

**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**OPTIMASI PENGEMBANGAN PENYEDIA DAYA CADANGAN HYBRID**  
**DI DAERAH MUNTOK PULAU BANGKA**

**SKRIPSI**

untuk memenuhi salah satu persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:**

**Muhammad Fachry Prabowo**

**13524036**

**Jurusan Teknik Elektro**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Universitas Islam Indonesia**  
**Yogyakarta**

**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN TUGAS AKHIR OPTIMASI PENGEMBANGAN PENYEDIA DAYA**  
**CADANGAN HYBRID DI DAERAH MUNTOK PULAU BANGKA**

**TUGAS AKHIR**  
**ISLAM**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



Disusun oleh:

المجتهد المصلح  
Muhammad Fachry Prabowo  
البروفيسور

13524036

Yogyakarta, 14 September 2018

Menyetujui,

Pembimbing 1

Husein Mubarak, S.T., M.Eng  
155241305

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**OPTIMASI PENGEMBANGAN PENYEDIA DAYA CADANGAN HYBRID DI DAERAH  
MUNTOK PULAU BANGKA**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Muhammad Fachry Prabowo**

13524036

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 25 September 2018

Susunan dewan penguji

KetuaPenguji: Husein Mubarak, S.T., M.Eng ,

AnggotaPenguji 1: Setyawan Wahyu Pratomo, S.T., M.T. ,

AnggotaPenguji2: Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Eng ,

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 09 Oktober 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D**

045240101

## PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta



Muhammad Fachry Prabowo

## KATA PENGANTAR



*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah rabbil'alamin, rasa syukur dan terima kasih penulis haturkan pada-Mu ya Rabb atas karunia nikmat yang telah diberikan sehingga skripsi yang berjudul “Optimasi Pengembangan Penyedia Daya Cadangan *Hybrid* di Daerah Muntok Pulau Bangka” telah selesai dengan baik dan lancar. Tidak lupa sholawat dan salam tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW. yang menjadi teladan hidup bagi kita.

Rasa syukur penulis haturkan atas selesainya skripsi ini, sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca kedepannya. Banyak kesan dalam proses pengerjaan skripsi ini.

Terima kasih juga penulis haturkan kepada semua pihak yang terlibat dalam proses pengerjaan skripsi ini. Atas bimbingan, dukungan, kerja sama, dan fasilitas diucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Husein Mubarak S.T., M.Eng. selaku pembimbing I skripsi yang selalu memberikan bimbingan kepada penulis.
3. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang telah membimbing dan memberikan ilmunya selama duduk di bangku kuliah.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia yang telah membimbing penulis selama perkuliahan sehingga penulis dapat berada pada tahap ini.
5. Orang tuaku, Bapak R Eko Purwantoro dan Ibu Novianty terhebat dan terbaik serta kakak dan adik, Putri Rahmadayanti dan Nur Zahra Ramadhayani yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan inspirasi dalam bentuk apapun.

6. Geni Erjiani yang selalu memberikan semangat, motivasi dan inspirasi dalam bentuk apapun.
7. Hendra Pradana, Wisnu Ananda Priyata yang selalu bersama dalam mengerjakan skripsi ini baik di lab maupun perpustakaan.
8. Arie Yunika Chandra, Fatheh Alif Muhammad, Sanzi Faredi, Niko Santoso sebagai tempat berbagi disaat suka maupun duka dari menginjak bangku kuliah sampai dengan pengerjaan skripsi ini.
9. Saudara-saudara Teknik Elektro UII pada umumnya dan khususnya angkatan 2013 atas doa dan dukungannya.
10. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Adanya kekurangan dalam penulisan skripsi ini karena keterbatasan ilmu yang dimiliki penulis. Kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan penulis demi kesempurnaan skripsi ini untuk kedepannya. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca dan penggunanya.

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Yogyakarta,

Muhammad Fachry Prabowo

## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

BBM	: Bahan Bakar Minyak
COE	: <i>Cost of Energy</i>
D	: Diameter
HOMER	: <i>Hybrid Optimization Model for Electric Renewable</i>
HSD	: <i>High Speed Diesel</i>
kW	: <i>Kilo Watt</i>
kWh	: <i>Kilo Watt Hour</i>
L	: Liter
NPC	: <i>Net Present Costs</i>
O&M	: <i>Operation and Maintenance</i>
P	: <i>Power</i>
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
PLTD	: Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
PV	: <i>Photovoltaic Array</i>
Rp	: Rupiah
<i>Starting</i>	: Memulai
TAC	: <i>Total Annualize Cost</i>
V	: <i>Volt</i>
WT	: <i>Wind Turbine</i>

## ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan pembangkit listrik tenaga konvensional yang digunakan di daerah Muntok Pulau Bangka. Keunggulan PLTD generator diesel seperti waktu *starting* yang cepat dan memiliki efisiensi tinggi. Akan tetapi biaya operasional dan bahan bakar generator diesel sangat tinggi dibandingkan pembangkit sistem konvensional yang lainnya. Oleh karena itu peneliti menyarankan pembangkit dengan sistem *hybrid* PV- diesel, bayu-diesel dan PV-bayu-diesel sebagai penyedia daya cadangan di Daerah Muntok Pulau Bangka yang ekonomis dibandingkan hanya generator diesel saja. Perangkat lunak *HOMER* digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan sistem pembangkit *hybrid* mana yang paling optimal. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai ekonomis yaitu *net present costs* (NPC) dan *cost of energy* (COE) dan dilakukan perhitungan terhadap penggunaan dan produksi energi. Dalam penelitian ini perhitungan terhadap parameter dibuat 4 skenario sistem. Skenario 1 sistem yang digunakan hanya berasal dari generator yang beroperasi di PLTD daerah Muntok, skenario 2 sistem yang digunakan adalah generator yang beroperasi di PLTD daerah Muntok dan panel surya, skenario 3 sistem yang digunakan adalah generator yang beroperasi di PLTD daerah Muntok dan turbin angin sedangkan skenario 4 sistem yang digunakan adalah generator yang beroperasi di PLTD daerah Muntok, panel surya, dan turbin angin. Hasil dari penelitian ini adalah sistem *hybrid* pada skenario 4 mampu menghasilkan daya sebesar 7.987.584 kWh/tahun dan memiliki persentase menghasilkan sebesar 32% sumber energi listrik terbarukan dari total energi yang dihasilkan. Dari nilai ekonomis pembangkit dengan sistem *hybrid* yang paling optimal adalah skenario ke 4 sebesar Rp 187.881.238.771 dibandingkan skenario 1 yang sebesar Rp 233.132.785.290 dan nilai COE skenario 4 sebesar Rp 1.993,280/kWh lebih murah dibandingkan skenario 1 yang sebesar Rp 2.473,365/kWh

Kata kunci : *Renewable Energy*, turbin angin, sel surya, *HOMER*

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Studi Literatur.....	4
2.2 Tinjauan Teori .....	5
2.2.1 HOMER Pro .....	5
2.2.2 Pembangkit Sistem <i>Hybrid</i> .....	5
2.2.3 Total Produksi Energi .....	7
2.2.4 Net Present Cost.....	8
2.2.5 Cost of Energy .....	8
2.2.6 Renewable Penetration.....	8
BAB 3.....	9
METODOLOGI .....	9
3.1 Alat dan Bahan .....	9
3.2 Alur Penelitian.....	9
3.3 Komponen Utama Sistem .....	10
3.3.1 Generator Diesel .....	12
3.3.2 Photovoltaic Array(PV) .....	14
3.3.3 Turbin Angin.....	15
3.3.4 Konverter .....	15
3.4 Faktor Ekonomi .....	16
3.5 Kecepatan Angin .....	16
3.6 Intensitas Cahaya Matahari.....	17

3.7 Data Beban .....	17
BAB 4.....	19
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	19
4.1 Analisa Hasil .....	19
4.1.1 Hasil Optimasi Sistem Perangkat Lunak <i>HOMER</i> .....	19
4.1.2 Nilai Ekonomis Sistem Pembangkit .....	21
BAB 5.....	30
KESIMPULAN DAN SARAN .....	30
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA .....	31
LAMPIRAN .....	32

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram hubungan sel surya, modul, panel, <i>array</i> [9].....	6
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin[10] .....	7
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	10
Gambar 3.2 Skematik skenario 1 .....	11
Gambar 3.3 Skematik skenario 2 dengan PV .....	11
Gambar 3.4 Skematik Skenario 3 dengan <i>wind turbine</i> .....	12
Gambar 3.5 Skematik Skenario 4 dengan PV dan <i>wind turbine</i> .....	12
Gambar 3.6 Pengaturan Generator Diesel jenis ke 1.....	13
Gambar 3.7 Pengaturan Generator Diesel jenis ke 2.....	13
Gambar 3.8 Pengaturan Generator Diesel jenis ke 3.....	14
Gambar 3.9 Pengaturan PV .....	14
Gambar 3.10 Pengaturan Turbin Angin .....	15
Gambar 3.11 Pengaturan Konverter .....	16
Gambar 3.12 Pengaturan Kecepatan Angin .....	17
Gambar 3.13 Pengaturan Intensitas Cahaya Matahari .....	17
Gambar 3.14 Pengaturan Data Beban .....	18
Gambar 3.15 Pengaturan beban per jam .....	18
Gambar 4.1 Hasil simulasi komponen skenario 1 pada perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	19
Gambar 4.2 Hasil simulasi komponen skenario 2 pada perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	20
Gambar 4.3 Hasil simulasi skenario 3 pada perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	20
Gambar 4.4 Hasil simulasi skenario 4 pada perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	21
Gambar 4.5 Perhitungan <i>Net Present Costs</i> perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	22
Gambar 4.6 Perhitungan <i>Net Present Costs</i> perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	24
Gambar 4.7 Perhitungan <i>Net Present Costs</i> perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	26
Gambar 4.8 Perhitungan <i>Net Present Costs</i> perangkat lunak <i>HOMER</i> .....	28

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai ekonomis pembangkit skenario 1 .....	21
Tabel 4.2 Total produksi energi per tahun .....	21
Tabel 4.3 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun.....	22
Tabel 4.4 Nilai ekonomis pembangkit skenario 2 .....	23
Tabel 4.5 Tabel produksi energi per tahun.....	23
Tabel 4.6 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun.....	24
Tabel 4.7 Nilai ekonomis pembangkit skenario 3 .....	25
Tabel 4.8 Total produksi energi per tahun .....	25
Tabel 4.9 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun.....	26
Tabel 4.10 Nilai ekonomis pembangkit skenario 4.....	27
Tabel 4.11 Total produksi energi per tahun .....	27
Tabel 4.12 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun.....	28
Tabel 4.13 Perbandingan hasil nilai ekonomis pembangkit sistem <i>hybrid</i> dengan pembangkit sistem generator diesel .....	29

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga konvensional merupakan pembangkit listrik yang sampai saat ini masih digunakan dikarenakan pembangkit dengan tenaga konvensional merupakan sumber energi utama Negara Indonesia. Pemakaian energi di Indonesia berkembang pesat bersamaan dengan perkembangan ekonomi dan meningkatnya jumlah penduduk. Akan tetapi sumber energi semacam gas alam, batu bara, dan minyak bumi diprediksikan akan habis pada tahun 2050 mendatang. Oleh karena itu pembangkit listrik energi terbarukan yang bersumber dari air, cahaya matahari, maupun angin harus ditingkatkan. Sumber energi terbarukan bisa menjadi langkah alternatif sebagai sumber pembangkit listrik yang tetap tertuju kepada keseimbangan dinamika, aspek teknis, keselamatan lingkungan hidup dan ekonomi di Indonesia.

Pembangkit listrik tenaga konvensional masih banyak digunakan sebagai pembangkit utama daerah-daerah di Indonesia. Salah satu daerah di Indonesia yang masih menggunakan pembangkit dengan tenaga konvensional sebagai pembangkit utamanya adalah Pulau Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel(PLTD) masih digunakan sebagai pembangkit utama di Pulau Bangka terutama daerah Muntok. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel memang merupakan pembangkit listrik yang memiliki efisiensi yang tinggi akan tetapi untuk mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel ini memakan biaya yang sangat tinggi dikarenakan harga bahan bakar yang selalu meningkat dan juga performa pembangkit dengan tenaga diesel ini selalu berkurang yang disebabkan oleh pengoperasian secara terus menerus.

Daerah Muntok Pulau Bangka memiliki potensi untuk mengembangkan pembangkit dengan tenaga terbarukan seperti tenaga matahari dan juga tenaga angin.

Pada penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem *hybrid* sebagai penyedia pembangkit cadangan. Pembangkit sistem *hybrid* merupakan solusi yang tepat terutama untuk mengatasi permasalahan biaya produksi energi yang terbilang cukup tinggi hanya dengan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel saja. Bisa dikatakan bahwa sistem *hybrid* lebih ekonomis. Optimasi merupakan solusi untuk menemukan nilai optimal dalam sistem *hybrid*.

