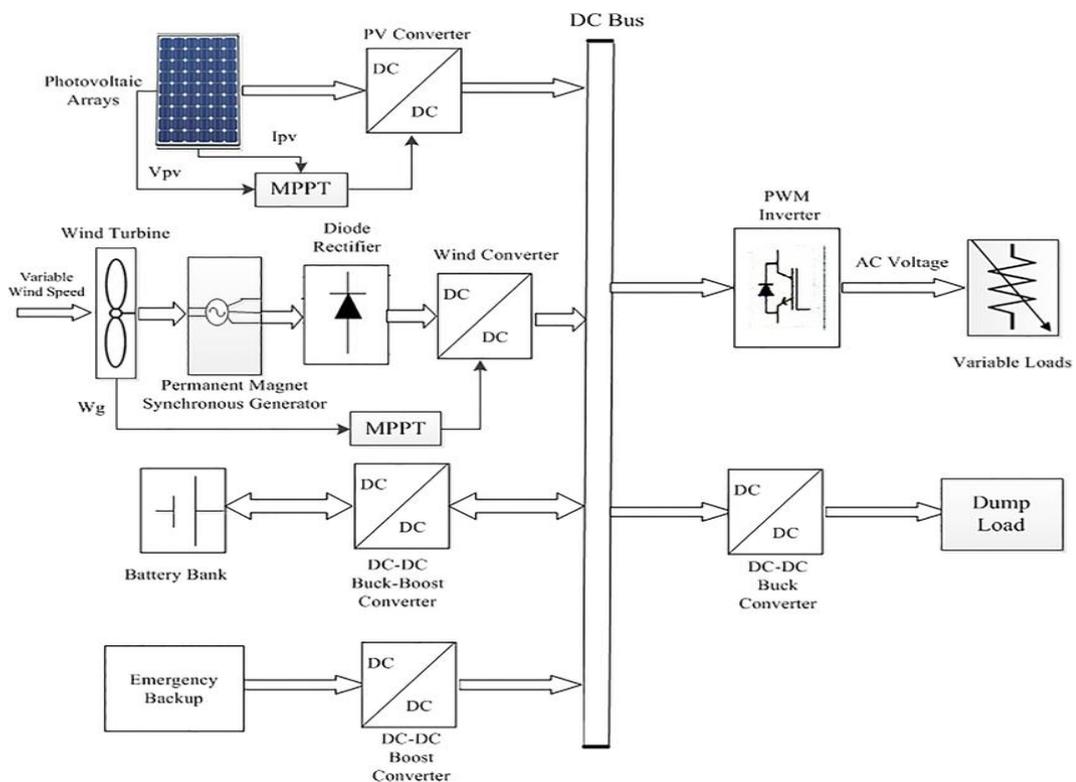


BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)

Perancangan keseluruhan dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) pada penelitian ini menggunakan penggabungan antara pembangkit listrik tenaga bayu dan pembangkit listrik tenaga surya. Blok diagram keseluruhan pada sistem PLTH tenaga bayu dan tenaga surya dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram PLTH Tenaga Bayu dan Tenaga Surya

(Sumber: <https://www.researchgate.net>)

Dari konfigurasi blok diagram PLTH tenaga bayu dan tenaga surya pada gambar 4.1 terdapat beberapa komponen yang digunakan dalam sistem, antara lain:

1. *Wind Turbine*

Komponen ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik. *Wind turbine* memanfaatkan laju angin untuk menggerakkan generator agar dapat berputar dan menghasilkan energi listrik.

2. *Wind Controller*

Fungsi dari komponen ini adalah mencegah terjadinya kelebihan tegangan listrik pada saat *wind turbine* sedang melakukan pengisian daya ke *battery bank*. Pada saat *battery bank* telah terisi penuh maka *wind controller* akan memutus aliran arus listrik dari *wind turbine* ke *battery bank*.

3. *Photovoltaic Array (PV Array)*

Komponen yang digunakan untuk mengubah tenaga surya menjadi energi listrik. *PV array* adalah kumpulan beberapa modul *PV* yang dirangkai seri ataupun paralel. Besarnya nilai *output* tegangan dan arus disesuaikan dengan kebutuhan beban. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kinerja *PV array* yaitu bahan pembuatan *PV*, hambatan listrik beban, intensitas penyinaran matahari, suhu temperatur panel *PV* dan bayangan.

4. *Solar Charge Controller*

Komponen ini digunakan untuk mengatur tegangan listrik dari *PV array* yang masuk ke *battery bank*. *Solar charge controller* bekerja dengan cara memutus arus listrik yang masuk ke *battery bank* agar tidak terjadi *overvoltage* dan *overcharging*.

5. *Battery Bank*

Komponen ini merupakan salah satu komponen penting dalam sistem PLTH. *Battery bank* berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh *wind turbine* dan *PV array*.

6. *Inverter*

Tegangan listrik yang umumnya dihasilkan PLTB dan PLTS merupakan tegangan arus searah sehingga agar dapat disalurkan dan digunakan oleh beban rumah tangga tegangan listrik tersebut harus diubah menjadi tegangan listrik arus bolak-balik. Alat yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan listrik arus searah menjadi tegangan listrik arus bolak-balik adalah *inverter*.

7. *Loads*

Loads adalah peralatan yang membutuhkan aliran listrik agar dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau industri. Pada umumnya *loads* dapat berupa tegangan arus searah maupun tegangan arus bolak-balik.

4.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa data untuk kelancaran dalam analisis dan perancangan sistem pembangkit energi listrik. Sistem ini dirancang dengan bantuan perangkat lunak yaitu *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER)*. Pengoptimalan sistem pembangkit energi listrik yang disimulasikan dalam penelitian ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (tenaga bayu dan tenaga surya).

4.2.1 Objek Penelitian

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan di Pantai Klayar, Dusun Kendal, Desa Sendang, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Kawasan ini memiliki potensi sumber daya alam yang cukup baik dalam hal tenaga bayu dan tenaga surya. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini dilakukan guna mengetahui potensi tenaga bayu dan tenaga surya yang ada serta merancang sebuah sistem pembangkit energi listrik alternatif dalam penyediaan energi listrik yang optimal di kawasan Pantai Klayar. Tampilan objek wisata Pantai Klayar dapat dilihat pada gambar 4.2.

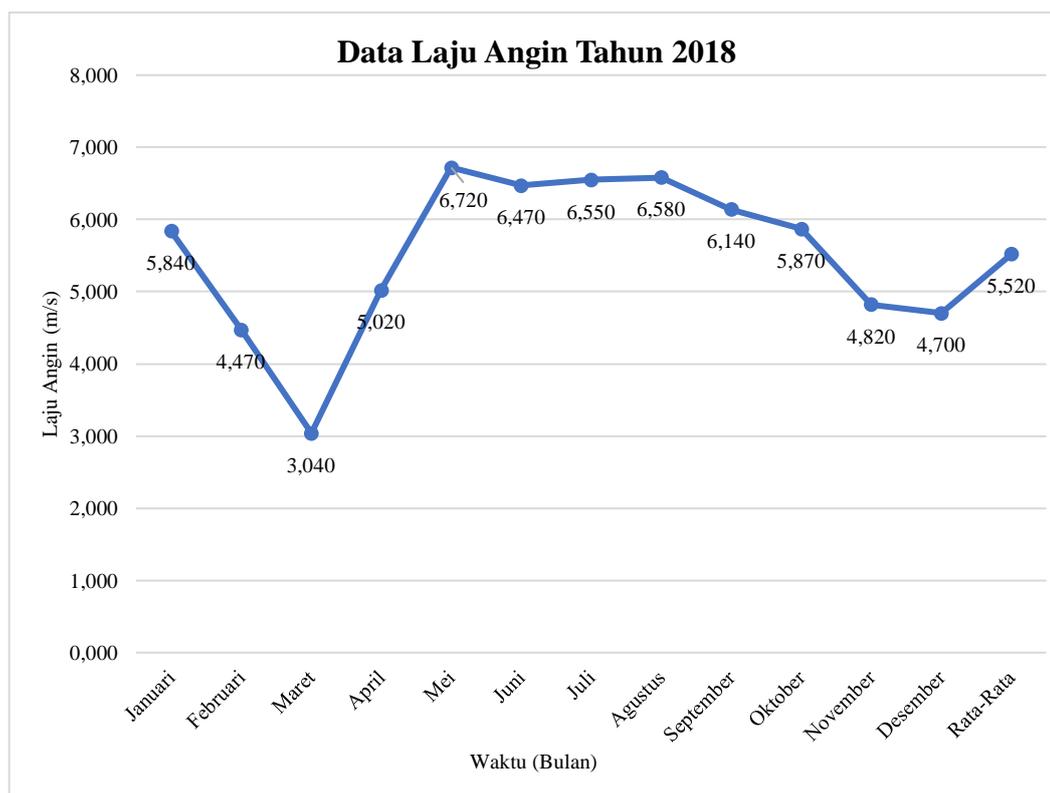


Gambar 4.2 Pantai Klayar

(Sumber: <https://www.rri.co.id>)

4.2.2 Data Laju Angin

Nilai laju angin yang digunakan bersumber dari *database* milik *National Aeronautic and Space Administration (NASA)*, yaitu *Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)*. Dalam data nilai laju angin dari *NASA POWER* diperoleh nilai rata-rata laju angin bulanan dalam satu tahun. Untuk memperoleh data setiap parameter dari *database NASA POWER* dibutuhkan titik koordinat lokasi yang akan diambil berupa data nilai rata-rata laju angin bulannya. Lokasi Pantai Klayar yang akan dipasang PLTH terletak pada titik koordinat *latitude* -8.2259 dan *longitude* 110.9430 dengan *elevation* 116,04 meter dan *altitude* 50 meter dari permukaan air laut. Grafik data nilai rata-rata laju angin dalam satu tahun terakhir yang diperoleh dari lokasi Pantai Klayar dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Data Laju Angin Rata-Rata di Pantai Klayar tahun 2018
(Sumber: *NASA POWER*)

Dari grafik data laju angin rata-rata bulanan pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa rata-rata potensi laju angin bersifat fluktuatif dengan rata-rata potensi laju angin sepanjang tahun 2018 sejumlah 5,520 m/s. Hal ini dikarenakan pada bulan

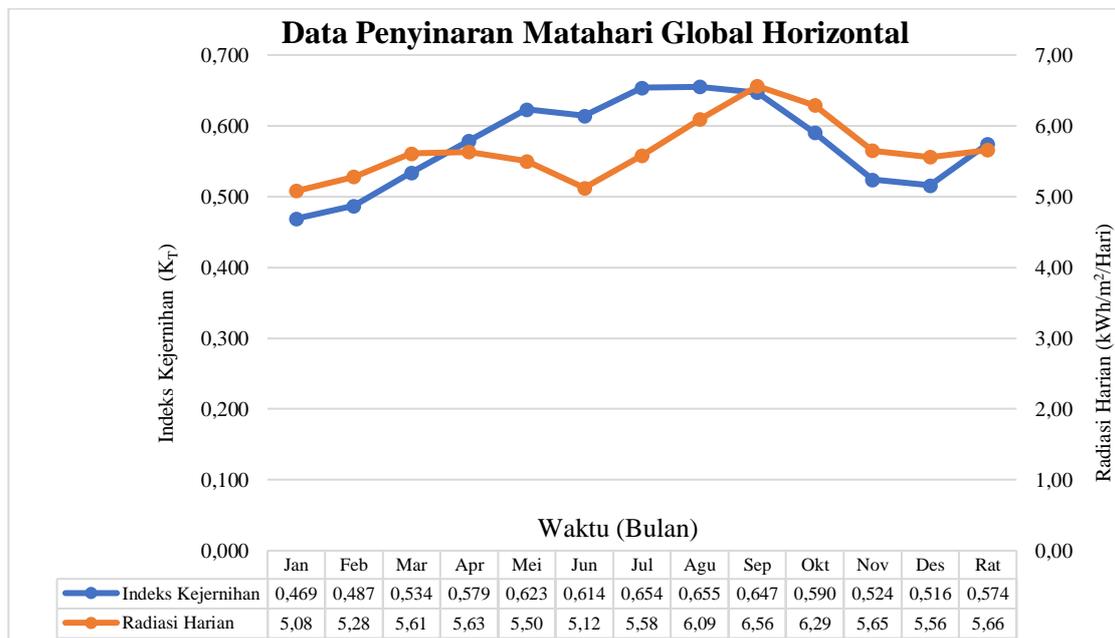
Januari dan bulan Mei hingga bulan Oktober potensi laju rata-rata angin berada di atas 5,500 m/s yang disebabkan siklus angin muson. Sehingga mengakibatkan angin bertiup cukup kencang hampir sepanjang tahun 2018 yang berpengaruh terhadap cukupnya energi yang dihasilkan dari turbin angin.

Rata-rata potensi laju angin mengalami penurunan terendah pada bulan Maret sejumlah 3,040 m/s. Rendahnya potensi laju angin dikarenakan terjadinya musim pancaroba yang disebabkan peralihan siklus dari angin muson barat menjadi angin muson timur dan sebaliknya. Hal ini mengakibatkan arah angin yang tidak teratur dan saling berlawanan sehingga berpengaruh terhadap kurangnya energi listrik yang dihasilkan dari turbin angin.

Rata-rata potensi laju angin tertinggi terjadi pada bulan Mei sejumlah 6,720 m/s. Tingginya potensi laju angin dikarenakan terjadinya siklus angin muson barat dan angin muson timur yang disebabkan perubahan tekanan udara antara Benua Asia dan Benua Australia. Hal ini mengakibatkan laju angin cukup tinggi karena arah angin yang teratur bergerak dari daerah dengan udara bertekanan rendah menuju daerah dengan udara bertekanan tinggi sehingga berpengaruh terhadap tingginya energi listrik yang dihasilkan dari turbin angin.

4.2.3 Data Penyinaran Matahari Global Horizontal

Nilai penyinaran matahari global horizontal yang digunakan juga menggunakan *database* milik *NASA POWER*. Dalam data nilai penyinaran matahari global horizontal dari *NASA POWER* diperoleh nilai rata-rata radiasi harian dan indeks kejernihan pada setiap bulannya. Sama halnya dengan data laju angin, untuk memperoleh data setiap parameter dari *database NASA POWER* dibutuhkan titik koordinat lokasi yang akan diambil datanya. Lokasi Pantai Klayar yang akan dipasang PLTH tenaga bayu dan tenaga surya terletak pada titik koordinat *latitude* -8.2259 dan *longitude* 110.9430 dengan *elevation* 116,04 meter dari permukaan air laut. Grafik data nilai penyinaran matahari global horizontal setiap bulan dalam 25 tahun (Juli 1983 hingga Juni 2005) yang diperoleh dari lokasi Pantai Klayar dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Data Penyinaran Matahari Global Horizontal di Pantai Klayar
(Sumber: *NASA POWER*)

Dari grafik data penyinaran matahari global horizontal rata-rata setiap bulan pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa rata-rata potensi penyinaran matahari global horizontal juga bersifat fluktuatif dengan rata-rata potensi radiasi harian selama 25 tahun (Juli 1983 hingga Juni 2005) sejumlah 5,66 kWh/m²/hari dengan indeks kejernihan 0,574 K_T. Hal ini dikarenakan pada bulan Maret hingga bulan Mei dan bulan Juli hingga bulan Desember potensi rata-rata radiasi harian berada di atas 5,50 kWh/m²/hari yang disebabkan oleh posisi Indonesia yang dilalui garis Khatulistiwa serta pengaruh musim kemarau yang berkepanjangan dan musim pancaroba. Sehingga mengakibatkan penyinaran matahari global horizontal dapat terjadi hampir sepanjang tahun yang berpengaruh terhadap cukupnya energi listrik dari panel surya.

