

**OPTIMALISASI DESAIN DAN ANALISIS EKONOMI SISTEM  
PEMBANGKIT HIBRIDA SEBAGAI *CHARGING STATION*  
KENDARAAN LISTRIK DI INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



Oleh:

MOHAMAD NISMAN FALICH

NIM. I0716021

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2020**

## **HALAMAN SURAT PENUGASAN**

**SURAT PERNYATAAN  
ORISINALITAS KARYA ILMIAH**

Saya mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mohamad Nisman Falich  
NIM : I0716021  
Judul Tugas Akhir : Optimalisasi Desain dan Analisis Ekonomi Sistem Pembangkit Hibrida sebagai Charging Station Kendaraan Listrik di Indonesia

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir atau Skripsi yang saya susun tidak mencontoh atau melakukan plagiat dari karya tulis orang lain. Jika terbukti Tugas Akhir yang saya susun tersebut dinyatakan batal dan gelar sarjana yang saya peroleh dengan sendirinya dibatalkan atau dicabut.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila di kemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, Juli 2020

**Mohamad Nisman Falich**  
**NIM. I0716021**

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJI  
OPTIMALISASI DESAIN DAN ANALISIS EKONOMI SISTEM  
PEMBANGKIT HIBRIDA SEBAGAI *CHARGING STATION*  
KENDARAAN LISTRIK DI INDONESIA**

Disusun Oleh

**MOHAMAD NISMAN FALICH**

NIM 10716021

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

**Dr. Miftahul Anwar, S.Si., M.Eng.**  
NIP. 1983032420130201

**Ir. Chico Hermanu B. A., S.T., M.Eng.**  
NIP. 198804162015041002

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Kamis Tanggal 30  
Juli 2020

1. **Dr. Miftahul Anwar, S.Si., M.Eng.**

NIP. 1983032420130201

.....

2. **Ir. Chico Hermanu B. A., S.T., M.Eng.**

NIP. 198804162015041002

.....

3. **Muhammad Hamka Ibrahim ST., M.Eng.**

NIP. 198812292019031011

.....

4. **Joko Slamet Saputro, S.Pd., M.T.**

NIP. 198904242019031013

.....

Kepala Prodi Teknik Elektro

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir

**Feri Adriyanto, Ph.D.**

NIP. 196801161999031001

**Muhammad Hamka I., S.T, M.Eng.**

NIP. 198812292019031011

**OPTIMALISASI DESAIN DAN ANALISIS EKONOMI SISTEM PEMBANGKIT  
HIBRIDA SEBAGAI *CHARGING STATION* KENDARAAN LISTRIK DI INDONESIA**

**Mohamad Nisman Falich**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Email : [nismanfalich18@gmail.com](mailto:nismanfalich18@gmail.com)

**Abstrak**

Kendaraan listrik telah meningkat popularitas dan permintaan pasar beberapa tahun ini dikarenakan masyarakat dunia mulai sadar pentingnya menjaga bumi dari emisi gas berbahaya, serta mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan berkontribusi pada kemandirian energi untuk masa depan. Maka dari itu, Indonesia juga harus mempersiapkan untuk masa depan salah satunya dengan cara membangun charging station bagi kendaraan listrik di beberapa kota besar Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain pembangkit hibrid yang paling optimal sebagai *charging station* serta analisis ekonominya menggunakan HOMER pada 5 ibukota provinsi di Indonesia. Peneliti juga melakukan pengoptimalan menggunakan Algoritma Genetika untuk melihat perbandingan hasil dari kedua metode optimalisasi. Kemudian peneliti melakukan analisa perbandingan antara PV dan WTG serta perbandingan antara On-Grid dan Off-Grid dari lokasi terbaik. Penelitian ini menghasilkan Semarang sebagai lokasi terbaik dengan nilai NPC (Net Present Cost) sebesar Rp2,856,751,000 dan COE (Cost of Energy) sebesar Rp7,900.

**Kata kunci:** kendaraan listrik, *charging station*, HOMER, Algoritma Genetika

**DESIGN OPTIMALIZATION AND ECONOMIC ANALYSIS OF HYBRID POWER  
PLANT AS ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION IN INDONESIA**

**Mohamad Nisman Falich**

Electrical Engineering, Engineering Faculty, Universitas Sebelas Maret

Email : [nismanfalich18@gmail.com](mailto:nismanfalich18@gmail.com)

**Abstract**

Electric vehicles have increased in popularity and market demand in recent years because the world community has begun to realize the importance of protecting the earth from harmful gas emissions, as well as reducing dependence on fossil energy and contributing to energy independence for the future. Therefore, Indonesia must also prepare for the future by building a charging station for electric vehicles in several major cities in Indonesia. This study aims to obtain the most optimal hybrid generator design as a charging station and economic analysis using HOMER in 5 provincial capitals in Indonesia. Researchers also perform optimization using the Genetic Algorithm to see the comparison of the results of the two optimization methods. Then the researchers conducted a comparison analysis between PV and WTG and a comparison between On-Grid and Off-Grid from the best location. This study produced Semarang as the best location with a NPC (Net Present Cost) value of Rp2,856,751,000 and COE (Cost of Energy) of Rp7,900.

**Keywords** : electric vehicle, charging station, HOMER , Genetic Algorithm

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Optimalisasi Desain dan Analisis Ekonomi Sistem Pembangkit Hibrida sebagai Charging Station Kendaraan Listrik di Indonesia”. Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah mencoba untuk mengungkapkan segala aspek materi dan kebijaksanaan yang telah diasah menjadi lebih runcing selama empat tahun lebih di bangku kuliah sehingga terselesaikan segala rangkaian studi yang telah penulis jalani di Universitas Sebelas Maret agar kedepannya penulis menjadi manusia yang dapat bermanfaat bagi sekitarnya.

Dalam penyusunan skripsi ini, tentu perlu melewati serangkaian proses. Seluruh rangkaian proses ini tidak selalu berjalan mulus, berlubang dan berliku merupakan bagian dari perjalanan proses yang harus dilalui. Semakin banyaknya lubang dan liku akan memberikan semakin banyak pelajaran hidup sebagai bekal masa depan. Serangkaian proses ini tidak dapat penulis lewati tanpa bantuan semua yang telah berkontribusi pada hidup saya, antara lain:

1. Allah SWT yang tidak henti – hentinya memperlihatkan keajaibannya sepanjang hidup penulis
2. Kedua orang tua yang sampai sekarang selalu memberikan pelajaran hidup dan tidak pernah bosan berdoa untuk masa depan penulis
3. Bapak Feri Adriyanto, Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret yang selalu memperhatikan mahasiswanya
4. Bapak Dr. Miftahul Anwar S.Si., M.Eng. selaku Pembimbing I yang memberikan dukungan, ide, arahan dan bimbingan selama perkuliahan di Teknik Elektro
5. Bapak Chico Hermanu Brillianto Apribowo S.T., M.Eng. selaku Pembimbing II sekaligus Pembimbing Akademik penulis yang juga telah memberikan dukungan, ide, arahan, bimbingan serta motivasi selama perkuliahan di Teknik Elektro
6. Dosen – dosen Teknik Elektro UNS yang telah memberikan ilmunya untuk penulis selama menempuh studi

7. Diora Diah Ayu Pitaloka yang selalu menjadi rekan diskusi, menemani dan memberikan dukungan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan
8. Kevin Sebastian, Ghuftron Husnan dan Henry Probo Santoso beserta teman – teman Teknik Elektro Angkatan 2016 seperjuangan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah menemani penulis, bersama – sama menimba ilmu dan pengalaman yang sangat berharga selama 4 tahun ini
9. Seluruh staff dan karyawan Program Studi Teknik Elektro yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu

Terima kasih atas segala bantuannya untuk semua individu yang telah membantu penulis, yang tidak sanggup penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyadari kekurangannya yang tidak akan pernah habis termasuk dalam penulisan skripsi ini, sehingga diharapkan adanya saran maupun kritik untuk membangun penulis kedepannya. Akhir kata terima kasih dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang dapat mengambil sisi baiknya.

Surakarta, Juli 2020

Mohamad Nisman Falich  
I0716021



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>I</b>
<b>HALAMAN SURAT PENUGASAN .....</b>	<b>II</b>
<b>SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH.....</b>	<b>III</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJL..</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>VII</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>XII</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang Masalah .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Tujuan Penelitian.....	3
1.4    Manfaat Penelitian.....	3
1.5    Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>1</b>
2.1    Penelitian Sebelumnya .....	1
2.2    PLTS / <i>Photovoltaic</i> (PV) .....	8
2.3    PLTB / <i>Wind Turbine Generator</i> (WTG) .....	9
2.4    Electric Vehicle Charging Station.....	10
2.5    Analisa Biaya ( <i>Cost Analysis</i> ).....	11
2.6    Baterai .....	14
2.7    Konverter.....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>

3.1	Alat dan Bahan.....	17
3.2	Diagram Alir Penelitian .....	17
3.3	Jalannya Penelitian .....	17
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>36</b>
4.1	Hasil Desain .....	36
4.2	Analisis Ekonomi .....	37
4.3	Perhitungan Daya Total.....	53
4.4	Optimalisasi Hasil .....	54
4.5	Perbandingan PV dan WTG.....	56
4.6	Perbandingan On-Grid dan Off-Grid .....	58
4.7	Pembangunan Charging Station .....	59
4.8	Payback Period .....	59
4.9	Perbandingan PV-WTG dengan baterai.....	61
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>		<b>62</b>
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>64</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>67</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3.2 Data Radiasi Matahari Kota Semarang .....	24
Gambar 3.3 Data Kecepatan Angin Kota Semarang .....	24
Gambar 3.4 Data Radiasi Matahari Kota Surabaya .....	25
Gambar 3.5 Data Kecepatan Angin Kota Surabaya .....	25
Gambar 3.6 Data Radiasi Matahari Kota Bandung .....	26
Gambar 3.7 Data Kecepatan Angin Kota Bandung .....	26
Gambar 3.8 Data Radiasi Matahari Kota Palembang .....	27
Gambar 3.9 Data Kecepatan Angin Kota Palembang .....	27
Gambar 3.10 Data Radiasi Matahari Kota Medan .....	28
Gambar 3.11 Data Kecepatan Angin Kota Medan .....	28
Gambar 3.12 Gambaran Kromosom .....	32
Gambar 4.1 Desain Sistem Pembangkit Hibrid .....	36
Gambar 4.2 Arus Kas Skenario Bandung .....	40
Gambar 4.3 Arus Kas Skenario Kota Medan .....	43
Gambar 4.4 Arus Kas Skenario Palembang .....	46
Gambar 4.5 Arus Kas Skenario Semarang .....	49
Gambar 4.6 Arus Kas Skenario Surabaya .....	52
Gambar 4.7 Hasil Program Matlab .....	55
Gambar 4.8 Arus Kas On-Grid .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian Sebelumnya .....	6
Tabel 2.2 Tingkat Pengisian Baterai .....	11
Tabel 3.1 Data Energi Terjual Provinsi.....	20
Tabel 3.2 Data Mobil Berpenumpang di Indonesia .....	21
Tabel 3.3 Potensi Bayu Provinsi di Indonesia.....	21
Tabel 3.4 Potensi Surya Provinsi di Indonesia.....	22
Tabel 3.5 Jumlah Potensi Energi Terbarukan .....	22
Tabel 3.6 Spesifikasi Prius PRIME PHEV .....	23
Tabel 3.7 Data Teknis dan Ekonomi PV .....	29
Tabel 3.8 Data Teknis dan Ekonomi WTG .....	30
Tabel 3.9 Data Teknis dan Ekonomi Konverter.....	30
Tabel 3.10 Data Teknis dan Ekonomi Baterai .....	31
Tabel 4.1 Hasil Simulasi HOMER.....	37
Tabel 4.2 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Bandung.....	38
Tabel 4.3 Biaya NPC Skenario Bandung.....	38
Tabel 4.4 Biaya Tahunan Skenario Bandung.....	39
Tabel 4.5 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Medan.....	41
Tabel 4.6 Biaya NPC Skenario Medan .....	41
Tabel 4.7 Biaya Tahunan Skenario Medan .....	42
Tabel 4.8 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Palembang .....	44
Tabel 4.9 Biaya NPC Skenario Palembang.....	44
Tabel 4.10 Biaya Tahunan Skenario Palembang .....	45
Tabel 4.11 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Semarang .....	47
Tabel 4.12 Biaya NPC Skenario Semarang .....	47
Tabel 4.14 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Surabaya .....	50
Tabel 4.15 Biaya NPC Skenario Surabaya.....	50
Tabel 4.16 Biaya Tahunan Skenario Surabaya .....	51
Tabel 4.17 Daya Terbuang Pada Semua Skenario .....	54
Tabel 4.18 Nilai Fitness Tertinggi pada Hasil.....	55
Tabel 4.19 Perbandingan HOMER dan Optimasi GA .....	56
Tabel 4.20 Perbandingan Komponen PV dan WTG .....	57

Tabel 4.21 Perbandingan NPC PV dan WTG .....	57
Tabel 4.22 Perbandingan Komponen On-Grid dan Off-Grid .....	58
Tabel 4.23 Hasil Perbandingan On-Grid dan Off-Grid.....	58

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik pada industri mengharuskan pembangkit listrik menjadi peran penting dalam ekonomi dan kesejahteraan suatu negara. Ketersediaan suplai tenaga telah banyak dibahas dalam berbagai jenis literatur sebagai persyaratan dasar untuk pembangunan suatu negara. Semua ini bisa dicapai jika suatu negara dapat memanfaatkan tenaga listrik dari semua energi terbarukan yang tersedia sebagai prasyarat untuk memenuhi permintaan daya harian konsumen [1]. Faktor teknis, ekonomi dan lingkungan dari sebuah sumber daya energi terbarukan mendorong suatu negara untuk memaksimalkan pemanfaatan energi salah satunya dari photovoltaic (PV) dan turbin angin untuk pembangkit listrik di segmen sistem tenaga.

Mobil listrik baru-baru ini semakin meningkat popularitas dan permintaan pasar yang dapat dijadikan indikator utama masa depan dikarenakan perubahan iklim dan pemanasan global sehingga dibutuhkan pengurangan emisi CO<sup>2</sup>. Berdasarkan data IEA (2019) sebanyak 1,97 juta unit mobil listrik terjual di seluruh dunia sepanjang 2018. Penjualan ini meningkat 68% dibandingkan tahun 2017. Selain faktor lingkungan yang menjadi motivasi utama meningkatnya kendaraan listrik, jenis transportasi ini mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan berkontribusi banyak pada kemandirian energi [2]. Semakin meningkatnya popularitas mobil listrik mengharuskan suatu negara untuk membangun *charging station* bagi masyarakat untuk kedepannya.

Intensitas konsumsi energi (IKE) dari mobil penumpang sebesar 8,3 liter/100 km dan mobil listrik sebanyak 15,0 kWh/100 km. Total penghematan BBM pada tahun 2050 untuk bensin sebanyak 2,18 juta kl dan untuk solar sebesar 0,08 juta kl. Dengan demikian, kebijakan pemanfaatan kendaraan listrik selain berpotensi mengurangi konsumsi BBM, juga menurunkan tingkat kebutuhan energi mobil penumpang sebesar 22,7% pada tahun 2050. Adapun kebutuhan listrik akan meningkat dari 36,9 GWh pada tahun 2025 menjadi 46,3 TWh pada tahun 2050.

Dengan dimanfaatkannya mobil listrik baterai, maka dibutuhkan pengembangan kurang lebih 1.000 stasiun pengisian listrik umum (SPLU) tipe fast charging, sehingga memudahkan dalam proses pengisian baterai [3].

Potensi energi baru dan terbarukan (EBT) Indonesia cukup besar, dengan variasi jenis yang sangat beragam. Namun potensi EBT tersebut masih belum optimal dikembangkan karena berbagai kendala penerapannya, seperti biaya investasi yang tinggi dan letak geografis. Pemerintah sudah mendorong pemanfaatan energi terbarukan sebagai bahan bakar sesuai dengan Permen ESDM No.12/2015. Kementerian Perindustrian (Kemenperin) pernah menjelaskan mobil berteknologi listrik, yakni hybrid dan murni listrik, bisa mencapai 20 persen dari target 2 juta unit total penjualan pada 2025. Itu berarti populasinya menyentuh 400 ribu unit.

Dengan adanya berbagai potensi yang kita miliki, kita dapat memanfaatkannya untuk menyelesaikan masalah yang ada. Permasalahan pertama ialah ketergantungan dengan alam. Di saat kondisi alam tidak stabil, maka pembangkit EBT juga tidak menghasilkan suplai energi listrik pada beban secara berkelanjutan. Permasalahan kedua bahwa permintaan beban selalu berubah seiring dengan waktu, pembangkit EBT tidak selalu mampu mengikuti perubahan beban dalam waktu tertentu, sesuai permintaan konsumen seperti perubahan siang dan malam. Untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan EBT di atas, pembangkit listrik hibrida adalah solusi yang efektif. Ini merupakan sebuah peluang untuk mengoptimalkan potensi yang ada, salah satunya dengan membuat sebuah pembangkit listrik tenaga surya dan bayu untuk memberikan suplai pada charging station. Charging station yang akan dirancang menggunakan jenis *off-board charger* dengan tipe pengisian konduktif *fast charging* karena memiliki kelebihan biaya yang murah. Jenis mobil listrik yang digunakan adalah Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) dengan kelebihan dapat memanfaatkan sumber energi listrik maupun fosil. Lokasi yang akan diambil pada simulasi yaitu 5 ibukota besar di Jawa dengan konsumsi beban tertinggi dan berpotensi akan banyak kendaraan listrik yang beroperasi. Selain dengan memanfaatkan pembangkit listrik tenaga hibrid diatas, juga terdapat analisa ekonomi pembangkit listrik tenaga hibrid yang akan dilakukan oleh penulis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan desain kapasitas suatu pembangkit sesuai dengan beban yang ada?
2. Bagaimana mengetahui komposisi terbaik bagi pembangkit hibrida sebagai *charging station*?
3. Bagaimana mengetahui sudah optimalnya suatu pembangkit untuk dibangun pada suatu daerah?
4. Bagaimana mengetahui perbandingan penggunaan PV dan WTG serta grid dalam suatu pembangkit?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan desain pembangkit hibrida sumber energi baru dan terbarukan sebagai *charging station* kendaraan listrik.
2. Melakukan analisa ekonomi pembangkit sumber energi baru dan terbarukan untuk pembangkit alternatif.
3. Melakukan pengoptimalan hasil untuk mendapatkan nilai kapasitas pembangkit yang optimal.
4. Melakukan analisa perbandingan pembangkit alternatif dengan PV dan WTG serta grid.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi *charging* kendaraan listrik bagi masyarakat.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan analisa penghitungan ekonomi bagi pembangunan pemerintah.
3. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan desain optimal pembangkit hibrid bagi industri.



## 1.5 Sistematika Penulisan

Susunan pembahasan oleh penulis pada penulisan skripsi yang direncanakan adalah sebagai berikut:

BAB I yaitu pendahuluan yang berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II yaitu tinjauan pustaka yang berisikan hasil studi penulis dari beberapa literatur mengenai teori – teori yang berkaitan dengan topik pembahasan seperti *photovoltaic* (PV), *wind turbine generator* (WTG), baterai, diesel generator, konverter juga aplikasi yang digunakan penulis untuk melakukan simulasi

BAB III yaitu metodologi penelitian akan dibahas mengenai tahap-tahap penelitian yang digambarkan melalui diagram alir penelitian. Di dalam tahapan-tahapan ini akan dipaparkan mulai dari penentuan kapasitas pembangkit hibrida, analisis ekonomi pembangkit dan metode pengoptimalan menggunakan matlab.

BAB IV yaitu hasil dan pembahasan akan dibahas mengenai simulasi kapasitas komponen pembangkit hibrida, hasil analisis ekonomi dan simulasi pengoptimalan menggunakan matlab.

BAB V yaitu kesimpulan akan dibahas mengenai kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan juga saran untuk penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini akan dibahas kajian pustaka yang diawali dengan referensi penelitian dan dasar – dasar teori yang akan digunakan pada penelitian ini, antara lain PLTS atau *photovoltaic* (PV), PLTB atau *wind turbine generator* (WTG), EV Charging Station, Analisa Biaya (*Cost Analysis*), Baterai dan Konverter serta perangkat lunak HOMER dan Matlab.

