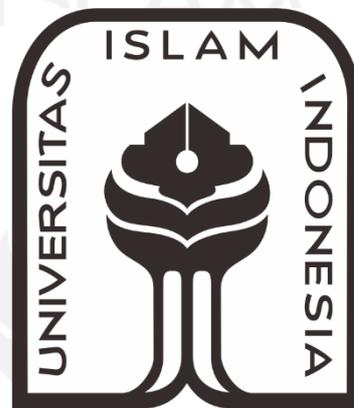


Simulasi Kinerja *Mini-grid* Berbasis *Photovoltaic* (PV) dan *Wind Turbine* (WT) Menggunakan HOMER Di Pantai Samas Bantul

Yogyakarta

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



المعهد الإسلامي
الاندونيسي

Disusun oleh:

Aditya Aldy Guntur Pamungkas DS

16524036

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

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Simulasi Kinerja *Mini-grid* Berbasis *Photovoltaic* (PV) dan *Wind Turbine* (WT)

Menggunakan HOMER Di Pantai Samas Bantul Yogyakarta

TUGAS AKHIR

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

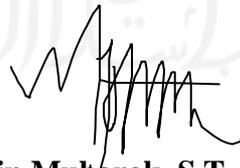
Disusun oleh:

Aditya Aldy Guntur Pamungkas DS
16524036

Yogyakarta, 02 Maret 2021

Menyetujui,

Pembimbing 1



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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

Simulasi Kinerja *Mini-grid* Berbasis *Photovoltaic* (PV) dan *Wind Turbine* (WT)

Menggunakan HOMER Di Pantai Samas Bantul Yogyakarta

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Aditya Aldy Guntur Pamungkas DS

16524036

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: **09 Februari 2021**

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji: **Husein Mubarak, S.T., M.eng.,** _____

Anggota Penguji 1: **Medilla Kusriyanto, S.T., M.eng.,** _____

Anggota Penguji 2: **Ida Nurcahyani, S.T., M.Eng.,** _____

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

Tanggal: 02 Maret 2021

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D.

045240101

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 02 Maret 2021



Aditya Aldy Guntur Pamungkas DS

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 02 Maret 2021



Aditya Aldy Guntur Pamungkas DS

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan Kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi dengan judul “Simulasi Kinerja *Mini-grid* Berbasis *Photovoltaic* (PV) dan *Wind Turbine* (WT) Menggunakan HOMER Untuk Wilayah Terpencil” dengan baik dan benar. Tugas akhir ini wajib ditempuh oleh mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, sebagai bentuk syarat dalam menempuh jenjang Strata 1.

Kelancaran dalam mempersiapkan dan menyelesaikan Laporan Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Yusuf Aziz Amrullah S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Husein Mubarak S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan ilmu, arahan, serta masukan dalam membimbing penulis dalam melakukan penelitian dan penulisan laporan tugas akhir.
3. Seluruh dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro UII atas segala ilmu yang diajarkan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan tugas akhir.
4. Orang tua serta keluarga yang telah memberi semangat, doa, nasihat dan dukungan moril, maupun material selama proses penelitian dan laporan tugas akhir.
5. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia Angkatan 2016
6. Seluruh pihak yang terlibat dan memberikan masukan serta semangat dalam menyelesaikan Laporan Skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua orang maupun untuk penulis sendiri, *amin ya rabbalalamiin*.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 25 November 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aditya Aldy Guntur Pamungkas', written over a light blue rectangular background.

Aditya Aldy Guntur Pamungkas DS

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

%	: <i>Percent</i>
°C	: <i>Derajat Celcius</i>
m ²	: <i>Meter Persegi</i>
W/m ²	: <i>Watt Meter Persegi</i>
AH	: <i>Ampere Hour</i>
BPS	: <i>Badan Pusat Statistik</i>
CoE	: <i>Cost of Energy</i>
GW	: <i>Giga Watt</i>
HP	: <i>Horsepower</i>
Hrs	: <i>Hours</i>
IEA	: <i>International Energy Agency</i>
Isc	: <i>Short Circuit Current</i>
kW	: <i>Kilo Watt</i>
kWh	: <i>Kilo Watt Hour</i>
kWp	: <i>Kilo Watt Peak</i>
MW	: <i>Mega Watt</i>
NPC	: <i>Net Percent Cost</i>
PV	: <i>Photovoltaic</i>
TAC	: <i>Total Annualized Cost</i>
USD	: <i>United States Dollar</i>
VAC	: <i>Volt Alternating Current</i>
VDC	: <i>Volt Direct Current</i>
Voc	: <i>Open Circuit Voltage</i>
W	: <i>Watt</i>
Wp	: <i>Watt Peak</i>
WT	: <i>Wind Turbine</i>
Yr	: <i>Year</i>

ABSTRAK

Energi terbarukan merupakan sebuah sumber daya energi yang sumbernya tidak lagi mengandalkan minyak bumi atau yang bersumber dari fosil. Energi terbarukan sendiri bisa berasal dari matahari dan angin. Di Indonesia sendiri energi terbarukan juga dapat digunakan untuk menjangkau daerah-daerah terpencil atau daerah pesisir pantai yang belum memiliki akses jaringan listrik. Hal ini juga didukung dengan sumber radiasi matahari dan kecepatan angin di Indonesia, mengingat negara Indonesia beriklim tropis. Dengan adanya energi terbarukan daerah-daerah terpencil tersebut bisa mendapatkan energi listrik secara mandiri menggunakan sistem *mini-grid* berbasis PV dan WT. Untuk itu perlu dilakukan perancangan terhadap desain *mini-grid* berbasis PV dan WT agar kinerja yang dihasilkan sesuai dengan kondisi lingkungan dan dapat dimanfaatkan dengan baik. Untuk mengetahui hasil kinerja yang baik dari sistem yang dirancang maka perlu dilakukan simulasi terlebih dahulu sebelum sistem dapat digunakan. Cara untuk mengetahuinya adalah dengan simulasi pada *software* HOMER. Pada *software* ini dapat dilihat bagaimana kinerja sistem dalam kurun waktu hari, bulan dan tahun pada waktu tertentu. Namun data beban, radiasi matahari, kecepatan angin dan perhitungan juga diperlukan untuk desain awal sebelum sistem dirancang. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa di daerah Pantai Samas, sistem mampu melayani beban dengan jumlah pembangkitan daya sebesar 154.998 kWh pertahun. Sektor pembangkit tenaga surya sendiri memiliki kontribusi sebesar 145.457 kWh pertahun dan sektor pembangkit tenaga angin memiliki kontribusi sebesar 9.532 kWh pertahun. Namun karena sistem ini dipasang secara *off-grid* tingkat efisiensi dari pembangkit sendiri masih terbilang kurang efisien karena adanya kelebihan daya sebesar 69.479 kWh pertahun yang tidak termanfaatkan dengan baik. Di samping itu lokasi dan jumlah beban sendiri berpengaruh pada kinerja sistem *mini-grid* berbasis PV dan WT karena sumber daya pembangkit yang berasal dari matahari dan angin sangat dipengaruhi oleh cuaca di suatu daerah. Hal tersebut juga akan mengakibatkan ketidakseimbangan antara beban dan jumlah produksi energi listrik yang akan melayani beban.

Kata Kunci: *Mini-grid*, Daerah Terpencil, HOMER, Kinerja Sistem *Mini-grid*.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Studi Literatur	3
2.2 Tinjauan Teori.....	5
2.2.1 <i>Photovoltaic</i> (PV)	5
2.2.2 <i>Wind Turbine</i> (WT).....	6
2.2.3 <i>Mini-grid</i>	7
2.2.4 <i>HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources)</i>	7
2.2.5 Daya Listrik.....	8
BAB 3 METODOLOGI.....	10
3.1 Alur Penelitian	10
3.2 Menentukan Lokasi Penelitian.....	11

3.3 Pengumpulan Data.....	11
3.3.1 Data Beban.....	11
3.3.2 Data Matahari.....	12
3.3.3 Data Angin.....	13
3.3.4 Data Biaya Komponen.....	14
3.4 Menentukan Parameter Sistem.....	14
3.4.1 Perhitungan PV dan WT.....	14
3.4.2 Perhitungan <i>Battery</i>	15
3.4.3 Perhitungan Tegangan PV dan <i>Converter</i>	15
3.5 Pemodelan Sistem <i>Mini-grid</i>	15
3.5.1 Rating Komponen.....	17
3.6 Cara Analisis.....	20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Analisis Hasil Kinerja Sistem <i>Mini-grid</i>	21
4.2 Analisis Kinerja PV dan WT Berdasarkan Arus dan Tegangan.....	24
4.3 Perbandingan Kurva Sistem <i>Mini-grid</i>	26
4.4 Analisis Hasil Kinerja Ekonomi.....	27
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	28
5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA.....	29
LAMPIRAN.....	1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Canadian Solar CS6U 340M [10]	5
Gambar 2. 2 Turbin Angin Bergey Excel 6 [12].....	6
Gambar 2. 3 Halaman Utama HOMER	8
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	10
Gambar 3. 2 Data Kecerahan dan Radiasi di Pantai Samas.	13
Gambar 3. 3 Data Kecepatan Angin di Pantai Samas	13
Gambar 3. 4 Desain <i>Schematic</i>	16
Gambar 3. 5 Tampilan Pengaturan Beban	17
Gambar 3. 6 Desain Modul Surya.....	18
Gambar 3. 7 Tampilan Desain Turbin Angin.....	18
Gambar 3. 8 Tampilan Desain Baterai	19
Gambar 3. 9 Tampilan Desain <i>Converter</i>	20
Gambar 4. 1 Kurva Hasil Produksi Sistem <i>Mini-grid</i>	22
Gambar 4. 2 Kurva Daya Pembangkitan Terhadap Beban	23
Gambar 4. 3 Kurva Arus PV Terhadap Tegangan	25
Gambar 4. 4 Kurva Arus WT Terhadap Tegangan	25
Gambar 4. 5 Kurva Daya Terhadap Beban Saat <i>Weekday</i>	26
Gambar 4. 6 Kurva Daya Terhadap Beban Saat <i>Weekend</i>	26

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Penggunaan Beban Harian	12
Tabel 4. 1 Produksi dan Konsumsi Daya Sistem <i>Mini-grid</i>	21
Tabel 4. 2 <i>Electrical Summary</i> CS6U 340-M	22
Tabel 4. 3 <i>Electrical Summary</i> Bergey Excel 6	22
Tabel 4. 4 Data Spesifikasi Turbin Angin dan Panel Surya.....	24
Tabel 4. 5 Hasil Optimasi HOMER: <i>Net Percent Cost</i>	27



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan akan energi listrik kini juga kian meningkat seiring dengan berkembangnya zaman. Berdasarkan data survei yang dilakukan oleh databoks, diperkirakan jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2020 akan bertambah menjadi 269,6 juta jiwa [1]. Pada tahun 2018 menurut Badan Pusat Statistik (BPS) ada sekitar 2.281 desa di Indonesia yang belum merasakan listrik dan masih sedikit desa yang bisa menghasilkan energi listrik secara mandiri tanpa melalui listrik pemerintah [2]. Sedangkan sumber energi terbarukan dengan sistem *mini-grid* bisa menjadi salah satu alternatif bagi desa-desa di Indonesia agar listrik dapat dirasakan secara merata. *Mini-grid* melibatkan pembangkit listrik skala kecil (10 kW hingga 10 MW) yang melayani sejumlah konsumen terbatas melalui jaringan distribusi yang dapat beroperasi secara terpisah dari jaringan listrik nasional [3]. Jadi jaringan listrik ini dapat melayani pelanggan tunggal seperti pada sistem rumah surya yang terkoneksi pada pelanggan tunggal.

