

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Demografi Wilayah

Kabupaten Gunungkidul merupakan salah satu kabupaten dari Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan Wonosari sebagai ibukotanya. Kabupaten Gunungkidul ini memiliki luas wilayah 1.485,36 km² atau sekitar 46,63 % dari luas wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kabupaten Gunungkidul terdiri dari 18 kecamatan, 144 desa, 1416 dusun, 1583 RW, dan 6844 RT. Letak geografis Kabupaten ini 110°21' - 110°50' Bujur Timur dan 7°46' - 8°09' Lintang Selatan. Batas Wilayah Kabupaten Gunungkidul yaitu Kabupaten Bantul dan Sleman (Provinsi DIY) Sebelah Barat, Kabupaten Klaten dan Sukoharjo (Provinsi Jawa Tengah) Sebelah Utara, Kabupaten Wonogiri (Provinsi Jawa Tengah) Sebelah Timur, dan Samudera Hindia Sebelah Selatan.

4.2. Pengumpulan Data

4.2.1. Lokasi Penelitian Potensi Sumber Daya Angin

Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan pada sekitaran Pantai Indrayanti, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, DIY. Daerah ini memiliki kecepatan angin yang bisa dimanfaatkan sebagai penghasil listrik. Oleh karena itu penelitian ini dilaksanakan guna mengetahui potensi energi angin yang ada untuk menjadi energi alternatif dalam penyediaan energi listrik yang optimal khususnya di daerah sekitar Pantai.

4.2.2. Data Laju Angin

Nilai untuk laju angin pada penelitian ini diperoleh dari database Surface Meteorology and Wind Energy (SSE) milik National Aeronautic and Space Administration (NASA) dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta.

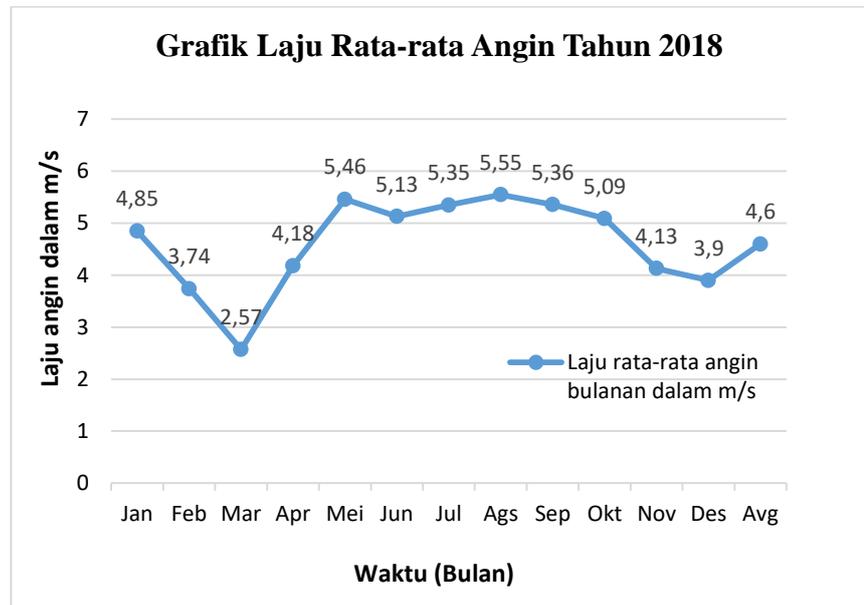
1. Data Laju angin NASA SSE

Untuk memperoleh data dari NASA SSE tersebut diperlukan titik koordinat lokasi penelitian yang akan dipasang PLTB. Berikut adalah grafik laju angin yang diperoleh dari database NASA SSE dengan titik koordinat lokasi yaitu latitude - 8.150193 longitude 110.6120663 dan altitude 10 meter:

Tabel 4.1 Tabel Laju Rata-Rata Angin Tahun 2018 di Daerah Sekitar Pantai Indrayanti

Bulan	Laju dalam m/s
Januari	4,85
Februari	3,74
Maret	2,57
April	4,18
Mei	5,46
Juni	5,13
Juli	5,35
Agustus	5,55
September	5,36
Oktober	5,09
November	4,13
Desember	3,90

(Sumber: NASA SSE Tahun 2018)



Gambar 4.1 Grafik Laju Rata-Rata Angin Tahun 2018 di Daerah Sekitar Pantai Indrayanti

(Sumber: NASA SSE Tahun 2018)

Berdasarkan data dari NASA SSE pada tabel dan grafik diatas, penulis mendapatkan laju rata-rata angin setiap bulan sepanjang tahun 2018. Tercatat laju rata-rata angin pada sekitaran kawasan Pantai Indrayanti sepanjang tahun 2018 adalah 4,60 m/s.

2. Data Laju angin BMKG Yogyakarta

Data yang diperoleh dari BMKG ini merupakan data lapangan atau pengukuran langsung pada titik yang ditetapkan oleh BMKG. Akan tetapi data ini tidak bisa dijadikan inputan pada HOMER. Karena titik lokasi laju angin yang didapatkan dari data ini bukan titik dari lokasi yang akan dijadikan penelitian mengenai PLTB nantinya. Dimana data BMKG ini menurut sumber yang didapatkan, pengukuran laju angin ini dilakukan pada titik koordinat lokasi yaitu latitude -7.73100 longitude

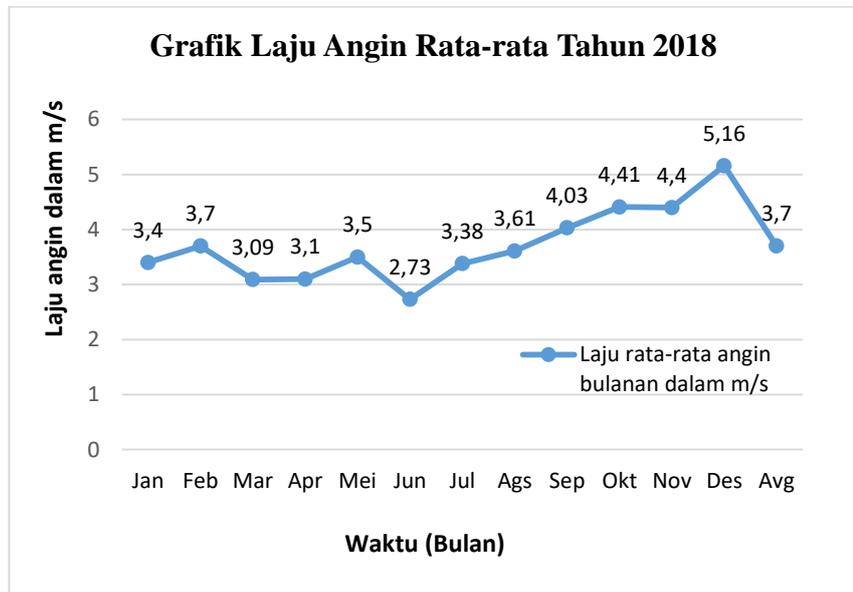
110.35400 dengan menggunakan alat AWS dengan ketinggian 10 meter.

Berikut adalah grafik laju angin yang diperoleh dari database BMKG Yogyakarta di Stasiun Klimatologi Mlati pada titik koordinat lokasi yaitu latitude -7.73100 longitude 110.35400. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 4.2 Tabel Laju Rata-Rata Angin Tahun 2018 di Yogyakarta

Bulan	Laju dalam m/s
Januari	3,40
Februari	3,70
Maret	3,09
April	3,10
Mei	3,50
Juni	2,73
Juli	3,38
Agustus	3,61
September	4,03
Oktober	4,41
November	4,40
Desember	5,16

(Sumber: BMKG Yogyakarta)



Gambar 4.2 Grafik Laju Rata-Rata Angin Tahun 2018 di Yogyakarta
(Sumber: BMKG Yogyakarta)

Berdasarkan data yang didapatkan dari BMKG Yogyakarta dapat dilihat pada tabel dan grafik atas, bahwa laju angin rata-rata yang didapat selama setahun yaitu 3,70 m/s. Jika dibandingkan dengan data laju yang didapatkan dari NASA SSE data angin dari BMKG ini lebih rendah. Faktor yang mempengaruhi perbedaan laju angin yang didapatkan antara NASA SSE dan BMKG mungkin disebabkan antara lain lokasi titik pengambilan data, tinggi dari pengukuran, serta iklim dari daerah tersebut.

