

**SKRIPSI**

**OPTIMALISASI PERENCANAAN PEMBANGKITAN ENERGI  
LISTRIK DENGAN SISTEM *HYBRID* DI PULAU LUMULUMU**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ANDERSON MELKISEDEK MALLISA  
D041 20 1136**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****PERENCANAAN SISTEM BERBASIS *HYBRID* PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN  
DI PULAU KAPOPOSANG**

Disusun dan diajukan oleh

**Anderson Melkisedek Mallisa  
D041201136**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 2 Oktober 2024  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T., M.T.,  
M.Phil., Ph.D.  
NIP. 197604062003121002

  
Hasniaty A, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197412052000122001

Ketua Program Studi,

  
  
Prof. Dr. -Ing. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE  
NIP. 197506052002121004

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Anderson Melkisedek Mallisa

NIM : D041201136

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **OPTIMALISASI PERENCANAAN PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK DENGAN SISTEM *HYBRID* DI PULAU LUMULUMU**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 2 Oktober 2024

Yang Menyatakan

  
Melkisedek Mallisa

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, atas berkat dan limpahan rahmat, kesehatan, dan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “OPTIMALISASI PERENCANAAN PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK DENGAN SISTEM *HYBRID* DI PULAU LUMULUMU”. Penyusunan tugas akhir merupakan salah satu syarat kelulusan pada pendidikan strata satu (S1) di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sehingga penulisan tugas akhir ini tidak terlepas sebagai pemenuhan penulis untuk menyelesaikan studi sarjana.

Dalam penyelesaian tugas akhir, penulis menyadari banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu dan Ayah tercinta, Ibu Mercy Sumakul Kiring dan Bapak Marassan Mallisa, serta para saudara dan keluarga besar yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan doa sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D. dan Ibu Ir. Hasniaty A, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang telah meluangkan waktunya untuk bertukar pikiran serta memberikan inspirasi, masukan, dan evaluasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Ibu Prof. Ir. Ardiaty Arief, S.T., M.T.M., Ph.D. dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran, kritik, dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir penulis.
4. Seluruh dosen pengajar dan pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas didikan, kemudahan, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan di Universitas Hasanuddin yang sedikit banyaknya membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

5. Sahabat-sahabat Grup zzz, yaitu Gilbert, Rowen, Jorgio, Rezky, Sandhi, Airell, Brandon, Willsen, dan Tope yang telah kebersamai mendukung dan menjadi wadah dalam meluapkan keluh kesah dalam keseharian hidup.
6. Rekan-rekan kelompok belajar, yaitu Ponno, Jorgio, Pa'ang, dan Shalih yang telah mendukung perjuangan penulis dari awal hingga akhir perkuliahan dan menjadi tempat kembali untuk bercerita tentang apa yang telah dilewati selama ini.
7. Sahabat-sahabat Grup Bulutangkis Sektor Telkomas yang telah kebersamai penulis dan menjadi wadah untuk berbagi cerita, canda, dan tawa.
8. Teman-teman seperjuangan di Grup Riset *Power & Energy System* serta Grup Riset *Electricity Market & Power System*, yaitu Jorgio, Ponno, Yoflin, Muflih, Owen, Febe, Dinda, dan Salsah.
9. Seluruh rekan-rekan hebat PROCEZ20R yang telah menemani penulis dalam berjuang menempuh perkuliahan sejak awal dan selalu ada sebagai wadah untuk berbagi wawasan, cerita, canda, dan tawa. Terima kasih telah hadir dalam perjalanan hidup penulis sebagai rekan kuliah yang memberikan warna dan makna di masa-masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa terdapat berbagai kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik ataupun saran dari berbagai pihak, sehingga dapat dijadikan bahan untuk evaluasi di kemudian hari. Penulis berharap penelitian ini dapat berguna baik itu kepada penulis maupun pembaca.

Gowa, 2 Oktober 2024

Penulis

## ABSTRAK

**ANDERSON MELKISEDEK MALLISA** *Optimalisasi Perencanaan Pembangkitan Energi Listrik Dengan Sistem Hybrid di Pulau Lumu-Lumu* (dibimbing oleh Muhammad Bachtiar Nappu dan Hasniaty A.)

Pulau Lumu-Lumu merupakan salah satu pulau kecil yang berpenghuni dengan jumlah penduduk saat ini yaitu 1223 jiwa dan 312 KK yang dimana pulau ini mengandalkan satu generator sebagai sumber energinya. Dikarenakan kapasitas yang kurang cukup dalam memnuhi kebutuhan listrik di Pulau Lumu-Lumu maka diperlukan sistem Pembangkit Energi Listrik *Hybrid* (PLTH) agar lebih ekonomis. Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) digunakan untuk pembangkit dengan mengkonbinaksi generator konvensional dan energi terbarukan (PLTS, PLTB, atau PLTMH). Tujuan dari penelitian ini yaitu dapat menentukan pengkonfigurasi sistem yang lebih optimal dalam melayani beban di Pulau Lumu-Lumu. Adapun metode dari penelitian ini yaitu dengan menganalisis beban yang dibutuhkan dan potensi radiasi matahari di pulau Lumu-Lumu. Selain itu, penelitian ini juga melakukan analisis ekonomi dan kelayakan dalam mempertimbangkan konfigurasi sistem yang paling optimal. Konfigurasi sistem yang paling optimal yaitu 20% PLTS : 80% PLTD dengan nilai NPC secara berturut sebesar 23,593,670,000; Rp. 25,175,360,000; Rp. 24,441,300,000. Biaya investasi (*Initial Capital*) secara berturut sebesar Rp. 4,669,673,400; Rp. 5,660,657,500; Rp. 6,986,068,600. COE secara berturut sebesar Rp. 3,436/ kWh; Rp. 3,197/ kWh; Rp. 3,033/ kWh.

Kata Kunci: Pulau Lumu-Lumu, PLTH, Analisis Ekonomi, Optimal

## ABSTRACT

**ANDERSON MELKISEDEK MALLISA** *Optimization of Electric Energy Generation Planning with Hybrid System in Lumu-Lumu Island (supervised by Muhammad Bachtiar Nappu and Hasniaty A.)*

*Lumu-Lumu Island is one of the small inhabited islands with a current population of 1223 people and 312 families where the island relies on one generator as its energy source. Due to insufficient capacity in meeting electricity needs on Lumu-Lumu Island, a Hybrid Electric Energy Plant (PLTH) system is needed to make it more economical. Hybrid Power Plant (PLTH) is used for generation by combining conventional generators and renewable energy (PLTS, PLTB, or PLTMH). The purpose of this study is to determine the configuration of a system that is more optimal in serving the load on Lumu-Lumu Island. The method of this research is to analyze the required load and the potential of solar radiation on Lumu-Lumu Island. In addition, this study also conducted an economic and feasibility analysis in considering the most optimal system configuration. The most optimal system configuration is 20% PLTS: 80% PLTD with NPC values of 23,593,670,000; Rp. 25,175,360,000; Rp. 24,441,300,000 respectively. The investment cost (Initial Capital) is respectively Rp. 4,669,673,400; Rp. 5,660,657,500; Rp. 6,986,068,600. COE sequentially amounted to Rp. 3,436/kWh; Rp. 3,197/kWh; Rp. 3,033/kWh.*