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

Terdapat beberapa penelitian yang membahas tentang perancangan sistem pembangkit hibrida *photovoltaic* (PV) dan turbin angin yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Penelitian Sebelumnya

No.	Judul Penelitian	Tahun	Pengarang	Metode	Keterangan
1	An RES-based Grid Connected Electric Vehicle Charging Station for Bangladesh	2019	Rashid M. M., Maruf M. N., T. Akhtar	Desain dan analisis techno-economic pada grid dan off-grid	Dalam analisis ini dua opsi telah dipertimbangkan mengenai konektivitas jaringan. Pertama, selama mode grid ke kendaraan, daya yang terbatas dari aliran grid untuk mengisi baterai. Kedua, selama mode kendaraan ke grid, daya surplus dihasilkan dari sumber yang terbarukan dapat dikirim ke grid selama <i>peak-off</i> . [4].
2	Design of hybrid power systems using HOMER simulator for different renewable energy sources	2017	H. Cristian, N. Bizon, B. Alexandru <sup>1</sup>	Analisis ekonomi dengan perhitungan NPC	Tiga studi kasus untuk menentukan ukuran sistem hibrid energi terbarukan dengan menggunakan program HOMER disajikan dalam makalah ini. Studi kasus pertama menggunakan: panel fotovoltaik (panel PV), baterai dan konverter. Studi kedua meliputi: turbin angin (WT), baterai dan konverter. Kasus ketiga meliputi: panel PV, WT, baterai dan konverter. Dari hasil simulasi dapat dicatat bahwa kasus ketiga (panel PV + turbin angin) itu adalah solusi optimal untuk dipilih oleh investor [5].

3	Design and Evaluation of Charging Stations Including Renewables and Storage	2019	Patil, R. D., Veena, S., Sridhar, H. V.	Desain dan evaluasi HOMER menggunakan metode monte carlo	Pengembangan model untuk memperkirakan profil beban mempertimbangkan daya pengisian, kisaran nominal, waktu pengisian, States of Charge (SOC) pada saat kedatangan dan keberangkatan kendaraan. Permodelan monte carlo digunakan pada matlab dengan memperhatikan jarak mengemudi harian, States of Charge (SOC) dan waktu mulai pengisian [6].
4	Optimal Cost Analysis of Wind-Solar Hybrid System Powered AC and DC Irrigation Pumps using HOMER	2015	B. F. Ronad, S. H. Jangamshetti ,	Analisis kombinasi optimal TNPC dan COE	Analisis biaya optimal sistem hybrid wind-solar yang terhubung ke pompa irigasi DC dan AC. Perbandingan menunjukkan bahwa, untuk pompa irigasi 1 HP, sistem SPV standalone adalah solusi optimal. Dalam kedua kasus, total daya yang dihasilkan hampir sama, tetapi harga TNPC tidak ekonomis untuk sistem AC. [7].
5	Optimum Size of Battery-less Energy Sources Autonomous Hybrid Power System for Water Pumping Applications	2020	H. Rezk, O. Abdalla, M. A. Tolba, M. M. Zaky	Analisis tekno ekonomi dengan nilai net dan flat rate dari harga energi	Analisis tekno-ekonomi sistem tenaga hibrida generator fotovoltaik / generator turbin angin (PV / WTG - AHPS) tanpa baterai, pada sistem irigasi untuk memompa air bawah tanah [8].

## 2.2 PLTS / *Photovoltaic* (PV)

PLTS atau sistem *photovoltaic* adalah pembangkit energi listrik yang terdiri dari susunan panel - panel surya yang mengkonversi cahaya matahari secara langsung ke dalam besaran listrik. PV memiliki output daya bergantung pada radiasi cahaya matahari, suhu *ambient*, dan efisiensi konversi panel PV [9]. Berdasarkan referensi [10], persamaan berikut digunakan untuk menghitung output daya PV:

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G_T}}{G_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_C - T_{C,STC})] \quad (2.1)$$

Di mana:

- $P_{PV}$  = output daya PV [kW]
- $Y_{PV}$  = kapasitas rated PV [kW]
- $f_{PV}$  = faktor derating PV [%]
- $\overline{G_T}$  = insiden radiasi solar PV [kW/m<sup>2</sup>]
- $G_{T,STC}$  = insiden radiasi solar pada *standard test condition* [1 kW/m<sup>2</sup>]
- $\alpha_p$  = koefisien temperatur daya [%/°C]
- $T_C$  = temperatur sel PV [°C]
- $T_{C,STC}$  = temperatur sel PV pada *standard test condition* [25°C]

Perumusan output daya PV, dapat dipilih juga model tanpa memperhatikan efek temperatur pada PV, diasumsikan koefisien temperatur daya sama dengan nol, maka persamaan dapat diubah sebagai berikut:

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G_T}}{G_{T,STC}} \right) \quad (2.2)$$

Di mana:

- $P_{PV}$  = output daya PV [kW]
- $Y_{PV}$  = kapasitas rated PV [kW]
- $f_{PV}$  = faktor derating PV [%]
- $\overline{G_T}$  = insiden radiasi solar PV [kW/m<sup>2</sup>]
- $G_{T,STC}$  = insiden radiasi solar pada *standard test condition* [1 kW/m<sup>2</sup>]

### 2.3 PLTB / *Wind Turbine Generator* (WTG)

PLTB atau *Wind Turbine Generator* (WTG) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan massa jenis udara dan kecepatan angin pada ketinggian tertentu untuk diubah menjadi besaran listrik. Kecepatan angin terus meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian dari tanah. Referensi [11] menggunakan pemodelan matematik untuk menghitung output daya dengan cara menghitung ketinggian baling - baling terlebih dahulu. Persamaan model matematik tahapan untuk menghitung ketinggian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

$$U_{hub} = U_{anem} \cdot \frac{\ln\left(\frac{z_{hub}}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{anem}}{z_0}\right)} \quad (2.3)$$

Di mana

$U_{hub}$  = kecepatan angin pada ketinggian baling - baling WTG [m/s]

$U_{anem}$  = kecepatan angin pada ketinggian anemometer [m/s]

$z_{hub}$  = ketinggian hub WTG [m]

$z_{anem}$  = ketinggian anemometer [m]

$z_0$  = kekasaran permukaan [m]

$\ln (..)$  = algoritma natural

Tinggi anemometer adalah ketinggian di atas tanah tempat data kecepatan angin diukur. Kecepatan angin cenderung meningkat dengan ketinggian di atas tanah, jadi jika tinggi hub turbin angin tidak sama dengan tinggi anemometer, rumus ini akan menyesuaikan data kecepatan angin. Setelah menentukan kecepatan angin pada ketinggian hub WTG, kita akan menghitung output daya yang diharapkan dari WTG pada kecepatan angin di dalam kondisi suhu dan tekanan standar. Untuk menyesuaikan dengan kondisi aktual, dilakukan dengan mengalikan nilai daya yang diprediksi oleh kurva daya dengan rasio kepadatan udara atau massa jenis udara, sesuai dengan persamaan berikut:

$$P_{WTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \cdot P_{WTG,STP} \quad (2.4)$$

Di mana

$P_{WTG}$  = output daya WTG [kW]

$P_{WTG,STP}$  = output daya WTG pada keadaan STP [kW]

$\rho$  = massa jenis udara aktual [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_0$  = massa jenis udara pada keadaan STP [1,225 kg/m<sup>3</sup>]

Apabila diketahui diameter turbin dan kecepatan angin dapat diketahui daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan persamaan berikut [12].

$$P = 0.5\rho AV^3 \quad (2.5)$$

Keterangan:

$P$  = Daya (W)

$\rho$  = Massa jenis angin (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang turbin (m<sup>2</sup>) ( $\pi \cdot r^2$ )

$V$  = Kecepatan tiupan angin (m/s)

$r$  = Radius turbin angin (m)

## 2.4 Electric Vehicle Charging Station

EV Charging Station atau tempat charging untuk kendaraan listrik adalah sebuah elemen dalam infrastruktur yang memasok energi listrik untuk pengisian ulang baterai kendaraan listrik, seperti mobil listrik maupun mobil hibrid. Secara umum, terdapat beberapa cara untuk pengisian ulang baterai pada kendaraan listrik diantaranya adalah konduktif charging, induktif charging dan ganti baterai. Konduktif charging merupakan sistem pengisian baterai dengan melakukan kontak langsung antara baterai dengan sumber daya listrik. Induktif charging atau biasa dikenal dengan wireless charging adalah sebuah metode charging dengan memanfaatkan berbagai macam gelombang atau medan elektromagnet. Sedangkan untuk ganti baterai cukup sederhana yaitu sebuah skema dimana mobil listrik datang ke tempat penggantian baterai atau Battery Swapping Station (BSS) kemudian baterai kendaraan listrik akan diganti dengan baterai yang sudah terisi penuh. Konduktif charging merupakan pilihan yang paling tepat untuk diterapkan di Indonesia karena menawarkan kelebihan yaitu murah nya pembuatan sistem [13].

Konduktif charging memiliki beberapa tingkatan untuk pengisiannya. Tingkat pengisian untuk konduktif charging tergantung dari tingkat daya output dari pengisian daya. Terdapat 3 level untuk pengisian kendaraan listrik yaitu *slow charging*, *fast charging* dan *rapid charging*. *Slow charging* dan *fast charging* menggunakan listrik AC untuk pengisiannya, sedangkan *rapid charging*

menggunakan listrik DC untuk pengisiannya. Spesifikasi detail untuk perbandingan tingkatan pengisian konduktif akan diperlihatkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tingkat Pengisian Baterai

Parameter	Slow charging	Fast charging	Rapid charging
Daya	3 kW	7-43 kW	50-250 kW
Waktu pengisian	6-8 jam	1 jam	25 menit
Jenis baterai	Pb-Acid, Ni-MH, Li-ion	Ni-MH, ZEBRA, Li-ion	Li-ion

## 2.5 Analisa Biaya (*Cost Analysis*)

Analisa Biaya berfungsi untuk menentukan desain dan perencanaan sistem pembangkit hibrida dengan sumber EBT. Analisa biaya digunakan untuk menentukan ukuran PV, WTG, baterai dan konverter secara optimal. Analisa biaya dilakukan dengan prosedur menghitung *net present cost* (NPC), *total annualized cost* (TAC), *capital recovery factor* (CPF), *annual real interest rate* ( $i$ ), dan *cost of energy* (COE) yang secara detil dirumuskan di bawah ini [14].

### 2.5.1 Net Present Cost (NPC)

NPC mengindikasikan biaya instalasi dan biaya operasi selama *lifetime* atau umur komponen sistem yang dihitung dengan perhitungan berikut:

$$NPC = \frac{TAC}{CRF(i, R_{proj})} \quad (2.6)$$

Di mana:

$NPC$  = *net present cost* [Rp]

$TAC$  = *total annualized cost* [Rp]

$CRF$  = *capital recovery factor*

$i$  = *interest rate* [%]

$R_{proj}$  = *project lifetime* [tahun]



### 2.5.2 *Total Annualized Cost (TAC)*

TAC adalah jumlah biaya tahunan (*annualized cost*) dari setiap komponen dan peralatan dari sistem termasuk biaya modal (*capital cost*), biaya operasi (*operation cost*), biaya maintenance (*maintenance cost*), biaya penggantian (*replacement cost*), dan biaya bahan bakar (*fuel cost*) atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$TAC = (CC + O\&M + RC + FC) - S \quad (2.7)$$

Di mana:

TAC = *total annualized cost* [Rp]

CC = *capital cost* [Rp]

O&M = *operation & maintenance cost* [Rp]

RC = *replacement cost* [Rp]

FC = *fuel cost* [Rp]

S = *salvage* [Rp]

### 2.5.3 *Capital Recovery Factor (CRF)*

CRF adalah rasio yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang (*present value*) dari serangkaian arus kas (*cash flow*) tahunan yang sama atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CRF = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.8)$$

Di mana:

CRF = *capital recovery factor*

n = jumlah tahun

i = *interest rate*

### 2.5.4 *Annual Real Interest Rate (i)*

*i* adalah fungsi dari tingkat bunga nominal yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$i = \frac{i' - F}{1 + F} \quad (2.9)$$

Di mana:

*i* = *real interest rate* / suku bunga riil

- $i'$  = *nominal interest rate* / tingkat bunga nominal  
 $F$  = *annual inflation rate* / tingkat inflasi tahunan

#### 2.5.5 Cost of Energy (COE)

COE adalah biaya rata-rata per kWh dari penggunaan energi listrik yang dihasilkan sistem. Secara umum (untuk beban AC dan DC) COE dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,ac} + L_{prim,dc}} \quad (2.10)$$

Di mana:

- COE = *cost of energy* [Rp/kWh]  
TAC = *total annualized cost* [Rp]  
 $L_{prim,ac}$  = beban primer AC [kWh]  
 $L_{prim,dc}$  = beban primer DC [kWh]

#### 2.5.6 Nilai Sisa (*Salvage Value*)

Nilai Sisa atau *Salvage Value* adalah nilai yang tersisa dalam komponen sistem tenaga pada akhir masa proyek. Dalam penghitungan nilai ini, diasumsikan penyusutan linier komponen, yang berarti bahwa nilai sisa komponen berbanding lurus dengan sisa umurnya. Penghitungan ini juga mengasumsikan bahwa nilai sisa tergantung pada biaya penggantian (*replacement cost*) dari biaya modal awal (*capital cost*). Penghitungan nilai sisa menggunakan persamaan berikut:

$$S = C_{rep} \cdot \frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (2.11)$$

$R_{rem}$ , sisa umur komponen pada akhir masa proyek, dirumuskan sebagai:

$$R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep}) \quad (2.12)$$

$R_{rep}$ , durasi biaya penggantian, dirumuskan sebagai:

$$R_{rep} = R_{comp} \cdot INT\left(\frac{R_{proj}}{R_{comp}}\right) \quad (2.13)$$

Di mana:

- $C_{rep}$  = *replacement cost* [Rp]  
 $R_{comp}$  = *lifetime* komponen [tahun]  
 $R_{proj}$  = *lifetime* proyek [tahun]

*INT* = fungsi yang mengubah bilangan bulat menjadi bilangan asli

### 2.5.7 Payback Period

Payback period merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya investasi yang telah dikeluarkan untuk mendapat keuntungan selama membangun sebuah proyek. Besar nilai payback period dapat diketahui dengan rumus Break Event Point (BEP). Untuk payback period pada sistem kita dapat menghitung menggunakan rumus BEP (Break Event Point) dengan nilai initial, replacement, salvage, operating ditambah pembuatan EVCS sebagai fixed cost, fuel sebagai variabel cost dan COE sebagai harga jual energi sebagai berikut:

$$BEP = FC / P - VC \quad (2.14)$$

Di mana:

BEP : Break Event Point (tahun)

FC : Fixed Cost (Rp)

P : Pendapatan (Rp)

VC : Variable Cost (Rp)

Proyek dapat dikatakan layak apabila waktu pengembalian modal kurang dari waktu yang digunakan untuk perancangan proyek. Jika pengembalian modal lebih dari waktu perancangan proyek maka proyek tersebut dapat dikatakan tidak layak untuk dibangun. Untuk mengetahui nilai payback period terlebih dahulu untuk mengetahui nilai pendapatan dari penjualan energi listrik dalam setahun. Perhitungan pendapatan penjualan energi listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = COE \times \text{total energi terjual} \quad (2.15)$$

Dimana:

Pendapatan per Tahun : Pemasukan yang didapatkan per tahun (Rp)

Total energi terjual : Energi yang diproduksi pembangkit per tahun (Rp)

COE : Biaya yang dikeluarkan per kWh (Rp)

## 2.6 Baterai

Baterai mengkonversi listrik yang dihasilkan oleh PV dan WTG ke dalam bentuk yang dapat disimpan pada keadaan dan periode *off-peak*, ketika permintaan

daya biasanya rendah dan dimasukkan kembali ke dalam sistem selama periode puncak. Baterai juga berperan dalam mengurangi efek fluktuasi yang terkait dengan sumber daya EBT karena karakteristik stokastiknya. Efek fluktuasi ini dapat diperhalus dengan aplikasi baterai. Kapasitas baterai tergantung pada permintaan beban maksimum, jumlah pembangkit EBT, penggunaan energi harian, input EBT, keandalan pasokan daya, biaya baterai, kondisi operasi, suhu rata-rata, dan sebagainya. Operasi optimal baterai bergantung pada batas pengisian dan pengosongan (*charge and discharge*) dari baterai itu sendiri. Penghitungan *battery charging power* adalah penghitungan jumlah maksimum daya yang dapat diserap oleh baterai, yang pertama menurut persamaan berdasarkan *maximum charge rate* diambil dari referensi [9] adalah sebagai berikut:

$$P_{batt,cmx,mcr} = \frac{(1-e^{-\alpha_c \Delta t})(Q_{max}-Q)}{\Delta t} \quad (2.14)$$

Di mana:

$\alpha_c$  = tingkat pengisian maksimum baterai [A/Ah]

$Q_{max}$  = total kapasitas penyimpanan baterai [kWh]

Penghitungan yang kedua adalah penghitungan berdasarkan *maximum charge current* menurut persamaan berikut:

$$P_{batt,cmx,mcc} = \frac{N_{batt} I_{max} V_{nom}}{1000} \quad (2.15)$$

Di mana:

$N_{batt}$  = jumlah baterai penyusun bank penyimpanan

$I_{max}$  = *maximum charge current* baterai [A]

$V_{nom}$  = tegangan nominal baterai [V]

Kedua penghitungan di atas dimodelkan berdasarkan asumsi charging losses sebagai berikut:

$$P_{batt,cmx} = \frac{MIN(P_{batt,cmx,mcr}, P_{batt,cmx,mcc})}{\eta_{batt,c}} \quad (2.16)$$

Sebaliknya, *battery discharging power* adalah kemampuan baterai dalam melakukan discharge untuk memberi daya pada beban dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{batt,dmax} = \eta_{batt,d}(P_{batt,cmax,mcr}, P_{batt,cmax,mcc}) \quad (2.17)$$

## 2.7 Konverter

Peran konverter dua arah (*bi-directional converter*) pada sistem adalah untuk mengkonversi tegangan DC dari unit pembangkit DC, seperti dalam penelitian ini adalah PV, ke dalam tegangan AC yang dapat digunakan pada sisi beban, sebaliknya juga dapat mengkonversi tegangan AC ke DC. Efisiensi konverter dirumuskan menurut [15] sebagai berikut:

$$\eta_{cov} = \frac{P_{output}}{P_{input}} \quad (2.18)$$

Di mana:

- $\eta_{cov}$  = efisiensi konverter
- $P_{output}$  = daya output konverter [kW]
- $P_{input}$  = daya input konverter [kW]

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

Dalam penelitian dijalankan beberapa perangkat lunak pada laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

Sistem Operasi	: Windows 10 Pro 64-bit
Prosesor	: Intel(R) Core(TM) i5-7200U @2,50GHz
Memory	: 8GB
VGA	: NVIDIA GeForce 930MX
Memory VGA	: 6GB

Kemudian perangkat lunak yang dijalankan adalah sebagai berikut:

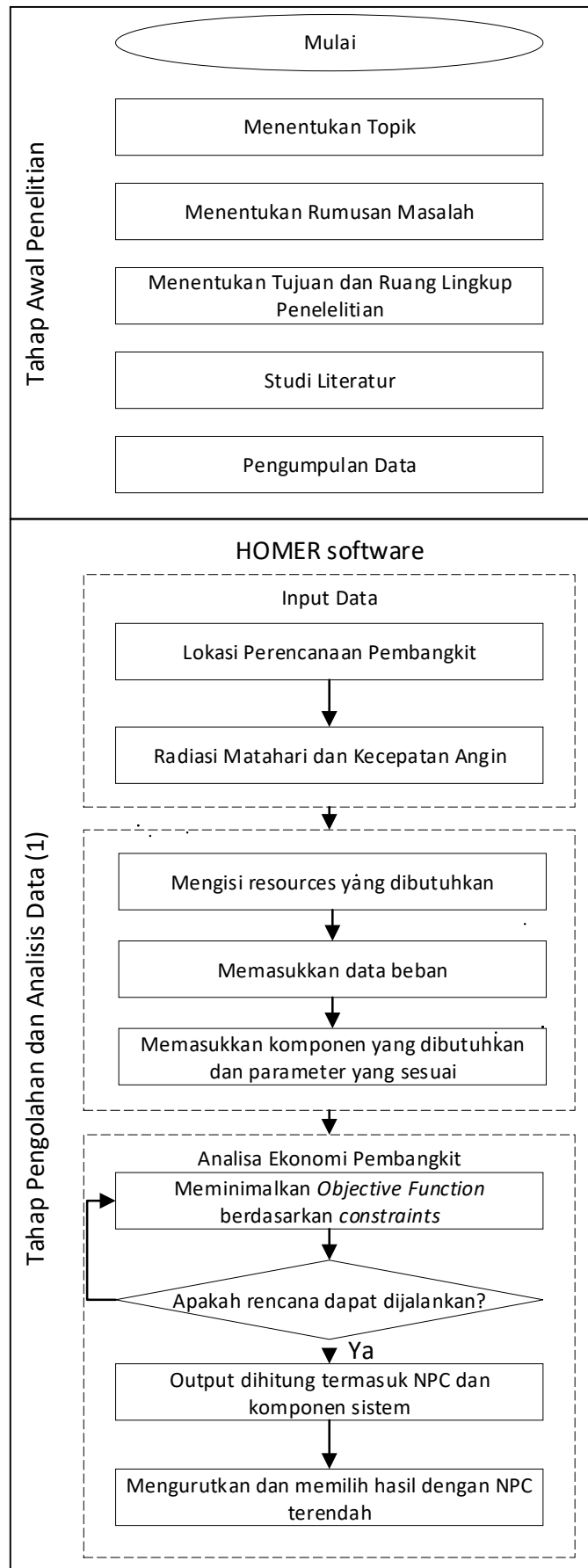
1. Browser Mozilla Firefox
2. HOMER Pro Versi 3.10.1
3. MATLAB Versi 2017A

