

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) Bayu Baru

PLTH Bayu Baru ini merupakan salah satu realisasi dari Sistem Inovasi Daerah (SIDa) yang mulai dikembangkan oleh Kementerian Riset dan Teknologi (RISTEK) bekerja sama dengan lembaga atau instansi yang terkait dengan pembangunan PLTH. Dalam pelaksanaannya, proyek ini melibatkan beberapa kalangan dari pemerintah, pelaku bisnis dan masyarakat luas guna mewujudkan PLTH yang ramah lingkungan.

Secara geografis, pesisir pantai selatan Yogyakarta merupakan lahan terbuka yang luas, matahari yang bersinar sepanjang hari dan kecepatan angin rata-rata dengan intensitas 4m/s (LAPAN).

Kondisi inilah yang menjadikan satu kriteria pemilihan lokasi pengembangan Energi Hibrid di Pantai Baru Pandansimo, Dusun Ngentak, Poncosari, Srandakan, Bantul dengan luas ± 18 Ha. Lokasi ini didukung oleh kondisi alam yang terbuka dan disebelah selatan yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Kondisi ini cukup layak dijadikan tempat Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid dengan turbin angin putaran rendah dan panel surya.

Kincir angin dan panel surya saling mendukung dalam memasok energi listrik. Jika panas terik dan kecepatan angin rendah, maka panel surya yang bertugas memasok energi listrik dan kemudian disimpan dalam baterai. Ketika cuaca hujan dan kecepatan anginnya kencang, maka kincir angin yang akan mengambil alih sebagai pemasok energi.

Selain menggunakan kincir angin dan panel surya sebagai sumber energi listrik, PLTH juga menggunakan *diesel-generator* sebagai sumber energi cadangan ketika dua sumber pembangkit kincir angin dan panel surya tidak dapat mensuplai kebutuhan energi beban. Kondisi ini sangat mungkin terjadi mengingat cuaca dan kondisi alam yang tidak menentu.

Baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan kincir angin. Energi yang disimpan sementara pada baterai

berupa tegangan DC, sehingga kemudian dimasukkan ke inverter untuk diubah menjadi tegangan AC agar dapat digunakan untuk beban.

Energi listrik yang dihasilkan pembangkit merupakan tegangan DC, sehingga agar energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk beban maka harus diubah dulu menjadi tegangan AC. Untuk mengkonversikan tegangan DC menjadi AC, PLTH menggunakan inverter dengan kapasitas 48 V sebanyak 3 unit. Hal ini didasarkan pada pembagian pembangkit yaitu grup barat, grup tengah dan grup timur. Sehingga masing-masing pembangkit mempunyai inverter sendiri.

Pemanfaatan energi listrik dari pembangkit ialah untuk warung kuliner, Penerangan Jalan Umum (PJU), kantor PLTH. Pada masa awal berdiri beban yang ditanggung lebih banyak, yaitu meliputi mesin pembuat es dan *water sterilizer*. Namun, karena usia alat yang sudah lama dan kurangnya anggaran *maintenance*, maka kedua alat tersebut sudah tidak beroperasi. Suplai energi pada warung kuliner hanya dilakukan pada siang hari ketika warung-warung sudah beroperasi dan di matikan ketika warung-warung sudah tidak beroperasi. Hal ini dilakukan untuk menghemat energi baterai dan untuk menghindari *low* tegangan. Sedangkan untuk malam hari, beban yang dioperasikan yaitu PJU dan di kantor PLTH.

4.2. Data-data

Ada beberapa data yang akan ditampilkan dalam tulisan ini sebagai bahan untuk analisis dan bahasan.

4.2.1. Data Keseluruhan Beban PLTH Bayu Baru

Beban yang ditanggung oleh PLTH Bayu Baru dibagi menjadi tiga bagian yaitu kantor PLTH, warung kuliner dan Penerangan Jalan Umum (PJU).

a. Beban Kantor PLTH Bayu Baru

Tabel 4.1. Data beban kantor PLTH Bayu Baru.

No	Jenis Beban	Daya Beban	Jumlah Unit	Daya Total
1	Lampu	23 Watt	13 Unit	299 Watt
2	Dispenser	350 Watt	1 Unit	350 Watt
3	Kipas Angin	22 Watt	1 Unit	22 Watt
4	Kipas Angin	55 Watt	2 Unit	110 Watt
5	Pompa Air	250 Watt	1 Unit	250 Watt
Jumlah daya keseluruhan beban				1031 Watt

Konsumsi beban di kantor PLTH cenderung fluktuatif, karena penggunaan beban yang tidak konstan dan tidak bersamaan. Nilai diatas adalah besar daya ketika semua peralatan dioperasikan secara bersamaan. Nilai beban tersebut didapat ketika penulis melakukan survey pada tanggal 22 Desember 2017. Perubahan nilai beban dapat berbeda pada lain waktu.

b. Beban Warung Kuliner

Tabel 4.2. Data beban warung kuliner.

No	Jenis Beban	Daya Beban	Jumlah Unit	Daya Total
1	Lampu	5 Watt	6 Unit	30 Watt
2	Lampu	6 Watt	7 Unit	42 Watt
3	Lampu	7 Watt	2 Unit	14 Watt
4	Lampu	8 Watt	19 Unit	152 Watt
5	Lampu	9 Watt	7 Unit	63 Watt
6	Lampu	11 Watt	11 Unit	121 Watt
7	Lampu	14 Watt	15 Unit	210 Watt
8	Lampu	15 Watt	3 Unit	45 Watt
9	Lampu	18 Watt	8 Unit	144 Watt

Tabel 4.2. Data beban warung kuliner (lanjutan).

10	Lampu	20 Watt	2 Unit	40 Watt
11	Lampu	22 Watt	1 Unit	22 Watt
12	Lampu	23 Watt	1 Unit	23 Watt
13	Lampu	25 Watt	3 Unit	75 Watt
14	Lampu	30 Watt	9 Unit	270 Watt
15	Lampu	35 Watt	5 Unit	175 Watt
16	Lampu	42 Watt	1 Unit	42 Watt
17	Blender	200 Watt	2 Unit	400 Watt
18	Blender	300 Watt	1 Unit	300 Watt
19	Pompa Air	125 Watt	3 Unit	375 Watt
20	Pompa Air	200 Watt	1 Unit	200 Watt
21	Kipas Angin	18 Watt	15 Unit	270 Watt
22	Kipas Angin	22 Watt	10 Unit	220 Watt
23	Kipas Angin	35 Watt	2 Unit	70 Watt
24	<i>Rice Cooker</i>	395 Watt	5 Unit	1975 Watt
Jumlah daya keseluruhan beban				5278 Watt

Data diatas adalah data keseluruhan beban warung kuliner yang disuplai oleh PLTH Bayu Baru. Jumlah keseluruhan warung kuliner yang menjadi konsumen PLTH Bayu Baru adalah sejumlah 53 warung. Suplai energi listrik ke warung-warung kuliner dimulai dari jam 9.00-20.00 WIB. Pensuplaian dilakukan pada jam diatas karena aktivitas warung terjadi pada jam-jam tersebut. Ketika warung sudah tidak beroperasi, maka suplai dihentikan untuk menghemat tegangan baterai dan menghindari *low* tegangan.

Jumlah nilai data yang diperoleh tersebut berdasarkan pada hasil survey yang dilakukan pada tanggal 25 Desember 2017. Nilai daya dapat berubah pada lain waktu tergantung pada perubahan beban yang dilakukan pada warung-warung kuliner.

Konsumsi energi warung-warung kuliner dapat berbeda pada setiap kondisi, bergantung pada kuantitas kunjungan wisatawan yang datang ke warung-warung kuliner. Biasanya beban puncak terjadi pada saat hari libur dan disiang hari sampai sore hari antara jam 10.00-18.00 WIB. Hal itu terjadi karena hampir setiap warung menggunakan beban-beban yang seperti pada tabel diatas.

c. Beban Penerangan Jalan Umum

Tabel 4.3. Data beban penerangan jalan umum.

No	Jenis Beban	Daya Beban	Jumlah Unit	Daya Total
1	Lampu	18 Watt	29 Unit	522 Watt
2	Lampu	23 Watt	16 Unit	368 Watt
Jumlah daya keseluruhan beban				890 Watt

Data beban PJU diambil pada tanggal 25 Desember 2017, perubahan data beban dapat berubah sewaktu-waktu bergantung pada kondisi di lapangan. Beban PJU merupakan lampu DC.

Beban Penerangan Jalan Umum beroperasi pada pukul 17.00-5.00 WIB. Besar daya yang dikonsumsi oleh PJU cenderung konstan karena beban beroperasi pada jam yang sudah ditentukan sesuai dengan kebutuhan.

d. Beban Total PLTH Bayu Baru

Tabel 4.4. Data beban total PLTH Bayu Baru.

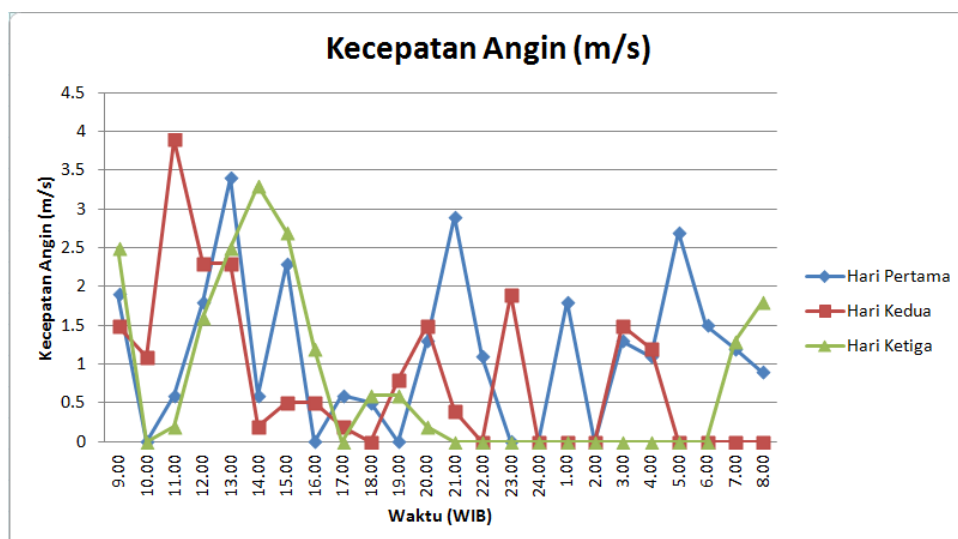
No	Jenis Beban	Daya Beban
1	Beban Kantor PLTH	1031 Watt
2	Beban Warung Kuliner	5278 Watt
3	Beban PJU	890 Watt
Jumlah beban total PLTH Bayu Baru		7199 Watt

Data di atas adalah daya beban terpasang yang mengkonsumsi energi listrik dari PLTH Bayu Baru. Besar daya yang dikonsumsi pada kondisi sebenarnya tidak mencapai nilai diatas, dikarenakan pengoperasian beban pada waktu yang berbeda-beda menyesuaikan dengan kondisi kebutuhan konsumen.

4.2.2. Data Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari

Di bawah ini akan ditampilkan hasil pengukuran angin dan intensitas radiasi matahari dengan melakukan pengamatan pada alat ukur yang telah ada. Pengamatan dilakukan selama tiga hari untuk mengambil sampel kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari, yaitu dari tanggal 28-30 Desember 2017.

a. Data Kecepatan Angin



Gambar 4.1. Grafik kecepatan angin selama tiga hari pengamatan.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil bahwa kecepatan angin maksimal yang didapat selama 24 jam yaitu 3,4 m/s pada pukul 13.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika tidak ada angin dengan nilai 0,0 terjadi pada

pukul 10.00 WIB, 16.00 WIB, 19.00 WIB, 23.00 WIB, 24.00 WIB dan 02.00 WIB.

