruh sumber energi terbarukan tersedia di negara ini, diantaranya yaitu potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahunnya. Pemanfaatan energi terbarukan ini dapat dimanfaatkan secara langsung dengan mengkonversikan radiasi matahari dengan panel surya untuk menghasilkan energi listrik.

Tenaga listrik merupakan salah satu jenis energi yang sangat diperlukan dalam pembangunan. Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik ini sesuai Kebijakan Energi Nasional (Kepres No. 5 Tahun 2006) harus dikembangkan berbagai energi alternatif termasuk energi terbarukan, yang ditargetkan mencapai lebih dari 17% dari pangsa energi primer nasional. Energi baru dan terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan [1]. Rencana pembangunan pembangkit listrik sampai pada tahun 2025 adalah sebesar 56.024 MW, dimana 23% dari total pembangkitan tersebut merupakan rencana pembangunan pembangkit listrik dengan mengandalkan potensi Energi Baru Terbarukan (EBT). Berdasarkan peta insulasi matahari, wilayah Indonesia memiliki potensi energi listrik surya sebesar 4.5 kW/m² per hari [2]. Jenis-jenis EBT yang ada diantaranya PLTA, PLTB, PLTP, dan PLTS. Adapun PLTS itu sendiri memiliki beberapa jenis yaitu PLTS Atap, PLTS Gronding, PLTS Apung. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang terhubung pada jaringan tenaga listrik pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum (PermenESDM No. 2 Tahun 2024) [3].

Swalayan Aneka Jaya Ngaliyan berdiri sejak tahun 2005 diluas bangunan ±700 M², berlokasi di Jl. Prof. Dr. Hamka No.38A, Ngaliyan, Semarang. Daya listrik PLN pada Aneka Jaya Ngaliyan sebesar 53 kVA dan Genset 60 kVA.

Permasalahannya adalah konsumsi energi listrik yang tinggi, hal ini dikarenakan pemakaian daya listrik yang tinggi antara lain: AC, Lampu, pompa, destinasi permainan anak. Dampaknya adalah membengkaknya tagihan listrik yang harus dibayar oleh manajemen Aneka Jaya. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka solusinya adalah bagaimana menurunkan konsumsi energi listrik PLN sehingga tagihan listriknya tidak meningkat. Solusi tersebut antara lain dengan memasang Pembangkit listrik Tenaga surya (PLTS). Tahun 2023 Aneka Jaya Ngaliyan telah dipasang PLTS menggunakan sistem On-Grid dengan panel surya sebanyak 116 panel yang dirangkai secara paralel dengan daya yang dihasilkan ± 28 kWp. PLTS ini dimanfaatkan sebagai pemenuhan kebutuhan suplai operasional tenaga listrik pada gedung Aneka Jaya Ngaliyan.

HOMER adalah suatu model sistem pembangkit skala kecil (micropower) untuk mempermudah dalam mengevaluasi desain dari jaringan tunggal (off-grid) maupun jaringan yang terkoneksi dengan sistem (grid-connected). Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap 8.760 jam dalam setahun. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek (*Net Present Cost*) dan biaya energi listrik per kWh (COE).

Dalam perencanaan PLTS yang memanfaatkan potensi alam untuk dibangkitkan menjadi energi listrik, terdapat beberapa kendala yaitu mengenai perkiraan atau analisa potensi alam yang ada di sekitar pembangkit, perkiraan daya yang akan dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik dan juga perkiraan penggunaan beban agar tingkat efektifitas dari segi teknis dan ekonomis dapat dilakukan secara maksimal saat perancangan PLTS dilakukan [4].

Berdasarkan latar belakang permasalahan, penelitian ini mengangkat judul “Evaluasi technoeconomy Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid pada Aneka Jaya Ngaliyan menggunakan Software HOMER”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana menentukan beban-beban yang ada di Aneka Jaya Ngaliyan.?
- b. Bagaimana menentukan pemodelan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.?
- c. Bagaimana menentukan efisiensi daya keluaran dari panel *photovoltaic* pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.?
- d. Bagaimana menentukan nilai *Net Present Cost* (NPC) pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.?
- e. Bagaimana menentukan nilai *Cost Of Energy* (COE) Pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah bertujuan untuk mendapatkan hasil pembahasan yang terfokus dan maksimal. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Penelitian dilakukan pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan Semarang.
- b. Perhitungan efisiensi daya keluaran pada panel surya menggunakan sampel harian.
- c. Perhitungan ekonomi yang dilakukan yaitu *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost Of Energy* (COE).
- d. Perhitungan *Net Present Cost* tidak termasuk harga lahan dan gedung yang ada pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan Semarang.
- e. Penelitian tidak membahas lebih mendalam tentang komponen penyusun yang digunakan dalam PLTS.
- f. Penelitian tidak membahas topologi jaringan, karena perangkat lunak HOMER merupakan *software* energi yang memodelkan sistem pembangkit tenaga listrik dari energi primer langsung ke beban.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Diketuainya analisa evaluasi kinerja panel surya pada gedung Aneka Jaya Ngaliyan Semarang.
- b. Diketuainya besar potensi optimal energi terbarukan yang terdapat di area gedung Aneka Jaya Ngaliyan Semarang.

- c. Diketuainya perhitungan nilai *Net Present Cost* (NPC) atau biaya investasi pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan selama 25 tahun ke depan.
- d. Diketuainya kelayakan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dengan landasan melakukan perhitungan nilai *Cost Of Energy* (COE).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian pada tugas akhir ini yaitu:

- a. Diketuainya nilai efisiensi daya keluaran dari panel surya.
- b. Diketuainya berapa nilai *Net Present Cost* yaitu nilai investasi pembangunan PLTS Atap gedung Aneka Jaya Ngaliyan Semarang dan pengoperasian hingga 25 tahun ke depan.
- c. Diketuainya kelayakan PLTS Atap gedung Aneka Jaya Ngaliyan Semarang dengan landasan melakukan perhitungan nilai *Cost Of Energy* (COE).
- d. Dihasilkan konfigurasi terbaik untuk PLTS Atap Gedung Aneka Jaya Ngaliyan Semarang dengan meninjau potensi alam yang ada.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini menggunakan sistematika untuk memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan objek Tugas Akhir. Adapun sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Menjelaskan tentang tinjauan pustaka dan dasar teori yang diperlukan untuk memecahkan masalah Tugas Akhir dan untuk merumuskan hipotesis apabila memang diperlukan dari berbagai referensi yang dijadikan landasan pada kegiatan Tugas Akhir yang dilakukan.

BAB III : METODELOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metodologi Tugas Akhir yang dilakukan meliputi waktu dan tempat Tugas Akhir, data-data tiap komponen yang digunakan dalam Tugas Akhir, dan tampilan-tampilan simulasi pada program.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan data dan analisa penelitian yang didapatkan dari hasil penelitian di lokasi dan pengolahan data yang diperoleh.

BAB V : PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dari pembahasan mengenai Tugas Akhir Tugas Akhir dan saran yang dapat dikembangkan lebih lanjut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan perangkat lunak HOMER telah dilakukan antara lain:

- a. Evaluasi dan Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta [5]. Hasil penelitian tersebut adalah Simulasi software HOMER dapat menghitung tingkat ekonomis dari PLTH Bayu Baru dan dapat mengoptimasi desain sistem pembangkit hybrid berdasarkan nilai NPC terendah. Hasil simulasi dengan software HOMER, keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru dengan project life time 25 tahun membutuhkan NPC sebesar US\$ 583.569, dan COE sebesar US\$ 1,198/kWh. Komponen pembangkit yang paling ekonomis pada PLTH Bayu Baru adalah turbin angin berkapasitas 5kW dan 2,5kW didasarkan pada nilai LCOE \$ 0,190 dan \$ 0,171/kWh.
- b. Analisis Unjuk Kerja PLTS On-Grid Di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (EBT) Universitas Mataram [6]. Hasil penelitian tersebut adalah besar nilai efisiensi modul surya yang dihasilkan pada hari pertama pengukuran berkisar antara 4% - 16 %, efisiensi modul surya pada hari kedua pengukuran berkisar antara 3% - 16%, dan efisiensi pada hari ketiga pengukuran berkisar antara 3% - 16% , sedangkan besarnya rasio performa yang dihasilkan selama sehari pengukuran pada hari pertama adalah 1,733, rasio performa hari kedua adalah 1,852 dan rasio peforma hari ketiga pengukuran adalah sebesar 2,523.
- c. Program HOMER Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi RIAU [7]. Hasil penelitian tersebut adalah Desain sistem dilakukan disebuah desa referensi bernama Saik yang akan memiliki sekitar 25 kW beban puncak dan konsumsi energi 180 kWh per hari, jika memiliki suplai listrik. Sistem yang direkomendasikan HOMER terdiri dari photovoltaic 5 kW, dua Darrieus Hydrokinetic Turbine (DHT) 3 kW, baterai 14.400 Ah, inverter 20 kW, dan generator diesel 18 kW sebagai back-up, yang

dikonstruksi dalam figurasi parallelhybrid. Sistem tersebut mampu melayani 100% beban sepanjang tahun ditambah sekitar 21% kapasitas lebih untuk mengantisipasi pertumbuhan beban. Dengan arus sungai yang relatif lambat, kontribusi DHT pada energy output mencapai 55%. Biaya Operasi dan Perawatan (O&M) sistem ini rendah, namun biaya awal tinggi. Biaya energi (COE) lebih tinggi daripada tarif listrik di Riau, namun lebih rendah dari pada COE jika menggunakan generator diesel saja. Sistem ini melepaskan sekitar 19,7 ton CO₂ per tahun, jauh dibawah emisi sistem jika hanya menggunakan generator diesel (580% lebih tinggi). Sebagai kesimpulan, HOMER adalah tool yang dapat membantu desainer sistem pembangkit listrik tersebar secara efektif dan efisien.

- d. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 kWp pada Kantor Gubernur Bali [8]. Pemerintah Provinsi Bali bekerja sama dengan Kementerian ESDM dalam pengembangan PLTS rooftop 158 kWp yang terhubung ke jaringan PLN. Energi yang dihasilkan hingga saat ini telah mengurangi suplai energi listrik dari PLN pada area Kantor Gubernur Bali. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS 158 kWp tersebut. Produksi energi di estimasi menggunakan HelioScope. Data yang diperlukan antara lain lokasi PLTS, dan spesifikasi teknis PLTS. Hasil Penelitian tersebut adalah simulasi menghasilkan data energi total dalam satu tahun sebesar 249.764 kWh/tahun dengan energi tertinggi terjadi pada bulan Mei sebesar 24.172 kWh dan energi terendah terjadi pada bulan Januari sebesar 16.226 kWh[8].
- e. Operasi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru Di Bantul, D.I. Yogyakarta [9]. Hasil penelitian tersebut adalah simulasi dengan software HOMER, keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru dengan project life time 25 tahun membutuhkan NPC sebesar \$ 583.569, dan COE sebesar \$ 1,198/kWh. Komponen pembangkit yang paling ekonomis pada PLTH Bayu Baru adalah turbin angin berkapasitas 5kW dan 2,5kW didasarkan pada nilai LCOE \$ 0,190 dan \$ 0,171/kWh.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Sumber Energi Listrik

Sumber energi listrik pada umumnya di bagi menjadi banyak sumber energi utama dan di golongkan menjadi dua kelompok besar yaitu energi konvensional dan energi terbarukan [10].

1. Energi Konvensional

Energi konvensional yaitu energi yang didapatkan dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber – sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berdampak buruk bagi lingkungan karena menimbulkan polusi udara, air dan tanah yang berdampak kepada penurunan tingkat kesehatan dan standar hidup. Contoh dari sumber energi primer konvensional adalah bensin, solar, LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), batu bara, gas alam, dan uranium [10].

2. Energi Terbarukan

Energi terbarukan yaitu energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan terus menerus. Sumber energi ini akan panelalu tersedia dan merugikan lingkungan karena merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini. Ada banyak ragam jenis energi terbarukan, tetapi tidak semua bisa digunakan di daerah terpencil dan perdesaan. Tenaga matahari, angin, biomassa dan air adalah teknologi yang paling sesuai untuk persediaan energi di perdesaan atau daerah terpencil. Sedangkan energi terbarukan lainnya seperti panas bumi dan pasang surut adalah teknologi yang tidak dapat diterapkan di sembarang tempat [10].