4.2.3. Jumlah Rumah Tangga

Berikut ini adalah data jumlah rumah tangga yang berada di sekitaran Pantai Indrayanti di Desa Tepus, hasil data berikut di dapatkan dari laporan kependudukan Desa Tepus pada bulan Desember tahun 2018.

Tabel 4.3 Jumlah Rumah Tangga di Desa Tepus

No.	Jenis	Jumlah
1	Jumlah kartu keluarga di Desa Tepus	2.379
2	Rumah tangga sekitar Pantai	$167 \times (90\%) = 150$

(Sumber : Laporan kependudukan Desa Tepus tahun 2018)

Berdasarkan dari keterangan tabel diatas dapat diketahui bahwa jumlah kartu keluarga yang berada di desa Tepus berjumlah 2.379. Berhubung jumlah rumah tangga yang di ambil yaitu hanya pada Desa Tepus dan karena Pantai Indrayanti berada pada Pedukuhan Ngasem dan jumlah kartu keluarga yang berada di Pedukuhan Ngasem sebanyak 167, maka jumlah rumah tangga sekitar Pantai sebanyak 150. Hasil ini diperoleh dari wawancara bersama kepala desa dari Desa Tepus yang mengatakan bahwa untuk jumlah rumah yang ada itu tidak jauh berbeda dengan jumlah kartu keluarga yang ada atau data laporan kependudukan ini 90% dapat digunakan. Data tersebut dapat dilihat pada lampiran.

4.2.4. Beban Energi Listrik

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan sistem *off-grid*, pemanfaatan energi terbarukan mengharuskan agar menghitung kebutuhan energi harian. Hal ini dilakukan karena nilai dari kapasitas sistem *off-grid* ini yang terbatas serta agar dapat memenuhi kebutuhan beban yang lebih optimal. Dibawah ini merupakan tabel beban energi listrik berdasarkan lokasi disekitaran Pantai Indrayanti.

Tabel 4.4 Beban Rata-Rata Kebutuhan Listrik Rumah

Perangkat	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (jam)	Total Energi (Wh)
Lampu 1	3	12	36	6	196
Lampu 2	5	10	50	12	600
Kipas angin	1	50	50	5	250
TV	1	35	35	10	350
Magic jar	1	77	77	15	1.155
Pompa air	1	250	250	1	250
Setrika	1	300	300	1	300
Kulkas	1	80	80	24	1.920
Total					5.121

Tabel 4.4 merupakan hasil survei pada bulan Februari dengan mengambil 5 sampel rumah tentang penggunaan beban rata-rata dari kebutuhan rumah tangga di kawasan Pantai Indrayanti, Desa Tepus, Kec. Tepus, Kab. Gunungkidul. Jadi energi listrik rumah tangga yang didapatkan dalam satu hari di kawasan Pantai Indrayanti yaitu sebesar 5.121 Wh.

4.2.5. Analisa Perkiraan Beban Rata-Rata Perjam

Dikarnakan dalam penyimulasian dalam homer diperlukan beban rata-rata perjam, maka diperlukannya untuk mengetahui perkiraan pemakaian listrik dalam setiap jamnya. Berikut ini adalah data perkiraan pemakaian listrik warga sekitaran Pantai Indrayanti dengan menggunakan sampel 5 rumah.

Tabel 4.5 Rata-Rata Pemakaian Listrik Perjam

Waktu	Rata-rata (KW)	Waktu	Rata-rata (KW)
00.00-01.00	0,112	12.00-13.00	0,207
00.01-02.00	0,112	13.00-14.00	0,207
02.00-03.00	0,112	14.00-15.00	0,232
03.00-04.00	0,174	15.00-16.00	0,267
04.00-05.00	0,251	16.00-17.00	0,192
05.00-06.00	0,286	17.00-18.00	0,266
06.00-07.00	0,192	18.00-19.00	0,283
07.00-08.00	0,192	19.00-20.00	0,283
08.00-09.00	0,192	20.00-21.00	0,283
09.00-10.00	0,207	21.00-22.00	0,278
10.00-11.00	0,207	22.00-23.00	0,144
11.00-12.00	0,207	23.00-00.00	0,112

Tabel 4.6 Rata-rata pemakaian listrik perjam 150 rumah

Waktu	Rata-rata (KW)	Waktu	Rata-rata (KW)
00.00-01.00	16,8	12.00-13.00	31,05
00.01-02.00	16,8	13.00-14.00	31,05
02.00-03.00	16,8	14.00-15.00	34,8
03.00-04.00	26,1	15.00-16.00	40,05
04.00-05.00	37,65	16.00-17.00	28,8

Tabel 4.6 Rata-rata pemakaian listrik perjam 150 rumah (Lanjutan)

Waktu	Rata-rata (KW)	Waktu	Rata-rata (KW)
05.00-06.00	42,9	17.00-18.00	39,9
06.00-07.00	28,8	18.00-19.00	42,45
07.00-08.00	28,8	19.00-20.00	42,45
08.00-09.00	28,8	20.00-21.00	42,45
09.00-10.00	31,05	21.00-22.00	41,7
10.00-11.00	31,05	22.00-23.00	21,6
11.00-12.00	31,05	23.00-00.00	16,8

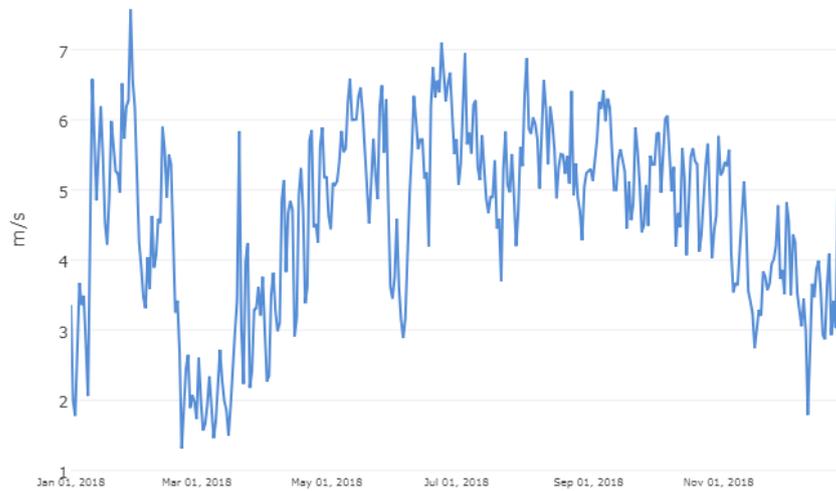
Tabel 4.5 dan tabel 4.6 menjelaskan mengenai pemakaian rata-rata listrik perjam untuk rumah tangga dengan mengambil sampel 5 rumah tangga di daerah sekitaran Pantai Indrayanti. Dapat dilihat di mana pemakaian beban listrik terjadi pada malam hari sejak pukul 18.00 sampai 21.00. Hal ini karena pada jam-jam tersebut banyak perangkat elektronik yang dihidupkan, diantaranya menyalakan pompa air, TV, penerangan rumah, dan aktivitas lainnya.