Indonesia sendiri merupakan daerah yang memiliki potensi cukup baik untuk energi matahari dan energi angin. Indonesia juga merupakan negara tropis di mana daerahnya dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi menerima panas matahari dan angin yang besar. Tidak diragukan lagi bahwa pemanfaatan energi angin dan matahari adalah sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan untuk masa yang akan datang, karena pada proses konversi energinya tidak menimbulkan polusi serta sumber energinya akan selalu ada [4]. Sistem pembangkit ini akan dapat dikelola dengan baik bila memanfaatkan *mini-grid*, karena untuk daerah-daerah terpencil akan lebih mudah dalam mengatur kebutuhan untuk tiap daerah. Akan tetapi *mini-grid* berbasis *photovoltaic* dan *wind turbine* ini belum dapat dimanfaatkan secara maksimal karena beberapa faktor penghalang. Salah satunya adalah rendahnya efisiensi (hanya berkisar 10%) dan mahalnya biaya per-satuan daya listrik. Untuk pembangkit listrik dari *photovoltaic* diperlukan biaya 0.25 – 0.5 USD/kWh. Di samping itu juga kecepatan angin di Indonesia rata-rata 3m/s dan hanya ada beberapa daerah di Indonesia dengan kecepatan angin diatas 3m/s [5]. Jadi hanya turbin dengan skala kecil yang bisa digunakan untuk daerah terpencil. Maka dari itu daerah geografis juga sangat berpengaruh pada *mini-grid* yang berbasis *photovoltaic* dan *wind turbine*.

Untuk mengatasi masalah tersebut pada penelitian ini akan dilakukan survei terhadap suatu daerah yang akan memanfaatkan *mini-grid* berbasis PV dan WT. Di samping itu akan dibuat desain yang cocok untuk digunakan di daerah Pantai Samas agar dapat digunakan bagi kebutuhan

masyarakat setempat. Maka dari itu perlu dilakukan simulasi untuk desain *mini-grid* tersebut agar dapat bekerja dengan baik. Salah satu caranya dengan *software* HOMER. Dengan *software* ini kinerja dari desain *mini-grid* dapat dievaluasi, apakah sistem yang dibuat sudah layak untuk digunakan di daerah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kinerja sebuah *mini-grid* yang menggunakan *photovoltaic* dan *wind turbine*?
2. Bagaimana kinerja *mini-grid* yang terhubung secara *off-grid*?
3. Bagaimana pengaruh lokasi dan beban yang diampu dari sebuah *mini-grid* terhadap kinerjanya?

1.3 Batasan Masalah

1. Data beban merupakan data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya untuk beban *residential* [6].
2. Data radiasi dan kecepatan angin yang digunakan merupakan data dari HOMER
3. Jenis jaringan *mini-grid* yang digunakan adalah *off-grid*.
4. Lokasi simulasi berada di daerah pesisir Pantai Samas.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui bagaimana kinerja *mini-grid* yang menggunakan sumber pembangkitan dari sel surya dan turbin angin.
2. Mengetahui apakah daerah yang digunakan untuk simulasi merupakan daerah yang cocok untuk diterapkan *mini-grid*.
3. Membuat desain yang cocok untuk digunakan di daerah terpencil dengan beban *residential*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini bisa menjadi bahan pertimbangan bagi pengembangan sistem *mini-grid* berbasis *photovoltaic* dan *wind turbine* untuk daerah terpencil, khususnya di daerah pesisir. Disamping itu penelitian ini dapat membantu mensosialisasikan *mini-grid* dengan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian mengenai *photovoltaic* (PV) dan *wind turbine* (WT) ini sudah banyak dilakukan sebelumnya, seperti yang sudah dilakukan oleh Chandraknat Dondariya dkk [7]. Mereka melakukan penelitian untuk menilai kelayakan sistem *photovoltaic* yang terhubung ke jaringan untuk bangunan rumah tangga. Dalam penelitian tersebut mereka yakin bahwa potensi *photovoltaic* surya dapat dievaluasi melalui alat simulasi perangkat lunak. Penelitian tersebut juga berfokus pada perangkat lunak simulasi, seperti PV*SOL, PVGIS, Solar GIS, dan SISIFO sebagai perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis kinerja sistem *photovoltaic* atap-atap yang terhubung ke jaringan. Data yang diambil dalam penelitian ini yaitu sistem yang memiliki daya 6.4 kWp. Bahan sel *photovoltaic* yang dipilih adalah *mono*-kristal karena efisiensi yang lebih tinggi. Objek yang dipilih untuk penelitian ini adalah bangunan perumahan dengan ruang kecil yang tersedia di area atap (sekitar $70m^2$). Situs yang dipilih adalah model demo untuk mempelajari persyaratan instalasi pada skala besar. Sistem ini adalah tegakkan tetap dan cukup dapat memberi daya pada rumah tangga keluarga kecil. Sistem PV yang terhubung ke jaringan terdiri dari susunan molekul untuk diserap dan mengubah sinar matahari menjadi listrik, inverter surya untuk mengubah arus *direct current* (DC) menjadi arus *alternating current* (AC), pemasangan kabel dan aksesoris listrik lainnya. Untuk parameter yang dinilai di sini mengenai nilai pembangkit energi, rasio kinerja, dan fraksi matahari untuk prediksi kinerja pembangkit listrik tenaga surya. Metode yang digunakan pada uji kelayakan di sini juga lebih mengandalkan perangkat lunak simulasi. Dari berbagai perangkat lunak simulasi yang telah digunakan, penelitian ini mencoba membandingkan hasil dari tiap-tiap perangkat lunak. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa perangkat lunak PV*SOL merupakan perangkat lunak yang mudah, cepat, dan andal untuk simulasi sistem PV.

Pada tahun 2018, Hasbi Assiddiq dan Irma Dinahkandy [4] membuat sebuah penelitian mengenai pemanfaatan energi matahari sebagai energi alternatif. Pada penelitian ini peneliti memanfaatkan potensi energi matahari menjadi energi listrik. Target dari pemanfaatan potensi sumber energi matahari ini adalah kawasan pemukiman di daerah terpencil dan belum terjangkau jaringan listrik. Di samping untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui perkiraan total anggaran untuk pembangunan sistem tenaga surya secara mandiri. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa observasi dan pengumpulan data. Sebelum peneliti melakukan percobaan, peneliti melakukan observasi keadaan daerah yang telah dipilih terlebih dahulu. Data yang dicari berupa kebutuhan daya listrik, intensitas radiasi

matahari, arus dan tegangan keluaran sel *photovoltaic*. Untuk tahapan rancangannya sendiri peneliti menghitung total daya beban pemakaian per-hari, menentukan kapasitas sel *photovoltaic* yang sesuai dengan beban pemakaian, menentukan kapasitas penyimpanan, Analisis hasil dan evaluasi. Dari hasil penelitian ini juga diperoleh hasil perhitungan jumlah kebutuhan listrik per-hari adalah 1396 Wh/hari. Total anggaran yang digunakan untuk pembangunan sistem sederhana adalah Rp.12.000.000,00 atau Rp.200.000,00 per-bulan dengan lama pemakaian rata-rata 5 tahun.

Pada tahun 2018 N.Riyanto dkk [8] membuat penelitian mengenai kinerja turbin angin pada kecepatan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja penggunaan diffuser pada turbin angin horizontal. Variasi diffuser yang digunakan memiliki dua geometri yang berbeda. Yang pertama tanpa selubung masuk ($L/D=0,25$) dan yang kedua dengan selubung masuk ($L/D=0,39$). Pengujian ini dilakukan pada terowongan angin dengan kecepatan angin yang rendah, mulai dari 1 m/s hingga 5 m/s. Dengan dilakukan pengujian kecepatan angin yang rendah tersebut maka suatu turbin angin akan diketahui titik kelemahannya. Pada penelitian ini untuk menanggulangi masalah yang dihadapi turbin angin maka ditambahkan alat, yaitu sebuah diffuser. Pada riset ini juga menggunakan beberapa metode yaitu *experiment setup* dengan menggunakan generator 100 Watt, rasio putaran rotor 1:1, diameter rotor 1200mm, baling-baling berdiameter 600mm, dengan total baling-baling berjumlah 3 buah dan baling-baling dengan bahan kayu mahoni. Metode kedua yaitu dengan *experiment design*. Dalam riset ini diketahui hasil dari penambahan diffuser dapat meningkatkan kecepatan angin hingga 10% Ketika diffuser divariasi dengan *inlet shroud*. Dalam riset ini juga dikatakan bahwa penambahan diffuser ini akan menambah efisiensi daya hingga 41%.

Penelitian [4] [7] [8] telah melakukan dasar penelitian yang kuat mengenai pemanfaatan energi surya dan angin. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini ingin mengusulkan sebuah penelitian baru di mana penelitian ini akan menggabungkan energi angin dan matahari. Sehingga daya yang dihasilkan akan lebih maksimal. Di samping itu sebelum diimplementasikan, akan dilakukan simulasi terlebih dahulu pada sistem yang sudah dibuat, sehingga meminimalisir kesalahan. Setelah dilakukan simulasi, maka hasil dari simulasi tersebut dapat digunakan sebagai parameter kinerja *mini-grid* berbasis *Photovoltaic* dan *Wind Turbine*.

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Photovoltaic (PV)

Photovoltaic adalah alat yang digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor, dalam hal ini bahan yang sering digunakan adalah silikon. Silikon dalam *photovoltaic* dapat berperan sebagai konduktor maupun isolator. Hal yang mempengaruhi kinerja dari *photovoltaic* dengan bahan silikon ini adalah temperatur dan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *photovoltaic*.

Ketika *photovoltaic* mendapat paparan intensitas cahaya matahari dan temperatur, maka *photovoltaic* akan dapat menghasilkan arus listrik. Besar arus listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic* berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya yang diterima oleh *photovoltaic*. Sedangkan besar intensitas cahaya matahari dapat berubah sesuai dengan pergeseran posisi matahari dan pengaruh dari cuaca. Faktor cuaca yang dimaksud seperti cuaca mendung dan cuaca cerah. Dalam kenyataannya, modul *photovoltaic* yang selama ini digunakan memiliki banyak variasi meliputi daya maksimum, tegangan dan arus yang mampu dihasilkan oleh modul saat operasi. Setiap modul surya memiliki parameter yang berbeda, tergantung dengan jenisnya. Perbedaan yang paling utama sendiri ada pada V_{oc} (*open circuit voltage*) dan I_{sc} (*short circuit current*). Modul surya sendiri juga memiliki keadaan ideal atau *standard condition* yaitu pada saat intensitas cahaya matahari $1000\text{W}/\text{m}^2$ dan temperatur 25°C [9]. Di bawah ini adalah contoh jenis modul surya dengan tipe Canadian Solar CS6U 340M.



Gambar 2. 1 Canadian Solar CS6U 340M [10]

2.2.2 Wind Turbine (WT)

Wind turbine atau turbin angin merupakan alat yang dapat mengubah energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin sendiri merupakan teknologi yang ramah lingkungan, bersih, bebas polusi, walaupun untuk investasinya sendiri sedikit mahal. Untuk dapat menggerakkan sebuah turbin angin diperlukan kecepatan rata-rata antara 5 m/s sampai dengan 8 m/s atau lebih. Jika kecepatan angin berada dibawah kisaran tersebut maka daya listrik yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Turbin angin sendiri memiliki komponen utama penyusunnya, yaitu kincir angin dan bilah, *gear box*, *brake system*, generator, penyimpan energi, tower dan struktur bangunan, serta kontrol sistem. Bilah kincir angin yang umum digunakan saat ini adalah kincir angin dengan 3 bilah, baik untuk jenis turbin angin darat atau *onshore wind turbine*.

Kapasitas listrik yang dihasilkan *wind turbine* untuk era saat ini sudah signifikan menghasilkan listrik untuk kebutuhan manusia. Bila dilihat dari sejarah awalnya, di Amerika telah dimulai proyek pembangkit listrik tenaga angin sejak tahun 1980 untuk kebutuhan komersil. Pada era tersebut *wind turbine* sendiri sudah dapat menghasilkan daya 56-100 kW. Kemudian dikembangkan lagi hingga saat ini sehingga daya yang bisa dihasilkan mencapai 3.6 GW hingga 5 GW. Namun daya yang dihasilkan tersebut tidak terlepas dari pengaruh eksternal. Faktor yang dapat mempengaruhi *wind turbine* adalah ketinggian tempat dan kondisi lingkungan, hal ini dikarenakan akan mempengaruhi hembusan angin yang diterima *wind turbine* [11]. Di bawah ini adalah contoh turbin angin dengan tipe Bergey Excel 6.