2.2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini dilakukan pada panel surya yang terdiri dari sel-sel fotovoltaic. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon murni dan bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian rupa, sehingga apabila

bahan tersebut mendapatkan energi foton akan mengeksitasi electron dari ikatan atomnya menjadi electron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Struktur dari modul foto voltaik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 struktur modul fotovoltaik

Waktu siang hari modul surya menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi energy listrik melalui proses fotovoltaik. Listrik yang dihasilkan oleh modul dapat langsung disalurkan ke beban ataupun disimpan dalam baterai sebelum disalurkan ke beban. Diwaktu malam hari, dimana modul surya tidak menghasilkan listrik, beban sepenuhnya dicatu oleh baterai [11]. Demikian pula apabila hari mendung dimana modul surya menghasilkan listrik lebih rendah dibandingkan pada saat matahari cerah. Modul surya dengan kapasitas tertentu dapat menghasilkan energy listrik yang berbeda-beda apabila ditempatkan pada daerah yang berlainan PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (direct current), yang dapat diubah menjadi listrik AC (alternative current) apabila diperlukan. Oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun hybrid, baik dengan metoda desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel) [11]. Untuk jenis dari

panel photovoltaic dibedakan menjadi dua berdasarkan batasan dari struktur bahan semi konduktor yaitu Monocrystalline dan polycrystalline.

1. *Crystalline silicon* (c-Si)

Bahan yang digunakan adalah *silicon* tunggal. Operasi produksi yang dihasilkan cukup tinggi. Untuk *crystalline silicon* dibagi menjadi dua yaitu *Monocrystalline* dan *polycrystalline* [12].

a. *Monocrystalline*

Monocrystalline terbuat dari bahan batang *silicon* tunggal berbentuk silinder yang tipis dengan ketebalan 200-250 mikrometer dan pada permukaan atasnya terdapat alur mikro yang bertujuan untuk meminimalisir refleksi. Untuk operasi produksinya sekitar 14-17%.

b. *Polycrystalline*

Polycrystalline terbuat dari batang *silicon* yang dilelehkan dan kemudian dicetak oleh pipa paralel. Panel surya ini berbentuk persegi dengan ketebalan 180-230 mikrometer. Tujuan pembuatan jenis ini untuk menurunkan harga produksi, namun untuk nilai operasi produksinya lebih rendah yaitu sekitar 12-14%.

2. Lapisan Tipis

Lapisan tipis yang dimaksud adalah *silicon* jenis thin film dengan pembuatannya menggunakan metode plasma-enhanced chemical vapor deposition (PEVCD) dari gasilane dan hydrogen. Dengan metode ini menghasilkan *silicon* yang tidak memiliki arah orientasi kristal atau diketahui 12 dengan amorphous *silicon* kristal dengan nilai operasi produksi tertingginya adalah 19,5% [12].

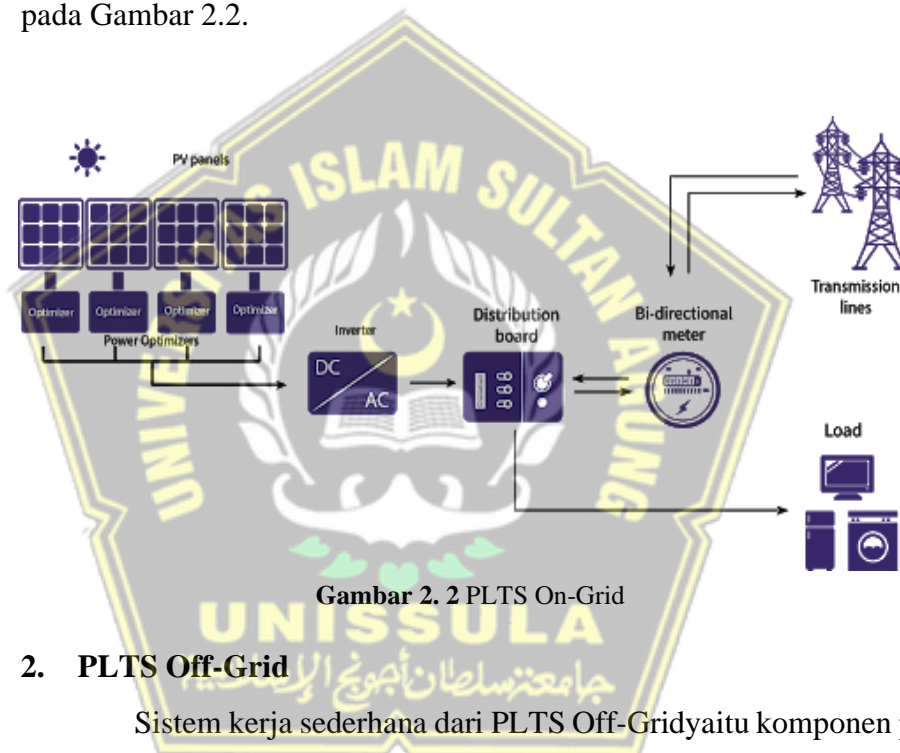
2.2.2.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Baru-baru ini, teknologi photovoltaic (PV) sedang mengumpulkan momentum di paneluruh dunia. PV Global pembangkit energi meningkat drastis sejak 2010 sementara total konsumsi energi dunia mencapai 19.710 kWh/tahun pada 2016. Sistem PLTS memiliki beberapa jenis antara lain PLTS yang terhubung dengan sistem jaringan PLN (on grid), kemudian ada pula

sistem PLTS yang tidak terhubung dengan sistem jaringan PLN [13].

1. PLTS On-Grid

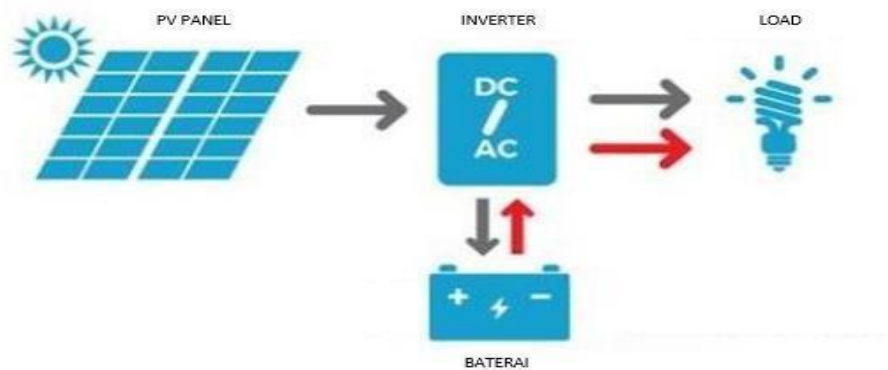
Sistem kerja dari system PLTS *On-Grid* yaitu komponen panel surya akan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik DC setelah itu grid inverter akan merubah listrik DC menjadi AC yang dipararelkan dengan jaringan PLN. Jika ada kelebihan dari daya yang dihasilkan oleh PLTS maka daya tersebut akan disuplai ke jaringan PLN. Sebaliknya jika daya yang dihasilkan PLTS kurang maka daya akan disuplai dari jaringan PLN [12]. Sistem kerja PLTS *On-Grid* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 PLTS On-Grid

2. PLTS Off-Grid

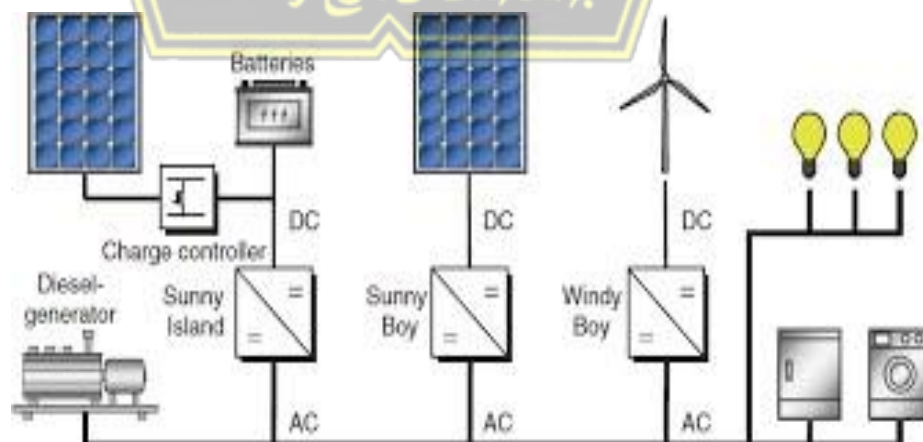
Sistem kerja sederhana dari PLTS Off-Grid yaitu komponen panel surya akan mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik DC, energi DC akan disimpan terlebih dahulu di baterai sebelum grid inverter merubah listrik DC menjadi AC agar dapat dikonsumsi terhadap beban AC [12]. Sistem kerja PLTS Off-Grid dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 PLTS Off-Grid.

3. PLTS Hybrid

Sistem hybrid yaitu sistem yang melibatkan 2 atau lebih sistem pembangkit listrik, umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hybrid adalah genset, PLTS, Mikrohidro, dan tenaga angin. Sehingga sistem hybrid bisa berarti PLTS Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-Tenaga Angin, dan lainnya. Di Indonesia sistem hybrid telah banyak digunakan, baik PLTS Genset, PLTS Mikrohidro, maupun PLTS tenaga angin-mikrohidro. Namun demikian hybrid PLTS-Genset yang paling banyak dipakai. Umumnya digunakan pada captive genset/isolated grid (stand alone genset, yakni genset yang tidak diinterkoneksi) [14]. Sistem kerja PLTS hybrid dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 PLTS Hybrid

2.2.2.2. Komponen PLTS

Komponen-komponen sistem pembangkit listrik yang terdapat pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Aneka Jaya Ngaliyan berfungsi untuk dapat menghasilkan energi listrik dari radiasi matahari yang dikonversi menjadi listrik sebagai pemenuhan kebutuhan listrik yang terjangkau pada wilayah tersebut.

a. Modul Surya

Modul surya berfungsi untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik arus searah (direct current) tenaga listrik yang dihasilkan tersebut mempunyai besar tegangan yang sesuai dengan tegangan yang diperlukan inverter kemudian inverter dapat dengan mudah merubah menjadi listrik arus bolak-balik (alternative current) apabila diperlukan. Bentuk moduler dari modul surya memberikan kemudahan pemenuhan kebutuhan listrik untuk berbagai skala kebutuhan. Kebutuhan kecil dapat dicakupi dengan satu modul atau dua modul. Dan kebutuhan besar dapat dicatu oleh beberapa modul yang terpasang seri parallel. Modul surya dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Modul Surya

b. Inverter

Inverter adalah komponen PLTS yang berfungsi untuk converter tegangan arus searah (DC) ke tegangan arus bolak-balik (AC). Fungsi dari inverter yaitu untuk mengubah tagangan DC menjadi tegangan keluaran AC

yang simetris dengan magnitudo dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan keluaran dapat bernilai tetap atau berubah-ubah dapat diperoleh dengan memvariasikan tegangan masukan DC dan menjaga penguatan inverter nilainya tetap. Sebaliknya dengan masukan tegangan DC tetap dan tidak terkontrol, tegangan keluaran inverter yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan memvariasikan dengan penguatan inverter. Variasi 14 penguatan inverter diperoleh dengan menggunakan pengendali Puls Width Modulation (PWM) dan Sinusoidal Pulsa Width Modulation (SPWM) yang ada didalam komponen inverter[15]. Keluaran inverter dapat dimasukkan kedalam sistem satu fasa (220V) atau tiga fasa (380VAC) bergantung dengan jenis dan konfigurasi jaringan. Beberapa inverter biasanya memiliki masukan dari multi- string untuk memungkinkan beberapa string dihubungkan tanpa menggunakan kotak penggabungan tambahan. Spesifikasi inverter ditetapkan berdasarkan parameter-parameter seperti tegangan DC masukan maksimum dari larik modul photovoltaic, rentang tegangan Maximum Power Point Tracking (MPPT), Arus DC masukan maksimum dari larik modul photovoltaic, Tegangan Keluaran (satu atau tiga fasa), Daya keluaran pada kondisi normal dan frekuensi pada umumnya 50 Hz. Maksimum daya nyata (apparent), dan arus keluaran maksimum pada tegangan yang ditentukan [13]. Inverter dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Inverter

c. Baterai

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya sebelum dimanfaatkan untuk mensuplai beban. Beban dapat berupa lampu penerangan atau peralatan elektronik dan peralatan lainnya yang membutuhkan energi listrik [16]. Sistem rangkaian pada panel surya untuk mendapatkan listrik yang selanjutnya disimpan ke baterai dapat menggunakan hubungan rangkaian paralel maupun seri. Hubungan rangkaian paralel pada baterai dimaksudkan untuk menghasilkan arus yang dibangkitkan semakin besar, tetapi tegangannya tetap. Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Batrai