Terdapat beberapa perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mempermudah proses optimasi yaitu *HOMER*, *Hybrid2*, *Matlab* dan lain sebagainya. Namun pada penelitian ini menggunakan perangkat *HOMER*[1].

Pembangkit sistem *hybrid* umumnya terdiri dari dua kategori yaitu pembangkit sistem *hybrid* murni energi terbarukan dan pembangkit *hybrid* dengan menggunakan energi terbarukan dan tidak terbarukan seperti generator diesel. Variasi energi terbarukan yang diterapkan pada penelitian ini disesuaikan dengan sumber energi yang memiliki potensi di daerah Muntok Pulau Bangka.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari 3 jenis pembangkit sistem *hybrid* PV-Diesel, Bayu-Diesel, dan PV-Bayu-Diesel, pembangkit dengan sistem *hybrid* manakah yang paling ekonomis?

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan penelitian yang diberikan yaitu;

1. Tidak membahas secara detail mengenai rangkaian kontrol yang digunakan dalam perancangan.
2. Tidak membahas perhitungan konstruksi sipil.
3. Potensi energi terbarukan didapatkan dari *Power Data Access Viewer Nasa* dan *HOMER*.
4. Semua perhitungan dalam tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *HOMER*.
5. Hasil optimasi didapatkan dari simulasi perangkat lunak *HOMER*.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah dan batasan masalah yang telah disampaikan, Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan sistem penyedia daya cadangan *hybrid* dengan nilai yang paling ekonomis dan paling efisien dibandingkan hanya menggunakan sistem dengan tenaga konvensional saja.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah dalam segi aspek tekno-ekonomi dan lingkungan, yang berarti pengguna teknologi dengan sistem energi terbarukan dapat memberikan pembangkit cadangan yang lebih ekonomis sebagai pembangkit cadangan di daerah Muntok Pulau Bangka sehingga dapat menghemat biaya yang digunakan, dan dalam aspek lingkungan, dengan menggunakan pembangkit sistem *hybrid* maka penggunaan pembangkit konvensional dapat berkurang sehingga dapat mengurangi produksi gas emisi ke lingkungan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

Penelitian tentang pembangkit *hybrid*-diesel telah banyak dilakukan. Ada penelitian dari S. Ghose, A. El Shahat dan R.J. Haddad tentang *Wind-Solar Hybrid Power System Cost Analysis using HOMER for Statesboro*[2]. Dalam penelitian yang dilakukan, perbandingan antara sistem *hybrid* yang terhubung dengan grid untuk Statesboro tanpa mempertimbangkan efek dari variabel sensitivitas. Hasil dari simulasi menunjukkan sistem tenaga *hybrid* solar dan angin lebih hemat biaya daripada jaringan yang terhubung untuk beban yang sama. Model *HOMER* yang dirancang lebih hemat biaya dengan COE sebesar 0,0618\$/kWh dan rata-rata tarif listrik perumahan di Statesboro adalah 0,116\$/kWh.

Kemudian ada penelitian dari S. Pak Pahan tentang Sistem *Wind*-Diesel untuk Pembangkit Listrik di Lokasi Dengan Kecepatan Angin Menengah di Indonesia[3], dalam penelitian yang dilakukan kecepatan angin bisa dikategorikan menjadi tiga skala, yaitu skala kecil, menengah dan besar. Secara teknis, pengertian skala kecil adalah pemanfaatan turbin-turbin angin sampai kapasitas 10kW terpasang per unit dengan kecepatan angin rata-rata 2,5 – 4,0 m/s di lokasi, skala menengah dari 10 kW – 100kW dengan kecepatan angin rata-rata 4,0 – 5,0m/s, sedangkan skala besar adalah turbin angin kapasitas di atas 100kW dengan kecepatan angin rata-rata tahunan di atas 5,0m/s.

Kemudian penelitian dari D.K. Yadav, S.P.Girimaji dan T.S. Bhatti tentang *Optimal Hybrid Power System Desing Using HOMER*[4], membahas tentang sistem *hybrid wind*-diesel mengurangi jumlah dari diesel yang dibutuhkan sehingga berpengaruh pada biaya operasional dibandingkan dengan hanya menggunakan diesel saja. Pengurangan emisi gas akan membantu melawan pemanasan global. Dengan kemajuan teknologi, biaya sumber daya terbarukan terus menurun dan di sisi lain, kenaikan harga solar membuat pilihan energi terbarukan lebih layak karena generator mengkonsumsi lebih dari sepuluh kali biaya modal bahan bakar dalam satu tahun saja. Dengan meningkatnya kecepatan angin di malam hari, penghematan akan jauh lebih tinggi dan sistem *hybrid wind*-diesel ini terbukti menjadi pilihan yang lebih baik untuk menyediakan listrik yang hemat biaya dan bersih dibandingkan dengan pembangkit listrik diesel saja.

Kemudian ada penelitian dari I. Elsayed, I. Nassar dan F.Mostafa tentang *Optimization and Economic Evaluation of Small Scale Hybrid Solar/Wind Power For Remote Areas In Egypt*[5],

energi angin dan matahari dipertimbangkan sebagai sumber energi yang bersih dan berkelanjutan. Sistem *hybrid* angin dan PV. Kombinasi sistem *hybrid* lebih ekonomis dan layak secara teknis dibandingkan dengan hanya sistem PV saja. Total *Net Present cost* dalam kasus sistem sistem *hybrid* lebih rendah dari sistem hanya dengan PV. Dengan menggunakan sistem *hybrid* dapat mengurangi jumlah baterai dan konverter yang digunakan dalam sistem dan hasilnya mengurangi total *net present cost* sistem, membuatnya lebih dapat diandalkan dan memenuhi permintaan beban. Pemasangan sistem *hybrid* PV-angin untuk memasok listrik ke daerah-daerah terpencil di setiap bagian Mesir lebih layak, andal, hemat biaya dibandingkan sistem PV yang berdiri sendiri.

## 2.2 Tinjauan Teori

### 2.2.1 HOMER Pro

*HOMER* adalah model perangkat lunak yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Amerika Serikat yang bertujuan untuk optimasi sistem pembangkit listrik, *HOMER* dilengkapi dengan output estimasi ukuran/kapasitas sistem, *lifecycle cost*, dan emisi gas rumah kaca. Perangkat lunak *HOMER microgrid* memberikan simulasi kronologis yang rinci dan optimasi dalam suatu model yang relatif sederhana dan mudah untuk digunakan. Hal ini disesuaikan dengan berbagai macam proyek. Untuk sistem listrik desa atau skala *power system*, *HOMER* dapat digunakan untuk dua faktor, yaitu bagian teknis dan ekonomi dalam proyek yang sedang dikerjakan. Untuk sistem yang lebih besar, *HOMER* dapat memberikan gambaran penting yang membandingkan biaya dan kelayakan konfigurasi yang berbeda, sehingga desainer dapat menggunakan perangkat lunak yang lebih khusus untuk model kinerja teknis. Analisis sensitivitas *HOMER* membantu menentukan dampak potensial dari faktor yang tidak pasti seperti harga bahan bakar atau kecepatan angin dan intensitas cahaya pada sistem tertentu[6].

### 2.2.2 Pembangkit Sistem Hybrid

Pembangkit sistem *Hybrid* adalah gabungan pembangkit dengan kombinasi sumber energi yang berbeda. Pembangkit sistem *Hybrid* dapat mengatasi keterbatasan bahan bakar pada sumber energi. Umumnya, Pembangkit sistem *Hybrid* terdiri dari generator diesel, sistem penyaluran listrik AC, sistem penyaluran listrik DC, beban, sumber energi terbarukan, sistem penyimpanan energi, konverter, sistem gabungan generator diesel, beban yang teruang, manajemen beban atau sistem pengawasan. Dalam pembangkit sistem *Hybrid*, keluaran dari sumber energi terbarukan

pada awalnya perlu dikondisikan untuk mengurangi guncangan beban. Tujuan perancangan pembangkit dengan sistem *hybrid* adalah untuk mendapatkan efisiensi penggunaan bahan bakar(menghemat bahan bakar) dari pembangkit konvensional (umumnya generator diesel) dan juga meningkatkan keandalan (realibilitas) pembangkit dengan sumber energi terbarukan. Pengembangan dan penggunaan pembangkit dengan sumber energi terbarukan sangatlah pesat, diketahui saat ini PV dan *wind turbine*(WT) telah banyak diaplikasikan sebagai pembangkit. Sifat alami dari energi terbarukan seperti PV dan WT yang hanya dapat menghasilkan energi dalam waktu tertentu dijadikan dasar dalam penerapan pembangkit sistem *hybrid* [7].

#### a. Generator Diesel

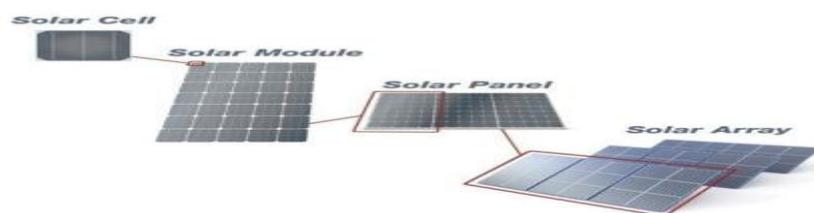
Generator diesel merupakan jenis pembangkit listrik konvensional yang digerakkan oleh teknologi mesin piston berbahan bakar *high speed diesel* (HSD). Generator diesel mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi tenaga mekanik untuk menggerakkan rotor generator induksi untuk menghasilkan tenaga listrik. Injeksi bahan bakar dan kecepatan putar mesin dapat ditentukan oleh konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan beban daya. Biaya modal yang murah dan efisiensi bahan bakar yang tinggi jika beroperasi pada kapasitas maksimum merupakan keunggulan dari generator diesel. Akan tetapi kekurangan dari generator diesel adalah biaya bahan bakar yang sangat tinggi dan menghasilkan gas emisi yang berdampak buruk pada lingkungan [8].

#### b. Photovoltaic Array(PV)

*Photovoltaic Array* merupakan suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Proses konversi ini terjadi pada modul surya yang terdiri dari sel-sel surya. Berdasarkan teknologi pembuatannya sel surya dapat dibagi dalam tiga jenis, yaitu[9]:

1. *Monocrystalline Solar Cell*
2. *Polycrystalline Solar Cell*
3. *Thin Film Solar Cell*(TFSC)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan susunan sel surya hingga membentuk suatu array.



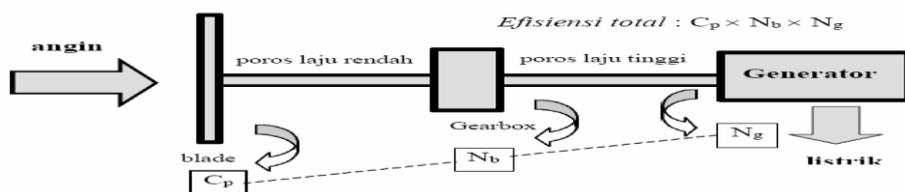
Gambar 2.1 Diagram hubungan sel surya, modul, panel, array[9]

Beberapa faktor yang mempengaruhi pengoperasian maksimum modul surya yaitu[9]:

1. Temperatur
2. Intensitas Cahaya Matahari
3. Orientasi Rangkaian Modul Surya
4. Sudut Orientasi Matahari(*Tilt Angle*)

### c. *Wind Turbine*

Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi gerak angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik[10]. Pada Gambar 3.2 menunjukkan prinsip kerja turbin angin.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin[10].

Komponen yang menghasilkan listrik pada rangkaian turbin angin adalah generator. Energi kinetik yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor[10].

### 2.2.3 Total Produksi Energi

Total Produksi energi selama masa operasional dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-1.

$$E_{total\ produksi} = E_{Generator\ diesel} + E_{PV} + E_{wind\ turbine} \quad (2-1)$$

Dimana:

$E_{total\ produksi}$  = total produksi energi(kWh).

$E_{Generator\ diesel}$  = total produksi energi generator diesel(kWh).

$E_{PV}$  = total produksi energi PV(kWh).

$E_{wind\ turbine}$  = total produksi energi *wind turbine*(kWh).

## 2.2.4 Net Present Cost

*Net Present Cost*(NPC) adalah biaya total dari semua biaya pemasangan dan pengoperasian komponen selama masa proyek berlangsung. *Net Present Cost*(NPC) sendiri dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-2.

$$NPC = Capital Costs + Replacement Costs + O\&M Costs + Fuel Costs - Salvage \quad (2-2)$$

Dimana:

*Capital Costs* = biaya modal komponen

*Replacement Costs* = biaya pergantian komponen

*O&M Costs* = biaya operasional dan perawatan

*Fuel Costs* = biaya bahan bakar

*Salvage* = biaya yang tersisa pada komponen.

## 2.2.5 Cost of Energy

*Cost of Energy*(COE) merupakan biaya yang diperlukan untuk menghasilkan tiap 1 kWh energi listrik yaitu, hasil pembagian antara biaya tahunan dengan produksi energi tahunan oleh pembangkit cadangan sistem *hybrid*. Nilai COE dari masing-masing skenario menggunakan Persamaan 2-3.

$$COE = \frac{TAC}{E_{total\ served}} \quad (2-3)$$

Dimana:

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

TAC = total *annualize costs* atau biaya total tahunan yang dikeluarkan untuk pembangkit cadangan.

