

## BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

### 5.1. Data Pendukung

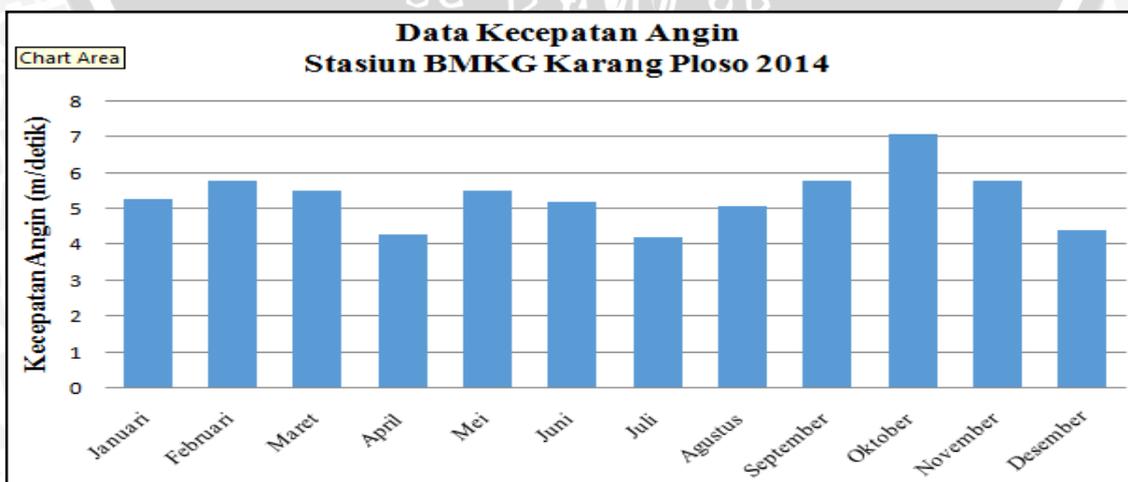
Data pendukung yang dimaksud disini adalah data yang diperlukan untuk mendukung atau melengkapi perhitungan dan analisis agar dapat dilakukan dengan baik dan benar sesuai dengan kondisi dan keadaan yang ada. Data pendukung juga sering disebut dengan data sekunder yang artinya bukan data utama, dimana data tersebut didapat secara langsung melalui pengukuran oleh penulis, di samping itu ada data–data pendukung lain yang didapatkan dari sumber–sumber terpercaya.

Tanpa adanya data-data ini analisis tidak dapat dilakukan, yaitu data kecepatan angin pada tahun 2014 di daerah Karang Ploso Kabupaten Malang, data spesifikasi generator turbin angin, data komponen pendukung lainnya.

Data kecepatan angin ini diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh BMKG Karang Ploso dengan lingkup data adalah kecepatan angin maksimal pada tahun 2014. Data inilah yang nanti digunakan untuk dapat menentukan besar kapasitas daya listrik yang dapat dihasilkan oleh turbin angin. Adapun data kecepatan angin yang diperoleh pada tahun 2014 dapat diperlihatkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Data kecepatan angin di daerah Karang Ploso, Malang pada tahun 2014.

Bulan	2014											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Juli	Agst	Sept	Okt	Nov	Des
Kecepatan Angin (m/s)	5.3	5.8	5.5	4.3	5.5	5.2	4.2	5.1	5.8	7.1	5.8	4.4



Gambar 5.1 Grafik kecepatan angin tahun 2014.



Pada grafik di atas menunjukkan grafik kecepatan angin yang di ambil dari BMKG Karang Ploso dengan ketinggian Stasiun pengamatan  $\pm 575\text{m}$  diatas permukaan air laut, dan ketinggian *Anemometer* setinggi 10 meter diatas permukaan tanah. Dari Tabel 5.1 di diatas didapat nilai kecepatan maksimum rata-rata angin adalah 5.3 meter per detik sepanjang tahun 2014, yang bisa di gunakan sebagai patokan dalam pengujian selanjutnya, sedangkan kecepatan angin yang tertinggi terjadi dibulan Oktober sebesar 7.1 meter per detik.