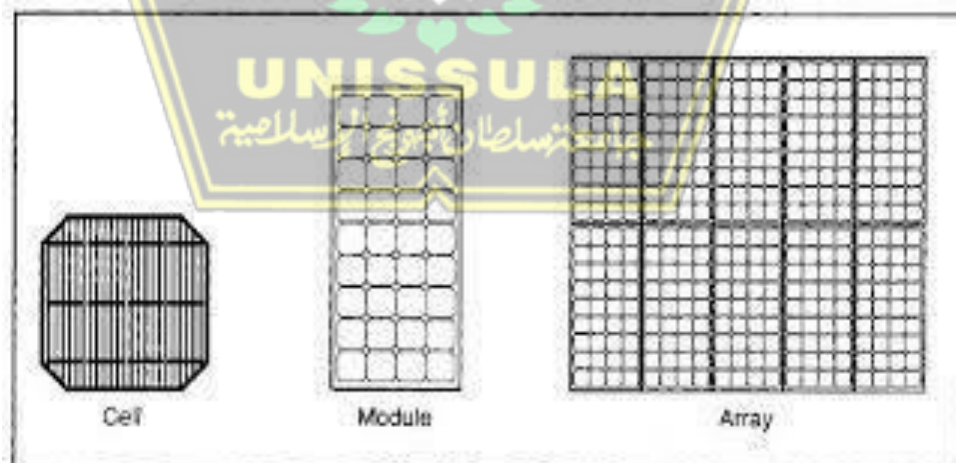
d. MCB dan MCCB

Miniature Circuit Breaker (MCB) atau disebut juga Miniatur Pemutus Sirkuit merupakan perangkat elektromekanikal, berfungsi sebagai pelindung rangkaian listrik dari arus yang berlebihan. Dengan kata lain, MCB dapat memutuskan arus listrik secara otomatis ketika arus listrik yang melewati MCB tersebut melebihi nilai yang ditentukan. Namun saat arus dalam kondisi normal, MCB dapat berfungsi sebagai saklar yang bisa menghubungkan atau memutuskan arus listrik secara manual. MCCB

(Molded Case Circuit Breaker) adalah pengaman agar tidak terjadi hubung singkat short circuit dan beban lebih overload agar tidak terjadinya kerusakan pada motor listrik maupun kebakaran yang disebabkan oleh short circuit yang selalu menimbulkan bunga api. MCCB biasanya digunakan oleh industri karena MCCB hanya untuk pengaman listrik 3 phase, dan motor listrik industri juga menggunakan listrik 3 phase.

2.2.2.3. Penentuan Jumlah Modul Surya

Rangkaian dari sel-sel yang tersusun secara seri maupun paralel tersebut dinamakan modul. Biasanya setiap modul terdiri dari 10-36 unit sel. Apabila tegangan, arus dan daya dari suatu modul tidak mencukupi untuk beban yang digunakan, maka modul-modul tersebut dapat dirangkai secara seri, paralel ataupun kombinasi keduanya untuk menghasilkan besar tegangan dan daya sesuai kebutuhan. Rangkaian modul yang dihubungkan seri tersebut dinamakan rangkaian cabang (branch circuit) dan modul-modul total yang terpasang disebut dengan susunan modul (array) yang terdiri dari kumpulan paralel rangkaian cabang terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Surya, Panel Surya dan Array Hubungan Sel

Besar tegangan dan daya dapat disesuaikan dengan kebutuhan, sel-sel fotovoltaik tersebut harus dikombinasi secara seri dan paralel, dengan aturan sebagai berikut :

- a. Tegangan keluaran yang dua kali lebih besar dari tegangan keluaran sel fotovoltaik, diperoleh dari dua buah sel fotovoltaik harus dihubungkan secara seri.
- b. Arus keluaran yang dua kali lebih besar dari arus keluaran sel fotovoltaik, diperoleh dari dua buah sel fotovoltaik yang dihubungkan secara paralel.
- c. Daya keluaran yang dua kali lebih besar dari sel fotovoltaik harus dihubungkan secara seri dan paralel.

A. Penentuan Jumlah Modul Surya Dalam Hubungan Seri

Daya modul surya yang telah dihitung diatas harus dinyatakan terlebih dahulu sebagai hasil perhitungan sementara. Modul surya yang merupakan bentuk kombinasi hubungan seri dan paralel modul-modul surya. Langkah yang terpenting berikutnya adalah menentukan jumlah modul surya yang harus dihubungkan seri dan paralel. Jumlah modul yang dihubungkan seri ditentukan oleh tegangan masukan inverter, dengan persamaan (2.1).

$$J_s = \frac{V_{INV}}{V_{mf}} \quad (2.1)$$

dengan : J_s = jumlah seri modul surya
 V_{INV} = tegangan masukan inverter (volt)
 V_{MF} = tegangan maksimum modul surya (volt)

Bilangan J_s harus merupakan bilangan bulat (integer), bila didapat bilangan pecahan, maka bilangan tersebut harus dibulatkan, sehingga diperoleh persamaan (2.2).

$$V_{GPV} = J_s \cdot V_{MF} \quad (2.2)$$

dengan : V_{GPV} = tegangan modul surya (volt)
 J_s = jumlah seri modul surya
 V_{MF} = tegangan maksimum modul surya (volt)

B. Penentuan Jumlah Modul Surya Dalam Hubungan Paralel

Suatu string terdiri dari J_s modul surya dalam hubungan seri. Daya total generator fotovoltaik sebesar P_{GPV} , dibutuhkan jumlah string, melalui persamaan (2.3).

$$J_p = \frac{P_{GPV}}{V_{GPV} \cdot I_{MF}} \quad (2.3)$$

dengan : J_p = jumlah string modul fotovoltaik
 P_{GPV} = daya generator modul fotovoltaik (watt)
 V_{GPV} = tegangan generator modul fotovoltaik (volt)

I_{MF} = arus maksimum modul fotovoltaik

Bila diperoleh bilangan pecahan, J_p dibulatkan keatas, arus nominal generator fotovoltaik (I_{GPV}) dapat dihitung kemudian dengan persamaan (2.4).

$$I_{GPV} = J_p \cdot I_{MF} \quad (2.4)$$

dengan : I_{GPV} = arus nominal generator fotovoltaik
 J_p = jumlah string modul fotovoltaik
 I_{MF} = arus maksimum modul fotovoltaik

Setelah ditentukan J_s dan J_p , maka daya generator fotovoltaik terpasang dihitung kembali menggunakan persamaan (2.5).

$$P_{GPV} = V_{GPV} \cdot I_{GPV} \quad (2.5)$$

dengan : P_{GPV} = daya generator modul fotovoltaik (watt)

V_{GPV} = tegangan generator modul fotovoltaik
(volt)

I_{GPV} = arus nominal generator fotovoltaik

Sedangkan jumlah susunan modul fotovoltaik (N) yang terpasang adalah dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$N = J_s \cdot J_p \quad (2.6)$$

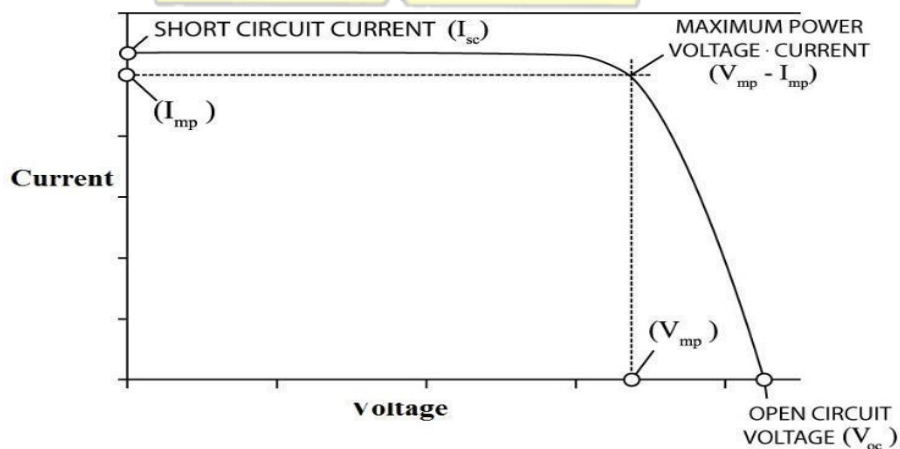
dengan : N = jumlah susunan modul fotovoltaik

J_s = jumlah seri modul surya

J_p = jumlah string modul fotovoltaik

2.2.2.4. Efisiensi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan dari sebuah pael surya berupa daya DC dengan satuan watt-peak yaitu nilai watt tertinggi yang dapat dihasilkan dari sebuah sistem panel surya. Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya matahari diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan (V) dan arus (I). Kemampuan ini dapat dipresentasikan dalam kurva arus tegangan (I - V) [5], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Karakteristik Kurva PV

Ketika sel surya dalam kondisi short circuit, maka akan menghasilkan arus maksimum atau short circuit current (I_{sc}), sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga menghasilkan tegangan maksimum atau open circuit voltage (V_{oc}). Sel surya akan menghasilkan energi maksimum jika nilai V_{mp} dan I_{mp} juga maksimum. Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum atau maksimum power point (MPP).

Kualitas dari sel surya biasa dinyatakan dengan nilai Fill Factor (FF) yang menunjukkan besarnya kemampuan sel surya menyerap cahaya yang diterimanya. Semakin besar nilai fill factor maka sel tersebut semakin baik. Besarnya nilai fill factor dapat dihitung dengan persamaan (2.7).

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.7)$$

dengan : FF = fill factor
 V_{mp} = tegangan pada titik kerja maksimum
 I_{mp} = arus pada titik kerja maksimum
 V_{oc} = tegangan maksimum
 I_{sc} = arus maksimum

Dengan menggunakan fill factor maka daya maksimum (P_{max}) dari sel surya dapat diperoleh melalui persamaan (2.8).

$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2.8)$$

dengan : P_{MAX} = daya maksimum (watt)
 V_{OC} = tegangan maksimum (volt)
 I_{SC} = arus maksimum (ampere)
 FF = fill factor

Sedangkan daya yang dibandingkan cahaya (P_{cahaya}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.9.)

$$P_{cahaya} = G \cdot A \quad (2.9)$$

dengan : P_{cahaya} : daya cahaya (watt)
 G : Intensitas cahaya matahari (watt/m²)
 A : luas penampang panel surya (m²)

Sehingga kualitas sel surya juga dapat dihitung dengan menggunakan

basarnya efisiensi sel surya (η) yang dapat ditulis dengan persamaan (2.10).

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{cahaya}} = \frac{V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{G \cdot A} \quad (2.10)$$

dengan : η = efisiensi sel surya

P_{MAX} = daya maksimum (watt)

P_{cahaya} = daya cahaya (watt)

V_{OC} = tegangan maksimum (volt)

I_{SC} = arus maksimum (ampere)

FF = fill factor

G = Intensitas cahaya matahari (watt/m²)

A = luas penampang panel surya (m²)

efisiensi dari sel surya dapat dipengaruhi oleh bahan pembuatan sel surya, resistansi beban, intensitas cahaya matahari, temperatur solar sel dan bayangan.

2.2.2.5. Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya

Pengambilan data V_{out} dan I_{out} DC pada Panel surya bertujuan untuk memperoleh daya keluaran dari panel surya. Daya keluaran panel surya didapat dengan cara mengalikan V_{out} dan I_{out} terukur dikarenakan listrik searah (DC) jadi tidak perlu mengalikan faktor daya I karena faktor daya akan mendekati 1. Perhitungan daya keluaran panel surya diperlihatkan pada persamaan (2.11).

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \quad (2.11)$$

dengan : P_{out} : daya keluaran (watt)

V_{out} : tegangan keluaran (volt)

I_{out} : arus keluaran (ampere)

2.2.2.6. Perhitungan Daya Yang Dihasilkan Radiasi Matahari

Daya yang dibangkitkan oleh radiasi matahari (P_{cahaya}) dapat dihitung dengan persamaan (2.12).

$$P_{cahaya} = G \times A \quad (2.12)$$

dengan : P_{cahaya} = daya cahaya (watt)

G = Intensitas cahaya matahari (watt/m²)

A = Luas Penampang panel surya (m^2)

2.2.2.7. Perhitungan Efisiensi Daya Keluaran Panel Surya

Efisiensi keluaran cahaya matahari dapat dihitung dengan membandingkan antara daya keluaran panel surya dengan daya dari cahaya matahari dengan persamaan (2.13).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{cahaya}} \quad (2.13)$$

dengan : η : efisiensi sel surya

P_{out} : daya keluaran (watt)

P_{cahaya} : daya cahaya (watt)

2.3 Perangkat Lunak Homer

Perangkat lunak HOMER adalah suatu perangkat lunak yang dikembangkan oleh U.S National Renewable Energy Laboratory (NREL). HOMER digunakan untuk optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan PLN ataupun tidak [11].

