

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Profil PLTH Pantai Baru Bantul

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) ini berada di kawasan pesisir pantai baru dusun ngentak, Desa Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Pantai Baru Bantul berhadapan langsung dengan Samudera Hindia, sehingga memiliki potensi angin yang cukup untuk dimanfaatkan memutar kincir angin.

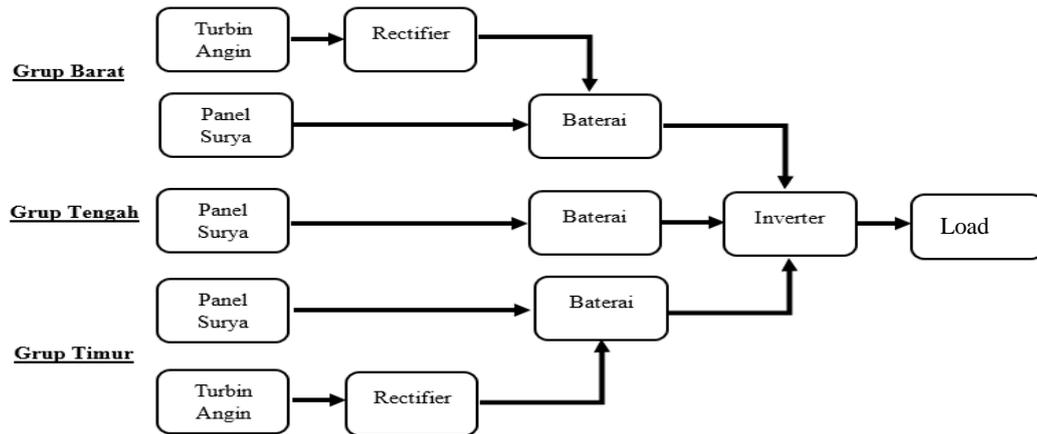
Realisasi dari PLTH ini merupakan bentuk kerjasama dari beberapa pihak terkait yang diprakarsai oleh Kementerian Riset dan Teknologi. Proyek dibangun dengan tujuan untuk perkembangan penelitian terhadap energi terbarukan. PLTH ini mensinergikan dua sumber energi yakni energi angin dan energi matahari yang.

Total energi listrik yang dapat dihasilkan dari PLTH Bayu Biru adalah sebesar 90 kW yang terbagi menjadi tiga grup. Grup barat memiliki total kapasitas daya sebesar 36 kW, grup timur memiliki total kapasitas daya sebesar 44 kW, dan grup tengah atau grup KKP memiliki total kapasitas daya sebesar 10 kW. Energi listrik ini digunakan untuk keperluan masyarakat di kawasan Pantai Baru Bantul semata-mata untuk meningkatkan kesejahteraan, ekonomi dan memenuhi kebutuhan listrik masyarakat sekitar.

4.2 Sistem PLTB Saat Awal Konstruksi dan Sekarang

4.2.1 Keadaan Sistem PLTB Awal Konstruksi

Sistem PLTH Bayu Baru pada saat awal konstruksi yang hanya dapat berlangsung dari tahun 2011 hingga 2017. Pada rentang tahun tersebut sistem pembangkit yang bekerja masih dalam keadaan sebagaimana mestinya. Saat awal konstruksi semua unit turbin angin masih berfungsi sebagaimana mestinya, sehingga sistem PLTB dan PLTS disinergikan. Gambar 4.1 menunjukkan keadaan saat awal konstruksi.



Gambar 4.1 Diagram PLTH Tahun 2011 s/d 2017

Tabel 4.1 menunjukkan turbin angin yang digunakan saat tahun 2011 hingga 2017, dimana turbin angin bekerja dengan sistem tegangan yang berbeda-beda:

Tabel 4.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PLTH Bayu Baru

No	Grup PLTB	Tegangan Sistem (V)	Kapasitas Pembangkit (kW)	Jumlah PLTB (unit)	Total Daya (kW)
1.	Barat	240	1	21	21
		120	-	-	
		48	-	-	
2.	Timur	240	10	2	40
			5	1	
			2,5	2	
		120	2	2	
		48	1	6	
Total					61

Tabel diatas menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga angin ini hanya terbagi pada dua grup yakni grup barat dan grup timur. Grup barat memiliki 21 unit kincir angin hanya dengan satu tegangan sistem saja yakni 240 V dengan kapasitas daya masing-masing sebesar 1 kW. Sedangkan, grup timur memiliki 13

unit kincir angin dengan berbagai macam tegangan sistem, antara lain: tegangan sistem 240 V dengan tiga kapasitas daya yang berbeda-beda yakni 10 kW, 5 kW dan 2,5 kW, tegangan sistem 120 V dengan kapasitas pembangkit sebesar 2 kW, dan tegangan sistem 48 V dengan kapasitas pembangkit sebesar 1 kW.

Beban listrik yang terpasang memiliki jenis yang berbeda-beda. Tabel 4.2 merupakan data beban yang di peroleh dari wawancara dan *survey* yang di lakukan di kawasan pantai baru bantul. Beban-beban ini merupakan beban utama sehari-hari yang digunakan masyarakat sekitar saat keadaan PLTB dan PLTS masih disinergikan. Sebagian besar beban digunakan untuk lampu penerangan, peralatan-peralatan listrik rumah tangga dan peralatan-peralatan listrik lainnya yang dimanfaatkan untuk pengairan dengan menggunakan pompa jet pump dan produksi es dengan memanfaatkan mesin es yang ada di ruang kontrol PLTH. Berikut tabel prakiraan beban yang di gunakan sehari-hari:

Tabel 4.2 Prakiraan Beban Sehari-hari pada tahun 2011 s/d 2017

No	Jenis Beban	Jumlah (Unit)	Daya Beban (W)	Durasi Pemakaian Per Hari (Jam)
1	Lampu Penerangan Warung	200	15	12
2	Mesin Es Kristal	1	3000	12
3	Mesin Es Kristal	1	2500	12
4	Mesin Es Balok	1	6000	12
5	Pompa Air	10	125	1
6	Pompa Jet Pump	1	250	1
7	Lampu Penerangan Kantor	10	20	12
8	Dispenser	5	350	1
9	Kipas Angin	3	50	1
10	Televisi	2	65	3
11	Lampu PJU	40	23	12
12	Mesin Es Giling	1	750	12
13	Lampu Indikator Menara	1	60	12

Daya beban didapatkan dari spesifikasi peralatan-peralatan listrik yang digunakan. Jumlah peralatan terbanyak yakni lampu penerangan warung sebanyak

200 unit. Durasi pemakaian perbeban berkisar antara 1 jam s/d 12 jam. Sedangkan, jenis beban yang memiliki daya terbesar yakni mesin es balok dengan daya sebesar 6000 watt.

4.2.2 Keadaan Sistem PLTB Sekarang

Keadaan sistem PLTB saat ini sangat jauh berbeda dengan keadaan saat awal konstruksi. Seiring dengan banyaknya kerusakan yang terjadi pada unit-unit pembangkit maka sistem pada PLTH diubah. Pada tahun 2018 sistem PLTH Bayu Baru sudah tidak hibrid lagi, jadi sistem yang awalnya mensinergikan PLTB dan PLTS saat ini dipisahkan karena alasan tertentu.



Gambar 4.2 Diagram Sistem PLTB Tahun 2018 di PLTH Bayu Baru

Gambar 4.2 menunjukkan sistem PLTB saat ini yang digunakan untuk melayani beban lampu PJU sebanyak 40 unit. Turbin angin yang bekerja hanya pada grup barat sebanyak 14 dari 21 unit, sedangkan sistem PLTB pada grup timur mengalami kerusakan pada semua unit turbin angin yang ada pada grup tersebut.