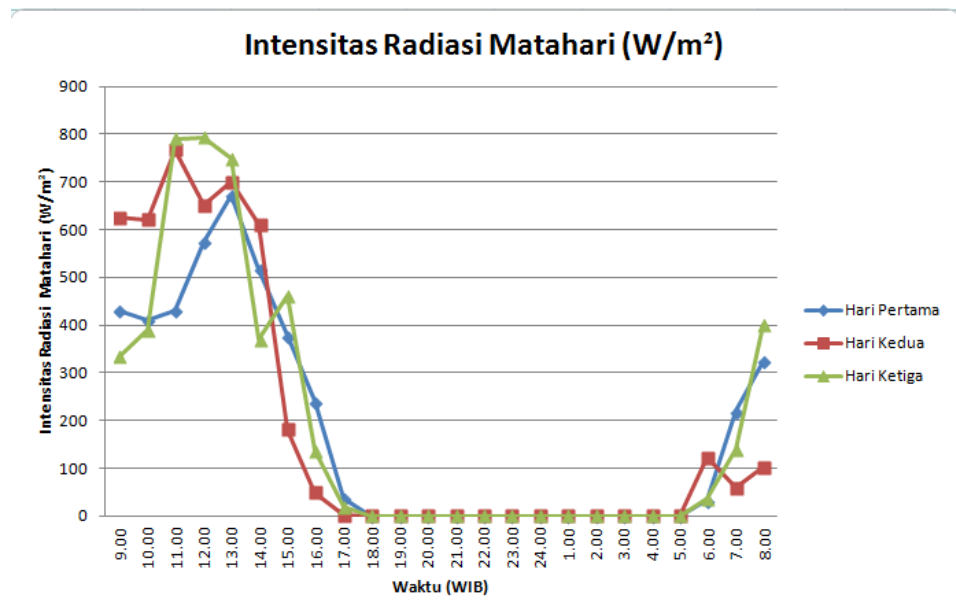
2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil bahwa kecepatan angin maksimal yang didapat selama 24 jam yaitu 3,9 m/s pada pukul 11.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika tidak ada angin dengan nilai 0,0 terjadi pada pukul 18.00 WIB, 22.00 WIB, 24.00 WIB, 01.00 WIB, 02.00 WIB, 05.00 WIB, 06.00 WIB, 07.00 WIB dan 08.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil bahwa kecepatan angin maksimal yang didapat selama 24 jam yaitu 3,3 m/s pada pukul 14.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika tidak ada angin dengan nilai 0,0 terjadi pada pukul 17.00 WIB, 21.00 WIB, 23.00 WIB, 24.00 WIB, 01.00 WIB, 02.00 WIB, 03.00 WIB, 04.00 WIB, 05.00 WIB dan 06.00 WIB.

b. Data Intensitas Radiasi Matahari



Gambar 4.2. Grafik intensitas radiasi matahari selama tiga hari pengamatan.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran intensitas radiasi matahari pada hari pertama menunjukkan hasil bahwa intensitas radiasi matahari tertinggi yaitu $671,5 \text{ W/m}^2$ pada pukul 13.00 WIB. Sedangkan intensitas radiasi matahari terendah dengan nilai 0 yang terjadi mulai pukul 18.00 WIB-05.00 WIB.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran intensitas radiasi matahari pada hari pertama menunjukkan hasil bahwa intensitas radiasi matahari tertinggi yaitu $767,4 \text{ W/m}^2$ pada pukul 11.00 WIB. Sedangkan intensitas radiasi matahari terendah dengan nilai 0 yang terjadi mulai pukul 18.00 WIB-05.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran intensitas radiasi matahari pada hari pertama menunjukkan hasil bahwa intensitas radiasi matahari tertinggi yaitu 793.0 W/m^2 pada pukul 12.00 WIB. Sedangkan intensitas radiasi matahari terendah dengan nilai 0 yang terjadi mulai pukul 18.00 WIB-05.00 WIB.

4.3. Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) Bayu Baru

PLTH Bayu Baru menggabungkan dua buah pembangkit, yaitu dengan menggunakan Panel Surya (*Photovoltaic Array*) dan Turbin Angin. Listrik yang dihasilkan oleh PLTH sangat bergantung dengan cuaca dan keadaan alam, oleh karena itu produksi listrik kadang tidak optimal sehingga berimplikasi pada tidak terpenuhinya permintaan listrik yang dibutuhkan oleh konsumen. Secara lebih detail akan ditampilkan data teknis PLTH Bayu Baru pada tabel berikut.

Tabel 4.5. Data teknis PLTH Bayu Baru.

Jenis Pembangkit			Jumlah Unit	Jumlah Daya
Grup Timur	Sistem 48 V	Turbin Angin 1kW/48V (<i>Tri Angle</i>)	4 Unit	4 kW
		Turbin Angin 1kW/48V (<i>Lattice</i>)	2 Unit	2 kW
Grup Timur	Sistem 48 V	Panel Surya 4kW/48V	40 Unit @100W/48 V	4 kW
Grup Barat	Sistem 240 V	Turbin Angin 1kW/240V (<i>Lattice</i>)	20 Unit	20 kW

Tabel 4.5. Data teknis PLTH Bayu Baru (lanjutan).

Grup Barat	Sistem 240 V	Panel Surya 15kW/240V	150 Unit @100W/12 V	15 kW
Grup Tengah	Sistem 48 V	Panel Surya 10kW/48V	48 Unit @220W/24 V	10 kW
Total Pembangkit PLTH Bayu Baru				55 kW

Pembangkit yang terpasang pada sistem PLTH tidak beroperasi seluruhnya, sehingga kapasitas maksimal sebesar 55 kW tidak dapat dicapai oleh sistem. Adapun kapasitas pembangkit yang dioperasikan pada saat penulis melakukan penelitian yaitu 37 kW atau sebesar 67.27 % dari kapasitas terpasang. Dengan penjelasan 4 unit turbin angin 1kW/240V grup barat dan 4 unit turbin angin 1kW/48V grup timur. Sedangkan untuk panel surya yaitu 150 unit modul PV dengan total 15kW/240V grup tengah bagian atas, 48 unit modul PV 10kW/48V grup tengah bagian bawah dan 40 unit modul PV 4kW/48V grup timur.

Turbin angin tidak dioperasikan seluruhnya dikarenakan turbin angin sedang mengalami kerusakan dan belum diperbaiki atau sedang dalam masa pemeliharaan dan peremajaan, selain itu juga pada waktu-waktu tertentu kebutuhan listrik konsumen sudah dapat disuplai oleh beberapa pembangkit saja, sehingga ketika pembangkit dioperasikan secara keseluruhan, maka hanya akan membuang energi yang dihasilkan pembangkit. Hal ini disebabkan karena kapasitas baterai sudah terisi sepenuhnya dengan hanya mengoperasikan beberapa turbin angin saja. Pengoperasian turbin angin yang lebih banyak mungkin saja terjadi karena tuntutan kebutuhan listrik konsumen.

Sedangkan untuk *Photovoltaic Array* dioperasikan secara keseluruhan, karena sumber energi panas pada siang hari di daerah ini terjadi lebih kontinyu dibanding energi angin. Hal ini yang kemudian menyebabkan *photovoltaic array*

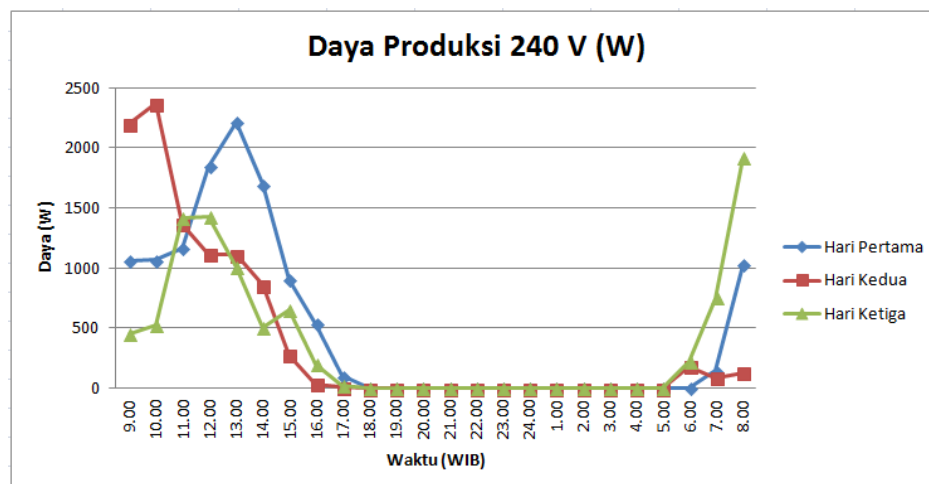
akan menghasilkan listrik yang lebih efektif dibanding turbin angin. Ketika matahari tenggelam dan *photovoltaic array* sudah tidak dapat menghasilkan listrik, maka pembangkit yang bekerja hanya turbin angin.

PLTH Bayu Baru menggunakan dua buah sistem penyimpanan energi listrik pada baterai, yaitu dengan menggunakan sistem 240 V dan 48 V. Sistem 240 V disuplai oleh 4 unit turbin angin 1kW/240V Grup Barat dan 150 unit panel surya 100W/12V dan disimpan pada baterai dengan kapasitas 100Ah/12V sejumlah 60 unit. Sedangkan untuk sistem 48 V disuplai oleh 4 unit turbin angin 1kW/48V, 40 unit panel surya 100W/48V dan 48 unit panel surya 220W/48V dan disimpan pada baterai dengan kapasitas 1000Ah/2V sejumlah 48 unit dan 120Ah/12V sejumlah 40 unit.

4.3.1. Hasil Pengukuran Kinerja PLTH Bayu Baru

Untuk dapat mengetahui lebih detail mengenai data yang dihasilkan dari sistem 240 V maupun 48 V, maka penulis melakukan pengukuran secara *real time* pada kedua sistem tersebut. Berikut adalah hasil pengukuran yang dilakukan.

a. Sistem 240 V



Gambar 4.3. Grafik hasil pengukuran kinerja PLTH Bayu Baru sistem 240 V.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya maksimal yang dihasilkan pembangkit sistem 240 V dalam 24 jam yaitu 2216.66 Watt pada pukul 13.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari kedua, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya maksimal yang dihasilkan pembangkit sistem 240 V dalam 24 jam yaitu 2367.232 Watt pada pukul 10.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari ketiga, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya maksimal yang dihasilkan pembangkit sistem 240 V dalam 24 jam yaitu 1920.864 Watt pada pukul 08.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB.

Adapun rekapitulasi hasil kinerja sistem 240 V selama tiga hari adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6. Data rekapitulasi produksi sitem 240 V PLTH Bayu Baru.

Rekapitulasi Hasil Kinerja Sistem 240 V			
Hari	$P_{in} \text{ Max (W)}$	$P_{in} \text{ Rata-rata (W)}$	$P_{in} \text{ Total (W)}$
Pertama	2216.66	490.49	11771.85
Kedua	2367.232	405.79	9738.863
Ketiga	1920.864	379.04	9097.044

Dari hasil pengamatan selama tiga hari, daya produksi terbesar yang didapat dari sistem pembangkit 240 V adalah sebesar 11.7 kW dari total pembangkit terpasang yaitu sebesar 19 kW. Ini berarti pembangkit dapat menghasilkan daya sebesar 65 % dari keseluruhan kapasitas pembangkit.