Gambar 2. 2 Turbin Angin Bergey Excel 6 [12]

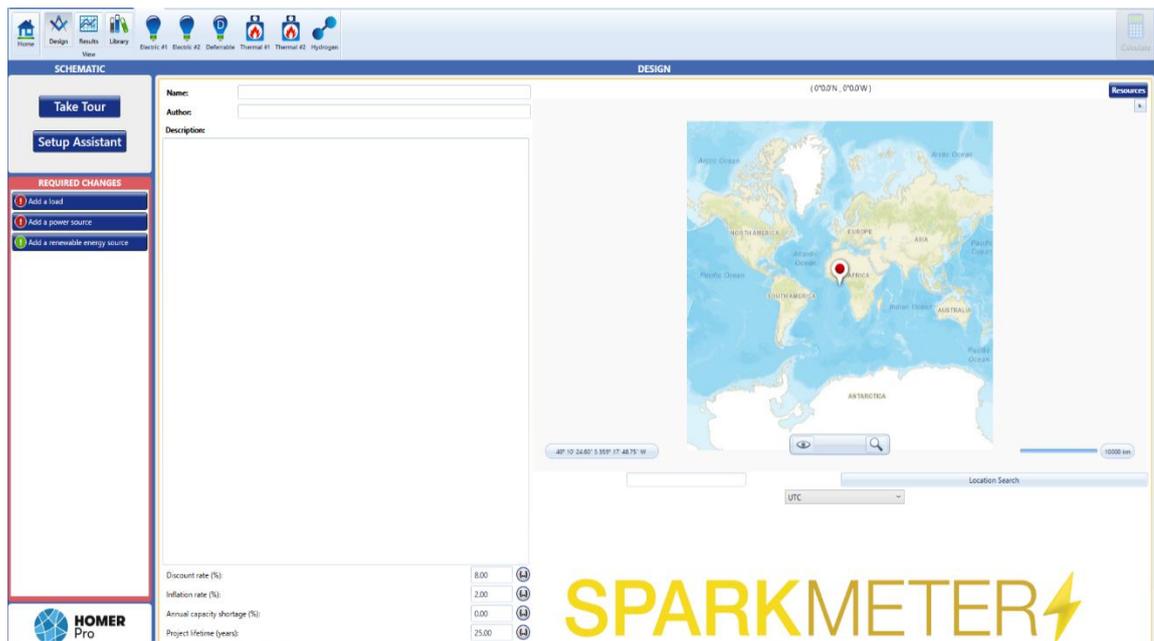
2.2.3 Mini-grid

Istilah *mini-grid* telah didefinisikan dengan beragam dalam berbagai literatur dan sering digunakan sebagai kontras *grid* pusat. Sebagai contoh Yan dkk mendefinisikannya secara luas yaitu infrastruktur listrik yang melayani beragam pengguna dari satu bangunan hingga pulau yang dapat saling berhubungan dan terkoneksi dengan jaringan utama atau beroperasi secara mandiri berdasarkan pada pembangkit energi yang didistribusikan. Di sisi lain IEA (*International Energy Agency*) mendefinisikannya sebagai satu set generator listrik dan sistem penyimpanan energi yang saling berhubungan dengan jaringan distribusi yang menyuplai seluruh kebutuhan listrik suatu kelompok pelanggan. Sedangkan dalam *mini-grid policy toolkit*, didefinisikan sebagai pembangkit yang melibatkan listrik skala kecil (dari 10 kW hingga 10 MW) dan distribusi listrik ke sejumlah pelanggan terbatas melalui jaringan distribusi yang dapat beroperasi secara terpisah dari jaringan transmisi listrik nasional dan menyediakan listrik bagi pemukiman yang relatif terkonsentrasi dengan listrik pada tingkat kualitas jaringan [13].

2.2.4 HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*)

HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resource*) merupakan salah satu *tool* atau alat yang dapat digunakan untuk merancang sistem *mini-grid* menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik secara *off-grid* maupun *on-grid*, yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, sel surya, *micro hydro*, biomassa, generator, *microturbine*, *fuel-cell*, baterai dan penyimpanan *hydrogen*.

HOMER dapat mensimulasikan sistem dengan menyediakan perhitungan *energy balance* untuk setiap 8.760 jam dalam satu tahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator, HOMER juga dapat menentukan untuk setiap jam, apakah generator beroperasi dan apakah baterai diisi atau dikosongkan. Lalu HOMER juga dapat menentukan konfigurasi rancangan sistem terbaik yang kemudian dapat diperkirakan biaya instalasi hingga operasi sistem selama masa operasinya [14]. Sebagai gambarnya akan ditampilkan halaman utama pada perangkat lunak HOMER pada Gambar 2. 3. Pada halaman utama tersebut merupakan area kerja utama untuk mengidentifikasi nama serta lokasi di mana simulasi akan dilakukan.



Gambar 2. 3 Halaman Utama HOMER

2.2.5 Daya Listrik

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik di mana 1 HP setara dengan 746 Watt. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik di mana 1-Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt.

Daya dinyatakan dalam **P**, Tegangan dinyatakan dalam **V** dan Arus dinyatakan dalam **A** sehingga besarnya daya dinyatakan:

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \varphi \quad (2.2)$$

$$P = \text{Watt} \quad (2.3)$$

Untuk menghitung daya listrik oleh arus bolak-balik biasanya digunakan persamaan 2.2 dikarenakan pada arus bolak-balik terkadang beban bersifat reaktif yang mengakibatkan $\text{Cos } \varphi$ tidak sama dengan 1. Sedangkan untuk daya listrik pada arus searah yang melewati resistor untuk menghitung daya yang dihasilkannya dapat menggunakan persamaan (2.1) [15].

Terdapat tiga jenis daya dalam sistem tenaga listrik, yaitu:

1. Daya Aktif (P) dalam satuan Watt
2. Daya Semu (S) dalam satuan VA
3. Daya Reaktif (Q) dalam satuan VAR

Daya aktif merupakan daya yang digunakan untuk melakukan energi sebenarnya. Daya aktif dihasilkan dari perkalian antara arus dan tegangan dengan faktor daya. Berikut adalah persamaan untuk daya aktif:

$$\text{Sistem 1 fasa: } P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

$$\text{Sistem 3 fasa: } P = V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \quad (2.5)$$

Keterangan:

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

Daya reaktif merupakan jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan tersebut maka akan terbentuk *fluks* medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan sebagainya. Daya reaktif dinyatakan dalam satuan VAR. berikut adalah persamaan untuk daya reaktif:

$$\text{Sistem 1 fasa: } Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.6)$$

$$\text{Sistem 3 fasa: } Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \quad (2.7)$$

Keterangan:

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\sin \varphi$ = Faktor daya

Daya semu merupakan daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam satu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Daya semu dinyatakan dalam satuan VA. Berikut adalah persamaan untuk daya semu:

$$\text{Sistem 1 fasa: } S = V \times I \quad (2.8)$$

$$\text{Sistem 3 fasa: } S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (2.9)$$

Keterangan:

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (V)

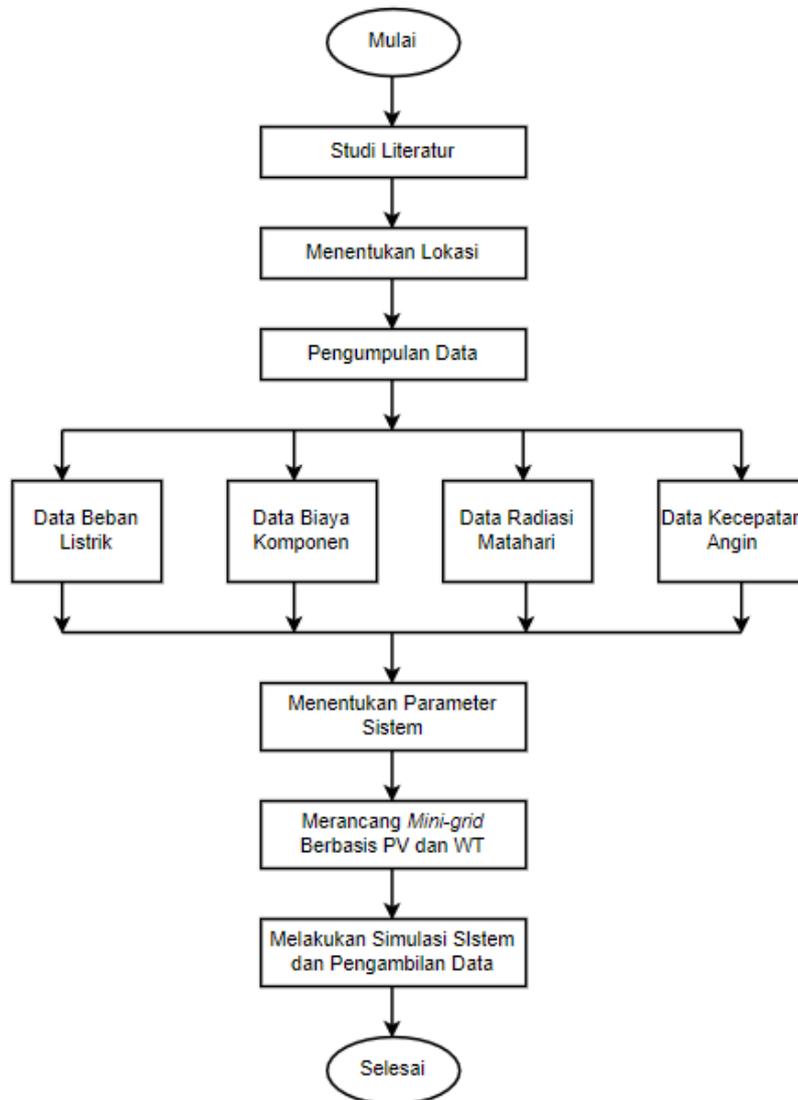
I = Arus (A)

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

Metode penelitian ini akan menggambarkan secara garis besar bagaimana penelitian ini akan dilakukan nantinya. Alur penelitian ini diwujudkan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3. 1 berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3. 1 diatas menunjukkan diagram alir penelitian di mana terdapat beberapa tahapan, diantaranya :

1. Melakukan studi literatur mengenai beberapa penelitian sebelumnya dan sejenisnya.
2. Menentukan lokasi penelitian yang cocok untuk *mini-grid* berbasis PV dan WT.

3. Melakukan pengumpulan data, data yang digunakan seperti data beban listrik di daerah pesisir, data biaya komponen, data radiasi matahari dan data kecepatan angin.
4. Menentukan parameter sistem, yaitu adalah proses perhitungan parameter komponen yang digunakan untuk melayani beban sistem.
5. Mendesain *mini-grid* yang telah didapatkan nilai parameternya pada HOMER untuk dapat dilakukan simulasi pada perangkat lunak HOMER.
6. Melakukan simulasi sistem agar bisa didapatkan data untuk analisis kinerja dari *mini-grid* yang telah dirancang.