Rata-rata potensi radiasi harian mengalami penurunan terendah pada bulan Januari sejumlah 5,08 kWh/m²/hari. Rendahnya potensi radiasi harian dikarenakan terjadinya musim penghujan yang juga disebabkan siklus dari angin muson barat. Hal ini mengakibatkan berkurangnya nilai penyinaran matahari global horizontal sehingga berpengaruh terhadap sedikitnya energi listrik yang dihasilkan dari panel surya.

Rata-rata potensi radiasi harian tertinggi terjadi pada bulan September sejumlah 6,56 kWh/m²/hari. Tingginya potensi radiasi harian dikarenakan terjadinya musim kemarau yang juga disebabkan siklus dari angin muson timur. Hal ini mengakibatkan nilai penyinaran matahari global horizontal cukup tinggi sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang dihasilkan dari panel surya.

4.2.4 Profil Beban

Data jumlah penduduk yang ada di Pantai Klayar diperoleh berdasarkan laporan kependudukan Pemerintah Desa Sendang pada bulan Maret tahun 2019 berupa daftar jumlah Kartu Keluarga (KK) yang diperoleh dari Kantor Kepala Desa Sendang. Sedangkan wilayah yang menjadi cakupan dari sistem pembangkit ini adalah sejumlah bangunan rumah penduduk yang terdapat pada Dusun Kendal dan sejumlah warung yang terdapat di kawasan Pantai Klayar. Untuk data dari jumlah rumah penduduk dan warung kuliner, dapat dilihat pada tabel 4.1 di mana data keseluruhan yang mencakup jumlah rumah penduduk dan warung kuliner yang ada di kawasan Pantai Klayar. Data jumlah rumah penduduk dan warung kuliner dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Jumlah Rumah Penduduk dan Warung Kuliner

No.	Jenis Bangunan	Jumlah
1.	Rumah Penduduk	140 (90% dari 156 KK)
2.	Warung Kuliner	75

(Sumber: Laporan Kependudukan Pemerintah Desa Sendang, Maret 2019)

Data pada tabel 4.1 diperoleh berdasarkan data laporan kependudukan pemerintah Desa Sendang pada bulan Maret tahun 2019 yang mencakup sejumlah rumah penduduk secara keseluruhan serta wawancara yang dilakukan dengan pihak pemerintah setempat. Untuk cakupan dari sistem yang direncanakan yaitu rumah penduduk yang terletak di Dusun Kendal sejumlah 140 bangunan (90% dari jumlah KK) serta warung yang berjumlah 75 bangunan.

4.2.5 Konsumsi Beban Energi Listrik

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida dengan sistem *off-grid*, pemanfaatan energi terbarukan mengharuskan kita secara bijak menghitung kebutuhan energi harian. Hal tersebut dilakukan karena nilai kapasitas pembangkit listrik sistem *off grid* sangat terbatas guna memenuhi kebutuhan beban yang lebih optimal.

Pemilihan kebutuhan beban energi listrik terdiri atas dua kategori konsumen yaitu rumah penduduk di Dusun Kendal dan warung kuliner di kawasan Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur. Data berikut diperoleh berdasarkan metode wawancara dengan beberapa kategori konsumen sebagai sampel. Data beban energi listrik rumah penduduk harian dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Beban Energi Listrik Rumah Penduduk Harian

No.	Perangkat	Jumlah (Unit)	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
1.	Kipas Angin	2	55	110	1 x 10 1 x 16	550 880
2.	Kulkas	1	90	90	24	2.160
3.	Lampu 1	3	14	42	3 x 7	294
4.	Lampu 2	3	23	69	2 x 4 1 x 11	184 253
5.	Mesin Cuci	1	360	360	1	360
6.	Penanak Nasi	1	400	400	2	800
7.	Setrika	1	350	350	1	350
8.	Televisi	1	35	35	11	385
Total				1.456		6.216

Data konsumsi energi listrik pada tabel 4.2 di atas merupakan hasil peninjauan langsung terhadap lima sampel rumah penduduk di Dusun Kendal pada bulan Maret tahun 2019. Data tersebut adalah konsumsi energi listrik rata-rata kebutuhan rumah penduduk dalam satu hari.

Berdasarkan data tersebut didapat total kebutuhan energi listrik satu rumah penduduk sejumlah 6.216 Wh dalam 24 jam. Data beban energi listrik warung kuliner harian dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Beban Energi Listrik Warung Kuliner Harian

No.	Perangkat	Jumlah (Unit)	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
1.	Kipas Angin	1	55	55	5	275
2.	Kulkas	1	90	90	24	2.160
3.	Lampu	1	14	14	12	168
4.	Penanak Nasi	1	400	400	2	800
Total				509		3.403

Tabel 4.3 di atas merupakan data dari hasil peninjauan langsung terhadap lima sampel warung kuliner yang terdapat di kawasan Pantai Klayar. Dari data tersebut didapat konsumsi energi listrik rata-rata untuk satu warung kuliner dalam sehari sejumlah 3.403 Wh.

4.2.6 Konsumsi Beban Energi Listrik Per Jam

Simulasi pada *software HOMER* membutuhkan data rata-rata konsumsi energi listrik per jam. Berikut ini adalah data perkiraan konsumsi energi listrik rumah penduduk di Dusun Kendal dengan menggunakan sampel dari lima rumah penduduk. Data rata-rata konsumsi energi listrik per jam 1 rumah penduduk dapat dilihat pada tabel 4.4.

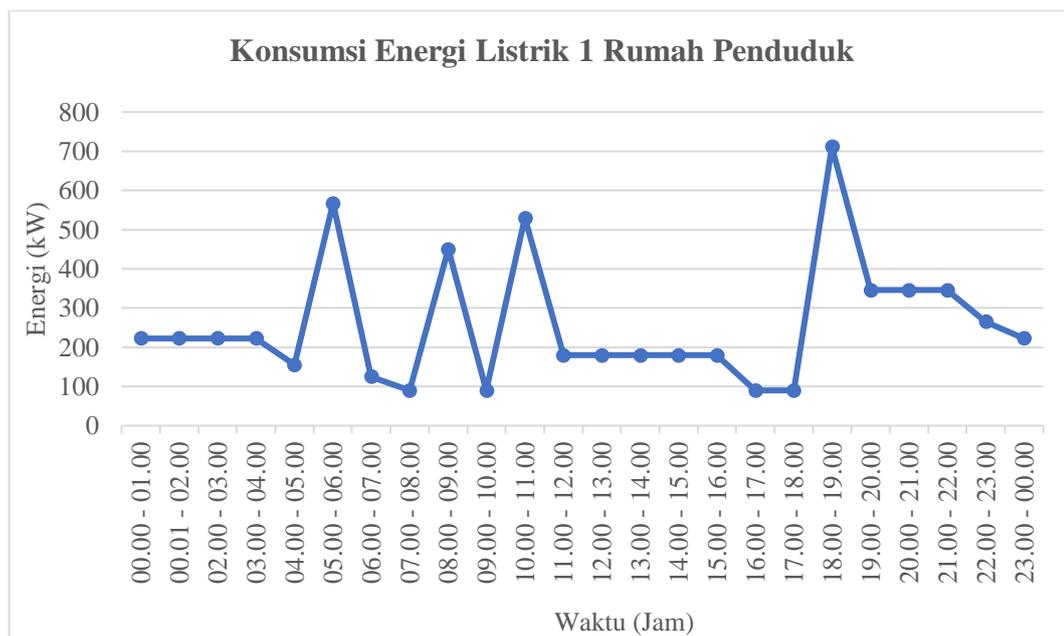
Tabel 4.4 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Rumah Penduduk

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 – 01.00	223	12.00 – 13.00	180
00.01 – 02.00	223	13.00 – 14.00	180
02.00 – 03.00	223	14.00 – 15.00	180
03.00 – 04.00	223	15.00 – 16.00	180
04.00 – 05.00	155	16.00 – 17.00	90

Tabel 4.4 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Rumah Renduduk
(Lanjutan)

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
05.00 – 06.00	567	17.00 – 18.00	90
06.00 – 07.00	125	18.00 – 19.00	711
07.00 – 08.00	90	19.00 – 20.00	346
08.00 - 09.00	450	20.00 - 21.00	346
09.00 - 10.00	90	21.00 - 22.00	346
10.00 - 11.00	530	22.00 - 23.00	265
11.00 - 12.00	180	23.00 - 00.00	223

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 1 rumah penduduk dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Rumah Penduduk

(Sumber: Wawancara Penduduk)

Dari tabel dan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 1 rumah dapat dilihat bahwa konsumsi energi listrik terendah terjadi pada jam 7 pagi dan jam 9 pagi serta jam 4 sore dan jam 5 sore dengan rata-rata konsumsi energi 90 Wh.

Rendahnya konsumsi energi listrik dikarenakan pada jam tersebut warga jarang menggunakan peralatan listrik. Hal ini disebabkan sesuai Sholat Shubuh warga mulai mematikan beberapa alat penerangan dan alat penyejuk ruangan serta ketika sore hari umumnya warga menghabiskan waktu diluar rumah. Akibatnya konsumsi energi listrik berkurang sehingga berpengaruh terhadap sedikitnya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

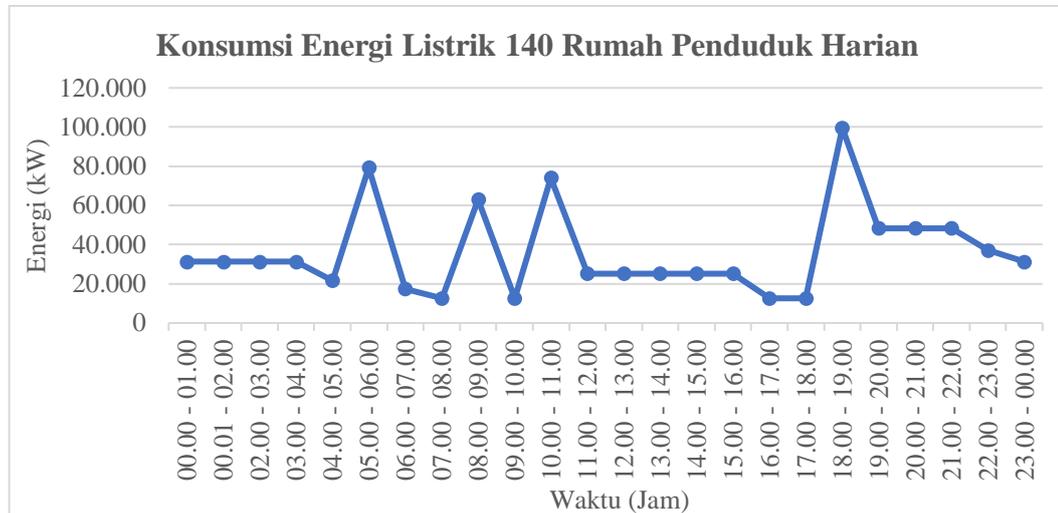
Rata-rata konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada jam 5 pagi, jam 8 pagi, jam 10 pagi, dan jam 6 sore dengan nilai rata-rata puncak konsumsi energi di atas 450 Wh. Tingginya nilai konsumsi energi listrik disebabkan banyaknya peralatan listrik yang digunakan diantaranya menyalakan televisi, penerangan rumah, alat penanak nasi, mesin cuci dan setrika serta beban elektronik lainnya. Akibatnya konsumsi energi listrik bertambah sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

Data rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	31.220	12.00 - 13.00	25.200
00.01 - 02.00	31.220	13.00 - 14.00	25.200
02.00 - 03.00	31.220	14.00 - 15.00	25.200
03.00 - 04.00	31.220	15.00 - 16.00	25.200
04.00 - 05.00	21.700	16.00 - 17.00	12.600
05.00 - 06.00	79.380	17.00 - 18.00	12.600
06.00 - 07.00	17.500	18.00 - 19.00	99.540
07.00 - 08.00	12.600	19.00 - 20.00	48.440
08.00 - 09.00	63.000	20.00 - 21.00	48.440
09.00 - 10.00	12.600	21.00 - 22.00	48.440
10.00 - 11.00	74.200	22.00 - 23.00	37.100
11.00 - 12.00	25.200	23.00 - 00.00	31.220

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 140 Rumah Penduduk

(Sumber: Wawancara Penduduk)

Pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 di jelaskan konsumsi rata-rata listrik per jam untuk rumah penduduk dengan pengambilan sampel terhadap lima rumah penduduk di Dusun Kendal. Dari tabel dan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah dapat dilihat bahwa konsumsi energi listrik terendah terjadi pada jam 7 pagi dan jam 9 pagi serta jam 4 sore dan jam 5 sore dengan rata-rata konsumsi energi 12.600 Wh. Rendahnya konsumsi energi listrik dikarenakan pada jam tersebut warga jarang menggunakan peralatan listrik. Hal ini disebabkan sesuai Sholat Shubuh warga mulai mematikan beberapa alat penerangan dan alat penyejuk ruangan serta ketika sore hari umumnya warga menghabiskan waktu diluar rumah. Akibatnya konsumsi energi listrik berkurang sehingga berpengaruh terhadap sedikitnya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

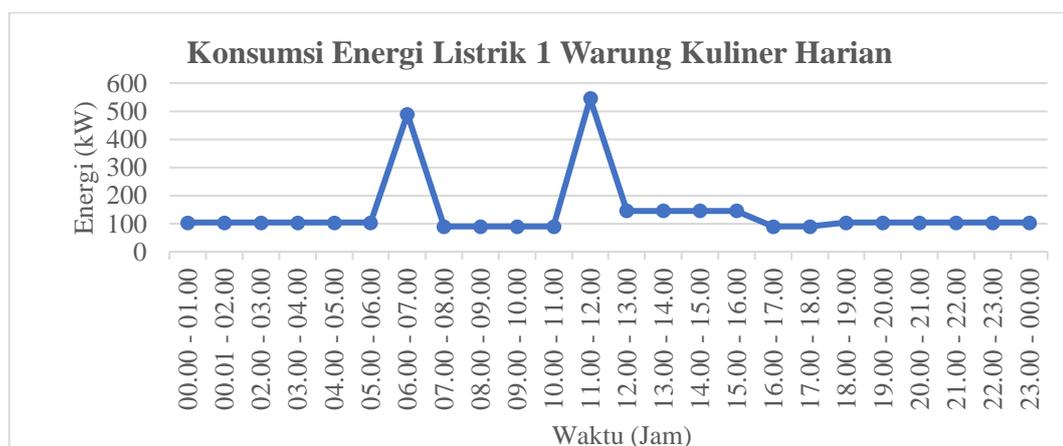
Rata-rata konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada jam 5 pagi, jam 8 pagi, jam 10 pagi, dan jam 6 sore dengan nilai rata-rata puncak konsumsi energi di atas 63.000 Wh. Tingginya nilai konsumsi energi listrik disebabkan banyaknya peralatan listrik yang digunakan diantaranya menyalakan televisi, penerangan rumah, alat penanak nasi, mesin cuci dan setrika serta beban elektronik lainnya.