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{in} \text{ Max} = V_{in} \text{ Max} \cdot I_{in} \text{ Max}$$

$$P_{in} \text{ Max} = 8.09 \cdot 274.0$$

$$P_{in} \text{ Max} = 2216.66 \text{ Watt}$$

$$P_{in} \text{ Rata - rata} = \frac{P_{in1} + P_{in2} + \dots + P_{in24}}{24}$$

$$P_{in} \text{ Rata - rata} = 490.49 \text{ Watt}$$

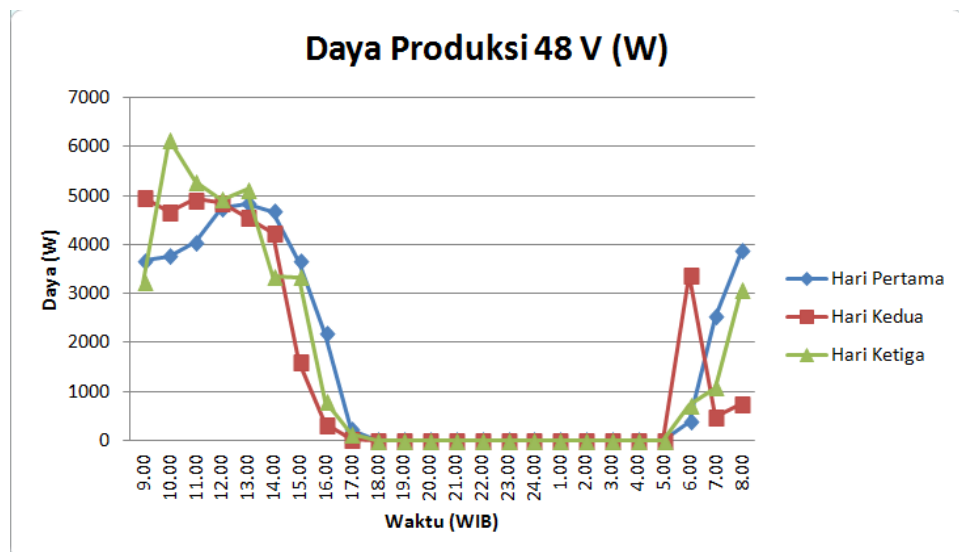
$$P_{in} \text{ Total} = P_{in1} + P_{in2} + \dots + P_{in24}$$

$$P_{in} \text{ Total} = 11771.85 \text{ Watt}$$

Produksi yang belum maksimal dengan nilai diatas dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang paling berpengaruh adalah cuaca dan kondisi angin. Pada saat dilakukan penelitian, cuaca tidak menentu dan terkadang mendung, sehingga menyebabkan intensitas radiasi matahari yang didapatkan tidak kontinyu dan tidak stabil. Hal ini menyebabkan tegangan PV yang dihasilkan cenderung fluktuatif. Selain itu, kondisi kecepatan angin yang ada juga kecil dan tidak menentu. Hal ini menyebabkan turbin angin tidak dapat bekerja

maksimal karena turbin berputar tidak pada kecepatan tertingginya. Sehingga tegangan yang dihasilkan turbin angin juga kecil atau bahkan tidak ada, karena kondisi angin yang tidak dapat menggerakkan turbin angin.

b. Sistem 48 V



Gambar 4.4. Grafik hasil pengukuran kinerja PLTH Bayu Baru sistem 48 V.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya maksimal yang dihasilkan pembangkit sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 4835.53 Watt pada pukul 13.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari kedua, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya maksimal yang dihasilkan pembangkit sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 4966.819

Watt pada pukul 09.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari ketiga, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya maksimal yang dihasilkan pembangkit sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 6137.782 Watt pada pukul 10.00 WIB. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB.

Adapun rekapitulasi hasil kinerja sistem 48 V selama tiga hari adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7. Data rekapitulasi produksi sistem 48 V PLTH Bayu Baru.

Rekapitulasi Hasil Kinerja Sistem 48 V			
Hari	$P_{in} \text{ Max (W)}$	$P_{in} \text{ Rata-rata (W)}$	$P_{in} \text{ Total (W)}$
Pertama	4835.53	1605.98	38543.53
Kedua	4966.819	1450.41	34809.93
Ketiga	6137.782	1549.28	37182.66

Dari hasil pengamatan selama tiga hari, daya produksi terbesar yang didapat dari sistem pembangkit 48 V adalah sebesar 38 kW dari total pembangkit terpasang yaitu sebesar 18 kW. Ini berarti pembangkit dapat menghasilkan daya sebesar 214 % dari keseluruhan kapasitas pembangkit.

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{in} \text{ Max} = V_{in} \text{ Max} \cdot (I_{in}G1 \text{ Max} + I_{in}G2 \text{ Max} + I_{in}G3 \text{ Max} + I_{in}G4 \text{ Max})$$

$$P_{in} \text{ Max} = 51.8 \cdot (24.51 + 27.07 + 25.51 + 16.26)$$

$$P_{in} Max = 51.8 .93.35$$

$$P_{in} Max = 4853.35 Watt$$

$$P_{in} Rata - rata = \frac{P_{in1} + P_{in2} + \dots + P_{in24}}{24}$$

$$P_{in} Rata - rata = 1605.98 Watt$$

$$P_{in} Total = P_{in1} + P_{in2} + \dots + P_{in24}$$

$$P_{in} Total = 38543.53 Watt$$

Hasil persentase produksi yang tinggi dari pembangkit dikarenakan daya tersebut adalah daya total yang digunakan beban selama 24 jam penuh. Sehingga energi yang telah dihasilkan oleh pembangkit secara kontinyu digunakan oleh beban. Ketika pembangkit mengisi baterai sampai penuh, tegangan DC dari baterai tersebut diubah oleh inverter yang menjadi tegangan AC yang kemudian disalurkan ke beban. Pada saat yang bersamaan ketika beban mengkonsumsi listrik dari baterai, pembangkit juga memproduksi listrik dan mensuplai listrik ke baterai. Keadaan tersebut terjadi secara kontinyu ketika pembangkit dapat menghasilkan listrik dan beban dalam keadaan aktif. Hal itulah yang menyebabkan produksi listrik dari sistem 48 V ini tinggi.

4.3.2. Perhitungan Daya Optimal dan Efisiensi PLTH Bayu Baru

PLTH Bayu Baru mempunyai dua sistem penyimpanan baterai, sehingga secara otomatis mempunyai dua buah sistem pembangkit. Dalam satu sistem pembangkit ada dua buah sumber pembangkit, yaitu turbin angin dan *photovoltaic array*. Oleh karena itu perhitungan daya dilakukan berdasarkan masing-masing sumber pembangkit yang kemudian di gabungkan menjadi satu buah sistem penyimpanan.

4.3.2.1. Daya Optimal dan Efisiensi Sistem 240 V

Sistem 240 V ini mempunyai dua buah jenis pembangkit, yaitu *photovoltaic array* 100 W sejumlah 150 unit dan turbin angin 1 kW sejumlah 4 unit. Sehingga total kapasitas daya terpasang adalah 19 kW.

a. *Photovoltaic Array*

Photovoltaic array pada sistem 240 V mempunyai kapasitas produksi sebesar 15kW/240V dengan masing-masing PV 100W/12V. *Photovoltaic module* yang digunakan ialah eSol 100W. Jumlah *photovoltaic module* sistem ini yaitu 150 unit dengan susunan paralel 15 dan seri 10. Masing-masing besar daya maksimal yang dihasilkan *photovoltaic module* pada *Standar Test Condition* (STC) dengan intensitas radiasi matahari 1000 W/m² adalah sebesar 100 W.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit *photovoltaic array* 15kW/240 V dalam 24 jam yaitu 6786.46 Watt pada pukul 13.00 WIB ketika intensitas radiasi matahari sebesar 671.5 W/m². Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan masing-masing *photovoltaic module* adalah 2.80% terjadi pada pukul 13.00 WIB.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari kedua, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit *photovoltaic array* 15kW/240

V dalam 24 jam yaitu 8863.29 Watt pada pukul 11.00 WIB ketika intensitas radiasi matahari sebesar 767.4 W/m². Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan masing-masing *photovoltaic module* adalah 2.99% terjadi pada pukul 10.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari ketiga, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit *photovoltaic array* 15kW/240 V dalam 24 jam yaitu 9464.50 Watt pada pukul 13.00 WIB ketika intensitas radiasi matahari sebesar 793 W/m². Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan masing-masing *photovoltaic module* adalah 2.43% terjadi pada pukul 8.00 WIB.

Adapun rekapitulasi dari hasil pengukuran diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8. Data rekapitulasi daya optimal dan efisiensi *photovoltaic array* 15kW/240V.

Rekapitulasi Daya Optimal dan Efisiensi PV 15kW/240 V						
Hari	G _{max} (W/m ²)	G _{rata-rata} (W/m ²)	P _{max} (W)	P _{rata-rata} (W)	η _{max} (%)	η _{rata-rata} (%)
Pertama	671.5	355.61	6786.46	2438.62	2.80	1.24
Kedua	767.4	374.28	8863.29	3407.36	2.99	1.03
Ketiga	793	385.07	9464.5	3298.16	2.43	0.96

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$G_{rata-rata} = \frac{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_{12}}{12}$$

$$G_{rata-rata} = 355.61 \text{ W/m}^2$$

$$P_{max} \text{ PV array} = P_{max} \text{ modul} \cdot N_{pv}$$

$$P_{max} \text{ PV array} = 45.24 \cdot 150$$

$$P_{max} \text{ PV array} = 6786.46 \text{ Watt}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_{12}}{12}$$

$$P_{rata-rata} = 2438.62 \text{ Watt}$$

$$\eta_{max} = \frac{P_{out}}{G \cdot A} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = \frac{2216.66}{1000 \cdot 79.06} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = 2.80 \%$$

$$\eta_{rata-rata} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_{12}}{12}$$

$$\eta_{rata-rata} = 1.24 \%$$

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa selama tiga hari pengamatan, daya optimal terbesar didapat pada hari ketiga yaitu 9.4 kW dari kapasitas terpasang 15 kW, ini berarti hanya sekitar 63 % daya yang bisa dihasilkan dari kapasitas pembangkit terpasang pada suatu waktu. Sedangkan efisiensi terbesar yang dihasilkan terdapat pada hari kedua yaitu 2.99 % dari efisiensi seharusnya yang 12.69 %. Intensitas radiasi matahari terbesar yang didapat yaitu 793 W/m², sedangkan keadaan untuk menghasilkan daya maksimal masing-masing *photovoltaic module* sebesar 100 W ialah 1000 W/m² berdasarkan STC. Hal ini berarti intensitas radiasi matahari yang ada adalah sebesar 79.3 %.

Daya yang dihasilkan diatas dikarenakan intensitas radiasi matahari yang didapat belum pada puncaknya. Cuaca yang cenderung berubah-ubah membuat intensitas radiasi matahari tidak konstan, sehingga berpengaruh terhadap produksi listrik dan kinerja dari *photovoltaic array*. Selain itu, sistem pembangkit *photovoltaic array* ini tidak menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) sebagai alat untuk memaksimalkan daya puncak yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic array*.

Kecilnya efisiensi yang dihasilkan dikarenakan kapasitas penyimpanan baterai yang tidak sebanding dengan kapasitas pembangkit, sehingga ketika baterai sudah terisi penuh maka daya yang masuk ke baterai sama dengan daya ke beban. Hal ini menyebabkan daya sisa yang dihasilkan *photovoltaic array* ini terbuang sia-sia.

b. Turbin Angin

Turbin angin yang terpasang pada sistem 240 V ini ialah sejumlah 20 unit, akan tetapi turbin angin yang dioperasikan ada 4 unit dengan masing-masing kapasitas 1kW. Sehingga daya total terpasang ialah 4kW.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit turbin angin 4kW/240 V dalam 24 jam yaitu 396.26 Watt pada pukul 13.00 WIB ketika kecepatan angin 3.4 m/s. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 10.00 WIB, 16.00 WIB, 19.00 WIB, 23.00 WIB, 24.00 WIB dan 2.00 WIB. Efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit turbin angin adalah 0 %. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang ada tidak

konstan dan belum bisa menggerakkan turbin angin, sehingga kerja turbin angin tidak maksimal dan turbin angin tidak menghasilkan listrik.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari kedua, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit turbin angin 4kW/240V dalam 24 jam yaitu 598.05 Watt pada pukul 11.00 WIB ketika kecepatan angin 3.9 m/s. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00 WIB, 22.00 WIB, 24.00 WIB, 1.00 WIB, 2.00 WIB, 5.00 WIB, 6.00 WIB, 7.00 WIB dan 8.00 WIB. Efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit turbin angin adalah 0 %. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang ada tidak konstan dan belum bisa menggerakkan turbin angin, sehingga kerja turbin angin tidak maksimal dan turbin angin tidak menghasilkan listrik.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari ketiga, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit turbin angin 4kW/240 V dalam 24 jam yaitu 362.31 Watt pada pukul 14.00 WIB ketika kecepatan angin 3.3 m/s. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 10.00 WIB, 17.00 WIB, 19.00 WIB, 21.00-6.00 WIB. Efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit turbin angin adalah 0 %. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang ada tidak konstan dan belum bisa menggerakkan turbin angin, sehingga kerja turbin angin tidak maksimal dan turbin angin tidak menghasilkan listrik.