Pada tahun 2018 turbin angin tidak lagi dihubungkan dengan inverter, karena setelah ditinjau inverter sering mengalami kerusakan disebabkan output dari turbin angin. Kerusakan inverter disebabkan adanya kebocoran tegangan AC dari turbin angin menuju inverter. umumnya output AC turbin angin diubah menjadi DC agar dapat disimpan pada baterai, lalu energi DC yang tersimpan di baterai diubah lagi menjadi AC sebelum dialirkan ke beban dengan menggunakan inverter. Kebocoran tegangan AC ini dikarenakan tegangan tidak dapat dikonversikan dengan sempurna menjadi DC, sehingga energi yang tersimpan dalam baterai tidak dalam bentuk DC sempurna, jadi apabila energi ini digunakan sebagai input inverter maka dapat menyebabkan inverter rusak. Bukan hanya inverter yang dapat dirusak oleh kebocoran tegangan AC ini, kerusakan juga dapat terjadi pada baterai yang seharusnya menyimpan energi berupa DC

4.3 Potensi Angin

Secara geografis, Pantai Baru Bantul merupakan lahan terbuka yang memiliki potensi angin dengan kecepatan rata-rata sebesar 4,88 m/s tiap tahunnya. Sehingga, potensi angin ini mampu dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik dengan prantara kincir angin berskala kecil. Tabel 4.3 menunjukkan kecepatan angin tiap-tiap bulan dalam rentang waktu satu tahun:

Tabel 4.3 Data Kecepatan Angin di Kawasan Pantai Baru Bantul

(Sumber: ec.europa.eu)

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	5,14
Februari	4,63
Maret	4,63
April	4,63
Mei	4,52
Juni	4,63
Juli	4,63
Agustus	5,14
September	5,14
Oktober	5,14
November	5,14
Desember	5,14
Rata-Rata	4,88

Berdasarkan tabel 4.3 potensi angin dengan kecepatan angin terkecil sebesar 4,52 m/s, sedangkan potensi angin dengan kecepatan angin terbesar yakni 5,14 m/s.

4.4 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PLTH Bayu Biru

4.4.1 Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan pada PLTH Bayu Biru yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). PLTH Bayu Baru memiliki turbin angin dengan kapasitas yang berbeda-beda, berikut merupakan spesifikasinya:

a. Grup Barat

Pada grup barat terdapat 21 unit turbin angin dengan kapasitas yang sama dan memiliki spesifikasi yang juga sama. Turbin angin grup barat memiliki tipe sistem 1 kW/240 V.



Gambar 4.3 Turbin Angin Grup Barat 1 kW/240 V

1. Turbin Angin 1 kW

Tabel 4.4 Spesifikasi Turbin Angin 1 kW

Spesifikasi	
Model	<i>Hummer Residential Wind Turbine</i>
Tipe Sistem	1 kW/240 V
<i>Rated Power</i>	1 kW
Tegangan	240 V
Arus	4,17 A
Kecepatan Angin <i>cut in</i>	3,5 m/s
Kecepatan Angin <i>cut out</i>	25 m/s
<i>Lifetime</i>	20 Tahun
Dimensi	
Jumlah Sudu	3
Diameter Baling-Baling	3 m
Tinggi Tower	15 m

Model dari turbin angin 1 kW/240 V yakni *Hummer Residential Wind Turbine*. Biaya yang digunakan untuk 21 unit *Hummer Residential Wind Turbine* sebesar \$84,504. Turbin angin ini merupakan turbin angin dengan

sistem tegangan 240 V dan memiliki kapasitas daya maksimum sebesar 1 kW. Menurut data yang diperoleh, turbin angin 1 kW yang digunakan memiliki *lifetime* selama 20 tahun artinya turbin angin dirancang agar dapat bertahan selama 20 tahun. Namun, tidak selamanya turbin angin dapat bertahan sesuai dengan rancangan *lifetime* pabrik, dalam kenyataan dilapangan bisa terjadi kerusakan-kerusakan yang tidak diinginkan sehingga membuat turbin angin memiliki *lifetime* yang lebih cepat dibandingkan dengan *lifetime* yang dirancang oleh pabrik.

Kecepatan angin saat awal bekerja menghasilkan daya (*cut in*) adalah sebesar 3,5 m/s, sedangkan batas kecepatan angin (*cut out*) yang dapat diterima untuk turbin angin bekerja sebesar 25 m/s artinya turbin angin hanya bisa bekerja pada rentang 3,5 m/s s/d 25 m/s. Jadi, apabila kecepatan angin lebih dari 25 m/s maka turbin angin akan berhenti bekerja.

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada keadaan angin, karena angin tidak berhembus dengan kapasitas dan kecepatan yang sama tiap waktunya. Berdasarkan data kecepatan angin pada tabel 4.3 maka daya turbin angin 1 kW dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 = \frac{1}{2} \rho (\pi r^2) V^3 \dots\dots\dots(4.1)$$

Pada bulan Januari besar kecepatan angin dikawasan PLTH Bayu Baru 5,14 m/s dengan kerapatan angin sebesar 1,25 kg/m³ dan jari-jari penampang sebesar 1,5 m. Bila dimasukkan ke dalam persamaan maka akan didapat nilai daya sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \times 1,25 \times (\pi \times 1,5^2) \times 5,14^3$$

$$= 599,63 \text{ Watt}$$

Persamaan tersebut berlaku juga untuk bulan yang lainnya, tabel 4.5 menunjukkan besar daya berdasarkan kecepatan angin pada bulan-bulan lainnya:

Tabel 4.5 Besar Daya Turbin Angin 1 kW Berdasarkan Bulan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	Daya (W)
Januari	5,14	599,63
Februari	4,63	438,27
Maret	4,63	438,27
April	4,63	438,27
Mei	4,52	407,76
Juni	4,63	438,27
Juli	4,63	438,27
Agustus	5,14	599,63
September	5,14	599,63
Oktober	5,14	599,63
November	5,14	599,63
Desember	5,14	599,63
Total Daya (W)		6196,89

b. Grup Timur

Grup timur terdiri dari beberapa kapasitas tubin angin yang berbeda, kapasitas diantaranya 1 kW/48 V, 2,5 Kw/240 V, 5 kW/240 V dan 10 kW,/240 V.



Gambar 4.4 Turbin Angin Grup Timur

1. Turbin Angin 1 kW

Tabel 4.6 Spesifikasi Turbin Angin 1 kW

Spesifikasi	
Model	BWC XL.1
Tipe Sistem	1 kW/48 V
<i>Rated power</i>	1 kW
Tegangan	48 V
Arus	11 A
Kecepatan angin <i>cut in</i>	2,5 m/s
Kecepatan Angin <i>cut out</i>	54 m/s
<i>Lifetime</i>	20 Tahun
Dimensi	
Jumlah Sudu	3
Diameter Baling-Baling	3 m
Tinggi Tower	15 m

Model dari turbin angin 1 kW/48 V yakni BWC XL.1. Harga pasaran BWC XL.1 per-unitnya sebesar \$4,595. Turbin angin ini memiliki kapasitas daya sebesar 1 kW dengan sistem tegangan 48 V. Berdasarkan data spesifikasi, turbin angin ini memiliki *lifetime* selama 20 tahun artinya pabrik merancang produk ini dengan masa pemakaian normal selama 20 tahun. Kecepatan angin saat awal bekerja (*cut in*) adalah 2,5 m/s, sedangkan batas maksimal kecepatan angin yang dapat diterima turbin angin sebesar 54 m/s. Jadi, apabila kecepatan angin melebihi 54 m/s maka turbin angin akan berhenti bekerja.