## 2.2.6 Renewable Penetration

*Renewable Penetration* adalah kapasitas energi listrik yang berdasarkan sumber energi terbarukan dari total energi yang dihasilkan oleh pembangkit cadangan. Energi listrik dari sumber energi terbarukan dihasilkan oleh *Renewable Energy System*(RES). Sehingga dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-4.

$$RF = \frac{E_{total\ RES}}{E_{total\ system}} * 100\% \quad (2-4)$$

Dimana:

$E_{total\ RES}$  = total energi listrik yang dihasilkan oleh *Renewable Energy System*(kWh)

$E_{total\ system}$  = total energi yang dihasilkan pembangkit sistem(kWh).

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Alat dan Bahan

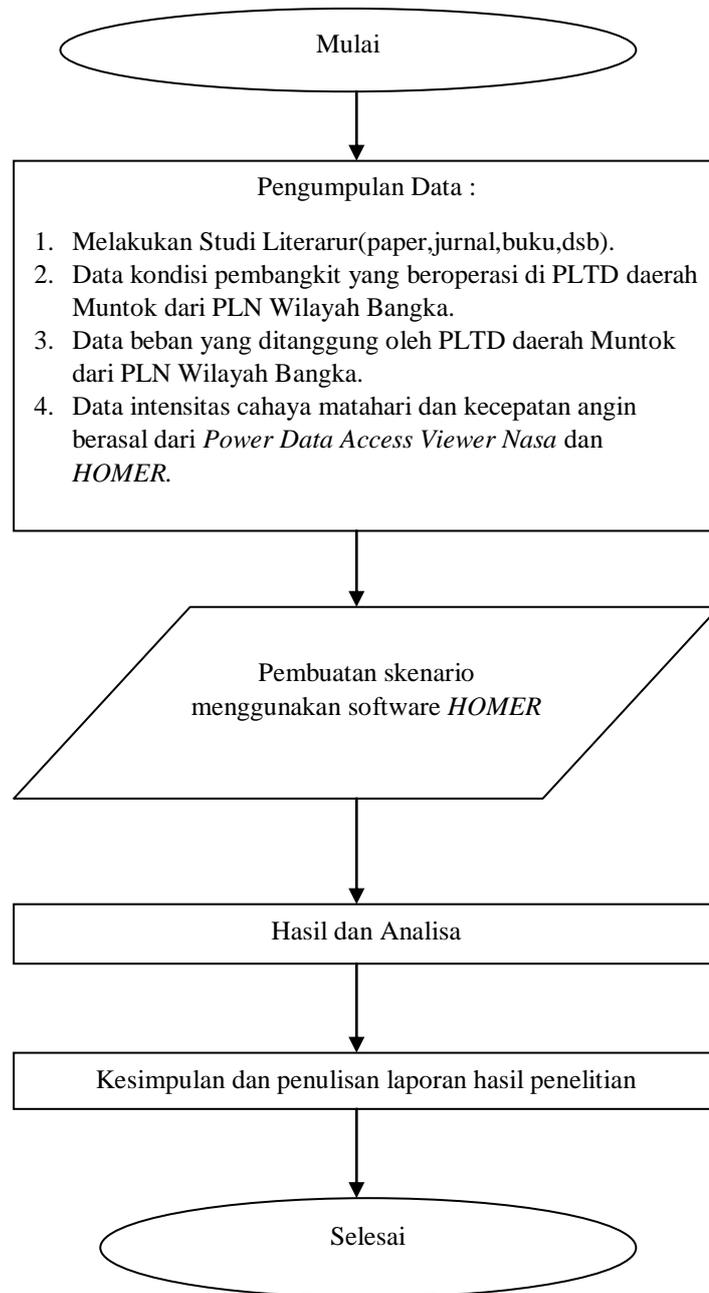
Pada penelitian ini alat yang digunakan berupa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang digunakan adalah laptop dengan *processor core i5 1,70 GHz*, dengan RAM berkapasitas 8GB, VGA berkapasitas 2GB dan kertas ukuran A4. Untuk perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah *HOMER PRO* versi 3.8.5, *Microsoft word 2007*, *snagit editor* dan *Microsoft paint*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Data generator pembangkit yang ada di PLTD daerah Muntok,
2. Data beban yang ditanggung oleh PLTD daerah Muntok,
3. Data potensi sumber daya alam (angin dan cahaya matahari) yang ada di daerah Muntok dari *Power Data Access Viewer Nasa* dan *HOMER*,
4. Jurnal dan artikel yang memuat tentang pembangkit sistem *hybrid*, dan
5. Harga komponen-komponen pembangkit yang didapatkan dari *website* penjualan *online* komponen pembangkit.

#### 3.2 Alur Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur jurnal, paper dan sebagainya yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Setelah melakukan studi literatur langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu data kondisi pembangkit yang digunakan di daerah Muntok, data beban yang ditanggung oleh PLTD daerah Muntok, data intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin yang didapatkan dari *Power Data Access Viewer Nasa* dan *HOMER*. Setelah memperoleh data yang dibutuhkan, langkah berikutnya adalah pembuatan skenario simulasi atau permodelan dengan menggunakan perangkat lunak *HOMER*. Setelah dilakukan simulasi hasil yang didapat dianalisa. Langkah terakhir adalah menuliskan hasil penelitian ke dalam laporan penelitian dan memberikan kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan. Alur penelitian dijelaskan pada Gambar 3.1.

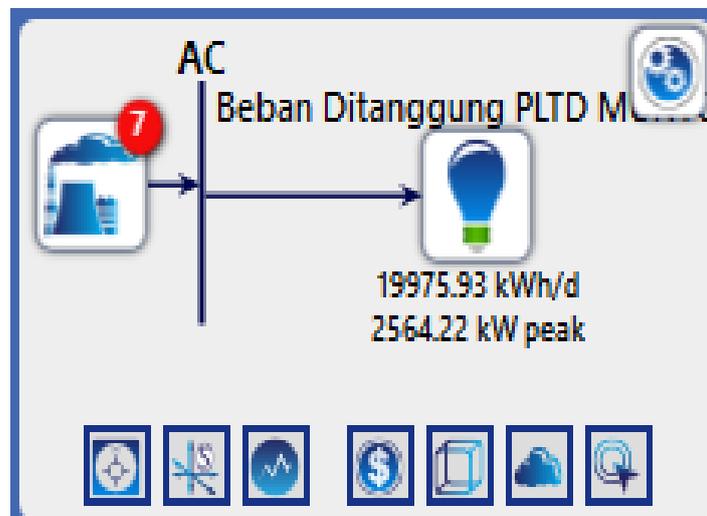


Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

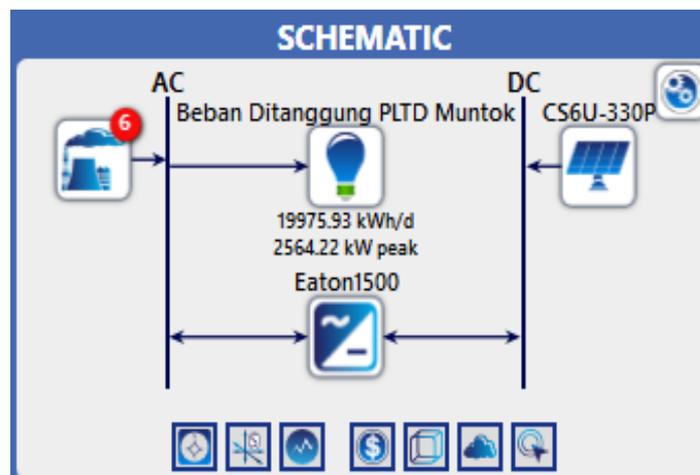
### 3.3 Komponen Utama Sistem

Komponen utama dalam penelitian ini terdiri dari 3 set generator generator 1.100 kW, 3 set generator 1.285 kW, 1 set generator 528 kW, PV, turbin angin dan konverter. Pada penelitian ini terbagi menjadi 4 skenario. Skenario pertama menggunakan komponen 7 set generator diesel yang terpasang di PLTD daerah Muntok, terdapat pada Gambar 3.2, skenario kedua menggunakan 7 set generator dieser yang terpasang di PLTD daerah Muntok, PV dan konverter,

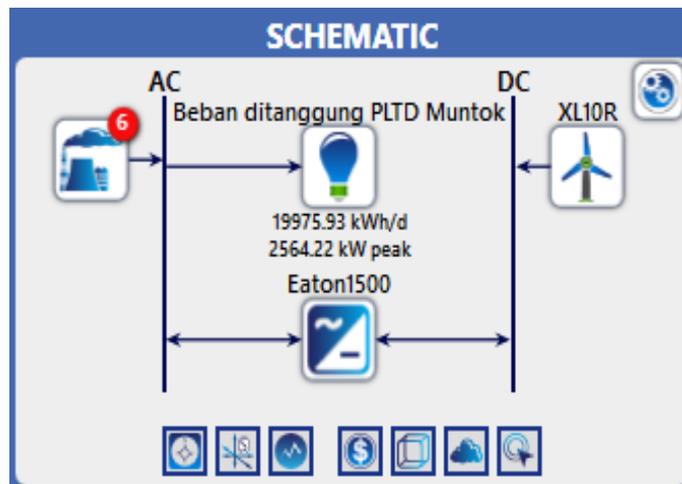
terdapat pada Gambar 3.3, skenario ketiga menggunakan 7 set generator diesel yang terpasang di PLTD daerah Muntok, turbin angin dan konverter, terdapat pada Gambar 3.4 dan skenario keempat menggunakan 6 set generator diesel yang terpasang di PLTD daerah Muntok, PV, turbin angin dan konverter, terdapat pada Gambar 3.5.



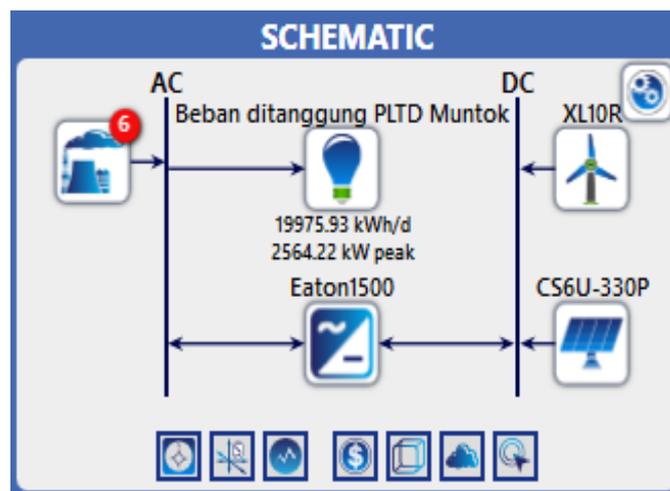
Gambar 3.2 Skematik skenario 1



Gambar 3.3 Skematik skenario 2 dengan PV



Gambar 3.4 Skematik Skenario 3 dengan *wind turbine*



Gambar 3.5 Skematik Skenario 4 dengan PV dan *wind turbine*

### 3.3.1 Generator Diesel

PLTD daerah Muntok menggunakan 3 jenis generator dengan kapasitas masing-masing 1.285 kW, 1.100 kW dan 528 kW kemudian data 3 jenis generator tersebut digunakan untuk mengatur generator diesel yang digunakan saat perancangan menggunakan perangkat lunak *HOMER*. *Life time* dari generator diesel adalah selama 131.400 jam. Biaya penggantian dari generator diesel sebesar Rp 2.157.000.000. biaya operasi dan perawatan senilai Rp 15.000/jam untuk biaya bahan bakar dengan menggunakan solar industri dengan harga Rp 8700/L [11]. Pada Gambar 3.6, Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 diperlihatkan pengaturan generator yang digunakan PLTD Muntok.