3.2 Menentukan Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini penulis menempatkan lokasi simulasi di Pantai Samas, Bantul, Yogyakarta, dengan koordinat lokasi ($8^{\circ}0.3'S$, $110^{\circ}16.2'E$). Penulis memilih Pantai Samas sebagai tempat dilakukannya penelitian karena pada daerah ini memiliki potensi radiasi matahari dan kecepatan angin yang cukup baik. Kondisi geografis daripada Pantai Samas sendiri juga tidak terhalang oleh gunung maupun lembah yang mana akan memudahkan turbin angin mendapatkan hembusan angin yang cukup kencang. Bila dilihat pada data HOMER Pantai Samas memiliki rata-rata radiasi matahari sebesar $4.80 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ dan rata-rata kecepatan angin sebesar 4.24 m/s . Nilai tersebut sudah cukup baik untuk bisa menjalankan sebuah sistem *mini-grid* yang berbasis PV dan WT.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Beban

Data beban yang digunakan di sini merupakan data dari hasil penelitian sebelumnya yang kemudian akan diterapkan di Pantai Samas, di mana Pantai Samas memiliki kondisi geografis yang hampir sama. Data beban sendiri digunakan untuk konsumsi masyarakat yang berwirausaha di sekitar kawasan Pantai. Sebagian besar beban digunakan untuk peralatan elektronik warung kuliner, penerangan warung kuliner, penerangan kantor, lampu jalan, dan untuk menghidupkan *jet pump*. Untuk pengambilan data beban ini penulis mengambil sebanyak 50 warung kuliner, beban kantor dan lampu jalan untuk didata. Data beban yang diambil mulai dari pukul 00.00 sampai dengan 24.00 untuk mengetahui daya beban. Data yang diperoleh ini nantinya akan diproses dengan HOMER untuk mendapatkan beban rata-rata setiap harinya dan berapa besar beban puncak yang terjadi. Berikut ini adalah data hasil beban yang tercatat untuk sektor warung kuliner, kantor, dan penerangan jalan:

Tabel 3. 1 Penggunaan Beban Harian

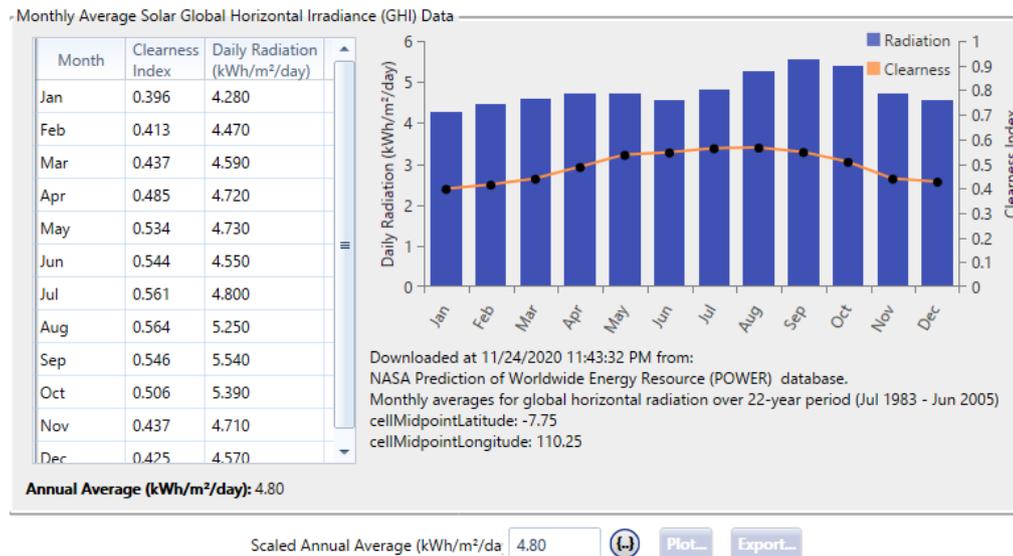
Waktu Operasi	Peralatan	Daya Beban (W)	Total Beban (W)
00.00 – 05.00	a. Lampu Kuliner 31 x 15 = 155 b. 4 Lampu kantor besar c. 7 Lampu kantor kecil d. 10 Lampu PJU kecil e. 35 Lampu PJU sedang f. 15 Lampu PJU besar	1.550 W 180 W 70 W 100 W 700 W 675 W	3275 W
05.00 – 16.00	a. <i>Jet Pump</i>	250 W	250 W
08.00 – 16.00	a. Penanak nasi 10 x 5 = 50 b. 1 Dispenser c. 1 Televisi 14’ d. 7 Kipas angin e. Blender 1 x 5 = 5 f. 10 Pendingin minuman	19.000 W 250 W 38 W 721 W 650 W 1800 W	22.459 W
17.00 – 24.00	a. Lampu Kuliner 31 x 5 = 155 b. 4 Lampu kantor besar c. 7 Lampu kantor kecil d. 10 Lampu PJU kecil e. 35 Lampu PJU sedang f. 15 Lampu PJU besar	1.550 W 180 W 70 W 100 W 700 W 675 W	3.275 W
Total Penggunaan Beban Dalam Sehari			29.259 W

Tabel 3.1 di atas menunjukkan penggunaan beban harian di kawasan Pantai Baru. Dapat dilihat bahwa penggunaan terbesar terjadi pada siang hari, hal itu dikarenakan banyaknya aktivitas pengunjung Pantai. Untuk malam hari daya yang digunakan tidak terlalu besar karena hanya digunakan sebagai penerangan saja [6].

3.3.2 Data Matahari

Data potensi matahari ini didapatkan dengan menggunakan *software* HOMER, dengan cara memasukkan koordinat Pantai Samas lalu dihubungkan ke *National Aeronautics and Space*

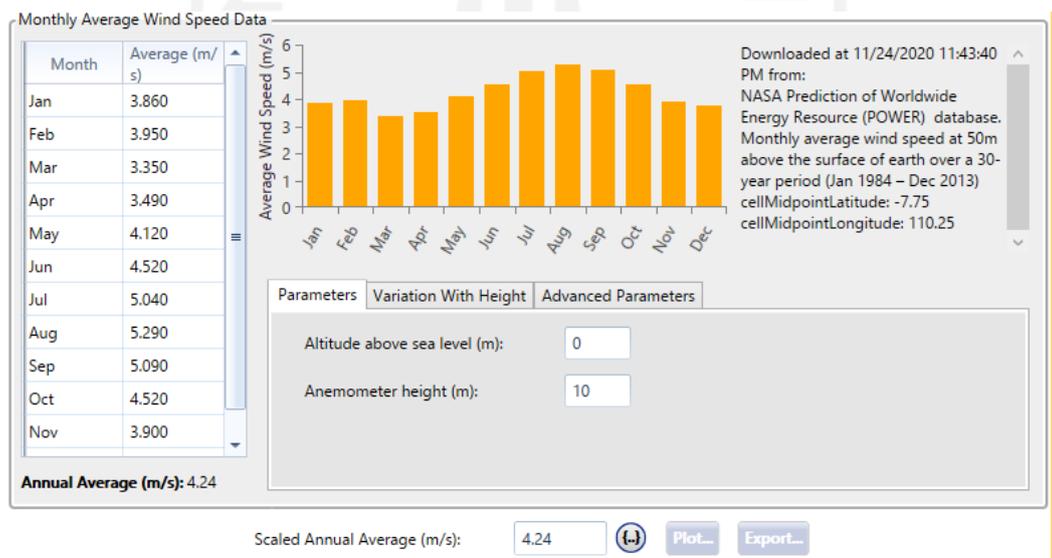
Administration (NASA) melalui internet secara online. Setelah itu maka akan muncul data radiasi matahari pada HOMER untuk rata-rata kecerahan maupun radiasi setiap harinya. Berikut adalah data untuk kecerahan dan radiasi matahari di Pantai Samas:



Gambar 3. 2 Data Kecerahan dan Radiasi di Pantai Samas.

3.3.3 Data Angin

Data kecepatan angin ini juga didapatkan dengan menggunakan software HOMER, dengan cara kita memasukkan koordinat dari Pantai Samas dan menghubungkannya ke NASA. Dengan begitu data kecepatan angin akan dapat diunduh dan ditampilkan pada software HOMER. Berikut ini adalah data untuk kecepatan angin di Pantai Samas:



Gambar 3. 3 Data Kecepatan Angin di Pantai Samas

3.3.4 Data Biaya Komponen

Untuk biaya komponen ini berpengaruh pada hasil *Net Percent Cost* (NPC) dan untuk menjalankan simulasi pada *software* HOMER. Untuk data biaya komponen sendiri penulis mengambil referensi dari harga *marketplace* seperti Tokopedia dan Amazon. Untuk jenis dan harga komponen yang digunakan ada pada rincian di bawah ini:

a. Panel Surya

Pada penelitian ini digunakan panel surya dengan tipe Canadian Solar CS6U 340M dengan daya maksimal pada satu panel adalah 340 Watt. Biaya untuk satu panel ini sebesar Rp 3.973.427 dan untuk biaya pemeliharannya sendiri sebesar Rp 79.468.

b. Turbin Angin

Untuk jenis turbin angin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin angin dengan tipe Bergey Excel 6 dengan daya maksimal yang bisa dihasilkan sebesar 6 kW. Untuk biaya satu buah turbin angin dengan tipe ini adalah Rp 700.983.250 dan untuk biaya pemeliharannya sebesar Rp 14.019.665.

c. Baterai

Jenis baterai yang digunakan pada penelitian ini menggunakan tipe *EnerSys PowerSafe SBS*. Baterai jenis ini memiliki kapasitas 5.38 kWh dengan tegangan nominal 12V 449AH. Harga satu buah baterai ini adalah sebesar Rp 6.583079 dan untuk biaya pemeliharannya sebesar Rp 131.661.

d. Converter

Untuk converter di sini menggunakan tipe *Sinexcel PWG-50* dengan kapasitas 50 kW. Untuk harga sebuah *converter* ini adalah Rp 24.597.226 dan untuk biaya pemeliharannya sebesar Rp 491.944.

3.4 Menentukan Parameter Sistem

Perancangan sistem akan menjelaskan bagaimana penulis akan mendesain *mini-grid* yang berdiri tanpa koneksi jaringan atau biasa disebut *off-grid*. Mulai dari menentukan parameter sistem PV dan WT, *Converter* dan *Battery*.

3.4.1 Perhitungan PV dan WT

Untuk sistem PV dan WT ini melayani beban sebesar 221.220 W/hari, data ini didapatkan dari hasil operasi perhitungan beban pada HOMER. Jenis PV yang digunakan di sini adalah Canadian CS6U 340M dengan daya maksimal 340 Watt. Untuk perhitungan jumlah PV di sini

penulis mengasumsikan luas tanah yang digunakan adalah $600m^2$. Dari datasheet yang ada diketahui, panjang satu buah panel CS6U 340M adalah $2m^2$. Jadi untuk 1 kWp maka diperlukan $6m^2$, maka total daya yang dapat dipasang di luas tanah $600m^2$ adalah $600m^2/6m^2= 100$ kWp. Jumlah panel yang diperlukan untuk 100 kWp adalah $100 \text{ kWp} / 340 \text{ Wp} = 294,11$ atau 295 panel surya. Untuk WT sendiri penulis menyesuaikan dengan kekurangan daya yang diperoleh dari hasil daya output PV. Untuk sistem WT sendiri menggunakan jenis Bergey Excel 6 dengan kapasitas 6 kW dengan tegangan 230 VAC dan frekuensi 50 Hz. Penulis menggunakan turbin angin jenis ini karena dengan kapasitas yang ada sudah mampu memenuhi kebutuhan beban yang belum terpenuhi dan juga frekuensi yang dihasilkan sudah sesuai dengan frekuensi jaringan yang ada yaitu 50 Hz.

3.4.2 Perhitungan *Battery*

Perhitungan baterai di sini sangat penting, karena pada sistem *mini-grid* energi yang didapatkan oleh sistem sebagian besar akan disimpan di dalam baterai. Kebutuhan baterai juga harus memperhatikan otonomi hari atau berapa lama baterai dapat menyuplai daya ketika sistem tidak mendapat sumber energi. Pada sistem ini penulis mengasumsikan untuk otonomi hari adalah 2 hari. Jadi untuk perhitungan *battery* di sini menggunakan persamaan:

$$\sum B = \frac{\text{Total Energi}}{\text{Kapasitas Baterai} \times \text{DoD}} \times \text{Autonomi Day} \quad (3.1)$$

3.4.3 Perhitungan Tegangan PV dan *Converter*

Untuk mengetahui tegangan PV maka di sini penulis mengasumsikan sistem PV dipasang secara paralel dengan jumlah tertentu dan secara seri dengan jumlah tertentu. Kemudian untuk tegangannya dapat dihitung dengan menjumlahkan tegangan pada rangkaian seri dan paralel. Setelah penulis mengetahui besar tegangan PV maka untuk menentukan kapasitas *converter* yang digunakan penulis memilih *converter* dengan kapasitas minimal diatas 25% dari total beban dan memiliki ketahanan tegangan maksimal diatas tegangan PV.