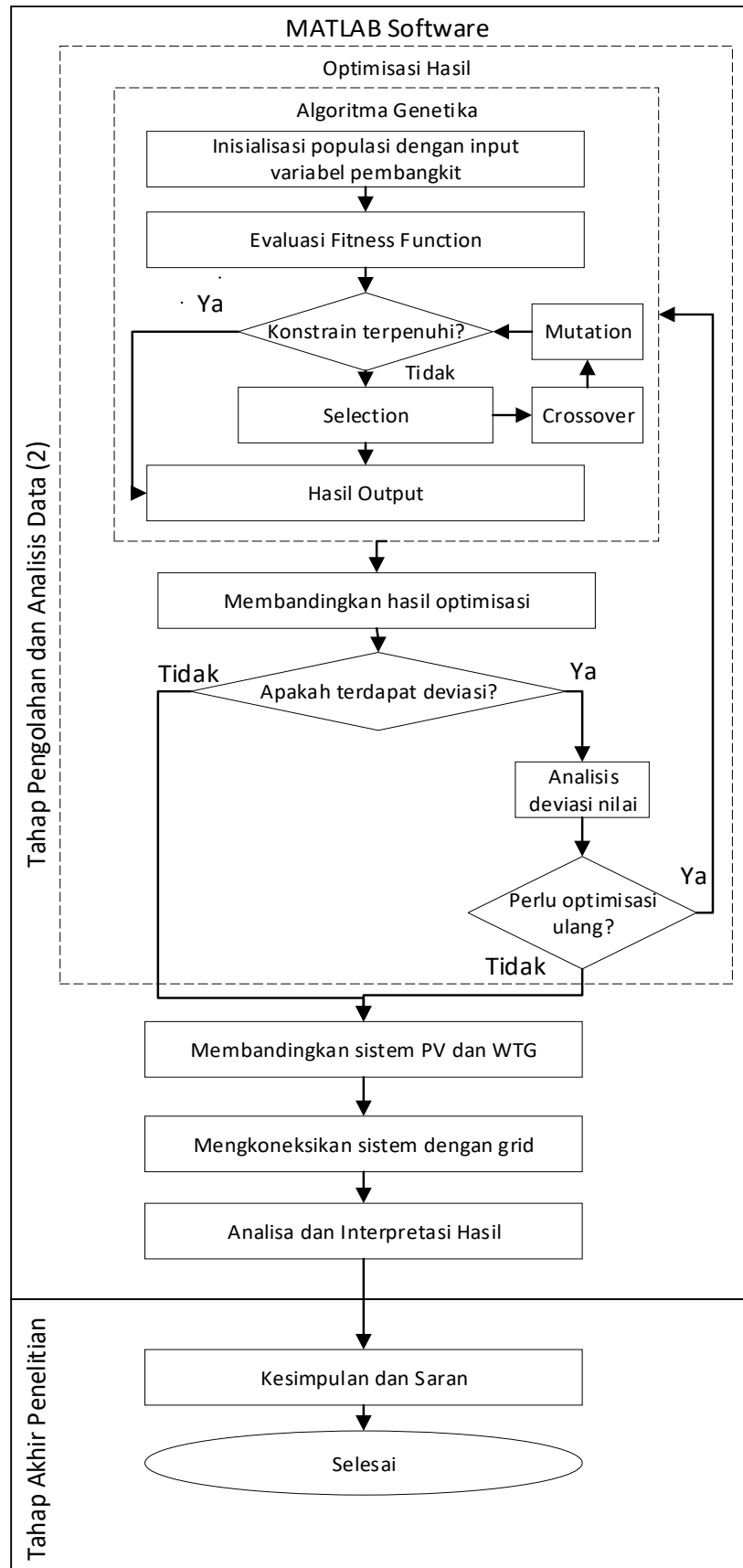
#### **3.2 Diagram Alir Penelitian**

Diagram alir atau *flow chart* penelitian adalah sekumpulan tahapan proses yang disusun secara berurutan dari awal hingga akhir penelitian. Adapun diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.

#### **3.3 Jalannya Penelitian**

Metodologi penelitian merupakan kerangka pemecahan masalah dengan cara pengolahan dan analisis data. Secara umum metodologi penelitian disusun untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan, maka keseluruhan kegiatan penelitian dirancang untuk mengikuti diagram alir seperti tampak pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.3.1 Tahap Awal Penelitian

Tahapan ini merupakan tahapan awal untuk mengidentifikasi masalah yang akan diselesaikan diawali dengan menentukan topik pembahasan. Kemudian, menentukan rumusan masalah yang akan diselesaikan. Setelah itu, menentukan tujuan dan ruang lingkup penelitian agar peneliti mengetahui langkah – langkah yang akan dikerjakan. Lalu dilakukan studi literatur dan pengumpulan data.

### 3.3.2 Pengolahan dan Analisis Data

Tahapan ini merupakan tahapan dalam mengolah data yang telah didapat dari hasil studi lapangan. Data tersebut diolah sesuai dengan literatur yang telah dikumpulkan dan dengan teori-teori yang telah ada pada penelitian sebelumnya. Berikut tahap-tahap pengolahan dan analisis data:

#### A. Lokasi Perancangan Pembangkit

Adapun acuan indikasi rencana pengembangan pembangkit listrik tenaga surya dan bayu yaitu 5 provinsi di Indonesia dengan konsumsi listrik atau energi terjual provinsi per kelompok pelanggan [16] dan berpotensi akan banyak kendaraan listrik yang beroperasi berdasarkan data statistik kendaraan yang ada di Indonesia [17] serta ketersediaan potensi surya dan bayu per provinsi [18] dapat dilihat berturut-turut pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.1 Data Energi Terjual Provinsi

No.	Provinsi	Jumlah Energi Terjual (GWh)
1	Jawa Barat	49311.71
2	Jawa Timur	35817.90
3	DKI Jakarta	32779.20
4	Jawa Tengah	23558.01
5	Banten	23161.85
6	Sumatera Utara	10445.02
7	Sulawesi Selatan	5472.48
8	Sumatera Selatan	5450.69
9	Bali	5302.67
10	Lampung	4257.15

Tabel 3.2 Data Mobil Berpenumpang di Indonesia

No.	Provinsi	2017	2018
1	DKI Jakarta	3869635	4078868
2	Jawa Barat	1456569	1558780
3	Jawa Timur	1444394	1529053
4	Jawa Tengah	1140300	1254891
5	Sumatera Selatan	915056	955914
6	Bali	878193	902292
7	Riau	681741	701773
8	Sumatera Utara	55228	642107
9	Sulawesi Selatan	432503	456271
10	Yogyakarta	406308	431973

Tabel 3.3 Potensi Bayu Provinsi di Indonesia

No.	Provinsi	Potensi (MW)
1	DKI Jakarta	4
2	Jawa Barat	7036
3	Jawa Timur	7907
4	Jawa Tengah	5213
5	Sumatera Selatan	4193
6	Bali	1019
7	Riau	22
8	Sumatera Utara	356
9	Sulawesi Selatan	4193
10	Yogyakarta	1079

Tabel 3.4 Potensi Surya Provinsi di Indonesia

No.	Provinsi	Potensi (MW)
1	DKI Jakarta	225
2	Jawa Barat	9099
3	Jawa Timur	10335
4	Jawa Tengah	8753
5	Sumatera Selatan	17233
6	Bali	1254
7	Riau	753
8	Sumatera Utara	11851
9	Sulawesi Selatan	7588
10	Yogyakarta	996

Dari semua data diatas dapat dilihat jumlah potensi energi terbarukan tertinggi dari 10 provinsi di Indonesia dengan mobil berpenumpang terbanyak adalah sebagai berikut:

Tabel 3.5 Jumlah Potensi Energi Terbarukan

No.	Provinsi	Bayu	Surya	Jumlah
1	Sumatera Selatan	4193	17233	21426
2	Jawa Timur	7907	10335	18242
3	Jawa Barat	7036	9099	16135
4	Jawa Tengah	5213	8753	13966
5	Sumatera Utara	356	11851	12207

#### B. Nilai Beban

Dalam menentukan kapasitas pembangkit alternatif hibrida, perlu diketahui dulu nilai beban yang akan dijadikan sebagai acuan utama untuk menentukan komposisi pembangkit. Peneliti menggunakan acuan salah satu mobil listrik yaitu Prius PRIME PHEV sesuai dengan penelitian [13] dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.6 Spesifikasi Prius PRIME PHEV

Parameters	Specification
Engine capacity	1797 cc
Engine power	72 kW/ 5200 rpm
Engine torque	142 Nm/ 3600 rpm
Fuel tank capacity	43 L
Motor	PMSM 53 kW
Generator	PMSM 23 kW
Battery capacity	Li-ion 8.8 kW
Weight	1526 kg

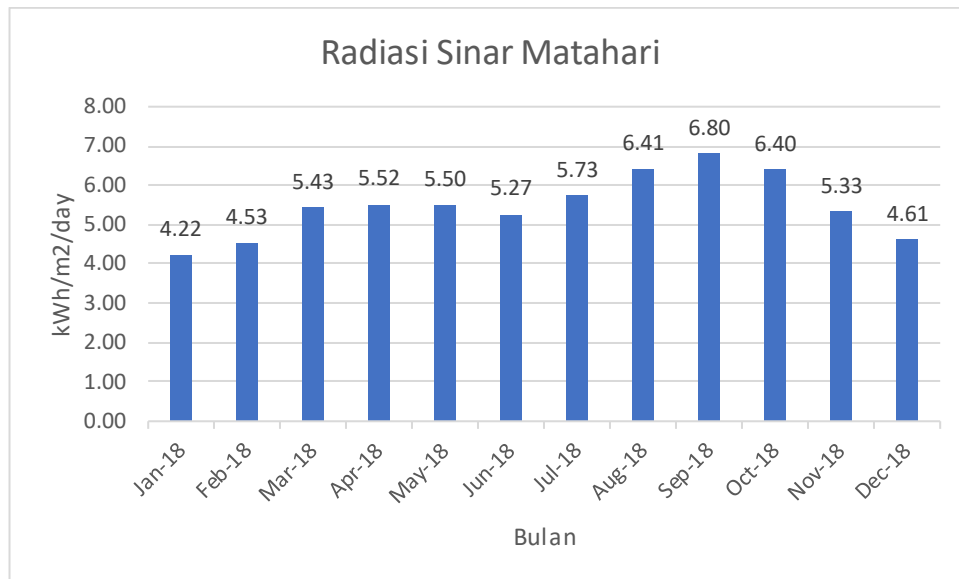
Dari spesifikasi di atas, dapat dilihat bahwa mobil Prius PRIME PHEV memiliki baterai berkapasitas 8.8kW, yang kemudian akan dilakukan simulasi dengan membuat proses *charging* pada 10 mobil tiap harinya, sehingga beban harian rata-rata yang akan dipenuhi adalah sekitar 88kWh/hari.

#### C. Radiasi Matahari dan Kecepatan Angin

Sebagaimana disampaikan sebelumnya bahwa dibutuhkan data potensi surya dan bayu diperoleh melalui satelit NASA yang termuat dalam NASA *Surface Meteorology and Solar Energy* [19],

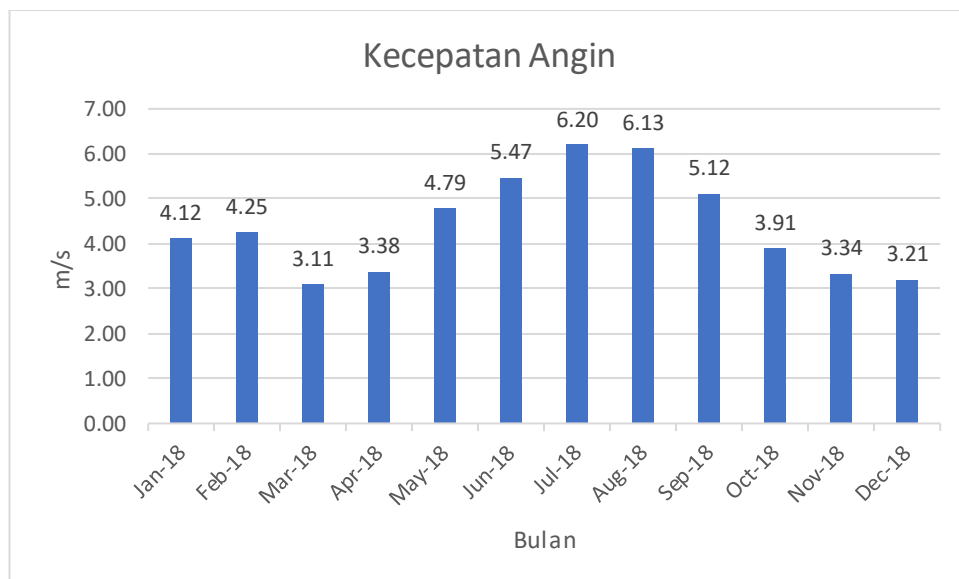
##### 1. Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah

Kota Semarang memiliki potensi radiasi sinar matahari rata – rata sebesar 5.48 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan radiasi sinar matahari tertinggi pada bulan September sebesar 6.80 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan terendah pada bulan Januari sebesar 4.22 kWh/m<sup>2</sup>/hari.



Gambar 3.2 Data Radiasi Matahari Kota Semarang

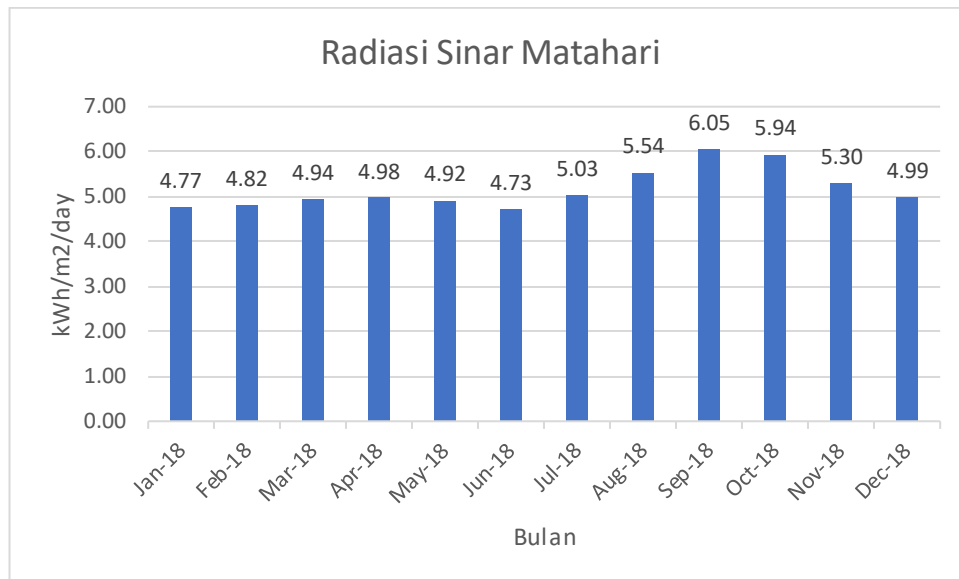
Adapun kota Semarang memiliki potensi kecepatan angin rata – rata sebesar 4.42m/s dengan kecepatan angin tertinggi pada bulan Juli sebesar 6.20m/s dan kecepatan angin terendah pada bulan Maret sebesar 3.11m/s.



Gambar 3.3 Data Kecepatan Angin Kota Semarang

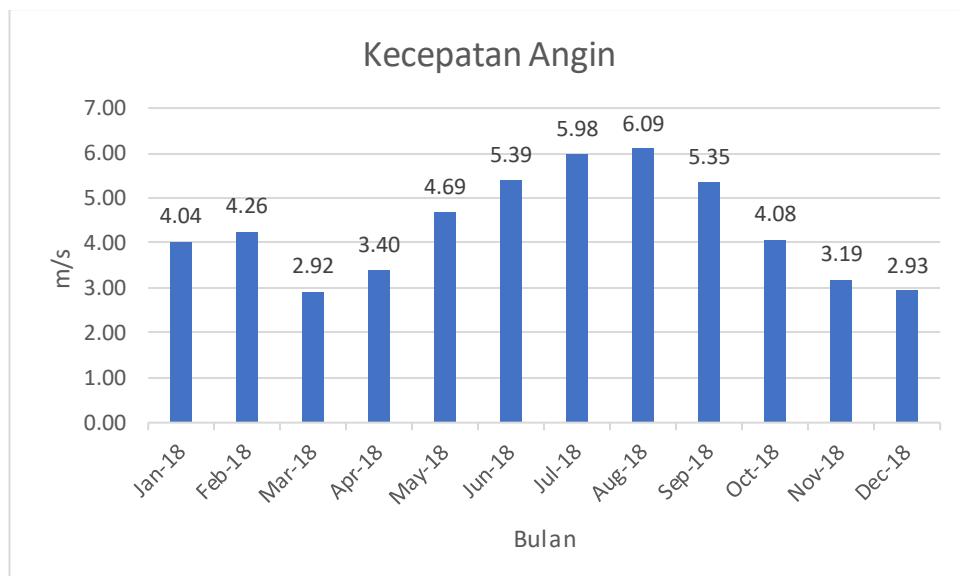
## 2. Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur

Kota Surabaya memiliki potensi radiasi sinar matahari rata – rata sebesar 5.17 kWh/m²/hari dengan radiasi sinar matahari tertinggi pada bulan September sebesar 6.05 kWh/m²/hari dan terendah pada bulan Juni sebesar 4.73 kWh/m²/hari.



Gambar 3.4 Data Radiasi Matahari Kota Surabaya

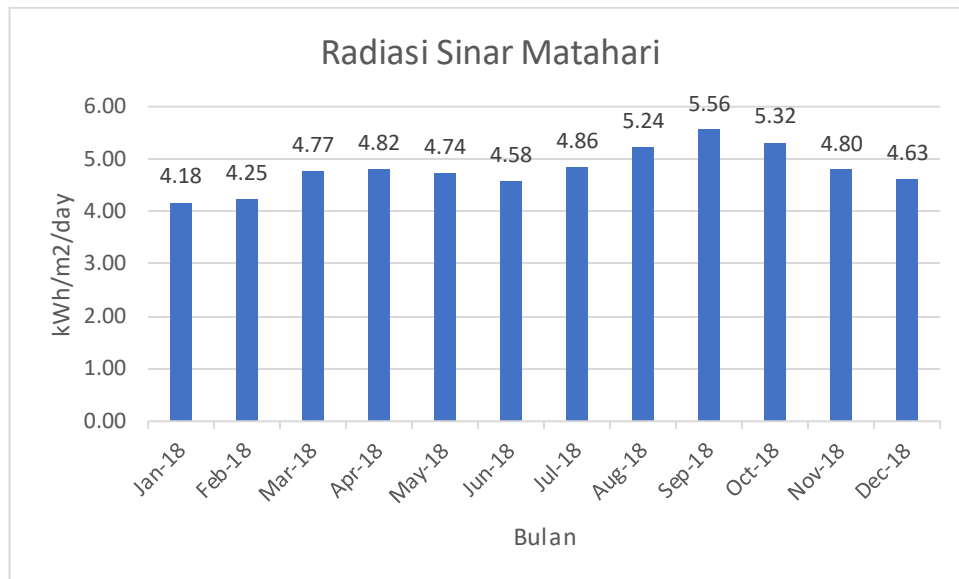
Adapun kota Surabaya memiliki potensi kecepatan angin rata – rata sebesar 4.36m/s dengan kecepatan angin tertinggi pada bulan Agustus sebesar 6.09m/s dan kecepatan angin terendah pada bulan Maret sebesar 2.92m/s.