**GENERATOR**  Name:  Abbreviation:  Remove

Copy To Library

**Properties**

Name: **Generic Large (size-your-ow)**  
 Abbreviation: **GenLarge**  
 Manufacturer: **Generic**  
[www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com)  
 Notes:

**Costs**

Capacity (kW)	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/hr)
1100	Rp0.0	Rp2,157,000,000.00	Rp15,000

Click here to add new item

Multiplier:

**Site Specific Input**

Minimum Load Ratio (%):    
 Heat Recovery Ratio (%):    
 Lifetime (Hours):    
 Minimum Runtime (Minutes):

**Capacity Optimization**

Size (kW)
0
1100

Electrical Bus  AC  DC

Gambar 3.6 Pengaturan Generator Diesel jenis ke 1

**GENERATOR**  Name:  Abbreviation:  Remove

Copy To Library

**Properties**

Name: **Generic Large (size-your-ow)**  
 Abbreviation: **GenLarge (3)**  
 Manufacturer: **Generic**  
[www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com)  
 Notes:

**Costs**

Capacity (kW)	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/hr)
1285	Rp0.0	Rp2,519,768,181.00	Rp15,000

Click here to add new item

Multiplier:

**Site Specific Input**

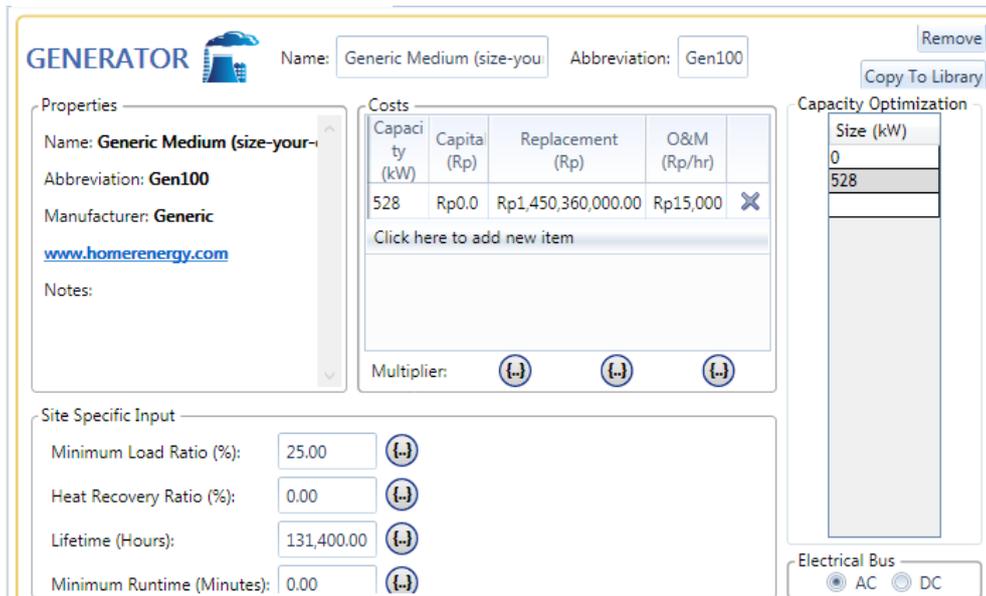
Minimum Load Ratio (%):    
 Heat Recovery Ratio (%):    
 Lifetime (Hours):    
 Minimum Runtime (Minutes):

**Capacity Optimization**

Size (kW)
0
1285

Electrical Bus  AC  DC

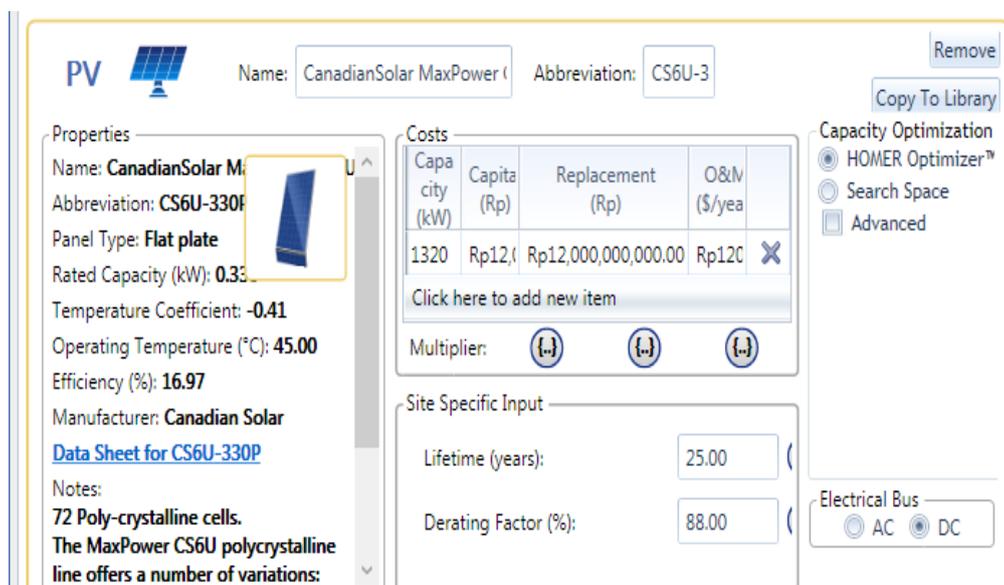
Gambar 3.7 Pengaturan Generator Diesel jenis ke 2



Gambar 3.8 Pengaturan Generator Diesel jenis ke 3

### 3.3.2 Photovoltaic Array(PV)

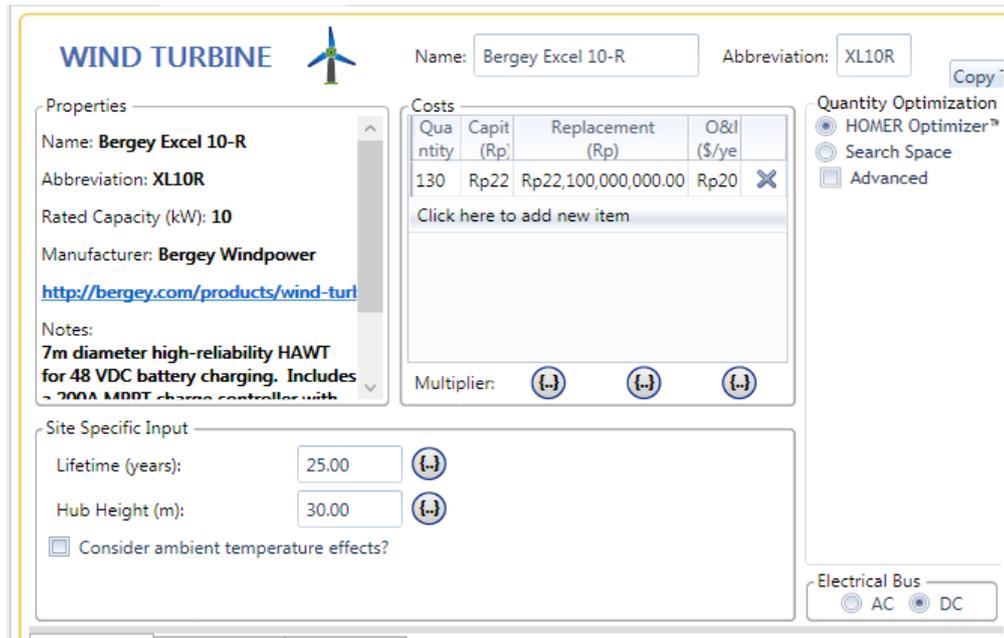
*Photovoltaic Array* atau PV yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Canadian Solar Maxpower* dengan kapasitas 1 set sebesar 330 W. Pada Gambar 3.9 diperlihatkan pengaturan PV yang akan digunakan dalam perancangan menggunakan *HOMER* dengan jumlah PV sebanyak 4000 set dengan kapasitas 1320 kW. Biaya modal dan penggantian senilai Rp 12.000.000.000. biaya perawatan PV sebesar Rp 120.000.000 per tahun. *Life time* dari *Photovoltaic Array* (PV) jenis ini adalah selama 25 tahun.



Gambar 3.9 Pengaturan PV

### 3.3.3 Turbin Angin

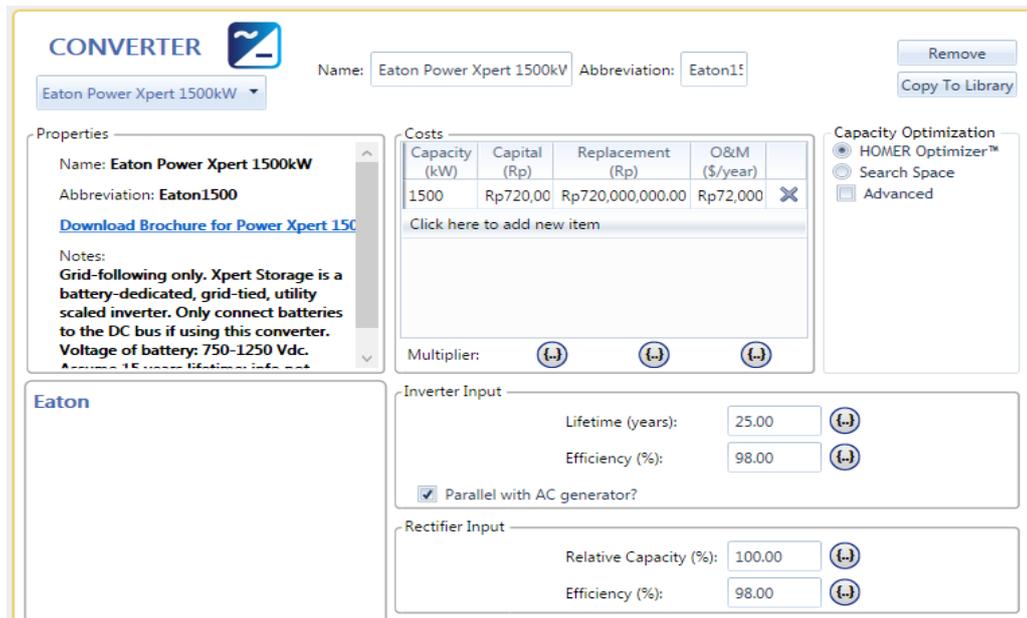
Turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin angin *Bergey Excel 10-R* dengan kapasitas 1 set sebesar 10 kW. Pada Gambar 3.10 diperlihatkan pengaturan turbin angin yang akan digunakan dalam perancangan menggunakan *HOMER* dengan jumlah turbin angin sebanyak 130 set dengan kapasitas 1300 kW. Biaya modal dan penggantian dari turbin angin ini senilai Rp 22.100.000.000, biaya perawatan turbin angin senilai Rp 200.000.000 per tahun. *Life time* dari turbin angin jenis ini adalah selama 25 tahun.



Gambar 3.10 Pengaturan Turbin Angin

### 3.3.4 Konverter

Konverter yang digunakan dalam penelitian ini adalah konverter jenis *Eaton Power Xpert* dengan kapasitas 1500 kW. Pada Gambar 3.11 diperlihatkan pengaturan konverter yang akan digunakan dalam perancangan menggunakan *HOMER*. Biaya modal dan penggantian dari konverter ini adalah Rp 720.000.000, biaya perawatan konverter sebesar Rp 72.000.000.000 per tahun dan *Life time* dari konverter ini adalah selama 25 tahun.



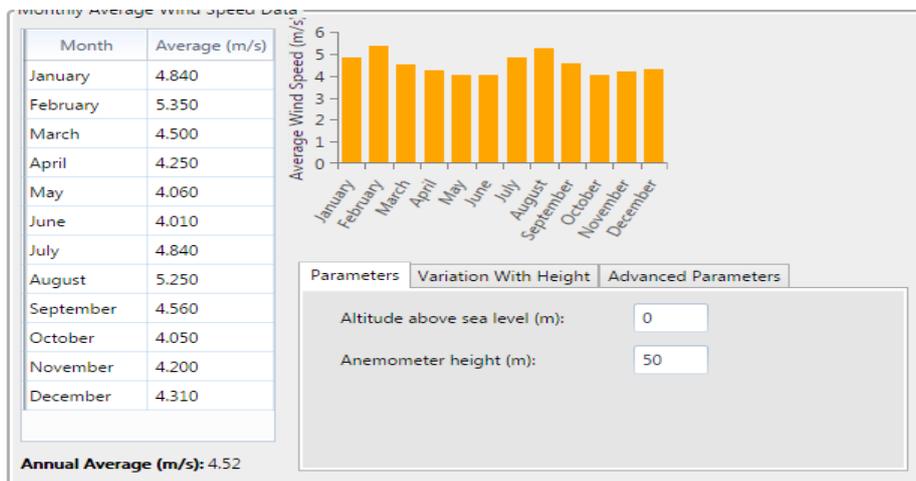
Gambar 3.11 Pengaturan Konverter

### 3.4 Faktor Ekonomi

*Discount Rate* adalah tingkat bunga yang dibebankan oleh bank sentral atas pinjaman yang diberikan kepada bank umum. *Discount rate* berfungsi sebagai instrument kebijakan moneter disuatu Negara. Pada Juli 2018 *Discount rate* yang ditentukan di Indonesia sebanyak 5,25% [12] dengan harapan inflasi sebesar 4% [13]. Umur proyek (tahun) merupakan perkiraan waktu proyek yang akan dikerjakan. Umur proyek digunakan dalam *HOMER* untuk memperhitungkan biaya masing-masing komponen dan biaya penggantian selama setahun. Penelitian ini menggunakan satuan harga dalam rupiah.