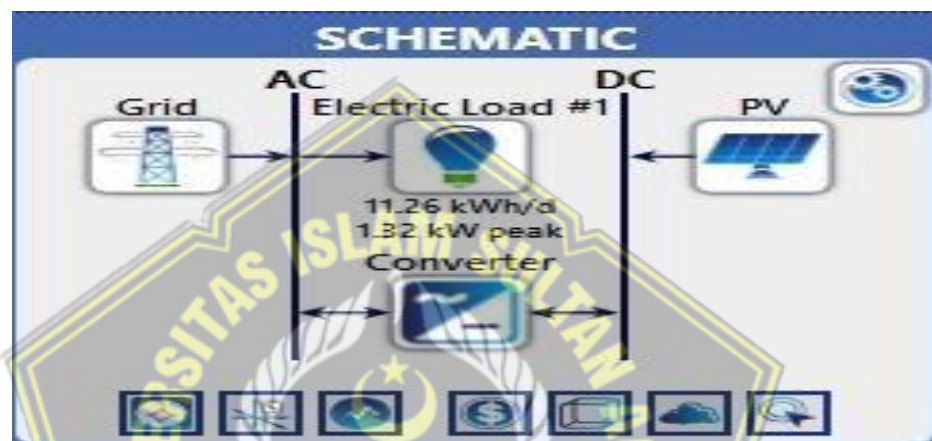
Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan ketika ingin merancang sebuah sistem tenaga listrik menggunakan HOMER yaitu besarnya biaya, konfigurasi dari sistem, pemilihan komponen yang digunakan, jumlah dan ukuran, kapasitas komponen dan sumber daya alam yang tersedia. Dari hasil rancangan atau model sistem yang dibuat, HOMER akan melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang layak untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek [5].

2.3.1. Prinsip Kerja HOMER

HOMER bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berurutan dan memiliki fungsi masing-masing.

1. Simulasi

Proses simulasi menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu. Gambar diagram skematik dari tenaga hibrida dengan program HOMER dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Diagram Skematik Rangkaian dari Sistem Menggunakan HOMER

HOMER dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro, yang terdiri dari kombinasi photovoltaic, turbin angin, turbin air, generator, hidrogen, baterai, konverter, dan electrolyzer. Sistem tersebut dapat terhubung ke jaringan maupun terpisah dengan jaringan, digunakan untuk melayani beban AC ataupun DC dan beban termal.

Proses simulasi memiliki dua tujuan, pertama yaitu menentukan apakah sistem tersebut memungkinkan atau layak dibuat. HOMER mempertimbangkan apakah sistem tersebut mungkin jika sistem tersebut cukup digunakan untuk melayani beban listrik sesuai dengan rancangan yang perancang lakukan. Kedua, HOMER menghitung biaya keseluruhan dari sistem termasuk jumlah modal, biaya pengganti, biaya bahan bakar, total biaya instalasi dan pengoperasian selama beberapa tahun kedepan, sesuai dengan jangka waktu proyek tersebut.

HOMER juga menghitung ketersediaan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, kemudian membandingkan dengan beban listrik, apakah sumber daya tersebut mencukupi kebutuhan listrik sehari-hari [18].

2. Optimasi

Proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimasi, HOMER mengurutkan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. Sebuah sistem dikatakan optimal apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. HOMER mensimulasikan konfigurasi sistem yang berbeda-beda, apabila konfigurasi sistem tidak layak, maka HOMER tidak akan menampilkan hasil optimasi sistem tersebut. Didalam proses optimasi, juga terdapat sistem konfigurasi dari komponen, dan strategi pengisian baterai yang harus digunakan.

Tujuan dari proses optimasi adalah menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem dimana variabel nilai masukan dapat diubah-ubah sesuai keinginan pengguna [18].

Variable nilai yang dapat diubah-ubah oleh pengguna adalah:

- a. Kapasitas daya *photovoltaic*
- b. Jumlah turbin angin yang digunakan
- c. Kapasitas daya dari turbin air (HOMER hanya memperbolehkan menggunakan 1 sistem turbin air)
- d. Kapasitas daya generator
- e. Jumlah baterai yang digunakan
- f. Kapasitas daya konverter AC-DC
- g. Kapasitas daya *electrolyzer*
- h. Kapasitas daya tangki hidrogen
- i. Strategi pengisian baterai

3. Analisis Sensitivitas

Tahap selanjutnya adalah tahap analisis sensitivitas, analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan berbeda-beda. Pengguna data menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitivitas.

Pada tahap ini pengguna HOMER dapat memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan variabel sensitivitas. Contohnya termasuk harga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga pertahun, dll.

Setiap kombinasi dari nilai variabel sensitivitas menentukan kasus sensitivitas yang berbeda. Contohnya, jika pengguna menentukan 6 nilai untuk harga jaringan listrik, dan 4 nilai untuk suku bungan bank, maka akan terjadi 24 kasus sensitivitas. HOMER melakukan proses optimasi tersendiri untuk kasus sensitivitas dan menunjukkan hasil dalam bentuk tabel dan grafik [18].

a. Analisa sensitivitas dalam keadaan tidak menentu

Analisa sensitivitas dilakukan untuk menghadapi keadaan yang berubah-ubah dan tidak menentu. Analisa ini dapat membantu perencanaan dalam membuat rancangan yang optimal dan memahami dampak dari keadaan yang tidak menentu. Contohnya, perancangan mengasumsikan harga bahan bakar diesel \$0,5/L, kecepatan angin pertahun sebesar 4m/s, dan umur dari proyek 25 tahun. Keadaan ini dikatakan tidak menentu karena harga bahan bakar diesel tidak stabil dari tahun ke tahun selalu berubah tergantung kebijakan pemerintah, sedangkan kecepatan angin setiap tahun selalu berubah.

Analisa ini berfungsi untuk menentukan efek dari variasi masukan, kemungkinan konfigurasi sistem dan seberapa optimal sistem apabila keadaan masukan berubah-ubah [18].

b. Analisis sensitivitas berdasarkan kumpulan data per jam

HOMER memiliki kemampuan untuk menganalisa sensitivitas berdasarkan data setiap jam, seperti beban listrik, sumber daya alam. Data-data yang dimasukkan ditentukan oleh perancang, besarnya nilai dapat diatur apakah diatas/dibawah nilai utama, sesuai dengan rentang skala yang diinginkan. Contohnya, perancang menentukan data beban dengan rata-rata pertahun 120 kWh/hari, kemudian menentukan nilai variabel analisis sensitivitas untuk beban sebesar 100, 150, 200 kWh/hari. Grafik analisis dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Grafik Analisis Sensitivitas

Gambar 2.11 menunjukkan hasil dari analisis sensitivitas antara kecepatan angin terhadap beban listrik, dan 5 nilai untuk kecepatan angin. Hasil analisis sensitivitas terdiri dari 40 kemungkinan konfigurasi sistem. Tanda diamond pada grafik menunjukkan indikasi sensitivitas, dan warna mengindikasikan tipe konfigurasi sistem yang optimal. Contohnya, pada saat beban 22 kWh/hari dan rata-rata kecepatan angin sebesar 4 m/s, maka hasil yang paling optimal adalah photovoltaic-diesel-battery. Dan apabila rata-rata beban listrik sebesar 60 kWh/hari dan kecepatan angin 4 m/s, maka hasil konfigurasi yang paling optimal adalah diesel-battery [18].

2.3.2. Pemodelan Fisik HOMER

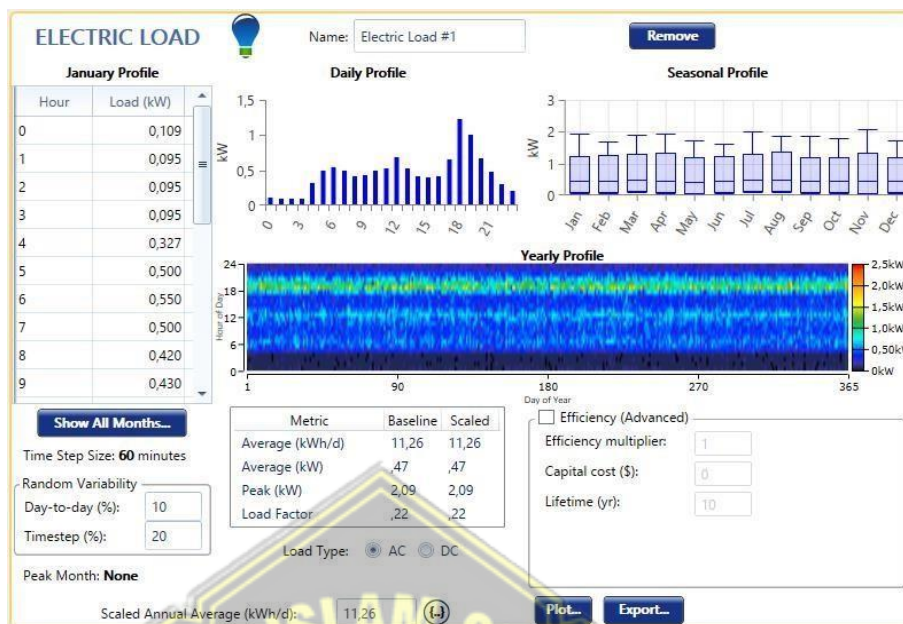
Suatu rangkaian sistem tenaga listrik dengan HOMER harus berisikan kurang lebih satu sumber tenaga listrik (turbin angin, generator, jaringan, sel surya), dan kurang lebih harus memiliki tujuan untuk apa energi tersebut digunakan (beban listrik, beban thermal). HOMER juga terdapat perlengkapan untuk konversi seperti AC-DC konverter, elektrolizer, dan peralatan untuk penyimpanan energi seperti baterai atau tangki hidrogen [18].

A. Beban

Permintaan beban pada HOMER terdiri dari beban listrik dan beban panas. Sistem tenaga listrik dibuat untuk melayani beban, jadi proses perancangan dengan HOMER dapat dimulai dari menentukan beban yang harus dilayani berdasarkan data yang nyata. Beban utama adalah permintaan energi listrik yang harus dilayani berdasarkan keterangan data perjam setiap tahun. Beban tunda (deferrable load) adalah permintaan energi energi listrik yang dapat dilayani setiap waktu dalam jangka waktu tertentu [18].

1. Beban Utama

Beban utama adalah permintaan energi listrik yang disuplai oleh suatu sistem tenaga listrik pada waktu yang telah ditentukan. Permintaan listrik dapat terdiri dari lampu, radio, TV, peralatan rumah tangga, komputer, peralatan industri, dll. Ketika konsumen menyalakan lampu, sistem tenaga listrik harus menyediakan tenaga listrik ke lampu secepatnya, tidak boleh menunda hingga beberapa waktu kemudian. Ditunjukkan pada Gambar 2.12.



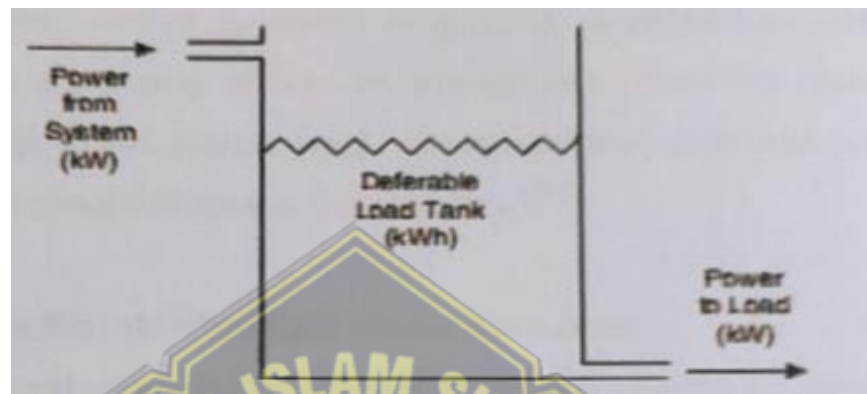
Gambar 2. 12 Data Beban Pada HOMER

Perencanaan yang menggunakan HOMER harus menentukan jumlah beban listrik dalam kilowatt untuk beberapa jam setiap tahunnya. Data beban dapat dimasukkan dengan cara mengimpor file yang sudah ada atau dengan cara memasukkan data beban perjam ke dalam average daily load profile. Ketika mengumpulkan data beban, HOMER membuat nilai-nilai data beban perjam berdasarkan profil beban harian yang ditentukan oleh perancang. Perancang dapat memasukkan profil data beban 24 jam selama setahun, atau dapat memasukkan data beban dengan bulan yang berbeda dan profil yang berbeda untuk weekend dan weekdays. Data beban yang dimasukkan dapat berbeda-beda, sehingga HOMER juga dapat memodelkan dua beban yang berbeda yaitu dapat berupa beban AC atau DC.