Gambar 3.5 Data Kecepatan Angin Kota Surabaya

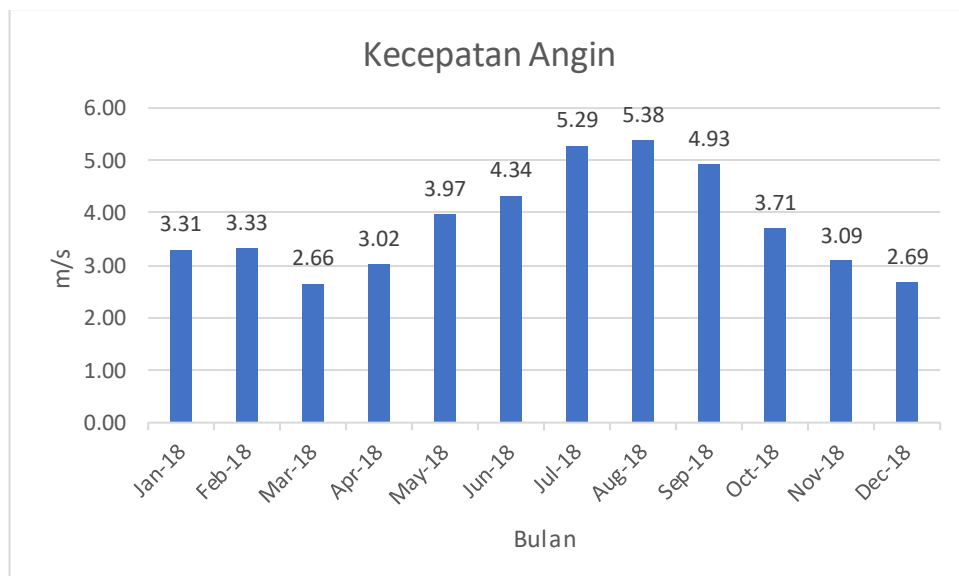
### 3. Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat

Kota Bandung memiliki potensi radiasi sinar matahari rata – rata sebesar 4.81 kWh/m²/hari dengan radiasi sinar matahari tertinggi pada bulan September sebesar 5.56 kWh/m²/hari dan terendah pada bulan Januari sebesar 4.18 kWh/m²/hari.



Gambar 3.6 Data Radiasi Matahari Kota Bandung

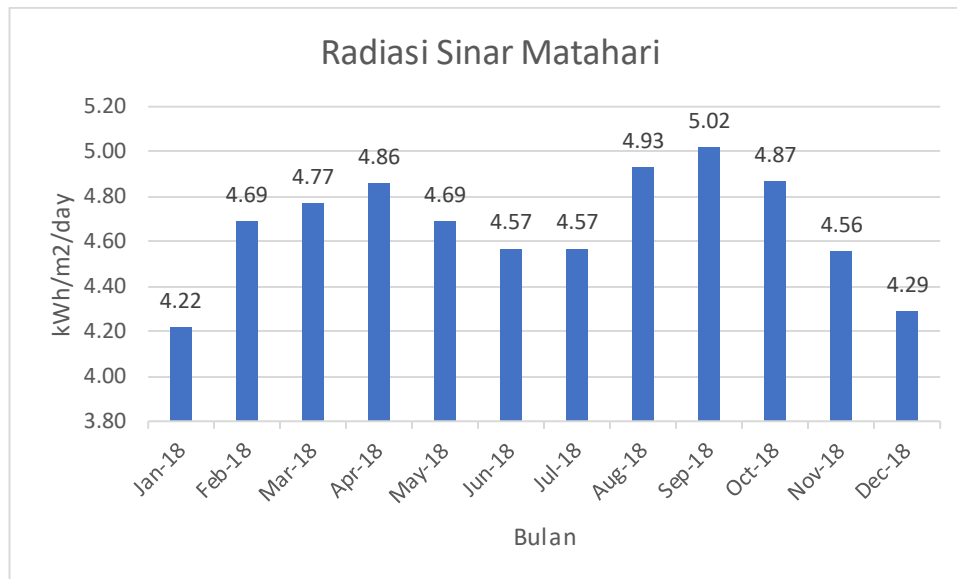
Adapun kota Bandung memiliki potensi kecepatan angin rata – rata sebesar 3.81m/s dengan kecepatan angin tertinggi pada bulan Agustus sebesar 5.38m/s dan kecepatan angin terendah pada bulan Maret sebesar 2.66m/s.



Gambar 3.7 Data Kecepatan Angin Kota Bandung

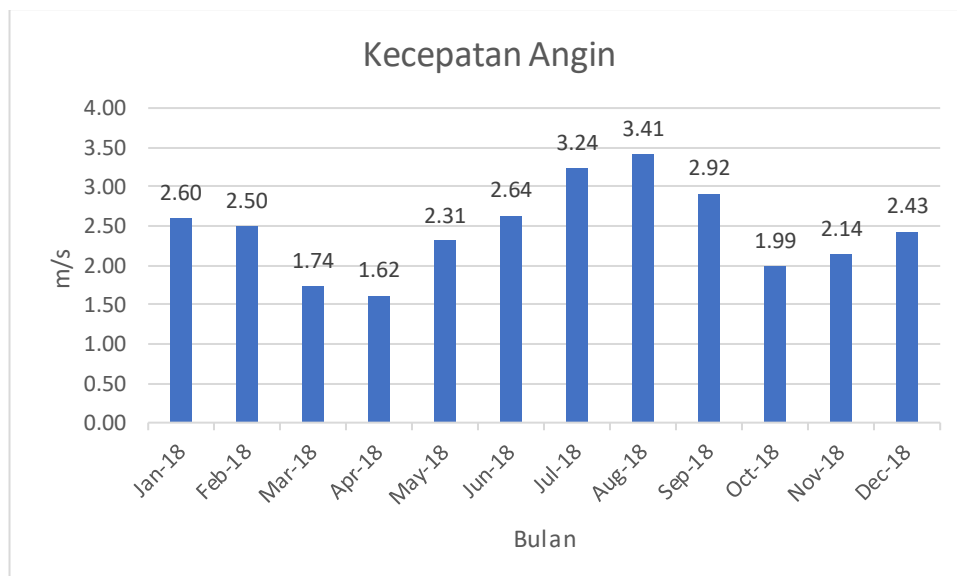
#### 4. Kota Palembang, Provinsi Sumatera Selatan

Kota Palembang memiliki potensi radiasi sinar matahari rata – rata sebesar 4.67 kWh/m²/hari dengan radiasi sinar matahari tertinggi pada bulan September sebesar 5.02 kWh/m²/hari dan terendah pada bulan Januari sebesar 4.22 kWh/m²/hari.



Gambar 3.8 Data Radiasi Matahari Kota Palembang

Adapun kota Palembang memiliki potensi kecepatan angin rata – rata sebesar 2.46m/s dengan kecepatan angin tertinggi pada bulan Agustus sebesar 3.41m/s dan kecepatan angin terendah pada bulan April sebesar 1.62m/s.

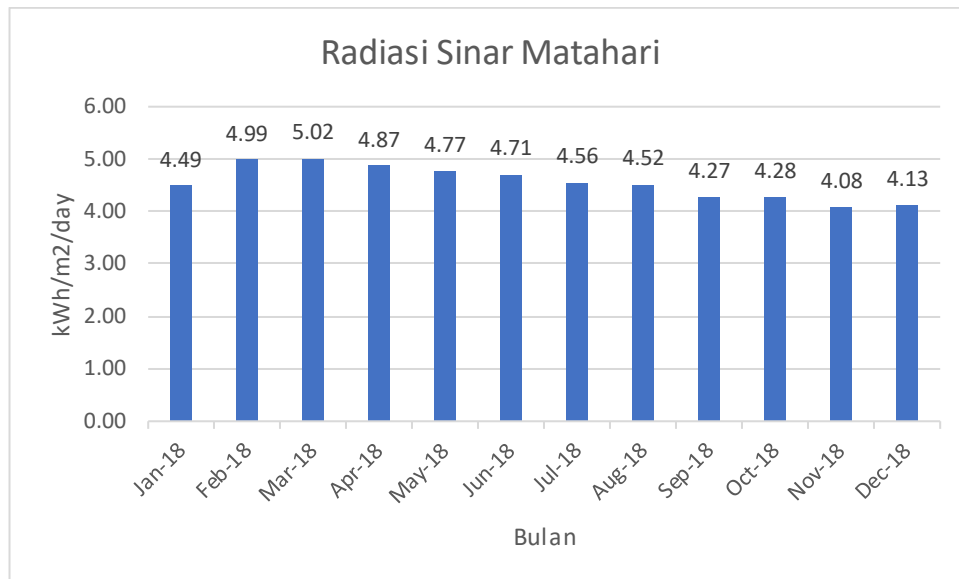


Gambar 3.9 Data Kecepatan Angin Kota Palembang

##### 5. Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara

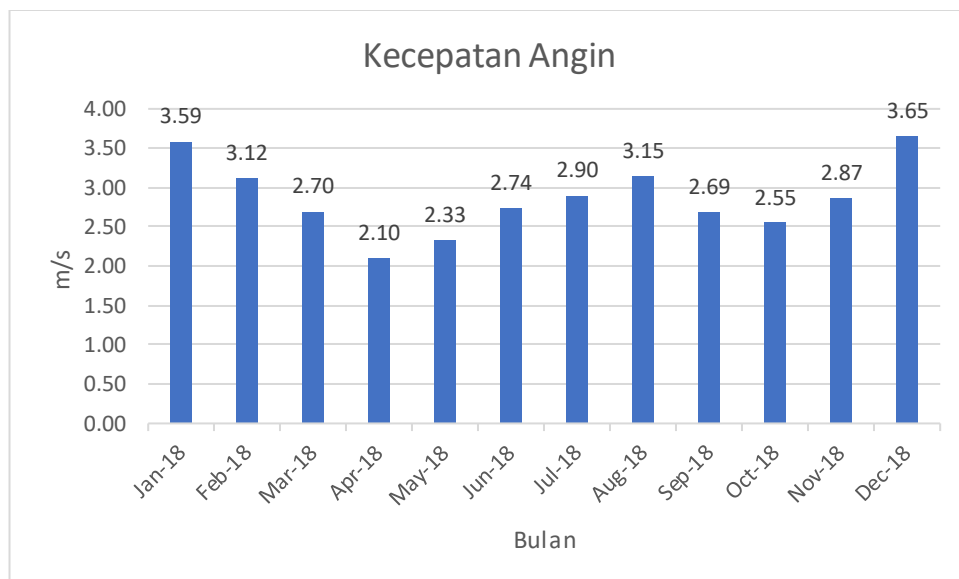
Kota Medan memiliki potensi radiasi sinar matahari rata – rata sebesar 4.56 kWh/m²/hari dengan radiasi sinar matahari tertinggi pada bulan Maret sebesar 5.02 kWh/m²/hari dan terendah pada bulan November sebesar 4.08 kWh/m²/hari.





Gambar 3.10 Data Radiasi Matahari Kota Medan

Adapun kota Medan memiliki potensi kecepatan angin rata – rata sebesar 2.87m/s dengan kecepatan angin tertinggi pada bulan sebesar 3.65m/s dan kecepatan angin terendah pada bulan April sebesar 2.10m/s.



Gambar 3.11 Data Kecepatan Angin Kota Medan

#### D. Simulasi HOMER *Software*

Mengacu pada data di Tabel 3.7 tentang data teknis dan ekonomis komponen sistem pembangkit, tahapan selanjutnya adalah memasukkan data-data tersebut pada HOMER. Adapun tahapan melakukan simulasi di HOMER adalah sebagai berikut:

1. Mengisi data *Name*, *Author*, dan *Description* Project.
2. Mengecek kembali data *discount rate*, *inflation rate*, dan *project lifetime* apakah sudah sesuai dengan kondisi tempat proyek dilaksanakan.
3. Memasukkan lokasi proyek dan *resources* yang dibutuhkan.
4. Memasukkan beban yang dibutuhkan sesuai dengan data.
5. Menentukan komponen yang diperlukan, yaitu PV, Wind Turbine dan konverter serta baterai lalu masukkan parameter yang dibutuhkan.
6. Melakukan proses kalkulasi pada software
7. Apabila proses optimisasi HOMER sudah selesai, akan tampak halaman hasil simulasi berisi tabel-tabel data.

#### E. Komponen Sistem Pembangkit Hibrid

Desain sistem pembangkit hibrid yang dikerjakan oleh peneliti terdiri dari peralatan dengan data teknis sebagai berikut:

##### 1. Photovoltaic (PV)

PV yang digunakan dalam desain sistem pembangkit hibrid penelitian ini menggunakan tipe Peimar SG290P dengan kapasitas 290Wp. Data teknis PV secara rinci adalah sebagai berikut:

Tabel 3.7 Data Teknis dan Ekonomi PV

PV		
Parameter	Unit	Nilai
Capital Cost	Rp/kWh	14400000
Replacement Cost	Rp/kWh	14400000
Operation and Maintenance Cost	Rp/kWh/tahun	0
Lifetime	Tahun	30
Derating Factor	%	80
Tracking	-	-

## 2. Wind Turbine Generator (WTG)

*Wind Turbine Generator (WTG)* atau turbin angin yang digunakan dalam desain sistem pembangkit hibrid ini menggunakan jenis Ennera Windera S dengan kapasitas 3.2 KW per unit. Data teknis WTG secara rinci adalah sebagai berikut:

Tabel 3.8 Data Teknis dan Ekonomi WTG

WTG		
Parameter	Unit	Nilai
Rated Power	kW	3.2
Hub Height	m	12
Capital Cost	Rp/kWh	15000000
Replacement Cost	Rp/kWh	15000000
Operation and Maintenance Cost	Rp/kWh/tahun	750000
Lifetime	Tahun	20

## 3. Konverter

Konverter yang digunakan dalam sistem pembangkit hibrid ini menggunakan jenis Generic System Converter dengan kapasitas tergantung dari sistem. Data teknis konverter secara rinci adalah sebagai berikut:

Tabel 3.9 Data Teknis dan Ekonomi Konverter

Konverter		
Parameter	Unit	Nilai
Capital Cost	Rp/kWh	4500000
Replacement Cost	Rp/kWh	4500000
Operation and Maintenance Cost	Rp/kWh/tahun	0
Lifetime	Tahun	15
Efficiency	%	95

#### 4. Baterai

Baterai yang digunakan dalam sistem pembangkit hibrid ini adalah Generic Li-ion 1 kWh. Data teknis baterai adalah sebagai berikut:

Tabel 3.10 Data Teknis dan Ekonomi Baterai

Baterai		
Parameter	Unit	Nilai
Rated Capacity	kWh	1
Capital Cost	Rp/kWh	8500000
Replacement Cost	Rp/kWh	8500000
Operation and Maintenance Cost	Rp/kWh/tahun	0
Lifetime	Tahun	15
Roundtrip Efficiency	%	95

#### F. Analisis Ekonomi Pembangkit

Analisis ekonomi pembangkit memuat tentang bagaimana membuat sebuah keputusan dimana dibatasi oleh ragam permasalahan yang berhubungan sehingga menghasilkan pilihan yang terbaik dari berbagai alternatif pilihan. Keputusan yang diambil berdasarkan suatu proses analisa, teknik dan perhitungan ekonomi. Dalam penelitian ini, keputusan yang dibuat adalah berupa kapasitas dari setiap komponen sistem hibrida (PV, WTG dan Konverter) dengan memperhatikan aspek ekonomi yang terikat pada konstrain berupa kapasitas pembangkit dan data teknis komponen.

Dalam sebuah sistem pembangkit hibrida, *Net Present Cost* atau NPC adalah fungsi objektif yang dituju dengan cara meminimalkan nilai NPC dan tetap memperhatikan konstrain kapasitas pembangkit serta data teknis komponen.

Secara perumusan matematik, analisa tekno ekonomi dari sebuah sistem hibrida dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{minimize } (NPC = \frac{TAC}{CRF(i, R_{proj})}) \quad (3.1)$$

Di mana:

$NPC$  = *net present cost* [Rp]

$TAC$  = *total annualized cost* [Rp]

$CRF$  = *capital recovery factor*

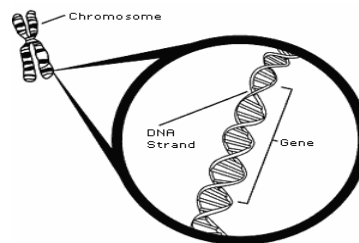
$i$  = *interest rate* [%]

$R_{proj}$  = *project lifetime* [tahun]

#### G. Optimalisasi Hasil

Optimalisasi hasil yang digunakan adalah metode Algoritma Genetika yang berfungsi untuk mengetahui hasil mana yang paling optimal dari data teknis yang sudah didapatkan.

Algoritma genetika adalah heuristik pencarian yang terinspirasi oleh teori evolusi alami Charles Darwin. Algoritma ini mencerminkan proses seleksi alam di mana individu-individu terkuat dipilih untuk reproduksi untuk menghasilkan keturunan generasi berikutnya. Semua organisme hidup terdiri dari sel. Di setiap sel ada set kromosom yang sama. Kromosom adalah rangkaian DNA dan berfungsi sebagai model untuk seluruh organisme. Kromosom terdiri dari gen dan blok DNA. Setiap gen mengkode protein tertentu. Pada dasarnya, bahwa setiap gen mengkodekan suatu sifat, misalnya warna mata [20]. Gambar 3.13 memberikan ilustrasi tentang hal itu.



Gambar 3.12 Gambaran Kromosom

Proses seleksi alam dimulai dengan pemilihan individu-individu yang paling cocok dari suatu populasi yang kemudian menghasilkan keturunan dengan mewarisi karakteristik orang tua dan akan ditambahkan ke generasi berikutnya. Jika orang tua memiliki nilai fitness yang lebih baik, keturunan mereka akan lebih baik daripada orang tua dan memiliki peluang yang lebih baik untuk bertahan hidup. Proses ini terus berulang dan pada akhirnya, generasi dengan individu terkuat akan ditemukan.

Dalam program ini terdapat 5 langkah untuk mencari pengoptimalan menggunakan metode Algoritma Genetika, fase dalam algoritma genetika adalah sebagai berikut [21]:

## 1. Initial Population

Langkah pertama yaitu menentukan probabilitas *crossover* dan probabilitas mutasi pada *Main* program.

```
popsiz=300;
pc=0.6; %probability crossover
pm=0.2; %probability mutation
```

Kemudian mendefinisikan variabel yang akan digunakan dan rumus, serta pemanggilan fungsi-fungsi dari program *fitness*, *selection*, *crossover*, dan mutasi.

```
solar=xlsread('nasa_solar.xlsx');
wind=xlsread('nasa_wind.xlsx');

Yr=0.290;
Fd=0.8;
Gt=sum(solar)/12;
Gs=1;

d=1.225;
phi=3.14;
r=2.18;
A=phi*(r^2);
V=sum(wind)/12;
```

Lalu, menghasilkan populasi yang akan digunakan untuk proses pencarian algoritma genetika.

```
generator=zeros(popsiz,3);
PV=Yr*Fd*(Gt/Gs);
WTG=(0.5*d*A*V^3)/1000;
C=15;

generator(:,1)=PV;
generator(:,2)=WTG;
generator(:,3)=C;
```

## 2. Fitness Function

Langkah kedua yaitu melakukan pendefinisian perumusan untuk menghitung *fitness value* yang diperoleh melalui perhitungan *Net Present Cost* (NPC) dengan tetap memperhatikan nilai beban atau biasa disebut bagian *Fitness* program.

```
% calculate NPC
n=size(generator,1);
npc=zeros(n,1);
for i=1:n
    data=generator(i,1:3);
```

Kemudian memperhitungkan NPC dengan menggunakan data harga tiap komponen dan kapasitas tiap komponen.

```

% NPC formula = gen_type*NPC_cost in rupiah
npc(i,1)=data(1)*14400000+data(2)*15750000+data(3)*4500000;
end
% calculate load
load=zeros(n,1);
for i=1:n
    data=generator(i,1:3);
    load(i,1)=data(1)+data(2)+data(3);
end
fitnessvalue=((1./(1+npc))+(1./(1+abs(load-220))));
end

```

### 3. Selection

Langkah ketiga yaitu *selection* program yang digunakan adalah metode *Fitness Proportionate Selection*. Dalam *selection FPS* ini, *parent* dipilih sesuai dengan *fitness* mereka. Semakin baik kromosom, semakin banyak kesempatan untuk dipilih.

```

totalfit=sum(fx);
prob=fx/totalfit;
% Fitness proportionate selection
for selectedin=1:n_parent
    r=rand;
    s=0;
    for k=1:popsize
        s=s+prob(k);
        if r<=s
            selectedpop(selectedin,:)=oldpop(k,:);
            break
        end
    end
end
end
end

```

### 4. Crossover

Langkah keempat yaitu *Crossover* program berfungsi untuk memvariasikan pemrograman kromosom atau kromosom dari satu generasi ke generasi berikutnya. Crossover memilih gen dari kromosom induk dan menciptakan keturunan baru. Cara paling sederhana bagaimana melakukan *crossover* adalah dengan memilih secara acak beberapa titik *crossover* dari induk pertama semuanya sebelum salinan titik ini dan kemudian semuanya setelah salinan titik *crossover* dari induk kedua.

```

if (rand<pc)
    cpoint=round(rand*(stringlength-1))+1;
    child1=[parent1(:,1:cpoint) parent2(:,cpoint+1:stringlength)];
    child2=[parent2(:,1:cpoint) parent1(:,cpoint+1:stringlength)];
else
    child1=parent1;
    child2=parent2;
end

```

## 5. Mutation

Langkah terakhir yaitu *Mutation* program atau program yang digunakan untuk mempertahankan keragaman genetik dari satu generasi populasi kromosom algoritma ke generasi berikutnya dengan operator genetik.

```
child=parent;
for i=1:popsi
    if (rand<pm)
        mpoint=round(rand*(stringlength-1))+1;
        child(i,mpoint)=round(rand*(88000));
    end
end
```

Adapun pseudocode dalam algoritma genetika yang paling umum adalah sebagai berikut:

START

Generate the initial population

Compute fitness

REPEAT

    Selection

    Crossover

    Mutation

    Compute fitness

UNTIL population has converged

STOP

Algoritma berakhir jika populasi telah konvergen (tidak menghasilkan keturunan yang secara signifikan berbeda dari generasi sebelumnya). Kemudian dikatakan bahwa algoritma genetika telah menghasilkan serangkaian solusi untuk suatu masalah.