### 3.5 Kecepatan Angin

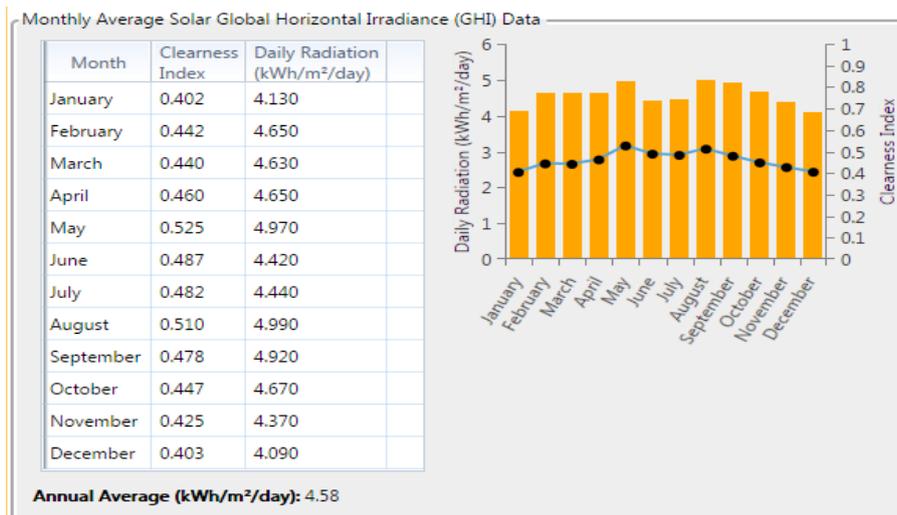
Data kecepatan angin daerah Muntok dalam penelitian ini didapat dari *Power Data Access Viewer Nasa* dan *HOMER*. Gambar 3.12 memperlihatkan pengaturan kecepatan angin yang akan digunakan sebagai sumber energi dalam perancangan *HOMER*. Kecepatan angin yang dihasilkan adalah rata-rata kecepatan angin perbulan selama satu tahun.



Gambar 3.12 Pengaturan Kecepatan Angin

### 3.6 Intensitas Cahaya Matahari

Data intensitas cahaya matahari daerah Muntok dalam penelitian ini didapat dari *Power Data Access Viewer Nasa* dan *HOMER*. Gambar 3.13 memperlihatkan pengaturan intensitas cahaya matahari yang akan digunakan sebagai sumber energi dalam perancangan *HOMER*. Intensitas cahaya matahari yang dihasilkan adalah rata-rata intensitas cahaya matahari perbulan selama satu tahun.

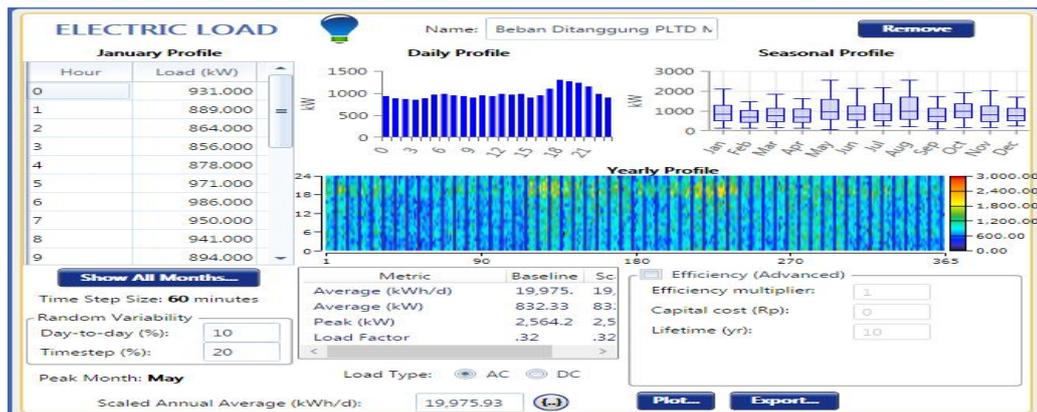


Gambar 3.13 Pengaturan Intensitas Cahaya Matahari

### 3.7 Data Beban

Data beban daerah Muntok diperoleh dari PLN wilayah Bangka. Data beban dalam penelitian ini merupakan beban yang ditanggung oleh generator yang beroperasi di PLTD Muntok. Setelah data beban yang ditanggung generator PLTD Muntok dimiliki data beban

diinput ke dalam *HOMER*. Pada Gambar 3.14 memperlihatkan pengaturan beban yang akan digunakan dalam perancangan *HOMER*.



Gambar 3.14 Pengaturan Data Beban

Gambar 3.15 merupakan pengaturan lengkap beban pada sistem. Dalam skala per jam setiap bulan. Nilai beban yang dimasukkan dalam *HOMER* adalah nilai rata-rata beban per bulan. Pada penelitian ini hanya memasukkan nilai rata-rata beban bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November, Desember pada tahun 2017.

Hour	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	931.000	762.000	880.000	788.000	1,088.000	945.000	905.000	1,059.000	852.000	1,127.000	915.000	848.000
1	889.000	728.000	849.000	764.000	1,040.000	914.000	888.000	957.000	816.000	1,085.000	839.000	867.000
2	864.000	719.000	826.000	743.000	1,033.000	897.000	867.000	868.000	809.000	1,071.000	847.000	785.000
3	856.000	710.000	817.000	729.000	1,036.000	927.000	812.000	867.000	799.000	1,075.000	855.000	828.000
4	878.000	778.000	887.000	775.000	1,115.000	902.000	923.000	921.000	846.000	1,138.000	944.000	887.000
5	971.000	901.000	951.000	853.000	1,202.000	948.000	1,074.000	1,025.000	916.000	1,165.000	1,019.000	984.000
6	986.000	845.000	932.000	799.000	1,092.000	860.000	974.000	945.000	835.000	1,059.000	951.000	963.000
7	950.000	827.000	884.000	780.000	1,117.000	876.000	972.000	911.000	864.000	1,087.000	946.000	936.000
8	941.000	832.000	837.000	792.000	1,108.000	951.000	939.000	915.000	911.000	1,084.000	957.000	930.000
9	894.000	826.000	813.000	794.000	1,104.000	987.000	933.000	922.000	887.000	1,040.000	916.000	894.000
10	946.000	805.000	818.000	803.000	1,098.000	954.000	1,016.000	1,027.000	919.000	1,099.000	915.000	888.000
11	938.000	825.000	834.000	804.000	1,110.000	1,007.000	966.000	1,026.000	930.000	1,147.000	933.000	898.000
12	978.000	796.000	855.000	831.000	1,138.000	1,018.000	951.000	1,078.000	943.000	1,159.000	948.000	916.000
13	968.000	826.000	833.000	843.000	1,138.000	1,106.000	875.000	1,155.000	917.000	1,139.000	926.000	917.000
14	980.000	827.000	813.000	846.000	1,133.000	1,093.000	863.000	1,151.000	951.000	1,132.000	970.000	905.000
15	908.000	808.000	869.000	866.000	1,120.000	1,087.000	884.000	1,162.000	930.000	1,147.000	960.000	930.000
16	948.000	805.000	864.000	812.000	1,101.000	1,061.000	858.000	1,064.000	881.000	1,187.000	1,010.000	944.000
17	1,096.000	909.000	998.000	1,007.000	1,471.000	1,297.000	1,227.000	1,536.000	1,123.000	1,219.000	1,280.000	1,078.000
18	1,300.000	1,080.000	1,199.000	1,068.000	1,615.000	1,382.000	1,355.000	1,690.000	1,205.000	1,325.000	1,292.000	1,185.000
19	1,267.000	1,051.000	1,172.000	1,059.000	1,599.000	1,330.000	1,371.000	1,656.000	1,177.000	1,240.000	1,234.000	1,179.000
20	1,238.000	1,023.000	1,145.000	1,040.000	1,591.000	1,216.000	1,313.000	1,623.000	1,166.000	1,248.000	1,227.000	1,124.000
21	1,147.000	942.000	1,017.000	959.000	1,526.000	1,257.000	1,176.000	1,461.000	1,134.000	1,204.000	1,134.000	1,105.000
22	989.000	895.000	906.000	905.000	1,246.000	1,085.000	1,004.000	1,183.000	1,068.000	1,178.000	1,058.000	1,060.000
23	903.000	791.000	846.000	827.000	1,164.000	969.000	869.000	1,085.000	952.000	1,097.000	962.000	977.000

Gambar 3.15 Pengaturan beban per jam

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Hasil

Pada penelitian ini dilakukan skenario perancangan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) *HOMER PRO* 3.8.5 dengan simulasi dari sistem penyedia daya cadangan *hybrid* surya-diesel, sistem *hybrid* bayu-diesel dan sistem *hybrid* surya-bayu-diesel. Pembangkit sistem *hybrid* yang telah disimulasikan dibandingkan dengan sistem pembangkit di daerah Muntok yang hanya menggunakan generator diesel. Perbandingan simulasi ini bertujuan agar mendapatkan penyedia daya cadangan untuk Daerah Muntok yang ekonomis juga meningkatkan penggunaan sumber energi terbarukan. Analisa hasil dilakukan dengan masa operasi sistem selama 25 tahun.

##### 4.1.1 Hasil Optimasi Sistem Perangkat Lunak *HOMER*

Hasil optimasi didapatkan setelah proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *HOMER* selesai dikerjakan. Tujuan dari proses simulasi ini adalah untuk menentukan variabel optimum pada masing-masing komponen utama yang terpasang pada saat operasi,

Hasil simulasi komponen pada skenario 1 terdiri dari 3 set generator diesel 1.100 kW, 3 set generator diesel 1.285 kW dan 1 set generator diesel 528 kW terdapat pada Gambar 4.1.

Architecture																
							GenLarge (kW)	GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (3) (kW)	GenLarge (4) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Gen100 (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)
							1,100	1,100	1,100	1,285	1,285	1,285	528	CC	Rp2,473	Rp2:

Architecture							Cost				System
GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (3) (kW)	GenLarge (4) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Gen100 (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)
1,100	1,285	1,285	1,285	528	CC	Rp2,473	Rp233B	Rp18.0B	Rp0.00	0.0	

Gambar 4.1 Hasil simulasi komponen skenario 1 pada perangkat lunak *HOMER*

Kemudian skenario 2 terdiri dari 3 set generator diesel 1.100 kW, 2 set generator diesel 1.285 kW, 1 set generator diesel 528 kW dan ditambahkan sumber energi terbarukan yaitu 4000 set *Photovoltaic Array*(PV) 330 W serta konverter 1.500 kW yang terlihat pada Gambar 4.2.

Architecture										
CS6U-330P (kW)	GenLarge (kW)	GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (4) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Gen100 (kW)	Eaton1500 (kW)	Dispatch		
1,320	1,100	1,100	1,100	1,285	1,285	528	962	CC		

Architecture							Cost			
GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (4) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Gen100 (kW)	Eaton1500 (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp)	Initial capital (Rp)
1,100	1,100	1,285	1,285	528	962	CC	Rp2,125	Rp2008	Rp14.5B	Rp12.5B

Gambar 4.2 Hasil simulasi komponen skenario 2 pada perangkat lunak HOMER

Skenario ke 3 terdiri dari 3 set generator diesel 1.100 kW, 2 set generator diesel 1.285 kW, 1 set generator diesel 528 kW dan ditambahkan sumber energi terbarukan yaitu 128 set *wind turbine* 10 kW serta konverter 1.500 kW yang terlihat pada Gambar 4.3.

Architecture							
XL10R	GenLarge (kW)	GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (3) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Gen100 (kW)	
128	1,100	1,100	1,100	1,285	1,285	528	

Architecture							Cost				
GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (3) (kW)	GenLarge (4) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Gen100 (kW)	Eaton1500 (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp)	Initial capital (Rp)
1,100	1,285	1,285	1,285	528	1,425	CC	Rp2,045	Rp1938	Rp11.6B	Rp43.2B	

Gambar 4.3 Hasil simulasi skenario 3 pada perangkat lunak HOMER

Skenario ke 4 terdiri dari 2 set generator diesel 1.100 kW, 3 set generator diesel 1.285 kW dan ditambahkan sumber energi terbarukan yaitu 65 set *wind turbine*, 2000 set *Photovoltaic Array* (PV) serta konverter 1.500 kW yang terlihat pada Gambar 4.4.

Architecture								
CS6U-330P (kW)	XL10R	GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (3) (kW)	GenLarge (4) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Gen100 (kW)	
660	65	1,100	1,100	1,285	1,285	1,285	528	

Architecture								Cost			
GenLarge (kW)	GenLarge (1) (kW)	GenLarge (2) (kW)	GenLarge (3) (kW)	GenLarge (4) (kW)	GenLarge (5) (kW)	Eaton1500 (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp)	Initial capital (Rp)
100	1,100	1,100	1,285	1,285	1,285	1,500	CC	Rp1,993	Rp1888	Rp11.08	Rp46.28

Gambar 4.4 Hasil simulasi skenario 4 pada perangkat lunak HOMER

#### 4.1.2 Nilai Ekonomis Sistem Pembangkit

##### a) Skenario 1

Nilai ekonomis pembangkit sistem konvensional menggunakan generator diesel diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai ekonomis pembangkit skenario 1

Kriteria Penilaian	Nilai
Total Produksi Energi (kWh)/tahun	7.291.468
NPC(Rupiah)	233.132.785.290
Cost Of Energy(Rupiah)	2.473,36
Renewable Penetration(%)	0

Total produksi energi dengan menggunakan sistem generator diesel adalah sebesar 7.291.468 kWh/tahun. Hasil dari total produksi dapat dilihat pada tabel 4.2 dan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-1.