Adapun rekapitulasi dari hasil pengukuran diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9. Data rekapitulasi daya optimal dan efisiensi turbin angin 4kW/240V.

Rekapitulasi Daya Optimal dan Efisiensi Turbin Angin 240 V						
Hari	v_{max} (m/s)	$v_{rata-rata}$ (m/s)	P_{max} (W)	$P_{rata-rata}$ (W)	η_{max} (%)	$\eta_{rata-rata}$ (%)
Pertama	3.4	1.15	396.26	53.66	0	0
Kedua	3.9	0.83	598.05	43.91	0	0
Ketiga	3.3	0.77	362.31	42.5	0	0

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$v_{rata-rata} = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_{24}}{24}$$

$$v_{rata-rata} = 1.15 \text{ m/s}$$

$$P_{max TA} = P_{max TA} \cdot N_{TA}$$

$$P_{max PV array} = 99.06 \cdot 4$$

$$P_{max PV array} = 396.26 \text{ Watt}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_{24}}{24}$$

$$P_{rata-rata} = 53.66 \text{ Watt}$$

$$\eta_{max} = \frac{P_{out}}{P_{angin}} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = \frac{0}{99.06} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = 0 \%$$

$$\eta_{rata-rata} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_{24}}{24}$$

$$\eta_{rata-rata} = 0 \%$$

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa selama tiga hari pengamatan, daya optimal terbesar didapat pada hari kedua yaitu 598.05 W dari kapasitas yang dioperasikan 4 kW, ini berarti hanya sekitar 14.95 % daya yang bisa dihasilkan dari kapasitas pembangkit yang beroperasi pada suatu waktu. Kecepatan angin tertinggi yang didapat selama penelitian yaitu 3.9 m/s, dan kecepatan angin tersebut tidak terjadi secara kontinyu melainkan fluktuatif, sehingga membuat turbin angin tidak dapat mencapai rotasi maksimal yang kemudian menjadi penyebab tidak maksimalnya daya yang dihasilkan turbin angin. Efisiensi turbin angin selama melakukan penelitian adalah 0 % atau tidak ada. Hal ini dikarenakan pada saat penelitian, kondisi kecepatan angin sangat fluktuatif dan kecepatan rata-ratanya tidak dapat menggerakkan turbin angin, sehingga turbin angin tidak dapat menghasilkan listrik.

4.3.2.2. Daya Optimal dan Efisiensi Sistem 48 V

Sistem 48 V mempunyai 4 grup pembangkit yang berasal dari *photovoltaic array* maupun turbin angin. Adapun pembagiannya yaitu grup I terdiri dari 16 unit *photovoltaic module* 220 W, grup II terdiri dari 16 unit *photovoltaic module* 220 W dan 4 unit turbin angin 1 kW, grup III terdiri dari 16 unit *photovoltaic module* 220 W dan grup IV terdiri dari 40 unit *photovoltaic module* 100W. Sehingga kapasitas total daya terpasang pada sistem 48 V adalah 18 kW.

a. *Photovoltaic Array*

Sistem 48 V ini menggunakan 4 grup pembangkit *photovoltaic*, 3 grup menggunakan *photovoltaic module* SkytechS lar SIP-220W masing masing disusun paralel 8 dan serial 2. Masing-masing besar

daya maksimal yang dihasilkan *photovoltaic module* pada *Standar Test Condition* (STC) dengan intensitas radiasi matahari 1000 W/m² adalah sebesar 220 W. 1 grup lainnya menggunakan *photovoltaic module* SYK-100W M dan SY-100P masing-masing disusun paralel 10 dan serial 2. Masing-masing besar daya maskimal yang dihasilkan *photovoltaic module* pada *Standar Test Condition* (STC) dengan intensitas radiasi matahari 1000 W/m² adalah sebesar 100 W.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit *photovoltaic array* dalam 24 jam yaitu grup I-III adalah 5118.16 Watt dan grup IV adalah 1807.36 Watt pada pukul 13.00 WIB ketika intensitas radiasi matahari sebesar 671.5 W/m². Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan masing-masing grup *photovoltaic module* adalah grup I yaitu 4.71 % terjadi pada pukul 12.00 WIB, grup II yaitu 4.83 % terjadi pada pukul 13.00 WIB, grup III yaitu 4.86 % terjadi pada pukul 12.00 WIB dan grup IV 2.98 % terjadi pada pukul 14.00 WIB.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari kedua, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit *photovoltaic array* dalam 24 jam yaitu grup I-III adalah 6684.45 Watt dan grup IV adalah 2360.46 Watt pada pukul 11.00 WIB ketika intensitas radiasi matahari sebesar 767.4 W/m². Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00

WIB. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan masing-masing grup *photovoltaic module* adalah grup I yaitu 4.50 % terjadi pada pukul 11.00 WIB, grup II yaitu 5.01 % terjadi pada pukul 9.00 WIB, grup III yaitu 5.09 % terjadi pada pukul 9.00 WIB dan grup IV 2.95 % terjadi pada pukul 9.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari ketiga, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit *photovoltaic array* dalam 24 jam yaitu grup I-III 6684.45 Watt dan grup IV adalah 2520. 58 Watt pada pukul 12.00 WIB ketika intensitas radiasi matahari sebesar 793.0 W/m². Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00-05.00 WIB. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan masing-masing grup *photovoltaic module* adalah grup I yaitu 5.82 % terjadi pada pukul 10.00 WIB, grup II yaitu 6.12 % terjadi pada pukul 10.00 WIB, grup III yaitu 6.07 % terjadi pada pukul 10.00 WIB dan grup IV 3.16 % terjadi pada pukul 10.00 WIB.

Adapun rekapitulasi dari hasil pengukuran diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10. Data rekapitulasi daya optimal dan efisiensi *photovoltaic array* 10kW/48V dan 4kW/48V.

Rekapitulasi Daya Optimal dan Efisiensi PV 10kW/48 V						
Hari	Grup I					
	G _{max} (W/m ²)	G _{rata-rata} (W/m ²)	P _{max} (W)	P _{rata-rata} (W)	η _{max} (%)	η _{rata-rata} (%)
Pertama	671.5	355.61	5118.16	1839.14	4.71	2.80
Kedua	767.4	374.28	6684.45	2569.74	4.5	2.40
Ketiga	793	385.07	7137.87	2487.38	5.82	2.82

Tabel 4.10. Data rekapitulasi daya optimal dan efisiensi *photovoltaic array* 10kW/48V dan 4kW/48V (lanjutan).

Rekapitulasi Daya Optimal dan Efisiensi PV 10kW/48 V						
Hari	Grup II					
	G_{max} (W/m ²)	$G_{rata-rata}$ (W/m ²)	P_{max} (W)	$P_{rata-rata}$ (W)	η_{max} (%)	$\eta_{rata-rata}$ (%)
Pertama	671.5	355.61	5118.16	1839.14	4.83	3.23
Kedua	767.4	374.28	6684.45	2569.74	5.01	2.66
Ketiga	793	385.07	7137.87	2487.38	6.12	3.12

Rekapitulasi Daya Optimal dan Efisiensi PV 10kW/48 V						
Hari	Grup III					
	G_{max} (W/m ²)	$G_{rata-rata}$ (W/m ²)	P_{max} (W)	$P_{rata-rata}$ (W)	η_{max} (%)	$\eta_{rata-rata}$ (%)
Pertama	671.5	355.61	5118.16	1839.14	4.86	3.12
Kedua	767.4	374.28	6684.45	2569.74	5.09	2.68
Ketiga	793	385.07	7137.87	2487.38	6.07	3.06

Rekapitulasi Daya Optimal dan Efisiensi PV 4kW/48 V						
Hari	Grup IV					
	G_{max} (W/m ²)	$G_{rata-rata}$ (W/m ²)	P_{max} (W)	$P_{rata-rata}$ (W)	η_{max} (%)	$\eta_{rata-rata}$ (%)
Pertama	671.5	355.61	1807.36	649.45	2.98	1.92
Kedua	767.4	374.28	2360.46	907.44	2.95	1.56
Ketiga	793	385.07	2520.58	878.36	3.16	1.78

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$G_{rata-rata} = \frac{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_{12}}{12}$$

$$G_{rata-rata} = 355.61 \text{ W/m}^2$$

$$P_{max} \text{ PV array} = P_{max} \text{ modul} \cdot N_{pv}$$

$$P_{max} \text{ PV array} = 106.63 \cdot 48$$

$$P_{max} \text{ PV array} = 5118.16 \text{ Watt}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_{12}}{12}$$

$$P_{rata-rata} = 1839.14 \text{ Watt}$$

$$\eta_{max} = \frac{P_{out}}{G \cdot A} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = \frac{1367.45}{1000 \cdot 29.0124} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = 4.71 \%$$

$$\eta_{rata-rata} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_{12}}{12}$$

$$\eta_{rata-rata} = 2.80 \%$$

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa selama tiga hari pengamatan, daya optimal terbesar pembangkit *photovoltaic array* 10kW/48V didapat pada hari ketiga yaitu 7.1 kW dari kapasitas terpasang 10 kW, ini berarti sekitar 71 % daya yang bisa dihasilkan dari kapasitas pembangkit terpasang pada suatu waktu. Daya optimal terbesar pembangkit *photovoltaic array* 4kW/48V didapat pada hari ketiga yaitu 2.5 kW dari kapasitas terpasang 4 kW, ini berarti sekitar 63 % daya yang bisa dihasilkan dari kapasitas pembangkit terpasang pada suatu waktu.

Efisiensi pembangkit dengan spesifikasi yang sama diatas didapatkan nilai yang berbeda-beda karena *photovoltaic array* tersebut dibagi menjadi tiga grup pembangkit. Efisiensi terbesar grup I dihasilkan pada hari ketiga yaitu 5.82 % dari efisiensi seharusnya yang 13.64 %. Efisiensi terbesar grup II dihasilkan pada hari ketiga yaitu 6.12 % dari efisiensi seharusnya yang 13.46 %. Efisiensi terbesar grup III dihasilkan pada hari ketiga yaitu 6.07 % dari efisiensi seharusnya yang 13.64 %. Efisiensi terbesar grup IV dihasilkan pada hari ketiga yaitu 3.16 % dari efisiensi seharusnya yang 7.85 %.

Intensitas radiasi matahari terbesar yang didapat *photovoltaic array* 10kW/48V maupun *photovoltaic array* 4kW/48V yaitu 793 W/m², sedangkan keadaan untuk menghasilkan daya maksimal masing-masing *photovoltaic module* sebesar 220 W dan 100 W ialah 1000 W/m² berdasarkan STC. Hal ini berarti intensitas radiasi matahari yang ada adalah sebesar 79.3 %.

Daya yang dihasilkan diatas dikarenakan intensitas radiasi matahari yang didapat belum pada puncaknya. Cuaca yang cenderung berubah-ubah membuat intensitas radiasi matahari tidak konstan, sehingga berpengaruh terhadap produksi listrik dan kinerja dari *photovoltaic array*. Selain itu, sistem pembangkit *photovoltaic array* ini tidak menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) sebagai alat untuk memaksimalkan daya puncak yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic array*.