### 3.3.3 Tahap Akhir Penelitian

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari serangkaian penelitian yang berisi penarikan kesimpulan dan saran yang akan didapat oleh penulis dari simulasi yang telah dijalankan.



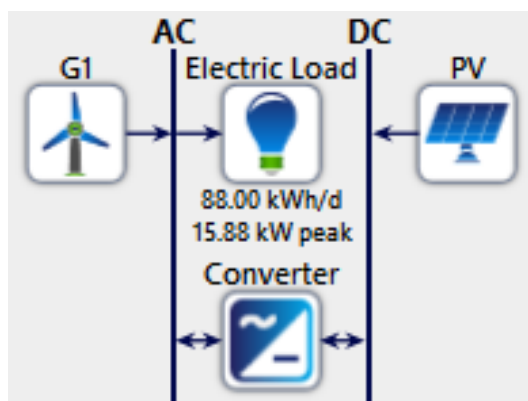
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dari simulasi desain yang telah dilakukan oleh penulis untuk menentukan kapasitas dari sistem pembangkit hibrid yang paling optimal dengan komponen, yaitu PV, WTG dan konverter. Dalam simulasi ini akan dilakukan analisis ekonomi dan pengoptimalan hasil dengan matlab untuk melihat perbandingan hasil dari HOMER dan metode GA.

#### 4.1 Hasil Desain

Dengan beban harian disimulasikan sebesar 88kWh/hari dan listrik disuplai oleh PV dan WTG yang tersambung dengan konverter, berikut adalah desain pembangkit hibrid yang telah dibuat pada HOMER PRO.



Gambar 4.1 Desain Sistem Pembangkit Hibrid

Setelah melakukan simulasi skematik pada sistem di HOMER PRO, berikut adalah hasil yang diperoleh dari simulasi yang telah dilakukan pada 5 ibukota provinsi yang ada di Indonesia dengan memperhatikan nilai kapasitas pembangkit PV, WTG dan konverter untuk mendapatkan nilai NPC dan COE sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Simulasi HOMER

Tabel Desain Pembangkit					
Kota	NPC	PV	WTG	Converter	COE
Bandung	Rp4,298,098,000	191kW	92.8kW	12.4kW	Rp12,032
Medan	Rp4,125,759,000	253kW	32kW	12.3kW	Rp12,122
Palembang	Rp5,028,282,000	311kW	38.4kW	12.9kW	Rp15,170
Semarang	Rp2,856,751,000	124kW	60.8kW	17kW	Rp7,900
Surabaya	Rp3,176,063,000	141kW	67.2kW	13.2kW	Rp8,842

Dari Tabel 4.1 menunjukkan hasil simulasi HOMER pada 5 lokasi yaitu Bandung, Medan, Palembang, Semarang, dan Surabaya dengan nilai pembangkitan yang berbeda – beda hasil dari simulasi HOMER yang telah dirangkum dan diurutkan dari nilai NPC terbaik pada setiap lokasi dan dari setiap skenario yang dilakukan oleh HOMER. Nilai NPC yang didapatkan dari simulasi tampak bergantung dari potensi energi yang ada pada suatu lokasi dan radiasi matahari serta kecepatan angin yang ada. Pada tabel 4.1 terlihat bahwa lokasi dengan NPC terendah yakni sebesar Rp2,856,751,000 dipegang oleh kota Semarang dengan proyek perencanaan selama 25 tahun. Sistem pembangkit hibrida yang terdapat pada kota Semarang tersusun atas 124 kW PV, 60.8 kW WTG dan 17 kW konverter pada harga jual energi listrik (COE/ *Cost of Energy*) sebesar Rp7,900/kWh.

#### 4.2 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi digunakan untuk melihat faktor – faktor yang mempengaruhi nilai NPC yaitu biaya awal, biaya operasi, biaya penggantian, biaya sisa dan biaya sumber daya. Analisis ekonomi dilakukan pada semua hasil dari skenario yang telah disimulasikan.

#### 4.2.1 Skenario Kota Bandung

Kota Bandung memiliki skenario pembangkit dengan kecepatan angin rata-rata 3.81m/s dan radiasi sinar matahari rata-rata 4.81kWh/m<sup>2</sup>/day. Parameter nilai ekonomis dari Kota Bandung dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Bandung

Parameter	Nilai
Total energi yang dibutuhkan(kWh/tahun)	32,120
Net Present Cost (Rp)	4,298,098,000
Cost of Energy (Rp/kWh)	12,032
Renewable Penetration (%)	100

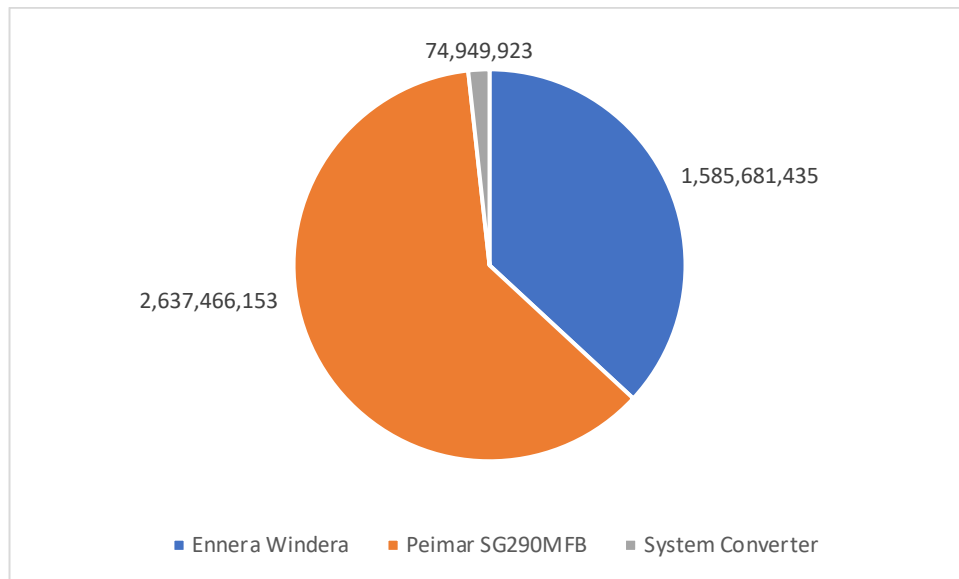
##### 1. Net Present Cost

Dengan konsumsi beban sebesar 88kWh perharinya maka dapat dihitung beban tiap tahunnya adalah sekitar 32120kWh. Nilai analisa ekonomi yang didapatkan pada skenario ini merupakan sistem PLTH yang terdiri dari 191 kW PV, 92.8 kW WTG dan 12.4 kW konverter adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Biaya NPC Skenario Bandung

Net Present Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	1,392,000,000	0.00	443,779,831	(250,098,395)	0.00	1,585,681,435
Peimar SG290MFB	2,747,149,699	0.00	0.00	(109,683,545)	0.00	2,637,466,153
System Converter	55,748,840	0.00	23,652,773	(4,451,690)	0.00	74,949,923
System	4,194,898,539	0.00	467,432,605	(364,233,632)	0.00	4,298,097,512

$$\begin{aligned}
 \text{NPC} &= (\text{CC} + \text{O\&M} + \text{RC} + \text{F}) - \text{S} \\
 &= (4,194,898,539 + 0 + 467,432,605 + 0) - 364,233,632 \\
 &= 4,298,097,512
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Tabel Biaya per Komponen

Dapat dilihat dari tabel 4.3 keseluruhan biaya sistem atau biasa disebut NPC adalah sebesar Rp4,298,097,512 dengan biaya total Peimar SG290MFB PV sebesar Rp2,637,466,153, Ennera Windera S[3.2kW] WTG sebesar Rp1,585,681,435 dan konverter sistem sebesar Rp74,949,923.

## 2. Total Annualized Cost

Tabel 4.4 Biaya Tahunan Skenario Bandung

Total Annualized Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	107,677,294	0.00	34,328,312	(19,346,205)	0.00	122,659,400
Peimar SG290MFB	212,504,055	0.00	0.00	(8,484,502)	0.00	204,019,553
System Converter	4,312,416	0.00	1,829,645	(344,357)	0.00	5,797,704
System	324,493,766	0.00	36,157,958	(28,175,066)	0.00	332,476,659

$$\begin{aligned}
 TAC &= (CC + O\&M + RC + F) - S \\
 &= (324,493,766 + 0 + 36,157,958 + 0) - 28,175,066 \\
 &= 332,476,659
 \end{aligned}$$

### 3. Cost of Energy

Sebelum menghitung nilai COE, terlebih dahulu kita harus mendapatkan nilai real dari konsumsi beban listrik yang telah dipenuhi oleh sistem. Berdasarkan sistem, nilai beban yang terpenuhi sebesar 27633kWh/tahun. Dari hasil di atas dapat dihitung nilai *Cost of Energy* (COE) atau biaya rata – rata dari penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari sistem.

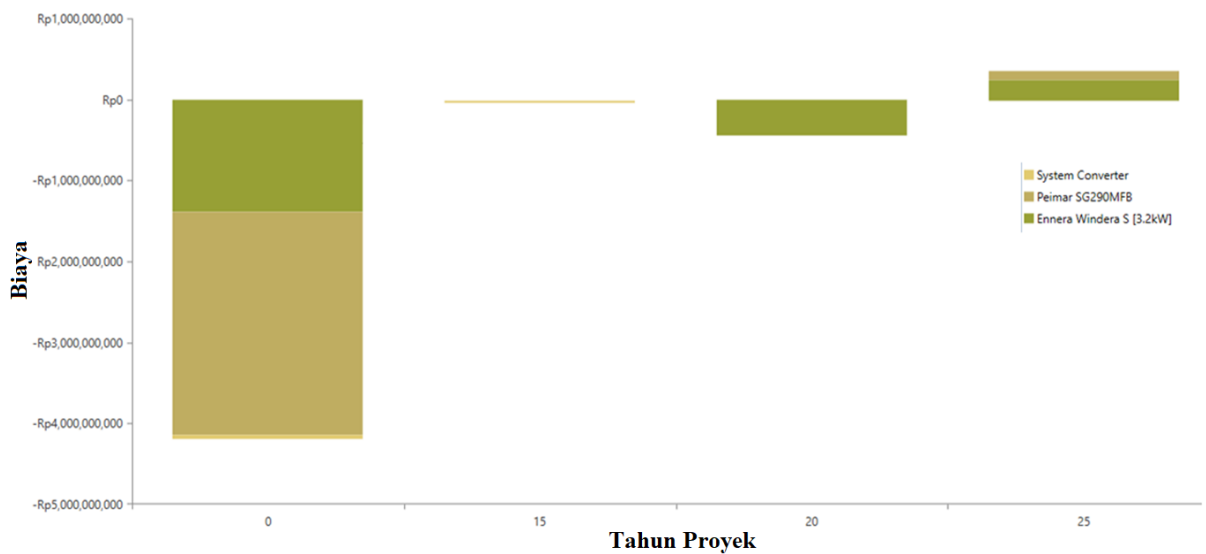
$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,ac} + L_{prim,dc}}$$

$$COE = \frac{332,476,659}{27633}$$

$$COE = \text{Rp}12,032/\text{kWh}$$

### 4. Cash Flow

Dari data-data di atas, dapat kita lihat arus kas berdasarkan biaya NPC dan biaya tahunan selama proyek berlangsung. Setelah membuat arus kas kita dapat menganalisa lonjakan lonjakan biaya yang terjadi selama 25 tahun.



Gambar 4.3 Arus Kas Skenario Bandung

Pada tahun pertama proyek dibutuhkan biaya awal atau *capital cost* sebesar Rp4,194,898,539. Kemudian pada tahun ke 15 proyek dibutuhkan biaya sebesar Rp23,652,774 untuk biaya penggantian atau *replacement cost* konverter sistem. Lalu dibutuhkan penggantian WTG yang memiliki masa pakai 20 tahun sebesar Rp443,779,831. Pada tahun terakhir proyek terdapat nilai sisa total atau *salvage cost* sebesar Rp364,233,632 dari sisa-sisa komponen sistem.

#### 4.2.2 Skenario Kota Medan

Kota Medan memiliki skenario pembangkit dengan kecepatan angin rata- rata 2.87m/s dan radiasi sinar matahari rata- rata 4.56kWh/m<sup>2</sup>/day. Parameter nilai ekonomis dari Kota Medan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Medan

Parameter	Nilai
Total energi yang dibutuhkan(kWh/tahun)	32,120
Net Present Cost (Rp)	4,125,758,992
Cost of Energy (Rp/kWh)	12,122
Renewable Penetration (%)	100

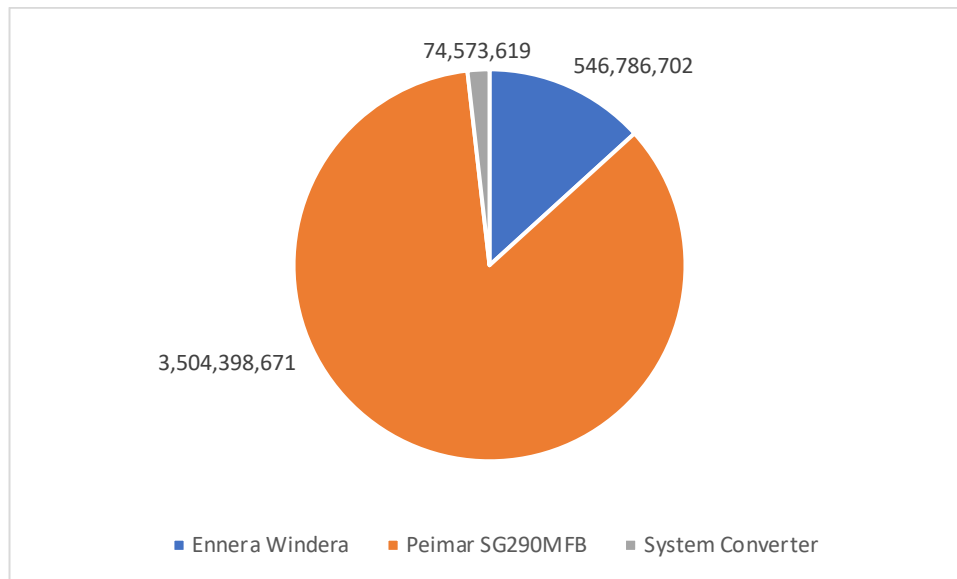
##### 1. Net Present Cost

Dengan konsumsi beban sebesar 88kWh perharinya maka dapat dihitung beban tiap tahunnya adalah sekitar 32120kWh. Nilai analisa ekonomi yang didapatkan pada skenario ini merupakan sistem PLTH yang terdiri dari 253 kW PV, 32 kW WTG dan 12.3 kW konverter adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Biaya NPC Skenario Medan

Net Present Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	480,000,000	0.00	153,027,528	(86,240,826)	0.00	546,786,702
Peimar SG290MFB	3,650,135,090	0.00	0.00	(145,736,419)	0.00	3,504,398,671
System Converter	55,468,939	0.00	23,534,019	(4,429,339)	0.00	74,573,619
System	4,185,604,030	0.00	176,561,547	(236,406,585)	0.00	4,125,758,992

$$\begin{aligned}
 \text{NPC} &= (\text{CC} + \text{O\&M} + \text{RC} + \text{F}) - \text{S} \\
 &= (4,185,604,030 + 0 + 176,561,547 + 0) - 236,406,585 \\
 &= 4,125,758,992
 \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Tabel Biaya per Komponen

Dapat dilihat dari tabel 4.6 keseluruhan biaya sistem atau biasa disebut NPC adalah sebesar Rp4,125,758,992 dengan biaya total Peimar SG290MFB PV sebesar Rp3,504,398,671, Ennera Windera S[3.2kW] WTG sebesar Rp546,786,702 dan konverter sistem sebesar Rp74,573,619.

## 2. Total Annualized Cost

Tabel 4.7 Biaya Tahunan Skenario Medan

Total Annualized Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	37,130,101	0.00	11,837,349	(6,671,105)	0.00	42,296,345
Peimar SG290MFB	282,353,929	0.00	0.00	(11,273,350)	0.00	271,080,579
System Converter	4,290,765	0.00	1,820,459	(342,628)	0.00	5,768,595
System	323,774,795	0.00	13,657,808	(18,287,084)	0.00	319,145,520

$$\begin{aligned}
 TAC &= (CC + O\&M + RC + F) - S \\
 &= (323,774,795 + 0 + 13,657,808 + 0) - 18,287,084 \\
 &= 319,145,520
 \end{aligned}$$

### 3. Cost of Energy

Sebelum menghitung nilai COE, terlebih dahulu kita harus mendapatkan nilai real dari konsumsi beban listrik yang telah dipenuhi oleh sistem. Berdasarkan sistem, nilai beban yang terpenuhi sebesar 26329kWh/tahun. Dari hasil di atas dapat dihitung nilai *Cost of Energy* (COE) atau biaya rata – rata dari penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari sistem.

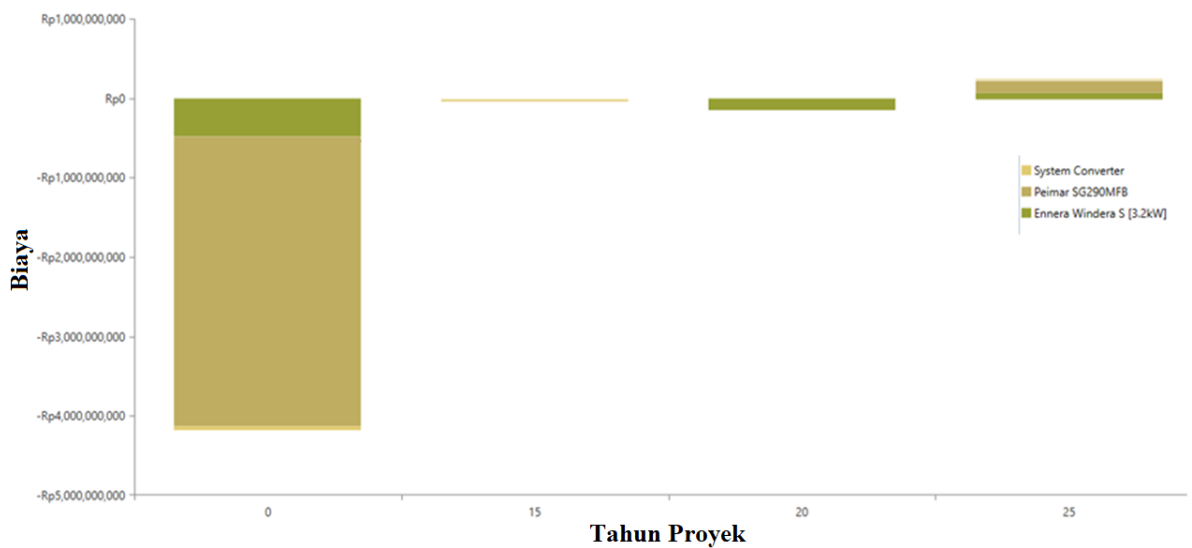
$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,ac} + L_{prim,dc}}$$

$$COE = \frac{319,145,520}{26329}$$

$$COE = \text{Rp}12,122/\text{kWh}$$

### 4. Cash Flow

Dari data-data di atas, dapat kita lihat arus kas berdasarkan biaya NPC dan biaya tahunan selama proyek berlangsung. Setelah membuat arus kas kita dapat menganalisa lonjakan lonjakan biaya yang terjadi selama 25 tahun.