Akibatnya konsumsi energi listrik bertambah sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit. Data rata-rata konsumsi energi listrik per jam 1 warung kuliner dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Warung Kuliner

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	104	12.00 - 13.00	145
00.01 - 02.00	104	13.00 - 14.00	145
02.00 - 03.00	104	14.00 - 15.00	145
03.00 - 04.00	104	15.00 - 16.00	145
04.00 - 05.00	104	16.00 - 17.00	90
05.00 - 06.00	104	17.00 - 18.00	90
06.00 - 07.00	490	18.00 - 19.00	104
07.00 - 08.00	90	19.00 - 20.00	104
08.00 - 09.00	90	20.00 - 21.00	104
09.00 - 10.00	90	21.00 - 22.00	104
10.00 - 11.00	90	22.00 - 23.00	104
11.00 - 12.00	545	23.00 - 00.00	104

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 1 warung kuliner dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 1 Warung Kuliner

(Sumber: Wawancara Penduduk)

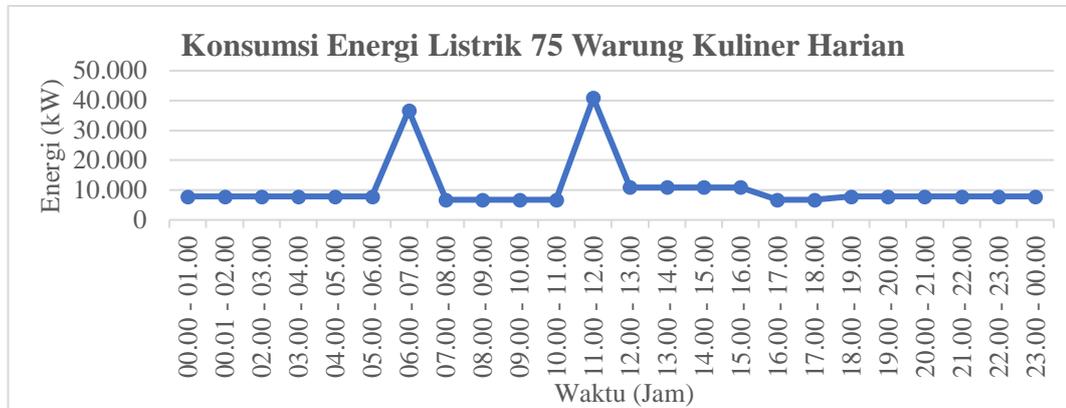
Dari tabel dan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 1 warung kuliner dapat dilihat bahwa konsumsi energi listrik terendah terjadi hampir sepanjang hari. pada jam 7 pagi hingga jam 10 siang serta jam 4 sore dan jam 5 sore dengan rata-rata konsumsi energi 90 Wh. Rendahnya konsumsi energi listrik dikarenakan pada jam tersebut para pedagang jarang menggunakan peralatan listrik. Hal ini disebabkan peralatan listrik yang bekerja hanya lemari pendingin saja. Akibatnya konsumsi energi listrik berkurang sehingga berpengaruh terhadap sedikitnya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

Rata-rata konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada jam 6 pagi dan jam 11 siang dengan nilai rata-rata puncak konsumsi energi di atas 490 Wh. Tingginya nilai konsumsi energi listrik disebabkan banyaknya peralatan listrik yang digunakan diantaranya menyalakan alat penanak nasi, lemari pendingin, dan kipas angin setrika serta beban elektronik lainnya. Akibatnya konsumsi energi listrik bertambah sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit. Data rata-rata konsumsi energi listrik per jam 75 warung kuliner dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 75 Warung Kuliner

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	7.800	12.00 - 13.00	10.875
00.01 - 02.00	7.800	13.00 - 14.00	10.875
02.00 - 03.00	7.800	14.00 - 15.00	10.875
03.00 - 04.00	7.800	15.00 - 16.00	10.875
04.00 - 05.00	7.800	16.00 - 17.00	6.750
05.00 - 06.00	7.800	17.00 - 18.00	6.750
06.00 - 07.00	36.750	18.00 - 19.00	7.800
07.00 - 08.00	6.750	19.00 - 20.00	7.800
08.00 - 09.00	6.750	20.00 - 21.00	7.800
09.00 - 10.00	6.750	21.00 - 22.00	7.800
10.00 - 11.00	6.750	22.00 - 23.00	7.800
11.00 - 12.00	40.875	23.00 - 00.00	7.800

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 75 warung kuliner dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 75 Warung Kuliner

(Sumber: Wawancara Penduduk)

Pada tabel 4.6 dan tabel 4.7 menjelaskan mengenai konsumsi rata-rata energi listrik per jam untuk warung kuliner dengan pengambilan sampel terhadap lima warung kuliner di kawasan Pantai Klayar. Dari tabel dan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 75 warung kuliner dapat dilihat bahwa konsumsi energi listrik terendah terjadi hampir sepanjang hari, pada jam 7 pagi hingga jam 10 siang serta jam 4 sore dan jam 5 sore dengan rata-rata konsumsi energi 6.750 Wh. Rendahnya konsumsi energi listrik dikarenakan pada jam tersebut para pedagang jarang menggunakan peralatan listrik. Hal ini disebabkan peralatan listrik yang bekerja hanya lemari pendingin saja. Akibatnya konsumsi energi listrik berkurang sehingga berpengaruh terhadap sedikitnya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

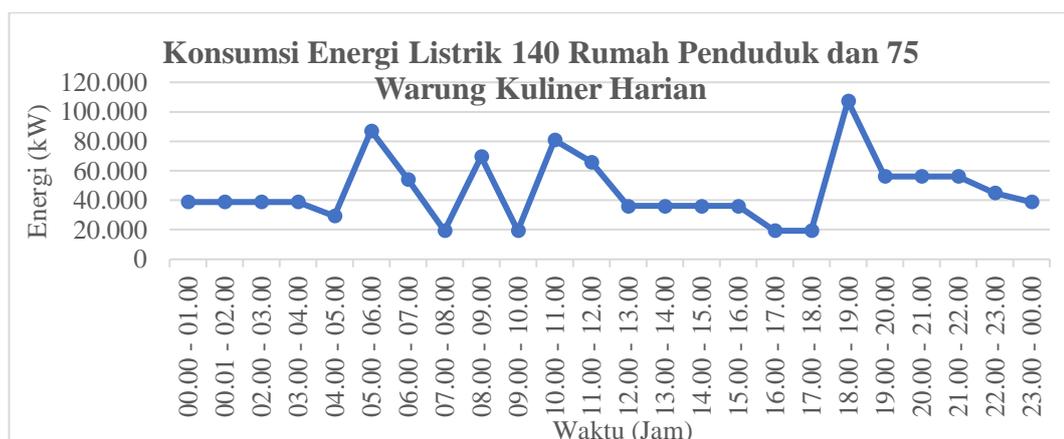
Rata-rata konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada jam 6 pagi dan jam 11 siang dengan nilai rata-rata puncak konsumsi energi di atas 36.750 Wh. Tingginya nilai konsumsi energi listrik disebabkan banyaknya peralatan listrik yang digunakan diantaranya menyalakan alat penanak nasi, lemari pendingin, dan kipas angin serta beban elektronik lainnya. Akibatnya konsumsi energi listrik bertambah sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

Data rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk dan 75 warung kuliner dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 140 Rumah Penduduk dan 75 Warung Kuliner

Waktu	Energi (Wh)	Waktu	Energi (Wh)
00.00 - 01.00	39.020	12.00 - 13.00	36.075
00.01 - 02.00	39.020	13.00 - 14.00	36.075
02.00 - 03.00	39.020	14.00 - 15.00	36.075
03.00 - 04.00	39.020	15.00 - 16.00	36.075
04.00 - 05.00	29.500	16.00 - 17.00	19.350
05.00 - 06.00	87.180	17.00 - 18.00	19.350
06.00 - 07.00	54.250	18.00 - 19.00	107.340
07.00 - 08.00	19.350	19.00 - 20.00	56.240
08.00 - 09.00	69.750	20.00 - 21.00	56.240
09.00 - 10.00	19.350	21.00 - 22.00	56.240
10.00 - 11.00	80.950	22.00 - 23.00	44.900
11.00 - 12.00	66.075	23.00 - 00.00	39.020

Tampilan grafik rata-rata konsumsi energi listrik gabungan dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Rata-Rata Konsumsi Energi Listrik Per Jam 140 Rumah Penduduk dan 75 Warung Kuliner
(Sumber: Wawancara Penduduk)

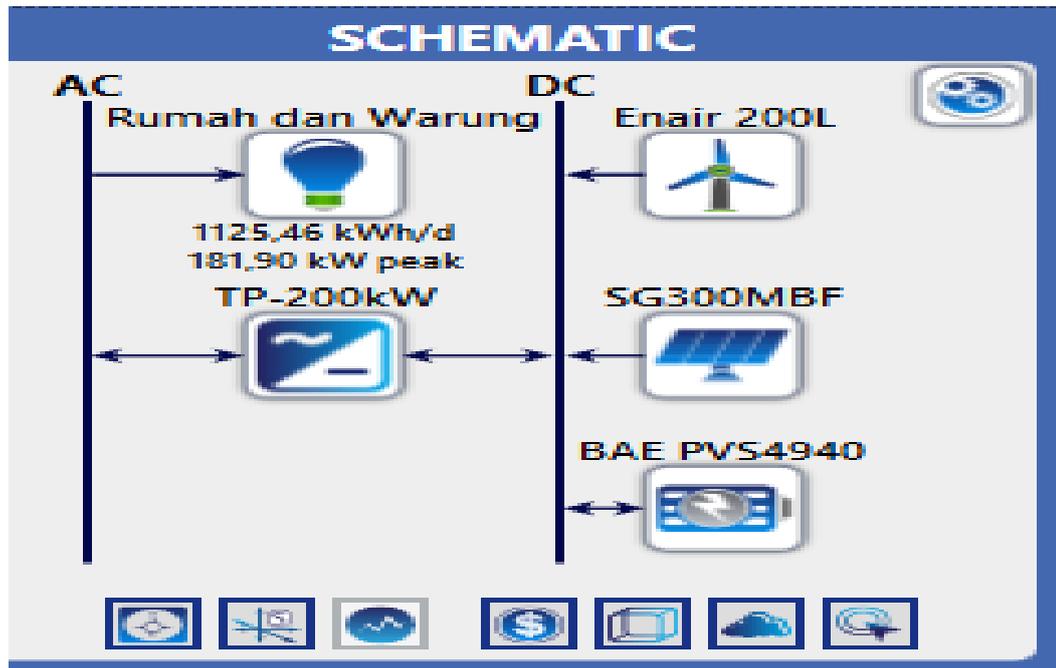
Pada tabel 4.8 dan gambar 4.9 menjelaskan mengenai gabungan konsumsi rata-rata energi listrik per jam untuk 140 rumah penduduk dan 75 warung kuliner dengan pengambilan sampel terhadap 5 rumah penduduk dan 5 warung kuliner di kawasan Pantai Klayar. Dari tabel dan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk dan 75 warung kuliner dapat dilihat bahwa konsumsi energi listrik terendah terjadi pada jam 7 pagi dan jam 9 pagi serta jam 4 sore dan jam 5 sore dengan rata-rata konsumsi energi 19.350 Wh. Rendahnya konsumsi energi listrik dikarenakan pada jam tersebut penduduk dan para pedagang jarang menggunakan peralatan listrik. Hal ini disebabkan peralatan listrik yang bekerja hanya lemari pendingin saja. Akibatnya konsumsi energi listrik berkurang sehingga berpengaruh terhadap sedikitnya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

Rata-rata konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada jam 5 pagi dan jam 6 sore dengan nilai rata-rata puncak konsumsi energi di atas 87.180 Wh. Tingginya nilai konsumsi energi listrik disebabkan banyaknya peralatan listrik yang digunakan diantaranya menyalakan alat penanak nasi, lemari pendingin, penerangan, televisi dan kipas angin serta beban elektronik lainnya. Akibatnya konsumsi energi listrik bertambah sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Desain Teknis Sistem Pembangkit

Perancangan dan simulasi sistem PLTH dengan sumber energi terbarukan dilakukan dengan *software HOMER*. Perancangan sistem PLTH pada *software HOMER* sebagai simulasi pembangkit listrik tenaga bayu dan tenaga surya dengan penggunaan beban primer serta beberapa komponen utama yang terdiri dari turbin angin, fotovoltaik, baterai dan inverter. Setelah dilakukan pemilihan terhadap beberapa komponen dan pemasukan data data yang diperlukan untuk *software HOMER*, selanjutnya *software HOMER* akan memberikan skematik terhadap sistem pembangkit sesuai dengan kebutuhan komponen. Skema perancangan sistem PLTH pada *software HOMER* yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Skema Sistem PLTH Pada *Software HOMER*

(Sumber: *HOMER*)

Tampilan data keuangan untuk konfigurasi ekonomis dapat dilihat pada gambar 4.11.

ECONOMICS		\$
Nominal discount rate (%):	<input type="text" value="6.00"/>	(-)
Expected inflation rate (%):	<input type="text" value="3.28"/>	(-)
Project lifetime (years):	<input type="text" value="25.00"/>	(-)
System fixed capital cost (Rp):	<input type="text" value="0.00"/>	(-)
System fixed O&M cost (Rp/yr)	<input type="text" value="0.00"/>	(-)
Capacity shortage penalty (Rp/kWh)	<input type="text" value="0.00"/>	(-)
Currency:	<input type="text" value="Indonesian Rupiah (Rp)"/>	

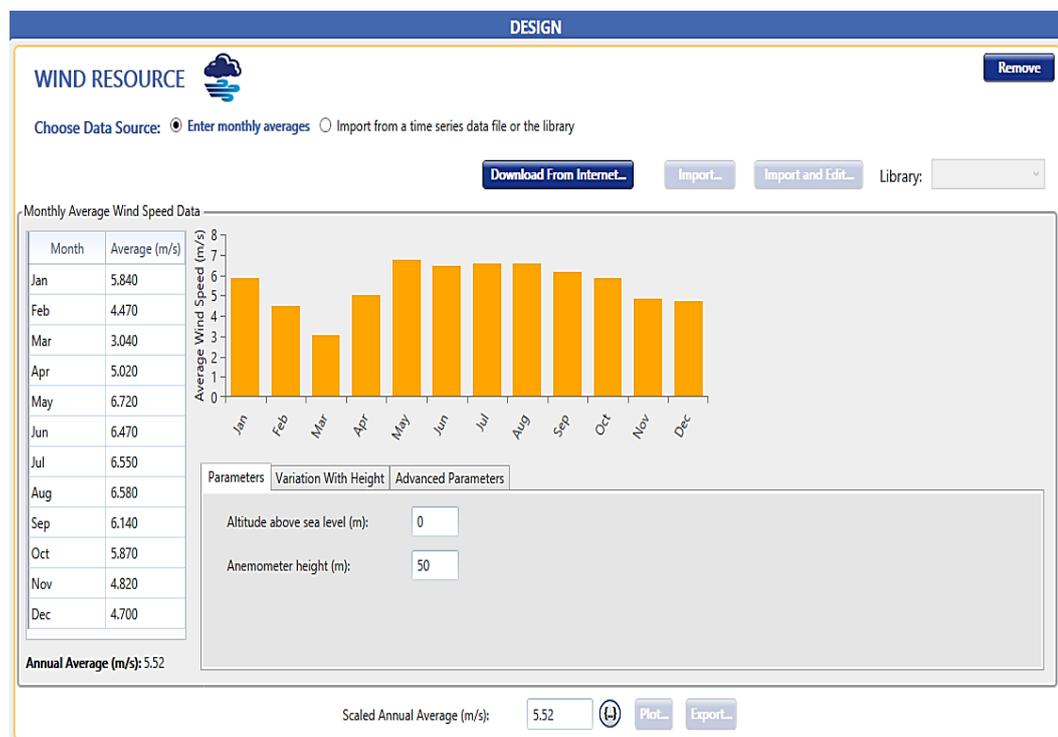
Gambar 4.11 Konfigurasi Ekonomis

(Sumber: *HOMER*)

Agar data keuangan yang disimulasikan dapat sesuai dengan yang terjadi di Indonesia maka diperlukan adanya konfigurasi terhadap beberapa faktor ekonomi. Berdasarkan sumber data dari Bank Indonesia sampai dengan Juni 2019, didapat informasi berupa *nominal discount rate* sejumlah 6.00% dan *expected inflation rate* sejumlah 3.28%. Pada umumnya usia sebuah proyek pembangkit listrik tenaga bayu dan tenaga surya sekitar 25 Tahun.