*Keywords: Lumu-Lumu Island, Hybrid Power Plant, Economic Analysis, Optimal*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Metode Penelitian .....	3
1.7 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> .....	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	6
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa .....	6
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	7
2.5 Efek Fotovoltaik.....	9
2.6 Panel Surya .....	10
2.7 Baterai .....	10
2.8 Inverter.....	11
2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel.....	12
2.10 Karakteristik Kurva Beban .....	12
2.8 HOMER .....	15
2.9 Studi Kelayakan .....	19
2.9.1 <i>Net Present Value</i> (NPV).....	19
2.9.2 <i>Internal Rate of Return</i> (IRR) .....	19
2.9.3 <i>Payback Period</i> (PBP) .....	19
2.10 <i>State Of The Art</i> .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1 Judul Penelitian.....	23
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	23
3.3 Pengambilan Data .....	23
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Keadaan Geografis Pulau Lumu-Lumu .....	27
4.2 Kondisi Kelistrikan Pulau Lumu-Lumu.....	28
4.3 Data Indeks Radiasi Matahari dan Temperature.....	30
4.4 Penentuan Komponen .....	31
4.4.1 Generator.....	31
4.4.2 Panel Surya .....	31
4.4.3 Inverter.....	32
4.4.4 Baterai .....	33

4.5	Simulasi Software HOMER Pro .....	33
4.5.1	Desain Skema pada Software Homer .....	33
4.5.2	Pemberian Kordinat Lokasi .....	36
4.5.3	Memasukkan Data Radiasi Matahari .....	37
4.5.4	Memasukkan Data Temperature .....	37
4.5.5	Memasukkan Data Beban .....	38
4.5.6	Memasukkan Data Generator .....	39
4.5.7	Memasukkan Data Panel Surya .....	40
4.5.8	Memasukkan Data Ekonomi .....	41
4.6	Hasil Simulasi .....	42
4.6.1	<i>Net Present Cost (NPC)</i> .....	42
4.6.2	<i>Cost Of Energy (COE)</i> .....	42
4.7.3	<i>Initial Capital</i> .....	43
4.7.4	<i>Electrical Production</i> .....	44
4.7.5	<i>Fuel Consumption</i> .....	47
4.8	Analisis Kelayakan Pada Sistem Optimal .....	50
4.8.1	<i>Payback Period</i> .....	50
4.8.2	<i>Net Present Value (NPV)</i> .....	52
4.8.3	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i> .....	53
4.10	Perbandingan Harga Jual PLTH dengan Harga Pembelian PLN .....	56
4.11	Reduksi Gas Emisi Pada Sistem PLTH .....	57
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>60</b>
5.1	Kesimpulan .....	60
5.2	Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>62</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>64</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema pembangkit listrik hybrid .....	5
Gambar 2 Proses Konversi Energi Listrik Pada Panel Surya .....	8
Gambar 3 Efek fotovoltaiik.....	9
Gambar 4 Kurva Beban Rumah Tangga Kecil .....	13
Gambar 5 Kurva Beban Rumah Tangga Sedang .....	13
Gambar 6 Kurva Beban Rumah Tangga Besar .....	14
Gambar 7 Kurva beban Perkantoran Gedung Kecil.....	14
Gambar 8 Kurva Beban Perkantoran Gedung Besar.....	14
Gambar 9 Kurva beban Industri Skala Kecil .....	15
Gambar 10 Kurva Beban Industri Skala Besar .....	15
Gambar 11 Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 12 Letak Pulau Lumu-Lumu .....	27
Gambar 13 Total Keseluruhan Beban Harian .....	30
Gambar 14 Genset CAT 500 Kva .....	31
Gambar 15 CanadianSolar MaxPower CS6U-340Mz .....	32
Gambar 16 Dynapower SPS – 100.....	33
Gambar 17 Trojan SSIG 12 255.....	33
Gambar 18 Desain Skema Pemanfaatan 100% PLTS.....	34
Gambar 19 Desain Skema Pemanfaatan PLTS dan PLTD .....	34
Gambar 20 Desain Skema Pemanfaatan 100% PLTD.....	35
Gambar 21 Lokasi Penelitian Pada Software HOMER PRO.....	37
Gambar 22 Masukan Data Radiasi Matahari pada Software Homer Pro.....	37
Gambar 23 Masukan Data Temperature pada Software Homer Pro.....	38
Gambar 24 Masukan Data Beban pada Software Homer .....	39
Gambar 25 Masukan Data Generator 200 kva .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 26 Masukan Data Generator 500 kva .....	40
Gambar 27 Masukan Data Panel Surya .....	41
Gambar 28 Masukan Data Ekonomi .....	41
Gambar 29 Perbandingan Emisi Gas <i>Carbon Dioxide</i> Pada Tiap Konfigurasi ....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 <i>State of the art</i> .....	21
Tabel 2 Beban Awal Pulau Lumu-Lumu .....	28
Tabel 3 Perkiraan Beban Rumah Tangga.....	28
Tabel 4 Perkiraan Beban Masjid .....	29
Tabel 5 Perkiraan Beban Sekolah .....	29
Tabel 6 Perkiraan Beban PUSTU dan <i>Cold Storage</i> .....	29
Tabel 7 Data Indeks Radiasi dan Temperatur Matahari perbulan.....	30
Tabel 8 Konfigurasi Kenaikan Beban per Tahun.....	38
Tabel 9 Kapasitas Panel Surya Tiap Kongfigurasi Sistem... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabel 10 Perbandingan Nilai NPC .....	42
Tabel 11 Perbandingan Nilai COE.....	43
Tabel 12 Perbandingan Nilai <i>Initial Capital</i> .....	43
Tabel 13 Nilai Electrical Production Dengan Kenaikan 3% per Tahun .....	44
Tabel 14 Nilai Electrical Production Dengan Kenaikan 5% per Tahun .....	45
Tabel 15 Nilai Electrical Production Dengan Kenaikan 7% per Tahun .....	46
Tabel 16 Nilai <i>Fuel Cumsumption</i> Dengan Kenaikan 3% per Tahun.....	48
Tabel 17 Nilai <i>Fuel Cumsumption</i> Dengan Kenaikan 5% per Tahun.....	49
Tabel 18 Nilai <i>Fuel Cumsumption</i> Dengan Kenaikan 7% per Tahun.....	50
Tabel 19 Arus Kas Tiap Tahun .....	51
Tabel 20 Perhitungan <i>Payback Period</i> .....	52
Tabel 21 <i>Nilai Net Present Value</i> (NPV).....	53
Tabel 22 Tingkat Suku Bunga Rendah 12,1% .....	54
Tabel 23 Tingkat Suku Bunga Rendah 10% .....	55
Tabel 24 Rangkuman Data NPVr dan NPVt.....	56
Tabel 25 Harga Pembelian Listrik dari PLTS.....	57
Tabel 26 Produksi Gas Emisi.....	58

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peran energi sangat penting dalam peningkatan pembangunan ekonomi sehingga penggunaan sumber energi terbarukan merupakan hal yang sudah tak asing lagi dalam pengupayaan menuju energi yang lebih bersih. Sumber energi terbarukan merupakan suatu sumber energi yang berasal dari sumber daya alam dimana ketersediaan yang di tawarkan sangat melimpah dan mampu digunakan secara bebas tanpa perlu mengkhawatirkan ketersediaan sumber tersebut karena dapat di perbarui secara terus menerus. Menurut undang-undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2007 menyatakan bahwa "Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, air dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut." (Undang-Undang Tentang Energi, 2007).