Gambar 4.5 Arus Kas Skenario Kota Medan

Pada tahun pertama proyek dibutuhkan biaya awal atau *capital cost* sebesar Rp4,185,604,030. Kemudian pada tahun ke 15 proyek dibutuhkan biaya sebesar Rp23,534,020 untuk biaya penggantian atau *replacement cost* konverter sistem. Lalu dibutuhkan penggantian WTG yang memiliki masa pakai 20 tahun sebesar Rp153,027,528. Pada tahun terakhir proyek terdapat nilai sisa total atau *salvage cost* sebesar Rp236,406,585 dari sisa-sisa komponen sistem.



#### 4.2.3 Skenario Kota Palembang

Kota Palembang memiliki skenario pembangkit dengan kecepatan angin rata-rata 2.46m/s dan radiasi sinar matahari rata-rata 4.67kWh/m<sup>2</sup>/day. Parameter nilai ekonomis dari Kota Palembang dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Palembang

Parameter	Nilai
Total energi yang dibutuhkan(kWh/tahun)	32,120
Net Present Cost (Rp)	5,028,281,858
Cost of Energy (Rp/kWh)	15,170
Renewable Penetration (%)	100

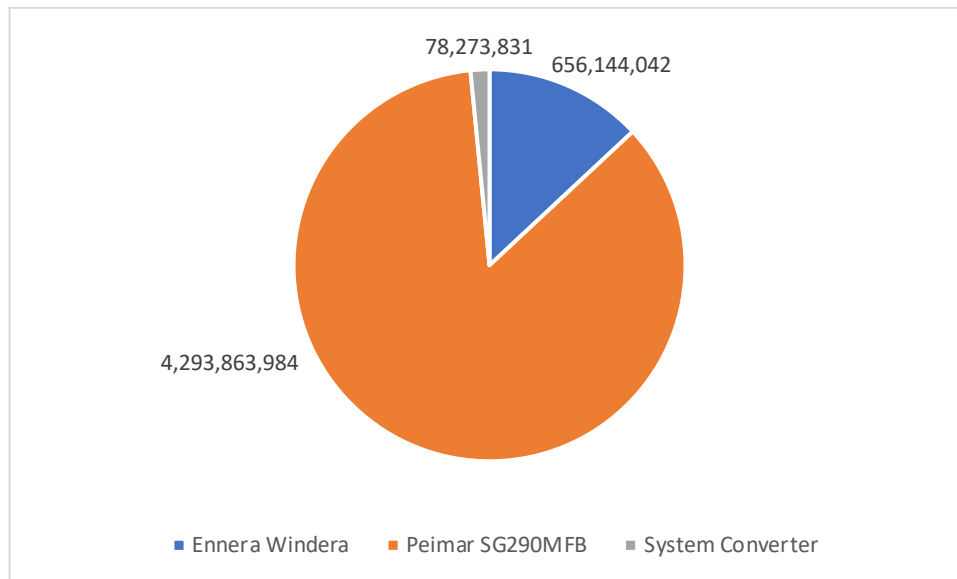
##### 1. Net Present Cost

Dengan konsumsi beban sebesar 88kWh perharinya maka dapat dihitung beban tiap tahunnya adalah sekitar 32120kWh. Nilai analisa ekonomi yang didapatkan pada skenario ini merupakan sistem PLTH yang terdiri dari 311 kW PV, 38.4 kW WTG dan 12.9 kW konverter adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Biaya NPC Skenario Palembang

Net Present Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	576,000,000	0.00	183,633,033	(103,488,991)	0.00	656,144,042
Peimar SG290MFB	4,472,431,670	0.00	0.00	(178,567,685)	0.00	4,293,863,984
System Converter	58,221,211	0.00	24,701,736	(4,649,116)	0.00	78,273,831
System	5,106,652,881	0.00	208,334,769	(286,705,793)	0.00	5,028,281,858

$$\begin{aligned}
 \text{NPC} &= (\text{CC} + \text{O\&M} + \text{RC} + \text{F}) - \text{S} \\
 &= (5,106,652,881 + 0 + 208,334,769 + 0) - 286,705,793 \\
 &= 5,028,281,858
 \end{aligned}$$



Gambar 4.6 Total Biaya per Komponen

Dapat dilihat dari tabel 4.9 keseluruhan biaya sistem atau biasa disebut NPC adalah sebesar Rp5,028,281,858 dengan biaya total Peimar SG290MFB PV sebesar Rp4,293,863,984, Ennera Windera S[3.2kW] WTG sebesar Rp656,144,042 dan konverter sistem sebesar Rp78,273,831.

## 2. Total Annualized Cost

Tabel 4.10 Biaya Tahunan Skenario Palembang

Total Annualized Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	44,556,121	0.00	14,204,819	(8,005,326)	0.00	50,755,614
Peimar SG290MFB	345,962,169	0.00	0.00	(13,812,992)	0.00	332,149,177
System Converter	4,503,665	0.00	1,910,787	(359,629)	0.00	6,054,823
System	395,021,956	0.00	16,115,606	(22,177,948)	0.00	388,959,614

$$\begin{aligned}
 TAC &= (CC + O\&M + RC + F) - S \\
 &= (395,021,956 + 0 + 16,115,606 + 0) - 22,177,948 \\
 &= 388,959,614
 \end{aligned}$$

### 3. Cost of Energy

Sebelum menghitung nilai COE, terlebih dahulu kita harus mendapatkan nilai real dari konsumsi beban listrik yang telah dipenuhi oleh sistem. Berdasarkan sistem, nilai beban yang terpenuhi sebesar 25640kWh/tahun. Dari hasil di atas dapat dihitung nilai *Cost of Energy* (COE) atau biaya rata – rata dari penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari sistem.

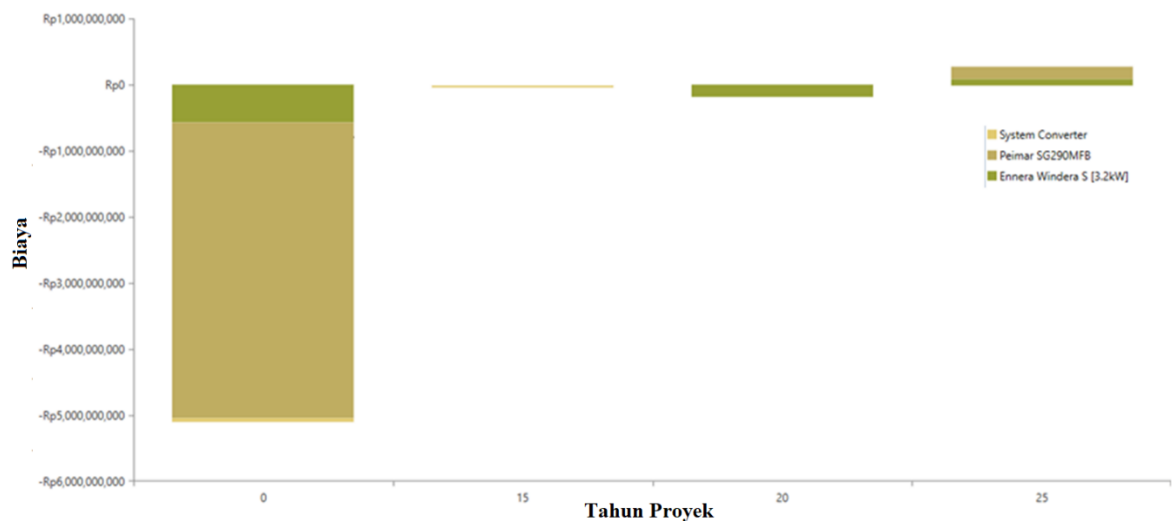
$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,ac} + L_{prim,dc}}$$

$$COE = \frac{388,959,614}{25640}$$

$$COE = \text{Rp}15,170/\text{kWh}$$

### 4. Cash Flow

Dari data-data di atas, dapat kita lihat arus kas berdasarkan biaya NPC dan biaya tahunan selama proyek berlangsung. Setelah membuat arus kas kita dapat menganalisa lonjakan lonjakan biaya yang terjadi selama 25 tahun.



Gambar 4.7 Arus Kas Skenario Palembang

Pada tahun pertama proyek dibutuhkan biaya awal atau *capital cost* sebesar Rp5,106,652,882. Kemudian pada tahun ke 15 proyek dibutuhkan biaya sebesar Rp24,701,736 untuk biaya penggantian atau *replacement cost* konverter sistem. Lalu dibutuhkan penggantian WTG yang memiliki masa pakai 20 tahun sebesar Rp183,633,034. Pada tahun terakhir proyek terdapat nilai sisa total atau *salvage cost* sebesar Rp286,705,793 dari sisa-sisa komponen sistem.

#### 4.2.4 Skenario Kota Semarang

Kota Semarang memiliki skenario pembangkit dengan kecepatan angin rata-rata 4.42m/s dan radiasi sinar matahari rata-rata 5.48kWh/m<sup>2</sup>/day. Parameter nilai ekonomis dari Kota Semarang dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Semarang

Parameter	Nilai
Total energi yang dibutuhkan(kWh/tahun)	32,120
Net Present Cost (Rp)	2,856,751,000
Cost of Energy (Rp/kWh)	7,900
Renewable Penetration (%)	100

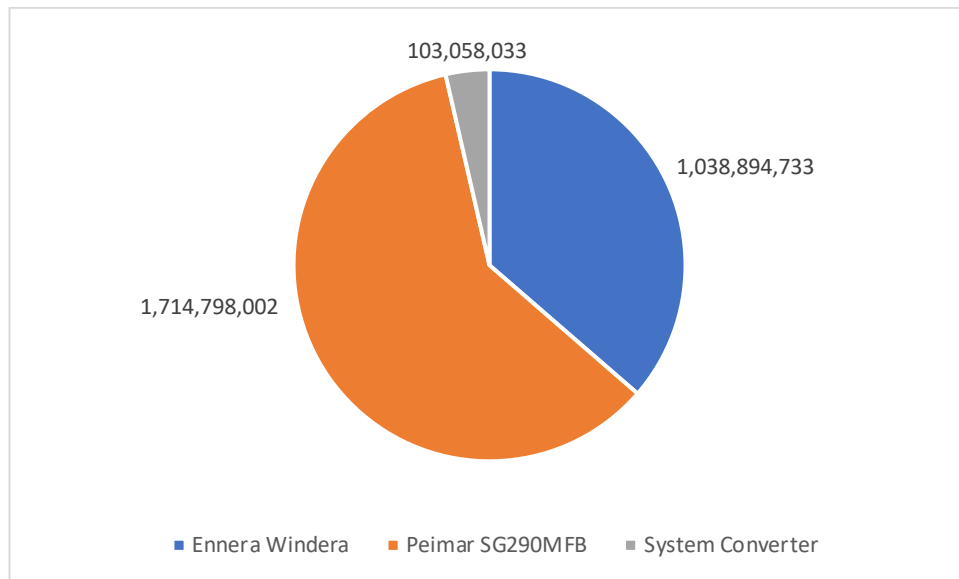
##### 1. Net Present Cost

Dengan konsumsi beban sebesar 88kWh perharinya maka dapat dihitung beban tiap tahunnya adalah sekitar 32120kWh. Nilai analisa ekonomi yang didapatkan pada skenario ini merupakan sistem PLTH yang terdiri dari 124 kW PV, 60.8 kW WTG dan 17 kW konverter adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Biaya NPC Skenario Semarang

Net Present Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	912,000,000	0.00	290,752,303	(163,857,569)	0.00	1,038,894,733
Peimar SG290MFB	1,786,110,813	0.00	0.00	(71,312,811)	0.00	1,714,798,002
System Converter	76,656,060	0.00	32,523,160	(6,121,187)	0.00	103,058,033
System	2,774,766,873	0.00	323,275,463	(241,291,567)	0.00	2,856,750,769

$$\begin{aligned}
 \text{NPC} &= (\text{CC} + \text{O\&M} + \text{RC} + \text{F}) - \text{S} \\
 &= (2,774,766,873 + 0 + 323,275,463 + 0) - 241,291,567 \\
 &= 2,856,750,769
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Total Biaya per Komponen

Dapat dilihat dari tabel 4.12 keseluruhan biaya sistem atau biasa disebut NPC adalah sebesar Rp2,856,750,769 dengan biaya total Peimar SG290MFB PV sebesar Rp1,714,798,002, Ennera Windera S[3.2kW] WTG sebesar Rp1,038,894,733 dan konverter sistem sebesar Rp103,058,033.

## 2. Total Annualized Cost

Tabel 4.13 Biaya Tahunan Skenario Semarang

Total Annualized Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	70,547,192	0.00	22,490,963	(12,675,100)	0.00	80,363,055
Peimar SG290MFB	138,163,490	0.00	0.00	(5,516,358)	0.00	132,647,132
System Converter	5,929,681	0.00	2,515,808	(473,500)	0.00	7,971,990
System	214,640,365	0.00	25,006,772	(18,664,959)	0.00	220,982,178

$$\begin{aligned}
 TAC &= (CC + O\&M + RC + F) - S \\
 &= (214,640,365 + 0 + 25,006,772 + 0) - 18,664,959 \\
 &= 220,982,178
 \end{aligned}$$

### 3. Cost of Energy

Sebelum menghitung nilai COE, terlebih dahulu kita harus mendapatkan nilai real dari konsumsi beban listrik yang telah dipenuhi oleh sistem. Berdasarkan sistem, nilai yang terpenuhi hanya sebesar 27971kWh/tahun. Dari hasil di atas dapat dihitung nilai *Cost of Energy* (COE) atau biaya rata – rata dari penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari sistem.

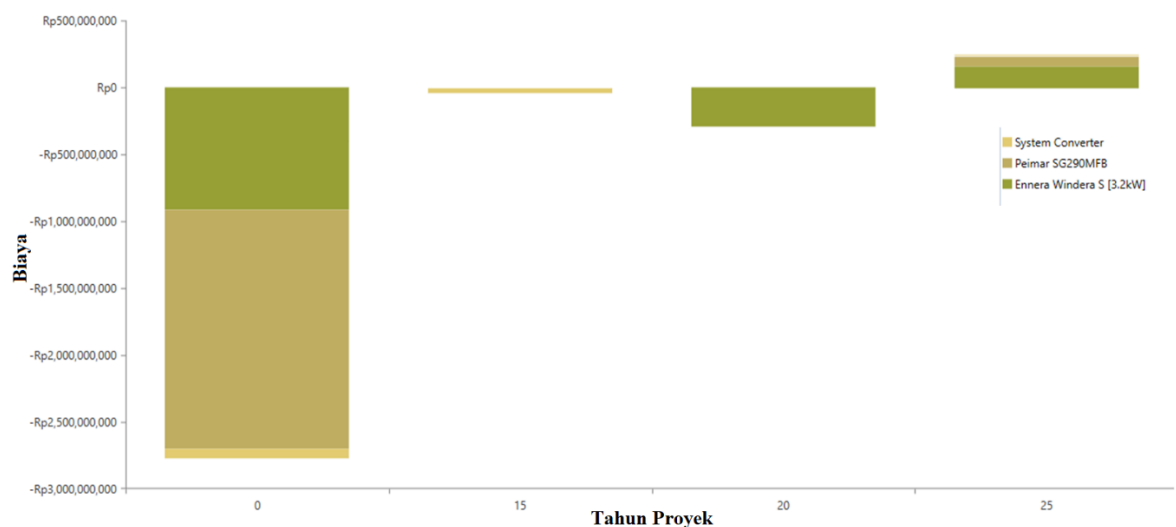
$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,ac} + L_{prim,dc}}$$

$$COE = \frac{220,982,178}{27971}$$

$$COE = \text{Rp}7,900/\text{kWh}$$

### 4. Cash Flow

Dari data-data di atas, dapat kita lihat arus kas berdasarkan biaya NPC dan biaya tahunan selama proyek berlangsung. Setelah membuat arus kas kita dapat menganalisa lonjakan lonjakan biaya yang terjadi selama 25 tahun.



Gambar 4.9 Arus Kas Skenario Semarang

Pada tahun pertama proyek dibutuhkan biaya awal atau *capital cost* sebesar Rp2,774,766,873. Kemudian pada tahun ke 15 proyek dibutuhkan biaya sebesar Rp32,523,160 untuk biaya penggantian atau *replacement cost* konverter sistem. Lalu dibutuhkan penggantian WTG yang memiliki masa pakai 20 tahun sebesar Rp290,752,303. Pada tahun terakhir proyek terdapat nilai sisa total atau *salvage cost* sebesar Rp241,291,568 dari sisa-sisa komponen sistem.

#### 4.2.5 Skenario Kota Surabaya

Kota Surabaya memiliki skenario pembangkit dengan kecepatan angin rata-rata 4.36m/s dan radiasi sinar matahari rata-rata 5.17kWh/m<sup>2</sup>/day. Parameter nilai ekonomis dari Kota Surabaya dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Parameter Nilai Ekonomis Skenario Surabaya

Parameter	Nilai
Total energi yang dibutuhkan(kWh/tahun)	32,120
Net Present Cost (Rp)	3,176,063,413
Cost of Energy (Rp/kWh)	8,842
Renewable Penetration (%)	100

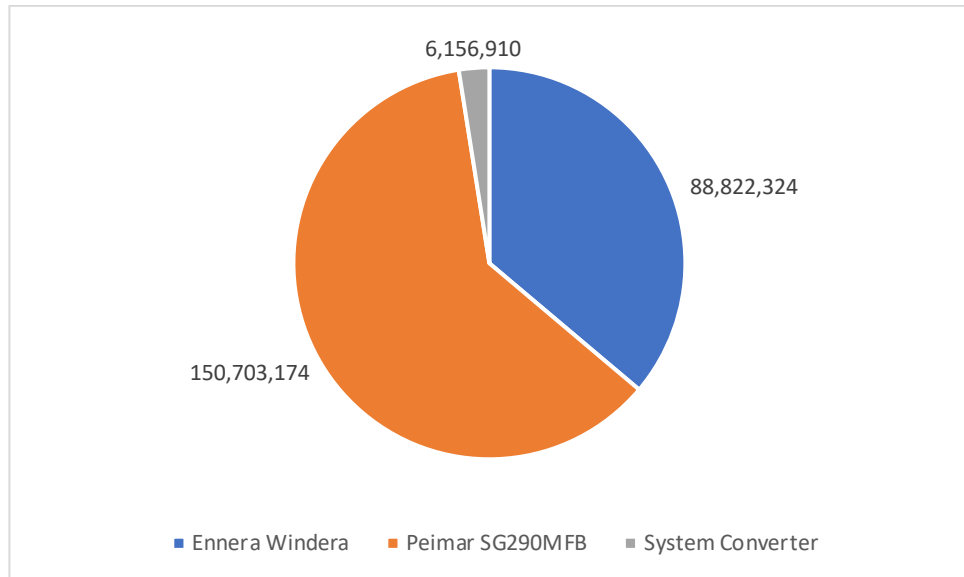
##### 1. Net Present Cost

Dengan konsumsi beban sebesar 88kWh perharinya maka dapat dihitung beban tiap tahunnya adalah sekitar 32120kWh. Nilai analisa ekonomi yang didapatkan pada skenario ini merupakan sistem PLTH yang terdiri dari 141 kW PV, 67.2 kW WTG dan 13.2 kW konverter adalah sebagai berikut:

Tabel 4.15 Biaya NPC Skenario Surabaya

Net Present Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	1,008,000,000	0.00	321,357,808	(181,105,734)	0.00	1,148,252,074
Peimar SG290MFB	2,029,237,749	0.00	0.00	(81,019,972)	0.00	1,948,217,777
System Converter	59,202,845	0.00	25,118,218	(4,727,502)	0.00	79,593,561
System	3,096,440,595	0.00	346,476,026	(266,853,208)	0.00	3,176,063,413

$$\begin{aligned}
 \text{NPC} &= (\text{CC} + \text{O\&M} + \text{RC} + \text{F}) - \text{S} \\
 &= (3,096,440,595 + 0 + 346,476,026 + 0) - 266,853,208 \\
 &= 3,176,063,413
 \end{aligned}$$



Gambar 4.10 Total Biaya per Komponen

Dapat dilihat dari tabel 4.15 keseluruhan biaya sistem atau biasa disebut NPC adalah sebesar Rp3,176,063,413 dengan biaya total Peimar SG290MFB PV sebesar Rp1,948,217,777, Ennera Windera S[3.2kW] WTG sebesar Rp1,148,252,074 dan konverter sistem sebesar Rp79,593,561.