4.3.2 Konfigurasi Nilai Laju Angin

Tampilan konfigurasi nilai laju angin atau (*Wind Resource*) dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Tampilan *Wind Resource*

(Sumber: *HOMER*)

Agar simulasi dan analisis terhadap turbin angin dapat dilakukan maka data laju angin yang diperoleh dari *NASA POWER* harus di sesuaikan dengan kolom bulan yang tersedia seperti tampilan *Wind Resource* pada gambar 4.12. Secara otomatis sistem akan menampilkan data berupa grafik rata-rata laju angin setiap bulan selama satu tahun.

4.3.3 Konfigurasi Nilai Penyinaran Matahari Global Horizontal

Tampilan konfigurasi nilai penyinaran matahari global horizontal dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Tampilan *Solar GHI Resource*

(Sumber: *HOMER*)

Penyesuaian data dalam simulasi *software HOMER* terhadap nilai penyinaran matahari global horizontal dilakukan pada tampilan *Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) Resource*. Pada gambar 4.13 merupakan tampilan data penyinaran matahari global horizontal yang juga menampilkan grafik nilai rata-rata indeks kejernihan terhadap radiasi harian selama satu tahun.

4.3.4 Konfigurasi Nilai Beban

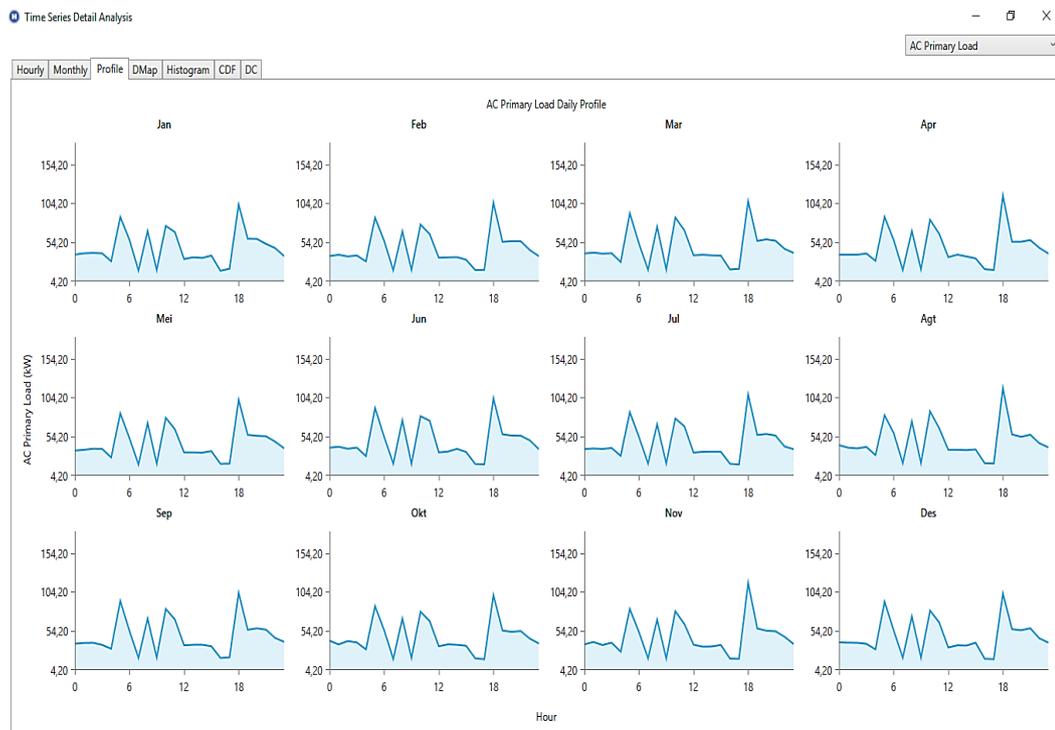
Tampilan konfigurasi nilai beban (*Electric Load*) untuk beban 140 rumah penduduk dan 75 warung kuliner dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Tampilan *Electric Load* Beban 140 Rumah Penduduk dan 75 Warung Kuliner
(Sumber: HOMER)

Dalam simulasi *software HOMER* beban yang digunakan merupakan beban daya aktif harian. Pada sistem pembangkit ini diasumsikan *random variability* harian (*day-to-day*) sejumlah 15% dan (*timestep*) sejumlah 20% sesuai dengan petunjuk awal pada *software HOMER* untuk tipe beban rumah penduduk dan komersial. Berdasarkan hasil kalkulasi dengan *input* beban daya aktif harian didapat rata-rata penggunaan energi listrik sejumlah 1.125,4 kWh/hari untuk beban 140 rumah penduduk dan beban 75 warung kuliner sedangkan daya puncak beban listrik mencapai 181,9 kW.

Tampilan grafik profil beban (*AC Primary Load*) keseluruhan beban dalam satu tahun dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Profil Tahunan *AC Primary Load* Keseluruhan Beban
(Sumber: *HOMER*)

Gambar 4.15 merupakan tampilan grafik profil beban penggunaan energi listrik rata-rata setiap bulan dalam satu tahun oleh penduduk Dusun Kendal dan Pantai Klayar dalam simulasi *software HOMER*. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa pola konsumsi beban listrik setiap bulan hampir terlihat sama dan tidak terjadi perubahan yang signifikan. Penyebabnya adalah tingkat ekonomi warga sekitar yang tergolong stabil sehingga pola konsumsi energi listrik penduduk tersebut tidak banyak mengalami perubahan.

Dari tabel dan grafik rata-rata konsumsi energi listrik per jam 140 rumah penduduk dan 75 warung kuliner dapat dilihat bahwa konsumsi energi listrik terendah terjadi pada jam 7 pagi dan jam 9 pagi serta jam 4 sore dan jam 5 sore. Rendahnya konsumsi energi listrik dikarenakan pada jam tersebut penduduk dan para pedagang jarang menggunakan peralatan listrik. Hal ini disebabkan peralatan listrik yang bekerja hanya lemari pendingin dan beberapa peralatan elektronik daya

rendah saja. Akibatnya konsumsi energi listrik berkurang sehingga berpengaruh terhadap sedikitnya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

Rata-rata konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada jam 5 pagi dan jam 6 sore. Tingginya nilai konsumsi energi listrik disebabkan banyaknya peralatan listrik yang digunakan diantaranya menyalakan alat penanak nasi, lemari pendingin, penerangan, televisi dan kipas angin serta beban elektronik lainnya. Akibatnya konsumsi energi listrik bertambah sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang harus di *supply* dari sistem pembangkit.

Dari seluruh beban yang tersambung didapat rata-rata (*average*) konsumsi energi listrik sejumlah 1.125,4 kWh per hari dengan puncak konsumsi (*peak*) sejumlah 181,9 kW dan faktor daya (*load factor*) sejumlah 0,26. Perubahan puncak daya pada perangkat lunak *HOMER* disebabkan adanya variabel acak (*random variability*) yang menjadi faktor keragaman pada profil beban. Pada konfigurasi ini faktor keragaman yang digunakan adalah *default* dari perangkat lunak *HOMER* untuk sistem beban rumah penduduk. Adapun besarnya nilai keragaman sejumlah 10% untuk hari ke hari (*day-to-day*) dan sejumlah 20% untuk jeda waktu (*timestep*) dengan skala 60 menit.

Puncak konsumsi energi listrik pada pagi hari terjadi akibat pola harian masyarakat memulai aktivitas rutin sebelum berangkat bekerja dan beraktivitas di luar rumah. Pada pagi hari banyak warga yang menggunakan alat penanak nasi dan melakukan aktivitas bersih-bersih, sedangkan beban puncak yang terjadi pada siang hari terjadi saat jam menjelang makan siang di mana alat penanak nasi kembali digunakan dan suhu mulai meningkat sehingga banyak warga yang menghidupkan kipas angin dan menyalakan televisi sembari bersantai. Beban puncak pada malam hari terjadi akibat aktivitas masyarakat yang lebih banyak menghabiskan waktu di dalam rumah dengan menonton tv dan menghidupkan perangkat elektronik lainnya.

4.3.5 Desain Sistem Turbin Angin

Dalam penentuan jenis dan kapasitas turbin angin yang akan digunakan dalam sistem PLTH, terdapat beberapa ketentuan yang harus di pertimbangkan. Adapun ketentuannya meliputi spesifikasi dan juga biaya operasioal dari setiap

komponen pendukungnya. Perencanaan lokasi pembangunan PLTH juga sangat mempengaruhi terhadap performa dari turbin itu sendiri, hal ini dipengaruhi oleh nilai kecepatan angin yang terdapat di lokasi perencanaan PLTH tersebut.

Dalam perancangan ini dibutuhkan perbandingan spesifikasi turbin angin dengan dua produk yang berbeda dan memiliki kapasitas penghasil daya yang tergolong sama. Dengan demikian maka akan mempermudah kita dalam menentukan turbin angin yang akan digunakan dalam perancangan PLTH pada lokasi yang telah ditentukan. Data perbandingan spesifikasi turbin angin dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Spesifikasi Turbin Angin

<i>Specification</i>	<i>Bergey Excel 10-R</i>	<i>Enair 200L</i>
<i>Rated Power</i>	<i>8,9 kW at 11 m/s</i>	<i>10 kW – Limited by software</i>
<i>Start-up Wind Speed</i>	<i>3,4 m/s</i>	<i>1,85 m/s</i>
<i>Nominal Power</i>	<i>10 kW at 12 m/s</i>	<i>10,140 kW at 9 m/s</i>
<i>Type</i>	<i>3 Blade, Upwind</i>	<i>3 Blade, Upwind</i>
<i>Rotor diameter</i>	<i>7 m</i>	<i>9,8 m</i>
<i>Maksimum design wind Speed</i>	<i>60 m/s</i>	<i>30 m/s</i>
<i>Blade pitch control</i>	<i>None, Fixed Pitch</i>	<i>Variable pitch with active control by wind and power</i>
<i>Over speed protection</i>	<i>AutoFurl</i>	<i>Active pitch, Electronical regulation and brake</i>
<i>Output</i>	<i>3 Phase, Var. Freq. with Powersnyc II Inverter</i>	<i>3 Phase, 500 V, Direct Drive, Compatible with Solar Inverter</i>
<i>Price/unit</i>	<i>Rp442.984.995,00 (Only Turbine + Inverter)</i>	<i>Rp918.469.412,21 (Incl. Torre, Toe, Inverter and Control System)</i>

Dapat dilihat perbandingan antara dua produk turbin angin pada tabel 4.9 di mana spesifikasi teknis antara keduanya hampir sama. Tetapi jika dilihat dari perbandingan harga untuk masing-masing turbin angin bahwa produk *Bergey Excel 10-R* memiliki harga yang jauh lebih murah dibandingkan produk *Enair 200L*. Namun, perlu diketahui bahwa untuk menentukan turbin angin yang akan digunakan, kita tidak dapat melihat hanya dari segi biaya produk saja. Disisi lain kita juga perlu untuk mempertimbangkan kualitas dan juga keunggulan spesifikasi lainnya. Misalnya, kehandalan alat dan kelengkapan pendukung juga harus disesuaikan dengan kebutuhan beban yang akan dipenuhi nantinya.

Turbin angin produk *Enair 200L* hanya memerlukan laju angin 1,85 m/s agar dapat menggerakkan turbinnya, sedangkan untuk produk *Bergey Excel 10-R* diperlukan kecepatan angin 3,4 m/s untuk menggerakkan turbinnya. Perbedaan ini kemungkinan karena *blade pitch* yang terdapat pada turbin angin *Enair 200L* dapat di atur sudutnya berdasarkan laju angin yang ada sedangkan pada turbin angin *Bergey Excel 10-R* sudutnya tidak dapat diatur sehingga turbin angin *Enair 200L* dapat berputar lebih awal untuk menghasilkan energi listrik dibandingkan dengan turbin angin *Bergey Excel 10-R* yang baru berputar setelahnya.

Selain itu, turbin angin *Enair 200L* memiliki generator 20kW yang daya keluarannya di *downgrade* dengan *software* hingga hanya menghasilkan daya keluaran sejumlah 10 kW, berbeda dengan *Bergey Excel 10-R* yang pada dasarnya menggunakan generator 10 kW. Keseluruhan kendali dari turbin angin *Enair 200L* sudah modern dan otomatis mengendalikan kondisi turbin angin sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan, berbeda halnya dengan turbin angin *Bergey Excel 10-R* yang sistemnya tergolong masih sederhana. Bila melihat dari paket kelengkapan dan perbandingan energi listrik yang dihasilkan, maka penggunaan turbin angin *Enair 200L* akan lebih efisien dibandingkan penggunaan turbin angin *Bergey Excel 10-R*.