## 5.2. Pengukuran dan Perhitungan

Dalam pengukuran dan perhitungan, menggunakan data utama serta data pendukung yang selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang ada pada dasar – dasar teori. Data yang berkaitan dengan pengukuran adalah sebagai berikut:

Data alat dan data lainnya:

Diameter siklun (Awal)	: 0.50 m ( L 45 ).
Diameter siklun (Akhir)	: 0.76 m.
Jumlah sudu awal	: 27 Sudu.
Jumlah sudu tambahan	: 8 Sudu.
Rasio pada putaran gear	: 1 : 6.
Lama penggunaan rencana	: 15 Tahun.
Harga pembuatan turbin siklun	: Rp 1.178.500,- (Lampiran 4).
Daftar spare part	: Terlampir (Lampiran 3).
Alat ukur Kecepatan angin	: <i>Anemometer digital</i> (Lampiran 5).
Alat ukur Kecepatan putaran	: <i>Tachometer digital</i> Type DT-2234C <sup>+</sup> (Lampiran 5).



Gambar 5.2. Persiapan pengujian.

Tabel 5. 2 Data hasil pengukuran sistem.

NO	Kec. Angin (m/s)	Putaran Generator (RPM)	Tegangan Output Generator (Volt)	Teg Output Boost Converter (Volt)	Pengukuran Arus (Amper)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
2.	1.20	28.20	1.52	1.51	0.25
3.	1.60	36.10	1.40	1.64	0.23
4.	2.00	39.20	1.70	2.11	0.28
5.	2.30	40.50	1.84	2.20	0.46
6.	2.60	71.40	2.74	12.46	0.46
7.	3.00	95.40	3.84	13.03	0.64
8.	3.20	112.40	4.46	13.03	0.86
9.	3.30	121.30	5.11	13.03	0.85
10.	4.30	127.10	5.85	13.03	1.67
11.	5.03	138.80	7.17	13.03	1.80
12.	5.33	160.20	7.18	13.03	2.04

Sumber : Hasil pengujian.

### 5.3. Pengukuran Daya Angin

Daya angin merupakan kapasitas angin yang menimbulkan daya dorong selanjutnya, menimbulkan putaran pada generator dan menghasilkan energi listrik. Daya angin dapat dicari dengan perhitungan persamaan (2-3) dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^3$$

Dimana :

- P : Daya Angin (Watt)
- $\rho_a$  : Rapat Massa Udara
- A : Luas penampang (m)
- V : Kecepatan Angin (m/s)

Beberapa hal yang harus ditemukan, antara lain luas penampang (A) dan kerapatan udara  $\rho_a$ . Dan selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut :

#### Luas Penampang (A)

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$= \frac{3.14}{4} (0.76)^2 = 0.45 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa luas penampang dalam pada turbin angin ini sebesar adalah **0.45** m<sup>2</sup>. Dalam perhitungan daya angin perlu diperhatikan nilai kerapatan udara yang memiliki nilai berbeda-beda tergantung kondisi suhu udara. Dalam skripsi ini hanya di hitung pada suhu 30°C, dimana ini dianggap mencerminkan suhu kemungkinan terjadi di wilayah Indonesia, dimana nilai kerapatan ( $\rho_a$ ) pada suhu 30°C = 1,164 kg/m<sup>3</sup>.

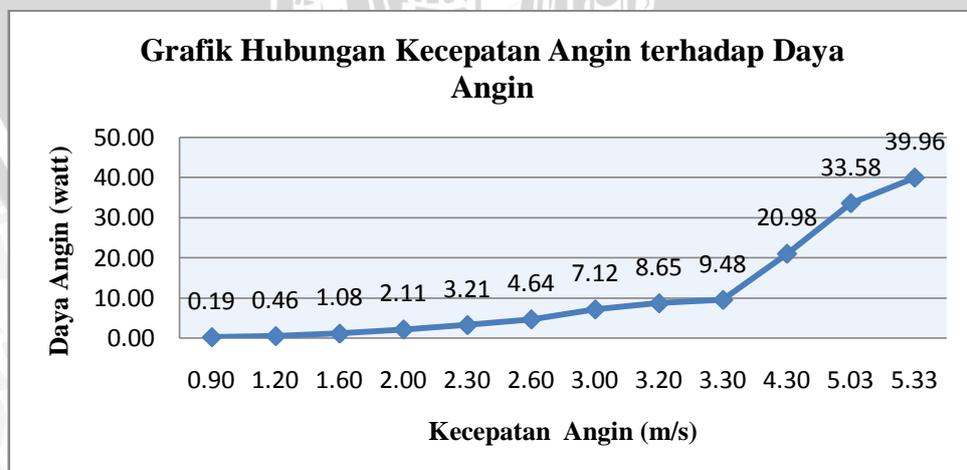
Daya angin dapat dihitung menggunakan persamaan (2-3), contoh perhitungan dapat dilihat dibawah ini dan selanjutnya perhitungan dengan variabel kecepatan angin rencana, dapat dijelaskan pada Tabel 5.3. contoh perhitungan pada suhu 30° C.