Diantara tiga buah beban yang ada pada HOMER, beban utama memerlukan tenaga cadangan yang besarnya ditentukan oleh perencana. Tenaga cadangan adalah kapasitas tenaga listrik energi yang ditentukan perencana untuk mengatasi beban listrik apabila bertambah secara tiba-tiba atau menurunnya kapasitas tenaga hybrid [18].

2. Beban Tunda

Beban tunda adalah permintaan energi listrik yang dapat ditentukan berdasarkan interval waktu. Pompa air, Pembuat es, alat pengisian baterai adalah contoh dari deferrable load terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Analogi Tangki Untuk Deferrable Load

Gambar 2.13 menunjukkan skematik bagaimana HOMER memodelkan deferrable load. Sistem mengambil energi ke dalam tangki dengan kapasitas terbatas, dan energi keluar dari tangki untuk melayani deferrable load. Untuk beberapa bulan, perencanaan menentukan rata-rata deferrable load, yang mana level energi pada tangki akan habis.

Perencanaan juga menentukan kapasitas penyimpanan dalam kilowatt hours (ukuran tangki), dan level maksimum dan minimum yang mana sistem dapat mengambil energi ke dalam tangki. Model energi dalam tangki tersebut adalah contoh perumpamaan *deferrable load* [18].

3. Beban Panas

HOMER memodelkan beban panas seperti halnya beban listrik pada umumnya, kecuali konsep menggunakan tenaga cadangan tidak diterapkan pada beban panas ini. Perencana menentukan jumlah beban panas untuk beberapa jam per tahun. Data beban ini dapat dimasukkan dengan mengumpulkan data perjam atau dengan mengimpor data dari file yang sudah ada [18].

2.3.3. Perhitungan Data Ekonomis

Nilai ekonomi memegang peranan penting dalam proses simulasi HOMER, dimana dalam proses pengoperasiannya akan mencari konfigurasi sistem dengan total biaya bersih sekarang (*Net Present Cost*) terendah. Sumber energi terbarukan dan sumber energi tak terbarukan memiliki karakteristik biaya yang berbeda. Sumber energi terbarukan memiliki biaya modal yang tinggi dan biaya operasi yang rendah, sedangkan sumber energi tak terbarukan memiliki biaya modal yang rendah dan biaya operasi yang tinggi. Dalam proses optimasi ini akan diperhitungkan semua biaya termasuk biaya siklus hidup peralatan dan biaya lain-lainnya [18].

1. Total Biaya Bersih Masa Kini

Biaya bersih masa kini total dari sebuah sistem adalah nilai tunai dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan diperoleh selama masa pakai. Biaya meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya O&M, biaya bahan bakar, denda emisi, dan biaya pembelian dari daya grid, sedangkan yang termasuk pendapatan adalah nilai sisa dan pendapatan dari penjualan daya ke grid, HOMER menghitung NPC dengan menggunakan persamaan (2.14).

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i,R_{proj})} \quad (2.14)$$

dengan: $C_{ann,tot}$ = total biaya tahunan (Rp/tahun)

CRF = faktor pemulihan modal

i = tingkat bunga (%)

R_{proj} = umur/masa manfaat proyek (tahun)

Total biaya bersih sekarang adalah keluaran ekonomi utama dari HOMER. HOMER mengurutkan peringkat semua sistem berdasarkan total biaya tunai bersih.

$$NPC_{Total} = NPC_{PV} + NPV_{TA} + NPC_{Baterai} + NPC_{Inverter} \quad (2.15)$$

2. Syarat Batas Biaya Energi (*Levelized Cost Of Energy*)

Levelized cost of energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE, biaya produksi energi listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi, dengan persamaan (2.16) atau (2.17).

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} - E_{thermal}}{E_{prim.AC} + E_{prim.DC} + E_{def} + E_{grid.sales}} \quad (2.16)$$

dengan: $C_{ann,tot}$ = total biaya tahunan (\$/tahun)

C_{boiler} = margin biaya boiler (\$/kWh)

$E_{thermal}$ = total beban thermal yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{prim.AC}$ = beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{prim.DC}$ = beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)

E_{def} = beban *deferrable* yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{grid.sales}$ = total penjualan grid (kWh/tahun) (2.17)

Atau dengan persamaan (2.17):

$$COE = \frac{NPC \times CRF}{\text{energi pertahun}}$$

3. Biaya Penggantian Tahunan (*Annualized Replacement Cost*)

Annualized replacement cost merupakan nilai tahunan dari semua biaya penggantian yang terjadi selama masa pakai dari system dikurangi nilai sisa pada akhir masa proyek ditunjukkan pada persamaan (2.18).

$$C_{arep} = C_{rep} \cdot f_{rep} \cdot SFF(i, R_{comp}) - S \cdot SSF(i, R_{proj}) \quad (2.18)$$

dengan : C_{arep} : Biaya total penggantian system tahunan (\$/tahun)

C_{rep} = Biaya penggantian system (\$/tahun)

f_{rep} = Faktor timbul dikarenakan masa pakai komponen

SFF = Faktor dana komponen

4. Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

Capital recovery factor merupakan rasio yang digunakan untuk menghitung nilai saat ini dari suatu anuitas (serangkaian besar arus kas tahunan). Perhitungan *capital recovery factor* dengan persamaan (2.19).

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2.19)$$

dengan : N = Jumlah tahun

i = Tingkat suku bunga

Tingkat bunga menjadi masukan di HOMER adalah tingkat bunga tahunan riil (disebut juga tingkat bunga riil) yang digunakan untuk mengkonversi antara biaya satu waktu dan biaya tahunan. Tingkat bunga tahunan riil berkaitan dengan tingkat bunga nominal dengan persamaan (2.20).

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (2.20)$$

dengan : f = Laju inflasi tahunan

i' = Tingkat suku bunga nasional

5. Biaya Operasi dan Perawatan (*Operation & Maintenance Cost*)

Biaya operasi dan pemeliharaan tetap system adalah biaya tahunan yang terjadi sesuai dengan ukuran atau konfigurasi system pembangkit. Biaya ini digunakan untuk menghitung biaya modal tahunan lainnya, yang juga mempengaruhi total biaya bersih sekarang dari tiap sistem.

Biaya O&M lainnya adalah jumlah dari biaya tetap O&M system, pinalti untuk kekurangan kapasitas dan pinalti untuk emisi. Perhitungan biaya O&M HOMER menggunakan persamaan (2.21).

$$C_{om\ other} = C_{om\ fixed} + C_{cs} + C_{emission} \quad (2.21)$$

dengan: $C_{om, fixed}$ = Biaya tetap O&M system (\$/tahun)

$$C_{cs} = \text{Pinalti untuk kekurangan kapasitas (\$/tahun)}$$

$$C_{emission} = \text{Pinalti untuk emisi (\$/tahun)}$$

6. Perhitungan Emisi

HOMER digunakan untuk menghitung pinalti emisi sistem. Seperti dapat dilihat pada persamaan (2.22).

$$C_{emisi} = \frac{C_{co2}M_{co2} + M_{co} + C_{UHC}M_{UHC} + C_{So2}M_{So2} + C_{Nox}M_{nox}}{1000} \quad (2.22)$$

dengan : C_{co2} = Pinalti emisi co_2 (\\$/ton)

C_{co} = Pinalti emisi CO (\\$/ton)

C_{UHC} = Pinalti emisi UHC (\\$/ton)

C_{PM} = Pinalti emisi PM (\\$/ton)

C_{so2} = Pinalti emisi SO_2 (\\$/ton)

C_{Nox} = Pinalti emisi Nox (\\$/ton)

M_{co2} = Emisi CO_2 (kg/tahun)

M_{UHC} = Emisi UHC (kg/tahun)

M_{PM} = Emisi PM (kg/tahun)

M_{so2} = Emisi SO_2 (kg/tahun)

M_{Nox} = Emisi NOx (kg/tahun)

7. Pembelian Daya Grid

A. Biaya Pembelian Energi

Perhitungan biaya pembelian energy tahunan dari grid dengan menggunakan persamaan (2.23).

$$C_{gridenergi} = \sum_i^{rates} \sum_j^{12} E_{gridpurchase} \cdot C_{power_i} - \sum_j^{12} E_{gridsales} \cdot C_{sellback_i} \quad (2.23)$$

dengan :

dengan : $E_{gridpurchase,i,j}$ = Jumlah pembelian energy dalam waktu j bulan dengan tarif i (kWh)

$C_{power,i}$	= Harga energi grid untuk tariff I (\$/kWh)
$E_{gridsales,i,j}$	= Harga penjualan energy ke grid dalam waktu bulan j dengan tarif i (kWh)
$C_{sellback}$	= Harga penjualan ke grid untuk tarif i (\$/kWh)

B. Biaya Kebutuhan Energi

Perhitungan biaya tahunan kebutuhan grid dengan menggunakan persamaan (2.24).

$$C_{grid,demand} = \sum_i^{rates} \sum_j^{12} P_{grid,peak,i,j} \cdot C_{demand,i} \quad (2.24)$$

dengan: $P_{grid,peak,i,j}$ = Beban puncak selama bulan j dengan tariff I (kWh)

$C_{demand,i}$ = Tarif kebutuhan grid untuk tarif I (Rp/kW/bulan)

8. *Single Payment Compound Ammount Factor*

Single payment compound amount factor, yang digunakan untuk menentukan nilai future dari sejumlah principal selama n periode pada tingkat bunga I dengan persamaan (2.25).

$$F = P(1 + i)^n \quad (2.25)$$

dengan: F = Nilai masa depan

P = Nilai sekarang

i = Tingkat bunga

n = Jumlah periode

9. *Net Present Value (NPV)*

Net Present Value Analysis (Analisis Nilai Sekarang) adalah metode studi ekonomi teknik yang didasarkan kepada keekivalenan nilai dari seluruh *cashflow* (*cash inflow* ataupun *cash outflow*) pada suatu titik waktu relatif yang disebut waktu sekarang (*present*). Jadi, nilai Sekarang (PV,

Present Value) adalah nilai ekuivalen pada waktu 0 (sekarang) dari serangkaian arus kas. Dalam metode ini satu rupiah nilai uang sekarang lebih berharga dari satu rupiah nilai uang dikemudian hari, karena uang tersebut dapat diinvestasikan secara ditabung atau didepositokan dalam jangka waktu tertentu dan akan mendapatkan tambahan keuntungan dari bunga. Metode NPV biasa digunakan pada analisis dari berbagai usulan alternatif biaya maupun studi kelayakan investasi. NPV seringkali lebih dipilih daripada metode lain untuk mengukur “nilai proyek” karena biasanya relatif lebih mudah untuk digunakan, dan cukup bermanfaat secara intuitif.

Untuk memperoleh NPV sebagai fungsi dari $i\%$, serangkaian aliran kas masuk (*cash inflow*) dan aliran kas keluar (*cash outflow*), yang berada pada periode di depan titik sekarang perlu didiskon (dikalikan faktor bunga) ke masa sekarang dengan menggunakan suatu tingkat bunga ($MRRR=i\%$) selama periode penelaahan (n) dengan persamaan (2.26).

$$NPV (i\%) = \sum_{t=0}^n CF_t(1+i)^{-t} \quad (2.26)$$

dengan : i = tingkat bunga efektif (MRRR) pertahun
(per periode pemajemukan)

t = indeks periode pemajemukan

CF_t = arus kas pada periode t

n = periode penelaahan

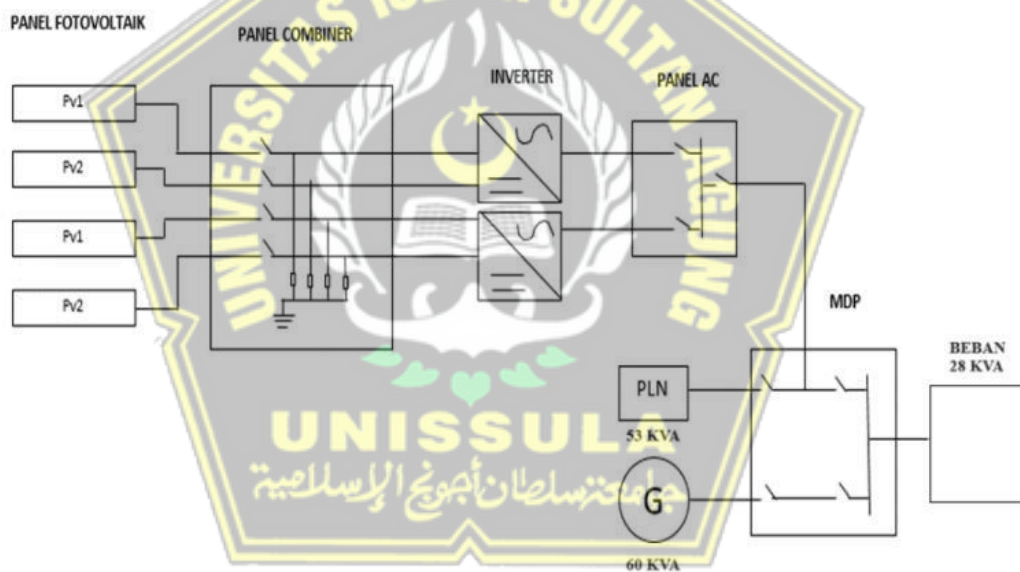
Syarat untuk interkoneksi power listrik adalah memiliki tegangan yang hamper sama, memiliki frekuensi yang sama, dan memiliki fasa yang sama.