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada keadaan kecepatan angin. Berdasarkan data kecepatan angin pada tabel 4.3 maka daya turbin angin 1 kW dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \times 1,25 \times (\pi \times 1,5^2) \times 5,14^3$$

$$= 599,63 \text{ Watt}$$

Persamaan tersebut berlaku juga untuk bulan yang lainnya, tabel 4.7 menunjukkan besar daya berdasarkan kecepatan angin pada bulan-bulan lainnya:

Tabel 4.7 Besar Daya Turbin Angin 1 kW Berdasarkan Bulan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	Daya (W)
Januari	5,14	599,63
Februari	4,63	438,27
Maret	4,63	438,27
April	4,63	438,27
Mei	4,52	407,76
Juni	4,63	438,27
Juli	4,63	438,27
Agustus	5,14	599,63
September	5,14	599,63
Oktober	5,14	599,63
November	5,14	599,63
Desember	5,14	599,63
Total Daya (W)		6196,89

2. Turbin Angin 2,5 kW

Tabel 4.8 Spesifikasi Turbin Angin 2,5 kW

Spesifikasi	
Model	WES5 Tulipo
Tipe Sistem	2,5 kW/240 V
<i>Rated power</i>	2,5 kW
Tegangan	240 V
Arus	10,43 A
Kecepatan angin <i>cut in</i>	3 m/s
Kecepatan Angin <i>cut out</i>	35 m/s
<i>Lifetime</i>	20 tahun
Dimensi	
Jumlah Sudu	3
Diameter Baling-Baling	5 m
Tinggi Tower	15 m

Model dari turbin angin 2,5 kW yakni WES5 Tulipo. Harga pasaran WES5 Tulipo per-unitnya sebesar \$4,158. Turbin angin ini memiliki kapasitas daya maksimum sebesar 2,5 kW dengan sistem tegangan 240 V. Berdasarkan

data spesifikasi, turbin angin ini memiliki *lifetime* selama 20 tahun artinya pabrik merancang produk ini dengan masa pemakaian normal selama 20 tahun. Kecepatan angin saat awal bekerja (*cut in*) adalah 3 m/s, sedangkan batas maksimal kecepatan angin yang dapat diterima turbin angin sebesar 35 m/s. Jadi, apabila kecepatan angin melebihi 35 m/s maka turbin angin akan berhenti bekerja.

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada keadaan kecepatan angin. Berdasarkan data kecepatan angin pada tabel 4.3 maka daya turbin angin 2,5 kW dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \times 1,25 \times (\pi \times 2,5^2) \times 5,14^3$$

$$= 1665,31 \text{ Watt}$$

Persamaan tersebut berlaku juga untuk bulan yang lainnya, tabel 4.9 menunjukkan besar daya berdasarkan kecepatan angin pada bulan-bulan lainnya:

Tabel 4.9 Besar Daya Turbin Angin 2,5 kW Berdasarkan Bulan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	Daya (W)
Januari	5,14	1665,31
Februari	4,63	1217,16
Maret	4,63	1217,16
April	4,63	1217,16
Mei	4,52	1132,67
Juni	4,63	1217,16
Juli	4,63	1217,16
Agustus	5,14	1665,31
September	5,14	1665,31
Oktober	5,14	1665,31
November	5,14	1665,31
Desember	5,14	1665,31
Total Daya (W)		17210,33

3. Turbin Angin 5 kW

Tabel 4.10 Spesifikasi Turbin Angin 5 kW

Spesifikasi	
Model	EXCEL 5
Tipe Sistem	5 kW/240 V
<i>Rated power</i>	5 kW
Tegangan	240 V
Arus	20,85 A
Kecepatan angin <i>cut in</i>	2 m/s
Kecepatan Angin <i>cut out</i>	60 m/s
<i>Lifetime</i>	20 Tahun
Dimensi	
Jumlah Sudu	3
Diameter Baling-Baling	6 m
Tinggi Tower	15 m

Model turbin angin 5 kW yakni EXEL-5. Harga pasaran turbin angin EXEL-5 per-unitnya sebesar \$4,720. Turbin angin ini memiliki kapasitas daya sebesar 5 kW dengan sistem tegangan 240 V. Menurut data yang diperoleh, turbin angin ini memiliki *lifetime* selama 20 tahun artinya pabrik merancang produk ini dengan masa pemakaian normal selama 20 tahun. Kecepatan angin saat awal bekerja (*cut in*) adalah 2 m/s, sedangkan batas maksimal kecepatan angin yang dapat diterima turbin angin sebesar 60 m/s. Jadi, apabila kecepatan angin melebihi 60 m/s maka turbin angin akan berhenti bekerja.

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada keadaan kecepatan angin. Berdasarkan data kecepatan angin pada tabel 4.3 maka daya turbin angin 5 kW dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \times 1,25 \times (\pi \times 3^2) \times 5,14^3$$
$$= 2397,41 \text{ Watt}$$

Persamaan tersebut berlaku juga untuk bulan yang lainnya, tabel 4.11 menunjukkan besar daya berdasarkan kecepatan angin pada bulan-bulan lainnya:

Tabel 4.11 Besar Daya Turbin Angin 5 kW Berdasarkan Bulan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	Daya (W)
Januari	5,14	2397,41
Februari	4,63	1752,22
Maret	4,63	1752,22
April	4,63	1752,22
Mei	4,52	1631,05
Juni	4,63	1752,22
Juli	4,63	1752,22
Agustus	5,14	2397,41
September	5,14	2397,41
Oktober	5,14	2397,41
November	5,14	2397,41
Desember	5,14	2397,41
Total Daya (W)		24776,61

4. Turbin Angin 10 kW

Tabel 4.12 Spesifikasi Turbin Angin 10 kW

Spesifikasi	
Model	BWC EXEL-S
Tipe Sistem	10 kW/240 V
<i>Rated Power</i>	10 kW
Tegangan	240 V
Arus	41,68 A
Kecepatan angin <i>cut in</i>	3,4 m/s
Kecepatan Angin <i>cut out</i>	60 m/s
<i>Lifetime</i>	20 Tahun
Dimensi	
Jumlah Sudu	3
Diameter Baling-Baling	7 m
Tinggi Tower	12 m

Model turbin angin 10 kW yakni BWC EXEL-S. Harga pasaran BWC EXEL-S per-unitnya sebesar \$4,950. Turbin angin ini memiliki kapasitas daya maksimum sebesar 10 kW dengan sistem tegangan 240 V. Menurut data yang

diperoleh, turbin angin ini memiliki *lifetime* selama 20 tahun artinya pabrik merancang produk ini dengan masa pemakaian normal selama 20 tahun. Kecepatan angin saat awal bekerja (*cut in*) adalah 3,4 m/s, sedangkan batas maksimal kecepatan angin yang dapat diterima turbin angin sebesar 60 m/s. Jadi, apabila kecepatan angin melebihi 60 m/s maka turbin angin akan berhenti bekerja.