3.5 Pemodelan Sistem *Mini-grid*

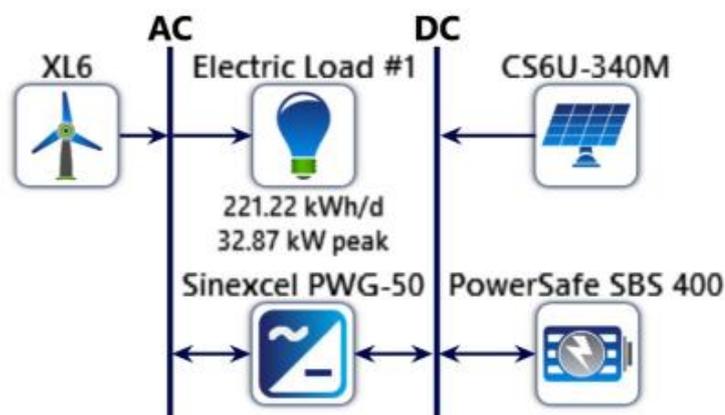
Dalam proses pemodelan sistem dan simulasi penulis menggunakan *software* HOMER untuk mensimulasikan kinerja dari sistem *mini-grid* yang telah dirancang. Pada sistem *mini-grid* ini penulis membuat *mini-grid* terhubung secara *off-grid*. Dari gambar *schematic* di bawah dapat dilihat bahwa ada dua bagian, yaitu bagian AC dan DC. Untuk sisi beban sendiri, sistem ini

melayani beban sebesar 221.220 Watt/day. Pada sisi DC terdapat panel surya dan juga baterai. Panel surya di sini sebagai sumber pembangkitan dari sisi DC yang kemudian daya dari pembangkitan tersebut disimpan di baterai. Kemudian untuk merubah daya yang tersimpan digunakan *converter*, karena beban yang digunakan di sini adalah beban AC. Untuk sisi AC sendiri terdapat satu buah komponen, yaitu turbin angin sebagai pembangkit untuk menjalankan sistem *mini-grid* ini. Pada tahap simulasi ini penulis menggunakan beberapa komponen diantaranya:

1. Beban
2. *Photovoltaic CS6U 340M*
3. *Wind Turbine Bergey Excel 6*
4. *Battery EnerSys PowerSafe SBS 400*
5. *Converter Sinexcel PWG-50*

Berikut ini adalah gambar untuk *schematic* sistem *mini-grid*:

Schematic



Gambar 3. 4 Desain *Schematic*

Untuk mendapatkan hasil desain *schematic* seperti pada gambar di atas, pertama yang perlu dilakukan adalah dengan menentukan jumlah beban total yang digunakan pada daerah atau kawasan yang akan digunakan. Setelah beban didapatkan kemudian penulis menentukan parameter pada sisi pembangkit. Untuk sisi panel surya penulis menggunakan daya sebesar 100 kWp untuk menyuplai beban, karena daya tersebut belum memenuhi permintaan beban kemudian ditambahkan turbin angin sebagai tambahan daya pembangkitan. Turbin angin yang digunakan di sini memiliki kapasitas 6 kW. Untuk mendapatkan hasil tersebut penulis melakukan kombinasi antara jumlah daya panel surya dan turbin angin, kemudian dilakukan perbandingan dengan jumlah beban yang diampu. Untuk baterai sendiri penulis memilih baterai dengan rating 12V 449AH dikarenakan jaringan bus yang dilalui oleh baterai berkisar antara 500 VDC sampai 720

VDC. Apabila rating yang digunakan lebih rendah lagi maka akan mempengaruhi jumlah baterai dan *capacity shortage*. Pada sisi *converter* penulis menggunakan *converter* dengan kapasitas 50 kW untuk mencegah terjadinya *capacity shortage* yang diakibatkan karena pada saat proses konversi dari DC ke AC tidak maksimal.

3.5.1 Rating Komponen

a. Beban



Gambar 3. 5 Tampilan Pengaturan Beban

Pada bagian ini data beban yang telah diperoleh akan diolah oleh HOMER yang kemudian akan didapatkan hasil penggunaan beban harian hingga tahunan. Pada Gambar 3. 5 dapat dilihat sistem ini memiliki beban rata-rata 221.220 kWh/hari dengan konsumsi rata-rata sebesar 9.22 kW. Untuk beban puncaknya sendiri adalah sebesar 32.87 kW.

b. Modul Surya

PV  Name: CanadianSolar MaxPower (Abbreviation: CS6U-3 Remove Copy To Library

Properties
 Name: CanadianSolar MaxPower
 Abbreviation: CS6U-340M
 Panel Type: Flat plate
 Rated Capacity (kW): 100
 Temperature Coefficient: -0.41
 Operating Temperature (°C): 45.00
 Efficiency (%): 17.49
 Manufacturer: Canadian Solar
[Data Sheet for CS6U-340M](#)
 Notes:
 72 Mono-crystalline cells.

Cost

Capacity (kW)	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/year)
1	3,973,427.00	3,973,427.00	79,468.00

Lifetime time (years): 25.00 More...

Site Specific Input
 Derating Factor (%): 88.00

Sizing
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 kW
 0
 100

Electrical Bus
 AC DC

Gambar 3. 6 Desain Modul Surya

Pada tampilan desain panel surya di Gambar 3. 6 dapat dilihat sistem *mini-grid* ini menggunakan 295 panel surya dengan kapasitas pembangkitan sebesar 100 kWp. Untuk tipe dari panel surya ini sendiri menggunakan jenis CS6U 340M dengan daya nominal 340 Wp. Untuk harga satu panel sendiri adalah Rp3.973.427 dan untuk biaya pemeliharaannya sebesar Rp79.468. biaya pemeliharaan sendiri merupakan biaya operasional dan pemeliharaan modul surya, diperhitungkan dari besarnya adalah 2% dari nilai awal investasi [16].

c. Turbin Angin

WIND TURBINE  Name: Bergey Excel 6 Abbreviation: XL6 Remove Copy To Library

Properties
 Name: Bergey Excel 6
 Abbreviation: XL6
 Rated Capacity (kW): 6
 Manufacturer: Bergey Windpower

Costs

Quantity	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/year)
1	Rp700,98	Rp700,983,250.59	Rp14,019

Click here to add new item

Multiplier: Multiplier icons

Site Specific Input
 Lifetime (years): 20.00 Hub Height (m): 30.00
 Consider ambient temperature effects?

Quantity Optimization
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Advanced

Electrical Bus
 AC DC

Gambar 3. 7 Tampilan Desain Turbin Angin

Turbin Angin yang digunakan pada sistem *mini-grid* ini menggunakan tipe Bergey Excel 6 dengan kapasitas 6 kW. Untuk desain turbin angin ini sistem hanya memerlukan 1 buah turbin angin untuk memenuhi kebutuhan beban. Dari sisi harga, satu buah turbin angin ini bernilai

Rp700.983.250,59 dengan biaya pemeliharaan Rp14,019,665.01. Biaya pemeliharaan sendiri diperhitungkan dari 2% nilai investasi awal [16].

d. Baterai

STORAGE Remove

Name: EnerSys PowerSafe SBS 40i Abbreviation: PowerS Copy To Library

Properties

Kinetic Battery Model

Nominal Voltage (V): 12
 Nominal Capacity (kWh): 5.38
 Maximum Capacity (Ah): 449
 Capacity Ratio: 0.165
 Rate Constant (1/hr): 4.36
 Roundtrip efficiency (%): 97
 Maximum Charge Current (A): 400
 Maximum Discharge Current (A): 720
 Maximum Charge Rate (A/Ah): 1

www.enersys.com

PowerSafe SBS EON Technology retain the benefits typically associated with EnerSys' Thin Plate Pure Lead Technology (long life, high energy density, superior shelf life, etc.), they also deliver exceptional cyclin

EnerSys
www.enersys.com
 Mark Coughlin
mark.coughlin@uk.enersys.com
 +44 (0) 1633 59032 Connect with Vendor

Cost

Quantity	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/year)
1	6,583,079.92	6,583,079.92	131,661.60

Lifetime More...

throughput (kWh): 5,746.30 (-)
 time (years): 15.00 (-)

Sizing

HOMER Optimizer™
 Search Space
 Advanced

Site Specific Input

String Size: 48 Voltage: 576 V

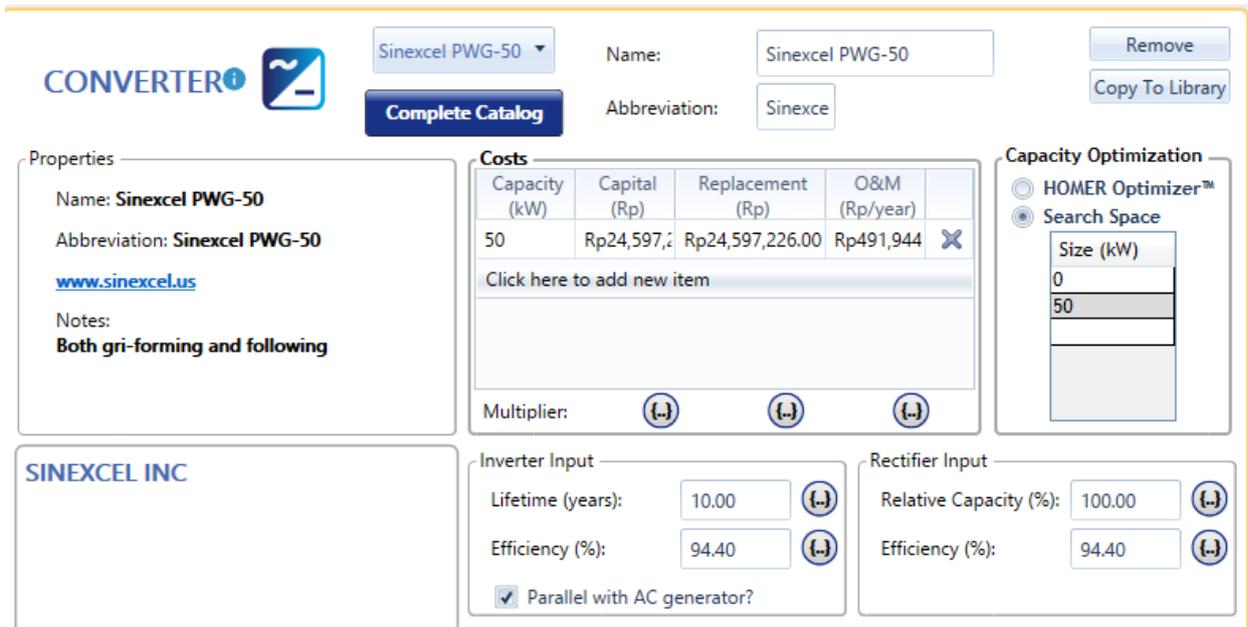
Initial State of Charge (%): 100.00 (-)
 Minimum State of Charge (%): 30.00 (-)

Minimum storage life (yrs): 5.00 (-) Maintenance Schedule...

Gambar 3. 8 Tampilan Desain Baterai

Pada sistem *mini-grid* ini menggunakan baterai dengan tipe *EnerSys PowerSafe SBS 400*. Baterai ini memiliki kapasitas nominal 5.38 kWh dengan tegangan nominal 12V 449AH. Untuk jumlah baterai yang digunakan penulis di sini adalah 164 baterai, sesuai dengan perhitungan sebelumnya. Namun pada saat diolah oleh HOMER penggunaan baterai dapat dikurangi menjadi 144 buah baterai. Untuk harga satu buah baterai ini adalah sebesar RP6.583079,92 dan untuk biaya pemeliharannya sebesar Rp131.661,59. Biaya pemeliharaan ini diperhitungkan sebesar 2% dari biaya investasi awal [16].

e. Converter



Gambar 3. 9 Tampilan Desain Converter

Pada sistem *mini-grid* ini menggunakan tipe *converter Sinexcel PWG-50* dengan kapasitas 50 kW. Converter ini digunakan untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya menjadi listrik AC yang akan digunakan oleh beban. Untuk harga sebuah *converter* ini adalah Rp24.597.226 dan untuk biaya pemeliharaannya sebesar Rp491.944. Biaya pemeliharaan ini diperhitungkan sebesar 2% dari nilai investasi awal [16].