4.3. Pengolahan Data

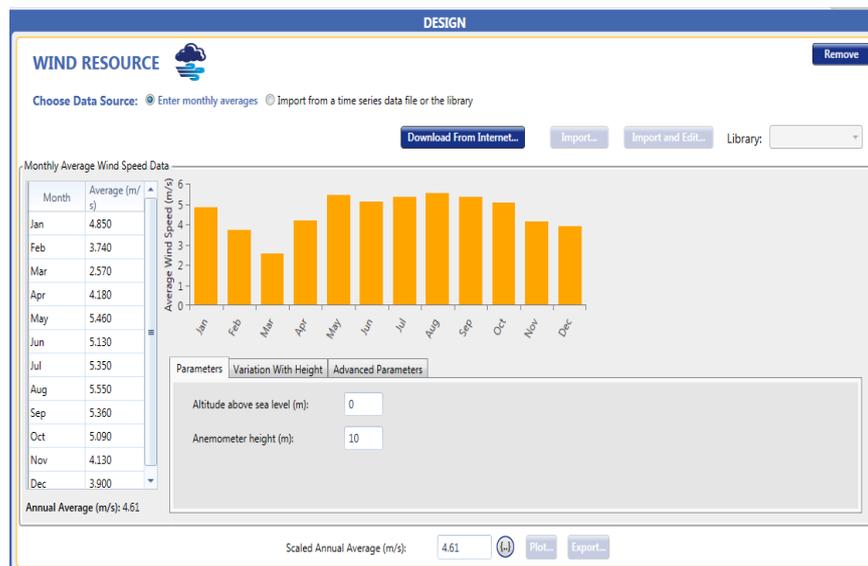
4.3.1. Memasukkan Data Laju Rata-rata Angin di HOMER

Untuk dapat memasukkan data laju rata-rata angin pada HOMER maka diperlukannya data laju rata-rata angin untuk setiap bulannya selama satu tahun. Dikarenakan data laju angin yang didapatkan dari BMKG berbeda koordinat dengan lokasi penelitian, maka penulis mengambil data laju angin yang didapatkan dari situs NASA SSE yang berada pada lokasi Pantai Indrayanti Gunungkidul. Berikut

adalah gambar data angin pertahun dari NASA SSE dan inputan laju rata-rata angin pada HOMER.



Gambar 4.3 Laju Angin Pada Tahun 2018 di Lokasi Pantai Indrayanti
(Sumber: NASA SSE tahun 2018)



Gambar 4.4 Inputan Data Laju Angin Pada HOMER
(Sumber: HOMER)

4.3.2. Perancangan Primary Load di HOMER

Dalam simulasi HOMER beban yang dibutuhkan merupakan data daya aktif harian. Dalam sistem PLTB ini diasumsikan *random variability* harian atau (Day-to-day) 15% dengan (Time-step-to-time-step) sebesar 20% sesuai dengan ketentuan yang ada dalam HOMER. Berdasarkan simulasi dengan input beban daya aktif harian didapatkan rata-rata penggunaan energi listrik sebesar 747,7 kWh/hari, rata-rata beban listrik tiap jam 31,4 kW dan kemungkinan beban puncak yang dapat terjadi dalam waktu setahun 83,48 kWp, dan tercatat faktor beban yang dapat terjadi sebesar 0,37. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.5 Perancangan Primary Load di HOMER

(sumber : HOMER)



Gambar 4.6 Profil Beban Listrik Perbulan Dalam Setahun

(Sumber: HOMER)

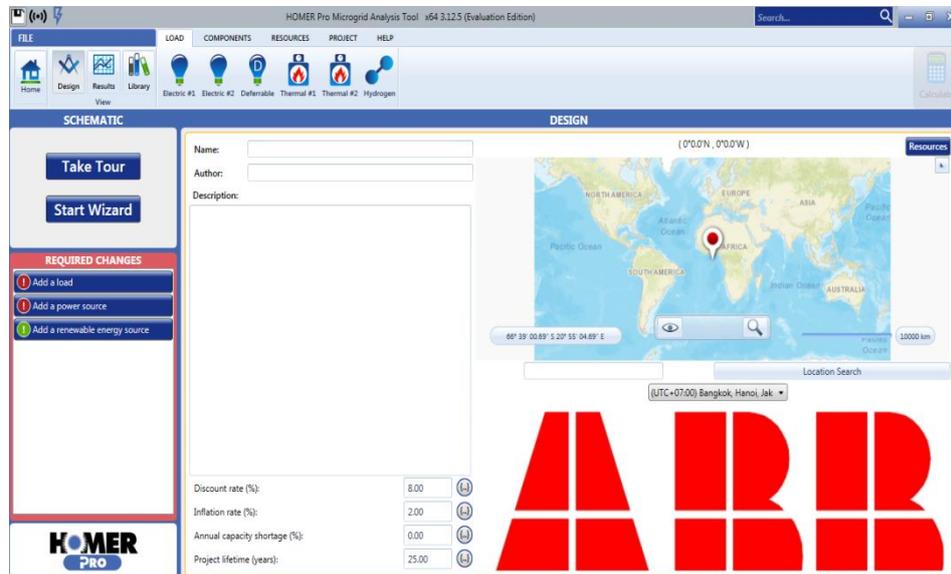
Gambar 4.6 merupakan grafik perkiraan penggunaan listrik rata-rata tiap bulan selama setahun oleh masyarakat Pedukuhan Ngasem, Desa Tepus, Kec. Tepus, Kab Gunungkidul yang telah disimulasikan pada perangkat lunak HOMER. Terlihat pada grafik, di mana profil beban listrik setiap bulannya hampir terlihat sama dan tidak terlalu mengalami perubahan yang signifikan, hal ini dikarenakan tingkat ekonomi warga sekitar yang terbilang stabil.

Dari grafik pola beban pemakaian listrik di atas, tercatat adanya beban puncak yang akan terjadi 2 kali dalam sehari. Beban puncak maksimal terjadi pada pagi hari pukul 05:00-06:00 dan malam hari pukul 18:00-20:00. Pada pagi hari, terjadinya beban puncak ini dikarenakan kebiasaan masyarakat melakukan aktivitas rutin sebelum berangkat bekerja, seperti memasak nasi dan menyalakan pompa air. Sedangkan beban puncak pada malam hari terjadi karena aktivitas masyarakat yang lebih banyak menghabiskan waktunya dengan menonton tv, mendengarkan radio, bermain video game, mengerjakan tugas di laptop secara bersamaan serta perangkat elektronik lainnya.

Terlihat juga di mana pemakaian listrik mulai meningkat saat pukul 14:00 hingga malam hari. Karena pada sore hari daerah Pantai Indrayanti banyak dikunjungi oleh para wisatawan. Banyaknya wisatawan membuat warung dan pertokoan banyak dikunjungi sehingga peralatan listrik seperti kulkas dan tv lebih sering aktif. Kemudian kamar kecil lebih sering digunakan oleh para pengunjung Pantai yang ingin membersihkan badannya dengan air tawar sehingga pompa air juga lebih sering bekerja.

4.4. Desain Teknis PLTB di HOMER

Pada desain teknis ini penulis memilih menggunakan aplikasi HOMER. Bisa dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini merupakan tampilan awal HOMER yang akan digunakan untuk menyimulasikan percobaan-percobaan untuk komponen yang sesuai pada sistem pembangkit listrik tenaga bayu di daerah Pantai Indrayanti.

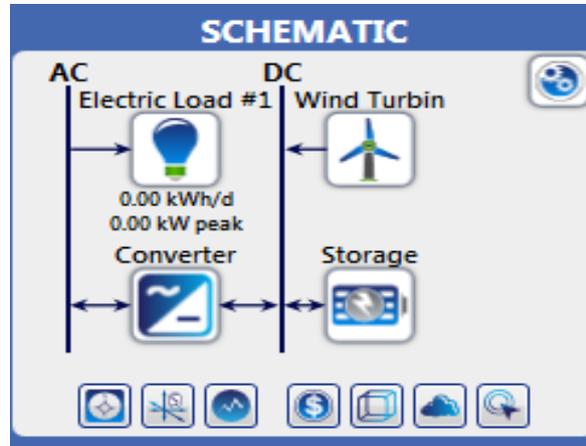


Gambar 4.7 Tampilan Awal Pada HOMER

(Sumber: HOMER)

Setelah itu kita melakukan pemilihan komponen dan memasukkan data-data yang diperlukan HOMER. Selanjutnya HOMER akan mengondisikan sistem pembangkit sesuai dengan jumlah kebutuhan

komponen yang dibutuhkan, seperti yang terlihat pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Pemodelan Sistem PLTB

(Sumber: HOMER)

4.4.1. Desain Teknis Untuk Turbin Angin

Sebelum melakukan pemilihan pada turbin yang akan digunakan dalam perencanaan sistem PLTB, ada beberapa ketentuan yang harus di pertimbangkan terlebih dahulu. Di antaranya meliputi spesifikasi pada turbin dan juga biaya operasional dari setiap komponen pendukungnya. Selain dari pada itu, pemilihan lokasi dari perencanaan pembangunan PLTB juga sangat mempengaruhi performa dari turbin itu sendiri, seperti laju angin yang di hasilkan dari lokasi perencanaan PLTB juga berpengaruh dengan turbin yang akan digunakan.

Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem PLTB ini perlunya perbandingan antar turbin yang akan digunakan. Dapat dilihat pada tabel 4.7 mengenai perbandingan spesifikasi turbin angin dengan 3 tipe yang berbeda dan memiliki kapasitas daya yang sama. Dengan demikian maka akan mempermudah kita untuk menentukan turbin angin yang akan digunakan dalam perancangan PLTB pada lokasi yang telah ditentukan.

Tabel 4.7 Perbandingan Spesifikasi Turbin Angin Bergey Excel 6-R, Kingspan 6 kW, dan Ampair 6 kW

Spesifikasi	Bergey excel 6-R	Kingspan 6 kW	Ampair 6 kW
Rated power	6.000 watts	6.000 watts	6.000 watts
Cut in wind speed	2,5 m/s	3,5 m/s	3 m/s
Rated wind speed	11 m/s	11,6 m/s	11 m/s
Type	Upwind	Downwind	Upwind
Rotor diameter	6,2 m	5,6 m	5,5 m
Maksimum design wind Speed	60 m/s	59,5 m/s	59,5 m/s
Annual energy	9.920 kWh	8.949 kWh	8.500 kWh
Over speed protection	AutoFurl	Patended side-furling	Passive side-furling
Output	48 VDC	48 VDC	48 VDC
Price/unit	\$21,995	\$20,907	\$20,000

Jika melihat perbandingan antara 3 tipe turbin pada tabel 4.7 dapat diketahui di mana spesifikasi antara ketiganya hampir sama. Kemudian bila dilihat dari harga turbin tipe Ampair lebih murah bila dibandingkan dengan turbin tipe Bergey dan Kingspan. Dimana turbin Ampair senilai \$20,000 sedangkan turbin Kingspan dan Bergey senilai \$20,907 dan \$21,995. Tetapi, perlu diketahui untuk menentukan pilihan turbin yang akan digunakan, disarankan untuk tidak melihat dari segi biaya produk saja. Disisi lain kita juga perlu

mempertimbangkan kualitas dan juga keunggulan lainnya. Misalnya, pemilihan komponen harus disesuaikan dengan kebutuhan beban yang akan dipenuhi nantinya.

Melihat dari tabel perbandingan pada tabel 4.7 Turbin tipe Bergey hanya memerlukan 2,5 m/s agar dapat menggerakkan turbinnya, sedangkan untuk tipe Kingspan memerlukan laju angin 3 m/s dan Ampair memerlukan laju angin 3 m/s untuk menggerakkan turbinnya. Padahal diameter rotor turbin Bergey lebih besar bila dibandingkan dengan turbin kingspan dan Ampair.

Selain itu, turbin Bergey memiliki annual energi yang lebih besar dibandingkan dengan turbin Kingspan dan juga turbin Ampair. Dimana turbin Bergey mampu menghasilkan 9.920 kWh, sedangkan untuk turbin Kingspan dan Ampair hanya mampu menghasilkan 8.949 kWh dan 8.500 kWh.

Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem PLTB ini penulis memilih turbin angin tipe Bergey Excel 6-R dengan *rate power* 6 kW DC. Karena setelah melihat beberapa perbedaan spesifikasi dari masing-masing turbin bisa dikatakan turbin Bergey lebih baik dibandingkan dengan turbin Kingspan dan Ampair. Kemudian dengan *rate power* 6 kW, turbin Bergey Excel 6-R ini memiliki diameter 6,2 meter untuk 48 VDC baterai charge dengan pilihan tower dari 18-49 meter dan dapat bekerja selama 7,8 jam/hari serta mampu menghasilkan daya listrik dari 22-55 kWh/hari. Berikut adalah gambar dari turbin angin Bergey Excel 6-R 6 kW seperti pada gambar 4.9 berikut.

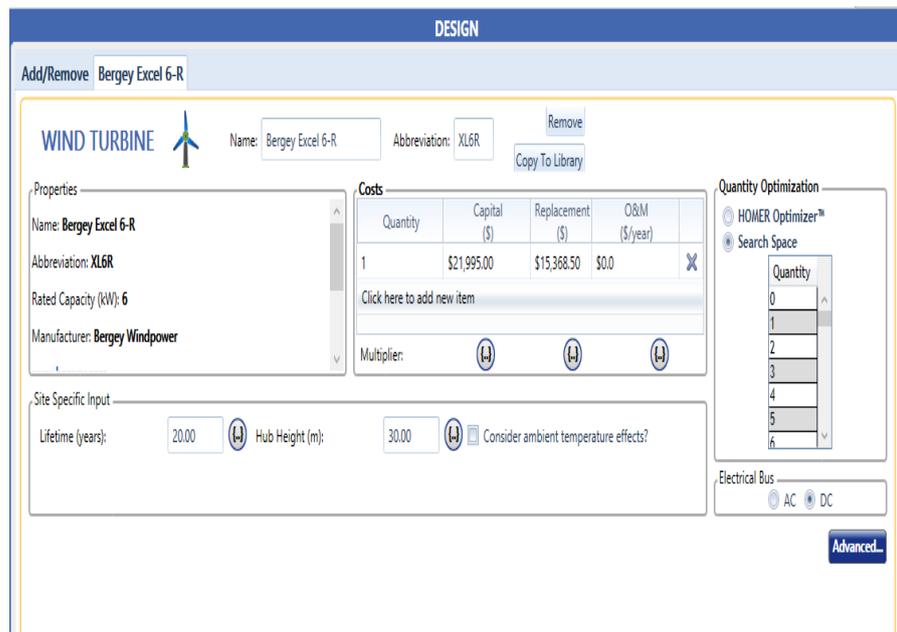


Gambar 4.9 Turbin Angin Bergey Excel 6-R

(Sumber: wattuneeed.com)

Dalam HOMER seperti pada gambar 4.10 diperlukan masukan harga satuan turbin yang dipakai, *replacement* dan *biaya operational & maintenance* (O&M). Berdasarkan harga yang didapatkan dari web bergey.com/ harga untuk satu unit turbin angin tipe BERGEY Excel 6-R sebesar \$21,995.00 dengan estimasi biaya *replacement* sebesar 70% dari harga investasi awal yaitu \$15,368.50. Hal ini dikarenakan apabila terjadi gangguan atau kerusakan pada sebuah turbin angin biaya penggantian tidak menyeluruh, karena masih ada beberapa komponen dari turbin yang tidak bermasalah dan masih bisa digunakan.

Sedangkan untuk *replacement cost* dikenakan setelah jangka waktu turbin bekerja, karena turbin angin ini mampu bertahan hingga 20 tahun seperti yang telah diklaim oleh perusahaan pengembangnya. Pada turbin jenis ini atau turbin dengan skala kecil dibawah 10 kW, untuk nilai O&M menurut Rislina Sitompul umumnya tidak memerlukan biaya operasional dan pemeliharaan, karena banyak dari turbin angin skala kecil dioperasikan secara manual.



Gambar 4.10 Desain Teknis Turbin Angin
(sumber: HOMER Pro)

4.4.2. Desain Teknis Untuk baterai

Dalam menentukan spesifikasi baterai yang akan digunakan dalam perencanaan PLTB ini sama seperti menentukan spesifikasi turbin angin. Kualitas dan biaya masih menjadi aspek penting dalam pemilihan sistem baterai, dan juga kita perlu menyesuaikan dengan jumlah yang diperlukan. Tabel 4.8 di bawah ini merupakan perbandingan 3 tipe baterai yang berbeda.