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada keadaan kecepatan angin. Berdasarkan data kecepatan angin pada tabel 4.3 maka daya turbin angin 10 kW dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \times 1,25 \times (\pi \times 3,5^2) \times 5,14^3$$

$$= 3263,58 \text{ Watt}$$

Persamaan tersebut berlaku juga untuk bulan yang lainnya, tabel 4.13 menunjukkan besar daya berdasarkan kecepatan angin pada bulan-bulan lainnya:

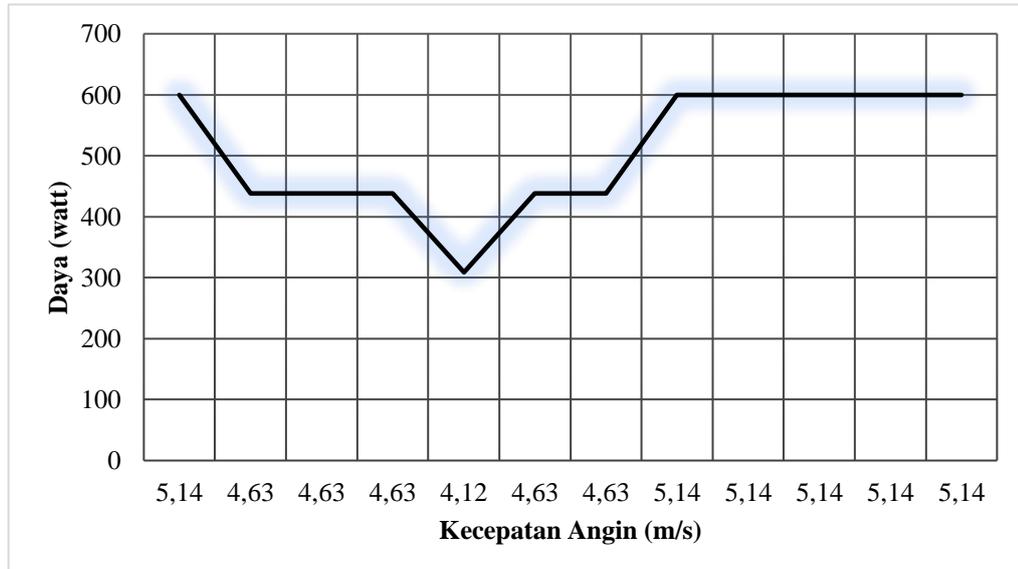
Tabel 4.13 Besar Daya Turbin Angin 10 kW Berdasarkan Bulan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	Daya (W)
Januari	5,14	3263,58
Februari	4,63	2385,35
Maret	4,63	2385,35
April	4,63	2385,35
Mei	4,52	2220,04
Juni	4,63	2385,35
Juli	4,63	2385,35
Agustus	5,14	3263,58
September	5,14	3263,58
Oktober	5,14	3263,58
November	5,14	3263,58
Desember	5,14	3263,58
Total Daya (W)		33728,27

c. Hubungan Antara Kecepatan Angin dan Daya Yang Dihasilkan

Dalam hubungan antara kecepatan angin dan daya, maka diambil *sample* pada turbin angin 1 kW/240 V. Berdasarkan tabel 5.3 maka nilai kecepatan angin

dan nilai daya yang dihasilkan dapat disinergikan ke dalam bentuk grafik dibawah ini:



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin dan Daya

Grafik diatas menunjukkan bahwa daya terendah terdapat pada kecepatan angin 4,12 m/s, sedangkan daya tertinggi terdapat pada kecepatan angin 5,14 m/s. Jadi, semakin besar kecepatan angin yang berhenbus maka semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh turbin angin.

4.4.2 Baterai

Energi listrik yang dihasilkan oleh kincir angin disimpan pada elemen penyimpanan (baterai) yang berupa aki kering dan aki basah. Sistem penyimpanan dibagi berdasarkan grup masing-masing yakni baterai grup barat dan baterai grup timur.

a. Baterai Grup Barat

Pada grup barat terdapat 100 unit aki basah dengan dua merk baterai yang berbeda yakni merk GS 60 unit dengan jumlah kapasitas penyimpanan energi sebesar 300 Ah/240 V dan merk luminous 40 unit jumlah kapasitas penyimpanan energi sebesar 720 Ah/120 V. Aki basah merk GS disusun menjadi 3 rangkaian secara paralel dimana setiap rangkaian berisi 20 unit aki basah yang disusun secara seri, sedangkan aki basah merk Luminous disusun menjadi 4 rangkaian

secara paralel dimana setiap rangkaianannya berisi 10 unit aki basah yang disusun secara seri. Berikut adalah spesifikasi baterai grup barat:

- GS

Tabel 4.14 Spesifikasi Baterai GS

Spesifikasi GS	
Model	N100
<i>Voltage</i>	12 V
<i>Nominal Capacity</i>	100 Ah
<i>Dimension</i>	408 x 173 x 211 mm
<i>Warranty</i>	12 Bulan
<i>Lifetime</i>	5 Tahun

Salah satu merk baterai yang digunakan pada grup barat yakni GS dengan model tipe N100 berjenis aki basah. Harga pasaran perbaterai sebesar \$116. Baterai ini memiliki tegangan sebesar 12 Volt, normalnya pemakaian baterai berlangsung selama 5 tahun. Kapasitas baterai GS N100 sebesar 100 Ah, artinya arus pada baterai akan habis dalam jangka waktu satu jam apabila penggunaan arus beban sebesar 100 A.



Gambar 4.6 Aki Basah GS N100

- Luminous

Tabel 4.15 Spesifikasi Baterai Luminous

Spesifikasi Luminous	
Model	ILTT 24048
<i>Voltage</i>	12 V
<i>Nominal Capacity</i>	180 Ah

Lanjutan Tabel 4.15	
Spesifikasi Luminous	
<i>Dimension</i>	570 x 260 x 470 mm
<i>Warranty</i>	4 Tahun
<i>Replacement</i>	36 Bulan
<i>Lifetime</i>	4 – 5 Tahun

Merk baterai kedua yang digunakan pada grup barat yakni Luminous dengan model tipe ILTT 24048 berjenis aki basah. Harga per-unit Luminous ILTT 24048 sebesar \$246. Tegangan baterai sebesar 12 Volt, dengan *lifetime* baterai selama 4-5 tahun. Baterai Luminous ILTT24048 memiliki kapasitas sebesar 180 Ah, artinya arus pada baterai akan habis dalam jangka waktu satu jam apabila beban menggunakan arus sebesar 180 A.



Gambar 4.7 Aki Basah Luminous ILTT 24048

b. Baterai Grup Timur

Pada grup timur terdapat 40 unit aki kering yang tersusun secara seri-paralel dengan jumlah kapasitas penyimpanan energi sebesar 240 Ah/240 V. Terdapat 2 rangkaian secara paralel dimana setiap rangkaian berisi 20 aki kering yang disusun secara seri.

Tabel 4.16 Spesifikasi Baterai Powerfit

Spesifikasi Powerfit	
<i>Model</i>	FT110-12
<i>Voltage</i>	12 V
<i>Nominal Capacity</i>	105 Ah

Lanjutan Tabel 4.16	
Spesifikasi Powerfit	
<i>Dimension</i>	394 x 109 x 286 mm
<i>Warranty</i>	12 Bulan
<i>Lifetime</i>	5 Tahun

Grup timur menggunakan baterai yang bermerk Powerfit dengan model tipe FT110-12 berjenis aki kering, harga pasaran perbaterai sebesar \$82. Baterai memiliki tegangan sebesar 12 Volt, dengan *lifetime* selama 5 tahun. Baterai Powerfit FT110-12 memiliki kapasitas sebesar 105 Ah, artinya arus pada baterai akan habis selama satu jam dengan penggunaan arus beban sebesar 105 A.