BAB III

MODEL PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Sistem pembangkitan yang diterapkan pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan yaitu merupakan sistem On-Grid, sistem On-Grid yaitu suatu sistem pembangkitan yang bersifat mandiri dan tidak terkoneksi dengan jaringan PLN. Dibawah ini merupakan gambar single line diagram dari PLTS Aneka Jaya Ngaliyan. Dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Single Line Diagram PLTS Aneka Jaya Ngaliyan Sistem On-Grid

3.2 Lokasi Penelitian

PLTS Aneka Jaya Ngaliyan lokasi penelitian ini bertempat di Jl. Prof. Dr. Hamka No|38A, Purwoyoso, Kec. Ngaliyan, Semarang. Kecamatan Ngaliyan terletak di sebelah barat Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Kecamatan Ngaliyan adalah salah satu ada di kota Semarang. kecamatan yang Luas wilayah kecamatan Ngaliyan 37,99 km² . Kecamatan Ngaliyan terletak di sebelah barat

Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Kecamatan Ngaliyan terdiri dari 10 Kelurahan.

3.3 PLTS Aneka Jaya Ngaliyan

Aneka Jaya Ngaliyan berdiri sejak tahun 2005 diluas bangunan ± 700 M², daya dari PLN pada Aneka Jaya Ngaliyan sebesar 53KVA. Pembangkit listrik Tenaga surya (PLTS) Aneka Jaya Ngaliyan didirikan awal tahun 2023, PLTS ini didirikan menggunakan sistem On-Grid dengan panel surya sebanyak 116 panel, yang dirangkai secara paralel, dengan daya yang dihasilkan ± 28 kWp.

3.4 Bahan dan Data Penelitian

Untuk menganalisa kinerja PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik internal dan kebutuhan energi listrik untuk proses desalinasi, digunakan perangkat lunak HOMER sebagai alat bantu simulasi sistem PLTS. Data primer berupa radiasi matahari lingkungan sekitar PLTS, radiasi matahari pada panel surya, dan suhu lingkungan, diambil dari data historis PLTS Aneka Jaya Ngaliyan, data terekam secara real time 2 sampai 5 detik. Selain data historis PLTS Aneka Jaya Ngaliyan, akan dilakukan komparasi dengan data yang diambil dari NASA yang terkoneksi langsung dengan perangkat lunak HOMER. Sedangkan data sekunder berupa referensi-referensi terkait penelitian- penelitian terdahulu.

3.4.1. Potensi Radiasi Matahari

Yang diperlukan dalam perangkat lunak HOMER untuk mengestimasi potensi energi matahari adalah tingkat kecerahan (*cleanes index*) dan besarnya radiasi matahari (*solar radiation*). Yaitu rata-rata global radiasi matahari pada permukaan horizontal, dinyatakan dalam kWh/m², untuk setiap hari dalam satu tahun. Dalam penelitian ini, data radiasi matahari bulanan diambil dari NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) yang telah terkoneksi langsung dengan perangkat lunak HOMER maupun dengan akses langsung NASA *surface meteorology and solar energy* dengan memasukkan *lantitude* dan *longitude* lokasi pembangkit listrik Aneka Jaya Ngaliyan adalah -8.5 dan *longitude* 110.5 [9].

Rata-rata radiasi matahari selama satu tahun dari NASA ditunjukkan pada Gambar 3.6. Hasil pengukuran radiasi matahari dari NASA, diketahui radiasi matahari tertinggi pada bulan September yaitu sebesar 6,790 kWh/m²/hari, sedangkan radiasi matahari terendah diketahui pada bulan Maret yaitu sebesar 5,148 kWh/m²/hari. Rata-rata radiasi matahari selama satu tahun di tahun 2023 yaitu sebesar 6,039 kWh/m²/hari. Radiasi matahari dari NASA ditunjukkan seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Radiasi Matahari dari NASA

Bulan	Radiasi Matahari NASA
Januari	5,505
Februari	6,351
Maret	5,148
April	5,798
Mei	5,690
Juni	5,309
Juli	5,478
Agustus	6,114
September	6,790
Oktober	7,02
November	6,946
Desember	6,320
Rata-rata	6,039

3.5 Sistem Kelistrikan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan

Sistem kelistrikan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan melayani kebutuhan listrik internal (gedung utama). Sumber utama listrik PLTS Aneka Jaya Ngaliyan berasal dari panel surya dengan kapasitas 58 kW. Sumber pembangkit menghasilkan tegangan DC, proses konversi tegangan dari DC ke AC terjadi pada konverter sebelum menyuplai beban listrik. PLTS Aneka Jaya Ngaliyan juga

menyediakan generator diesel difungsikan saat terjadi gangguan pada sumber energi utama. Saat terjadi gangguan pada panel surya, switching dari panel surya akan terhubung otomatis ke beban. Beban antara gedung utama dan ruang desalinasi dihubungkan dengan switch, hal ini bertujuan jika pasokan daya dari generator tidak memenuhi beban puncak, maka akan diprioritaskan pada beban-beban utama.

3.6 Data Teknik Ekonomis Komponen PLTS Aneka Jaya Ngaliyan

Sistem On grid adalah gabungan antara panel surya dan inverter. Biaya awal (capital cost), biaya penggantian (replecement cost), biaya operasi dan perawatan (O&M) diperlukan pemodelan sistem. Pemodelan dilakukan berdasarkan sistem beroperasi saat ini yaitu PLTS dengan kapasitas 58 kW. Data pemodelan pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan terdiri dari panel surya (PV) dan inverter (INV). Untuk data ekonomis dari PLTS Aneka Jaya Ngaliyan terdiri dari biaya investasi awal/modal (I), biaya penggantian (R), biaya operasi dan perawatan (O&M). Biaya setiap komponen PLTS Aneka Jaya Ngaliyan disesuaikan dengan harga komponen dipasaran yang telah dikonversi ke dalam mata uang Rupiah Indonesia (Rp).

3.6.1. Panel Surya

Panel surya dengan kapasitas 500 Wp. Panel surya Aneka Jaya Ngaliyan terdiri 116 modul dengan ukuran satu panel 1,4 m x 1 m. Panel surya yang digunakan pada sistem PLTS Aneka Jaya Ngaliyan adalah jenis *polycrystal* yang disusun secara paralel. Spesifikasi panel surya PLTS Aneka Jaya Ngaliyan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Tabel spesifikasi panel surya PLTS Aneka Jaya Ngaliyan

Diskripsi	Nilai
Tipe	M5500MB, <i>Monocrystalline</i>
Daya maksimum (Pmax)	500 Wp
Tegangan saat daya maksimum (Vpm)	42,8 V
Arus saat daya maksimum (Ipm)	11,69 – 12,28 A
Tegangan rangkaian terbuka (Voc)	51,7 V

Arus short circuit (Isc)	12,28 A
Efisiensi	15 %
Masa pakai panel surya	25 tahun
Luas penampang panel surya	2,4 m ²

Biaya investasi awal panel surya (I) 58 kW adalah Rp.205.000.000,- (sudah termasuk biaya instalasi, mounting dan wearing). Dilihat dari spesifikasi modul panel surya, umur masa pakai (L), panel surya PLTS Aneka Jaya Ngaliyan adalah 25 tahun sehingga sampai saat ini belum dilakukan penggantian komponen panel surya. Biaya operasi dan perawatan (O&M) adalah Rp 4.100.000,-/tahun.

3.6.2. Inverter

Inverter yang terpasang pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan adalah jenis gelombang sinus murni (pure sine wave) kapasitas 58 kW dengan input tegangan DC yang dapat disesuaikan, biaya awal (I) inverter adalah Rp. 105.000.000,-, biaya penggantian (R) adalah Rp. 105.000.000,-, dan biaya operasi dan perawatan sebesar Rp 2.100.000,-, dengan umur pemakaian inverter (L) 10 tahun. Karakteristik detail dari inverter PLTS Aneka Jaya Ngaliyan ditunjukkan pada Table 3.3.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Inverter PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.

Deskripsi	Nilai
Tipe Tegangan Input DC	192/220/240/384/480
Tegangan Input AC max	380V
Frekuensi	50 Hz
Jenis Gelombang	Sinus Murni
Output Tegangan	Tiga fase 380 VAC
Noise	<50dB
Temperature	-20 – 85°C
Efisiensi	95%
Masa Pakai	10 Tahun

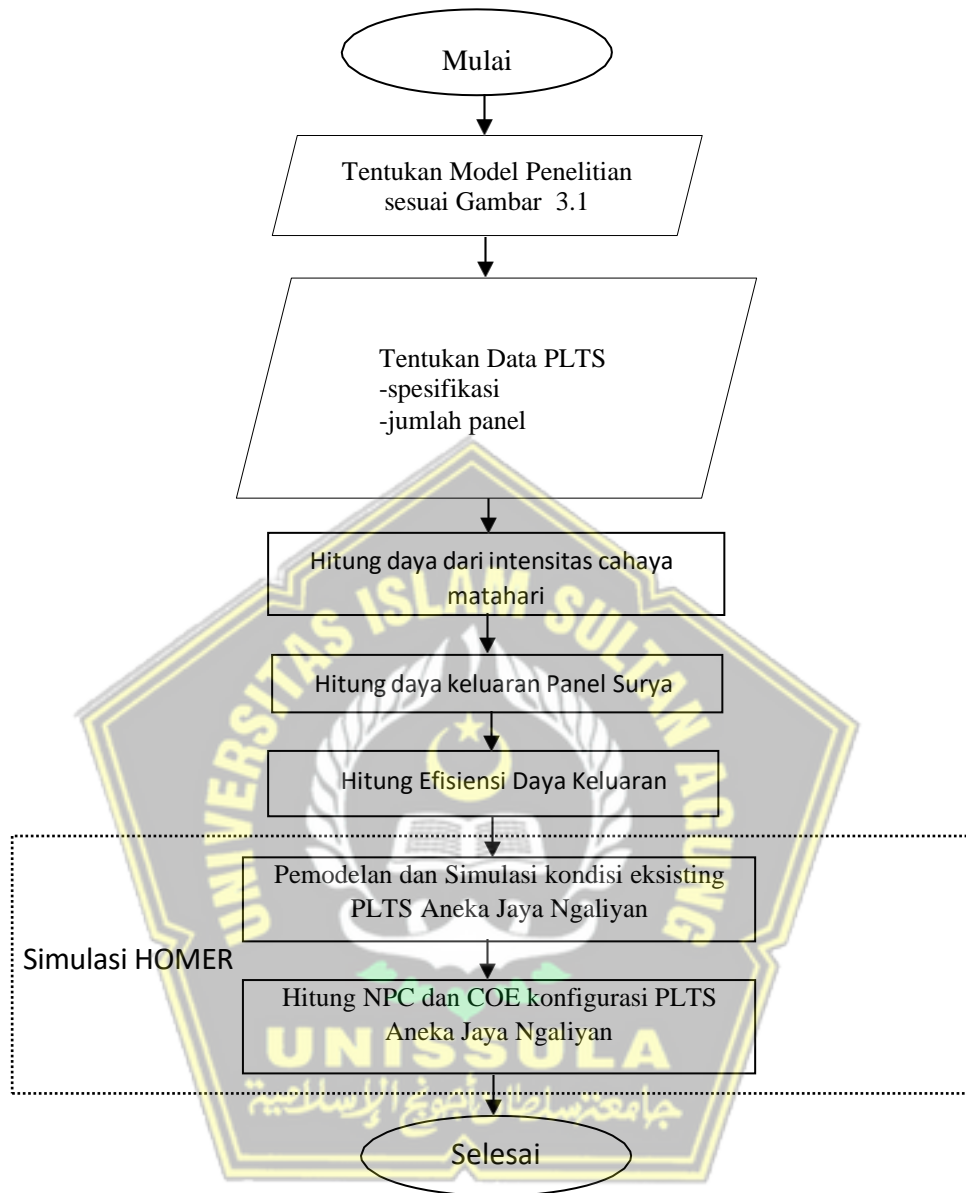
Secara keseluruhan, data teknis dan ekonomis dari komponen PLTS Aneka Jaya Ngaliyan ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Data Teknis dan Ekonomi PLTS Aneka Jaya Ngaliyan

Komponen			Biaya		
Nama	Kapasitas (kW)	L (th)	I (Rp)	R (Rp)	O&M (Rp)/Tahun
PV	58	25	205.000.000	0	4.100.000
INV	58	10	105.000.000	105.000.000	2.100.000



3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram alir evaluasi kinerja panel surya

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kinerja Panel Surya

Merujuk pada model penelitian seperti pada Gambar 3.1 dan data Tabel 3.1 sampai 3.4 maka hasil perhitungan intensitas cahaya matahari, daya keluaran panel surya, efisiensi daya keluaran. Panel surya yang digunakan pada sistem PLTS Aneka Jaya Ngaliyan adalah jenis *monocrystalline* dengan kapasitas 58 kWp. Panel surya Aneka Jaya Ngaliyan memiliki 116 modul yang terhubung secara paralel dengan daya setiap modulnya 500 Wp.