3.6 Cara Analisis

Analisis akan dilakukan dengan cara membandingkan hasil *output* sistem *mini-grid* dengan beban yang ada, apakah sistem dapat memenuhi kebutuhan beban atau tidak dan juga akan dilihat dari segi ekonomi. Kemudian juga akan membandingkan bagaimana kondisi saat *weekday* dan *weekend* apakah ketika ada kenaikan beban sistem tetap akan mampu memenuhi kebutuhan yang ada. Di samping itu juga akan dianalisis bagaimana karakteristik dari sistem ini dengan cara membandingkan arus dan tegangan yang tercatat pada hasil simulasi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

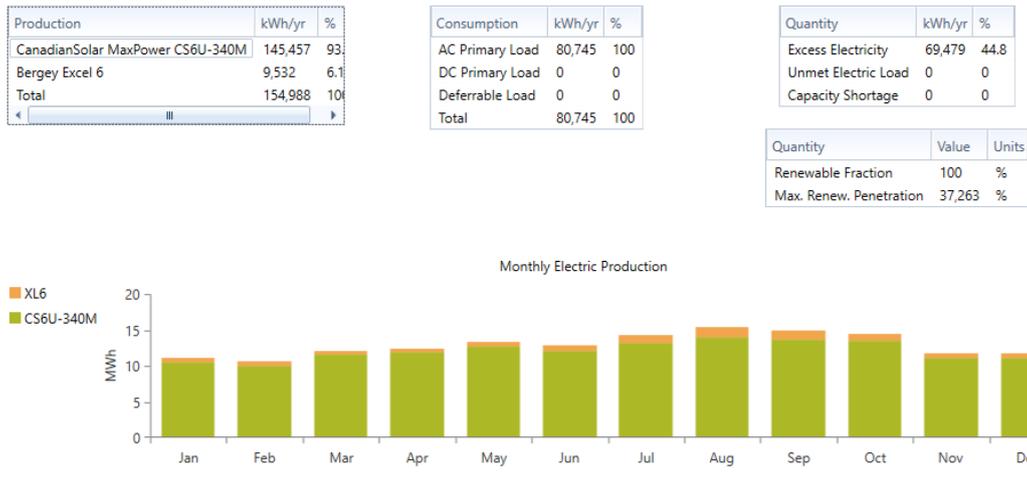
4.1 Analisis Hasil Kinerja Sistem *Mini-grid*

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi dengan *software* HOMER, sistem *mini-grid* dengan sumber dari PV dan WT yang terhubung secara *off-grid* dengan kapasitas pembangkitan PV sebesar 100 kW dan WT sebesar 6 kW. Hasil simulasi untuk sektor kelistrikannya dapat dilihat pada Tabel 4. 1 sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Produksi dan Konsumsi Daya Sistem *Mini-grid*

<i>Excess and Unmet</i>		
<i>Quantity</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Excess Electricity</i>	69.479	kWh/yr
<i>Unmet electric Load</i>	0	kWh/yr
<i>Capacity Shortage</i>	0	kWh/yr
<i>Production Summary</i>		
<i>Component</i>	<i>Production (kWh/yr)</i>	<i>Percent</i>
Canadian Solar CS6U-340M	145.457	93.9
Bergey Excel 6	9.532	6.15
<i>Total</i>	154.988	100
<i>Consumption Summary</i>		
<i>Component</i>	<i>Consumption (kWh/yr)</i>	<i>Percent</i>
<i>AC Primary Load</i>	80.745	100
<i>DC Primary Load</i>	0	0
<i>Deferrable Load</i>	0	0
<i>Total</i>	80.745	100

Dari Tabel 4. 1 diatas dapat dilihat bahwa hasil dari sistem *mini-grid* ini menghasilkan energi listrik sebesar 154.998 kWh pertahun. Produksi tersebut bersumber dari PV sebesar 145.457 kWh pertahun atau sebesar 93,9% dan kontribusi dari WT sebesar 9,532 kWh pertahun atau sebesar 6.15%, dengan total konsumsi keseluruhan beban sebesar 80.745 kWh pertahun. Untuk data hasil rata-rata produksi listrik setiap bulannya dapat dilihat pada Gambar 4. 1 dibawah ini:



Gambar 4. 1 Kurva Hasil Produksi Sistem *Mini-grid*

Dari Gambar 4. 1 di atas dapat diketahui bahwa kontribusi produksi listrik terbesar berasal dari PV untuk setiap bulannya, hal ini dipengaruhi oleh kapasitas pembangkitan yang telah didesain pada saat pemodelan sistem. Untuk lebih rinci parameter keluaran PV dan WT dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 2 *Electrical Summary CS6U 340-M*

No.	Quantity	Value	Units	No.	Quantity	Value	Units
1.	Minimum Output	0	kW	6.	Rated Capacity	100	kW
2.	Maximum Output	91.2	kW	7.	Mean Output	16.6	kW
3.	PV Penetration	180	%	8.	Mean Output	399	kWh/d
4.	Hours of Operation	4.403	Hrs/yr	9.	Capacity Factor	16.6	%
5.	Levelized Cost	227	Rp/kWh	10.	Total Production	145.457	kWh/yr

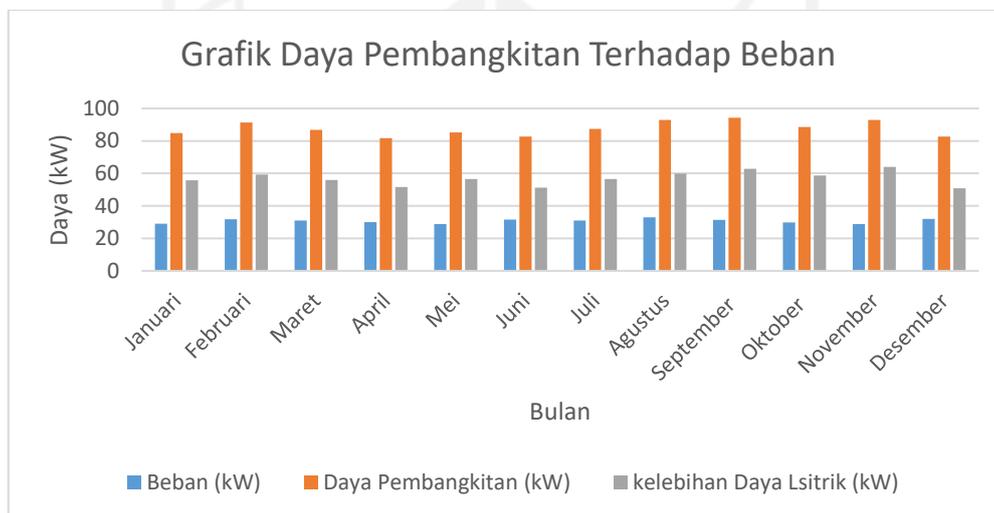
Tabel 4. 3 *Electrical Summary Bergey Excel 6*

No.	Quantity	Value	Units	No.	Quantity	Value	Units
1.	Minimum Output	0	kW	6.	Rated Capacity	6.00	kW
2.	Maximum Output	6.66	kW	7.	Mean Output	1.09	kW
3.	Wind Penetration	11.8	%	8.	Capacity Factor	16.6	%
4.	Hours of Operation	7.745	Hrs/yr	9.	Total Production	9.532	kWh/yr
5.	Levelized Cost	6.643	Rp/kWh				

Dari Tabel 4. 2 dan Tabel 4. 3 dapat dilihat parameter keluaran dari sistem *mini-grid* di Pantai Samas. Tabel di atas didapatkan melalui hasil operasi pada *software* HOMER. Pada sistem PV dan WT saat beroperasi tidak dapat stabil dalam setiap waktunya, hal ini dikarenakan PV dan WT sangat bergantung pada kondisi cuaca di Pantai Samas. Untuk pembangkit listrik tenaga surya

sendiri dapat disinari oleh matahari hampir sepanjang hari, mulai dari pukul 07.00 sampai dengan 17.00. Namun untuk mendapatkan daya maksimal PV, biasanya hanya mendapatkan daya maksimal pada saat siang hari atau biasanya terhitung 3 sampai 4 jam. Hal ini ditunjukkan dengan besaran daya keluaran yang dihasilkan oleh PV sebesar 145.457 kWh/yr dengan keluaran maksimal sebesar 91.2 kW. Untuk pembangkit listrik tenaga angin sendiri dapat menghasilkan listrik pada jam-jam tertentu hal itu dikarenakan WT sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin pada hari tersebut. Untuk efisiensi bila dibandingkan dengan PV, WT lebih efisien. Dilihat dari kapasitas maksimum keduanya bila dibandingkan. WT menghasilkan daya yang lebih besar namun untuk biaya investasi WT cenderung lebih mahal. Total produksi WT adalah sebesar 9.532 kWh/yr dan daya maksimal yang dihasilkan sebesar 6.66 kW.

Di samping itu pada Tabel 4. 1 diketahui adanya kelebihan energi listrik yang tidak termanfaatkan sebesar 69,479 kWh pertahun. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4. 2 di bawah ini :



Gambar 4. 2 Kurva Daya Pembangkitan Terhadap Beban

Dari hasil Gambar 4. 1 di atas menunjukkan bahwa kelebihan daya listrik ini terjadi pada setiap bulan. Besarnya kelebihan energi listrik ini dipengaruhi oleh permintaan jumlah beban yang lebih kecil dibandingkan daya pembangkitan dan juga sistem yang digunakan, pada kasus ini adalah sistem *off-grid*. Kelebihan energi listrik ini dapat dikurangi dengan penambahan jumlah komponen baterai untuk menampung daya yang berlebih tersebut, namun dari segi biaya tentu akan sangat berpengaruh dan konfigurasi sistem juga akan berubah. Jika kondisi ini dibiarkan maka daya akan terbuang dengan percuma. Adanya kelebihan energi listrik ini juga menandakan bahwa kinerja dari sistem *mini-grid* ini sudah mampu melayani kebutuhan energi listrik yang ada pada Pantai Samas. Namun apabila dilihat dari sisi pembangkitan hal ini merupakan sebuah kerugian. Maka dari itu perlu upaya peningkatan kinerja pada sistem *mini-grid* ini. Kinerja sistem

mini-grid ini sangat bergantung pada kondisi cuaca, di mana sumber utama dari pembangkitan ini adalah energi angin dan matahari. Ketidakpastian sumber energi ini mengakibatkan ketidakseimbangan antara beban dan jumlah produksi energi listrik. Hal ini tentu juga akan berdampak pada komponen yang ada pada sistem pembangkit. Untuk menjamin keamanan komponen tersebut maka perlu adanya peralatan proteksi sebagai komponen pendukung.

4.2 Analisis Kinerja PV dan WT Berdasarkan Arus dan Tegangan

Pada tugas akhir ini digunakan panel surya dengan tipe Canadian Solar CS6U 340-M dan turbin angin dengan tipe Bergey Excel 6. Untuk spesifikasi lebih jelasnya dan untuk *datasheet* akan terlampir pada bagian lampiran. Untuk singkatnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 4 Data Spesifikasi Turbin Angin dan Panel Surya

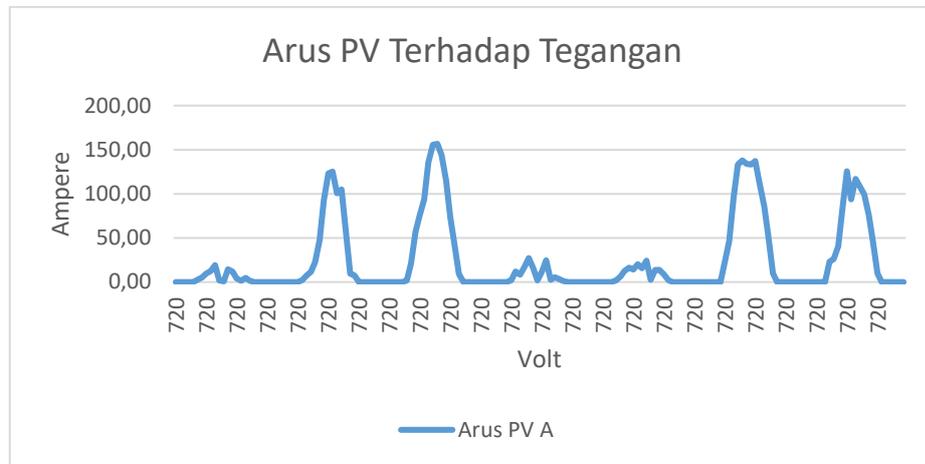
<i>Electric Data</i>		<i>Electric Data</i>	
<i>Type</i>	Bergey Excel 6	<i>Type</i>	Canadian CS6U 340M
<i>Rated Power</i>	5.5 kW	<i>Max. Power</i>	340 W
<i>Furling Wind Speed</i>	31 – 45 mph (14 – 20 m/s)	<i>Op. Voltage</i>	37.9
<i>Cut-in Wind Speed</i>	5.6 mph (22.5 m/s)	<i>Op. Current</i>	8.97 A
<i>Rotor Diameter</i>	6.2	<i>Voc</i>	46.2 V
<i>Number of Blades</i>	3	<i>Isc</i>	9.48 A
<i>Rotor Speed</i>	0 – 400 RPM	<i>Module Efficiency</i>	17.49 %
<i>Generator</i>	Neo Permanent Magnet	<i>Op. Temp</i>	-40°C ~ + 85°C
<i>Magnets</i>	Neodymium	<i>Max. system Voltage</i>	1000 V
<i>Voltage</i>	230 VAC 50 Hz	<i>Max. Fuse rating</i>	15 A
<i>Net Weight</i>	350 Kg	<i>Power Tolerance</i>	0 ~ +5 W