Pentingnya menggunakan sumber energi terbarukan ini adalah karena sumber energi fosil yang kita gunakan saat ini seperti minyak bumi dan gas alam semakin menipis. ini di karenakan sumber energi tersebut merupakan sumber energi *non renewable*. Selain itu, penggunaan sumber energi fosil juga berdampak negatif pada lingkungan, seperti polusi udara dan pemanasan global. dengan menggunakan sumber energi terbarukan, kita bisa mengurangi ketergantungan kita pada sumber energi fosil dan mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Selain itu, sumber energi terbarukan juga bersifat ramah lingkungan dan dapat diperbaharui secara terus-menerus.

Meskipun begitu, penggunaan sumber energi terbarukan juga memiliki tantangan tersendiri. Misalnya, infrastruktur yang diperlukan untuk menghasilkan energi terbarukan seperti panel surya membutuhkan biaya yang cukup besar serta, ada juga perluasan jaringan listrik yang diperlukan untuk mendistribusikan energi terbarukan ke suatu wilayah. Selain itu, perubahan cuaca juga dapat menjadi salah

satu perhitungan yang dapat menghambat pasokan energi listrik pada pembangkit bila hanya bergantung pada pembangkit sumber daya terbarukan.

Pulau Lumu-Lumu merupakan salah satu pulau kecil yang berpenghuni yang berada dalam kelompok Kepulauan Spermonde di perairan Selat Makassar. Pulau ini masuk dalam wilayah Kelurahan Barrang Caddi, kecamatan Kepulauan Sangkarrang, Sulawesi Selatan. Secara astronomis, adapun jumlah penduduk saat ini yaitu 1223 jiwa dan 312 KK yang sebagian besar penduduknya berprofesi sebagai nelayan.

Istilah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) digunakan untuk pembangkit listrik yang memiliki lebih dari satu generator, biasanya kombinasi generator konvensional (mesin diesel) dan energi terbarukan (PLTS, PLTB, atau PLTMH). Sekarang ada ribuan sistem PLTH yang beroperasi di seluruh dunia, dengan jumlah yang terus meningkat. Sistem ini berkisar dari kapasitas beberapa puluh watt hingga puluhan kilowatt. Sistem PLTH memiliki beberapa manfaat, termasuk meningkatkan kemampuan sistem untuk memenuhi beban, mengurangi emisi dan polusi, menyediakan pasokan listrik terus menerus, dan mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan listrik (Kunaifi, 2010).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan Latar Belakang di atas, dapat di rumuskan masalah :

1. Bagaimana pengkonfigurasi sistem *hybrid* yang lebih optimal dalam melayani beban di Pulau Lumu-Lumu
2. Bagaimana simulasi dan optimasi PLTH pada Pulau Lumu-Lumu
3. Apa hasil analisis segi ekonomi dari PLTH yang dilakukan

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat menentukan pengkonfigurasi sistem yang lebih optimal dalam melayani beban di Pulau Lumu-Lumu
2. Dapat melakukan simulasi dan optimasi pembangkit *hybrid* pada Pulau Lumu-Lumu

3. Menganalisis ekonomi sistem hybrid untuk mengetahui kelayakan sistem untuk direalisasikan

#### **1.4 Batasan Masalah**

1. Penentuan perkiraan beban (energi listrik)
2. Potensi radiasi matahari dan temperatur
3. Simulasi serta optimasi sistem pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan HOMER

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Menjadi masukan serta referensi bagi kepala daerah setempat dalam pengambilan rencana untuk pengembangan energi terbarukan dengan pembangunan pembangkit energi listrik dengan *menghybrid* pembangkit listrik energi terbarukan dengan pembangkit listrik diesel
2. Memberikan kesadaran terhadap masyarakat setempat dalam pemanfaatan potensi energi terbarukan di lingkungan daerah mereka
3. Menjadi referensi bagi mahasiswa dan peneliti untuk memperdalam ilmu pengetahuan akan optimasi sistem pembangkit energi listrik dengan sistem *hybrid*

#### **1.6 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Studi literatur yaitu dengan menggunakan buku, jurnal, dan artikel di internet untuk menunjang referensi penulis.
2. Pengambilan Data  
Tujuan pengambilan data adalah untuk mendapatkan data sekunder yang akan digunakan dalam penelitian ini. Di mana dilakukan dengan metode wawancara, pengamatan dan studi literatur.
3. Analisis Data

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan lalu diolah dengan menganalisis biaya sistem, kelistrikan, konsumsi bahan bakar dan emisi.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan penelitian.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisi penjelasan mengenai teori-teori materi penelitian yang digunakan sebagai pendukung dan penunjang untuk penelitian yang diperoleh dari sumber ilmiah.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisi rancangan penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, pengumpulan data, dan langkah-langkah yang digunakan pada penelitian ini.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisi hasil simulasi dari penelitian yang diperoleh serta pembahasan terkait penelitian yang dilakukan.

### **BAB V SARAN DAN KESIMPULAN**

Pada bab ini membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh dari penelitian serta saran-saran yang perlu dikaji lebih lanjut.

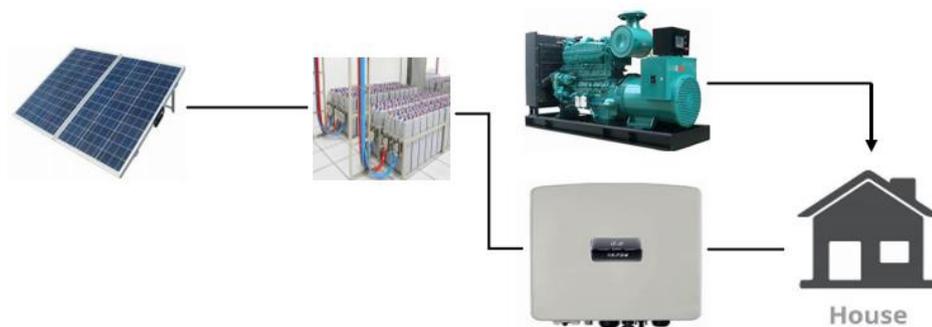
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*

Pembangkitan listrik tenaga *hybrid* merupakan suatu pembangkitan dengan sistem penggabungan dari berbagai macam sumber energi seperti aliran air, energi angin, energi matahari, energi biogas, energi panas ataupun dengan menggunakan energi fosil.

Sistem *hybrid* digunakan untuk memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dan mengurangi penggunaan PLN. Pembangkit listrik *hybrid* menggabungkan dua atau lebih sumber daya listrik. Tujuannya adalah agar masing-masing pembangkit dapat memanfaatkan kelemahan sistem yang berbeda untuk meningkatkan efisiensi ekonomi. Saat ini, pembangkit listrik energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan adalah PLTS dan PLTB. Meskipun masing-masing jenis pembangkit memiliki kelebihan, mereka juga memiliki kelemahan, yaitu mereka membuat kontribusi daya yang diberikan tidak stabil. Sementara PLTB memiliki sumber energi yang tidak menentu tergantung pada kecepatan angin, PLTS hanya dapat menghasilkan energi di siang hari ketika cuaca cerah, sehingga kedua pembangkit ini akan digabungkan untuk menghasilkan jumlah energi yang maksimal. Berikut Gambar 1 dibawah merupakan skema dari PLTH :



Gambar 1 Skema pembangkit listrik hybrid

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Di tiap daerah keadaan temperatur dan kecepatan angin berbeda. Energi angin yang sebenarnya berlimpah di Indonesia ternyata belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai alternatif penghasil listrik, bahkan selama ini masih dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB) menggunakan turbin angin atau kincir angin untuk mengubah energi angin menjadi listrik. Prinsip kerjanya cukup sederhana, yaitu energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin, yang menghasilkan energi listrik. Sebelum dapat digunakan, energi ini biasanya akan disimpan dalam baterai (Bono, dkk, 2017).