Gambar 4.8 Aki Kering Powerfit FT110-12

4.4.3 Inverter

a. Inverter 3,5 kW/48 V

Tabel 4.17 Spesifikasi Inverter Luminous

Spesifikasi	
<i>Rated Capacity</i>	3500 VA
<i>Output power</i>	2800 W
Model	Pure Sinewave
<i>Warranty</i>	2 Tahun
<i>Output frekuensi</i>	50 Hz
<i>Input Voltage</i>	48 V
<i>Output Voltage</i>	180 - 230 V
<i>Lifetime</i>	10 Tahun

Berdasarkan tabel 4.17 inverter 3,5 kW/48 V yang digunakan yakni inverter merk Luminous dengan model tipe Pure Sinewave. Inverter Luminous Pure Sinewave memiliki harga pasaran sebesar \$704 perunit. Jangka waktu pemakaian normal selama 10 Tahun, sesuai dengan rancangan perusahaan.



Gambar 4.9 Inverter Luminous Pure Sinewave

b. Inverter 15 kW/240 V

Tabel 4.18 Spesifikasi Inverter Len

Spesifikasi	
<i>Rated Capacity</i>	15000 W
<i>Output power</i>	15000 W
Model	LenBDI15K-1P
<i>Warranty</i>	10 Tahun
<i>Output frekuensi</i>	50 HZ
<i>Input Voltage</i>	240V
<i>Output Voltage</i>	220/230/240 V
<i>Lifetime</i>	10 Tahun

Berdasarkan tabel diatas inverter 15 kW/240 V yang digunakan yakni inverter merk Len dengan model tipe LenBDI15K-1P. Inverter Len 15 kW ini memiliki harga pasaran sebesar \$360 perunit. Jangka waktu pemakaian normal selama 10 Tahun, sesuai dengan rancangan perusahaan.



Gambar 4.10 Inverter Len LenBDI15K-1P

4.5 Estimasi Biaya

4.5.1 Biaya Komponen-Komponen Listrik

Tabel 4.19 Harga Komponen-Komponen di Pasaran

No.	Komponen	Jumlah (unit)	Harga Satuan (\$)	Total (\$)
1.	Turbin Angin 1 kW/240 V	21	4,024	84,504
2.	Turbin Angin 1 kW/48 V	6	4,595	27,570
3.	Turbin Angin 2,5 kW/240 V	2	4,158	8,316
4.	Turbin Angin 5 kW/240 V	1	4,720	4,720
5.	Turbin Angin 10 kW/240 V	2	4,950	9,900
6.	Baterai 100 Ah/12 V	60	116	6,960
7.	Baterai 180 Ah/12 V	40	246	9,840
8.	Baterai 105 Ah/12 V	40	82	3,280
9.	Inverter 3,5 kW/48 V	2	704	1,408
10.	Inverter 15 kW/240 V	1	360	360

Tabel diatas merupakan biaya yang dibutuhkan apabila dilakukan pembelian komponen untuk pergantian atau untuk penambahan komponen. Harga satuan adalah harga komponen yang beredar dipasaran saat ini.

4.5.2 Biaya Perawatan dan Operasional

Besarnya biaya perawatan dan operasional pada pembangkit listrik tenaga angin berkisar antara 10% s/d 30% dari investasi. Biaya perawatan dan operasional bernilai 10% ketika pembangkit listrik tenaga angin dalam kondisi

baru, sedangkan bila pembangkit sudah beroperasi cukup lama maka biaya yang dibutuhkan untuk perawatan dan operasional meningkat hingga mencapai nilai 30% dari investasi.

Tabel 4.20 Biaya Perawatan Komponen-Komponen

No.	Komponen	Ringan (\$)	Berat (\$)
1.	Turbin Angin 1 kW/240 V	37	222
2.	Turbin Angin 1 kW/48 V	37	222
3.	Turbin Angin 2,5 kW/240 V	37	222
4.	Turbin Angin 5 kW/240 V	37	222
5.	Turbin Angin 10 kW/240 V	37	222
6.	Baterai 100 Ah/12 V	26	44
7.	Baterai 180 Ah/12 V	26	44
8.	Baterai 105 Ah/12 V	26	44
9.	Inverter 3,5 kW/48 V	22	74
10.	Inverter 15 kW/240 V	22	74

4.6 Identifikasi Kerusakan dan Ketahanan Komponen-Komponen Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Angin

4.6.1 Keadaan Komponen-Komponen Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PLTH Bayu Baru

Tabel 4.21 Keadaan Komponen-Komponen

No.	Komponen	Jumlah (Unit)	Keadaan	
			B	K
1.	Turbin Angin 1 kW/ 240 V	14	√	
2.	Turbin Angin 1 kW/ 240 V	7		√
3.	Turbin Angin 1 kW/ 48 V	6		√
4.	Turbin Angin 2,5 kW/ 240 V	2		√
5.	Turbin Angin 5 kW/ 240 V	1		√
6.	Turbin Angin 10 kW/ 240 V	2		√
7.	Baterai 105 Ah	20		√
8.	Baterai 105 Ah	20	√	
9.	Baterai 100 Ah	60	√	
10.	Baterai 180 Ah	40	√	

Lanjutan Tabel 4.21				
No.	Komponen	Jumlah (Unit)	Keadaan	
			B	B
11.	Inverter 3,5 kW	2	√	
12.	Inverter 15 kW	1	√	
Keterangan: B = Baik K = Kurang (Rusak)				

Berdasarkan tabel 4.21 komponen-komponen dibagi menjadi dua keadaan yakni Baik (B) dan Kurang (K). Apabila dalam keadaan B berarti komponen masih bisa digunakan atau masih beroperasi dan tidak membutuhkan perbaikan. Namun bukan berarti komponen tersebut masih dalam performa terbaiknya. Misalnya pada baterai 100 Ah/12 V, saat dalam kondisi baru baterai mampu menyimpan tegangan sesuai dengan kapasitasnya yakni 12 V, seiring dengan pemakaian secara terus-menerus maka baterai akan mengalami penurunan performa dan hanya mampu menyimpan tegangan kurang dari 12 V. Hal ini, bisa juga disebabkan oleh *lifetime* dari baterai tersebut, dimana rata-rata baterai berjenis aki memiliki *lifetime* selama 5 tahun. Jadi apabila telah menyentuh 5 tahun aki lama harus diganti dengan aki baru, agar tidak mengganggu sistem kerja dari pembangkitan.

Sedangkan K berarti komponen dalam keadaan rusak dan belum bisa digunakan dalam sistem. Kerusakan dapat berupa kerusakan permanen maupun kerusakan non-permanen. Kerusakan permanen yakni kerusakan yang tidak dapat dilakukan perbaikan dan hanya bisa dilakukan dengan pergantian komponen. Sedangkan, kerusakan non-permanen yakni kerusakan yang dapat diperbaiki agar dapat berfungsi kembali. Jadi apabila komponen dalam keadaan K maka dibutuhkan perbaikan segera.

4.6.2 Sistem Perawatan

Perawatan merupakan suatu tindakan yang dilakukan terhadap suatu peralatan, tujuannya untuk mencegah terjadinya kerusakan dan memulihkan keadaan dari peralatan tersebut.

a. Perawatan Rutin

Perawatan rutin merupakan perawatan yang dilakukan secara terus-menerus misalnya perawatan harian. Berdasarkan namanya perawatan harian dilakukan setiap hari dengan tujuan untuk mengontrol keadaan dari komponen-komponen agar tetap dalam keadaan yang baik. Umumnya perawatan harian dilakukan dengan pemeriksaan secara visual.

b. Perawatan Periodik

Perawatan periodik adalah perawatan yang dilakukan berdasarkan jangka waktu yang ditentukan misalnya satu kali dalam seminggu, satu kali dalam sebulan dan satu kali dalam setahun. Perawatan ini dapat juga ditentukan dengan mensiasati jam kerja dari komponen, misalnya setiap 100 jam sekali. Jadi, perawatan ini tetap dilakukan secara berkala.