4.1.1. Hasil Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya

Berikut merupakan data potensi radiasi matahari pada Tahun 2023 di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Radiasi Matahari PLTS Aneka Jaya Ngaliyan 2023

Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4,20
Februari	4,33
Maret	5,11
April	5,38
Mei	4,47
Juni	4,19
Juli	4,86
Agustus	5,53
September	6,58
Oktober	4,99
November	4,66
Desember	4,39
Rata-rata	5,86

Pengambilan sampel daya keluaran dari panel surya di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan, dilakukan pada bulan September 2023, tepatnya pada tanggal 1-

7 september 2023, Pengambilan sampel daya keluaran ini dilakukan pada pukul 07.00 – 17.00 WIB dikarenakan ketika pengambilan pada waktu tersebut cahaya matahari sudah mulai terlihat. Data logger merekam nilai tegangan dan arus pada panel surya tiap satu menit. Tabel 4.9 merupakan hasil perhitungan rata-rata daya keluaran daya pada panel surya PLTS Aneka Jaya Ngaliyan, yang diukur pada pukul 07.00 sampai pukul 17.00 WIB. Seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya

Tanggal	Daya yang dihasilkan (kW)
1 Sep 2023	273,75
2 Sep 2023	264,02
3 Sep 2023	280,35
4 Sep 2023	276,55
5 Sep 2023	268,77
6 Sep 2023	253,25
7 Sep 2023	263,28
8 Sep 2023	257,11
9 Sep 2023	280,02
10 Sep 2023	270,08
11 Sep 2023	267,23
12 Sep 2023	263,36
13 Sep 2023	257,91
14 Sep 2023	217,10
15 Sep 2023	286,63
16 Sep 2023	287,74
17 Sep 2023	207,63
18 Sep 2023	276,44
19 Sep 2023	283,28
20 Sep 2023	299,91
21 Sep 2023	291,21
22 Sep 2023	300,77
23 Sep 2023	280,78
24 Sep 2023	312,72
25 Sep 2023	286,80
26 Sep 2023	291,55
27 Sep 2023	295,54
28 Sep 2023	285,00
29 Sep 2023	267,69
30 Sep 2023	289,86

Dari data perhitungan daya keluaran panel surya di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan pada pukul 07.00-17.00 WIB, dilakukan perhitungan daya pada panel surya yang ada, dari hasil perhitungan pada table 4.2 didapatkan PV memiliki nilai daya keluaran rata-rata selama 30 hari sebesar 274,54 watt.

4.1.2. Hasil Perhitungan Daya Yang Dibangkitkan Matahari

Kemudian penulis melakukan perhitungan daya keluaran Panel surya dengan parameter radiasi matahari yang ditunjukkan pada table 4.10, dimana nilai radiasi matahari diambil rata-rata dari pukul 07.00-17.00 WIB. Tabel 4.3 merupakan hasil perhitungan daya yang dibangkitkan oleh radiasi matahari.

Tabel 4. 3 Radiasi Matahari 1-30 september 2023

Tanggal	Radiasi Matahari (kW/m ² /day)	Radiasi Matahari (watt/m ²)
1 Sep 2023	6,57	6570
2 Sep 2023	6,5	6500
3 Sep 2023	6,65	6650
4 Sep 2023	6,39	6390
5 Sep 2023	6,56	6560
6 Sep 2023	6,28	6280
7 Sep 2023	6,28	6280
8 Sep 2023	5,91	5910
9 Sep 2023	6,64	6640
10 Sep 2023	6,68	6680
11 Sep 2023	6,72	6720
12 Sep 2023	6,57	6570
13 Sep 2023	6,72	6720
14 Sep 2023	6,3	6300
15 Sep 2023	6,71	6710
16 Sep 2023	6,51	6510
17 Sep 2023	6,17	6170
18 Sep 2023	5,93	5930
19 Sep 2023	6,44	6440
20 Sep 2023	6,69	6690
21 Sep 2023	6,86	6860
22 Sep 2023	6,99	6990
23 Sep 2023	6,4	6400

24 Sep 2023	6,87	6870
25 Sep 2023	6,72	6720
26 Sep 2023	7,03	7030
27 Sep 2023	7	7000
28 Sep 2023	6,83	6830
29 Sep 2023	6,8	6800
30 Sep 2023	6,71	6710

Tabel 4. 4 Perhitungan Daya yang Dibangkitkan Radiasi Matahari

Tanggal	G (watt/m ²)	A (m ²)	P(watt)
1 Sep 2023	6570	2,4 * 116 unit	1829,088
2 Sep 2023	6500	2,4 * 116 unit	1809,600
3 Sep 2023	6650	2,4 * 116 unit	1851,360
4 Sep 2023	6390	2,4 * 116 unit	1778,976
5 Sep 2023	6560	2,4 * 116 unit	1826,304
6 Sep 2023	6280	2,4 * 116 unit	1748,352
7 Sep 2023	6280	2,4 * 116 unit	1748,352
8 Sep 2023	5910	2,4 * 116 unit	1645,344
9 Sep 2023	6640	2,4 * 116 unit	1848,576
10 Sep 2023	6680	2,4 * 116 unit	1859,712
11 Sep 2023	6720	2,4 * 116 unit	1870,848
12 Sep 2023	6570	2,4 * 116 unit	1829,008
13 Sep 2023	6720	2,4 * 116 unit	1870,848
14 Sep 2023	6300	2,4 * 116 unit	1753,920
15 Sep 2023	6710	2,4 * 116 unit	1868,064
16 Sep 2023	6510	2,4 * 116 unit	1812,384
17 Sep 2023	6170	2,4 * 116 unit	1717,728
18 Sep 2023	5930	2,4 * 116 unit	1650,912
19 Sep 2023	6440	2,4 * 116 unit	1792,896
20 Sep 2023	6690	2,4 * 116 unit	1862,496
21 Sep 2023	6860	2,4 * 116 unit	1909,824
22 Sep 2023	6990	2,4 * 116 unit	1946,016
23 Sep 2023	6400	2,4 * 116 unit	1781,760
24 Sep 2023	6870	2,4 * 116 unit	1912,608
25 Sep 2023	6720	2,4 * 116 unit	1870,848
26 Sep 2023	7030	2,4 * 116 unit	1957,152
27 Sep 2023	7000	2,4 * 116 unit	1948,800
28 Sep 2023	6830	2,4 * 116 unit	1901,472
29 Sep 2023	6800	2,4 * 116 unit	1893,120
30 Sep 2023	6710	2,4 * 116 unit	1868,064

Merujuk pada persamaan (2.12).

$$P_{cahaya} = G \times A \quad (2.12)$$

$$P_{cahaya} = 6570 \times 2,4 \times 116$$

$$P_{cahaya} = 1829088$$

Dari data perhitungan daya yang dibangkitkan, diketahui PLTS Aneka Jaya Ngaliyan mempunyai jumlah panel surya yaitu 116 unit dengan luas penampang tiap unit *photovoltaic* yaitu 2,4 m², jadi hasil perhitungan daya yang dibangkitkan sesuai dengan nilai parameter radiasi di masing-masing hari.

4.1.3. Hasil Perhitungan Efisiensi Daya Keluaran Panel Surya

Selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi daya keluaran dari panel surya dengan cara membandingkan nilai daya keluaran panel surya dengan nilai daya yang dibangkitkan radiasi matahari. Pada table 4.5 ditunjukkan hasil perhitungan nilai efisiensi daya keluaran panel surya setiap array di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan. Seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Efisiensi Daya Keluaran Panel Surya

Tanggal	P (Watt)	Pcahaya (Watt)	Efisiensi (%)
1 Sep 2023	273,75	1829,088	14,97
2 Sep 2023	264,02	1809,600	14,59
3 Sep 2023	280,35	1851,360	15,14
4 Sep 2023	276,55	1778,976	15,54
5 Sep 2023	268,77	1826,304	14,72
6 Sep 2023	253,25	1748,352	14,48
7 Sep 2023	263,28	1748,352	15,06
8 Sep 2023	263,28	1748,352	15,06
9 Sep 2023	280,02	1848,576	15,15
10 Sep 2023	270,08	1859,712	14,52
11 Sep 2023	267,23	1870,848	14,28
12 Sep 2023	263,36	1829,008	14,40
13 Sep 2023	257,91	1870,848	13,79
14 Sep 2023	217,10	1753,920	12,38
15 Sep 2023	286,63	1868,064	15,34
16 Sep 2023	287,74	1812,384	15,88

17 Sep 2023	207,63	1717,728	12,09
18 Sep 2023	276,44	1650,912	16,74
19 Sep 2023	283,28	1792,896	15,80
20 Sep 2023	299,91	1862,496	16,10
21 Sep 2023	291,21	1909,824	15,25
22 Sep 2023	300,77	1946,016	15,46
23 Sep 2023	280,78	1781,760	15,76
24 Sep 2023	312,72	1912,608	16,35
25 Sep 2023	286,80	1870,848	15,33
26 Sep 2023	291,55	1957,152	14,90
27 Sep 2023	295,54	1948,800	15,16
28 Sep 2023	285,00	1901,472	14,99
29 Sep 2023	267,69	1893,120	14,14
30 Sep 2023	289,86	1868,064	15,52

Merujuk pada persamaan (2.13).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{cahaya}} \times 100 \quad (2.13)$$

$$\eta = \frac{273,75}{1829,088} \times 100$$

$$\eta = 14,97 \%$$

Dari hasil perhitungan efisiensi daya keluaran panel surya yang ditunjukkan pada tabel 4.4, didapatkan hasil efisiensi panel surya yang ada pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan. Data pada tabel 4.4 diambil pada tanggal 1-30 September 2023 pada pukul 07.00-17.00 WIB di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.

4.2 Analisa Ekonomis PLTS Aneka Jaya Ngaliyan Menggunakan Software HOMER

Pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit listrik pada dasarnya digunakan sebagai sumber energi alternative untuk membantu menyediakan energi listrik dalam memenuhi kebutuhan listrik dalam negeri. Seiring dengan isu pemansan global yang terjadi akibat pelepasan emisi gas karbon ke atmosfer yang dihasilkan dari sisa pembakaran energi fosil untuk pembangkit listrik. PLTS Aneka Jaya Ngaliyan merupakan implementasi pengembangan pembangkit listrik yang berbasis energi terbarukan dan emisi rendah yaitu pemanfaatan energi panas matahari dan kecepatan angin. Pemodelan dan simulasi menggunakan HOMER

dalam optimasi kinerja system PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dimaksud untuk mengetahui kinerja sistem dalam menjamin suplai pasokan listrik dan upaya peningkatan kinerja ekonomi sistem.

HOMER akan mensimulasikan konfigurasi sistem, membuat daftar sistem yang layak dengan mengurutkan daftar berdasarkan efektifitas biaya sekarang (NPC) selain itu HOMER juga menghitung nilai sisa (salvage value) pada komponen sistem hingga akhir life time project.

Simulasi ini dibuat sesuai data yang ada pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan yang telah ada, baik data komponen, biaya komponen, data kecepatan angin, data radiasi matahari dan data penggunaan beban pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan.

4.2.1. Pemodelan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan

Pemodelan dan simulasi PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dilakukan berdasarkan konfigurasi sistem yang ada di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan yaitu sistem *on-grid* yang bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan dan dapat diketahui daya listrik yang diproduksi oleh sistem apakah sesuai dengan yang dimodelkan oleh perangkat HOMER. Didalam perangkat lunak HOMER akan dianalisis nilai NPC (*Net Present Cost*) dan COE (*Cost Of Energy*).