## 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa

Energi biomassa berasal dari bahan-bahan organik seperti tanaman hasil pertanian, perkebunan, atau limbah industri dan rumah tangga. Sebagai contoh paling sederhana untuk daerah pedesaan yaitu kayu. Kayu yang di bakar akan menghasilkan uap serta energi panas. Selain itu, energi ini juga dapat diperoleh dari hewan dan bakteri. Dua metode umum yang digunakan untuk memproduksi energi ini yaitu dengan menumbuhkan organisme penghasil biomassa atau dengan menggunakan bahan sisa olahan makhluk hidup dari hasil industri (Sulasminingsih, dkk, 2023). Proses kerja PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa) terdapat dua macam yaitu proses pembakaran dan proses teknologi fermentasi metana. Pembangkit listrik tenaga biomassa dengan proses pembakaran menggunakan proses konversi Thermal saat pengolahan sampah menjadi energi. Proses kerja tersebut dilaksanakan dalam beberapa tahap yaitu (Santoso, 2018) :

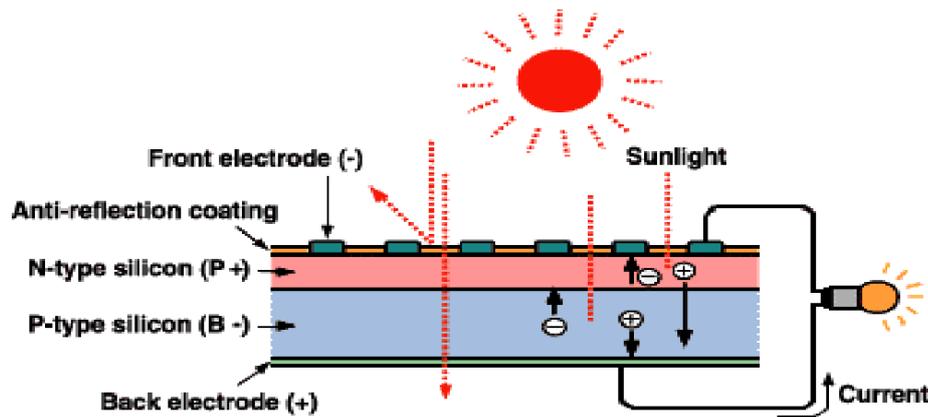
1. Pemilahan dan penyimpanan sampah. Limbah sampah kota dikumpulkan pada suatu tempat yang dinamakan Tempat Pengolahan Akhir (TPA). Pemilahan sampah sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan PLTB. Sampah yang sudah dipilah tersebut disimpan didalam tempat penampungan yang menggunakan teknologi RDF (Refused Derived Fuel). Teknologi RDF digunakan untuk memadatkan sampah atau imbah kota, sehingga nilai kalor

yang dihasilkan tinggi. Penyimpanan dilakukan selama 5 hari, hingga kadar air 45 %. Lalu dilanjutkan dengan pembakaran.

2. Pembakaran sampah. Tungku PLTB pada awal pengoperasiannya akan digunakan bahan bakar minyak. Ketika temperatur mencapai 850oC – 900oC, sampah dimasukkan kedalam tungku pembakaran (insenerator) yang berjalan 7800 jam.
3. Pemanasan boiler. Panas yang digunakan sebagai pemanas boiler berasal dari pembakaran sampah. Proses pemanasan pada boiler tersebut, mengubah air yang ada pada boiler berubah menjadi uap.
4. Penggerakan turbin dan generator serta hasil. Uap didistribusikan menuju turbin hingga turbin berputar. Turbin yang berputar tersebut telah dihubungkan dengan generator. Maka ketika turbin berputar generator juga akan berputar. Putaran dari Generator tersebut, menghasilkan listrik yang akan didistribusikan.

## **2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah teknologi pembangkit listrik yang menggunakan sel-sel fotovoltaik yang terbuat dari lapisan tipis silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian rupa sehingga ketika sel-sel fotovoltaik menerima foton dari matahari, mereka mengeksitasi elektron-elektronnya menjadi elektron bebas, yang kemudian menghasilkan listrik DC. Untuk menghasilkan listrik, sistem pembangkit listrik tenaga surya (PV) menggunakan konversi sel fotovoltaik untuk mengubah radiasi matahari. Jumlah radiasi yang diterima dipermukaan bumi bergantung pada jarak matahari karena radiasi adalah gelombang elektromagnetik dan sinar yang berasal dari proses termonuklir yang terjadi di matahari. (Miharja, 2012). Berikut Gambar 2 di bawah merupakan proses konversi energi listrik pada panel surya :



Gambar 2 Proses Konversi Energi Listrik Pada Panel Surya

(Sumber: Harahap, 2020)

Energi surya memasuki atmosfer bumi dengan kepadatan yang diperkirakan sebesar  $1 - 1,4 \text{ kW/m}^2$  dengan arah tegak lurus terhadap poros sinar. 34% dari jumlah ini dipantulkan kembali ke luar angkasa dan sekitar  $560 \text{ W/m}^2$  diserap oleh bumi. Dari jumlah perkiraan ini, radiasi surya dapat menghasilkan  $1,12 \times 10^8 \text{ MW}$  di Indonesia. Salah satu cara untuk menghasilkan listrik secara langsung dari cahaya surya adalah dengan mengubah radiasi surya menjadi panas. Namun, ada juga alat yang disebut panel surya. Panel surya terdiri dari sejumlah sel surya (juga disebut sel surya atau sel fotovoltaik) yang digabungkan menjadi satu panel surya (Sardar, 2010).

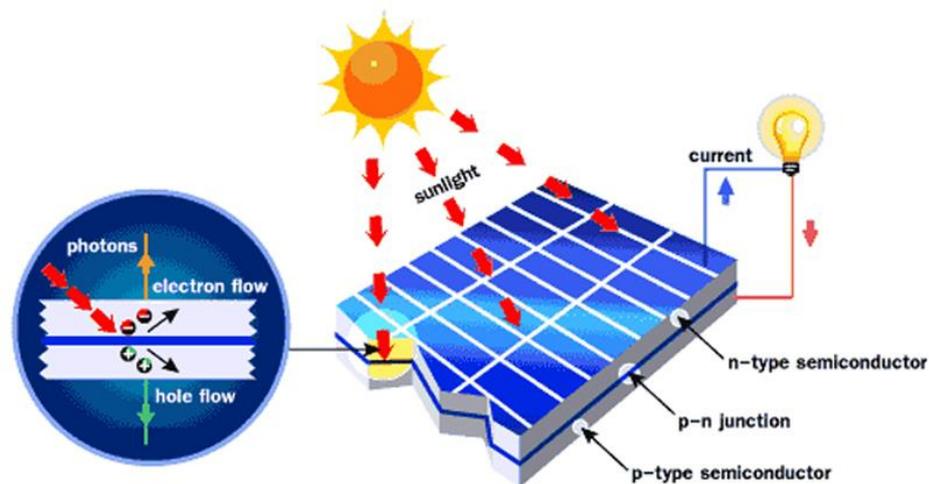
Prinsip kerja panel surya adalah untuk mengubah energi matahari menjadi listrik melalui prinsip fotovoltaik. Setiap sel surya memiliki kemampuan untuk menghasilkan listrik. Pada siang hari, modul surya mengumpulkan cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi, yang kemudian disimpan dalam baterai sebelum digunakan. Pada malam hari, ketika tidak ada cahaya matahari, modul surya tidak dapat menghasilkan listrik, sehingga baterai sepenuhnya mencatu beban. Ini adalah proses fotovoltaik. Hal ini juga terjadi saat mendung atau hujan, ketika jumlah listrik yang dihasilkan oleh modul surya lebih rendah daripada saat matahari benderang. Karena itu, modul surya tertentu dapat menghasilkan jumlah listrik yang berbeda jika ditempatkan di lokasi yang berbeda (Marliani, 2023).