Oleh sebab itu, dalam perancangan sistem PLTH ini penulis memilih menggunakan turbin angin produk *Enair 200L* dengan *rated power* 10 kW. Sebab, bila dihitung berdasarkan energi yang dibutuhkan, penggunaan jumlah turbin *Enair 200L* tidak akan sebayak turbin *Bergey Excel 10-R* kerana bila dibandingkan dari

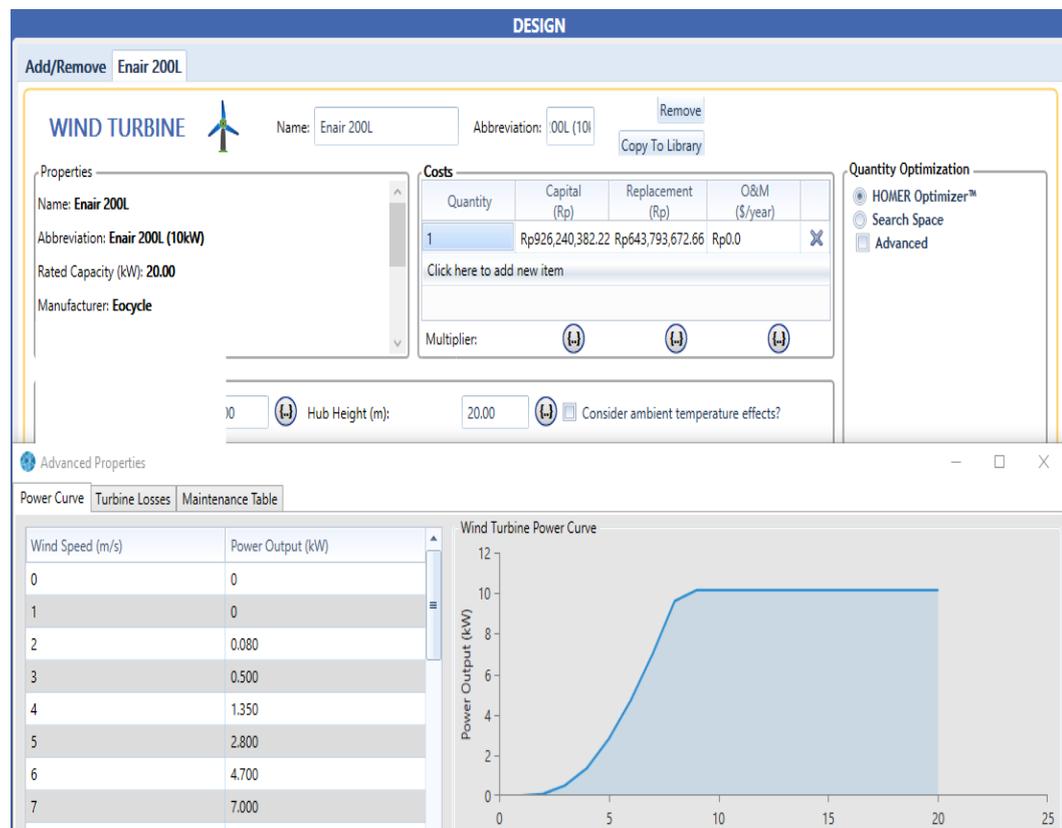
kondisi laju angin yang ada maka energi yang dihasilkan oleh turbin *Enair 200L* jauh lebih besar dibandingkan turbin angin *Bergey.Excel 10-R*. Tampilan turbin angin *Enair 200L* dalam kondisi siap beroperasi dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Turbin Angin *Enair 200L*

(Sumber: <http://www.enair.es>)

Tampilan konfigurasi desain turbin angin *Enair 200L* dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Tampilan Konfigurasi Desain Turbin Angin *Enair 200L*

(Sumber: HOMER)

Dalam simulasi *software HOMER* seperti pada gambar 4.17 diperlukan masukan data berupa harga satuan turbin angin yang dipakai, biaya penggantian serta biaya operasional dan perbaikan. Berdasarkan harga yang didapatkan dari situs milik www.enair.es bahwa harga satu unit turbin angin produk *Enair 200L* sejumlah €58.750 dengan estimasi biaya penggantian sejumlah 70% dari harga investasi awal sejumlah €41.125.

Asumsi ini dikarenakan apabila terjadi gangguan atau kerusakan pada sebuah turbin angin biaya penggantian tidak akan menyeluruh karena masih terdapat beberapa komponen dari turbin angin yang tidak bermasalah serta masih dapat digunakan. Sedangkan untuk biaya operasional dan perbaikan tidak dikenakan karena turbin angin *Enair 200L* tergolong turbin angin kecil dan dapat bekerja secara otomatis dalam melindungi sistem kendalinya. Turbin angin ini tergolong modern dan canggih sehingga diperidiksi usia pakainya mampu bertahan hingga 20 tahun.

4.3.6 Desain Sistem Panel Surya

Untuk menentukan penggunaan sebuah sistem panel surya yang akan digunakan tentu dibutuhkan beberapa pertimbangan. Salah satu caranya adalah menentukan jenis fotovoltaik yang sesuai dengan membuat perbandingan yang terdiri dari beberapa produk panel surya agar memudahkan dalam penentuan komponen yang akan digunakan. Data perbandingan spesifikasi berbagai panel surya dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Spesifikasi Panel Surya

<i>Specification</i>	<i>Peimar SG300M (FB) Monocrystalline</i>	<i>Solar Land 300Wp Monocrystalline</i>	<i>Wedosolar 300Wp Monocrystalline</i>
<i>Manufactures</i>	<i>Peimar Italian Photovoltaics Modules</i>	<i>Solarland Electric PowerTechnology Limited</i>	<i>Wedosolar Indonesia</i>
<i>Type</i>	<i>Monocrystalline</i>	<i>Monocrystalline</i>	<i>Monocrystalline</i>

Tabel 4.10 Perbandingan Spesifikasi Panel Surya (Lanjutan)

<i>Specification</i>	<i>Peimar SG300M (FB) Monocrystalline</i>	<i>Solar Land 300Wp Monocrystalline</i>	<i>Wedosolar 300Wp Monocrystalline</i>
<i>Rated Power (Pmax)</i>	300Wp	300Wp	300Wp
<i>Max. Power Voltage (Vmpp)</i>	32 V	36,7 V	36,6 V
<i>Max. Power Current (Impp)</i>	9,4 A	8,17 A	8,2 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	40,2 V	44,4 V	45,2 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	9,71 A	8,99 A	8,7 A
<i>Max. System Voltage</i>	1500 V	1000 V	1000 V
<i>Cell Efficiency (eff)</i>	18,44%	15,5%	18%
<i>Dimensions (mm)</i>	1640 x 992 x 40	1956 x 992 x 45	1956 x 922 x 40
<i>Weight (kg)</i>	18 Kg	24 Kg	25,8 Kg
<i>Price (Rp)</i>	Rp2.401.079,31	Rp4.650.000,00	Rp4.180.020,00
<i>Price per Wp</i>	Rp8.003,60	Rp15.500,00	Rp13.933,40

Setelah melakukan perbandingan dari tiga produk tersebut, maka panel surya yang akan digunakan pada sistem pembangkit ini adalah produk *Peimar SG300M (FB)* dengan kapasitas 300Wp karena panel surya tersebut memiliki persentase efisiensi yang tinggi dibandingkan kedua panel surya lainnya. Kemudian alasan lain dipilihnya panel surya tersebut karena harga yang jauh lebih murah dibanding dengan produk lainnya. Tampilan dari panel surya *Peimar SG300M (FB)* dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Panel Surya *Peimar SG300M (FB)*

(Sumber: <https://www.peimar.com>)

Tampilan konfigurasi desain panel surya *Peimar SG300M (FB)* dapat dilihat pada gambar 4.19.

DESIGN

Add/Remove Peimar SG300MBF

PV Name: Peimar SG300MBF Abbreviation: SG300M

Properties		Cost				Sizing	
Name: Peimar SG300MBF	Capacity (kW): 0.3	Capital (Rp): 2,401,079.31	Replacement (Rp): 2,401,079.31	O&M (Rp/year): 0.00	<input checked="" type="radio"/> HOMER Optimizer™ <input type="radio"/> Search Space <input type="checkbox"/> Advanced		
Abbreviation: SG300MBF	Lifetime time (years): 30.00			<input type="button" value="More..."/>			
Panel Type: Flat plate	Site Specific Input		Derating Factor (%): 80.00		Electrical Bus		
Rated Capacity (kW): 318					<input type="radio"/> AC <input checked="" type="radio"/> DC		
Temperature Coefficient: -0.4					<input type="button" value="Advanced..."/>		
Operating Temperature (°C): 25							
Efficiency (%): 19.1							
Manufacturer: Peimar Inc.							
www.peimar.com							
Notes:							
18 kg, Footprint: 1.627 m ²							

Gambar 4.19 Tampilan Konfigurasi Desain Panel Surya *Peimar SG300M (FB)*

(Sumber: HOMER)

Dalam simulasi *software HOMER* seperti pada gambar 4.19 diperlukan masukan data berupa harga satuan panel surya yang dipakai, biaya penggantian serta biaya operasional dan perbaikan. Berdasarkan harga yang didapatkan dari situs www.altestore.com bahwa harga satu unit panel surya produk *Peimar SG300M (FB)* sejumlah \$172,20 dengan estimasi biaya penggantian sejumlah 100% dari harga investasi awal sejumlah \$172,20.

Berbeda halnya dengan turbin angin, asumsi ini dikarenakan apabila terjadi gangguan atau kerusakan pada sebuah panel surya biaya penggantian yang dikeluarkan sama dengan membeli unit baru sebab umumnya bila terjadi kerusakan pada panel surya maka langkah terbaik adalah menggantinya dengan unit baru karena umumnya panel surya merupakan satu kesatuan yang utuh. Sedangkan untuk biaya operasional dan perbaikan tidak dikenakan karena umumnya panel surya hanya perlu bersihkan permukaannya dari debu dengan pembersihan sederhana.

4.3.7 Desain Sistem Baterai

Dalam penentuan baterai yang akan digunakan dalam sebuah sistem pembangkit energi terbarukan perlu pertimbangan yang baik. Pada umumnya kapasitas dan durasi penyimpanan dalam sebuah baterai menentukan layak atau tidaknya penggunaan sebuah baterai. Jenis baterai yang digunakan adalah jenis *lead acid* dengan konfigurasi tegangan nominal setiap *battery bank* yaitu 220 volt.

Dalam hal ini dapat menggunakan baterai bertegangan dua volt. Penggunaan baterai bertegangan dua volt dilakukan agar daya yang tersimpan dapat lebih besar karena kapasitas baterai akan bertambah bila dilakukan teknik seri dan paralel. Oleh sebab itu pada perancangan kali ini menggunakan konfigurasi 110 unit baterai bertegangan dua volt yang di seri agar tegangan menjadi 220 volt. Dengan teknik paralel tiga hingga empat kali diharapkan kapasitas penyimpanan akan terpenuhi. Data perbandingan spesifikasi berbagai baterai dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perbandingan Spesifikasi Baterai

<i>Specification</i>	<i>BAE 26 PVS 4940</i>	<i>Surrette 2YS 62P</i>
<i>Manufactures</i>	<i>BAE Batterien GmbH</i>	<i>Surrette Battery Company</i>
<i>Model</i>	<i>26 PVS 4940</i>	<i>2YS 62P</i>
<i>Voltage</i>	<i>2 Volt</i>	<i>2 Volt</i>
<i>Capacity</i>	<i>4854 Ah at 240 h</i>	<i>6853 Ah at 100 h</i>
<i>Battery Type</i>	<i>Lead Acid</i>	<i>Lead Acid</i>
<i>Dimensions (mm)</i>	<i>215 x 580 x 815</i>	<i>695 x 229 x 803</i>
<i>Weight (kg)</i>	<i>232</i>	<i>259</i>
<i>Lifetime</i>	<i>20 years</i>	<i>20 years</i>
<i>Price (Rp)</i>	<i>Rp14.409.549,84</i>	<i>Rp33.906.926,18</i>
<i>Price per Ah (Rp)</i>	<i>Rp2.968,60</i>	<i>Rp4.947,75</i>

Setelah dilakukan perbandingan, maka hal yang perlu dipertimbangkan adalah nilai harga komponen serta usia pakai yang diberikan oleh produsen. Hal tersebut akan berpengaruh pada perencanaan biaya nantinya. Pada baterai produk *BAE 26 PVS 4940* kapasitas yang dimiliki tergolong lebih rendah dibandingkan dengan produk *Surrette 2 YS 62CP*, sehingga untuk harga baterai setiap *ampere hour* lebih rendah dibandingkan produk *Surrette 2 YS 62CP*. Untuk usia pakai produk yang diberikan dari kedua baterai adalah sama. Namun karena akan dibutuhkan lebih banyak jumlah baterai yang digunakan maka baterai yang digunakan adalah *BAE 26 PVS 4940* dengan harga per *unit* Rp14.409.549,84. Tampilan dari baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.20.

**Gambar 4.20** Baterai *BAE 26 PVS 4940*

(Sumber: <https://www.e-solare.com>)

Tampilan konfigurasi desain baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.21.

The screenshot shows the 'DESIGN' window for a 'BAE PVS 4940' battery. The 'Properties' section lists technical specifications for a Kinetic Battery Model. The 'Cost' section includes a table for Capital, Replacement, and O&M costs, along with lifetime parameters like time (years) and throughput (kWh). The 'Sizing' section shows optimization options like 'HOMER Optimizer™'. The 'Site Specific Input' section includes 'String Size' (110) and 'Voltage' (220 V).

Quantity	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/year)
1	14,409,549.84	14,409,549.84	139,665.00

Additional parameters shown in the 'Cost' section:

- Lifetime time (years): 20.00
- throughput (kWh): 9,600.00

Site Specific Input parameters:

- String Size: 110
- Voltage: 220 V
- Initial State of Charge (%): 100.00
- Minimum State of Charge (%): 20.00

Gambar 4.21 Tampilan Konfigurasi Desain Baterai *BAE 26 PVS 4940*
(Sumber: *HOMER*)

Pada gambar 4.21 merupakan tampilan konfigurasi dan desain baterai pada *software HOMER*. Dalam konfigurasi pada baterai juga dibutuhkan data yang meliputi harga investasi, biaya pergantian dan biaya operasional serta pemeliharaan. Berdasarkan harga yang didapatkan dari situs www.e-solare.com untuk harga satu baterai *BAE 26 PVS 4940* sejumlah L4.342,59 dengan kapasitas nominal 9,27 kW. Untuk nilai penggantian sama seperti harga investasi awalnya, sebab bila terjadi kerusakan maka harus mengganti keseluruhan komponen. Pada baterai nilai operasional dan pemeliharaan dibebankan sejumlah \$10 pertahun sebab baterai yang digunakan merupakan tipe *lead acid* yang butuh perawatan dengan penambahan cairan elektrolit bila terlihat mulai berkurang.

4.3.8 Desain Sistem Inverter

Dalam menentukan inverter yang sesuai dengan sistem maka harus menentukan total kapasitas yang dibutuhkan, sehingga nantinya inverter yang digunakan tidak terlampaui tinggi atau kurang kapasitasnya dari kebutuhan sistem. Data perbandingan spesifikasi berbagai inverter dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Perbandingan Spesifikasi Inverter

<i>Specification</i>	<i>Seasun TP-200 kW</i>	<i>Bang Zhao BZP-200 kW</i>
<i>Manufactures</i>	<i>Seasun</i>	<i>Bang Zhao</i>
<i>Type</i>	<i>DC/AC Inverters TP-200 kW</i>	<i>DC/AC Inverters BZP-200 kW</i>
<i>Grid</i>	<i>Off Grid</i>	<i>Off Grid</i>
<i>Rated Output Power</i>	200 kW	200 kW
<i>DC Voltage Range</i>	192 to 384 V	600 V
<i>Maximum DC Voltage</i>	384 V	600 V
<i>Minimum DC Voltage</i>	192 V	600 V
<i>AC Voltage Range</i>	220 V / 382 V	380 V / 400 V 415 V / 440 V
<i>Phase Number</i>	<i>Three Phase + N + G</i>	<i>Three Phase + N</i>
<i>Efficiency Maximum</i>	95,0%	93,0%
<i>Overload Capacity</i>	120%, 20 s > 150%, 100 ms	150%, 5 s
<i>Weight</i>	850 kg	1200 kg
<i>Price (Rp)</i>	Rp232.590.058,00	Rp559.500.000,00

Perbandingan antara kedua inverter dilakukan dengan mempertimbangkan beban puncak dari kedua beban yaitu 161,86 kW, lalu untuk inverter yang digunakan setidaknya melebihi dari kapasitas beban yang digunakan. Setelah melakukan perbandingan spesifikasi inverter seperti tabel diatas, pada tabel tersebut terlihat bahwa inverter *Seasun TP-200 kW* jauh lebih murah dan efisien serta mendukung tegangan masukan yang lebih rendah dibandingkan inverter *Bang Zhao*

BZP-200kW. Gambar 4.22 berikut merupakan tampilan dari inverter *Seasun TP-200kW*.