Tabel 4.2 Total produksi energi per tahun

Komponen	Produksi(kWh)
Generator 1.100 kW	4.571.029
Generator 1.100 kW	193.998
Generator 1.100 kW	1.020
Generator 1.285 kW	1.561.037
Generator 1.285 kW	10.636
Generator 1.285 kW	0
Generator 528 kW	953.748

$$E_{totalproduksi} = 4.571.029 + 193.998 + 1.020 + 1.561.037 + 10.636 + 0 + 953.748$$

$$E_{totalproduksi} = 7.291.468$$

*Net Present Costs* sistem sebesar Rp 233.132.785.290 dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-2.

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
Generic Large (size-your-own) Genset	0	8,886,768,018	1,021,920,183	134,568,405,687	-111,957,361	144,365,136,527
Generic Large (size-your-own) Genset (1)	0	0	68,257,287	5,933,475,646	-213,580,197	5,788,152,737
Generic Large (size-your-own) Genset (2)	0	0	581,738	33,174,028	-514,142,651	-480,386,885
Generic Large (size-your-own) Genset (3)	0	2,158,826,961	279,816,096	45,758,473,918	-359,159,998	47,837,956,977
Generic Large (size-your-own) Genset (4)	0	0	2,133,040	314,132,059	-592,563,694	-276,298,594
Generic Large (size-your-own) Genset (5)	0	0	0	0	-588,539,492	-588,539,492
Generic Medium (size-your-own) Genset	0	3,519,070,654	630,022,519	32,540,926,244	-203,255,397	36,486,764,020
HOMER Cycle Charging	0	0	0	0	0	0
System	0	14,564,665,633	2,002,730,864	219,148,587,583	-2,583,198,790	233,132,785,290

Gambar 4.5 Perhitungan *Net Present Costs* perangkat lunak HOMER

$$NPC = 0 + 14.564.665.633 + 2.002.730.864 + 219.148.587.583 - 2.583.198.790$$

$$NPC = 233.132.785.290$$

*Cost of Energy* merupakan biaya yang digunakan untuk membangkitkan listrik per kWh dalam penelitian ini hanya bersumber dari generator PLTD saja sehingga COE yang didapat sistem sebesar Rp 130.432/kWh. Untuk menghitung *Cost of Energy* menggunakan data dari hasil total energi melayani beban yang sebesar 7.291.216 kWh/tahun dengan biaya total pertahun sebesar Rp 18.033.841.567 yang didapatkan dari hasil simulasi perangkat lunak HOMER, dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan dihitung dengan Persamaan 2-3.

Tabel 4.3 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun

Kriteria Penilaian	Nilai
Jumlah Energi Melayani Beban(kWh/tahun)	7.291.216
Biaya total per tahun	18.033.841.567

$$COE = \frac{18.033.841.567}{7.219.216kWh}$$

$$COE = 2.473,36/kWh$$

Dengan nilai *Renewable Penetration* sebesar 0%. Hasil dari *Renewable Penetration* dihitung dengan Persamaan 2-4.

$$RF = \frac{0}{7.291.468kWh} * 100\%$$

$$RF = 0\%$$

### b) Skenario 2

Nilai ekonomis pembangkit sistem *hybrid* PV-diesel dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai ekonomis pembangkit skenario 2

Kriteria Penilaian	Nilai
Total Produksi Energi (kWh)/tahun	7.734.677
NPC(Rupiah)	200.301.836.511
Cost Of Energy(Rupiah)	2.125
Renewable Penetration(%)	26

Total produksi energi dengan menggunakan sistem *hybrid* PV-diesel adalah sebesar 7.734.677 kWh/tahun. Hasil dari total produksi dapat dilihat pada tabel 4.5 dan dihitung dengan Persamaan 2-1.

Tabel 4.5 Tabel produksi energi per tahun

Komponen	Produksi(kWh)
PV	2.040.244
Generator 1.100 kW	3.672.243
Generator 1.100 kW	166.790
Generator 1.100 kW	1.020
Generator 1258 kW	1.045.800
Generator 1258 kW	10.396
Generator 528 kW	798.186

$$E_{total\ produksi} = 2.040.244 + 3.672.243 + 166.790 + 1.020 + 1.045.800 + 10.396 + 798.186$$

$$E_{total\ produksi} = 7.734.677\ kWh$$

*Net Present Costs* sistem *hybrid* PV-diesel sebesar Rp 200.301.836.511. Hasil dari *Net Present Costs* dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan dihitung dengan Persamaan 2-2.

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
CanadianSolar MaxPower CS6U-330P	12.000.000,000	0	1.551.301,988	0	0	13.551.301,988
Generic Large (size-your-own) Genset	0	7.764.626,954	909.838,615	108.902.314,667	-93.010,731	117.483.769,505
Generic Large (size-your-own) Genset (1)	0	0	58.173,824	5.006.749,657	-258.363,141	4.896.560,340
Generic Large (size-your-own) Genset (2)	0	0	581,738	33.174,028	-514.142,651	-480.386,885
Generic Large (size-your-own) Genset (4)	0	1.053.337,017	190.616,232	30.688.318,241	-218.312,940	31.713.958,549
Generic Large (size-your-own) Genset (5)	0	0	2.133,040	307.537,729	-592.563,694	-282.892,924
Generic Medium (size-your-own) Genset	0	3.586.184,142	648.638,143	28.274.079,525	-147.664,177	32.361.237,632
HOMER Cycle Charging	0	0	0	0	0	0
Eaton Power Xpert 150kW	461.580,000	0	596.708,309	0	0	1.058.288,309
System	12.461.580,000	12.404.148,112	3.957.991,887	173.302.173,847	-1.824.057,334	200.301.836,511

Gambar 4.6 Perhitungan *Net Present Costs* perangkat lunak HOMER

$$NPC = 12.461.580.000 + 12.404.148.112 + 3.957.991.887 + 173.302.173.847 - 1.824.057.334$$

$$NPC = 200.301.836.511$$

*Cost Of Energy* sistem *hybrid* dalam penelitian ini didapatkan sebesar Rp 2.125/kWh. Untuk menghitung *Cost of Energy* menggunakan data dari hasil total energi melayani beban yang sebesar 7.291.216 kWh/tahun dengan biaya total per tahun sebesar Rp 15.494.223.950 yang didapatkan dari hasil simulasi perangkat lunak HOMER, dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan dihitung dengan Persamaan 2-3.

Tabel 4.6 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun

Kriteria Penilaian	Nilai
Jumlah Energi Melayani Beban(kWh/tahun)	7.291.216
Biaya total per tahun	15.494.223.950

$$COE = \frac{15.494.223.950}{7.291.216}$$

$$COE = 2.125/kWh$$

Dengan *Renewable Penetration* sebesar 26%. Hasil dari Renewable dapat dihitung dengan Persamaan 2-4.

$$RF = \frac{2.040.244}{7.734.677} * 100\%$$

$$RF = 26\%$$

**c) Skenario 3**

Nilai ekonomis pembangkit dengan sistem *hybrid* bayu-diesel dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Nilai ekonomis pembangkit skenario 3

Kriteria Penilaian	Nilai
Total Produksi Energi (kWh)/tahun	7.710.520
NPC(Rupiah)	192.734.272.442
Cost Of Energy(Rupiah)	2.044,76
Renewable Penetration(%)	25

Total produksi energi dengan menggunakan sistem *hybrid* bayu-diesel adalah sebesar 7.710.520 kWh/tahun. Hasil dari total produksi dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan dihitung dengan Persamaan 2-1.

Tabel 4.8 Total produksi energi per tahun

Komponen	Produksi(kWh)
<i>Wind Turbine</i>	1.934.138
Generator 1.100 kW	3.749.630
Generator 1.100 kW	115.091
Generator 1.100 kW	0
Generator 1258 kW	1.161.532
Generator 1258 kW	9.430
Generator 528 kW	740.700

$$E_{total produksi} = 1.934.138 + 3.749.630 + 115.091 + 0 + 1.161.532 + 9.430 + 740.700$$

$$E_{total produksi} = 7.710.520 \text{ kWh}$$

*Net Present Costs* sistem *hybrid* bayu-diesel sebesar Rp 192.734.272.442. Hasil dari *Net Present Costs* dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan dihitung dengan Persamaan 2-2.

### Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
Bergey Excel 10-R	42,500,000,000	0	4,972,121,749	0	0	47,472,121,749
Generic Large (size-your-own) Genset	0	6,710,868,793	811,330,939	84,537,205,233	-13,779,368	92,045,625,597
Generic Large (size-your-own) Genset (1)	0	0	31,413,865	2,295,522,269	-377,210,186	1,949,725,948
Generic Large (size-your-own) Genset (2)	0	0	0	0	-503,808,126	-503,808,126
Generic Large (size-your-own) Genset (3)	0	891,297,527	159,978,017	23,637,597,640	-377,268,905	24,311,604,280
Generic Large (size-your-own) Genset (4)	0	0	969,564	127,265,410	-598,599,996	-470,365,023
Generic Large (size-your-own) Genset (5)	0	0	0	0	-588,539,492	-588,539,492
Generic Medium (size-your-own) Genset	0	3,494,750,729	623,429,486	22,818,616,149	-222,943,954	26,713,852,409
HOMER Cycle Charging	0	0	0	0	0	0
Eaton Power Xpert 1500kW	684,086,782	290,240,119	884,354,319	0	-54,626,120	1,804,055,100
System	43,184,086,782	11,387,157,167	7,483,597,939	133,416,206,701	-2,736,776,146	192,734,272,442

Gambar 4.7 Perhitungan *Net Present Costs* perangkat lunak HOMER

$$NPC = 43.184.086.782 + 11.387.157.167 + 7.483.597.939 + 133.416.206.701 - 2.736.776.146$$

$$NPC = 192.734.272.442$$

*Cost of Energy* sistem *hybrid* bayu-diesel dalam penelitian ini didapatkan sebesar Rp 2.044,767/kWh. Untuk menghitung *Cost of Energy* menggunakan data hasil total energi melayani beban sebesar 7.291.216 kWh/tahun dengan biaya total per tahun sebesar Rp 14.908.839.739 yang didapatkan dari hasil simulasi perangkat lunak HOMER, dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan dihitung dengan persamaan 2-3.

Tabel 4.9 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun

Kriteria Penilaian	Nilai
Jumlah Energi Melayani Beban(kWh/tahun)	7.291.216
Biaya total per tahun	14.908.839.739

$$COE = \frac{14.908.839.739}{7.291.216}$$

$$COE = 2.044,76 /kWh$$

Dengan *Renewable Penetration* sebesar 25%. Hasil dari *Renewable Penetration* dihitung dengan Persamaan 2-4.

$$RF = \frac{1.934.138}{7.710.520} * 100\%$$

$$RF = 25\%$$

#### d) Skenario 4

Nilai ekonomis pembangkit dengan sistem *hybrid* PV-bayu-diesel dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Nilai ekonomis pembangkit skenario 4

Kriteria Penilaian	Nilai
Total Produksi Energi (kWh)/tahun	7.987.584
NPC(Rupiah)	187.881.238.771
Cost Of Energy(Rupiah)	1.993,28
Renewable Penetration(%)	32

Total produksi energi dengan menggunakan sistem *hybrid* PV-bayu-diesel adalah sebesar 7.987.584 kWh/tahun. Hasil dari total produksi dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan dihitung dengan Persamaan 2-1.

Tabel 4.11 Total produksi energi per tahun

Komponen	Produksi(kWh)
<i>PV</i>	905.271
Generator 1.100 kW	4.159.755
Generator 1.100 kW	320.884
Generator 1258 kW	937.162
Generator 1258 kW	8.566
Generator 1258 kW	0
Generator 528 kW	0
<i>Wind Turbine</i>	1.655.945

$$\begin{aligned} E_{totalproduksi} &= 905.271 + 4.159.755 + 320.884 + 937.162 + 8.566 + 0 + 0 \\ &+ 1.655.945 \end{aligned}$$

$$E_{totalproduksi} = 7.987.584 \text{ kWh}$$

*Net Present Costs* sistem *hybrid* PV-bayu-diesel sebesar Rp 187.881.238.771. Hasil dari *Net Present Costs* dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan dihitung dengan Persamaan 2-2.

### Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
CanadianSolar MaxPower CS6U-330P	19,093,825,670	0	2,468,357,473	0	0	21,562,183,143
Bergey Excel 10-R	26,350,000,000	8,400,573,675	3,082,715,485	0	-4,734,262,013	33,099,027,147
Generic Large (size-your-own) Genset	0	10,810,820,364	1,186,939,932	94,324,813,599	-412,519,816	105,910,054,080
Generic Large (size-your-own) Genset (1)	0	612,456,394	132,054,582	7,171,991,056	-446,968,235	7,469,533,798
Generic Large (size-your-own) Genset (2)	0	0	0	0	-503,808,126	-503,808,126
Generic Large (size-your-own) Genset (3)	0	692,766,469	128,758,065	19,197,135,854	-539,243,022	19,479,417,366
Generic Large (size-your-own) Genset (4)	0	0	1,163,476	151,036,859	-597,593,946	-445,393,610
Generic Large (size-your-own) Genset (5)	0	0	0	0	-588,539,492	-588,539,492
HOMER Cycle Charging	0	0	0	0	0	0
Eaton Power Xpert 1500kW	720,000,000	305,477,157	930,781,191	0	-57,493,884	1,898,764,465
System	46,163,825,670	20,822,094,060	7,930,770,204	120,844,977,369	-7,880,428,532	187,881,238,771

Gambar 4.8 Perhitungan *Net Present Costs* perangkat lunak HOMER

$$NPC = 46.163.825.670 + 20.822.094.060 + 7.930.770.204 + 120.844.977.369 - 7.880.428.532$$

$$NPC = 187.881.238.771$$

*Cost of Energy* sistem *hybrid* PV-bayu-diesel dalam penelitian ini didapatkan sebesar Rp 1.993,280/kWh. Untuk menghitung *cost of energy* menggunakan data hasil total energi melayani beban sebesar 7.291.216 kWh/tahun dengan biaya total per tahun sebesar Rp 14.533.436.339 yang didapatkan dari hasil simulasi perangkat lunak HOMER, dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan dihitung dengan Persamaan 2-3.

Tabel 4.12 Jumlah energi melayani beban dan jumlah biaya per tahun

Kriteria Penilaian	Nilai
Jumlah Energi Melayani Beban(kWh/tahun)	7.291.216
Biaya total per tahun	14.533.436.339

$$COE = \frac{14.533.436.339}{7.291.216}$$

$$COE = 1.993,28/kWh$$

Dengan *Renewable Penetration* sebesar 32%. Hasil dari *Renewable Penetration* dapat dihitung dengan Persamaan 2-4.

$$RF = \frac{2.561.216}{7.987.584} * 100\%$$

$$RF = 32\%$$

**e) Perbandingan Nilai Ekonomis Pembangkit Sistem *Hybrid* dengan Pembangkit Sistem Generator Diesel**

Hasil dari nilai ekonomis pembangkit dengan sistem *hybrid* yang telah didapatkan dibandingkan dengan nilai ekonomis pembangkit yang hanya dengan sistem generator diesel sebagai optimasi penyedia pembangkit cadangan untuk Daerah Muntok. Hasil optimal kemudian digunakan untuk menentukan sistem penyedia daya cadangan *hybrid* yang optimal. Pada Tabel 4.13 menunjukkan perbandingan nilai ekonomis pembangkit dengan sistem *hybrid* dengan pembangkit dengan sistem generator diesel.

Tabel 4.13 Perbandingan hasil nilai ekonomis pembangkit sistem *hybrid* dengan pembangkit sistem generator diesel

Kriteria Penilaian	Sistem Pembangkit Cadangan			
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
Total Produksi Energi(kWh)	7.291.468	7.734.677	7.710.520	7.987.584
NPC(Rupiah)	233.132.785.290	200.301.836.511	192.734.272.442	187.881.238.771
<i>Cost of Energy</i> (Rupiah)	2.473,36	2.125	2.044,76	1.993,28
<i>Renewable Fraction</i> (%)	0	26	25	32

Pada Tabel 4.13 menunjukkan total produksi energi pada skenario 1 adalah sebesar 7.291.468 kWh/tahun pada skenario 2 sebesar 7.734.677 kWh/tahun, pada skenario 3 sebesar 7.710.520 kWh/tahun dan pada skenario 4 sebesar 7.987.584 kWh/tahun. Nilai optimal *Net Present Costs* adalah sistem *hybrid* pada skenario 4 yaitu sistem *hybrid* PV-bayu-diesel paling optimal karena dapat menghemat sampai 20% dari nilai NPC sistem generator diesel. Optimasi nilai dari *Cost of Energy* dengan sistem *hybrid* PV-bayu-diesel juga paling optimal karena dapat menghemat sampai 20% dari nilai *Cost of Energy* sistem generator diesel. Pembangkit dengan sistem *hybrid* PV-bayu-diesel juga diketahui menghasilkan 32% sumber energi listrik terbarukan dari total energi yang dihasilkan.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Optimasi Pengembangan Penyedia Daya Cadangan *Hybrid* di Daerah Muntok Pulau Bangka telah dilaksanakan dengan menggunakan perangkat lunak(*software*) *HOMER*. Dari simulasi optimasi yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Biaya pembangkit dengan sistem *hybrid* memang mahal pada biaya modal atau *capital cost* tetapi dapat mengurangi biaya bahan bakar pada sistem pembangkit yang hanya dengan generator diesel yang terbilang tinggi.
2. Biaya pembangkit cadangan skenario 4 yaitu sistem pembangkit cadangan *hybrid* PV-bayu-diesel terbukti lebih ekonomis karena dapat menghemat biaya sampai 20% dibandingkan dengan skenario 1 yang hanya menggunakan sistem pembangkit generator diesel.
3. Penyerapan sumber energi terbarukan dengan menggunakan sistem *hybrid* PV-bayu-diesel sebagai penyedia pembangkit cadangan di daerah Muntok Pulau Bangka mampu menyerap energi terbarukan sebesar 32% dari total produksi energi yang dihasilkan.
4. Melalui Optimasi Penyedia Daya Cadangan *Hybrid* di Daerah Muntok Pulau Bangka dengan menggunakan perangkat lunak(*software*) *HOMER* menunjukkan hasil bahwa sistem penyedia daya cadangan *hybrid* PV-bayu-diesel paling optimal digunakan karena lebih ekonomis dibandingkan dengan hanya menggunakan pembangkit dengan sistem generator diesel.

#### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang didapat, perlu dilakukan studi lanjutan tentang implementasi pembangkit dengan sistem *hybrid* sebagai penyedia pembangkit cadanga di Daerah Muntok Pulau Bangka. Penelitian lebih lanjut dapat juga dilakukan dengan perangkat lunak (*software*) lain selain *HOMER* dan juga dapat dilakukan penelitian terhadap daerah lain di Pulau Bangka dengan konsumsi daya yang lebih besar ataupun lebih kecil.

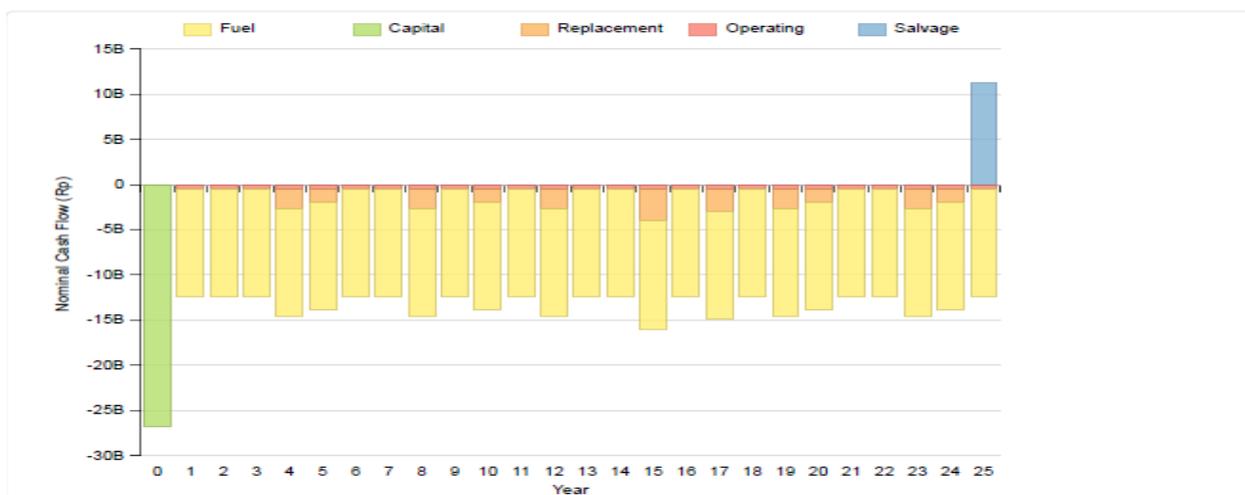
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Abubakar, "The Application of Homer Optimization Software to Investigate the Prospects of Hybrid Renewable Energy System in Rural Communities of Sokoto in Nigeria," vol. 7, no. 2, pp. 596–603, 2017.
- [2] S. Ghose, A. El Shahat, and R. J. Haddad, "Wind-Solar Hybrid Power System Cost Analysis using HOMER for Statesboro , Georgia," *IEEE Conferences Southeast Conferences* vol. 8, pp. 3–5, 2017.
- [3] S. Pakpahan, "SISTEM WIND-DIESEL UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DI LOKASI DENGAN KECEPATAN ANGIN MENENGAH DI INDONESIA."
- [4] D. K. Yadav, S. P. Girimaji, and T. S. Bhatti, "Optimal Hybrid Power System design using HOMER," *IEEE India International Conference in Power Electronics*, no. 1, pp. 1–6, 2016.
- [5] I. Elsayed, I. Nassar, and F. Mostafa, "OPTIMIZATION AND ECONOMIC EVALUATION OF SMALL SCALE HYBRID SOLAR / WIND POWER FOR REMOTE AREAS IN EGYPT," *IEEE Conferences International Middle East Power Systems Conference* no. December, pp. 19–21, 2017.
- [6] "HOMER Pro - Microgrid Software for Designing Optimized Hybrid Microgrids." [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>. [Accessed: 11-Jul-2018].
- [7] E. Development *et al.*, "A Review of Hybrid Renewable / Alternative Energy Systems for Electric Power Generation ;," vol. 2, no. 4, pp. 392–403, 2011.
- [8] D. H. Wang, C. V Nayar, and C. Wang, "Modeling of Stand-alone Variable Speed Diesel Generator," pp. 1–6, 2010.
- [9] D. Purnama Sari and R. Nazir, "OPTIMALISASI DESAIN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID DIESEL GENERATOR PHOTOVOLTAIC ARRAY MENGGUNAKAN HOMER (STUDI KASUS : DESA SIRILOGUI, KABUPATEN KEPULAUAN MENTAWAI)," no. 1, pp. 1–12, 2015.
- [10] R. Sumiati and A. Zamri, "Rancang bangun miniatur turbin angin pembangkit listrik untuk media pembelajaran," pp. 1–8.
- [11] "HARGA SOLAR PERTAMINA." [Online]. Available: <http://www.bphmigas.go.id/harga-bbm-di-spbu>. [Accessed: 11-Aug-2018].
- [12] "Ketetapan Suku Bunga Bank Indonesia (On-Line)." [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/id/moneter/bi-7day-RR/data/Contents/Default.aspx>. [Accessed: 11-Aug-2018].
- [13] M. Keuangan and R. Indonesia, "Peraturan Menteri keuangan republik indonesia," vol. 2013, no. 4, pp. 4–5, 2013.

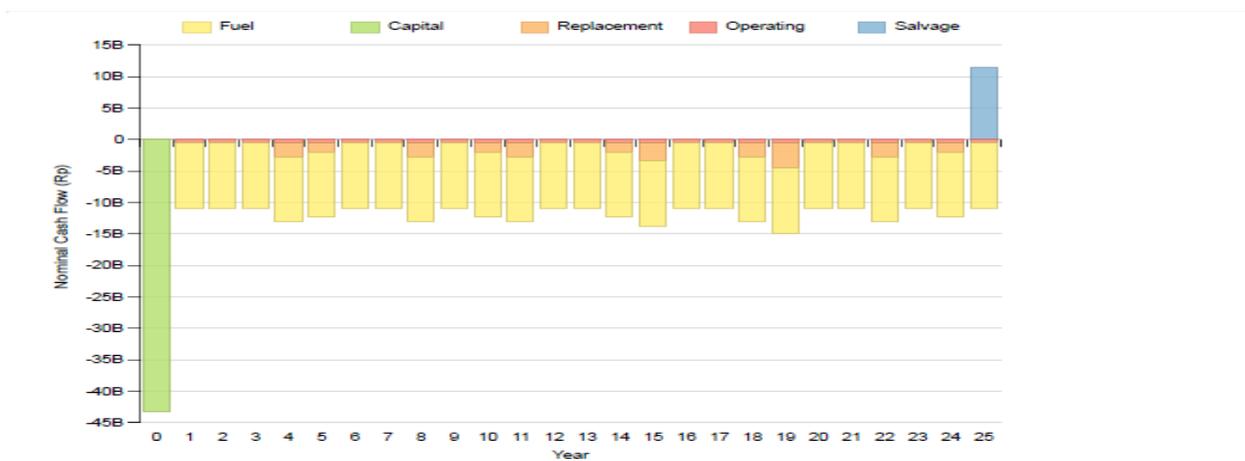
## LAMPIRAN



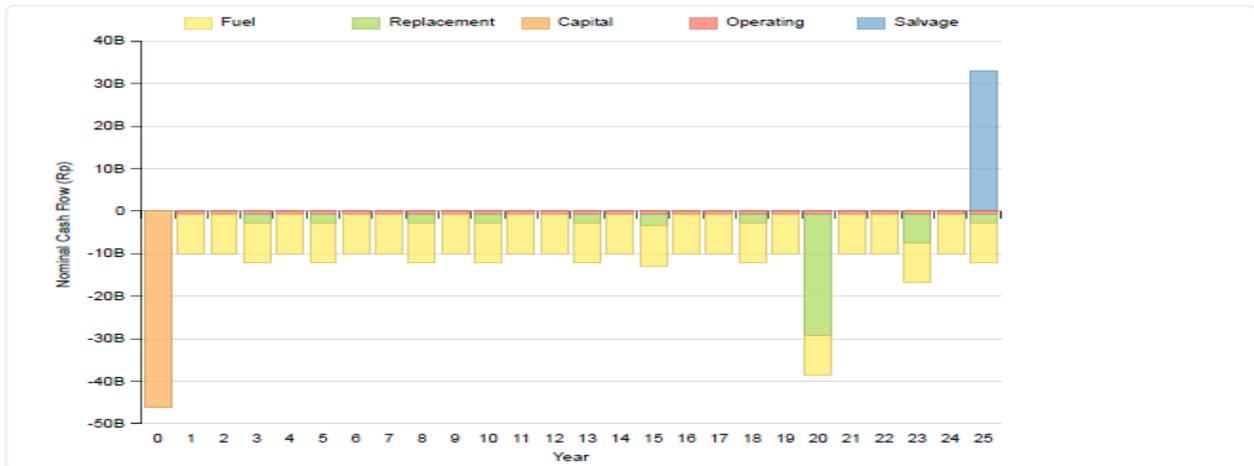
Lampiran 1. Grafik Dana Digunakan Sistem PLTD Generator Diesel