PLTS menggunakan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) saat

diperlukan. PLTS adalah pencatu daya (alat yang menyediakan daya) di mana PLTS sendiri dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil hingga besar, baik secara mandiri maupun hybrid serta dapat menggunakan metode desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun sentralisasi (listrik didistribusikan melalui jaringan kabel) (Miharja, 2012).

## 2.5 Efek Fotovoltaik

Dalam kondisi pencahayaan rendah, sel surya hanya merupakan diode PN *junction*. Efek fotovoltaik memungkinkan sinar matahari untuk diubah menjadi listrik di mana sinar matahari ini terdiri dari foton-foton (kumpulan dari energi). Foton-foton ini membawa berbagai jumlah energi yang berkorelasi dengan panjang gelombang cahaya yang berbeda. Foton yang mengenai sel surya dapat terpantulkan, terserap, atau mengalir melalui sel. Sehingga *Electron Hole Pairs* (EHP) terbentuk ketika sinar matahari diserap oleh diode PN *junction*. Gambar 3 di bawah merupakan proses dari efek fotovoltaik :



Gambar 3 Efek fotovoltaik

(Sumber: Rajput, 2017)

- a. *Electron Hole Pair* (EHP) terbangkitkan pada *depletion layer* di mana elektron akan dibatasi ke arah N karena adanya medan listrik dan *holes* dari EHP dibatasi ke arah P karena adanya bidang listrik.

- b. *Electron Hole Pair* (EHP) terbangkitkan di wilayah netral *quasi*. Pada wilayah ini, elektron dan *holes* dari *Electron Hole Pair* (EHP) akan menyebar di sekitar wilayah secara acak. Tidak terdapat gaya listrik yang mengarahkan arah gerakannya.
- c. *Minority carrier* dari wilayah P dan N. *Minority carrier* disekitaran wilayah deplesi juga akan terarahkan oleh medan listrik.

Pada kondisi ini, sisi P akan mengalami kenaikan muatan positif dan sisi N akan mengalami kenaikan muatan negatif. Peningkatan muatan positif dan negatif ini menyebabkan perbedaan potensial muncul di sepanjang junction PN seiring dengan cahaya yang menyinari sel surya. Efek fotovoltaiik adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan peningkatan tegangan ini. (Rajput, 2017).

## 2.6 Panel Surya

Terlepas dari berbagai faktor yang mempengaruhi hasil produksi, PLTS ini berhasil menghasilkan energi listrik. Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil produksi PLTS adalah radiasi matahari di mana jumlah energi yang dihasilkan modul surya dapat meningkat atau menurun tergantung pada tingkat radiasi matahari di lokasi pengukuran. *Shading* (bayangan) adalah benda-benda di sekitar PLTS yang menghalangi sinar matahari untuk masuk ke dalamnya, sehingga mengurangi jumlah radiasi yang ditangkap. Tingkat kebersihan panel surya juga dapat mempengaruhi jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS karena kotoran atau debu menghalangi sel surya untuk menerima sinar matahari. Selain itu, perlu diperhatikan sudut kemiringan dan orientasi pemasangan modul surya agar panel surya dapat berfungsi dengan baik. Terakhir yaitu jenis panel surya yang digunakan juga dapat mempengaruhi tingkat efisiensi dari PLTS (Wicaksana, dkk, 2019).

## 2.7 Baterai

Baterai merupakan komponen dari PLTS yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam waktu tertentu dan jika sudah tidak ada energi yang dapat dikonversikan lagi menjadi energi listrik yaitu kurangnya cahaya matahari

sehingga diperlukan baterai untuk memenuhi kebutuhan beban di mana energi yang tersimpan dalam baterai ini berupa energi listrik DC (Marliani, 2023).

## 2.8 Inverter

Inverter adalah rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Lebih tepatnya, inverter memindahkan tegangan dari sumber tegangan DC ke beban tegangan AC. Sumber tegangan DC yang dapat digunakan oleh inverter termasuk baterai, panel surya, dan sumber tegangan DC lainnya. Inverter dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu (Purwoto, dkk, 2019):

- a. *Square Wave*. Inverter ini merupakan jenis inverter paling dasar yang dapat menghasilkan tegangan 220V AC, 50 Hz, tetapi kualitasnya buruk sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja dikarenakan karakteristik output inverter ini memiliki level *Total Harmonic Distortion* (THD) yang tinggi.
- b. *Modified Sine Wave*. Karena gelombangnya hampir sama dengan *Square Wave*, *modified sine wave* juga disebut *Modified Square Wave*. Namun, output pada *Modified Sine Wave* menyentuh titik nol untuk beberapa saat sebelum berubah menjadi positif atau negatif. Karena *harmonic* distorsinya yang lebih sedikit daripada *Square Wave*, *Modified Sine Wave* dapat digunakan untuk beberapa alat listrik seperti komputer, TV, dan lampu. Namun, tidak dapat digunakan untuk beban yang lebih sensitif.
- c. *Pure Sine Wave*, juga dikenal sebagai *True Sine Wave*, adalah gelombang inverter yang hampir mirip dengan gelombang sinusoida sempurna dan memiliki *Total Harmonic Distortion* (THD) yang hanya kurang dari 3% sehingga cocok untuk semua perangkat elektronik. Oleh karena itu, inverter ini juga disebut *Clean Power Supply* di mana teknologi yang digunakan oleh inverter ini dikenal sebagai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang memiliki kemampuan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoida.

## 2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel atau PLTD adalah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerakannya. Dimana solar merupakan bahan bakar yang paling umum digunakan. Dengan nilai investasi yang murah, generator diesel digunakan sebagai sumber energi alternatif di daerah terpencil. Generator diesel juga biasanya digunakan sebagai cadangan di daerah yang memiliki banyak sumber energi terbarukan (Ranahendy, 2021).

Mesin diesel adalah jenis mesin pembakaran dalam yang menghasilkan energi dengan mengubah energi kimia dari bahan bakar seperti bensin atau solar menjadi energi panas, yang menggerakkan piston dan poros engkol untuk menghasilkan kerja mekanik. Salah satu karakteristik mesin diesel adalah kemampuan mereka untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Ini adalah bagian dari kinerja mesin. Daya yang dihasilkan oleh adalah salah satu dari banyak parameter yang terlibat dalam proses konversi energi ini (Ranahendy, 2021).

Mesin diesel merupakan jenis mesin pembakaran internal yang menggunakan panas kompresi untuk melakukan pengapian. Berbeda dengan mesin bensin atau gasoline, mesin diesel tidak memerlukan tenaga listrik. Panas dihasilkan dari tekanan yang terjadi akibat gerakan piston dan langkah kompresi di dalam silinder, menyebabkan suhu di ruang bakar meningkat, sehingga bahan bakar akan terbakar secara otomatis (Ranahendy, 2021).