Gambar 4.22 Inverter *Seasun TP-200 kW*

(Sumber: <https://www.alibaba.com>)

Tampilan konfigurasi desain inverter *Seasun TP-200kW* dapat dilihat pada gambar 4.23.

DESIGN

CONVERTER Seasun TP-200kW Name: Seasun TP-200kW

Abbreviation: TP-200

Properties

Name: Seasun TP-200kW
Abbreviation: TP-200kW
www.homerenergy.com
Notes: This is a generic system converter.

Costs

Capacity (kW)	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp/year)
200	Rp232,590,058.55	Rp232,590,058.55	Rp0.0

Multiplier:

Capacity Optimization

HOMER Optimizer™
 Search Space

Size (kW)
200

Generic
homerenergy.com

Inverter Input

Lifetime (years):
Efficiency (%):
 Parallel with AC generator?

Rectifier Input

Relative Capacity (%):
Efficiency (%):

SPARKMETER ⚡

Gambar 4.23 Tampilan Konfigurasi Desain Inverter *Seasun TP-200kW*

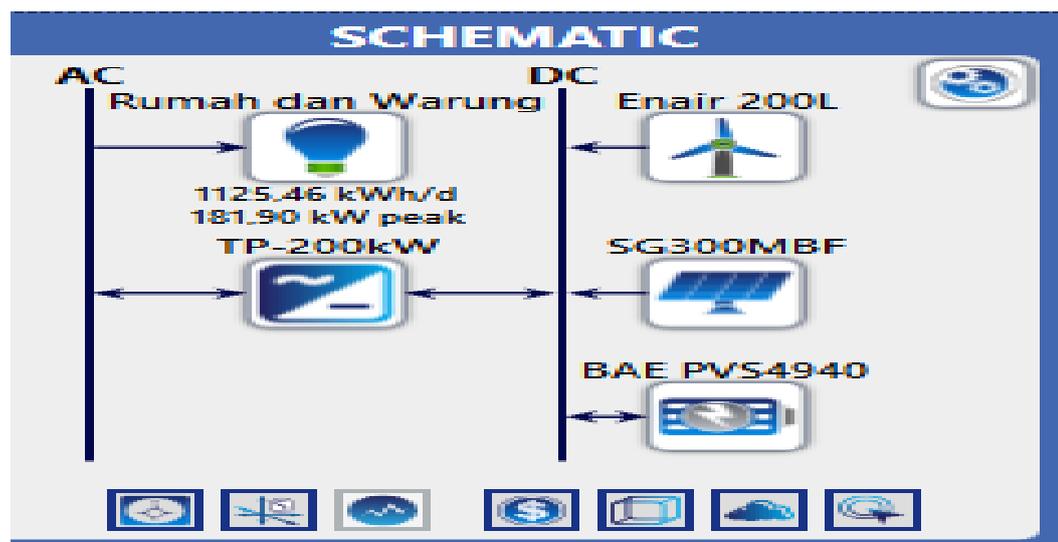
(Sumber: HOMER)

Pada gambar 4.23 merupakan tampilan konfigurasi dan desain inverter pada *software HOMER*. Seperti desain pada komponen lainnya, dalam konfigurasi pada inverter juga dibutuhkan data yang meliputi harga investasi inverter, biaya pergantian dan biaya operasional dan pemeliharaan bila ada. Berdasarkan harga yang di dapatkan dari situs www.alibaba.com untuk harga satu inverter *Seasun TP-200 kW* sejumlah \$16,591 dengan kapasitas 200 kW. Untuk nilai penggantian sama seperti harga investasi awalnya, sebab bila terjadi kerusakan maka harus mengganti keseluruhan komponen. Pada inverter nilai operasional dan pemeliharaan umumnya tidak diperlukan sebab perawatan pada inverter hanya pengecekan tegangan dan daya inverter saja.

4.4 Simulasi dan Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik

4.4.1 Simulasi Sistem Pembangkit *HOMER*

Setelah melakukan pemilihan dan konfigurasi terhadap komponen yang akan digunakan, *software HOMER* akan melakukan simulasi terhadap konfigurasi tersebut dengan memberikan hasil beberapa konfigurasi sistem pembangkit dan salah satunya merupakan konfigurasi sistem pembangkit terbaik menurut *software HOMER*. Tampilan data beban dan pemilihan komponen perencanaan PLTH pada *software HOMER* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Data Beban dan Pemilihan Komponen

(Sumber: *HOMER*)

Pada gambar 4.24 mengenai data beban dan pemilihan komponen yang dilakukan dalam perencanaan sistem PLTH dengan beban primer yang tercatat sejumlah 1.125,46 kWh/d dengan total beban puncak mencapai 181,90 kW pada rangkaian AC. Pada rangkaian DC sistem ini terdapat kombinasi antara panel surya *Peimar SG300M (FB)* sebagai sumber energi listrik utama saat siang hari dan turbin angin *Enair 200L* sebagai sumber energi listrik pembantu pada siang hari dan sumber energi listrik utama pada malam hari. Terdapat baterai dengan produk *BAE 26 PVS 4940* sebagai penyimpanan utama sumber energi listrik dan inverter dengan produk *Seasun TP-200 kW* sebagai komponen pengubah arus DC dari rangkaian sumber energi listrik dan baterai menjadi arus AC pada rangkaian beban.

Setelah memasukkan nilai beban dan pemilihan komponen, *software HOMER* dapat mensimulasi hasil dari konfigurasi tersebut. Di mana lebih dari 100.000 simulasi dapat ditampilkan dari sebuah konfigurasi. Sehingga dapat diketahui hasil sistem terbaik yang sesuai dengan ketentuan *software HOMER*. Hasil simulasi konfigurasi *HOMER* dapat dilihat pada gambar 4.25.

Architecture		Cost				System						
SG300MBF (kW)	Enair 200L	BAE PVS4940	TP-200kW (kW)	Dispatch	CCE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Cap Short (%)	Excess Elec (%)	Unmet load (%)
436	330	200	CC		Rp1.778	Rp13,28	Rp263M	Rp8,47B	100	0,0907	33,6	0,0586
426	1	330	200	CC	Rp1.848	Rp13,88	Rp246M	Rp9,31B	100	0,0596	35,2	0,0426
38	2.750	200	CC		Rp12.731	Rp94,98	Rp1,11B	Rp74,88	100	0,0735	60,8	0,0430

Gambar 4.25 Hasil Simulasi Konfigurasi *HOMER*

(Sumber: *HOMER*)

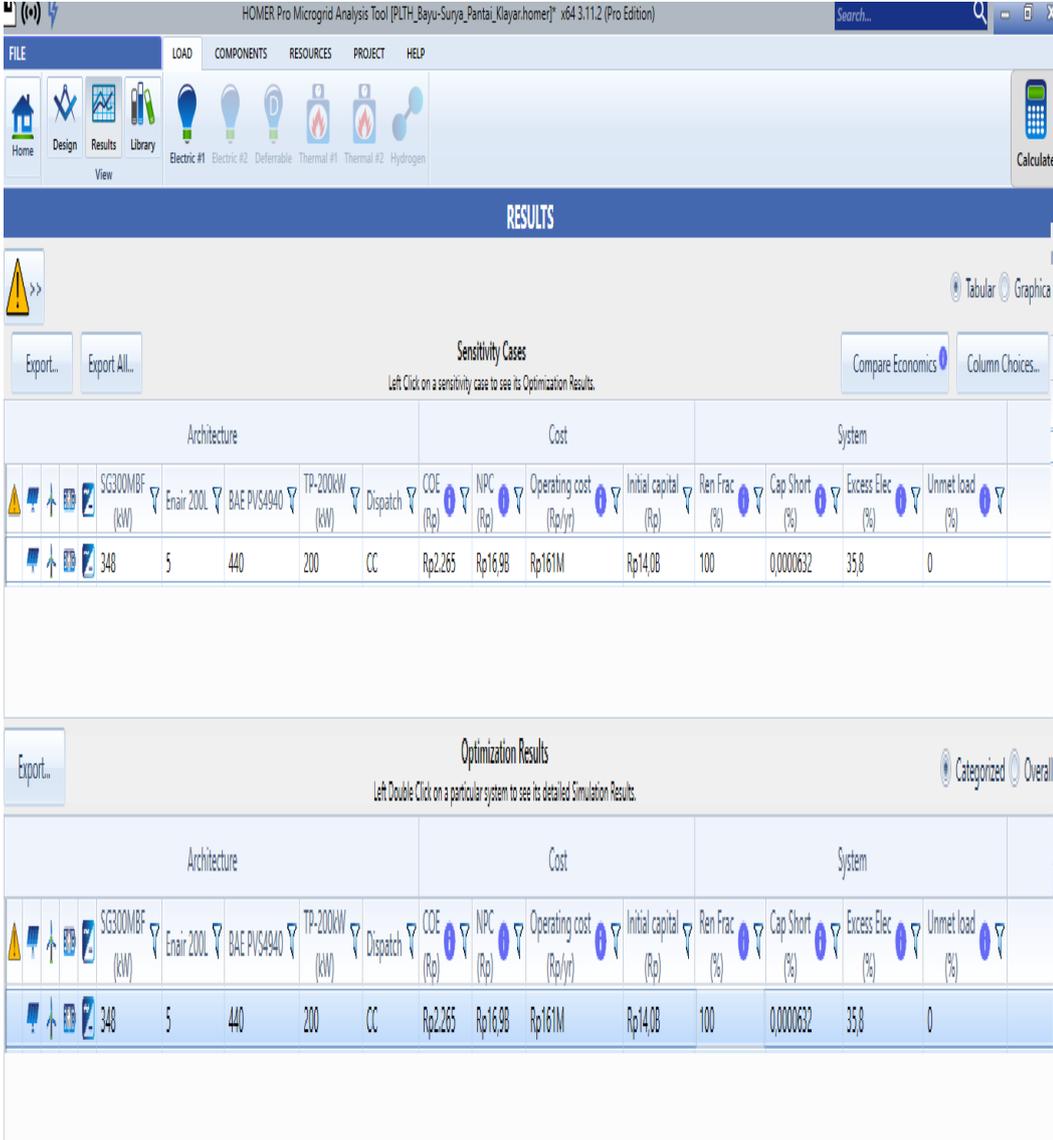
Pada gambar 4.25 dapat dilihat hasil analisis terbaik *software HOMER* terdapat penggunaan panel surya dalam jumlah yang banyak dan bahkan sama sekali tidak menggunakan turbin angin sehingga terdapat nilai *capacity shortage* dan *unmet load* yang cukup besar. Hal ini terjadi sebab saat malam hari baterai tidak dapat menerima energi listrik dari panel surya sehingga saat pagi hari baterai tidak dapat memberikan energi yang cukup. *Software HOMER* akan menetapkan konfigurasi dengan sistem terbaik berdasarkan dua sektor yaitu *cost* dan *system*. Pada sektor keuangan *software HOMER* akan mengurutkan dari *Net Present Cost (NPC)* dan *Cost Of Energy (COE)* terendah.

Dalam sektor sistem, *software HOMER* akan memastikan energi yang tersisa lebih sedikit serta rendahnya persentase kekurangan daya dan beban tidak terpenuhi. Akan tetapi bila dilihat pada sektor *cost* dan *energy* terendah penggunaan turbin angin tergolong tidak diperlukan sebab harga sebuah turbin terbilang cukup mahal bila dibandingkan dengan panel surya dengan daya keluaran yang sama. Maka dari itu untuk desain perencanaan sistem PLTH yang terbaik di daerah Pantai Klayar berdasarkan hasil dari simulasi terbaik menurut *software HOMER* yaitu dengan arsitektur 436 unit panel surya *Peimar SG300M (FB)*, 330 unit baterai *BAE 26 PVS 4940* dan inverter dengan kapasitas 200kW.

4.4.2 Konfigurasi Sistem Pembangkit Terbaik

Pada analisis konfigurasi terbaik ini peneliti memilih untuk menambah jumlah turbin angin dan baterai yang digunakan serta menurunkan jumlah panel surya sehingga peneliti tidak mengambil hasil konfigurasi terbaik dari *HOMER*. Dapat dilihat pada gambar 4.26 dengan kombinasi arsitektur lima unit turbin angin jenis Enair 200L, panel surya *Peimar SG300M (FB)* berdaya 354 kW, 440 unit baterai *BAE 26 PVS 4940* dan inverter dengan kapasitas 200kW. Alasannya adalah untuk menghindari terjadinya kondisi beban tidak terpenuhi dan kekosongan kapasitas cukup besar yang menyebabkan terjadinya pemadaman dan kerusakan pada sistem penyimpanan energi listrik dan penyaluran energi listrik yaitu baterai dan inverter. Beban puncak yang bisa saja terjadi sewaktu-waktu sepanjang malam hingga pagi hari saat kapasitas penyimpanan energi listrik hanya bersumber dari

turbin angin sehingga tidak dapat menghasilkan energi listrik cukup besar. Konfigurasi sistem pilihan optimal penulis dalam perencanaan sistem PLTH lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.26.



The screenshot shows the HOMER Pro Microgrid Analysis Tool interface. The 'RESULTS' window is active, displaying two tables: 'Sensitivity Cases' and 'Optimization Results'. Both tables show the same data for the optimal configuration.

Architecture							Cost			System			
SG300MBF (kW)	Enair 200L	BAE PVS4940	TP-200kW (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Cap Short (%)	Excess Elec (%)	Unmet load (%)	
348	5	440	200	CC	Rp2.265	Rp16.98	Rp161M	Rp14,0B	100	0,0000632	35,8	0	

Gambar 4.26 Simulasi Konfigurasi Optimal

(Sumber: *HOMER*)

Data hasil simulasi konfigurasi optimal menurut penulis dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data Konfigurasi Optimal

	Konfigurasi	Keterangan
<i>Wind Turbine</i> (unit)	5 Unit	Turbin angin <i>Enair 200L (10kW)</i> yang digunakan berjumlah lima unit.
<i>Photovoltaic</i>	348 kW 1.160 Unit	Panel surya <i>Peimar SG300M (FB)</i> yang digunakan berjumlah 348 kW atau 1.160 unit.
<i>Battery</i> (unit)	440 Unit	Jumlah baterai <i>BAE PVS 4940</i> yang digunakan berjumlah 440 unit.
<i>Converter</i> (kW)	200 kW	Penggunaan inverter <i>Seasun TP-200 kW</i> guna memenuhi kapasitas beban puncak sejumlah 181,90 kW.
<i>Net Present Cost</i> (NPC)	Rp16.880.620.000,00	Total biaya pengeluaran sekarang dikurangi surplus.
<i>Cost Of Energy</i> (COE)	Rp2.265,00	Rata-rata harga per kWh dari energi listrik yang dihasilkan pembangkit.
<i>Operating Cost</i> (Rp/th)	Rp161.481.600,00	Total biaya operasional untuk pemeliharaan seluruh komponen setiap tahun.
<i>Initial Capital</i> (Rp)	Rp13.950.391.049,00	Total biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan sistem PLTH.
<i>Renewable Fraction</i> (%)	100%	Energi yang dikirim ke beban 100% menggunakan energi terbarukan.