$$\begin{aligned} P &= \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot (0.45) \cdot (1,164) \cdot (5.33)^3 \\ &= 39.96 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Table 5.3. Kecepatan angin terhadap daya angin.

No Pengujian	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kec Angin (m/s)	0.90	1.20	1.60	2.00	2.30	2.60	3.00	3.20	3.30	4.30	5.03	5.33
P 30°C (watt)	0.19	0.46	1.08	2.11	3.21	4.64	7.12	8.65	9.48	20.98	33.58	39.96

Sumber : Hasil perhitungan.



Gambar 5.3. Kecepatan angin terhadap daya angin.

Pada Gambar 5.3 menunjukkan semakin meningkat kecepatan angin yang berhembus, maka daya angin yang dihasilkan akan meningkat pula.

#### 5.4. Perhitungan Nilai Efisiensi

Nilai efisiensi pada generator dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{\text{Daya generator}}{\text{Daya angin}} \times 100\%$$

Dari data pengujian di dapat dihitung nilai daya output generator sebesar **14,65** Watt sebelum masuk booster, yang terjadi pada kecepatan angin sebesar **5.33** meter per detik yang terjadi pada suhu 30 °C didapat nilai daya Angin sebesar **39.96** Watt , maka perhitungan efisiensi generator terhadap daya angin dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{14.65}{39.96} \times 100\% \\ &= 36.7\% \end{aligned}$$

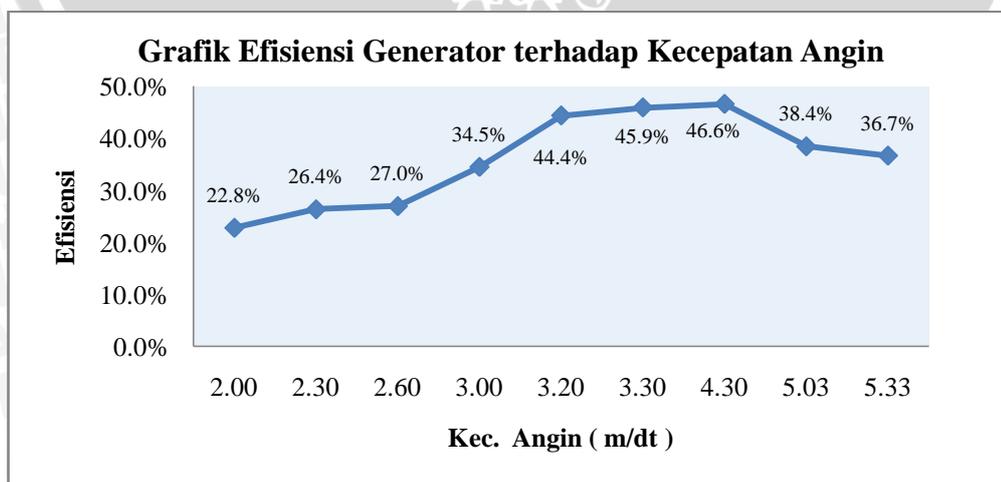
Selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi pada beberapa kondisi kecepatan angin yang bervariasi seperti yang dapat diperlihatkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Kecepatan angin terhadap nilai efisiensi.

No Pengujian	1	2	3	4	5	6
Kec. Angin ( m/dt )	0.90	1.20	1.60	2.00	2.30	2.60
P suhu 30 o C (watt)	0.19	0.46	1.08	2.11	3.21	4.64
Daya Generator (watt )	-	0.39	0.33	0.48	0.85	1.25
Efisiensi	-	-	30.2%	22.8%	26.4%	27.0%

No Pengujian	7	8	9	10	11	12
Kec. Angin ( m/dt )	3.00	3.20	3.30	4.30	5.03	5.33
P suhu 30 o C (watt)	7.12	8.65	9.48	20.98	33.58	39.96
Daya Generator (watt )	2.46	3.84	4.35	9.77	12.91	14.65
Efisiensi	34.5%	44.4%	45.9%	46.6%	38.4%	36.7%

Sumber : Hasil Perhitungan dan Pengujian .