Tabel 4.8 Perbandingan Baterai Surrette 4SK27P, BAE Sureca 26 PVS 4940, dan Trojan SIND 04 2145

Spesifikasi	4KS27P	26 PVS 4940	SIND 04
Manufacturer	Surrette/Rolls	BAE	Trojan
Type	Lead Acid	Lead Acid	Lead Acid
Nominal voltage	4 V	2 V	4 V

Tabel 4.8 Perbandingan Baterai Surrette 4SK27P, BAE Sureca 26 PVS 4940, dan Trojan SIND 04 2145 (Lanjutan)

Spesifikasi	4KS27P	26 PVS 4940	SIND 04
Rated capacity	1.460 Ah	4.463 Ah	2.145 Ah
Capacity	8,4 kW	9,27 kW	8,58 kW
Weight	154 Kg	508 Kg	211 Kg
Warranty	3 year	5 year	
Price	\$1,182.00	\$1,052.91	\$1,482.00

Dapat dilihat pada perbandingan 3 tipe baterai pada tabel 4.8 di mana nilai kapasitas daya yang tidak begitu jauh berbeda. Namun, bila dilihat dari harga baterai jenis BAE Sureca 26 PVS 4940 jauh lebih murah dan memiliki kapasitas Ah baterai yang lebih besar juga. Dalam perencanaan PLTB sangat membutuhkan baterai dengan kapasitas yang besar dan jumlah yang banyak guna mendapatkan simulasi terbaik pada HOMER dengan kapasitas beban yang harus dipenuhi adalah 747,7 kWh/hari. Oleh karena itulah pada perencanaan PLTB ini penulis memilih baterai jenis BAE Sureca 26 PVS 4940 seperti pada gambar 4.11 berikut.

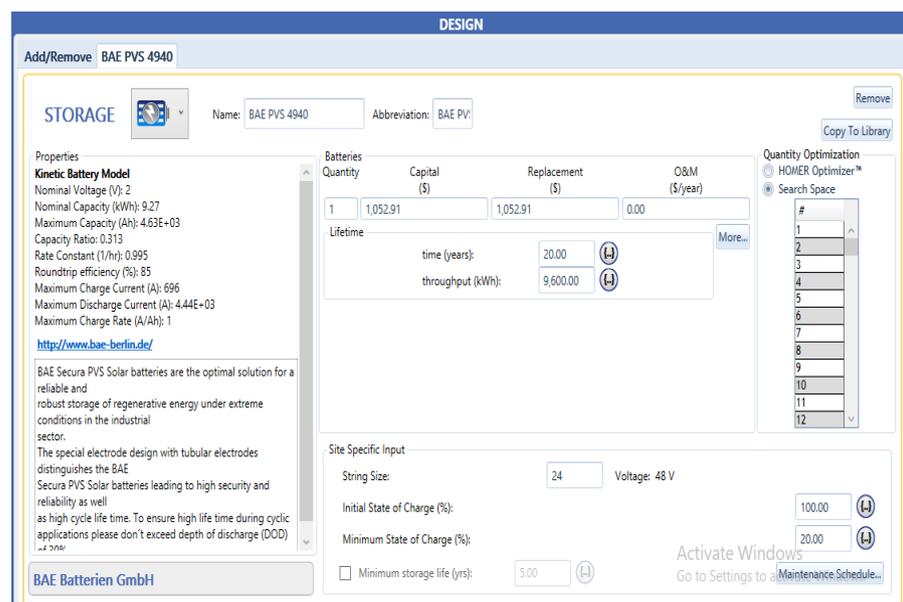


Gambar 4.11 Baterai BAE Sureca 26 PVS 4940

(Sumber: e-solare.com)

Perancangan sistem baterai pada HOMER Ada 3 inputan nilai yang harus dimasukkan pada sistem baterai yaitu, batteries quantity, quantity optimization, dan site specific input. Pada batteries quantity nilai yang dimasukkan meliputi nilai capital atau harga satuan baterai, replacement atau biaya pergantian dan ada nilai O&M atau nilai operasional dan pemeliharaan. Berdasarkan harga yang kita dapatkan dari web e-solare.com/ untuk harga satu baterai BAE Surece 26 PVS 4940 senilai \$1,052 dengan tegangan nominal 2V dengan kapasitas 4.663 Ah atau 9,27 kWh. Untuk nilai replacement sama seperti harga satuan baterainya, karena untuk kerusakan atau pergantian harus mengganti keseluruhan komponennya. Pada baterai nilai O&M tidak perlu diisi atau masukan nilai \$0, karena perawatan pada baterai hanya pengecekan tegangan baterai saja.

Pada inputan quantity optimization kita memasukkan banyaknya baterai yang akan digunakan. Nantinya simulasi HOMER akan memilih jumlah yang tepat untuk dipakai sesuai kapasitas yang ada. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.12 untuk desain sistem baterai pada HOMER.



Gambar 4.12 Desain Teknis Sistem Baterai

(Sumber: HOMER)

4.4.3. Desain Teknis Untuk Sistem Inverter

Untuk menentukan sistem inverter yang akan digunakan dalam perencanaan PLTB ini, harus memilih inverter yang berkapasitas lebih besar dibandingkan dengan beban puncak kebutuhan sistem, dapat dilihat pada gambar 4.8 di mana beban puncak yang didapat mencapai 83,48 kW.

Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada sistem PLTB nantinya. Oleh karena itu penulis memilih untuk membandingkan inverter. Berikut adalah perbandingan 3 tipe inverter seperti pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Spesifikasi Inverter SUNGROW SG125HV, ABB 100TL, dan Sollectria PVI 100 kW

Spesifikasi	SG125HV	ABB 100TL	Sol100
Max in voltage	1500 VDC	1000 VDC	600 VDC
In voltage range	860 – 1450	360-1000	300-500
Max. input current	240 A	50 A	351 A
Nominal Output	3 / PE, 600 VAC	3/ PE, 400 VAC	3/PE 480 VAC
Output power	125 kW	110 kW	100 kW
CEC efficiency	98,5 %	95%	96,5%
Weight	68 Kg	125 Kg	941 Kg
Life time	15 year	15 year	15 Year
Price	\$13,240	\$9,250.36	\$26,006.09

Berdasarkan data spesifikasi dari perbandingan 3 inverter, dimana untuk harga beli inverter jenis ABB lebih murah bila dibandingkan dengan kedua inverter lainnya. Tetapi untuk efisiensi daya masih lebih baik untuk inverter SUNGROW dibandingkan dengan kedua jenis inverter lainnya, karena dalam simulasi homer

merekomendasikan dengan nilai efisiensi yang tinggi agar losses dari sistem inverternya kecil. Spesifikasi yang didapatkan dari sungrowpower.com inverter tipe ini dapat menerima inputan hingga 1500 VDC dengan rata-rata input antara 860 - 1450 VDC. Untuk nilai keluaran inverter ini yaitu 125 kW. Dengan ukuran dimensi 670*810*294 mm, berat 68 Kg, dan efisiensi mencapai 98,8% inverter tipe ini dapat bertahan pada temperatur suhu -25 to 60 °C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut.

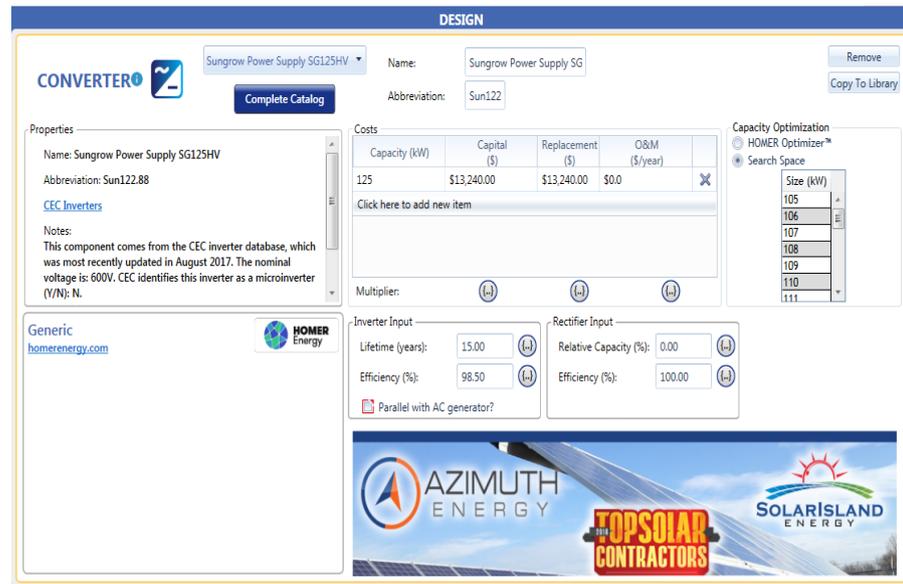


Gambar 4.13 Inverter SUNGROW SG125HV

(Sumber: sungrowpower.com)

Perancangan sistem inverter pada HOMER Ada 2 inputan nilai yang harus dimasukkan pada sistem inverter yaitu, cost dan capacity optimization. Pada cost nilai yang dimasukkan meliputi nilai capital atau harga inverter, replacement atau biaya pergantian dan ada nilai O&M atau nilai operasional dan pemeliharaan. Berdasarkan harga yang kita dapatkan dari web civicsolar.com/ untuk harga satu inverter SUNGROW SG125HV senilai \$13,240 dengan kapasitas 125 kW. Untuk nilai replacement sama seperti harga inverternya, karena untuk kerusakan atau pergantian harus mengganti keseluruhan komponennya. Pada inverter nilai O&M tidak perlu diisi atau masukan nilai \$0, karena perawatan pada inverter hanya pengecekan tegangan inverter saja.