Tabel 4.13 Data Konfigurasi Optimal (Lanjutan)

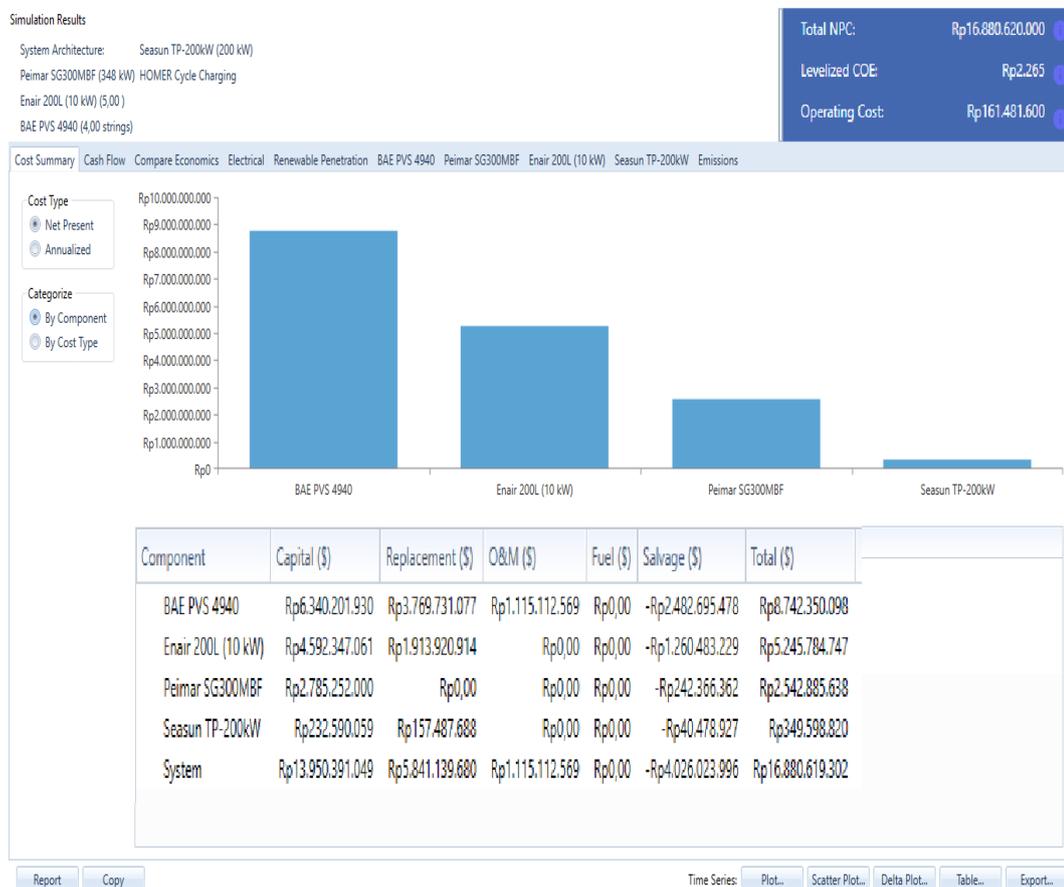
	Konfigurasi	Keterangan
<i>Capacity Shortage</i> (%)	0,0000632%	Kekosongan kapasitas penyimpanan akibat tingginya konsumsi beban saat kekurangan sumber energi.
<i>Excess Electricity</i> (%)	35,8%	Kelebihan energi listrik dari sistem pembangkit dan tidak digunakan.
<i>Unmet Load</i> (%)	0%	Daya tidak terpenuhi oleh sistem pembangkit dan penyimpanan energi

Rancangan dan konfigurasi sebuah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida agar dapat menghasilkan energi listrik yang optimal untuk wilayah Pantai Klayar, Pacitan, Jawa Timur pada perangkat lunak *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER)* adalah dengan menetapkan konfigurasi dengan sistem terbaik yaitu dengan nilai *Net Present Cost (NPC)* dan *Cost Of Energy (COE)* terendah serta nilai *excess electricity* dan *unmet load* terendah. Maka dari itu untuk desain perencanaan sistem PLTH yang optimal di sekitar Pantai Klayar berdasarkan hasil konfigurasi *HOMER* yaitu dengan arsitektur 5 unit turbin angin *Enair 200L* berkapasitas 50 kW, 1.160 unit panel surya *Peimar SG300M (FB)* berkapasitas 348 kW, 440 unit baterai *BAE 26 PVS 4940* berkapasitas 4.078 kWh, serta 1 unit inverter *Seasun TP-200kW* berkapasitas 200 kW.

4.5 Analisis Keuangan Sistem Pembangkit

Berdasarkan harga dan konfigurasi keuangan yang telah dimasukkan pada setiap komponen yang digunakan, *HOMER* akan secara otomatis menghitung total dari setiap komponen. Biaya yang akan dianalisis pada hasil simulasi perancangan sistem pembangkit ini adalah biaya pada konfigurasi sistem paling optimal menurut peneliti.

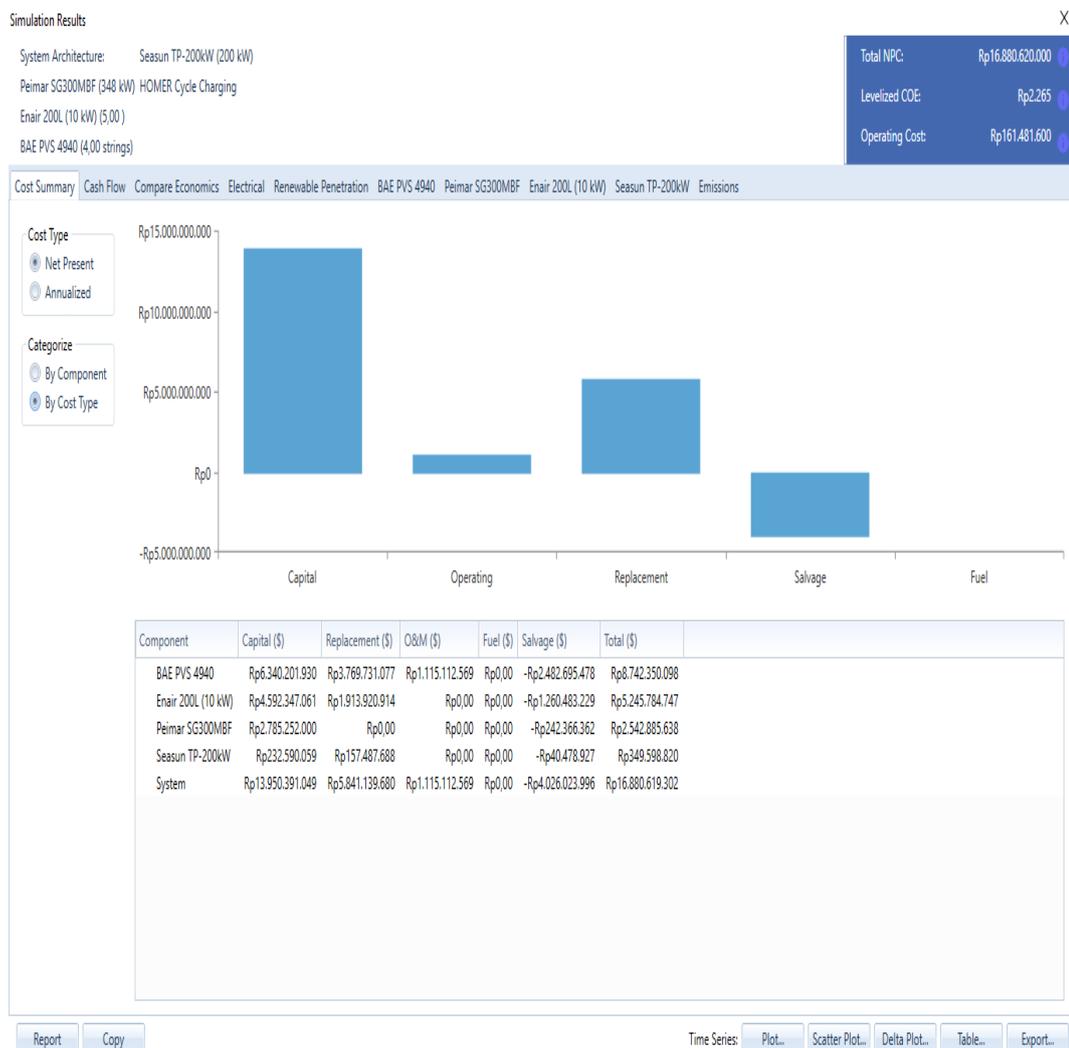
Tampilan analisis keuangan berdasarkan komponen dapat dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.27 Analisis Keuangan Berdasarkan Komponen
 (Sumber: HOMER)

Dalam analisis biaya sistem PLTH (tenaga bayu dan tenaga surya) berdasarkan komponen, HOMER akan mengkalkulasikan semua jumlah komponen yang sudah dipilih dengan kondisi keuangan yang telah ditetapkan di awal perancangan. Dapat dilihat pada gambar 4.27 mengenai total biaya tiap komponen di mana tercatat biaya terbesar dalam sistem ini pada komponen baterai dengan total investasi sejumlah Rp6.340.201.930,00. Invertasi terbesar juga disusul dengan biaya komponen turbin angin sejumlah Rp4.592.347.061,00 dan biaya komponen panel surya sejumlah Rp2.785.252.000,00 serta biaya komponen inverter sejumlah Rp232.590.059,00. Total investasi keseluruhan komponen adalah sejumlah Rp13.998.412.635,00.

Tampilan analisis keuangan berdasarkan jenis pembiayaan dapat dilihat pada gambar 4.28.



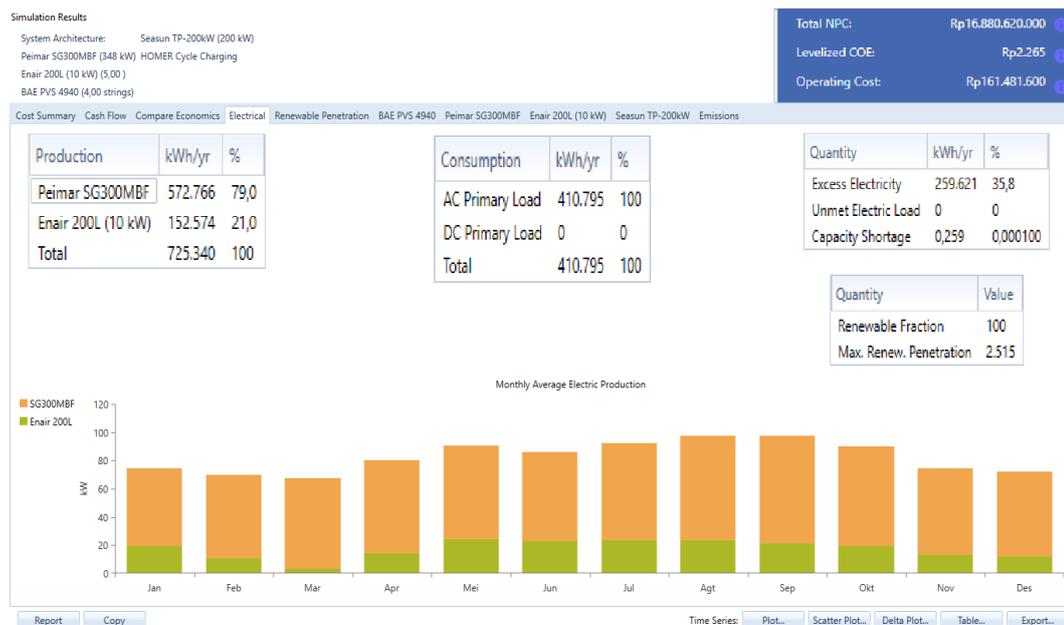
Gambar 4.28 Analisis Keuangan Berdasarkan Jenis Pembiayaan

(Sumber: HOMER)

Pada gambar 4.28 merupakan hasil analisis keuangan berdasarkan jenis pembiayaan di mana terdapat biaya *replacement* keseluruhan komponen selama 25 tahun sejumlah Rp5.841.139.680,00 dan biaya operasional sejumlah Rp1.115.112.569,00 dengan *salvage* sejumlah -Rp4.026.023.996,00. Pada konfigurasi ini tercatat *Net Present Cost (NPC)* atau biaya sekarang dari sistem pembangkit ini sejumlah Rp16.880.620.000,00 dengan perkiraan harga energi listrik (*Levelized Cost Of Energy*) setiap kWh sejumlah Rp2.265,00.

4.6 Analisis Hasil Energi Sistem Pembangkit

Dari hasil simulasi sistem PLTH yang telah dilakukan pada *software HOMER* dengan konfigurasi optimal. Tampilan analisis hasil kelistrikan sistem pembangkit optimal dapat dilihat pada gambar 4.29.



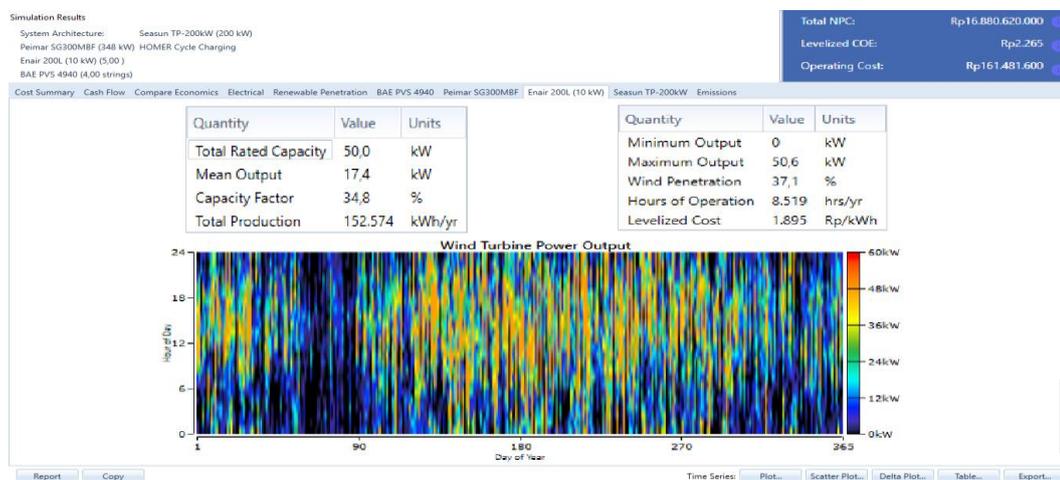
Gambar 4.29 Analisis Hasil Kelistrikan Sistem Pembangkit Optimal

(Sumber: *HOMER*)

Pada gambar 4.29 dapat dilihat kebutuhan *AC Primary Load* dalam satu tahun mencapai 410.795 kWh dalam satu tahun. Adapun total energi yang dihasilkan dari turbin angin dan panel surya sejumlah 725.340 kWh dalam satu tahun. Sehingga kelebihan daya yang tersisa (*excess electricity*) sejumlah 259.621 kWh atau 35,8% dalam satu tahun. Total energi yang dihasilkan merupakan kombinasi antara energi yang dihasilkan turbin angin sejumlah 152.574 kWh (21,0%) dan energi yang dihasilkan panel surya sejumlah 572.766 kWh (79,0%) dalam satu tahun. Kelebihan energi listrik yang tidak terpakai dapat digunakan untuk mensuplai energi listrik beberapa fasilitas umum yang umumnya hanya penerangan sederhana. Pada sistem ini tidak terdapat masalah beban tidak terpenuhi (*unmet electric load*) dan hanya menyisakan sedikit masalah yang tidak begitu mengganggu yaitu kekosongan kapasitas energi (*capacity shortage*) sejumlah 0,259 kWh dalam satu tahun atau setara dengan 0,000100%.