4.2.2. Model PLTS Aneka Jaya Ngaliyan

Pemodelan pada sistem ini sesuai dengan sistem yang ada di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan. Dimana panel surya yang digunakan berkapasitas 500 Wp. Sistem ini terhubung dengan jaringan listrik PLN, hal ini bertujuan supaya energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan secara langsung. Pada pemodelan ini akan dianalisis biaya saat ini (*Net Present Cost*) dan biaya produksi listrik per kWh (*Cost Of Energy*) yang dihasilkan oleh sistem. NPC dan COE yang diketahui adalah parameter kinerja dari PLTS Aneka Jaya Ngaliyan saat ini. Hasil pemodelan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan ditunjukkan pada Table 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Pemodelan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan on-grid

Parameter	Hasil
Total NPC (Rp)	507.498.200,-
Total COE (Rp/kWh)	426,69
Biaya Operasional	15.112.500
Produksi Energi PLTS (kWh/tahun)	95.705
Total Konsusmsi Energi (kWh/tahun)	91.012
Konsumsi PLTS (kWh/tahun)	86.903
Konsumsi dari PLN (kWh/tahun)	4.109

Total biaya saat ini (NPC) sistem PLTS *on grid* adalah Rp. 507.498.200,- dengan biaya produksi listrik sebesar Rp. 426,69/kWh. Total produksi PLTS Aneka Jaya Ngaliyan adalah 95.705 kWh/tahun. Konsumsi energi listrik pada sistem PLTS Aneka Jaya Ngaliyan didapatkan dari hasil konsumsi PLTS 86.903 kWh/tahun dijumlah dengan hasil konsumsi dari PLN 4.109 kWh/tahun. Hasil pemodelan PLTS Aneka Jaya Ngaliyan terdiri dari beberapa sub komponen diantaranya hasil pemodelan sistem PLTS Aneka Jaya Ngaliyan seperti hasil nilai NPC, COE, Operating Cost, dan data ekonomis dari setiap komponen di PLTS Aneka jaya Ngaliyan.

4.3 Analisa Hasil Simulasi

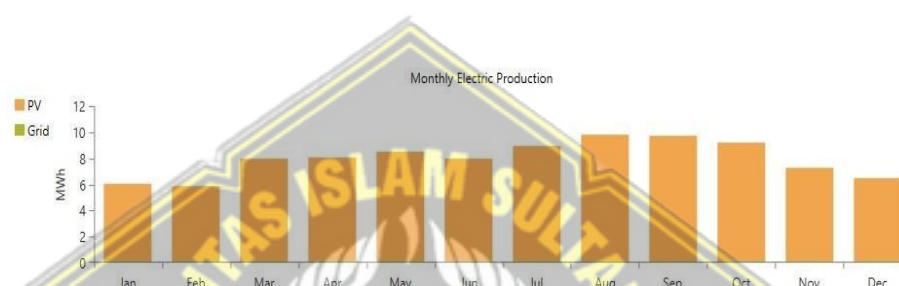
Analisa dilakukan pada pemodelan sistem PLTS Aneka Jaya Ngaliyan on-grid. Analisa dilakukan pada aspek nilai produksi listrik setiap sistem, biaya listrik, dan kelebihan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem.

Pada simulasi PLTS Aneka Jaya Ngaliyan menggunakan perangkat lunak HOMER terdapat perbandingan antara data pembangkitan secara aktual

85.610,32 kWh/tahun dengan yang ada di HOMER 95.705 kWh/tahun. Dengan adanya selisih antara data asli dari PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dengan data yang dimuat pada HOMER, maka ketepatan perhitungan pada HOMER akan mengalami eror sebesar 10%.

4.3.1. Analisa Produksi Listrik PLTS

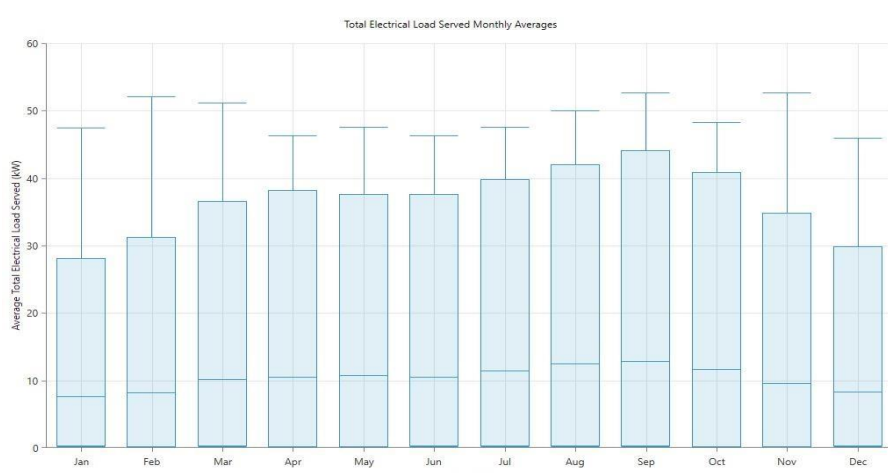
Hasil Analisa HOMER, total produksi energi listrik PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dari panel surya dengan kapasitas 58 kW sebesar 95.705 kWh/tahun. Dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Produksi Energi Listrik PLTS Aneka Jaya

4.3.2. Penggunaan Energi Listrik di PLTS Aneka Jaya

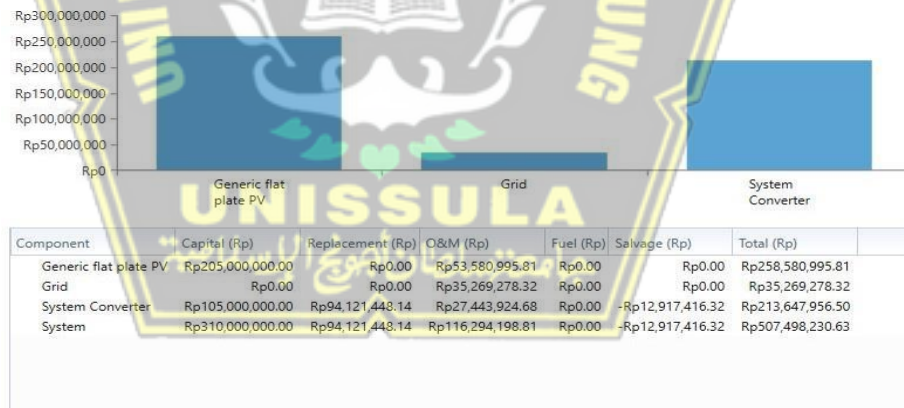
Hasil dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HOMER telah diketahui kebutuhan energi listrik yang harus disuplai untuk memenuhi permintaan beban kelistrikan di Aneka Jaya sebesar 91.012 kWh/tahun, dengan presentase sebesar 95,48% atau 86.903 kWh/tahun dari total energi yang dibangkitkan oleh PLTS dan 4.109 kWh/tahun disuplai dari PLN. Hasil simulasi diketahui beban puncak system pada bulan September dan kebutuhan terendah pada bulan Januari. Maka dari itu dengan sistem PLTS On grid ini Aneka Jaya bisa menghemat pembayaran listrik ke PLN, dengan penggunaan daya 4.109 kWh/Tahun dengan biaya per kWh Rp. 1.467. jadi dalam 1 tahun Aneka Jaya hanya perlu membayar tagihan listrik sebesar Rp. 6.027.900. Apabila Aneka Jaya tidak menggunakan sistem PLTS On Grid ini mereka harus membayar sebesar daya listrik keseluruhan yang mereka gunakan yaitu 91.012 kWh dengan tagihan pertahun Rp. 133.514.604. Dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Total penggunaan energi listrik PLTS Aneka Jaya

4.4 Biaya Pada PLTS Aneka Jaya

Hasil simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak HOMER diketahui total biaya sekarang (NPC) system sebesar Rp. 507.498.200,-. Biaya modal awal PLTS Aneka Jaya Ngaliyan sebesar Rp. 310.000.000,-, biaya penggantian Rp. 94.121.448,-. Untuk biaya perawatan sebesar 116.294.198,-. Dengan biaya salvage Rp. 12.917.416,-. Dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Biaya Saat ini PLTS Aneka Jaya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisa ekonomis PLTS Aneka Jaya Ngaliyan pada panel surya maupun Analisa ekonomis sistem PLTS Aneka Jaya Ngaliyan menggunakan perangkat lunak HOMER, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja panel surya 58kW PLTS Aneka Jaya Ngaliyan melalui data logger yang ada dilokasi dan perhitungan terhadap daya keluaran panel surya pada PLTS Aneka Jaya Ngaliyan didapat nilai efisiensi daya keluaran sebesar 14%
2. Biaya NPC PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dengan projek life selama 25 tahun yaitu sebesar Rp. 507.498.200,-
3. Biaya COE PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dengan sistem pembangkit PLTS 58 kW yaitu sebesar Rp. 426,69
4. Sistem PLTS On Grid dan Kwh EXIM, biaya listrik pertahun Aneka Jaya hanya menjadi Rp. 6.027.903.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis maka ada beberapa saran yang perlu di implementasikan guna peningkatan kinerja dari PLTS Aneka Jaya Ngaliyan, antara lain:

1. Sisa energi yang dibangkitkan oleh PLTS Aneka Jaya Ngaliyan dinilai sangat banyak sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai pembebanan yang dilakukan di PLTS Aneka Jaya Ngaliyan sehingga dapat meningkatkan kinerja dan umur pakai komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sukmajati and M. Hafidz, “Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw On Grid Di Yogyakarta,” 2015.
- [2] S. Smart and M. Unud, “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga,” no. September, 2019.
- [3] B. Sujito “Permen ESDM Nomor 2 Tahun 2024” 2024.
- [4] M. Aulia, “Evaluasi Kinerja Turbin Angin di Kawasan Pembangkit Listrik tenaga Hibrid Kampung Nelayan Pandansimo Bantul Yogyakarta,” *Tek. Fis. Univ. Gajah Mada*, 2012.
- [5] J. Pradiyo, B. Winardi, and A. Nugroh, “Evaluasi Dan Optimasi Sistem Off Grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Plth) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta,” Univ. Diponegoro, Semarang, vol. TRANSIENT, no. 03, pp. 557–564, 2015.
- [6] S. Haerurrozi, Abdul Natsir, “Analisis Unjuk Kerja Plts On-Grid Di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (Ebt) Universitas Mataram,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [7] Kunaifi, “Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau,” *Semin. Nas. Inform. 2010 (semnasIF 2010) UPN ”Veteran” Yogyakarta*, vol. 2010, no. semnasIF, pp. 18–27, 2010.
- [8] M. R. Wicaksana, I. N. S. Kumara, I. A. D. Giriantari, and R. Irawati, “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 kWp Pada Kantor Gubernur Bali,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, pp. 107–113, 2019.
- [9] B. Winardi, A. Nugroho, and J. Pradityo, “Operasi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru di Bantul D.I. Yogyakarta,” *Inst. Teknol. Negeri Malang*, pp. 1–6, 2018.
- [10] Contained Energy Indonesia, “Buku Panduan Energi yang Terbarukan,” 2013.
- [11] T. Chemistrydha Wijaya, M. Facta, and Yuningtyastuti, “Optimasi Potensi Energi Terbarukan Untuk Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Di Desa Margajaya Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak

- Homer,” Tek. Elektr, Univ. Diponegoro Semarang, 2014.
- [12] I. H. Fikri, *Analisis Rasio Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap On-Grid 35kWp Pada Gedung Energi Dan Sumber Daya Mineral Jawa Tengah*, no. May. 2019.
- [13] B. Ramadhani, “Dos & Don ’ ts,” p. 277, 2018.
- [14] A. K. Al Bahar and A. T. Maulana, “Perencanaan dan Simulasi Sistem PLTS Off-Grid Untuk Penerangan Gedung Fakultas Teknik UNKRIS,” *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 6, no. 3, pp. 97–107, 2018.
- [15] S. SAODAH and S. UTAMI, “Perancangan Sistem Grid Tie Inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 2, p. 339, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i2.339.
- [16] R. Renaldy et al., “Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Baron Techno Park Analisa Teknis Dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Baron Techno Park,” 2020.
- [17] Sariman, A. S, K. M, and B. I, “Analisa Efisiensi Pengaruh Parameter Cahaya Matahari Pada Fotovoltaik 100Wp Jenis Polikristal , Monokristal Dan Amorphous,” *Tek. Elektro, Univ. Sriwijaya, Palembang*, no. Esdm 2015, pp. 23–24, 2019.
- [18] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal, “Micropower System Modeling with Homer,” *Integr. Altern. Sources Energy*, pp. 379–418, 2006.