Gambar 5.4. Grafik efisiensi generator terhadap kecepatan angin.

Pada Grafik 5.4 memperlihatkan bahwa terjadi kenaikan nilai efisiensi yang drastis pada kecepatan angin 2 – 3,5 meter per detik. selanjutnya nilai efisiensi maksimum terjadi pada kecepatan 4,3 meter per detik yaitu 46,6 % dan selanjutnya efisiensi cenderung turun.

## 5.5. Analisis Ekonomi

### 5.5.1 Cost Per Kilowatt - Hour

Cost per kWh dapat ditentukan dengan Persamaan (2-10) dan tersebut membutuhkan beberapa data yang sama dengan di atas :

$$\begin{aligned} \text{Cost per kWh} \left( \frac{\text{THB}}{\text{kWh}} \right) &= \frac{\text{Turbine Cost} + (\text{Annual Recurrent Cost} * \text{Operational Life (yrs.)})}{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * \text{Operational Life (yrs.)} * P \text{ output}} \\ &= \frac{\text{Rp. 1.178.500,-} + (\text{Rp. 35.355} * 15)}{365 * 24 * 15 * 0.02658} \\ &= \frac{\text{Rp. 1.178.500,-}}{3.663.43} = \text{Rp. 489,25,-} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas menunjukkan harga *cost* per kWh adalah Rp 489,25, diperlihatkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Kecepatan angin terhadap perubahan *cost per kWh*.

No Pengujian	1	2	3	4	5	6
Kec. Angin ( m/dt )	0.90	1.20	1.60	2.00	2.30	2.60
Daya Boost ( watt )	-	0.38	0.38	0.60	1.01	5.69
<i>Cost per kWh (Rp)</i>	-	33,996.40	33,984.56	21,753.15	12,850.55	2,285.52

No Pengujian	7	8	9	10	11	12
Kec. Angin ( m/dt )	3.00	3.20	3.30	4.30	5.03	5.33
Daya Boost ( watt )	8.34	11.21	11.10	21.76	23.45	26.58
<i>Cost per kWh (Rp)</i>	1,559.47	1,160.54	1,171.89	597.64	554.48	489.25

Sumber : Hasil Perhitungan dan Pengujian.



Gambar 5.5. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap perubahan harga per kWh (*Cost per kWh*).

Dari Tabel 5.5 memperlihatkan dimana hasil pengujian dengan kecepatan angin kurang dari 2,30 meter per detik menghasilkan nilai *cost Per Kwh* cukup besar. Maka dalam penggambaran grafik diambil data yang dianggap mudah dan memenuhi yaitu di mulai dari kecepatan angin 2,6–5,33 meter per detik. Sehingga dalam Gambar 5.5 dapat menjelaskan bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap sistem ini.

### 5.5.2 Payback Period

*Payback period* adalah waktu yang diperlukan oleh investor untuk memperoleh kembali investasi awal, melalui penerimaan atau pemasukan yang mungkin dihasilkan oleh sistem, dikurangi dengan biaya yg dikeluarkan, yang dapat dihitung dengan persamaan (2-10) sebagai berikut:

$$\text{Payback Period (Yrs.)} = \frac{\text{Turbine Cost}}{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * P \text{ output} * T \text{ ref} * \left[ 1 - \frac{\text{Annual Recurrent Cost}}{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * P \text{ output} * T \text{ ref}} \right]}$$

Dari persamaan diatas dapat dilakukan perhitungan dengan daya terukur sebesar 0.02658 kWatt. Pada perhitungan *payback* selanjutnya digunakan 2 tarif yang digunakan yaitu tarif PLN dengan nilai Rp. 415,-/kWh dan tarif sistem yang dirancang dengan nilai Rp. 489,25,- /kWh lebih mahal atas tarif PLN. Untuk perhitungan biaya berulang (*Annual Recurrent Cost*) yang dihitung 3%, yang didasarkan pada harga beberapa *spare part* dan lain- lainnya, penggantian *belt*, dan *bearing* utama.

Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Payback Period (Yrs.)} &= \frac{\text{Turbine Cost}}{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * P \text{ output} * T \text{ ref} * \left[ 1 - \frac{\text{Annual Recurrent Cost}}{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * P \text{ output} * T \text{ ref}} \right]} \\ &= \frac{\text{Rp. 1.178.500, -}}{(365 * 24 * 0.02658 * \text{Rp. 415, -}) \left( 1 - \frac{\text{Rp. 35.355, -}}{365 * 24 * 0.02568 * \text{Rp. 415, -}} \right)} \\ &= 19.31 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan *payback* berdasarkan *cost* per kWh dengan nilai Rp. 489,-

$$\begin{aligned} \text{Payback Period (Yrs.)} &= \frac{\text{Turbine Cost}}{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * P \text{ output} * T \text{ ref} * \left[ 1 - \frac{\text{Annual Recurrent Cost}}{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * P \text{ output} * T \text{ ref}} \right]} \\ &= \frac{\text{Rp. 1.178.500, -}}{(365 * 24 * 0.02658 * \text{Rp. 489, -}) \left( 1 - \frac{\text{Rp. 35.355, -}}{365 * 24 * 0.02658 * \text{Rp. 489, -}} \right)} \\ &= 15 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

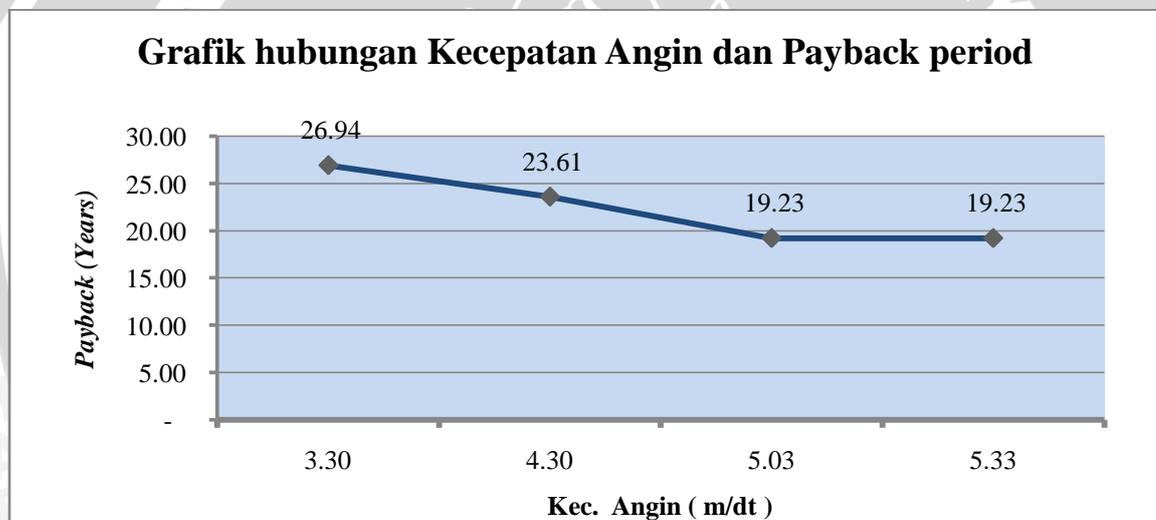
Perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai pengembalian investasi yang berdasar tarif PLN yaitu selama 19,31 Tahun dan jika berdasar pada *cost/kWh* sistem yang dirancang pengembalian investasi mencapai 15 tahun. Untuk perhitungan *payback* berdasar tarif PLN dapat diperlihatkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Daya generator terhadap perubahan *payback*.

No Pengujian	1	2	3	4	5	6
Kec. Angin ( m/dt )	0.90	1.20	1.60	2.00	2.30	2.60
Daya Boost ( watt )	0.38	0.38	0.60	1.01	5.69	8.34
<i>Payback</i> (Years)	-34.70	-34.70	-35.52	-37.20	-80.34	-233.8

No Pengujian	7	8	9	10	11	12
Kec. Angin ( m/dt )	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Daya Boost ( watt )	27.88	27.88	27.88	27.88	27.88	27.88
<i>Payback</i> (Years)	218.95	236.28	26.94	23.61	19.23	19.23

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan.