## 2. Total Annualized Cost

Tabel 4.16 Biaya Tahunan Skenario Surabaya

Total Annualized Cost						
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Ennera Windera S[3.2kW]	77,973,212	0.00	24,858,433	(14,009,321)	0.00	88,822,324
Peimar SG290MFB	156,970,423	0.00	0.00	(6,267,249)	0.00	150,703,174
System Converter	4,579,599	0.00	1,943,004	(365,692)	0.00	6,156,910
System	239,523,235	0.00	26,801,437	(20,642,263)	0.00	245,682,409

$$\begin{aligned}
 TAC &= (CC + O\&M + RC + F) - S \\
 &= (239,523,235 + 0 + 26,801,437 + 0) - 20,642,263 \\
 &= 245,682,409
 \end{aligned}$$



### 3. Cost of Energy

Sebelum menghitung nilai COE, terlebih dahulu kita harus mendapatkan nilai real dari konsumsi beban listrik yang telah dipenuhi oleh sistem. Berdasarkan sistem, nilai beban yang terpenuhi sebesar 27786kWh/tahun. Dari hasil di atas dapat dihitung nilai *Cost of Energy* (COE) atau biaya rata – rata dari penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari sistem.

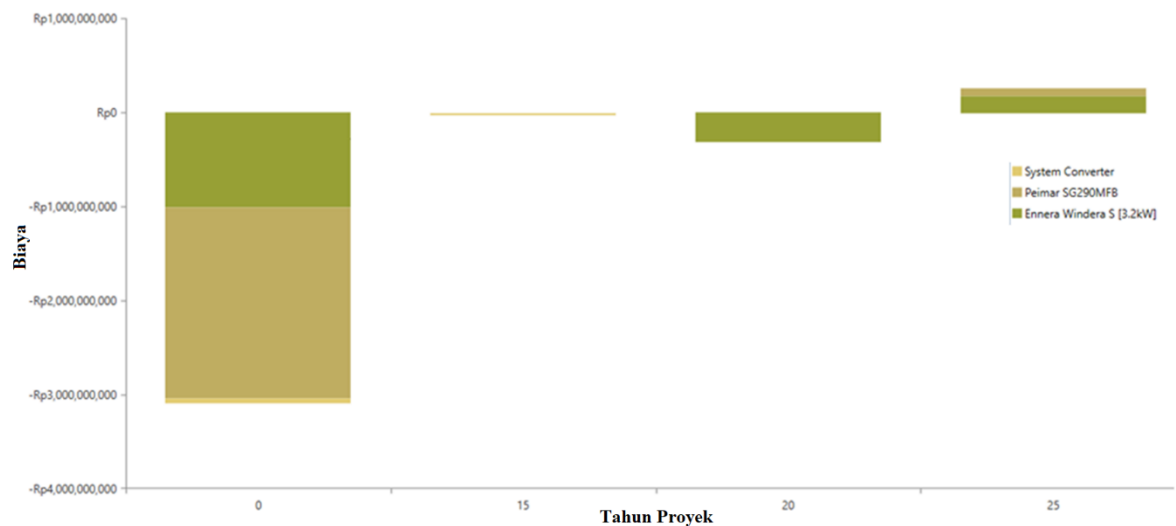
$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,ac} + L_{prim,dc}}$$

$$COE = \frac{245,682,409}{27786}$$

$$COE = \text{Rp}8,842/\text{kWh}$$

### 4. Cash Flow

Dari data-data di atas, dapat kita lihat arus kas berdasarkan biaya NPC dan biaya tahunan selama proyek berlangsung. Setelah membuat arus kas kita dapat menganalisa lonjakan lonjakan biaya yang terjadi selama 25 tahun.



Gambar 4.11 Arus Kas Skenario Surabaya

Pada tahun pertama proyek dibutuhkan biaya awal atau *capital cost* sebesar Rp3,096,440,595. Kemudian pada tahun ke 15 proyek dibutuhkan biaya sebesar Rp25,118,218 untuk biaya penggantian atau *replacement cost* konverter sistem. Lalu dibutuhkan penggantian WTG yang memiliki masa pakai 20 tahun sebesar Rp321,357,809. Pada tahun terakhir proyek terdapat

nilai sisa total atau *salvage cost* sebesar Rp266,853,209 dari sisa-sisa komponen sistem.

#### 4.3 Perhitungan Daya Total

Perhitungan daya total yang digunakan sebagai acuan adalah Kota Semarang dengan NPC terendah.

##### 1. PV

Dengan PV yang dibutuhkan sebesar 124kW dan jenis PV yang digunakan adalah Peimar SG290P dengan kapasitas 290Wp per unit sehingga didapatkan 428unit yang akan digunakan. Sehingga perhitungan dayanya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G_T}}{G_{T,STC}} \right) \\
 &= 290 \times 0.8 \left( \frac{5.48}{1} \right) \\
 &= 1,271.36 \text{ Watt} \\
 P_{tot} &= 1,271.36 \times 428 \\
 &= 544,142.08 \text{ Watt} \\
 P_{tahun} &= 544,142.08 \times 365 \\
 &= 198,611,859 \text{ Watt} \\
 &= 198,612 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

##### 2. WTG

Dengan WTG yang dibutuhkan sebesar 60.8kW dan jenis WTG yang digunakan adalah Ennera Windera S dengan kapasitas 3.2 kW per unit sehingga didapatkan 19unit yang akan digunakan. Sehingga perhitungan dayanya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= 0.5 \times \rho \times A \times V^3 \\
 &= 0.5 \times 1,225 \times (\pi \times 2.18^2) \times 4.42^3 \\
 &= 789.25 \text{ Watt} \\
 P_{tot} &= 789.25 \times 19 \\
 &= 14,995.75 \text{ Watt} \\
 P_{tahun} &= 14,995.75 \times 365 \\
 &= 5,473,448.75 \text{ Watt} \\
 &= 5,473 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Sehingga total produksi daya pertahunnya adalah sebesar 204,085kW dan total daya yang dibutuhkan pertahunnya sebesar 32,120kW. Maka terdapat kelebihan daya yang dibangkitkan sebesar 171,965kW.

Tabel 4.17 Daya Terbuang Pada Semua Skenario

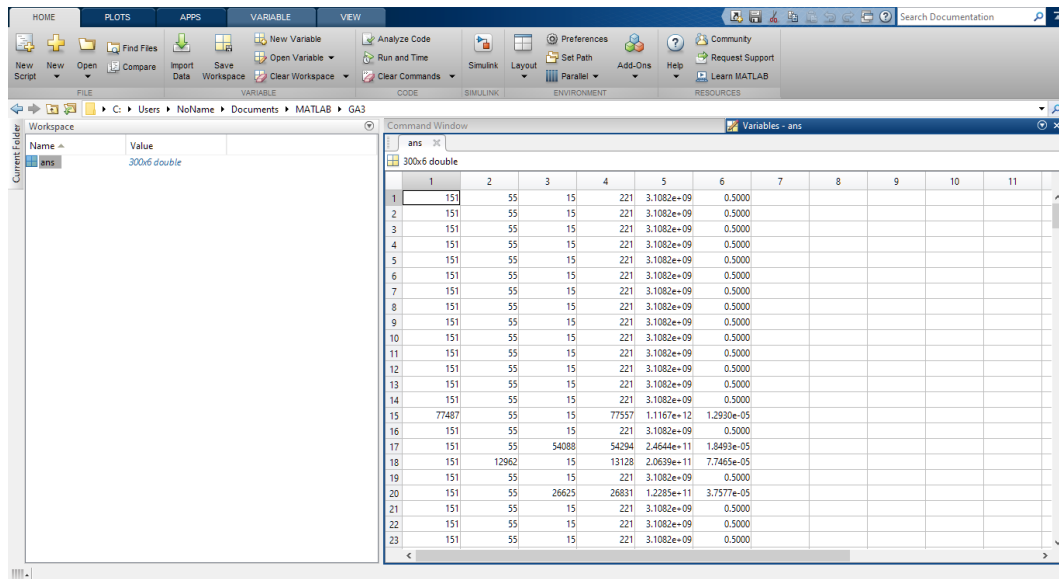
Skenario	PV (kW)	WTG (kW)	Total (kW)	Daya Terbuang
Bandung	268418	5351	273,769	241,649
Medan	336715	789	337,503	305,383
Palembang	423928	596	424,524	392,404
Semarang	198612	5473	204,085	171,965
Surabaya	212769	5807	218,575	186,455

Terlihat dari tabel diatas bahwa kota dengan daya terbuang terbesar adalah Kota Palembang yang memiliki nilai NPC tertinggi dan kota dengan daya terbuang terkecil adalah Kota Semarang yang memiliki NPC terendah.

#### 4.4 Optimalisasi Hasil

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3, optimalisasi hasil ini akan menggunakan metode Genetic Algorithm sebagai acuan untuk mendapatkan hasil yang paling optimal dan akan terlihat perbandingan hasil dari HOMER dan metode Genetic Algorithm.

Setelah selesai menyusun program dengan metode yang dilakukan pada bab 3, selanjutnya adalah menjalankan program sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.7 Hasil Program Matlab

Kemudian, mengamati hasil dengan *fitness value* tertinggi seperti ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 4.18 Nilai Fitness Tertinggi pada Hasil

PV	WTG	Converter	NPC	Fitness
151	55	15	3,108,150,000	0.50000000
151	904	15	16,479,900,000	0.001175
151	3282	15	53,933,400,000	0.00031
151	3737	15	61,099,650,000	0.000271
151	5084	15	82,314,900,000	0.000199

Data yang dimunculkan dalam Tabel 4.5 adalah 5 hasil dengan *fitness value* tertinggi. Dapat diperhatikan bahwa nilai NPC yang diperoleh paling kecil adalah sebesar Rp3,108,150,000 dengan nilai *fitness* 0.5 dan kapasitas PV sebesar 151 kW, WTG sebesar 55 kW dan konverter sebesar 15 kW. Dari hasil yang didapatkan nilai perbandingan hasil simulasi HOMER dan matlab adalah sebagai berikut:

Tabel 4.19 Perbandingan HOMER dan Optimasi GA

Optimasi	PV	WTG	Converter	NPC	TAC	COE
HOMER	124kW	60.8kW	17kW	2,856,715,000	220,982,178	7900
GA	151kW	55kW	15kW	3,108,150,000	240,432,019	8595

Dapat dilihat dari hasil perbandingan di atas, optimalisasi HOMER dan GA dengan menggunakan daily load yang sama dan harga komponen yang sama menghasilkan perbedaan nilai NPC GA lebih besar Rp251,435,000 dari nilai NPC HOMER, juga nilai TAC dan COE optimalisasi GA lebih besar berturut – turut Rp19,449,841 dan Rp695/kWh.

#### 4.5 Perbandingan PV dan WTG

Pada penelitian ini, sebagaimana tercantum dalam tujuan penelitian pada bab 1, tujuan penelitian ini membahas tentang perbandingan sistem pembangkit dengan hanya menggunakan PV dan WTG dari sistem pembangkit optimal yang ditambah dengan baterai. Adapun nilai ekonomis melalui perbandingan ini akan dicari dengan menggunakan lokasi yang paling optimal dari pembahasan sebelumnya yaitu kota Semarang dengan menggunakan *daily load* sebesar 88kWh. Perbandingan hasil untuk sistem pembangkit yang terintegrasi dengan PV dan sistem pembangkit yang terintegrasi dengan WTG dapat dilihat hasilnya pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Baterai yang digunakan adalah Generic Li-Ion memiliki tegangan 6V dan kapasitas 167Ah. Untuk mendapatkan tegangan output sebesar 220V-240V maka dibutuhkan komposisi baterai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{tot}} &= \text{string size} \times V_{\text{batt}} \\
 &= 40 \times 6 \text{ V} \\
 &= 240 \text{ V} \\
 I_{\text{batt}} &= 167 \text{ Ah} \\
 P_{\text{batt}} &= V_{\text{tot}} \times I_{\text{batt}} \\
 &= 240 \text{ V} \times 167 \text{ Ah} \\
 &= 40,080 \text{ Wh} \\
 &= 40 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.20 Perbandingan Komponen PV dan WTG

Sistem	NPC	Kapasitas	Baterai	Converter	COE
PV	819,426,200	26kW	40kWh	11.1kW	2,293
WTG	3,042,582,000	115.2kW	40kWh	12.5kW	9,214

Tabel 4.21 Perbandingan NPC PV dan WTG

Sistem	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Total
PV	688,326,000	0.00	150,000,000	(18,900,000)	819,426,200
WTG	2,533,418,000	0.00	890,000,000	(374,000,000)	3,042,582,000

Dapat dilihat dari hasil perbandingan, dengan biaya awal atau *capital* WTG lebih besar Rp1,845,092,000 dari PV dikarenakan jumlah kapasitas pembangkit yang berbeda jauh. Biaya penggantian atau *replacement cost* dapat terlihat pada tabel di atas, terdapat perbedaan biaya penggantian karena umur pakai WTG yang hanya 20 tahun dan PV selama 30 tahun ditambah dengan penggantian baterai pada sistem dengan biaya penggantian WTG lebih besar Rp740,000,000 dari PV. Nilai sisa dari kedua sistem merupakan nilai penyusutan barang yang didapatkan pada tahun terakhir dengan nilai sisa WTG lebih besar Rp355,100,000 dari PV. Dari hasil perbandingan sistem PV dengan WTG, dapat dianalisa bahwa sistem PV masih memiliki nilai ekonomis yang jauh lebih baik apabila dibandingkan dengan sistem WTG, ini dikarenakan nilai kecepatan angin yang kecil atau tidak sebanding dengan radiasi matahari yang dapat dimanfaatkan, dengan begitu untuk memenuhi kebutuhan *daily load* yang sudah ditargetkan itu membutuhkan jumlah kapasitas WTG yang cukup besar. Sebaliknya dengan PV, dapat dilihat bahwa nilai ekonomis cukup jauh dari WTG karena dengan radiasi matahari yang cukup, PV dapat memenuhi *daily load* menggunakan kapasitas yang kecil dan dengan biaya yang lebih murah.

#### 4.6 Perbandingan On-Grid dan Off-Grid

Pada subbab ini akan tercantum perbandingan sistem on-grid dan off-grid dari sistem pembangkit hibrid serta analisa sistem untuk mengetahui nilai ekonomis dari sistem setelah tersambung dengan grid. Sistem pembangkit yang akan digunakan adalah skenario Kota Semarang dengan nilai NPC terendah. Perbandingan komponen dari sistem On-Grid dan Off-Grid terlihat pada tabel 4.22 dan hasil perbandingan sistem pembangkit hibrid sebelum dan setelah terpasang grid disajikan dalam tabel 4.23.

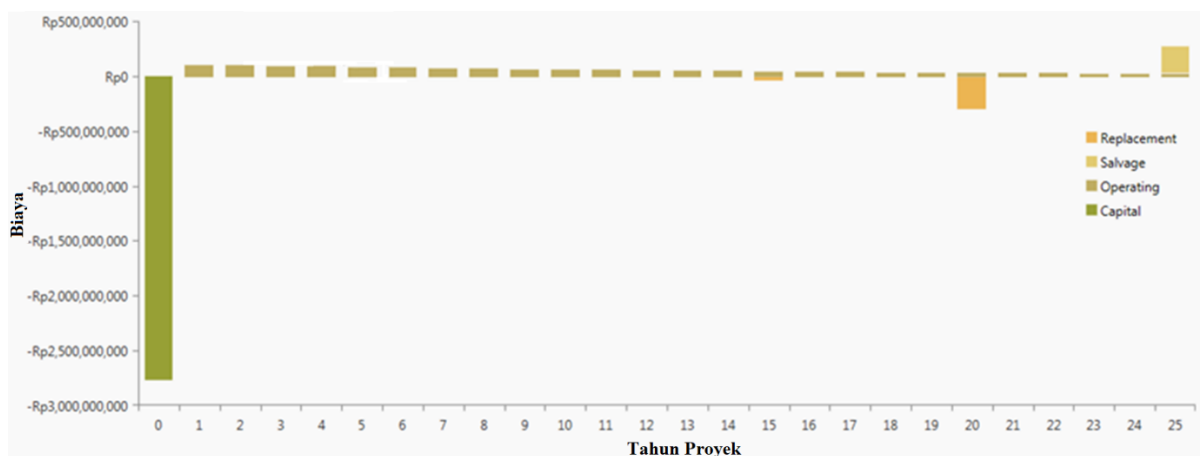
Tabel 4.22 Perbandingan Komponen On-Grid dan Off-Grid

Sistem	Grid	PV	WTG	Converter
On-Grid	999999kW	124kW	60.8kW	17kW
Off-Grid	0	124kW	60.8kW	17kW

Tabel 4.23 Hasil Perbandingan On-Grid dan Off-Grid

Sistem	Initial Capital Cost	Replacement	Salvage	Operating Cost	NPC	COE
On-Grid	2,774,766,873	323,275,463	(241,291,567)	(853,009,800)	2,003,040,740	1,310
Off-Grid	2,774,766,873	323,275,463	(241,291,567)	0	2,856,751,000	7,900

Dapat dilihat dari perbandingan tabel diatas, komponen dari sistem On-Grid dan Off-Grid perbedaan hanya terdapat pada pemasangan grid. Dari tabel perbandingan terlihat bahwa tidak ada perbedaan dari *initial capital cost*, *replacement* dan *salvage* namun terdapat perbedaan dari *operating cost* sebesar Rp853,009,800.05 sehingga menghasilkan perbedaan NPC dan COE.



Gambar 4.8 Arus Kas On-Grid

Dapat terlihat dari arus kas pada sistem On-Grid, pada masa berjalannya proyek selama 25 tahun terdapat surplus tiap tahun sebesar Rp65,984,042.40 dari penjualan sistem ke grid dengan *sellback price* berdasarkan Permen ESDM No. 4 Tahun 2020 dan Kepmen ESDM No. 55 Tahun 2019 yaitu 85% dari BPP Pembangkitan daerah Semarang Rp984/kWh sehingga total sebesar 836.4.

#### 4.7 Pembangunan Charging Station

Pembangunan *charging station* diasumsikan bahwa tipenya adalah on-board charging station yang berarti charger berada pada mobil sehingga kita hanya memerlukan connector SAE J1772 yang sesuai dengan mobil Prius Prime PHEV. Total biaya pembangunan EVCS mulai dari komponen utama yaitu connector dan port hingga proteksi menurut penelitian [13] seharga Rp15,000,000 serta akan dilakukan pembangunan untuk 4 buah *charging station* sehingga total biaya adalah sebesar Rp60,000,000.

#### 4.8 Payback Period

Perhitungan payback period menggunakan Kota Semarang dengan NPC terendah untuk menjadi lokasi acuan dan akan dilakukan dalam 4 kasus yaitu hibrid off-grid, hibrid on-grid, PV stand-alone dan WTG stand-alone. Untuk payback period pada sistem kita dapat menghitung menggunakan rumus BEP (Break Event Point) dengan nilai initial, replacement, salvage, operating ditambah pembuatan EVCS sebagai fixed cost, fuel sebagai variabel cost dan COE sebagai harga jual energi.