Pada hasil simulasi HOMER data yang didapatkan hanya berupa besaran daya atau energi yang dihasilkan. Maka dari itu penulis membuat perhitungan arus dan tegangan dengan persamaan sebagai berikut:

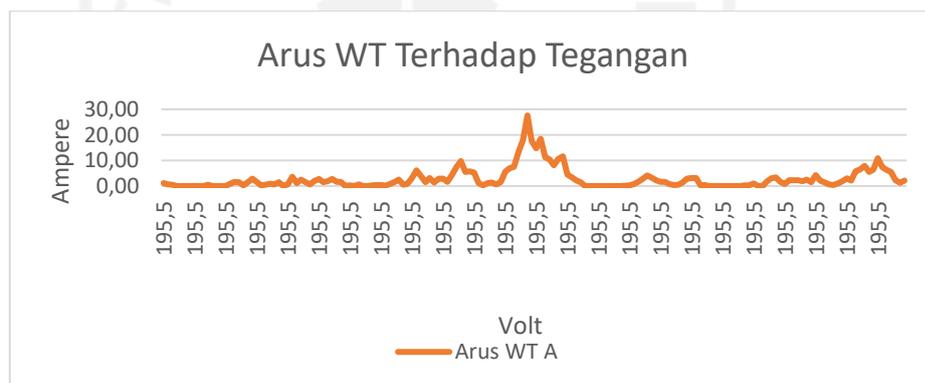
$$P = Volt \times Ampere \times Cos \varphi \quad (4.1)$$

Untuk mendapatkan nilai tertentu tegangan dan arus pada PV, penulis mengasumsikan PV terpasang secara seri dan paralel. Dengan konfigurasi 18 panel terpasang seri dan 277 panel terpasang paralel. Dari asumsi tersebut maka didapatkan hasil tegangan sebesar 720 VDC untuk sistem PV. Untuk bagian WT sendiri menggunakan tegangan AC dengan besaran nilai 230 VAC 50 Hz. Pada penelitian ini penulis juga mengasumsikan nilai $Cos \varphi$ adalah 0.85 karena beban yang digunakan di sini adalah beban *residential* atau beban rumah tangga. Berdasarkan data yang sudah

ada maka didapatkan kurva karakteristik PV dan WT berdasarkan arus dan tegangannya. Berikut ini adalah hasil kurva karakteristiknya:



Gambar 4. 3 Kurva Arus PV Terhadap Tegangan

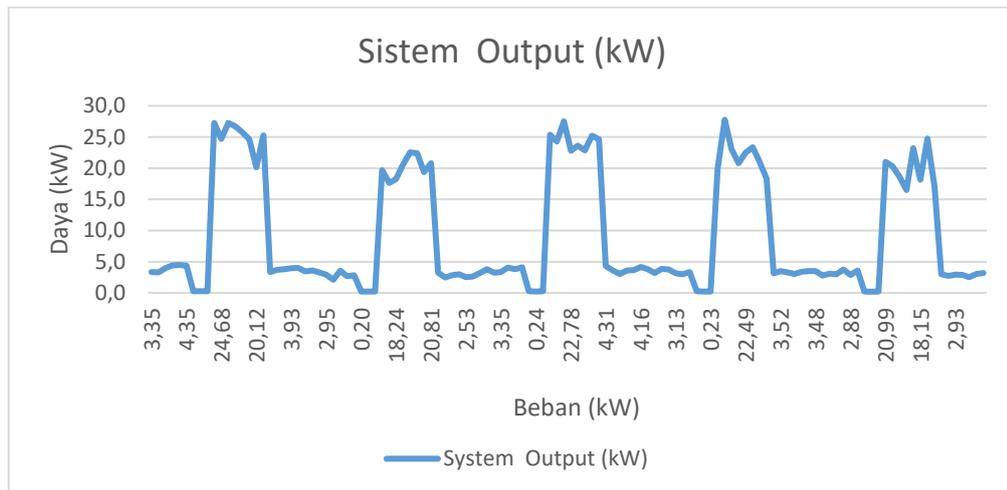


Gambar 4. 4 Kurva Arus WT Terhadap Tegangan

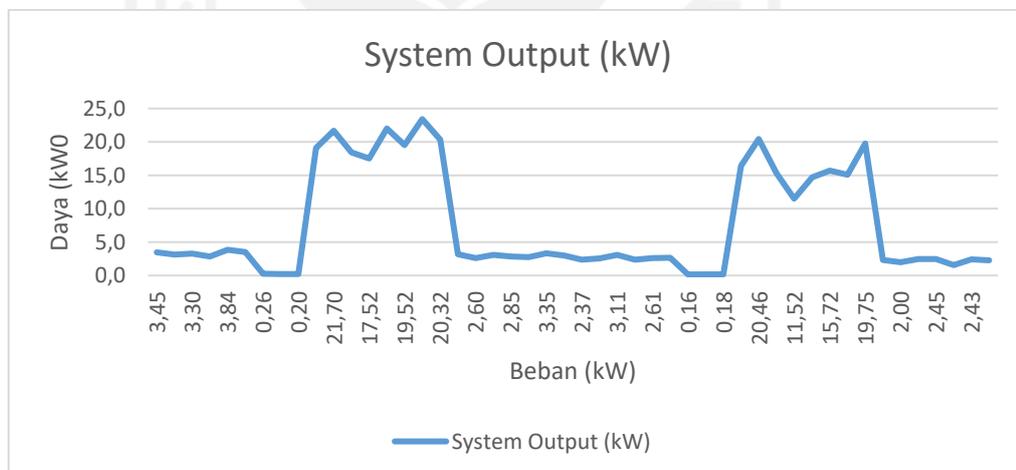
Pada Gambar 4. 3 dan Gambar 4. 4 menunjukkan kurva arus terhadap tegangan pada sistem PV dan WT selama satu minggu. Dari kedua kurva yang ada tegangan tidak terlalu mempengaruhi nilai arus dari kedua sistem. Arus dari PV sendiri dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari, maka dari itu jika dilihat pada kurva ada saat di mana arus bernilai 0 pada saat tertentu. Pada kondisi itulah radiasi matahari sangat kecil atau PV sudah tidak mendapat energi dari matahari. Sedangkan pada sistem WT juga hampir serupa, di mana tegangan tidak terlalu berpengaruh besar pada perubahan arus. Arus pada WT ini dipengaruhi oleh besarnya kecepatan angin pada saat tertentu. Pada Gambar 4. 4 juga terlihat bentuk kurva arus relatif lebih beragam dibandingkan dengan PV. Hal ini dikarenakan hembusan angin di daerah Pantai Samas mendukung untuk turbin angin. Dengan begitu dapat dikatakan untuk di daerah Pantai Samas lebih efisien menggunakan turbin angin.

4.3 Perbandingan Kurva Sistem *Mini-grid*

Pada bagian ini penulis akan membandingkan kurva sistem *mini-grid* pada saat *weekday* dan *weekend*. Dari perbandingan ini akan diketahui apakah perubahan beban akan mempengaruhi kinerja daripada sistem *mini-grid* atau tidak. Untuk lebih jelasnya berikut adalah kurva perbandingan sistem saat *weekday* dan *weekend*:



Gambar 4. 5 Kurva Daya Terhadap Beban Saat *Weekday*



Gambar 4. 6 Kurva Daya Terhadap Beban Saat *Weekend*

Pada Gambar 4. 5 dan Gambar 4. 6 menunjukkan kurva daya terhadap beban dalam satu minggu, kedua kurva tersebut membandingkan bagaimana kondisi saat *weekday* dan *weekend*. Data dari hasil kurva diatas didapatkan data hasil keluaran sistem *mini-grid* dan juga data beban dari hasil pengolahan pada *software* HOMER. Dari hasil kedua kurva yang ada sistem mampu melayani beban yang ada di Pantai Samas, baik itu saat *weekend* maupun *weekday*. Dari kedua gambar di atas juga dapat diketahui bahwa pada saat *weekday* jumlah pembangkitan daya di Pantai Samas lebih tinggi dibandingkan dengan saat *weekend*. Pada saat *weekend* beban cenderung lebih

stabil dibandingkan dengan saat *weekday*, hal ini dikarenakan permintaan jumlah beban yang cukup tinggi pada saat *weekday*. Jadi, jumlah beban yang ada juga akan mempengaruhi kinerja sistem *mini-grid* ini.

4.4 Analisis Hasil Kinerja Ekonomi

Dari hasil simulasi pada perangkat lunak HOMER didapatkan hasil kinerja ekonomi daripada sistem yang telah dibuat. Tabel 4. 5 di bawah ini menunjukkan hasil simulasi dari segi ekonomi, yaitu *Net Present Cost* (NPC), *Total Annualized Cost* (TAC), *Cost of Energy* (Coe), *cost capital*, *cost operation & maintenance*, *cost replacement*, dan *cost salvage*.

Tabel 4. 5 Hasil Optimasi HOMER: *Net Percent Cost*

Komponen	Cost (Rp)				
	Capital	O&M	Replacement	Salvage	Total
Bergey Excel 6	Rp700.983.250,59	Rp199.335.893.87	Rp0.00	Rp0.00	Rp900.319.144,46
Canadian Solar CS6U 340P	Rp397.342.700,00	Rp112.990.037,93	Rp0.00	-Rp39.973608,89	Rp470.359.129,04
PowerSafe SBS 400	Rp947.963.508.48	Rp269.569.713,89	Rp566.206.972,52	-Rp317.891.185.00	Rp1.465.848.009, 89
Sinexcel PWG 50	Rp24.597.226,00	Rp6.994.617,96	17.445.169,51	Rp0.00	Rp49.037.013,47
System 07	Rp2.070.886.685, 07	Rp588.889.263,65	Rp583.652.142,03	-Rp357.864.793,89	Rp2.885.563.296, 86
Total Annualized Cost (TAC)					Rp202.947.045,84
Cost of Energy (CoE)					Rp2.513,42/kWh

Pada Tabel 4. 5 di atas diketahui nilai NPC yang didapatkan sebesar Rp2.885.563.296,86 nilai ini merupakan biaya bersih selama 20 tahun sistem *mini-grid* ini beroperasi, nilai tersebut meliputi biaya modal awal dan biaya pemeliharaan. Nilai NPC ini bisa diperkecil apabila sistem yang digunakan adalah sistem *on-grid* di mana sistem bisa menjual kelebihan daya listrik yang ada pada penyedia layanan energi listrik. Untuk biaya tahunan sistem ini memerlukan biaya sebesar Rp202.947.045,84 dan untuk nilai CoE bernilai Rp2.513,42/kWh. Nilai CoE ini masih terbilang mahal jika dibandingkan dengan harga energi listrik dari jaringan (PLN) yaitu sebesar Rp 1.352/kWh. Untuk nilai NPC, TAC dan CoE ini juga dapat dipengaruhi oleh nilai inflasi, biaya operasi, biaya modal awal dan juga biaya pemeliharaan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis kinerja *mini grid* berbasis PV dan WT di Pantai Samas dengan simulasi HOMER, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Sistem *mini-grid* yang telah dirancang layak dan mampu memenuhi kebutuhan listrik di kawasan Pantai Samas dengan total pembangkitan dari sistem pembangkit sebesar 154.998 kWh pertahun dengan kontribusi dari PV sebesar 145.457 kWh pertahun dan WT sebesar 9.532 kWh pertahun dan kelebihan daya sebesar 69.479 kWh pertahun.
2. Berdasarkan metode simulasi HOMER, sistem *mini-grid* yang dirancang secara *off-grid* layak dan dapat diterapkan di kawasan Pantai Samas. Akan tetapi efisiensinya masih rendah karena kelebihan daya yang ada terbuang percuma dan tidak dapat dijual ke jaringan (PLN).
3. Sistem *mini-grid* yang telah dibuat sangat bergantung pada lokasi, dalam hal ini adalah daerah terbuka dan daerah yang memiliki pancaran radiasi tinggi agar sistem mendapatkan sumber pembangkitan yang maksimal dari radiasi matahari dan angin untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada.