Gambar 5.6. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap perubahan *payback period*.

Dari pengukuran dan Gambar 5.6 dijelaskan terjadi penurunan *payback* pada generator saat kecepatan angin 3,3 – 4,30 meter per detik dengan *payback* selama 19.3 tahun.

### 5.5.3 Return On Investment (ROI)

*Return On Investment* (ROI) ini merupakan nilai pengembalian investasi yang dinyatakan dalam persen (%). Nilai ROI dapat dihitung dengan persamaan (2-9) sebagai berikut:

$$\frac{\text{Total Return}}{\text{Total Cost}} (\text{ROI}) = \frac{365 \text{ Days} * 24 \text{ Hrs.} * \text{Operational Life (yrs.)} * P \text{ output} * T \text{ ref}}{\text{Turbine Cost} + (\text{Annual Recurrent Cost} * \text{Operational Life (yrs.)})} \quad (2-9)$$

Dasar perhitungan ROI menggunakan beberapa data yang tersebut dalam pengukuran dan perhitungan, yaitu kecepatan angin 3.3 meter per detik dengan daya sebesar 26.58 Watt setara dengan 0.02658 kWatt. Pada perhitungan ini menggunakan tarif (Tref) adalah Rp. 415,-/ kWh sesuai dengan tarif dasar listrik yang dikeluarkan oleh PLN, dimana masa pengoperasian sistem generator ini dilakukan selama 15 tahun, sehingga dapat dicari nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= \frac{365 \times 24 \times 15 \times 0.02658 \times \text{Rp. } 415, -}{\text{Rp. } 1.178.500, - + (\text{Rp. } 35.355, - \times 15)} \\ &= 0,85 \text{ atau } 85 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai ROI senilai 85%, dan nilai ROI ini tergantung dengan daya generator yang di keluarkan atau *out put* yang sepenuhnya dipengaruhi perubahan kecepatan angin yang terjadi, dimana hasil perhitungan ROI selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 5.7.

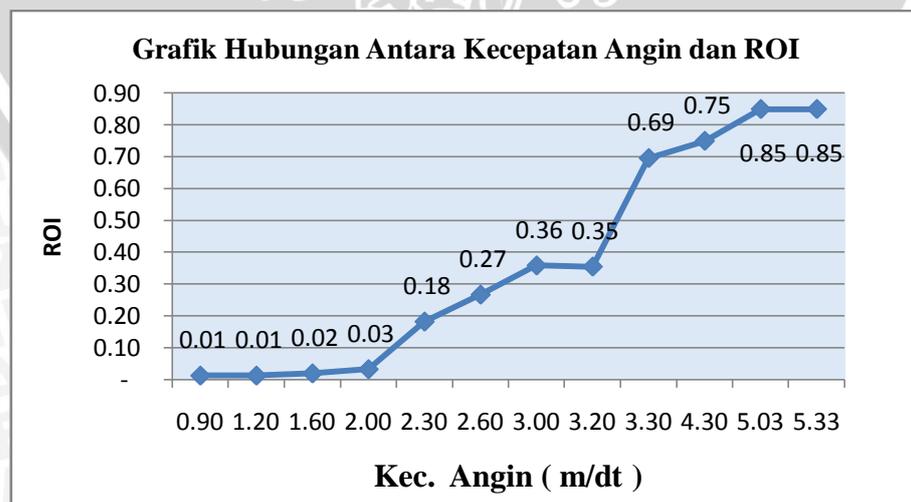
Tabel 5.7 Kecepatan angin terhadap perubahan ROI.

No Pengujian	1	2	3	4	5	6
Kec. Angin ( m/dt )	0.90	1.20	1.60	2.00	2.30	2.60
Daya Boost ( watt )	0.38	0.38	0.60	1.01	5.69	8.34
ROI (%)	0.01	0.01	0.02	0.03	0.18	0.27

No Pengujian	7	8	9	10	11	12
Kec. Angin ( m/dt )	3.00	3.20	3.30	4.30	5.03	5.33
Daya Boos ( watt ) t	11.21	11.10	21.76	23.45	26.58	26.58
ROI (%)	0.36	0.35	0.69	0.75	0.85	0.85

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan.