##### 1. Hibrid off-grid

Pada penjualan off-grid pendapatan pertahun hanya dihitung dari penjualan listrik pada EVCS.

$$\begin{aligned} P &= \text{COE} \times \text{total energi terjual} \\ &= 7,900 \times 32,120 \\ &= \text{Rp}253,748,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \text{FP} / P - \text{VC} \\ &= (2,856,750,769 + 60,000,000) / 253,748,000 - 0 \\ &= 11,5 \text{ tahun} \end{aligned}$$



## 2. Hibrid on-grid

Pada penjualan on-grid pendapatan pertahun didapat dari penjualan listrik EVCS dan penjualan pada grid ke PLN.

$$\begin{aligned} P1 &= \text{COE} \times \text{total energi terjual} \\ &= 7,900 \times 32,120 \\ &= \text{Rp}253,748,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= \text{harga jual grid} \times \text{daya terbuang} \\ &= \text{Rp}143,831,526 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= P1 + P2 \\ &= 253,748,000 + 143,831,526 \\ &= \text{Rp}397,579,526 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \text{FC} / \text{P} - \text{VC} \\ &= (2,856,750,769 + 60,000,000) / 397,579,526 - 0 \\ &= 7.3 \text{ tahun} \end{aligned}$$

## 3. PV stand-alone

Pada penjualan PV-standalone pendapatan pertahun hanya dihitung dari penjualan listrik pada EVCS

$$\begin{aligned} P &= \text{COE} \times \text{total energi terjual} \\ &= 2,293 \times 32,120 \\ &= \text{Rp}73,651,160 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \text{FC} / \text{P} - \text{VC} \\ &= (819,426,200 + 60,000,000) / 73,651,160 - 0 \\ &= 11.94 \text{ tahun} \end{aligned}$$

## 4. WTG stand-alone

Pada penjualan WTG-standalone pendapatan pertahun hanya dihitung dari penjualan listrik pada EVCS

$$\begin{aligned} P &= \text{COE} \times \text{total energi terjual} \\ &= 9,214 \times 32,120 \\ &= \text{Rp}295,953,680 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \text{FC} / \text{P} - \text{VC} \\ &= (3,042,582,000 + 60,000,000) / 295,953,680 - 0 \\ &= 10.28 \text{ tahun} \end{aligned}$$

#### 4.9 Perbandingan PV-WTG dengan baterai

Pada subbab ini akan tercantum perbandingan sistem hibrid PV-WTG dengan menggunakan baterai dan tanpa menggunakan baterai serta analisa sistem untuk mengetahui nilai ekonomis dari sistem setelah tersambung dengan sistem penyimpanan baterai. Sistem pembangkit yang akan digunakan adalah skenario Kota Semarang dengan nilai NPC terendah. Perbandingan komponen dari sistem battery dan no-battery terlihat pada tabel 4.24 dan hasil perbandingan sistem pembangkit hibrid sebelum dan setelah terpasang grid disajikan dalam tabel 4.25.

Tabel 4.24 Perbandingan Komponen Battery dan No-battery

Sistem	Battery	PV	WTG	Converter
Battery	40kWh	124kW	60.8kW	17kW
No Battery	0	124kW	60.8kW	17kW

Tabel 4.25 Hasil Perbandingan Komponen Battery dan No-battery

Sistem	Initial Capital Cost	Replacement	Salvage	Operating Cost	NPC	COE
Battery	3,114,100,000	467,462,400	(268,408,600)	0	3,313,154,000	7,983
No Battery	2,774,766,873	323,275,463	(241,291,567)	0	2,856,751,000	7,900

Dari hasil perbandingan dapat dilihat dengan nilai biaya *initial cost* atau modal sistem battery yang lebih besar Rp339,333,127 dari sistem no-battery menghasilkan nilai NPC sistem battery yang lebih besar Rp456,403,000 dan COE sistem battery yang lebih besar 0.083Rp/kWh dari sistem no-battery.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Pada bab ini diambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan pemberian saran yang dapat diberikan dari keseluruhan proses penelitian untuk meningkatkan kualitas penelitian.

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Desain Pembangkit Hibrid sebagai Electric Vehicle Charging Station dengan 5 lokasi proyek perencanaan selama 25 tahun telah selesai dilakukan. Dari 5 lokasi pembangkit yang dirancang, sistem pembangkit hibrida yang terdapat pada kota Semarang dipilih sebagai lokasi acuan karena memiliki nilai NPC terendah sebesar Rp2,856,750,769 dan nilai TAC sebesar Rp220,982,178 pada harga jual energi listrik (COE / Cost of Energy) sebesar Rp7900/kWh
2. Dari hasil desain pembangkit hibrid yang didapatkan, kota Semarang dengan NPC terendah, tersusun atas 124 kW PV, 60.8 kW WTG dan 17 kW converter merupakan komposisi pembangkit terbaik.
3. Perbandingan HOMER dan GA dengan menggunakan spesifikasi dan harga komponen yang sama menghasilkan nilai NPC GA lebih besar dari HOMER Rp251,435,000, juga nilai TAC dan COE berturut – turut lebih besar dari HOMER sebesar Rp19,449,841 dan Rp695/kWh, ini menunjukkan optimisasi HOMER lebih optimal.
4. Analisa perbandingan dari sistem PV dengan WTG serta On-Grid dengan Off-Grid telah selesai dilakukan dan didapatkan:
  - a. Dari hasil perbandingan sistem PV dengan WTG, didapatkan biaya modal WTG lebih besar Rp1,845,092,000 dikarenakan jumlah kapasitas pembangkit yang berbeda jauh. Terdapat perbedaan biaya penggantian dari umur pakai WTG selama 20 tahun dan PV selama 30 tahun dengan nilai WTG lebih besar

Rp740,000,000. Nilai sisa dari kedua sistem merupakan nilai penyusutan barang yang didapatkan pada tahun terakhir dengan nilai WTG lebih besar Rp355,100,000.

- b. Dari hasil perbandingan sistem On-Grid dan Off-Grid, tidak terdapat perbedaan biaya *initial capital cost*, *replacement* dan *salvage* namun terdapat perbedaan dari *operating cost* sebesar Rp Rp853,009,800 yang didapatkan dari surplus tiap tahun sebesar Rp65,984,042 penjualan sistem ke grid.

## 5.2 Saran

1. Membuat desain prototipe berdasarkan pembangkit hibrid
2. Menggunakan metode optimisasi lain yang dapat menghasilkan nilai yang lebih optimal
3. Memperkuat program dengan menambahkan konstanta – konstanta lain yang dibutuhkan untuk mendapatkan program yang kompleks pada penghitungan optimalisasi matlab.

### Daftar Pustaka

- [1] S. Salehin, M. Ferdaous, R. Chowdhury and A. ET, "Assessment of renewable energy systems combining techno-economic optimization with energy scenario analysis," *Energy*, pp. 729-741, 2016.
- [2] J. Stojkovic, "Multi-Objective Optimal Charging Control of Electric Vehicles in PV charging station," in *16th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, IEEE, pp. 1-5, 2019.
- [3] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Outlook Energi Indonesia Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat, Yudiartono, Anindhita, A. Sugiyono, L. M. A. Wahid dan Adiarso, Penyunt., Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE), pp. 16-17, 2018.
- [4] Rashid M. M., Maruf M. N. dan Akhtar T., "An RES-based Grid Connected Electric Vehicle for Bangladesh" dalam *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, pp. 205-210, 2019.
- [5] H. Cristian, N. Bizon dan B. Alexandru, "Design of hybrid power systems using HOMER simulator for different renewable energy sources," dalam *ECAI 2017 - International Conference – 9th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, pp. 1-7, 2017.
- [6] Patil R. D., Veena S. dan Sridhar H. V., "Design and Evaluation of Charging Stations" in *Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, pp. 1-6, 2019.
- [7] B. F. Ronad dan S. H. Jangamshetti, "Optimal Cost Analysis of Wind-Solar Hybrid System Powered AC and DC Irrigation Pumps using HOMER," dalam *4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, Palermo, pp. 1038-1042, 2015.
- [8] H. Rezk, O. Abdalla, M. A. Tolba dan M. M. Zaky, "Optimum Size of Battery-less Energy Sources Autonomous Hybrid Power System for Water

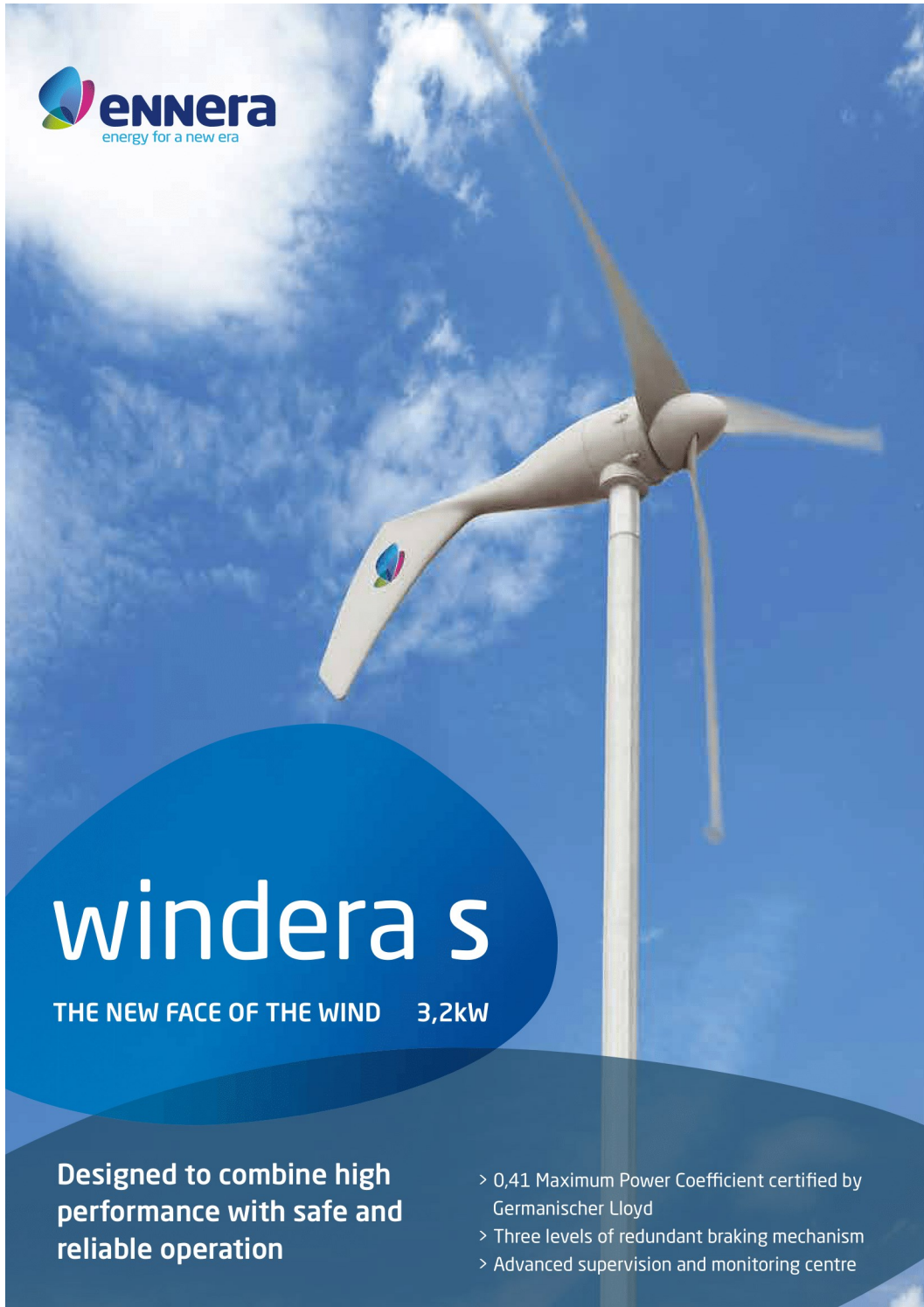
- Pumping Applications” dalam *International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) 2020*, pp. 1-6, 2020.
- [9] T. Adefarati, R. C. Bansal and J. J. Justo, "Techno-economic analysis of a PV–wind–battery–diesel standalone power system in a remote area," *The Journal of Engineering*, vol. 2017, no. 13, pp. 740-744, 2017.
- [10] HOMER Energy, “HOMER PRO 3.11,” HOMER Energy, [Online]. Available:  
[https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/pv\\_array\\_power](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/pv_array_power).  
 [Diakses 5 Maret 2020].
- [11] HOMER Energy, “HOMER PRO 3.11,” HOMER Energy, [Online]. Available:  
[https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/wind\\_turbine](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/wind_turbine).  
 [Diakses 5 Maret 2020].
- [12] M. A. Bahrami S, *Smart Microgrids: From Design to Laboratory-Scale Implementation*, Switzerland: Springer, pp. 96-97, 2019.
- [13] H. Maghfiroh, M. Ibrahim, C. Hermanu and M. Nizam, "Low Cost Charging Station for Electric Vehicle: Design and Prototyping," in *6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)*, IEEE, pp. 20-24, 2019.
- [14] M. Nurunnabi dan N. K. Roy, “Grid Connected Hybrid Power System Design Using HOMER,” dalam *Proceedings of 2015 3rd International Conference on Advances in Electrical Engineering*, pp. 18-21, 2015.
- [15] C. A. S. Rangel, L. Canha, M. Sperandio dan R. Severiano, “Methodology for ESS-type selection and optimal energy management in distribution system with DG considering reverse flow limitations and cost penalties,” *IET Journals*, vol. 12, no. 5, pp. 1164-1170, 2017.
- [16] PT. PLN Persero, *Statistik PLN 2018*, hal. 13, 2019.
- [17] Badan Pusat Statistik, *Statistik Transportasi Darat 2018*, hal. 56, 2019.
- [18] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2017, *Rencana Umum Energi Nasional*, hal. 77-80, 2017.


- [19] NASA, “POWER Data Access Viewer,” [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Diakses 25 Maret 2020].
- [20] Sutrisno, Simple Notes on Soft Computing, Surakarta, pp. 22-23, 2018.
- [21] W. Rian, Desain dan Analisis Tekno Ekonomi Pembangkit Hibrida Untuk Pembangkit Alternatif di Indonesia, Solo: UNS, 2019.

# LAMPIRAN



Lampiran 1. Spesifikasi *Wind Turbine Generator*



 **ennera**  
energy for a new era

# windera s

THE NEW FACE OF THE WIND 3,2kW

**Designed to combine high performance with safe and reliable operation**

- > 0,41 Maximum Power Coefficient certified by Germanischer Lloyd
- > Three levels of redundant braking mechanism
- > Advanced supervision and monitoring centre

# windera s

THE NEW FACE OF THE WIND

## GENERAL

Configuration	3 blades, Horizontal Axis, Upwind Passive Yaw, Fix Pitch
Reference power <sup>1</sup>	3,2 kW
Diameter	4,36 m
Annual energy yield <sup>2</sup>	6.231 kWh
IEC Turbine Class <sup>3</sup>	Class III
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Noise <sup>4</sup>	49 dB(A)
Nacelle weight	160 kg
Operating temp. range	-20 / 45 °C
Nominal rotation	200 rpm
Design lifetime	20 years
Certification	MCS & ClassNk

## GENERATOR

Type	Direct drive permanent magnet synchronous
------	---

## CONVERTER

Nominal efficiency	95%
Connection	Singlephase
Protection degree	IP 54 plus aesthetic outer case with UV protection
Adaptive optimum point tracking	Optimized control strategy to maximize production and minimize loads

## BLADES

Type	Fiberglass, carbon-fiber, epoxy resin. Winglets at blades' tip
------	---

## TOWER

Configuration	Free standing tubular monopole (12 or 18m)
---------------	--

## SAFETY SYSTEMS

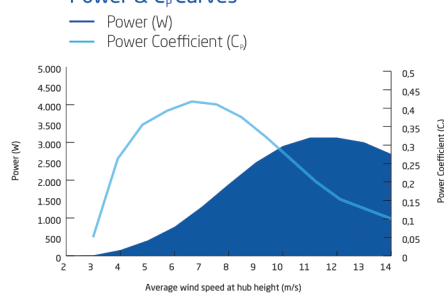
Machine control	Braking system when excessive wind speeds are detected
Electrical	Shut down protection system against electrical or mechanical failure
Mechanical	Redundant centrifugal brake against over-speed
No additional braking resistance required	

## SUPERVISION AND MAINTENANCE

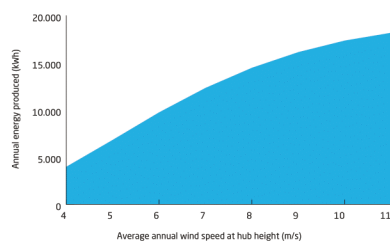
Supervision centre	Remote control based on mobile network communication
Green Monitor	Web application for end user with energy and power statistical data and machine status information
Preventive approach	Identification of maintenance needs according to received data and warning analysis



## Power & C<sub>p</sub> Curves



## Annual electricity production<sup>5</sup>



1. Measured at 11 m/s according to MCS and ClassNk.
2. Estimated wind speed at 5 m/s during 1 year period.
3. According to standard conditions. IEC 61400-2.
4. At 25 m. distance from rotor centre. Wind speed 8 m/s.
5. Extrapolated according to IEC 61400-12-1.



Ennera Energy and Mobility, S.L. • Ibarra (Gipuzkoa), Spain  
T. +34 943 028 676 • [commercial@ennera.com](mailto:commercial@ennera.com) • [www.ennera.com](http://www.ennera.com)

Windera is registered trademark Ennera Energy and Mobility, S.L.

## Lampiran 2. Spesifikasi *Photovoltaic*

**PEIMAR**  
ITALIAN PHOTOVOLTAIC MODULES



### SG290P

RESIDENTIAL LINE



MADE IN ITALY MODULE

Peimar polycrystalline solar panels made in Italy provide customers with a perfect combination of high-efficiency and versatility. Thanks to the use of high-quality solar cells, our panels achieve outstanding performance and ensure maximum production output even under poor lighting and weather conditions. The strong yet ultra-light frames, available in silver or black make installation easy but robust in either residential, commercial or large-scale settings.



**30** YEAR LINEAR POWER WARRANTY  
**20** YEAR PRODUCT WARRANTY



MODULE FIRE PERFORMANCE: **CLASS 1**



ANTI-REFLECTIVE GLASS



**QBE INSURANCE**  
Product Liability Insurance QBE

#### CELLS



60 CELLS  
POLY 5BB

156.75x156.75 mm / 6.17x6.17"

#### FRAME



COMPACT AND STURDY | **40mm**

ANCHORABLE ALSO ON THE SHORT SIDE <sup>(4)</sup>

[www.peimar.com](http://www.peimar.com)



RESIDENTIAL LINE

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC) <sup>(1)</sup>		SG290P
Nominal Output (Pmax)		290 W
Power Tolerance		0/+5 W
Voltage at Pmax (Vmp)		32.2 V
Current at Pmax (Imp)		9.01 A
Open Circuit Voltage (Voc)		39.28 V
Short Circuit Current (Isc)		9.64 A
Maximum System Voltage		1500 V
Maximum Series Fuse Rating		15 A
Module Efficiency		17.83%
Protection class against electric shock		Class II

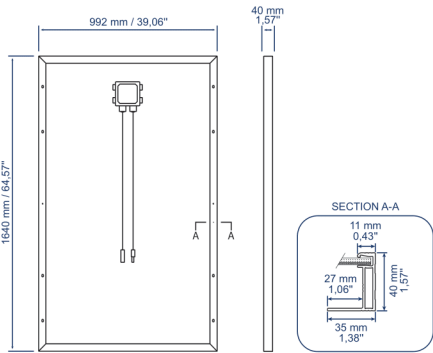
MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Solar Cells	60 (6x10) polycrystalline
Solar Cells Size	156.75x156.75 mm / 6.17x6.17"
Front Cover	3.2 mm / 0.13" thick, low iron tempered glass
Back Cover	TPT (Tedlar-PET-Tedlar)
Encapsulant	EVA (Ethylene vinyl acetate)
Frame	Anodized aluminium alloy, double wall
Frame finishing	Silver / Black
Backsheet finishing	White
Diodes	3 Bypass diodes serviceable
Junction Box	IP67 rated
Connector	MC4 or compatible connector
Cables Length	900 mm / 35.43"
Cables Section	4.0 mm² / 0.006 in²
Dimensions	1640x992x40 mm / 64.57x39.06x1.57"
Weight	18 Kg / 39.68 lbs
Max. Load <sup>(4)</sup>	Certified to 5400 Pa

TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
NOCT <sup>(2)</sup>	45±2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.28 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.042 %/°C
Operating Temperature	-40 °C - +85°C

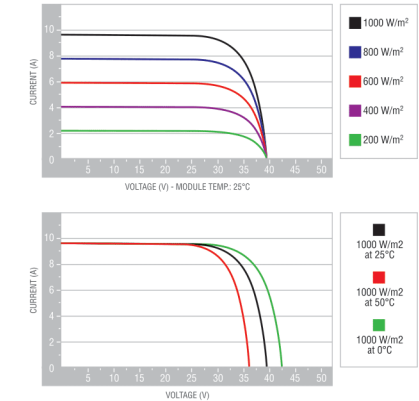
PACKAGING <sup>(3)</sup>	
Pallet dimensions	1700x1200x1200 mm / 66.93x47.24x47.24"
Pieces per pallet	27
Weight	516 Kg / 1138 lbs

CERTIFICATIONS	
Fire Resistance Rating	Class of reaction to fire 1 (UNI 9177)

DIMENSIONS



CURRENT/VOLTAGE CHARACTERISTICS



- <sup>(1)</sup> STC: (Standard Test Condition) Irradiance 1000W/m²; Module Temperature 25°C; Air Mass 1.5

<sup>(2)</sup> NOCT: (Nominal Operation Cell Temperature) Irradiance 800W/m²; Air 20°C; Wind speed 1m/s

<sup>(3)</sup> Pallets can be stacked up to two
- <sup>(4)</sup> Consult the installation manual for the relative mounting configurations