Kecilnya efisiensi yang dihasilkan dikarenakan kapasitas penyimpanan baterai yang tidak sebanding dengan kapasitas pembangkit, sehingga ketika baterai sudah terisi penuh maka daya yang masuk ke baterai sama dengan daya ke beban. Hal ini menyebabkan daya sisa yang dihasilkan *photovoltaic array* ini terbuang sia-sia.

b. Turbin Angin

Turbin angin yang terpasang pada sistem 48 V ini ialah sejumlah 6 unit, akan tetapi turbin angin yang dioperasikan ada 4 unit dengan masing-masing kapasitas 1kW. Sehingga daya total terpasang ialah 4kW.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit turbin angin 4kW/48V dalam 24 jam yaitu 396.26 Watt pada pukul 13.00 WIB ketika kecepatan angin 3.4 m/s. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 10.00 WIB, 16.00 WIB, 19.00 WIB, 23.00 WIB, 24.00 WIB dan 2.00 WIB. Efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit turbin angin adalah 0 %. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang ada tidak konstan dan

belum bisa menggerakkan turbin angin, sehingga kerja turbin angin tidak maksimal dan turbin angin tidak menghasilkan listrik.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari kedua, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit turbin angin 4kW/48V dalam 24 jam yaitu 598.05 Watt pada pukul 11.00 WIB ketika kecepatan angin 3.9 m/s. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 18.00 WIB, 22.00 WIB, 24.00 WIB, 1.00 WIB, 2.00 WIB, 5.00 WIB, 6.00 WIB, 7.00 WIB dan 8.00 WIB. Efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit turbin angin adalah 0 %. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang ada tidak konstan dan belum bisa menggerakkan turbin angin, sehingga kerja turbin angin tidak maksimal dan turbin angin tidak menghasilkan listrik.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari ketiga, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa daya optimal yang dihasilkan pembangkit turbin angin 4kW/48V dalam 24 jam yaitu 362.31 Watt pada pukul 14.00 WIB ketika kecepatan angin 3.3 m/s. Sedangkan kondisi ketika pembangkit tidak menghasilkan listrik dengan nilai 0 terjadi pada pukul 10.00 WIB, 17.00 WIB, 21.00-6.00 WIB. Efisiensi yang dihasilkan oleh pembangkit turbin angin adalah 0 %. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang ada tidak konstan dan belum bisa menggerakkan turbin angin, sehingga kerja turbin angin tidak maksimal dan turbin angin tidak menghasilkan listrik.

Adapun rekapitulasi dari hasil pengukuran diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 4.11. Data rekapitulasi daya optimal dan efisiensi turbin angin 4kW/48V.

Rekapitulasi Daya Optimal dan Efisiensi Turbin Angin 48 V						
Hari	v_{max} (m/s)	$v_{rata-rata}$ (m/s)	P_{max} (W)	$P_{rata-rata}$ (W)	η_{max} (%)	$\eta_{rata-rata}$ (%)
Pertama	3.4	1.15	396.26	53.66	0	0
Kedua	3.9	0.83	598.05	43.91	0	0
Ketiga	3.3	0.77	362.31	42.5	0	0

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$v_{rata-rata} = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_{24}}{24}$$

$$v_{rata-rata} = 1.15 \text{ m/s}$$

$$P_{max TA} = P_{max TA} \cdot N_{TA}$$

$$P_{max PV array} = 99.06 \cdot 4$$

$$P_{max PV array} = 396.26 \text{ Watt}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_{24}}{24}$$

$$P_{rata-rata} = 53.66 \text{ Watt}$$

$$\eta_{max} = \frac{P_{out}}{P_{angin}} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = \frac{0}{99.06} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{max} = 0 \%$$

$$\eta_{rata-rata} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_{24}}{24}$$

$$\eta_{rata-rata} = 0 \%$$

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa selama tiga hari pengamatan, daya optimal terbesar didapat pada hari kedua yaitu 598.05 W dari kapasitas yang dioperasikan 4 kW, ini berarti hanya sekitar 14.95 % daya yang bisa dihasilkan dari kapasitas pembangkit yang beroperasi pada suatu waktu. Kecepatan angin tertinggi yang didapat selama penelitian yaitu 3.9 m/s, dan kecepatan angin tersebut tidak terjadi secara kontinyu melainkan fluktuatif, sehingga membuat turbin angin tidak dapat mencapai rotasi maksimal yang kemudian menjadi penyebab tidak maksimalnya daya yang dihasilkan turbin angin. Efisiensi turbin angin selama melakukan penelitian adalah 0 % atau tidak ada. Hal ini dikarenakan pada saat penelitian, kondisi kecepatan angin sangat fluktuatif dan kecepatan rata-ratanya tidak dapat menggerakkan turbin angin, sehingga turbin angin tidak dapat menghasilkan listrik.

4.4. Konsumsi Beban PLTH Bayu Baru

Beban yang mengkonsumsi listrik hasil produksi pembangkit PLTH Bayu Baru adalah : Warung Kuliner Grup Barat, Warung Kuliner Grup Tengah, Warung Kuliner Grup Timur, Kantor PLTH dan Penerangan Jalan Umum. Beban listrik yang mengkonsumsi beban listrik ini disuplai oleh dua sistem penyimpanan yang berbeda. Sistem 240 V mensuplai listrik untuk konsumsi beban penerangan jalan umum. Sedangkan sistem 48 V mensuplai listrik untuk konsumsi beban warung kuliner barat, warung kuliner tengah, warung kuliner timur dan kantor PLTH.

a. Sistem 240 V

Sistem penyimpanan 240 V ini digunakan untuk mensuplai beban listrik penerangan jalan umum. Penerangan jalan umum tidak mengkonsumsi listrik selama 24 jam terus-menerus. Akan tetapi diaktifkan pada hari mulai gelap antara pukul 17.00 WIB atau 18.00 WIB sampai dengan pukul 5.00 WIB atau 7.00 WIB.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa konsumsi tertinggi beban PJU dalam 24 jam yaitu 831.97 Watt pada pukul 19.00 WIB. Beban PJU mulai diaktifkan pada pukul 18.00-7.00 WIB dan dinonaktifkan pada pukul 8.00-16.00 WIB.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa konsumsi tertinggi beban PJU dalam 24 jam yaitu 752.4 Watt pada pukul 23.00 WIB. Beban PJU mulai diaktifkan pada pukul 17.00-5.00 WIB dan dinonaktifkan pada pukul 6.00-16.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa konsumsi tertinggi beban PJU dalam 24 jam yaitu 856.408 Watt pada pukul 23.00 WIB. Beban PJU mulai diaktifkan pada pukul 17.00-24.00 WIB dan dinonaktifkan pada pukul 1.00-16.00 WIB. Pada hari ketiga, beban dinonaktifkan lebih awal dari biasanya dikarenakan tegangan baterai sudah tidak mencukupi untuk mensuplai keseluruhan beban PJU. Maka dari itu, beban dinonaktifkan lebih awal untuk menghindari low baterai dan drop tegangan.

Adapun rekapitulasi konsumsi beban PJU dari sistem 240 ini adalah :

Tabel 4.12. Rekapitulasi konsumsi beban 240 V.

Rekapitulasi Konsumsi Beban Sistem 240 V			
Hari	$P_{\text{konsumsi Max (W)}}$	$P_{\text{konsumsi Rata-rata (W)}}$	$P_{\text{konsumsi Total (W)}}$
Pertama	831.78	383.97	9215.32
Kedua	725.4	320.55	7693.095
Ketiga	856.408	275.15	6603.716

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{konsumsi}Max = I_{out} Max . V_{out} Max$$

$$P_{konsumsi}Max = 3.46 . 240.4$$

$$P_{konsumsi}Max = 831.076 Watt$$

$$P_{konsumsi}Rata - rata = \frac{P_{konsumsi1} + P_{konsumsi2} + P_{konsumsi3} + \dots + P_{konsumsi24}}{24}$$

$$P_{rata-rata} = 383.97 Watt$$

$$P_{konsumsi}Total = P_{konsumsi1} + P_{konsumsi2} + P_{konsumsi3} + \dots + P_{konsumsi24}$$

$$P_{konsumsi}Total = 9215.32 Watt$$

Dari data diatas dapat diketahui bahwa konsumsi tertinggi dari beban penerangan jalan umum terjadi pada hari pertama yaitu sebesar 9215.32 Watt. Perbedaan konsumsi beban penerangan jalan umum terjadi karena waktu pengaktifan dan penonaktifan beban dilakukan pada waktu yang berbeda.

b. Sistem 48 V

Sistem penyimpanan 48 V ini digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik dari 4 kelompok beban, yaitu warung kuliner grup barat, warung kuliner grup tengah, warung kuliner grup timur dan kantor PLTH. Beban listrik pada sistem ini digunakan selama 24 jam atau selama warung kuliner beroperasi.

1. Hari Pertama (Kamis-Jum'at/28-29 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa konsumsi tertinggi beban sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 2479.4 Watt pada pukul 12.00 WIB. Sedangkan konsumsi terendah beban sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 237.6 Watt terjadi pada pukul 21.00 WIB.

2. Hari Kedua (Jum'at-Sabtu/29-30 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa konsumsi tertinggi beban sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 1850.2 Watt pada pukul 10.00 WIB. Sedangkan konsumsi terendah beban sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 121 Watt terjadi pada pukul 8.00 WIB.

3. Hari Ketiga (Sabtu-Minggu/30-31 Desember 2017)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada hari pertama, yaitu mendapatkan hasil pengukuran bahwa konsumsi tertinggi beban sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 2488.2 Watt pada pukul 12.00 WIB. Sedangkan konsumsi terendah beban sistem 48 V dalam 24 jam yaitu 151.8 Watt terjadi pada pukul 21.00 WIB.

Adapun rekapitulasi konsumsi beban warung kuliner dan kantor dari sistem 48 V ini adalah :

Tabel 4.13. Rekapitulasi konsumsi beban 48 V.

Rekapitulasi Konsumsi Beban Sistem 48 V			
Hari	$P_{\text{konsumsi Max}}$ (W)	$P_{\text{konsumsi Rata-rata}}$ (W)	$P_{\text{konsumsi Total}}$ (W)
Pertama	2479.4	1225.86	29420.6
Kedua	1850.2	1083.41	26001.8
Ketiga	2488.2	1102.11	26450.6

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{\text{konsumsi Max}} = P_{\text{out G1}} + P_{\text{out G2}} + P_{\text{out G3}} + P_{\text{out G4}}$$

$$P_{\text{konsumsi Max}} = 695.2 + 591.8 + 737 + 455.4$$

$$P_{\text{konsumsi Max}} = 2479.4 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{konsumsi Rata-rata}} = \frac{P_{\text{konsumsi1}} + P_{\text{konsumsi2}} + P_{\text{konsumsi3}} + \dots + P_{\text{konsumsi24}}}{24}$$

$$P_{rata-rata} = 1225.86 \text{ Watt}$$

$$P_{konsumsi} Total = P_{konsumsi1} + P_{konsumsi2} + P_{konsumsi3} + \dots + P_{konsumsi24}$$

$$P_{konsumsi} Total = 29420.6 \text{ Watt}$$

Dari data diatas dapat diketahui bahwa konsumsi tertinggi dari beban pada sistem 48 V terjadi pada hari pertama yaitu sebesar 29420.6 Watt.

Besar kecilnya konsumsi beban dipengaruhi oleh waktu beroperasinya waung kuliner. Fluktuasi konsumsi beban dipengaruhi oleh keadaan wisatawan yang datang ke lokasi wisata Pantai Baru. Biasanya pada hari libur dan hari besar nasional menyebabkan wisatawan yang datang menjadi banyak, sehingga warung-warung kuliner menggunakan beban lebih banyak juga, karena alat-alat elektronik yang ada di warung digunakan lebih lama dan kontinyu, sehingga kebutuhan dan konsumsi listrik semakin tinggi. Sedangkan untuk konsumsi kantor PLTH biasanya aktif selama 24 jam, karena kantor PLTH digunakan untuk mengontrol sistem PLTH Bayu Baru, jadi listrik untuk PLTH harus aktif selama 24 jam.