Pada mesin diesel, hanya udara yang masuk ke dalam piston dan ruang bakar, kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu dan tekanan tertentu sebelum piston mencapai Titik Mati Atas (TMA). Ketika suhu udara di dalam silinder mencapai tingkat yang cukup tinggi, komponen bahan bakar akan menyala dengan sendirinya, memulai proses pembakaran. Suhu yang diperlukan untuk menghasilkan pengapian hanya sekitar 15-22 suhu panas atau sekitar 600°C (Ranahendy, 2021).

## 2.10 Karakteristik Kurva Beban

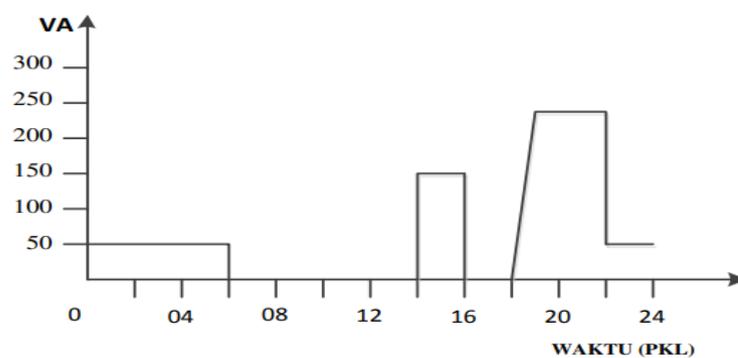
Karakteristik Kurva beban merupakan suatu grafik yang menggambarkan variasi suatu pembebanan terhadap suatu gardu yang di ukur dengan MW, Ampere

atau KVA Sebagai fungsi dari waktu. Interval waktu pengukuran biasanya ditentukan berdasarkan pada penggunaan hasil pengukuran. Misalnya, interval waktu 30 menit atau 60 menit sangat berguna dalam penentuan kapasitas rangkaian. Biasanya beban diukur untuk interval waktu 15 menit, 30 menit, satu hari atau 1 minggu. (Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

Berikut karakteristik kuerva beban berdasarkan bentuk beban listrik:

### 1. Konsumen Rumah Tangga

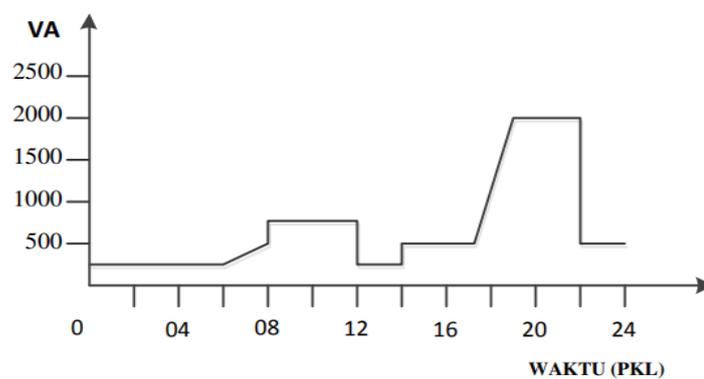
- Rumah Tangga Kecil



Gambar 4 Kurva Beban Rumah Tangga Kecil

(Sumber: Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

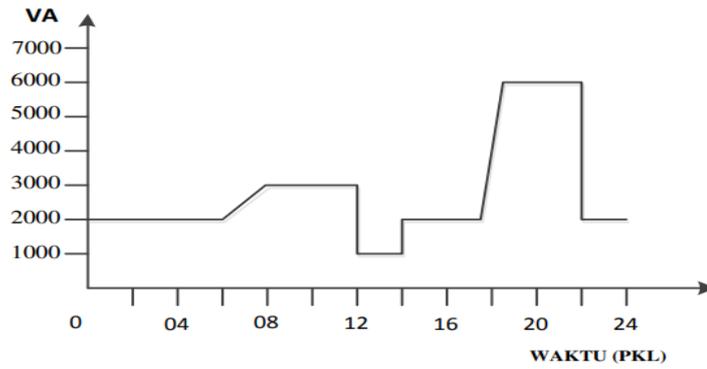
- Rumah Tangga Sedang



Gambar 5 Kurva Beban Rumah Tangga Sedang

(Sumber: Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

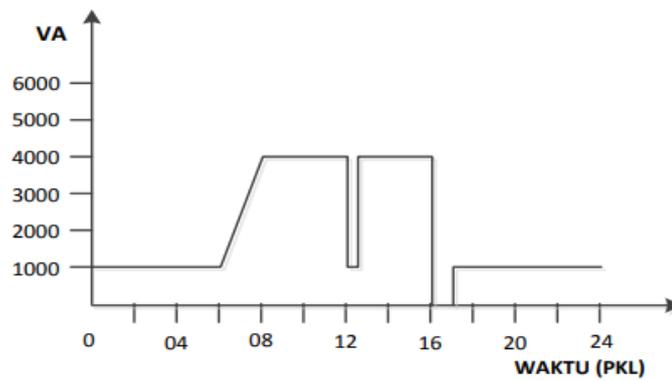
- Rumah Tangga Besar



Gambar 6 Kurva Beban Rumah Tangga Besar  
(Sumber: Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

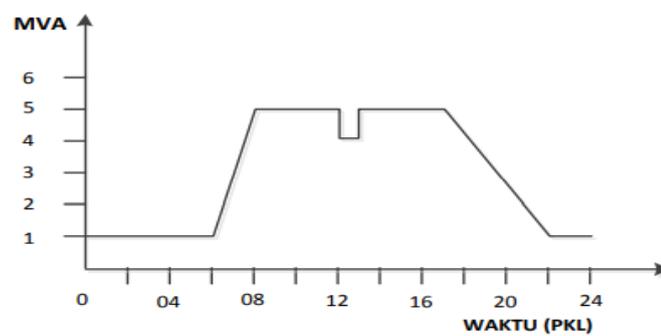
## 2. Konsumen Komersial

- Perkantoran Gedung Kecil



Gambar 7 Kurva beban Perkantoran Gedung Kecil  
(Sumber: Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

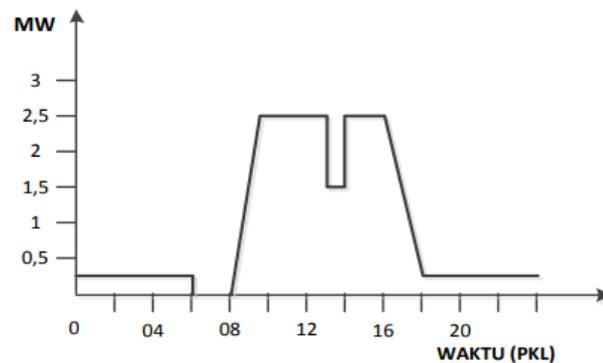
- Perkantoran Gedung Besar



Gambar 8 Kurva Beban Perkantoran Gedung Besar  
(Sumber: Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