Pada inputan capacity optimization kita memasukkan ukuran inverter yang akan digunakan. Nantinya simulasi HOMER akan memilih jumlah yang tepat untuk dipakai sesuai kapasitas yang ada. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.14 untuk desain sistem inverter pada HOMER.



Gambar 4.14 Desain teknis sistem inverter
(Sumber: HOMER)

4.4.4. Desain Teknis Untuk Konfigurasi Grid

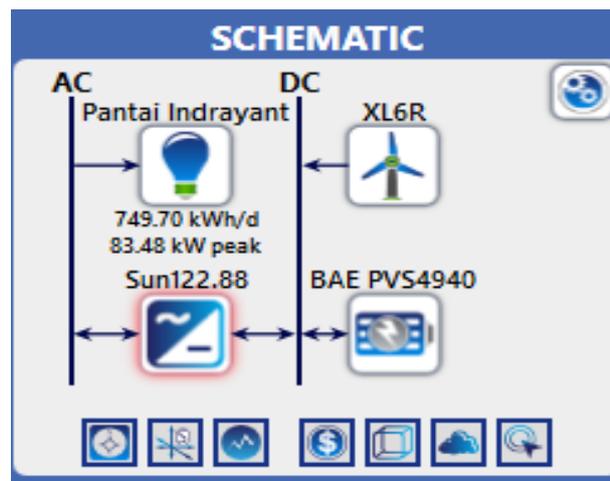
Pada HOMER, simulasi dalam perancangan sistem ini tidak menggunakan koneksi Grid atau jaringan listrik. Penulis memilih sistem Off-Grid karena jika terjadi gangguan pada jaringan listrik PLN tidak akan berpengaruh pada penggunaan listrik warga sekitar PLTB. Hal ini dikarenakan jumlah kelebihan energi listrik yang didapatkan dari pembangkit ditampung pada baterai yang menjadi tempat penyimpanan semua hasil energi yang didapatkan. Sehingga saat terjadi pemadaman warga masih dapat menggunakan peralatan listrik tanpa harus menunggu sistem jaringan PLN kembali bekerja.

Sewaktu-waktu sistem Off-Grid bisa berubah menjadi On-Grid atau menjual berapa persen energi listrik ke PLN jika energi listrik

yang dihasilkan oleh pembangkit terdapat banyak kelebihan. Sistem On-Grid sebenarnya banyak keuntungan, karena bisa mendapat penghasilan dari penjualan listrik pada perusahaan negara untuk mengembalikan modal investasi awal perancangan sistem PLTB. Selain itu sistem On-Grid sepenuhnya dikelola oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN), sehingga untuk segala kerusakan yang terjadi juga biaya operasional dan pemeliharaan seluruhnya ditanggung oleh pihak penyuplai daya listrik, yaitu PLN. Tetapi kembali pada pengelola setempat sistem PLTB nantinya. Penulis hanya mengasumsikan alasan sesuai perencanaan penelitian ini dengan sistem Off-Grid.

4.5. Simulasi Sistem Pada HOMER Energy

Setelah melakukan pemilihan komponen terhadap sistem konfigurasi yang telah ditentukan, HOMER akan menyimulasikan konfigurasi tersebut mendapatkan banyak hasil konfigurasi sistem dan salah satunya adalah konfigurasi sistem terbaik menurut HOMER. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di gambar 4.15 mengenai data beban dan pemilihan komponen perencanaan PLTB pada HOMER.



Gambar 4.15 Data Beban Dan Pemilihan Komponen
(Sumber: HOMER)

Dapat dilihat pada gambar 4.15 dalam perencanaan sistem PLTB dengan beban primer yang tercatat sebesar 749,7 kWh/d, menggunakan turbin angin XL6R sebagai sumber utama penghasil energi listrik, kemudian ada baterai dengan tipe BAE Sureca 26 PVS 4940 sebagai penyimpanan cadangan energi listrik, selanjutnya ada inverter dengan tipe 122.28 sebagai pengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC pada outputnya.

Setelah memasukkan nilai beban dan pemilihan komponen, HOMER dapat mensimulasikan hasil dari konfigurasi tersebut. Di mana lebih dari 195.000 simulasi untuk dapat menampilkan hasil dari konfigurasi tadi. Sehingga dapat diketahui hasil sistem terbaik sesuai dengan yang ditetapkan HOMER. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut ini.

Architecture		Cost				System		XL6R						
XL6R	BAE PVS4940	Sum122.28 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	O&M Cost (\$)	Autonomy (hr)	Annual Th (kWh)
42	2,616	105	LF	\$3.69M	\$0.897	\$202.82	\$3.69M	100	0	923,790	488,949	0	621	104,743
42	2,616	108	LF	\$3.69M	\$0.671	\$209.02	\$3.69M	100	0	923,790	488,949	0	621	104,743
42	2,640	100	LF	\$3.72M	\$0.882	\$199.23	\$3.71M	100	0	923,790	488,949	0	627	104,844
42	2,664	105	LF	\$3.74M	\$0.889	\$202.75	\$3.74M	100	0	923,790	488,949	0	632	104,844
42	2,664	110	LF	\$3.74M	\$0.889	\$213.21	\$3.74M	100	0	923,790	488,949	0	632	104,844
42	2,688	92.4	LF	\$3.77M	\$0.894	\$178.48	\$3.76M	100	0	923,790	488,949	0	638	104,844
42	2,688	103	LF	\$3.77M	\$0.894	\$198.85	\$3.76M	100	0	923,790	488,949	0	638	104,844
42	2,688	107	LF	\$3.77M	\$0.895	\$206.86	\$3.77M	100	0	923,790	488,949	0	638	104,844
41	2,712	83.0	LF	\$3.77M	\$0.895	\$160.24	\$3.77M	100	0	901,795	477,307	0	644	106,075
41	2,712	87.0	LF	\$3.77M	\$0.895	\$168.03	\$3.77M	100	0	901,795	477,307	0	644	106,075
42	2,736	99.9	LF	\$3.82M	\$0.906	\$192.93	\$3.82M	100	0	923,790	488,949	0	649	104,844
41	2,760	78.7	LF	\$3.82M	\$0.906	\$152.11	\$3.82M	100	0	901,795	477,307	0	655	106,120
42	2,736	106	LF	\$3.82M	\$0.907	\$203.84	\$3.82M	100	0	923,790	488,949	0	649	104,844
41	2,760	81.5	LF	\$3.82M	\$0.907	\$157.37	\$3.82M	100	0	901,795	477,307	0	655	106,123
42	2,760	78.7	LF	\$3.84M	\$0.912	\$152.11	\$3.84M	100	0	923,790	488,949	0	655	104,839

Gambar 4.16 Hasil Simulasi Konfigurasi Terbaik

(Sumber: HOMER)

Pada gambar 4.16 dapat dilihat hasil analisa terbaik HOMER yaitu pada bagian atas tepatnya pada tabel sensitivity cases, dan pada tabel optimization result itu merupakan hasil konfigurasi rekomendasi lainnya

dari HOMER. Jadi, HOMER menetapkan konfigurasi dengan sistem terbaik yaitu dengan nilai *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost Of Energy* (COE) terendah. Maka dari itu untuk desain perencanaan sistem PLTB yang terbaik di daerah Pantai Indrayanti berdasarkan hasil dari simulasi HOMER yaitu dengan arsitektur 42 turbin angin jenis Bergey Excel 6-R, 2616 buah baterai jenis BAE Sureca 26 PVS 4940, dan inverter dengan kapasitas 105 kW.