4.6.3 Analisa Komponen-Komponen Yang Mengalami Kerusakan

Tidak dapat dibantah bahwa komponen-komponen pembangkit listrik rawan terhadap kerusakan. Upaya yang dapat dilakukan dalam mengidentifikasi kerusakan, antara lain:

1. Inspeksi

Cara ini adalah salah satu proses pemeriksaan dengan melakukan pengamatan secara langsung terhadap komponen yang diamati keadaannya. Inspeksi dapat dilakukan secara periodik agar tiap-tiap masalah kerusakan yang terjadi pada komponen dapat diketahui.

2. Catatan riwayat peralatan

Catatan riwayat unit-unit komponen sangat diperlukan oleh tim perawatan. Catatan ini menunjukkan keadaan komponen yang telah diinspeksi secara periodik (per-minggu, per-bulan atau per-tahun), maka dapat dilakukan pengamatan performa komponen tiap waktunya.

3. Laporan kerusakan

Setelah didapatkan catatan riwayat peralatan maka akan ditemukan kerusakan yang terjadi, sehingga dibuat dalam bentuk laporan agar dapat segera dianalisis kerusakannya.

4. Analisa kerusakan

Upaya ini dilakukan untuk menganalisa kerusakan yang terjadi pada komponen. Sehingga segera dilakukan tindakan perawatan atau perbaikan pada komponen yang mengalami masalah.

Berdasarkan langkah-langkah mengidentifikasi kerusakan diatas, maka dapat disinergikan pada tabel 4.22 berikut ini:

Tabel 4.22 Riwayat Kerusakan Komponen

Komponen	Grup Pembangkit	Jumlah (unit)	Keterangan	Waktu Kerusakan	Tindakan Yang Diperlukan
Turbin Angin 1 Kw/240 V	Barat	7	Sebagian komponen mengalami kerusakan pada: <ul style="list-style-type: none">• Generator• Kontrol• Sudu (baling-baling)	2017	Perbaikan unit generator, kontrol dan sudu
Turbin Angin 1 Kw/48 V	Timur	6		2017	
Turbin Angin 2,5 Kw/240 V	Timur	2		2017	
Turbin Angin 5 Kw/240 V	Timur	1		2017	
Turbin Angin 10 Kw/240 V	Timur	2		2017	
Baterai 105 Ah	Timur	20	Kerusakan diakibatkan terjadinya ledakan pada baterai.	2015	Pergantian unit baterai.

Kerusakan pada turbin angin di PLTH Bayu Baru umumnya terjadi pada generator, kontrol dan sudu. Pada generator kerusakannya diakibatkan karena

terjadi terbakar khususnya pada lilitan generator. Sehingga lilitan generator tidak dapat berfungsi lagi dan menyebabkan generator tidak dapat menghasilkan energi listrik. Solusinya hanya perlu dilakukan perbaikan atau pergantian lilitan (*rewinding*) yang dapat menguras waktu selama satu minggu. Sedangkan kerusakan pada sudu dikarenakan sudu mengalami retak atau patah. Dalam kondisi retak sudu hanya perlu dilakukan perbaikan dengan melakukan penempelan pada bagian yang retak, dalam kondisi patah perlu dilakukan pergantian sudu yang dapat menguras waktu selama 4 hari. Masalah pada sudu ini dapat terjadi karena kecepatan angin yang tinggi yang biasa terjadi pada akhir tahun. Karena tidak mempunya sudu menahan kecepatan angin yang tinggi membuat sudu akan mengalami keretakan hingga yang paling parah terjadi patah.

Pada grup timur terjadi ledakan baterai sebanyak 20 unit. Ledakan ini diakibatkan oleh jumlah energi yang masuk ke baterai tidak terkontrol. Seperti yang diketahui bahwa kecepatan angin berubah-ubah waktunya, disatu waktu kecepatan angin dalam keadaan rendah maka energi listrik yang masuk ke baterai kecil, sedangkan diwaktu yang lain kecepatan angin dalam keadaan tinggi maka energi listrik yang masuk ke baterai dalam keadaan tinggi. Keadaan ini yang membuat kapasitas baterai tidak dapat dikontrol, sehingga bila energi listrik yang masuk ke baterai terlalu banyak dan melebihi batas kapasitas maka dapat membuat baterai meledak.

Ketahanan sebuah komponen dapat diketahui dari jangka waktu pemakaian yang ditentukan dari saat mulai On (normal) hingga saat Off (mati). Namun, tidak mengabaikan performa dari komponen tersebut. Sehingga komponen yang memiliki ketahanan yang baik yakni komponen yang memiliki jangka waktu pemakaian yang lama dengan performa yang masih dalam keadaan baik.

Pada turbin angin yang digunakan di PLTH Bayu Baru memiliki *lifetime* selama 20 tahun, artinya turbin angin dirancang untuk dapat bekerja selama 20 tahun. Namun dalam kenyataannya dari rentang waktu 2011-sekarang telah terjadi banyak kerusakan pada turbin angin. Mengacu pada tabel 4.22 jumlah turbin angin yang mengalami kerusakan sebanyak 18 unit, kerusakan terjadi pada 7 unit turbin angin grup barat dan 11 unit turbin angin grup timur. Turbin angin tersebut

dikatakan memiliki ketahanan yang kurang baik karena tidak mampu bertahan selama waktu yang dirancang pabrik (*lifetime*), 18 unit turbin angin yang mengalami kerusakan tersebut rata-rata hanya mampu bertahan selama 6 tahun yakni dari rentang waktu 2011 s/d 2017.

Ketahanan turbin angin yang rendah diakibatkan oleh kerusakan terhadap generator, kontrol dan sudu. Kerusakan generator karena mengalami terbakar, sehingga menyebabkan lilitan generator rusak dan tidak bisa digunakan lagi, jadi harus dilakukan *rewinding* (mengganti lilitan) generator.

Baterai yang digunakan pada grup barat dan grup timur berjumlah 140 unit jenis aki dengan kapasitas yang berbeda-beda. Semua baterai di grup barat dan grup timur memiliki *lifetime* yang sama yakni 5 tahun. Artinya baterai dirancang untuk dapat bekerja idealnya selama 5 tahun, namun dalam pengadaannya baterai yang digunakan merupakan baterai bekas, berarti baterai tersebut sudah digunakan sebelum PLTH beroperasi. Seharusnya telah dilakukan pergantian terhadap baterai karena sudah digunakan selama 7 tahun (2011-2018) ditambah masa pemakaian sebelumnya, sedangkan baterai tersebut idealnya hanya mampu bertahan dalam keadaan normal selama 5 tahun (*lifetime*). Karena penggunaannya yang berlebihan sehingga membuat baterai mengalami penurunan performa, seperti baterai tidak mampu lagi menerima tegangan sesuai dengan kapasitasnya sebesar 12 V. Ketahanan baterai yang sudah tidak ideal ini dapat dilakukan dengan pergantian unit baterai yang baru, sehingga sistem dapat berfungsi sebagaimana yang direncanakan sebelumnya.