### 3. Konsumen Pabrik

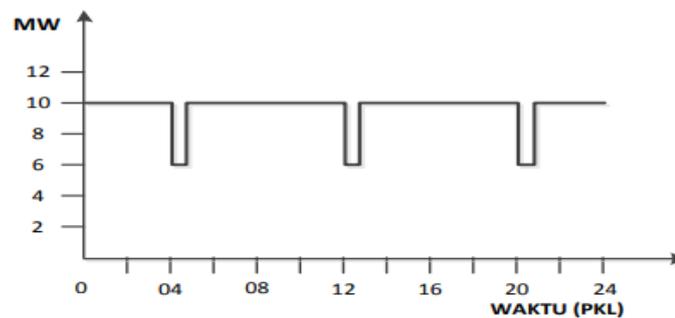
- Industri Skala Kecil



Gambar 9 Kurva beban Industri Skala Kecil

(Sumber: Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

- Industri Skala Besar



Gambar 10 Kurva Beban Industri Skala Besar

(Sumber: Aminullah, Firdaus, & Edy Ervianto, 2015)

## 2.8 HOMER

HOMER merupakan singkatan dari *The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables*, salah satu tool populer dalam mendesain sistem PLH menggunakan energi terbarukan. HOMER merupakan alat simulasi dan pengoptimalan sistem pembangkit listrik baik stand alone maupun grid-connected yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, photovoltaic (PV), mikrohidro, bio

massa, generator (diesel/bensin), motorturbine, fuel-cell, baterai dan penyimpanan hidrogen serta , melayani beban listrik maupun termal (Rauf, Budiman, & Lalan, 2017).

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energy balance untuk setiap 87.76 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator diesel , HOMER juga dapat memutuskan untuk setiap jam, apakah generator diesel beroperasi dan apakah baterai diisi atau dikosongkan. Lalu HOMER menentrukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*life time cost*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar dan lain-lain (Rauf, Budiman, & Lalan, 2017).

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudaa ditampilkan berurutan menurut NPC (*Net Present Cost*). Jika analisa sensitivitas diperlukan , HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variable sensitivitas yang ditetapkan. *Error relative* tahunan sekitar 3% dan *error relative* bulanan sekitar 10%. Ada 3 bagian utama HOMER yaitu input, simulasi dan output. Perangkat lunak ini bekerja berdasarkan 3 langkah yaitu simulasi, optimalisasi dan analisis sensitivitas (Rauf, Budiman, & Lalan, 2017).

a. Simulasi

Perangkat lunak ini akan melakukan simulasi pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga hibrida dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam satu tahun. Untuk setiap jamnya, HOMER membandingkan kebutuhan listrik dan panas dengan energi yang dapat dipasok oleh sistem pada jam tersebut dan menghitung aliran energi dari setiap komponen dari sistem. Untuk sistem dengan baterai atau generator bahan bakar, HOMER juga memutuskan kapan akan mengoperasikan generator dan mengisi atau mengosongkan baterai.

b. Optimasi

Setelah mensimulasikan, tahapan selanjutnya ialah pengoptimalisasian semua kemungkinan konfigurasi sistem kemudian diurutkan berdasarkan nilai Net Sekarang (*Net Present*) yang digunakan untuk membandingkan pilihan desain sistem.

c. Analisis Sensivitas

Ketika variabel sensitivitas ditambahkan, HOMER mengulangi proses optimasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditentukan. Misalnya, jika ditetapkan konsumsi beban (kWH/hari) sebagai sensitivitas variabel, HOMER akan melakukan simulasi konfigurasi sistem untuk berbagai konsumsi beban tersebut.

Adapun analisa ekonomi pada program homer mencakup :

a. *Net Present Cost* (NPC)

NPC merupakan semua pengeluaran yang perlu disiapkan selama masa proyek berlangsung. NPC mempertimbangkan biaya awal proyek, biaya operasional, biaya pemeliharaan, biaya penggantian, dan semua penerimaan yang diharapkan dari proyek, termasuk pendapatan, penghematan, atau manfaat lain yang mungkin terjadi selama periode waktu proyek berlangsung. HOMER Pro menghitung menggunakan persamaan (2.1) tersebut (Prayogi, 2018) :

$$\text{NPC} = \text{Capital Cost} + \text{Replacement} + \text{O\&M Cost} - \text{Salvage} \quad (2.1)$$

dimana :

*Capital Cost* = Biaya investasi (Rp)

*Replacement* = Biaya pergantian komponen (Rp)

*O&M Cost* = Biaya operasional dan maintenance (Rp)

*Salvage* = Nilai Sisa (Rp)

b. *Cost of Energy* (COE)

COE adalah istilah yang merujuk pada biaya total yang diperlukan untuk menghasilkan atau menggunakan energi dalam suatu sistem tertentu. COE mencakup seluruh biaya yang terkait dengan produksi, distribusi, dan konsumsi energi, termasuk biaya investasi awal, operasional, pemeliharaan, dan biaya lain yang terlibat selama siklus hidup proyek atau sistem. Analisis COE bertujuan untuk mengukur dan memahami efisiensi ekonomi dari solusi energi tertentu, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang tepat dalam pemilihan teknologi energi, penentuan harga energi, dan

perencanaan strategis untuk mencapai sasaran keberlanjutan dan efisiensi dalam penggunaan sumber daya energi (Sitohang, 2019).

Nilai COE dapat diketahui dengan persamaan (2.2) (Prayogi, 2018):

$$COE = \frac{TAC}{E_{tot.served}} \quad (2.2)$$

dimana :

COE (*Cost of Energy*) = biaya total per 1 kWh (Rp)

TAC (*total annualize cost*) = biaya total tahunan pembangkit hibrid (Rp)

$E_{tot.served}$  = total energi tahunan untuk beban (kWh)

c. O&M Cost (Biaya dan Perawatan)

Biaya O&M adalah biaya yang terkait dengan operasional dan pemeliharaan suatu sistem, fasilitas, atau peralatan selama masa pakainya. Biaya operasi mencakup biaya *day-to-day* yang diperlukan untuk menjalankan dan mengoperasikan sistem atau peralatan, termasuk biaya bahan bakar, listrik, dan tenaga kerja. Sementara itu, biaya pemeliharaan mencakup biaya untuk menjaga kondisi dan kinerja optimal sistem atau peralatan melalui pemeriksaan rutin, perbaikan, dan penggantian komponen yang aus atau rusak. Biaya O&M dalam pengelolaan aset dan proyek untuk memahami total biaya yang terkait dengan operasi dan pemeliharaan dalam jangka waktu tertentu sangatlah penting, sehingga memungkinkan perencanaan anggaran yang lebih baik dan pengambilan keputusan yang lebih efisien. Biaya pemeliharaan tahunan PLTS dapat di hitung dengan persamaan (2.3) sebagai berikut (Rijal, Huda , & Ikram, 2023):

$$A = (1\% / 2\%) \times I_a \quad (2.3)$$

dimana:

$N_b$  = Banyaknya pergantian Komponen

A = Biaya Pemeliharaan (Rp)

$I_a$  = Investasi Awal (Rp)

d. Salvage (Nilai Sisa)

Nilai sisa adalah nilai yang tersisa dalam komponen system daya pada akhir masa proyek. Homer mengasumsikan penyusutan komponen linier, yang berarti bahwa nilai penyelamatan suatu komponen berbanding lurus dengan sisa hidupnya. Ini juga mengasumsikan bahwa nilai penyelamatan tergantung pada biaya penggantian daripada biaya modal awal (Reza, 2021)

## **2.9 Studi Kelayakan**

Studi kelayakan dilakukan untuk menganalisis apakah pembangkit layak di realisasikan atau tidak. Dalam analisis kelayakan, diperlukan data berupa aliran biaya dalam kurun waktu yang direncanakan (pemasukan serta pengeluaran sistem) yang diperoleh dari hasil simulasi sebelumnya beserta suku bunga.