4.6. Analisis Konfigurasi Sistem Terbaik

Setelah melakukan simulasi pada homer seperti yang terlihat pada gambar 4.16 dapat dilihat ada beberapa konfigurasi yang direkomendasikan oleh homer. Untuk analisis konfigurasi sistem terbaik ini penulis memilih konfigurasi sistem dengan arsitektur yaitu 42 turbin angin, 2616 baterai, dan 105 kW inverter untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.17 berikut.

The screenshot shows the 'RESULTS' tab in HOMER software. It displays a table of optimization results. The selected configuration is highlighted in blue. The table columns include Architecture, Cost, System, and BAE PVS4940. The values for the selected configuration are: 42 XL6R wind turbines, 2616 BAE PVS4940 batteries, 105 kW inverter, LF dispatch, NPC of \$3.69M, COE of \$0.697, Operating cost of \$202.82, Initial capital of \$3.69M, Ren Frac of 100%, Total Fuel of 0, Capital Cost of 923,790, Production of 488,949 kWh/yr, DBM Cost of 0, Autonomy of 621 hr, and Annual Throughput of 104,743 kWh/yr.

Architecture	Cost	System	XL6R	BAE PVS4940
42 XL6R, BAE PVS4940, Sum122.88 (kW), Dispatch	NPC (\$): \$3.69M, COE (\$): \$0.697, Operating cost (\$/yr): \$202.82, Initial capital (\$): \$3.69M	Ren Frac (%): 100, Total Fuel (L/yr): 0, Capital Cost (\$): 923,790	Production (kWh/yr): 488,949, DBM Cost (\$): 0	Autonomy (hr): 621, Annual Throu (kWh/yr): 104,743

Gambar 4.17 Pilihan Konfigurasi Terbaik

(Sumber: HOMER)

Tabel 4.10 Tabel Pilihan Konfigurasi Terbaik

	Konfigurasi	Keterangan
Wind turbine (units)	42	Jumlah turbin XLR6 yang digunakan sebanyak 42 unit.
Battery (units)	2616	Konfigurasi dengan 2616 unit yang disusun secara paralel sebanyak 109strings.

Tabel 4.10 Tabel Pilihan Konfigurasi Terbaik (Lanjutan)

	Konfigurasi	Keterangan
Inverter (kW)	105	Konfigurasi dengan 105 kW guna memenuhi kapasitas beban puncak sebesar 83,48 kWp
<i>Net Present Cost</i> (NPC)	\$3,692,447.00	Total biaya pengeluaran dikurangi surplus.
<i>Cost Of Energy</i> (COE)	\$0.877	Rata-rata harga per kWh dari energi listrik yang dihasilkan pembangkit.
Operating cost (\$/yr)	\$202.82	Total biaya operasional untuk pemeliharaan seluruh komponen setiap tahun.
Initial capital (\$)	\$3,682,324.78	Total biaya investasi yang dikeluarkan untuk sistem PLTB.
Renewable fraction (%)	100%	Energi yang dikirim ke beban 100% menggunakan energi terbarukan.

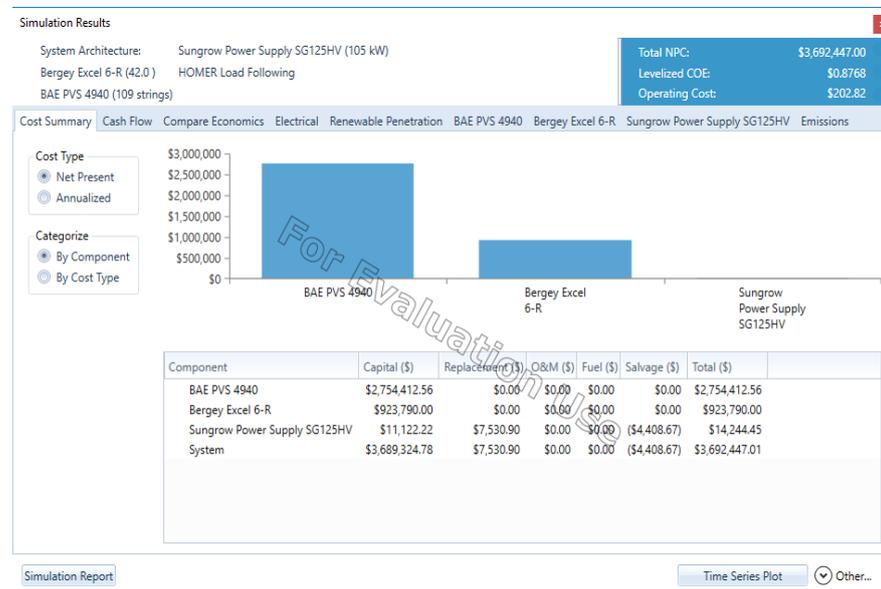
4.7. Analisis Biaya Sistem PLTB

Berdasarkan dari harga yang telah dimasukkan pada satuan komponen-komponen yang digunakan, perangkat lunak HOMER akan secara otomatis menghitung total dari setiap komponen. Biaya yang akan dianalisis pada penelitian ini ialah biaya pada konfigurasi terbaik pada sistem paling optimal menurut penulis.

4.7.1. Berdasarkan Komponen

Dalam menganalisis biaya sistem PLTB berdasarkan komponen ini, HOMER akan mengalkulasikan semua jumlah komponen yang sudah dipilih. Kemudian, akan dikalikan dengan harga persatu

komponen. Dapat dilihat pada gambar 4.18 mengenai total biaya tiap komponen. Di mana tercatat biaya terbesar dalam sistem ini yaitu pada komponen baterai dengan total investasi sebesar \$2,754,212.56. Hasil total investasi pada sistem baterai tersebut merupakan kalkulasi penjumlahan dari biaya *capital*, *replacement*, dan O&M lalu dikurangi dengan biaya *salvage* atau harga jual ulang komponen. begitu pun total biaya komponen pada sistem turbin angin dan inverter tercatat sebesar \$923,790.00 dan \$11,122.22 dengan total investasi keseluruhan mencapai \$3,682,324.78.



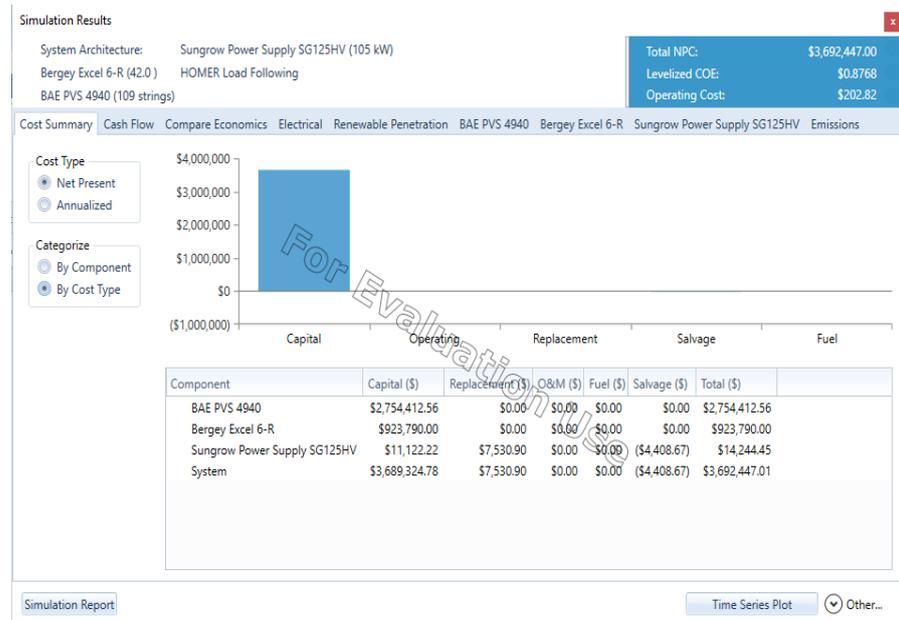
Gambar 4.18 Biaya Berdasarkan Komponen

(Sumber: HOMER)

4.7.2. Berdasarkan Tipe

Pada biaya berdasarkan tipe ini seperti yang telah dikalkulasikan oleh HOMER, dapat dilihat pada gambar 4.19 di mana total biaya keseluruhan sistem sebesar \$3,692,447.00. Untuk biaya fuel tidak dikenakan biaya karena dalam sistem PLTB ini seluruh komponen ini tidak menggunakan bahan bakar. Kemudian untuk biaya O&M tidak dikenai biaya karena tidak diperlukanya biaya perawatan pada sistem ini.