4.5. Perbandingan Produksi dan Konsumsi Energi Listrik PLTH Bayu Baru

Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi dari pembangkit dalam mensuplai kebutuhan listrik dari konsumen atau beban. Selain itu, perbandingan ini juga digunakan sebagai bahan untuk menganalisis keoptimalan pembangkit dalam memproduksi listrik selama 24 jam yang seharusnya dapat mensuplai seluruh kebutuhan konsumsi listrik selama 24 jam.

a. Sistem 240 V

Sistem 240 V mempunyai dua buah pembangkit yang menghasilkan listrik, yaitu *photovoltaic array* 15kW/240V dan turbin angin 1kW/240V 4 unit dengan total 4kW/240V. Listrik yang diproduksi oleh pembangkit tersebut disimpan pada baterai dengan kapasitas 240V. Beban yang disuplai listrik dari penyimpanan 240

V ini yaitu beban Penerangan Jalan Umum (PJU) yang menggunakan lampu DC, sehingga sistem ini tidak memerlukan inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC terlebih dahulu untuk digunakan oleh beban.

Tabel 4.14. Perbandingan produksi dan konsumsi beban 240 V.

Perbandingan Produksi dan Konsumsi Sistem 240 V						
Hari	Produksi _{max} (W)	Konsumsi _{max} (W)	Produksi _{rata-rata} (W)	Konsumsi _{rata-rata} (W)	Produksi _{tot} (W)	Konsumsi _{total} (W)
Pertama	2216.66	831.78	490.49	383.97	11771.85	9215.32
Kedua	2367.232	725.4	405.79	320.55	9738.863	7693.095
Ketiga	1920.864	856.408	379.04	275.15	9097.044	6603.716

Dari tabel dapat diketahui bahwa produksi total terbesar selama 24 jam terjadi pada hari pertama yaitu 11771.85 Watt, sedangkan untuk konsumsi total terbesar selama 24 jam terjadi pada hari pertama yaitu 9215.32 Watt. Hal ini berarti dari total produksi listrik yang dihasilkan pada hari pertama ada 78 % daya yang dikonsumsi beban. Produksi total terkecil selama 24 jam terjadi pada hari ketiga yaitu 9097.044 Watt, sedangkan untuk konsumsi total terkecil selama 24 jam terjadi pada hari ketiga 6603.716 Watt. Hal ini berarti dari total produksi yang dihasilkan pada hari ketiga ada 72 % daya yang dikonsumsi beban. Dari perbandingan diatas diketahui beban tidak mengkonsumsi seluruh daya yang diproduksi oleh pembangkit, karena pada saat baterai sudah mencapai titik minimum untuk mensuplai beban, maka suplai listrik ke beban akan dihentikan. Hal ini dilakukan untuk menghindari drop tegangan pada baterai yang bisa memperpendek umur baterai.

Produksi yang terbesar terjadi pada hari pertama karena kinerja sistem lebih baik dibanding pada dua hari lainnya, hal ini disebabkan sumber energi dari pembangkit (radiasi matahari dan kecepatan angin) terjadi lebih lama dan kontinyu, sehingga daya total selama 24 jam yang dihasilkan juga ikut tinggi. Produksi yang terkecil terjadi pada hari ketiga karena pada hari itu sumber energi dari pembangkit (radiasi matahari dan kecepatan angin) terjadi tidak konstan dan cenderung kecil. Hal ini disebabkan karena cuaca mendung dan angin tidak banyak. Sehingga kinerja pembangkit tidak optimal.

Konsumsi yang terbesar terjadi pada hari pertama karena beban juga bekerja lebih baik. Hal ini disebabkan karena suplai tegangan dari baterai yang didapatkan lebih banyak, sehingga membuat beban bekerja dalam keadaan yang optimal. Konsumsi yang terkecil terjadi pada hari ketiga karena produksi listrik yang dihasilkan tidak optimal, maka konsumsi beban juga tidak maksimal. Bahkan, penghentian suplai energi dari baterai ke beban dihentikan lebih awal untuk menghindari drop tegangan baterai.

b. Sistem 48 V

Sistem 48 V mempunyai 2 buah pembangkit yang menghasilkan listrik, dua buah pembangkit tersebut dibagi menjadi 4 grup pembangkit, yaitu :

- Grup I *photovoltaic array* 10kW/48V sejumlah 16 unit *module*
- Grup II *photovoltaic array* 10 kW/48V sejumlah 16 unit *module* dan turbin angin 1kW/240V 4 unit dengan total 4kW/48V
- Grup III *photovoltaic array* 10kW/48V sejumlah 16 unit *module*
- Grup IV *photovoltaic array* 4kW/48V sejumlah 40 unit *module*.

Listrik yang diproduksi oleh pembangkit dari keempat grup tersebut disimpan pada baterai dengan kapasitas 48 V. Beban yang disuplai listrik dari penyimpanan 48 V ini ada 4 grup beban, yaitu :

- Warung Kuliner Barat
- Warung Kuliner Tengah
- Warung Kuliner Timur
- Kantor PLTH

Sistem 48 V ini menggunakan 4 unit inverter 48 V, 3 unit digunakan sebagai inverter utama dan 1 inverter digunakan sebagai cadangan ketika baterai dalam keadaan *low*.

Tabel 4.15. Perbandingan produksi dan konsumsi beban 48 V.

Perbandingan Produksi dan Konsumsi Sistem 48 V						
Hari	Produksi _{max} (W)	Konsumsi _{max} (W)	Produksi _{rata-rata} (W)	Konsumsi _{rata-rata} (W)	Produksi _{tot} (W)	Konsumsi _{total} (W)
Pertama	4835.53	2479.4	1605.98	1225.86	38543.53	29420.6
Kedua	4966.819	1850.2	1450.41	1083.41	34809.93	26001.8
Ketiga	6137.782	2488.2	1549.28	1102.11	37182.66	26450.6

Dari tabel dapat diketahui bahwa produksi total terbesar selama 24 jam terjadi pada hari pertama yaitu 38543.53 Watt, sedangkan untuk konsumsi total terbesar selama 24 jam terjadi pada hari pertama yaitu 29420.6 Watt. Hal ini berarti dari total produksi listrik yang dihasilkan pada hari pertama ada 76 % daya yang dikonsumsi beban. Produksi total terkecil selama 24 jam terjadi pada hari kedua yaitu 34809.93 Watt, sedangkan untuk konsumsi total terkecil selama 24 jam terjadi pada hari ketiga 26001.8 Watt. Hal ini berarti dari total produksi yang dihasilkan pada hari kedua ada 74 % daya yang dikonsumsi beban. Dari perbandingan di atas diketahui beban tidak mengkonsumsi seluruh daya yang diproduksi oleh pembangkit, karena pada saat baterai sudah mencapai titik minimum untuk mensuplai beban, maka suplai listrik ke beban akan dihentikan. Hal ini dilakukan untuk menghindari drop tegangan pada baterai yang bisa memperpendek umur baterai.

Produksi yang terbesar terjadi pada hari pertama karena kinerja sistem lebih baik dibanding pada dua hari lainnya, hal ini disebabkan sumber energi dari pembangkit (radiasi matahari dan kecepatan angin) terjadi lebih lama dan kontinyu, sehingga daya total selama 24 jam yang dihasilkan juga ikut tinggi. Produksi yang terkecil terjadi pada hari kedua karena pada hari itu sumber energi dari pembangkit (radiasi matahari dan kecepatan angin) terjadi tidak konstan dan cenderung kecil. Hal ini disebabkan karena cuaca mendung dan angin tidak banyak. Sehingga kinerja pembangkit tidak optimal. Selain itu pada hari kedua terjadi kesalahan teknis operator dalam mengatur pengisian baterai, yang menyebabkan pengisian baterai tidak maksimal.

Konsumsi yang terbesar terjadi pada hari pertama karena beban juga bekerja lebih baik. Hal ini disebabkan karena suplai tegangan dari baterai yang didapatkan lebih banyak, sehingga membuat beban bekerja dalam keadaan yang optimal. Konsumsi yang terkecil terjadi pada hari kedua karena produksi listrik yang dihasilkan tidak optimal, maka konsumsi beban juga tidak maksimal. Bahkan, penghentian suplai energi dari baterai ke beban dihentikan lebih awal untuk menghindari drop tegangan baterai. Beban warung kuliner biasanya dioperasikan

dari pagi sampai dengan malam hari. Namun, ketika malam hari setelah warung-warung tidak beroperasi, suplai energi listrik dihentikan sampai dengan warung kuliner beroperasi kembali. Hal itu dilakukan untuk menghemat energi baterai dan untuk mengefektifkan penggunaan energi baterai untuk warung-warung kuliner.

4.6. Optimalisasi Sistem PLTH Bayu Baru Menggunakan *Software* HOMER

Pada saat ini ketika sumber energi fosil sebagai sumber utama bahan bakar minyak yang digunakan sebagai bahan bakar utama untuk menghasilkan listrik yang persediaannya semakin berkurang, dunia mulai beralih untuk memanfaatkan sumber energi lain yang persediaannya lebih melimpah dan tidak akan habis. Dalam implementasinya, energi yang dijadikan salah satu alternatif ialah energi baru dan terbarukan yang dimanfaatkan untuk menjadi pembangkit listrik yang berkelanjutan.

Indonesia merupakan salah satu negara yang ikut mendukung peralihan energi fosil ke energi terbarukan. Salah satu implementasi nyata dari dukungan tersebut ialah pembangunan PLTH Bayu Baru ini, sebagai percontohan untuk pembangkit listrik yang menggunakan energi baru terbarukan sebagai sumber utama untuk menghasilkan listrik. Dalam hal ini PLTH Bayu Baru memanfaatkan panas matahari dan hembusan angin untuk menghasilkan listrik.

Untuk mengetahui kinerja optimal dari PLTH Bayu Baru ini, penulis menggunakan pemodelan dan simulasi sistem dengan menggunakan *software* HOMER (*Hybrid Optimization Model for Energy Renewable*). HOMER akan mensimulasikan konfigurasi sistem, membuat daftar sistem yang layak, dengan mengurutkan daftar berdasarkan efektifitas biaya sekarang (NPC), selain itu HOMER juga menghitung nilai sisa (*salvage value*) pada komponen sistem hingga akhir *life time project*.

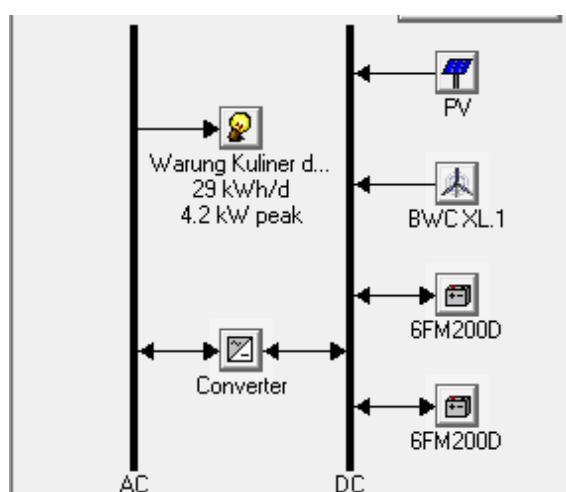
Simulasi ini terdiri dari 2 konfigurasi sesuai dengan beban yang ada pada PLTH Bayu Baru. Terdapat 5 jenis beban jenis beban PLTH Bayu Baru, yaitu beban warung kuliner barat, warung kuliner tengah, warung kuliner timur, kantor PLTH dan penerangan jalan umum. PLTH Bayu Baru menggunakan dua sistem

penyimpanan, yaitu sistem 48 V dan sistem 240 V. Sistem tersebut menggunakan pembangkit yang berbeda dan digunakan untuk mensuplai beban yang berbeda pula. Sistem 48 V disuplai oleh 48 unit *photovoltaic module* berkapasitas 220 W dengan total *photovoltaic array* 10kW, 40 unit *photovoltaic module* berkapasitas 100 W dengan total *photovoltaic array* 4kW dan 4 unit turbin angin berkapasitas 1kW dengan total 4kW. Sistem ini digunakan untuk mensuplai warung kuliner barat, warung kuliner tengah, warung kuliner timur dan kantor PLTH. Sistem 240 V disuplai oleh 150 unit *photovoltaic module* berkapasitas 100 W dengan total *photovoltaic array* 15kW dan 4 unit turbin angin berkapasitas 1kW dengan total 4kW. Sistem ini digunakan untuk mensuplai penerangan jalan umum (PJU).