Lampiran 2. Grafik Dana Digunakan Sistem *Hybrid* PV-Diesel



Lampiran 3. Grafik Dana Digunakan Sistem *Hybrid* Wind-Diesel



Lampiran 4. Grafik Dana Digunakan Sistem *Hybrid PV-Wind-Diesel*

PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung Sektor Pembangkitan													
LAPORAN PEMBANGKITAN TENAGA LISTRIK Mei - 2018													
NO.	LOKASI / SPD	TYPE	NO. SERI	DAYA TERPASANG (KW)	DAYA MAMPU (KW)	DERATING (%)	BEBAN PUNCAK (KW)	PRODUKSI SENDIRI (KWH)			PEMAKAIAN SENDIRI		KETE
								HSD/ BATUBARA	BIO	(HSD+ BIO+ BATUBARA)	kWh	%	
2.1	PEMBANGKIT SENDIRI												
2.1.1	PLTD MENTOK #01 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408060	1,100	400	63.64	356	38,875	2,070	40,945	1,948		
2.1.2	PLTD MENTOK #02 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408061	1,100	400	63.64	356	27,879	1,484	29,364	1,397		
2.1.3	PLTD MENTOK #03 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408055	1,100	400	63.64	356	13,223	704	13,927	663		
2.1.4	PLTD MENTOK #04 (SWD)	9F240	70939	1,285	550	57.20	550	278,919	14,851	293,770	13,978		
2.1.5	PLTD MENTOK #05 (SWD)	9F240	70931	1,285	800	37.74	-	-	-	-	-		Gangguan Main Be
2.1.6	PLTD MENTOK #06 (SWD)	9F240	70930	1,285	800	37.74	650	135,647	7,223	142,870	6,798		
2.1.7	PLTD MENTOK #07 (MTU)	12V2000G62	535102743	528	350	33.71	350	33,173	1,766	34,939	1,662		
JUMLAH MENTOK				7,683	3,700	51.84	2,618	527,717	28,099	555,815	26,446.58	4.76	

Lampiran 5. Data Pembangkit Tenaga Listrik PLTD Muntok

PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung Sektor Pembangkitan														
LAPORAN PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MINYAK Mei - 2018														
FORMULIR 13														
NO.	LOKASI / SPD	TYPE	NO. SERI	DAYA TERPASANG (KW)	DAYA MAMPU (KW)	PRODUKSI (Kwh)	JENIS BAHAN BAKAR	PEMAKAIAN BBM/BATUBARA			BIAYA BAHAN BAKAR			
								BBM (Liter)	BATUBARA (Kg)	SFC-SCC (Ltr/kWh - kg/kWh)	HARGA DASAR (Rp/kWh)	ONGKOS ANGKUT (Rp/kWh)	JUMLAH HARGA LOKO	HARGA / LITER (Rp)
2.	PLTD MENTOK													
2.1	PEMBANGKIT SENDIRI													
2.1.1	PLTD MENTOK #01 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408060	1,100	400	38,875	H S D	12,662	-	0.327				
						2,070	BIO	746						
2.1.2	PLTD MENTOK #02 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408061	1,100	400	27,879	H S D	9,513	-	0.343				
						1,484	BIO	560						
2.1.3	PLTD MENTOK #03 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408055	1,100	400	13,223	H S D	4,639	-	0.353				
						704	BIO	273						
2.1.4	PLTD MENTOK #04 (SWD)	9F240	70939	1,285	550	278,919	H S D	79,042	-	0.285				
						14,851	BIO	4,656						
2.1.5	PLTD MENTOK #05 (SWD)	9F240	70931	1,285	800	-	H S D	-	-	-				
						-	BIO	-						
2.1.6	PLTD MENTOK #06 (SWD)	9F240	70930	1,285	800	135,647	H S D	38,370	-	0.284				
						7,223	BIO	2,260						
2.1.7	PLTD MENTOK #07 (MTU)	12V2000G62	535102743	528	350	33,173	H S D	9,570	-	0.290				
						1,766	BIO	564						
2.1.8	Mirlees #8	K8Major	750302	-	-	-	H S D	-	-	-				
MENTOK (HSD)						527,717	H S D	153,796						
MENTOK (BIO)						28,099	BIO	9,060		0.293				
MENTOK (HSD+BIO)				7,683	3,700	555,815	(HSD+BIO)	162,856		0.293				

Lampiran 6. Data Pemakaian BBM PLTD Muntok

LAPORAN PEMAKAIAN PELUMAS  
Mei - 2018

NO.	LOKASI / SPD	TYPE	NO. SERI	DAYA TERPASANG (KW)	DAYA MAMPU (KW)	PRODUKSI (Kwh)	JENIS PELUMAS	PEMAKAIAN PELUMAS					
								GANTI (Liter)	TAMBAH (Liter)	JUMLAH (Liter)	SLC (Ltr/kWh)	HARGA (Rp/k)	
2.	PLTD MENTOK												
2.1.	PEMBANGKIT SENDIRI												
2.1.1	PLTD MENTOK #01 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408060	1,100	400	38,875 2,070	SALYX 420	-	119	119	2.906		
2.1.2	PLTD MENTOK #02 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408061	1,100	400	27,879 1,484	SALYX 420	-	119	119	4.053		
2.1.3	PLTD MENTOK #03 (COCKERILL)	L8TR240CO	2408055	1,100	400	13,223 704	SALYX 420	-	51	51	3.662		
2.1.4	PLTD MENTOK #04 (SWD)	9F240	70939	1,285	550	278,919 14,851	SALYX 420	-	323	323	1.099		
2.1.5	PLTD MENTOK #05 (SWD)	9F240	70931	1,285	800	-	MEDITRAN S40	-	-	-	-		
2.1.6	PLTD MENTOK #06 (SWD)	9F240	70930	1,285	800	135,647 7,223	SALYX 420	-	102	102	0.714		
2.1.7	PLTD MENTOK #07 (MTU)	12V2000G62	535102743	528	350	33,173 1,766	MEDITRAN SX15W 40	60	6	66	1.889		
MENTOK (HSD)						527,717							
MENTOK (BIO)						28,099	(MED+DIS)	60	720	780	1.403		
MENTOK (HSD+BIO)						555,815							
				7,683	3,700								

Lampiran 7. Data Pemakaian Pelumas PLTD Muntok

PLTD Muntok	jam	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
	01:00:00	931	762	880	788	1,088.00	945	905	1,059.00	852	1,127.00	915	848
	02:00:00	889	728	849	764	1,040.00	914	888	957	816	1,085.00	839	867
	03:00:00	864	719	826	743	1,033.00	897	867	868	809	1,071.00	847	785
	04:00:00	856	710	817	729	1,036.00	927	812	867	799	1,075.00	855	828
	05:00:00	878	778	887	775	1,115.00	902	923	921	846	1,138.00	944	887
	06:00:00	971	901	951	853	1,202.00	948	1,074.00	1,025.00	916	1,165.00	1,019.00	984
	07:00:00	986	845	932	799	1,092.00	860	974	945	835	1,059.00	951	963
	08:00:00	950	827	884	780	1,117.00	876	972	911	864	1,087.00	946	936
	09:00:00	941	832	837	792	1,108.00	951	939	915	911	1,084.00	957	930
	10:00:00	894	826	813	794	1,104.00	987	933	922	887	1,040.00	916	894
	11:00:00	946	805	818	803	1,098.00	954	1,016.00	1,027.00	919	1,099.00	915	888
	12:00:00	938	825	834	804	1,110.00	1,007.00	966	1,026.00	930	1,147.00	933	898
	13:00:00	978	796	855	831	1,138.00	1,018.00	951	1,078.00	943	1,159.00	948	916
	14:00:00	968	826	833	843	1,138.00	1,106.00	875	1,155.00	917	1,139.00	926	917
	15:00:00	980	827	813	846	1,133.00	1,093.00	863	1,151.00	951	1,132.00	970	905
	16:00:00	908	808	869	866	1,120.00	1,087.00	884	1,162.00	930	1,147.00	960	930
	17:00:00	948	805	864	812	1,101.00	1,061.00	858	1,064.00	881	1,187.00	1,010.00	944
	18:00:00	1,096.00	909	998	1,007.00	1,471.00	1,297.00	1,227.00	1,536.00	1,123.00	1,219.00	1,280.00	1,078.00
	19:00:00	1,300.00	1,080.00	1,199.00	1,068.00	1,615.00	1,382.00	1,355.00	1,690.00	1,205.00	1,325.00	1,292.00	1,185.00
	20:00:00	1,267.00	1,051.00	1,172.00	1,059.00	1,599.00	1,330.00	1,371.00	1,656.00	1,177.00	1,240.00	1,234.00	1,179.00
	21:00:00	1,238.00	1,023.00	1,145.00	1,040.00	1,591.00	1,216.00	1,313.00	1,623.00	1,166.00	1,248.00	1,227.00	1,124.00
	22:00:00	1,147.00	942	1,017.00	959	1,526.00	1,257.00	1,176.00	1,461.00	1,134.00	1,204.00	1,134.00	1,105.00
	23:00:00	989	895	906	905	1,246.00	1,085.00	1,004.00	1,183.00	1,068.00	1,178.00	1,058.00	1,060.00
	24:00:00	903	791	846	827	1,164.00	969	869	1,085.00	952	1,097.00	962	977

Lampiran 8. Data beban per jam tahun 2017



View larger image

Top Quality Generator 1000kw 1100 kw generator With Long-term Service

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**US \$136,000-150,000 / Sets** | 1 Set/Sets (Min. Order)

Contact Supplier

[Chat Now!](#)

Seller Support: Trade Assurance - To protect your orders from payment to delivery

Payment: More

Shipping: Less than Container Load (LCL) Service to US [Get shipping quote](#)

- Transparent and fair price
- 24/7 online support
- Online tracking

Lampiran 9. Referensi Harga Generator Diesel 1.100 kW



**Sunpal Canadian Solar 330W PERC Poly 330 Watt 330 Wp Solar Panels Price**

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**US \$0.26-0.36 / Watts** | 1000 Watt/Watts (Min. Order)

[Contact Supplier](#)

[Chat Now!](#)

Seller Support: Trade Assurance - To protect your orders from payment to delivery

Payment: More

Shipping: Less than Container Load (LCL) Service to US [Get shipping quote](#)

- Transparent and fair price
- 24/7 online support
- Online tracking

Lampiran 10. Referensi Harga PV



**3-blades small windturbine 10kw upwind turbines**

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**US \$5,000-10,000 / Sets** | 1 Set/Sets (Min. Order)

[Contact Supplier](#)

[Leave Messages](#)

Seller Support: Trade Assurance - To protect your orders from payment to delivery

Payment: More

Shipping: Less than Container Load (LCL) Service to US [Get shipping quote](#)

- Transparent and fair price
- 24/7 online support
- Online tracking

Lampiran 11. Referensi Harga Turbin Angin



## Eaton Power Xpert - Model 1500/1670 kW - Utility-Scale Photovoltaic Solar Inverter

From [Solar Inverters](#)

☆☆☆☆☆ 0

SHARE

Eaton Power Xpert Solar 1500 kW and 1670 kW inverters are specifically designed to lower the Levelized Cost of Electricity. It reduces installation and upfront costs, and boosts plant reliability, minimizing maintenance expenses. Energy harvest is increased through world-class efficiency and a unique fault-tolerant design.

Lampiran 12. Referensi Eaton Power Xpert 1500 kW