Gambar 5.7. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap ROI.

Pada Grafik 5.7 memperlihatkan perubahan kecepatan angin berpengaruh terhadap nilai pada ROI. Perubahan terjadi pada kecepatan angin 3,2-4,3 meter per detik, grafik menunjukkan peningkatan nilai ROI yang cukup tajam dan pada pengujian ini menunjukkan nilai 0,85 atau 85%.

## 5.6. Implementasi Sistem

Implementasi sistem ini dilakukan untuk melihat beroperasinya sistem yang dirancang secara harian, sesuai dengan kondisi aktual dimana angin akan berhembus atau tidak berhembus selama 24 jam. Implementasi sistem ini merupakan proses pengecasan aki dan proses pembebanan pada aki dengan beban penerangan lampu yang bervariasi yaitu 5 Watt, 10 Watt dan 15 Watt.

Dengan beroperasinya sistem tersebut dapat diambil data yang terukur, dimana percobaan ini dilakukan di Sidoarjo pada tanggal 8 Mei 2015. Implementasi sistem ini mencatat perubahan daya terhadap waktu dalam sehari, yang diperlihatkan pada Tabel 5.8.

### Kondisi – Kondisi Pengujian

Cuaca/Suhu/Ketinggian : Cerah/28°C - 30 °C /6.25m diatas permukaan tanah.

Desa : Banjar bendo, Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo.

Tanggal /Aki : 08 Mei 2015/12 Volt 30 Ah.

Tabel 5.8. Data pengukuran pengecasan terhadap satuan waktu.

No	Jam	Kec Angin (m/s)	Generator			Boost Converter		BCR Aki	
			RPM	V1 ( Volt)	A1 (Amper)	V2 (Volt)	A2 (Amper)	V3 (Volt)	A3 (Amper)
1	9:00	6.32	206	8.72	1.41	13.02	0.85	10.50	0.80
2	10:00	8.07	263	11.15	2.31	13.01	1.78	11.31	1.68
3	11:00	7.96	259	10.99	2.25	13.01	1.71	11.49	1.60
4	12:00	7.52	245	10.38	2.00	13.00	1.44	11.62	1.37
5	13:00	8.55	278	11.80	2.59	13.01	2.11	11.76	1.99
6	14:00	8.69	283	12.00	2.68	13.01	2.22	11.89	2.07
7	15:00	8.59	279	11.85	2.61	13.02	2.14	12.02	2.01
8	16:00	8.55	278	11.80	2.59	13.00	2.11	12.14	1.96
9	17:00	8.47	276	11.69	2.54	13.01	2.06	12.24	1.93
10	18:00	8.07	263	11.15	2.31	13.01	1.78	12.32	0.27
11	19:00	7.96	259	10.99	2.25	13.01	1.71	12.39	0.44
12	20:00	7.51	244	10.37	2.00	13.02	1.43	12.44	0.73
13	21:00	6.89	224	9.51	1.68	13.00	1.11	12.47	1.09
14	22:00	5.91	192	8.17	1.24	13.01	0.70	12.49	1.22
15	23:00	6.32	206	8.72	1.41	13.01	0.85	12.55	1.33
16	0:00	5.24	171	7.24	0.97	12.60	0.50	12.58	1.74
17	1:00	1.31	43	1.81	0.06	2.17	0.05	12.59	1.99
18	2:00	1.66	54	2.29	0.10	1.56	0.13	12.59	1.98
19	3:00	1.90	62	2.62	0.13	2.17	0.14	12.59	1.98
20	4:00	1.66	54	2.29	0.10	1.00	0.20	12.59	1.99
21	5:00	1.31	43	1.81	0.06	1.00	0.10	12.60	2.00
22	6:00	1.90	62	2.62	0.13	1.87	0.16	12.60	0.00
23	7:00	1.66	54	2.29	0.10	1.51	0.13	12.60	0.00
24	8:00	1.31	43	1.81	0.06	1.87	0.05	12.60	0.00

Sumber: Pengujian.

Pada Tabel 5.8 memperlihatkan hasil pengujian implementasi sistem dengan mencatat data-data kecepatan angin, putaran generator, tegangan generator, arus generator, tegangan *boost converter*, arus pada *boost converter*, tegangan aki dan arus pengecasan pada aki terhadap satuan waktu.