4.6.1. Konfigurasi PLTH Bayu Baru dengan Beban Warung Kuliner Barat, Tengah, Timur dan Kantor PLTH

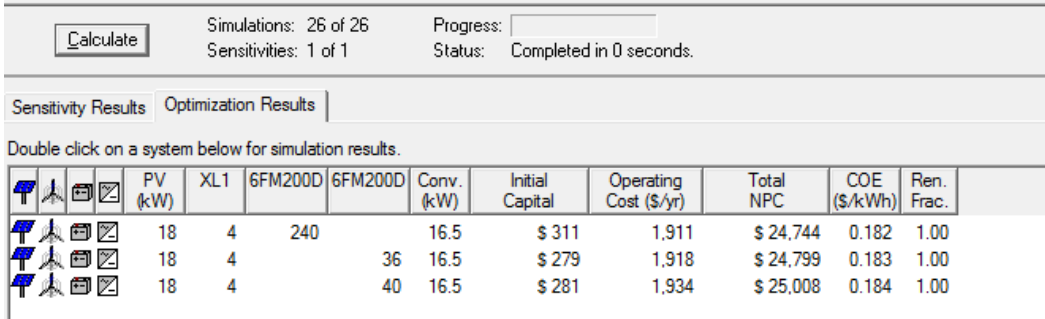
Dalam konfigurasi ini terdiri dari 4 grup pembangkit dengan pembagian sebagai berikut :

- Grup I *photovoltaic array* 10kW/48V sejumlah 16 unit *module*
- Grup II *photovoltaic array* 10 kW/48V sejumlah 16 unit *module* dan turbin angin 1kW/240V 4 unit dengan total 4kW/48V
- Grup III *photovoltaic array* 10kW/48V sejumlah 16 unit *module*
- Grup IV *photovoltaic array* 4kW/48V sejumlah 40 unit *module*.



Gambar 4.5. Konfigurasi sistem 48 V dengan beban warung kuliner barat, tengah, timur dan kantor PLTH.

Gambar diatas adalah merupakan pemodelan dari sistem 48 V dengan beban warung kuliner barat, tengah, timur dan kantor. Gambar diatas adalah merupakan bentuk dari pemodelan yang sudah jadi dengan memasukkan variabel-variabel pada masing-masing komponennya. Adapun variabel-variabelnya, yaitu beban harian masing-masing beban, biaya modal, biaya penggantian, biaya pemeliharaan, kapasitas pembangkit, ukuran baterai dan kapasitas inverter. Dari pemodelan sistem 48 V diatas didapatkan hasil simulasi sebagai berikut :



	PV (kW)	XL1	6FM200D	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	18	4	240		16.5	\$ 311	1,911	\$ 24,744	0.182	1.00
	18	4		36	16.5	\$ 279	1,918	\$ 24,799	0.183	1.00
	18	4		40	16.5	\$ 281	1,934	\$ 25,008	0.184	1.00

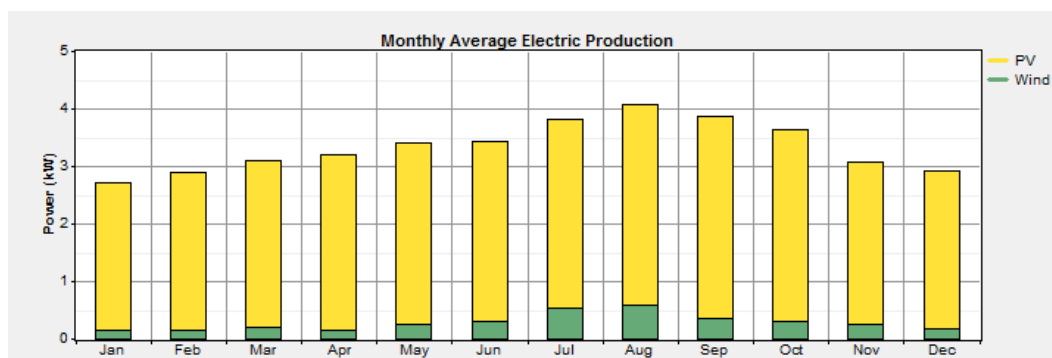
Gambar 4.6. Hasil simulasi dari pemodelan sistem 48 V dengan beban warung kuliner barat, tengah, timur dan kantor.

Dari gambar diatas didapatkan hasil bahwa dari konfigurasi sistem dengan kapasitas maksimal setiap komponen pembangkit dioperasikan, biaya total bersih (NPC) sebesar \$ 25.008, sedangkan harga energi tiap kWh sebesar \$ 0.184.

Sedangkan secara optimal untuk beban warung kuliner barat, tengah, timur dan kantor, komponen yang beroperasi adalah 18 kW. 48 unit *photovoltaic module* 220W, 40 unit *photovoltaic module* 100W, 4 unit turbin angin 1kW, dengan nilai NPC adalah \$ 24.744 dan COE \$ 0.182.

4.6.1.1. Produksi Energi listrik

Hasil produksi listrik masing-masing komponen dijelaskan secara rinci pada gambar dibawah :



Gambar 4.7. Produksi listrik ketika semua komponen beroperasi.

Produksi listrik pada sistem 48 V menghasilkan listrik total sebesar 29.371 kWh/tahun, listrik tersebut berasal dari *photovoltaic array* sebesar 26.838 (91%) kWh/tahun dan dari turbin angin sebesar 2.533 (9%) kWh/tahun. Beban setiap tahunnya adalah 10.618 kWh/tahun. Pada konfigurasi sistem 48 V ini terdapat *excess electricity* atau kelebihan energi listrik sebesar 15.729 (53.6%) kWh/tahun.

Berikut ini adalah tabel keluaran energi listrik dari *photovoltaic array* 10kW, *photovoltaic array* 4kW dan turbin angin 4kW.

Tabel 4.16. Produksi energi listrik dari *photovoltaic array* dan turbin angin.

Variabel	PLTS	PLTB
Kapasitas (kW)	14	4
Keluaran Rata-rata (kW)	3,1	0,29
Keluaran Maksimal (kW)	17,0	4,92
Faktor Kapasitas (%)	17,0	7,23
Total Produksi (kWh/tahun)	26.838	2.533
Lama Operasi (Jam/tahun)	4.410	4.767
Levelize Cost (\$/kWh)	0,00238	0,254

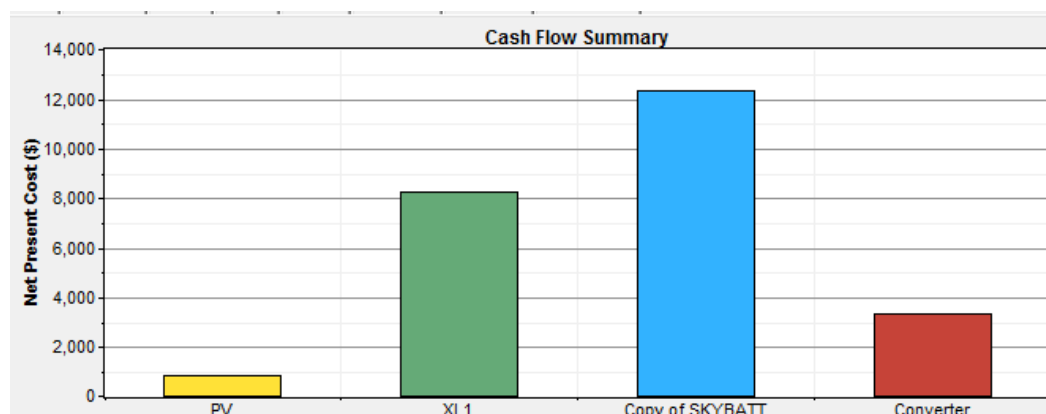
Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa harga energi paling murah berasal dari PLTS yaitu \$ 0.00238 kWh.

4.6.1.2. Ringkasan Biaya

Net Present Cost (NPC) merupakan biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu. Total NPC mencakup semua biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung, terdiri dari biaya komponen, biaya penggantian, biaya pemeliharaan, biaya bahan bakar, biaya sisa selama proyek (*salvage*). Ringkasan biaya komponen sistem adalah sebagai berikut :

Tabel 4.17. Total biaya NPC semua komponen.

Komponen	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total
PV	158	45	639	0	-25	817
BWC XL 1	101	55	8.079	0	-7	8.228
SKYBATT	43	5.919	6.392	0	-4	12.350
Inverter	8	4	3.336	0	-1	3.349
System	311	6.023	18.446	0	-37	24.744



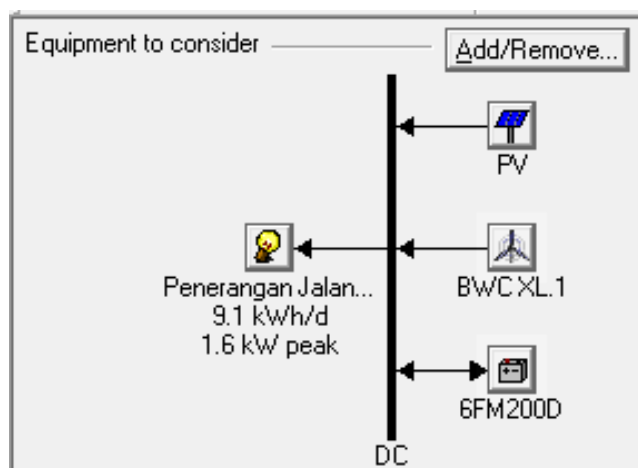
Gambar 4.8. Ringkasan biaya total komponen sistem 48 V.

Biaya terbesar dari total NPC adalah biaya investasi awal sistem, yaitu sebesar \$ 311, kemudian biaya penggantian sebesar \$ 6.023, dan biaya operasi dan pemeliharaan sebesar \$ 18.446. Biaya komponen terbesar adalah biaya baterai. HOMER juga menghitung nilai sisa

(*salvage*) dari tiap komponen pada akhir *project lifetime*, pada sistem ini terdapat nilai sebesar \$ 37.

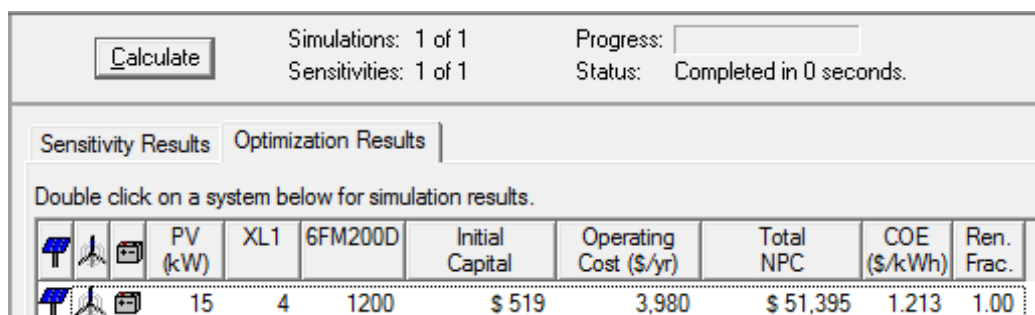
4.6.2. Konfigurasi PLTH Bayu Baru dengan Beban Penerangan Jalan Umum

Dalam konfigurasi ini terdiri dari dua pembangkit yang kemudian dijadikan menjadi satu sistem yaitu sistem 240 V. Adapun pembangkitnya yaitu, 150 unit *photovoltaic array* 100 W dengan total 15 kW dan 4 unit turbin angin 1 kW dengan total 4 kW.



Gambar 4.9. Konfigurasi sistem 240 V dengan beban penerangan jalan umum.