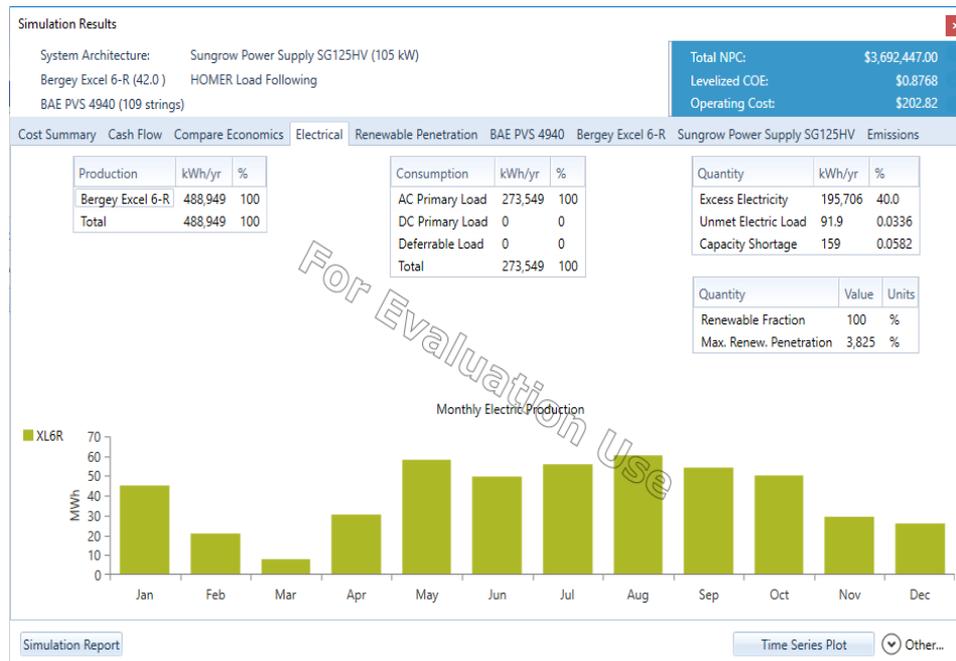
Dalam perencanaan system ini dimana biaya terbesar terdapat dalam biaya *capital* atau pembangunan dengan nilai \$3,682,324.78. kemudian biaya *replacement* senilai \$7,530,90 dan *salvage* \$4,408.67



Gambar 4.19 Biaya Berdasarkan Tipe
(Sumber: HOMER)

4.8. Analisis Hasil Sistem PLTB

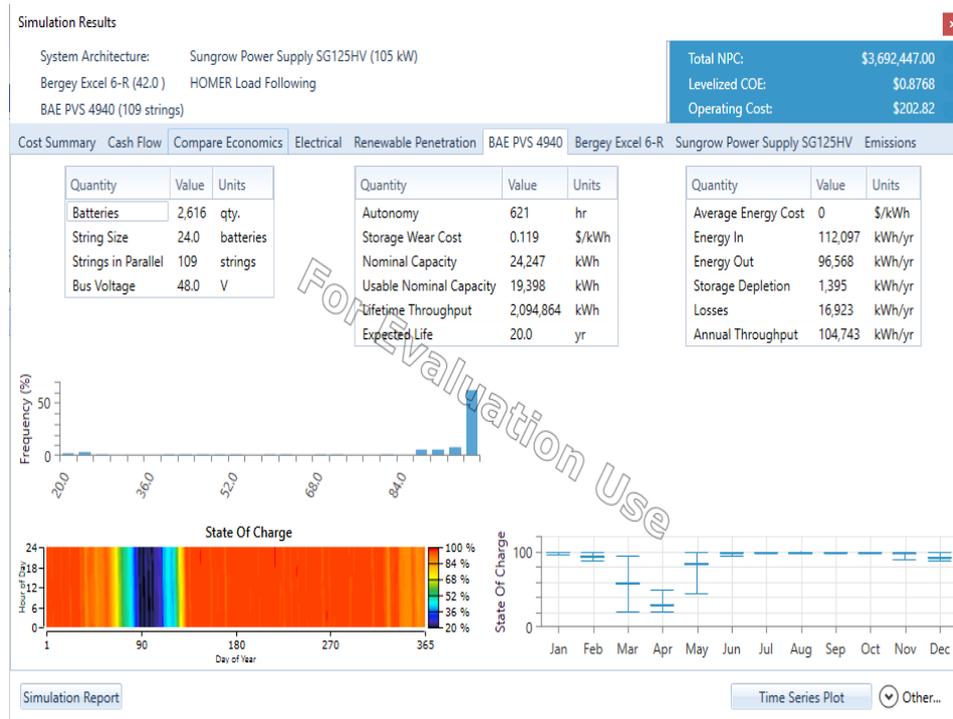
Dari simulasi HOMER dengan konfigurasi optimal pilihan penulis dengan 42 turbin, 2616 baterai dan 105 kW inverter untuk sistem PLTB ini dapat menghasilkan total energi sebesar 488.948 kWh/tahun. Dengan konsumsi beban AC sebesar 273.549 kWh/tahun. *Excess electricity* atau kelebihan energi listrik dari pembangkit ini sebesar 40% dari total energy yang dihasilkan dengan nilai 195.706 kWh/tahun. Kelebihan energi yang tidak terpakai bisa digunakan untuk menyuplai energi listrik lain selain kebutuhan rumah tangga atau mungkin dapat dijual ke perusahaan listrik negara untuk pengembalian dana investasi awal perencanaan sistem PLTB ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.20 berikut.



Gambar 4.20 Hasil Produksi Dan Konsumsi Energi Listrik Dalam 1 Tahun
 (Sumber: HOMER)

Pada gambar 4.20 juga menampilkan grafik hasil dari rata-rata produksi energi listrik setiap bulannya. Di mana hasil produksi yang didapatkan setiap bulannya bersifat fluktuatif. Hal ini dikarenakan rata-rata laju angin yang berbeda setiap bulannya, perubahan iklim, dan cuaca. Penurunan rata-rata laju angin ini disebabkan karena akan terjadinya pergantian musim dari angin muson barat menjadi angin muson timur. Seperti yang kita ketahui angin muson timur siklusnya berlangsung dari bulan April hingga Oktober. Angin muson bertiup dari Benua Australia ke Benua Asia yang menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau. Sehingga angin yang bertiup dari Benua Australia dari bulan April hingga Oktober memberikan efek yang cukup besar terhadap produksi energi listrik. Selain itu juga, karena Pantai Indrayani ini berbatasan langsung dengan Samudra Hindia.

Pada sistem PLTB, energi listrik yang dihasilkan tidak bisa dipakai 100%. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi daya atau *losses* yang terjadi pada sistem baterai maupun pada inverternya. Seperti pada gambar 4.21 pada sistem baterai energi yang masuk dari turbin sebesar 112.097 kWh/tahun sedangkan energi yang dapat dikeluarkan hanya sebesar 96.568 kWh/tahun. Tercatat *losses* yang terjadi pada sistem baterai 16.923 kWh/tahun.



Gambar 4.21 Rugi-Rugi Baterai Selama 1 Tahun

(Sumber:HOMER)

Begitu pun juga yang terjadi pada sistem inverter, di mana tercatat energi yang masuk sebesar 277.714 kWh/tahun, dan energi yang dapat dikeluarkan berkurang menjadi 273.549 kWh/tahun. Sehingga tercatat pada sistem inverter mengalami *losses* sebesar 4.166 kWh/tahun. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.22 berikut.



Gambar 4.22 Rugi-Rugi Inverter Selama 1 Tahun
 (Sumber: HOMER)