Inverter pada sistem pembangkit ini masih berfungsi dengan baik dalam menyuplai energi listrik dari baterai menuju beban. Namun, bukan berarti selama digunakannya inverter tersebut tidak pernah terjadi hambatan atau masalah. Berdasarkan data yang diperoleh inverter mengalami kerusakan setidaknya dua kali dalam satu tahun, sehingga dibutuhkan perbaikan sebanyak dua kali dengan jangka waktu selama 1 minggu hingga 4 minggu dalam sekali perbaikan. Kerusakan dapat terjadi karena pemakaian yang berlebihan atau melebihi kapasitas dari inverter tersebut dan kebocoran tegangan AC dari turbin angin. Dalam kondisi ini, inverter belum bisa dikategorikan memiliki ketahanan yang

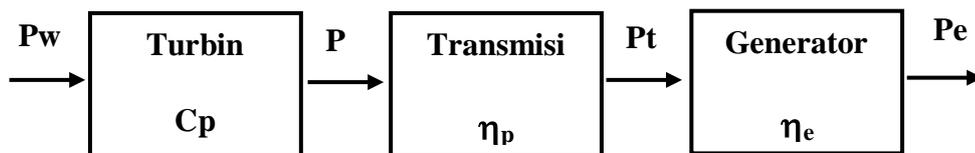
baik, karena tidak mampu bertahan sesuai dengan *lifetime* (10 tahun) yang disebabkan kerusakan yang disebutkan sebelumnya. Agar tidak terjadi kerusakan kembali, perlu dilakukan pembagian beban yang proporsional terhadap inverter, agar inverter memiliki ketahanan yang ideal yang sesuai dengan *lifetime*-nya.

4.7 Analisis Elektris Turbin Angin 1 kW/240 V

Berdasarkan keadaan sekarang (2018) PLTH Bayu Baru sudah tidak dalam keadaan hibrid lagi, jadi sistem PLTB dan PLTS sudah tidak disinergikan lagi atau sudah sistem terpisah. Hal, ini disebabkan adanya kerusakan inverter yang diakibatkan oleh output AC yang bocor dari turbin angin. Saat ini turbin angin hanya dimanfaatkan untuk melayani beban berupa lampu PJU. Turbin angin yang masih berfungsi saat ini berjumlah 14 unit berada di grup barat, output yang dihasilkan turbin angin ditampung oleh baterai GS N100 100 Ah berada di baterai grup barat.

a. Daya Elektris

Sistem kelistrikan tenaga angin dapat dilihat pada diagram berikut (gambar 5.9).



Gambar 4.11 Sistem kelistrikan tenaga angin (Kadir,1995)

Besar nilai daya yang dapat diperoleh dari angin merupakan turunan dari energi kinetik (E_k) terhadap waktu dan berbanding lurus dengan kerapatan udara (ρ) yang bergerak melalui suatu permukaan serta kecepatan angin (V) yang melewati bidang sapuan rotor, berikut persamaannya:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \dots\dots\dots (4.2)$$

Hasil dari persamaan tersebut dapat dilihat pada tabel 5.3 yang diperoleh dari potensi angin tiap bulan.

Daya yang diperoleh dari tenaga angin (P_w) akan melewati turbin angin akan menghasilkan daya mekanik (P_m) yang dipengaruhi oleh koefisien turbin angin C_p , maka didapatkan persamaan berikut:

$$P_m = \left(\frac{1}{2} \rho A V^3 \right) C_p = P_w C_p \dots \dots \dots (4.3)$$

Kemudian, daya mekanik (P_m) dialirkan menuju transmisi maka akan didapatkan output daya dari transmisi (P_t), dimana P_t merupakan perkalian dari P_m dan efisiensi transmisi (η_p) :

$$P_t = P_m \eta_p \dots \dots \dots (4.4)$$

Sedangkan, daya listrik (P_e) yang dihasilkan merupakan perkalian output daya transmisi (P_t) dan efisiensi generator (η_e):

$$P_e = P_t \eta_e = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \eta_p \eta_e = P_w C_p \eta_p \eta_e \dots \dots \dots (4.5)$$

Berikut adalah perhitungan daya listrik turbin angin grup barat 1 kW/240 V berdasarkan potensi angin:

- Januari

Berdasarkan tabel 4.5 pada bulan ini daya potensi angin (P_w) didapatkan sebesar 599,63 W, dengan efisiensi transmisi bernilai 0,9 dan efisiensi generator sebesar 0,9 serta koefisien daya (C_p) sebesar 0,3. Maka besar daya listrik yang diperoleh yaitu:

$$\begin{aligned} P_e &= 599,63 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,3 \\ &= 145,71 \text{ W} \end{aligned}$$

- Februari

Berdasarkan tabel 4.5 pada bulan february daya potensi angin (P_w) didapatkan sebesar 438,27 W, dengan efisiensi transmisi bernilai 0,9 dan efisiensi generator sebesar 0,9 serta koefisien daya (C_p) sebesar 0,3. Maka besar daya listrik yang diperoleh yaitu:

$$\begin{aligned} P_e &= 438,27 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,3 \\ &= 106,50 \text{ W} \end{aligned}$$

- Maret

Berdasarkan tabel 4.5 pada bulan ini daya potensi angin (P_w) didapatkan sebesar 438,27 W, dengan efisiensi transmisi bernilai 0,9 dan efisiensi

generator sebesar 0,9 serta kofisien daya (Cp) sebesar 0,3. Maka besar daya elektrik yang diperoleh yaitu:

$$Pe = 438,27 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,3$$

$$= 106,50 \text{ W}$$

- April

Berdasarkan tabel 4.5 pada bulan april daya potensi angin (Pw) didapatkan sebesar 438,27 W, dengan efisiensi transmisi bernilai 0,9 dan efisiensi generator sebesar 0,9 serta kofisien daya (Cp) sebesar 0,3. Maka besar daya elektrik yang diperoleh yaitu:

$$Pe = 438,27 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,3$$

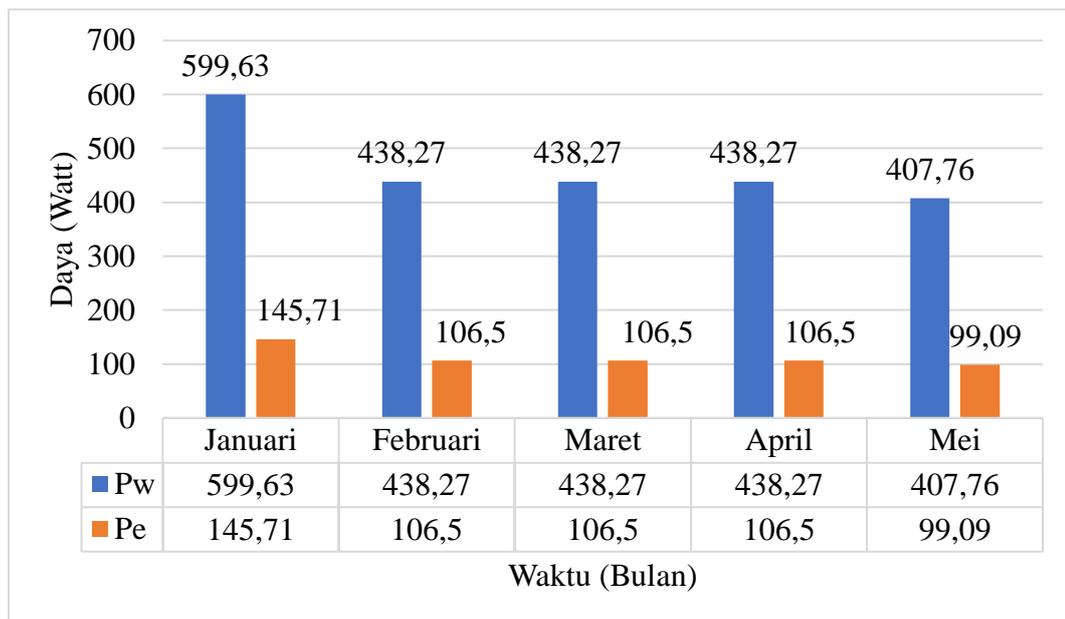
$$= 106,50 \text{ W}$$

- Mei

Berdasarkan tabel 4.5 pada bulan mei daya potensi angin (Pw) didapatkan sebesar 407,76 W, dengan efisiensi transmisi bernilai 0,9 dan efisiensi generator sebesar 0,9 serta kofisien daya (Cp) sebesar 0,3. Maka besar daya elektrik yang diperoleh yaitu:

$$Pe = 407,76 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,3$$

$$= 99,09 \text{ W}$$



Gambar 4.12 Diagram daya elektrik

Berdasarkan gambar 4.12 didapatkan nilai daya listrik (P_e) yang semakin kecil apabila nilai daya potensi angin (P_w) yang juga kecil.