Gambar diatas adalah merupakan pemodelan dari sistem 240 V dengan beban warung kuliner barat, tengah, timur dan kantor. Gambar diatas adalah merupakan bentuk dari pemodelan yang sudah jadi dengan memasukkan variabel-variabel pada masing-masing komponennya. Adapun variabel-variabelnya, yaitu beban harian masing-masing beban, biaya modal, biaya penggantian, biaya pemeliharaan, kapasitas pembangkit, ukuran baterai dan kapasitas inverter. Dari pemodelan sistem 240 V diatas didapatkan hasil simulasi sebagai berikut :

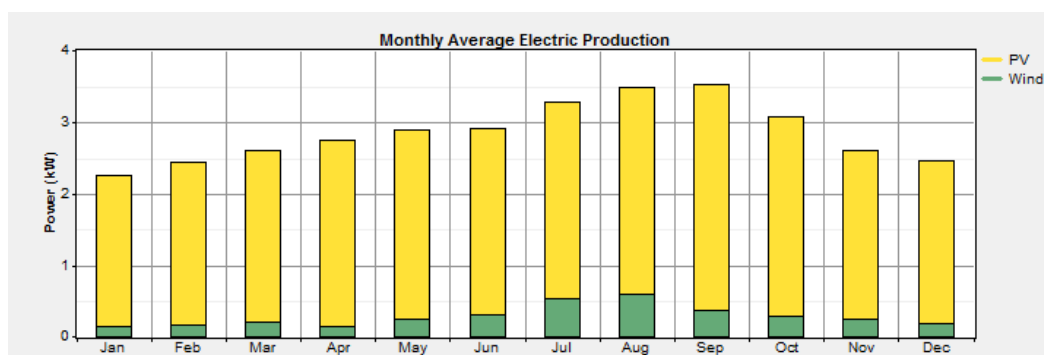


Gambar 4.10. Hasil simulasi dari pemodelan sistem 240 V dengan beban penerangan jalan umum.

Dari gambar diatas didapatkan hasil bahwa dari konfigurasi sistem dengan kapasitas maksimal setiap komponen pembangkit dioperasikan, biaya total bersih (NPC) sebesar \$ 51.395, sedangkan harga energi tiap kWh sebesar \$ 1.213.

4.6.2.1. Produksi Energi

Hasil produksi listrik masing-masing komponen dijelaskan secara rinci pada gambar dibawah :



Gambar 4.11. Produksi listrik ketika semua komponen beroperasi.

Produksi listrik pada sistem 240 V menghasilkan listrik total sebesar 25.067 kWh/tahun, listrik tersebut berasal dari *photovoltaic array* sebesar 22.534 (90%) kWh/tahun dan dari turbin angin sebesar 2.532 (10%) kWh/tahun. Beban setiap tahunnya adalah 3.314 kWh/tahun. Pada

konfigurasi sistem 48 V ini terdapat *excess electricity* atau kelebihan energi listrik sebesar 21.114 (84.2%) kWh/tahun.

Berikut ini adalah tabel keluaran energi listrik dari *photovoltaic array* 15kW dan turbin angin 4kW.

Tabel 4.18. Produksi energi listrik dari *photovoltaic array* dan turbin angin.

Variabel	PLTS	PLTB
Kapasitas (kW)	15	4
Keluaran Rata-rata (kW)	2,6	0,29
Keluaran Maksimal (kW)	14,2	4,92
Faktor Kapasitas (%)	17,1	7.23
Total Produksi (kWh/tahun)	22.534	2.532
Lama Operasi (Jam/tahun)	4.410	4.766
Levelize Cost (\$/kWh)	0,00284	0,254

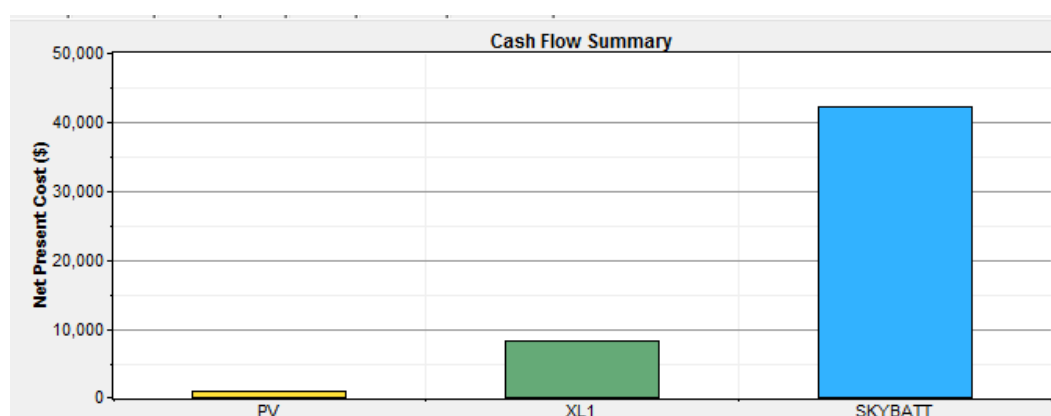
Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa harga energi paling murah berasal dari PLTS yaitu \$ 0.00284 kWh.

4.6.2.2. Ringkasan Biaya

Net Present Cost (NPC) merupakan biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu. Total NPC mencakup semua biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung, terdiri dari biaya komponen, biaya penggantian, biaya pemeliharaan, biaya bahan bakar, biaya sisa selama proyek (*salvage*). Ringkasan biaya komponen sistem adalah sebagai berikut :

Tabel 4.19. Total biaya NPC semua komponen.

Komponen	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total
PV	158	45	639	0	-25	817
BWC XL 1	101	55	8.079	0	-7	8.228
SKYBATT	260	3.768	38.350	0	-28	42.350
System	519	3.868	47.068	0	-61	51.395

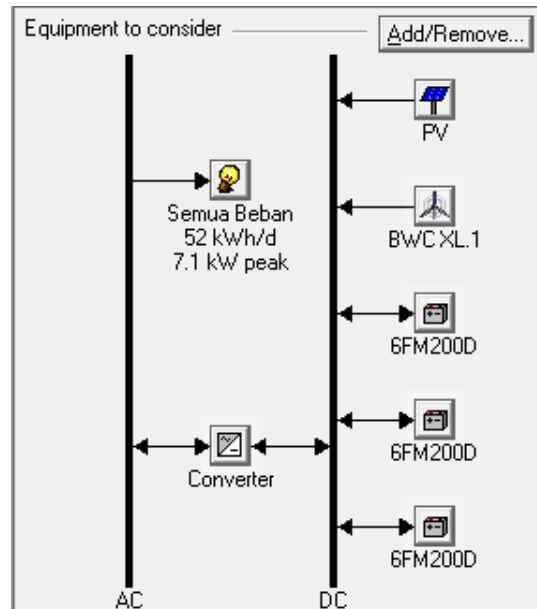
**Gambar 4.12.** Ringkasan biaya total komponen sistem 240 V.

Biaya terbesar dari total NPC adalah biaya investasi awal sistem, yaitu sebesar \$ 519, kemudian biaya penggantian sebesar \$ 3.868, dan biaya operasi dan pemeliharaan sebesar \$ 47.068. Biaya komponen terbesar adalah biaya baterai. HOMER juga menghitung nilai sisa (*salvage*) dari tiap komponen pada akhir *project lifetime*, pada sistem ini terdapat nilai sebesar \$ 61.

4.6.3. Rekonfigurasi dan Optimalisasi PLTH Bayu Baru

Rekonfigurasi ini merupakan konfigurasi dari seluruh pembangkit PLTH Bayu Baru, yaitu PLTS dan PLTB. Sehingga dari simulasi ini akan dapat diketahui besar energi yang dibangkitkan oleh keseluruhan pembangkit dari kedua sistem. Selain itu dapat dihitung keseluruhan biaya pada sistem tersebut. Berikut ini adalah diagram dari keseluruhan sistem

PLTH Bayu Baru dengan beban dan komponen pembangkit dijadikan menjadi satu sistem.



Gambar 4.13. Konfigurasi sistem PLTH Bayu Baru dengan keseluruhan beban.

Penggabungan dari 2 sistem pembangkit menjadi satu dilakukan di titik keluaran inverter, jadi semua keluaran dari inverter dihubungkan ke satu bus AC. Penggabungan ini dilakukan agar tidak perlu mengubah dasar tegangan DC, sehingga tidak mengubah ulang konfigurasi baterai, panel surya, selain itu juga tidak perlu mengganti inverter dengan kapasitas yang besar sehingga inverter yang ada masih tetap digunakan. Diagram satu garis detail dari penggabungan dapat dilihat di lampiran.

4.6.3.1. Produksi Energi Listrik

Dari hasil simulasi HOMER maka dapat dijumlah dari keseluruhan keluaran energi listrik dari komponen pembangkit dari PLTH Bayu Baru. Berikut ini adalah tabel maksimum produksi energi listrik total PLTH Bayu Baru dalam 1 tahun.

Tabel 4.20. Produksi energi listrik total pembangkit PLTH Bayu Baru.

Variabel	PLTS	PLTB
Kapasitas (kW)	29	8
Keluaran Rata-rata (kW)	4,9	0,72
Keluaran Maksimal (kW)	27,4	9,86
Faktor Kapasitas (%)	16,7	8,99
Total Produksi (kWh/tahun)	42.498	6.302
Lama Operasi (Jam/tahun)	4.410	5.151
Levelize Cost (\$/kWh)	0,00150	0,102

Kapasitas total PLTH Bayu baru adalah 37 kW, dengan kapasitas *photovoltaic array* adalah 29 kW (78.7%) dan kapasitas turbin angin adalah 8 kW (21.3%). Produksi maksimal yang dapat dihasilkan oleh pembangkit PLTH Bayu Baru dalam satu tahun adalah 48.800 kWh, dengan keluaran dari *photovoltaic array* 42.498 kWh/tahun (87%) dan keluaran total turbin angin adalah 6.302 kWh/tahun (13%).

Data ini dapat dilihat bahwa pada PLTH Bayu Baru, energi listrik keluaran dari *photovoltaic array* lebih besar dan efektif daripada keluaran turbin angin. Hal ini dikarenakan kapasitas dari panel surya lebih besar sehingga produksi listrik dari *photovoltaic array* juga ikut tinggi.

Beban PLTH Bayu Baru sendiri pada simulasi HOMER dalam setahun adalah 19.162 kWh/tahun atau hanya 39% dari energi total yang dihasilkan sejumlah 48.800 kWh/tahun. Jadi terdapat kelebihan daya sekitar 23.273 (47.6%) kWh/tahun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari segi energi listrik, PLTH Bayu Baru memproduksi listrik yang besar dan dapat mencukupi kebutuhan konsumsi pengguna.

Dari segi harga pembangkitan tiap komponen, harga pembangkitan paling murah yaitu ada pada *photovoltaic array* yaitu dengan harga \$

0.00150 kWh. Sedangkan untuk harga pembangkitan dari turbin angin ialah sebesar \$ 0.102 kWh.

4.6.3.1. Ringkasan Biaya

Berikut adalah tabel ringkasan biaya-biaya keseluruhan sistem yang ada pada PLTH Bayu Baru.

Tabel 4.21. Ringkasan biaya seluruh komponen sistem PLTH Bayu Baru.

Komponen	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total
PV	158	45	639	0	-25	817
BWC XL 1	101	26	8.079	0	-5	8.201
Vision 6FM200D	260	115	23.010	0	-15	23.266
Inverter	8	4	4.615	0	-1	4.627
System	423	191	36.343	0	-46	36.911

Dari keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru yang ada, dapat dilihat bahwa biaya modal dari keseluruhan komponen sistem PLTH Bayu Baru adalah sebesar \$ 423. Biaya penggantian seluruh komponen yang ada adalah \$ 191. Biaya operasional dan pemeliharaan keseluruhan komponen adalah \$ 36.343. Biaya sisa dari sistem adalah \$ 46. Sehingga didapat total NPC adalah sebesar \$ 36.911.