### **2.9.1 *Net Present Value (NPV)***

Net Present Value ialah suatu metode analisis keuangan dimana nilai sekarang dari arus pendapatan uang timbul akibat penanaman investasi. NPV merupakan selisih dari pendapatan dengan biaya yang di diskontokan. Indikator kelayakannya yaitu jika NPV bernilai positif ( $NPV > 0$ ) maka usaha layak untuk di jalankan. Sebaliknya, jika NPV bernilai negatif ( $NPV < 0$ ) maka usahanya dianggap tidak layak dijalankan (Yulianto, 2020)

### **2.9.2 *Internal Rate of Return (IRR)***

IRR ialah tingkat suku bunga maksimum yang dapat mengembalikan biaya-biaya yang di invest. Semakin besar IRR dari suku bunga ( $IRR > DR$ ) maka dianggap layak untuk dijalankan. Sebaliknya jika IRR lebih kecil dari suku bungan ( $IRR < DR$ ) maka dianggap tidak layak untuk di jalankan (Yulianto, 2020).

### **2.9.3 *Payback Period (PBP)***

PBP ialah suatu metode analisis keuangan yang digunakan untuk menghitung periode yang diperlukan dalam menutup kembali investasi awal dari suatu proyek investasi. PBP menggambarkan periode waktu di mana aliran kas positif mengimbangi biaya investasi awal, dan proyek dianggap berhasil ketika

payback periodnya mencapai batas waktu yang telah ditentukan sebelumnya. analisa kelayakan dapat dilihat dari masa pengembalian investasi dengan masa pakai. Jika masa pengembalian investasi lebih singkat ( $PBP < n$ ), maka layak dan apabila masa pengembalian investasi lebih lama ( $PBP > n$ ), maka tidak layak (Hajir, 2021).

## **2.10 *State Of The Art***

Tabel 1 berikut memperlihatkan tabel *State of The Art* tentang Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH).

Tabel 1 *State of the art*

Nama Peneliti	Judul	Identifikasi Masalah	Tujuan	Metode	Hasil yang Dicapai
Marliani	Optimasi Pembangkit Hybrid Energi Terbarukan Pada Kampus Vokasi ATS Menggunakan Metode <i>Wild Horse Optimization</i> (WHO).	Kampus ATS (Akademi Teknik Soroako) belum memiliki sumber energi alternatif untuk keperluan praktikumnya yang merupakan rencana energi masa depan. Dalam perjalanannya pun ATS memperoleh dukungan penuh dari PT. Vale untuk mendorong kemandirian ATS termasuk untuk penyediaan energinya.	Penelitian ini bertujuan untuk merancang model optimasi sistem <i>hybrid</i> dengan menggunakan metode WHO ( <i>Wild Horse Optimization</i> ) sebagai sumber alternatif yang belum ada untuk praktikum pada kampus ATS (Akademi Teknik Soroako).	Merancang PLTH dengan menggunakan metode <i>Wild Horse Optimization</i> (WHO).	Dengan menggunakan metode WHO didapatkan hasil terbaik pada kombinasi ke-3 yaitu PV-WT-baterai dan setelah dibandingkan dengan hasil PSO tidak jauh berbeda, namun pada metode WHO memperoleh hasil keluaran yang lebih stabil. Dari hasil simulasi dan perhitungan juga diperoleh nilai COE ( <i>Cost Of Energy</i> ) terbaik pada kombinasi PV-Grid sebesar \$0,0150.
Andi Dwiki Yulianto	Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan Untuk Lahan Perkebunan: Studi Kasus di Kecamatan Bupon di Kabupaten Luwu.	Kabupaten Luwu yang memiliki komoditi unggulan yaitu pada sektor perkebunan & pertaniannya terutama pada komoditi kakao yang sangat dipengaruhi oleh pemenuhan kebutuhan air agar tanaman tidak mengalami defisit air. Hal ini yang membuat petani setempat menggunakan pompa diesel untuk mengatasi masalah tersebut di mana pompa diesel ini masih memiliki banyak kekurangan sehingga	Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal untuk melayani beban perkebunan berdasarkan biaya investasi awal, produksi energi, dan ketersediaan sumber energi terbarukan.	Mensimulasi dan mengoptimasi pembangkit listrik tenaga <i>hybrid</i> menggunakan perangkat lunak HOMER.	Konfigurasi sistem yang digunakan untuk memenuhi beban perkebunan adalah <i>hybrid</i> PLTS dan generator diesel dengan konfigurasi sistem yang paling optimal yaitu Genset 0,75 kW, PV 0,960 kW, baterai 1 kW sebanyak 7 unit, serta <i>converter</i> 2 kW di mana sistem ini dapat dikatakan layak direalisasikan karena parameter-parameter yang diuji melebihi batas yang ditentukan.

		diperlukan cara yang lebih efisien baik dari segi keberlangsungan sumber energi maupun segi ekonomisnya.			
Muh. Akbar Sardar	Analisis Nilai Ekonomis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Energi Biogas dan Energi Surya di Desa Leppang Kecamatan Patampanua Kabupaten Pinrang.	Desa Leppang memiliki potensi alam yang sangat bagus untuk peternakan di mana populasi ternak pada lokasi tersebut sangat banyak sehingga dapat menghasilkan sumber energi biogas yang melimpah dan juga jika dilihat dari keadaan alam yang sangat memungkinkan untuk menjadi lokasi PLTS, maka hal tersebut membuat penulis tertarik untuk menganalisa PLTH dari energi biogas dan energi surya.	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar nilai ekonomis dan daya yang dihasilkan dari PLT Biogas, PLTS, dan PLTH.	Mensimulasi besar energi yang dihasilkan oleh PLT Biogas, PLTS, dan PLTH dengan menggunakan <i>software</i> HOMER serta menghitung nilai ekonomis pembangkit menggunakan Ms. Excel.	Besarnya potensi daya yang dapat dihasilkan oleh PLTH adalah sebesar 784,984 MWh/tahun dengan daya rata-rata per hari 2,15 MWh/hari dan investasi dengan jangka waktu 20 tahun untuk perancangan PLTH dari segi ekonomis layak dilaksanakan untuk suku bunga 8% sampai 20%.
Sul Sandy A.K. dan Syamsul Bahri T	Perancangan Modul Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).	Pulau Lae-Lae merupakan sebuah pulau kecil yang masih belum mendapatkan pasokan listrik dari PLN pada saat itu sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut hanya menggunakan tenaga diesel di mana biaya yang diperlukan besar dan tidak maksimal. Oleh karena itu, diperlukan sistem pembangkitan yang lebih baik dan ekonomis serta menggunakan energi terbarukan.	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mensimulasikan konfigurasi dari PLTH berdasarkan kebutuhan daya dan nilai ekonomisnya.	Mensimulasi sistem hibrid dengan menggunakan HOMER baik pada konfigurasi seri, paralel, ataupun konfigurasi <i>switched</i> .	Persentase energi terbarukan sebesar 50% - 60% dengan beban 1,889 Mw/hari, biaya operasi maupun pembangkitan relatif tidak mengalami kenaikan yang signifikan yaitu \$0,482 per kWh. Namun, ketika persentase energi terbarukan dinaikkan menjadi 70% atau 80% terjadi kenaikan menjadi signifikan yaitu 0,487 dan 0,611 per kWh.