b. Energi turbin angin (E_{TA}) dan energi beban (E_B)

Grup barat terdapat 14 unit turbin angin yang masih aktif dengan waktu kerja selama 8 jam per harinya, sebelum dialirkan ke beban lampu PJU output dari turbin angin disimpan pada baterai GS-N100 100 Ah dengan efisiensi 80% (η_b). Lalu menggunakan kabel penghantar sebagai perantara untuk mengalirkan energi listrik ke beban, kabel penghantar umumnya memiliki nilai drop tegangan berkisar 5% - 10%, maka efisiensi dari kabel (η_k) diasumsikan sebesar 95%. Jadi energi yang dihasilkan seluruh turbin angin grup barat adalah:

$$E_{TA} = P_e \times \text{jumlah turbin angin} \times \text{waktu berkerja} \times \eta_b \times \eta_k \dots\dots\dots (4.6)$$

- Januari

$$E_{TA} = 145,71 \times 14 \times 8 \times 0,8 \times 0,95$$

$$= 12,40 \text{ kWh}$$
- Februari

$$E_{TA} = 106,50 \times 14 \times 8 \times 0,8 \times 0,95$$

$$= 9,065 \text{ kWh}$$
- Maret

$$E_{TA} = 106,50 \times 14 \times 8 \times 0,8 \times 0,95$$

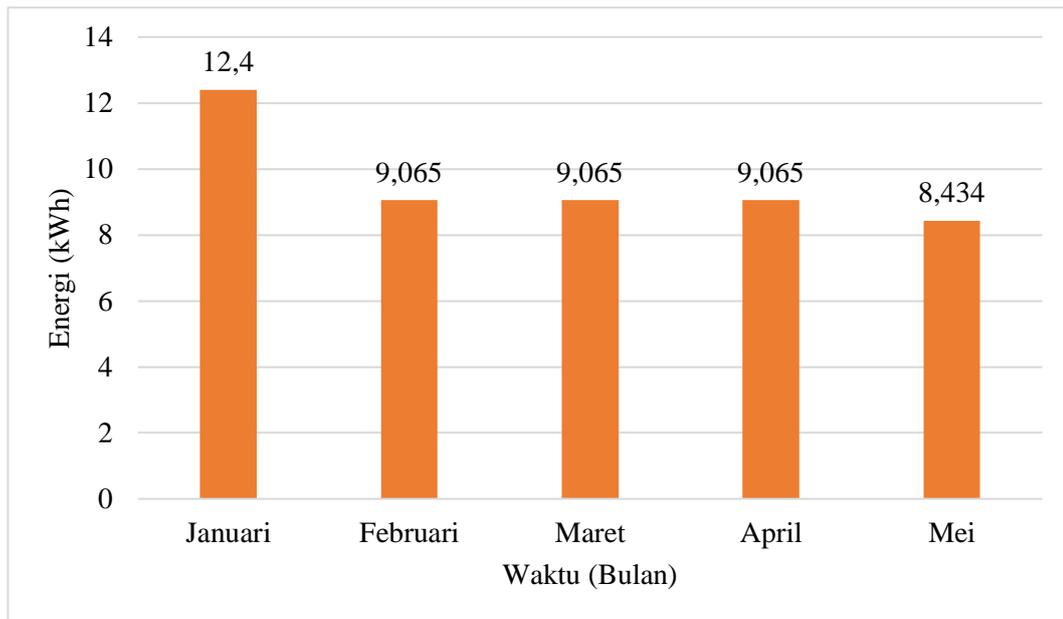
$$= 9,065 \text{ kWh}$$
- April

$$E_{TA} = 106,50 \times 14 \times 8 \times 0,8 \times 0,95$$

$$= 9,065 \text{ kWh}$$
- Mei

$$E_{TA} = 99,09 \times 14 \times 8 \times 0,8 \times 0,95$$

$$= 8,434 \text{ kWh}$$



Gambar 4.13 Energi yang dihasilkan turbin angin

Berdasarkan gambar 4.13 didapatkan nilai energi yang semakin kecil apabila nilai dari P_e juga kecil.

Beban yang dilyani turbin angin berjumlah 40 unit lampu PJU dengan daya (P) sebesar 23 W. Lampu PJU umumnya bekerja selama 9 jam setiap harinya, maka energi yang diperlukan beban yaitu:

$$E_B = P \times \text{jumlah lampu PJU} \times \text{waktu lamanya beban bekerja} \dots\dots\dots (4.7)$$

$$E_B = 23 \times 40 \times 9$$

$$= 8,28 \text{ kWh}$$

c. Rugi-Rugi Energi

Beban yang terpasang adalah lampu PJU 23 watt sebanyak 40 unit yang bekerja selama 9 jam setiap harinya, maka besar energi yang dipakai beban sebesar 8,28 kWh. Energi dari beban disuplai oleh energi yang dihasilkan oleh turbin angin yang disimpan pada baterai. Dalam proses menyuplai energi terdapat rugi-rugi, misalnya pada bulan januari dengan energi rata-rata yang dihasilkan sebesar 12,4 kWh, yaitu:

$$\text{Losses} = \frac{12,4 - 8,28}{12,4} \times 100\% = 33,23\%$$

Persamaan tersebut berlaku juga untuk bulan-bulan lainnya dengan energi rata-rata yang berbeda:

Tabel 4.23 Rugi-Rugi Energi Berdasarkan Bulan

Bulan	Rugi-Rugi Energi (%)
Januari	33,23
Februari	8,66
Maret	8,66
April	8,66
Mei	1,83

Berdasarkan tabel 4.23 rugi-rugi energi terbesar terjadi pada bulan Januari, karena pada bulan tersebut energi yang dihasilkan sangat banyak dan telah mencukupi kebutuhan beban, sehingga energi yang dihasilkan kelebihan dibandingkan dengan kebutuhan beban.

d. Tabel Kompilasi

Tabel 4.24 Output Elektris Turbin Angin 1 kW/240 V.

No.	Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	P _w (Watt)	P _e (Watt)	Energi (kWh)	Rugi-Rugi Energi (%)
1.	Januari	5,12	599,63	145,71	12,4	33,23
2.	Februari	4,63	438,27	106,5	9,065	8,66
3.	Maret	4,63	438,27	106,5	9,065	8,66
4.	April	4,63	438,27	106,5	9,065	8,66
5.	Mei	4,52	407,76	99,09	8,434	1,83

Berdasarkan tabel 4.24 Output listrik turbin angin terbesar terjadi pada bulan Januari karena pada bulan tersebut memiliki kecepatan angin yang besar dari bulan lainnya yakni sebesar 5,12 m/s, sedangkan output listrik terkecil terjadi pada bulan Mei dengan kecepatan angin sebesar 4,52 m/s.