Dari grafik perbandingan produksi energi listrik terlihat bahwa energi listrik yang di produksi oleh turbin angin sangat sedikit dikarenakan total penggunaan turbin angin yang hanya berdaya 50 kW. Sedikitnya penggunaan turbin angin disebabkan biaya investasi turbin angin yang cukup mahal sedangkan energi yang dihasilkan sangat sedikit dibandingkan panel surya. Akibatnya penggunaan turbin angin hanya sedikit sehingga mempengaruhi terhadap sedikitnya energi listrik yang dapat dihasilkan turbin angin. Berbeda halnya dengan panel surya terlihat bahwa energi listrik yang dihasilkan panel surya tergolong besar dan stabil. Hal ini dikarenakan penggunaan panel surya yang cukup banyak yang disebabkan biaya investasi yang murah. Akibatnya penggunaan panel surya dapat lebih banyak sehingga mempengaruhi terhadap besarnya energi listrik yang dihasilkan panel surya.

Tampilan analisis hasil energi turbin angin *Enair 200L* dapat dilihat pada gambar 4.30.



Gambar 4.30 Analisis Energi Turbin Angin *Enair 200L*

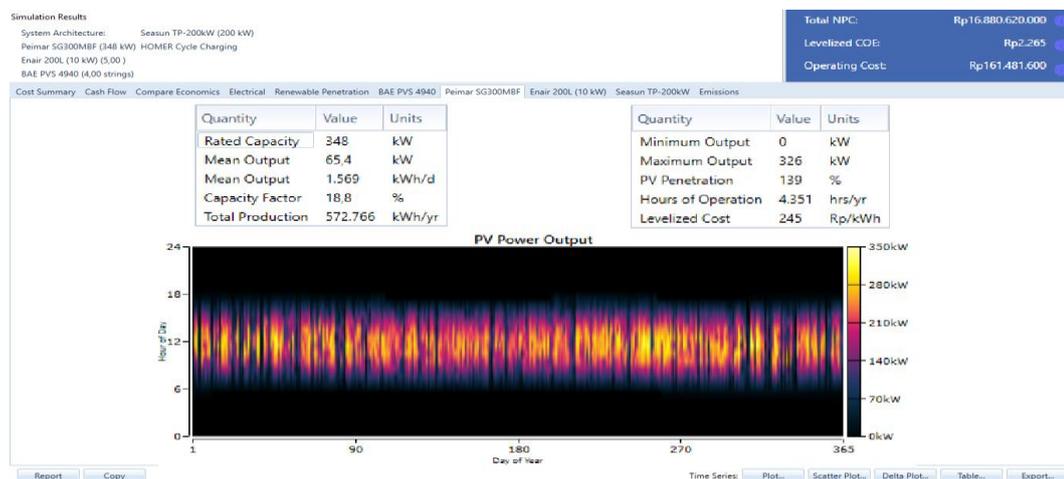
(Sumber: *HOMER*)

Pada gambar 4.30 ditampilkan analisis energi yang dihasilkan oleh turbin angin *Enair 200L* dalam satu tahun. Dari data yang ditampilkan terlihat bahwa konfigurasi lima turbin angin menghasilkan total energi listrik sejumlah 152.574 kWh per tahun dengan beroperasi selama 8.519 jam. Dari total kapasitas 50 kW, energi rata-rata yang dapat dihasilkan sejumlah 17,4 kW dengan faktor kapasitas sejumlah 34,8%.

Pada grafik yang ditampilkan terlihat energi listrik yang dihasilkan pada bulan Maret sangat sedikit dan hanya meningkat di awal dan pertengahan tahun. Adapun energi listrik paling besar yang dihasilkan seluruh turbin angin sejumlah 50,6 kW dengan *wind penetration* sejumlah 37,1%. *Levelized cost* yang diperkirakan dalam sistem turbin angin ini sejumlah Rp1.895,00 per kWh.

Dari grafik energi listrik dapat dilihat bahwa kondisi terendah terjadi pada bulan Maret dikarenakan musim pancaroba, sehingga menyebabkan laju angin melambat dan arah angin yang tidak teratur. Akibatnya turbin angin juga berputar lambat yang mempengaruhi terhadap sedikitnya energi listrik yang di hasilkan turbin angin. Kondisi tertinggi dari energi listrik yang di produksi turbin angin terjadi pada bulan Mei hingga bulan September. Hal ini dikarenakan Indonesia sedang mengalami musim kemarau serta pengaruh angin muson barat dan angin muson timur sehingga menyebabkan laju dan arah angin tergolong tinggi dan stabil. Akibatnya turbin angin juga berputar lebih cepat dan konstan sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang dihasilkan turbin angin.

Tampilan analisis hasil energi panel surya *Peimar SG300M (FB)* dapat dilihat pada gambar 4.31.



Gambar 4.31 Analisis Energi Fotovoltaik *Peimar SG300M (FB)*

(Sumber: *HOMER*)

Pada gambar 4.31 ditampilkan analisis energi yang dihasilkan oleh panel surya *Peimar SG300M (FB)* dalam satu tahun. Dari data yang ditampilkan dilihat bahwa konfigurasi 1.160 unit panel surya menghasilkan total energi listrik sejumlah

572.766 kWh/tahun dengan beroperasi selama 4.351 jam. Dari total kapasitas 348 kW, energi rata-rata yang dapat dihasilkan sejumlah 65,4 kW dengan faktor kapasitas 18,8%. Pada grafik yang ditampilkan terlihat energi listrik yang dihasilkan hampir merata disetiap tahun dengan rata-rata beroperasi maksimal pada siang hari. Adapun energi listrik paling besar yang dihasilkan seluruh panel surya sejumlah 326 kW dengan *PV penetration* sejumlah 139%. *Levelized cost* yang diperkirakan dalam sistem panel surya ini sejumlah Rp245,00 per kWh.

Dari grafik energi listrik dapat dilihat bahwa kondisi terendah terjadi pada awal tahun dan akhir tahun dikarenakan musim penghujan dan pengaruh angin muson barat. Hal ini menyebabkan radiasi harian matahari juga menurun. Akibatnya panel surya hanya mendapat sedikit pancaran sinar matahari sehingga mempengaruhi terhadap sedikitnya energi listrik yang di hasilkan panel surya. Kondisi tertinggi dari energi listrik yang di produksi panel surya terjadi pada pertengahan tahun. Hal ini dikarenakan Indonesia sedang mengalami musim kemarau serta pengaruh angin muson timur sehingga menyebabkan radiasi harian matahari tergolong tinggi dan stabil. Akibatnya panel surya dapat terus mendapatkan penyinaran matahari secara konstan sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang dihasilkan panel surya.

Tampilan analisis hasil energi baterai *BAE 26 PVS 4940* dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32 Analisis Energi Baterai *BAE 26 PVS 4940*

(Sumber: *HOMER*)

Pada gambar 4.32 ditampilkan analisis energi yang tersimpan oleh baterai *BAE 26 PVS 4940* dalam satu tahun. Dari data yang ditampilkan dilihat bahwa konfigurasi 440 unit baterai yang di rangkai seri (*string size*) 110 unit dan di rangkai paralel (*strings in parallel*) empat kali sehingga tegangan pada *bus voltage* menjadi 220 VDC, dapat menyimpan total energi listrik tahunan (*annual throughput*) sejumlah 208.943 kWh per tahun dengan harapan masa pakai (*expected life*) baterai mencapai 20 tahun. Dari *nominal capacity* 4.078 kWh, energi nominal yang digunakan sejumlah 3.263 kWh. *Nominal capacity* merupakan jumlah energi yang dapat ditarik dari baterai pada arus konstan tertentu, mulai dari keadaan terisi penuh.

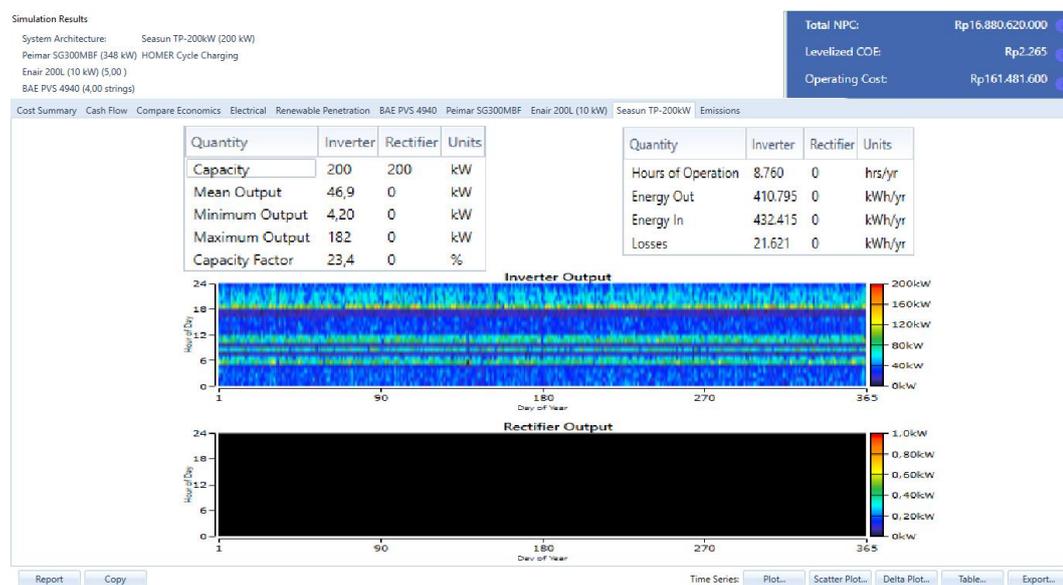
Pada grafik yang ditampilkan terlihat energi listrik yang dihasilkan turbin angin dan panel surya mengalami penurunan cukup drastis menjelang hari ke-90 dan menjelang hari ke-365 sehingga energi listrik yang diterima baterai juga mengalami penurunan. Pada umumnya kondisi penurunan energi listrik terjadi akibat panel surya dengan daya cukup besar hanya dapat beroperasi optimal bila cuaca cerah pada siang hari serta kondisi laju angin pada bulan Maret dan Desember yang terbilang cukup lambat.

Dari grafik energi listrik yang tersimpan dalam baterai dapat dilihat bahwa terjadi kekosongan penyimpanan energi pada bulan Maret dan bulan Desember dikarenakan pengaruh kondisi cuaca. Hal ini disebabkan sumber tenaga bayu dan tenaga surya yang tidak dapat menggerakkan turbin angin dan menyinari panel surya dengan maksimal. Akibatnya turbin angin dan panel surya tidak mampu memenuhi kebutuhan kapasitas penyimpanan pada baterai sehingga mempengaruhi terhadap sedikitnya energi listrik yang tersimpan pada baterai. Kondisi tertinggi dari energi listrik yang dapat di simpan oleh baterai terjadi pada pertengahan tahun. Hal ini dikarenakan Indonesia sedang mengalami musim kemarau serta pengaruh angin muson timur sehingga menyebabkan laju angin dan radiasi harian matahari tergolong tinggi dan stabil. Akibatnya turbin angin dan panel surya dapat terus mendapatkan *supply* energi dari alam secara konstan sehingga berpengaruh terhadap banyaknya energi listrik yang dapat disimpan pada baterai.

Pada sistem PLTH ini, energi listrik yang dihasilkan tidak dapat digunakan sepenuhnya sebab terdapat rugi-rugi daya atau *losses* sebesar 33.941 kWh per tahun

yang terjadi pada sistem penyimpanan baterai. Adapun energi listrik yang diterima oleh baterai sejumlah 225.940 kWh per tahun dan energi listrik yang dikeluarkan oleh baterai sejumlah 192.636 kWh per tahun. Biaya penyimpanan energi (*storage wear cost*) yang diperkirakan dalam sistem baterai ini sejumlah Rp1.628,00 per kWh.

Tampilan analisis hasil energi inverter *Seasun TP-200 kW* dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 4.33 Analisis Energi Inverter *Seasun TP-200 kW*

(Sumber: *HOMER*)

Pada gambar 4.33 menampilkan hasil analisis energi untuk sistem inverter dimana kapasitas (*capacity*) yang digunakan sejumlah 200 kW dengan rata-rata keluaran (*mean output*) yang dikonversi sejumlah 46,9 kW. Pada sistem inverter ini puncak konsumsi energi dari beban masih dapat dikonversi dengan aman oleh inverter, sebab tidak ada puncak konsumsi energi yang melebihi kapasitas maksimal dari inverter yang digunakan. Adapun keluaran minimal (*minimum output*) yang dikonversi sejumlah 4,20 kW dan keluaran maksimal (*maximum output*) yang dikonversi sejumlah 182 kW.

Dapat dilihat pada tampilan grafik keluaran inverter (*inverter output*) bahwa puncak energi maksimal terjadi saat pagi hari hingga menuju siang hari dan terjadi juga pada awal malam hari. Sistem konverter mengalami rugi-rugi daya (*losses*)

sebesar 21.621 kWh per tahun dimana energi yang dikonversi (*energy out*) hanya sejumlah 410.795 kWh per tahun dari energi yang diterima (*energy in*) sejumlah 432.415 kWh per tahun.

Dari grafik energi listrik yang dikonversi oleh inverter dapat dilihat bahwa besarnya energi listrik yang di konversi hampir merata sepanjang tahun. Pola konversi energi pada inverter berubah setiap waktunya mengikuti konfigurasi yang telah ditetapkan pada beban. Pada grafik terlihat naik-turunnya energi listrik yang dikonversi inverter mengikuti pola konsumsi beban. Hal ini dikarenakan fungsi inverter yang mengikuti kebutuhan beban. Akibatnya inverter dapat bekerja cukup optimal dan efisien karena juga dipengaruhi oleh beban yang tidak berlebih. Sehingga mempengaruhi terhadap stabilnya energi listrik yang dapat dikonversi oleh inverter.