5.2 Saran

Untuk penelitian yang akan datang, sebaiknya perancangan dilakukan dengan sistem *on-grid*, karena sistem *on-grid* lebih efisien dibandingkan dengan sistem *off-grid*. Di samping itu untuk pengambilan data lebih baik dilakukan secara *realtime* untuk mengetahui dengan jelas beban pada lokasi yang akan digunakan sebagai tempat penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

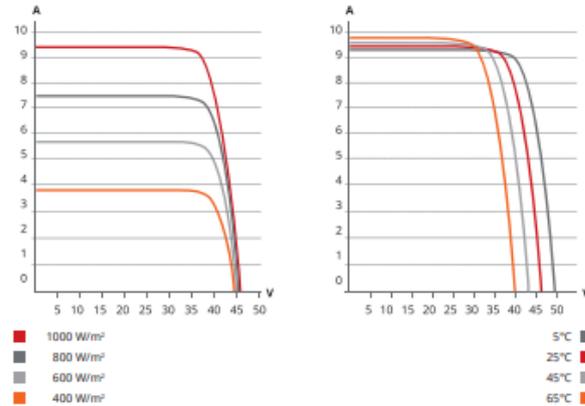
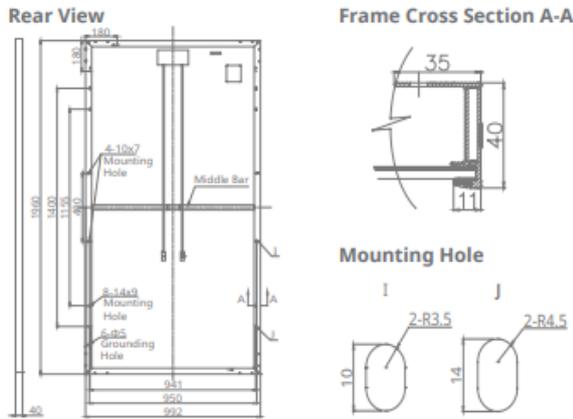
- [1] V. B. Kusnandar and databoks, “Jumlah Penduduk Indonesia Diproyeksikan Mencapai 270 Juta pada 2020,” *www.databoks.katadata.co.id*, 2015. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/09/13/jumlah-penduduk-indonesia-diproyeksikan-mencapai-270-juta-pada-2020>.
- [2] Badan Pusat Statistik Indonesia, “Banyaknya Desa /Kelurahan Menurut Keberadaan Keluarga Pengguna Listrik dan Sumber Penerangan Jalan Utama Desa, 2014 & 2018,” *www.bps.go.id*, 2017. <https://www.bps.go.id/statistictable/2015/02/09/1759/banyaknya-desa-kelurahan-menurut-keberadaan-keluarga-pengguna-listrik-dan-sumber-penerangan-jalan-utama-desa-2014-2018-.html>.
- [3] EU Energy Initiative Partnership Dialogue Facility, “Mini-grid Policy Toolkit,” *EU Energy Initiative Partnership Dialogue Facility (EUEI PDF)*, 2014. <http://www.minigridpolicytoolkit.euei-pdf.org/policy-toolkit>.
- [4] H. A. S and I. Dinahkandy, “Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Berbasis Sel Fotovoltaik Untuk Mengatasi Kebutuhan Listrik Rumah Sederhana di Daerah Terpencil,” no. January, 2019.
- [5] T. Dartanto, “BBM, Kebijakan Energi, Subsidi, dan Kemiskinan indonesia,” *Inovasi*, vol. 5/XVII, pp. 61–64, 2005.
- [6] H. Yuliana, “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Kincir Angin dan Sel Surya Untuk Kebutuhan Listrik Masyarakat Pantai Baru, Bantul D.I. Yogyakarta,” 2017.
- [7] C. Dondariya *et al.*, “Performance Simulation of Grid-Connected Rooftop Solar PV System For Small Households: A Case Study of Ujjain, India,” *Energy Reports*, vol. 4, pp. 546–553, 2018, doi: 10.1016/j.egyr.2018.08.002.
- [8] Riyanto *et al.*, “The Performance of Shrouded Wind Turbine at Low Wind Speed Condition,” *Energy Procedia*, vol. 158, no. Agustus, pp. 260–265, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.086.
- [9] P. Kurnia M, M. Ali, and I. Katherin, “Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya,” *J. Tek. POMITS*, vol. 2, no. 1, pp. 135–140, 2013.
- [10] Canadian Solar, “Canadian Solar Datasheet - MaxPower CS6U-M-v5.531 NA,” pp. 1–2, 2017.
- [11] S. T. Andri Rezeki, “Mengenal Teknologi Wind Turbine Saat Ini,” *www.offshoreindonesia.com*, 2020. <http://www.offshoreindonesia.com/read/351/Mengenal-Teknologi-Wind-Turbine-Saat-Ini>.
- [12] T. W. Choice and M. Alternator, “Bergey Excel 6,” pp. 6–7, 2013, [Online]. Available: http://bergey.com/documents/2013/10/excel-6-spec-sheet_2013.pdf.
- [13] S. C. Bhattacharyya, “Mini-grids For The Base of The Pyramid Market: A Critical Review,” *Energies*, vol. 11, no. 4, 2018, doi: 10.3390/en11040813.
- [14] Kunaifi, “Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau,” *Semin. Nas. Inform. 2010 (semnasIF 2010) UPN "Veteran" Yogyakarta, 22 Mei 2010*, vol. 2010, no. semnasIF, pp. 18–27, 2010.

- [15] A. Belly, H. Asep Dadan, C. Agusman, and B. Lukman, “Makalah Daya aktif, reaktif & nyata,” *Univ. Indones.*, p. 34, 2010.
- [16] R. S.G. and C. Rangkuti, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti,” pp. 1–11, 1974.



LAMPIRAN

1. Datasheet Canadian Solar CS6U 340-M



ELECTRICAL DATA / STC*

CS6U	330M	335M	340M	345M
Nominal Max. Power (Pmax)	330 W	335 W	340 W	345 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.5 V	37.8 V	37.9 V	38.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.80 A	8.87 A	8.97 A	9.06 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.9 V	46.1 V	46.2 V	46.4 V
Short Circuit Current (Isc)	9.31 A	9.41 A	9.48 A	9.56 A
Module Efficiency	16.97%	17.23%	17.49%	17.74%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C

ELECTRICAL DATA / NOCT*

CS6U	330M	335M	340M	345M
Nominal Max. Power (Pmax)	238 W	242 W	245 W	249 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.2 V	34.5 V	34.6 V	34.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.96 A	7.01 A	7.10 A	7.17 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.1 V	42.3 V	42.4 V	42.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.62 A	7.67 A	7.74 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % from irradiances, between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 x 12)
Dimensions	1960 x 992 x 40 mm (77.2 x 39.1 x 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 (IEC/UL)
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temp. Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temp. Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temp. Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PARTNER SECTION

2. Datasheet Bergey Excel 6

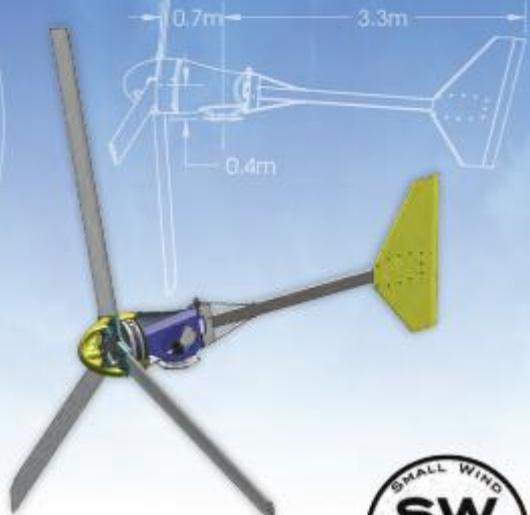
BERGEY 6.16m EXCEL 6

Performance

- AWEA RATED POWER: 5.5 kW @ 24.6 mph (11 m/s)
- PEAK POWER: 6.2 kW
- AWEA ANNUAL ENERGY: 9,920 kWh @ 11 mph (5m/s) Average
- CUT-IN WIND SPEED: 5.6 mph (2.5 m/s)
- CUT-OUT WIND SPEED: None
- FURLING WIND SPEED: 31–45 mph (14–20 m/s)
- MAX DESIGN WIND SPEED: 134 mph (60 m/s)
- NOMINAL ROTOR SPEED: 0–400 rpm

Mechanical

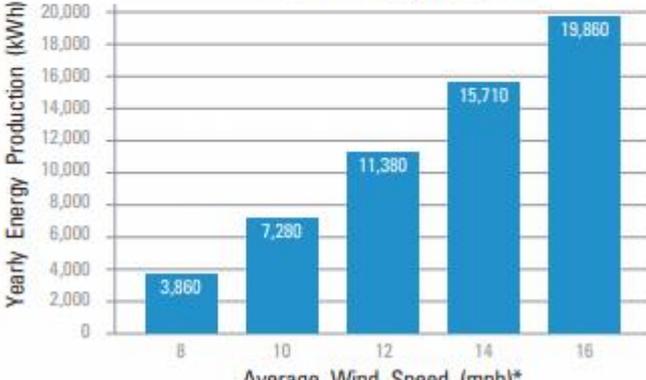
- TYPE: 3-Blade Upwind, Horizontal Axis
- ROTOR DIAMETER: 20.2 ft. (6.2 m)
- WEIGHT: 772 lb. (350 kg)
- GEARBOX: None
- OVER SPEED PROTECTION: Autofurl®
- TEMPERATURE RANGE: -40/140° F (-40/60° C)
- TOWERS: Guyed and Non-guyed 80–160 ft. (24–49 m)
- ALTERNATOR: 3Ø Neo Permanent Magnet
- INVERTER: 6 kW Powersync II (Outdoor Rated NEMA 3R Enclosure) or 6 kW Power-One
- Remote Monitoring Via Internet and Smartphones (Optional)





CERTIFIED
SMALL WIND TURBINE
SWCC-10-12

Annual Energy Output



Average Wind Speed (mph)*	Yearly Energy Production (kWh)
8	3,860
10	7,280
12	11,380
14	15,710
16	19,860

Multiple Inverter Options



3. Datasheet Sinexcel PWG 50

4 Technical Data

Technical parameters

Model	PWG2-50K-NA	PWG2-100K-NA	PWG2-50K-EX PWG2-50K	PWG2-100K-EX PWG2-100K
Utility grid-interactive Mode				
Battery voltage range	400V(250~520V)		400V(250~520V)	
Batter DC Max Current	150A	300A	150A	300A
PV Voltage Range	520~900V (MPPT 520V~800V)		520~900V (MPPT 520V~800V)	
PV DC. Max Current (in case of completely consumption)	192A	384A	192A	384A
AC voltage	480V(423V~528V)		400V(340V~460V)	
AC current	60A	120A	72A	144A
Nominal power	50kW	100kW	50kW	100kW
AC frequency	60Hz(59.5Hz~60.5Hz)		50/60Hz(±2.5Hz)	
Output THDI	≤3%	≤3%	≤3%	≤3%
AC PF	Listed: 0.8~1 leading or lagging (Controllable)		Listed: 0.8~1 leading or lagging (Controllable)	
	Actual: 0.1~1 leading or lagging (Controllable)		Actual: 0.1~1 leading or lagging (Controllable)	

4. Spesifikasi Enersys Powersafe SBS 400

PRODUCT DETAILS	SPECS
Chemistry:	Sealed Lead Acid
Nominal Voltage:	2v
Nominal Capacity:	400Ah - 10hr Rate 1.80Vpc @ 20°C
Terminals:	M10 F
Dimensions (L x W x H):	4.90 x 15.90 x 8.10
Weight (pounds):	52.9