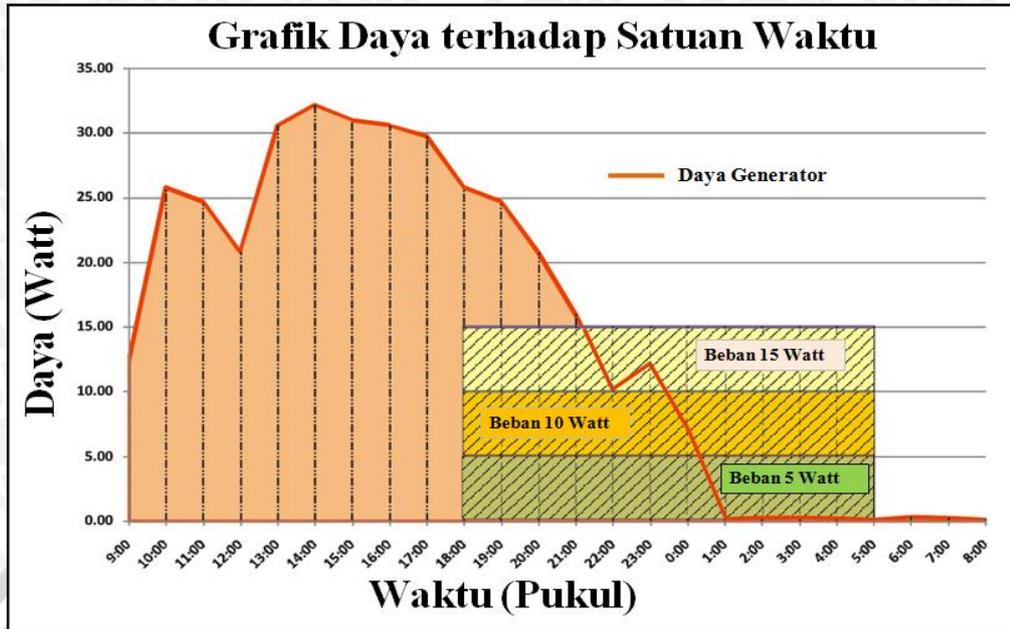
Dari hasil pengujian didapatkan kecepatan angin maksimal yang berhembus terjadi pada jam 14:00 sebesar 8.69 m/s yang menghasilkan putaran generator sebesar 283 rpm. Tegangan yang dihasilkan oleh generator sebesar 12 Volt dengan arus pengecasan sebesar 2.31 Amper. Selanjutnya pada Tabel 5.9 memperlihatkan perhitungan daya yang berdasarkan data pada Tabel 5.8 terhadap satuan waktu.

Tabel 5.9. Data perhitungan daya terhadap satuan waktu.

No	Daya Angin	Daya Tubin	Daya Generator	Daya Boost Converter	Daya Aki
1	54.67	25.69	12.33	11.10	10.55
2	114.16	53.66	25.76	23.18	22.02
3	109.44	51.44	24.69	22.22	21.11
4	92.25	43.36	20.81	18.73	17.79
5	135.44	63.66	30.56	27.50	26.13
6	142.43	66.94	32.13	28.92	27.47
7	137.31	64.54	30.98	27.88	26.49
8	135.44	63.66	30.56	27.50	26.13
9	131.75	61.92	29.72	26.75	25.41
10	114.16	53.66	25.76	23.18	22.02
11	109.44	51.44	24.69	22.22	21.11
12	91.80	43.15	20.71	18.64	17.71
13	70.82	33.29	15.98	14.38	13.66
14	44.88	21.09	10.12	9.11	8.66
15	54.67	25.69	12.33	11.10	10.55
16	31.27	14.70	7.06	6.35	6.03
17	0.49	0.23	0.11	0.10	0.10
18	0.99	0.46	0.22	0.20	0.19
19	1.48	0.69	0.33	0.30	0.29
20	0.99	0.46	0.22	0.20	0.19
21	0.49	0.23	0.11	0.10	0.10
22	1.48	0.69	0.33	0.30	0.29
23	0.99	0.46	0.22	0.20	0.19
24	0.49	0.23	0.11	0.10	0.10
Total Daya Generator			322.21 Watt		

Sumber : Hasil perhitungan.

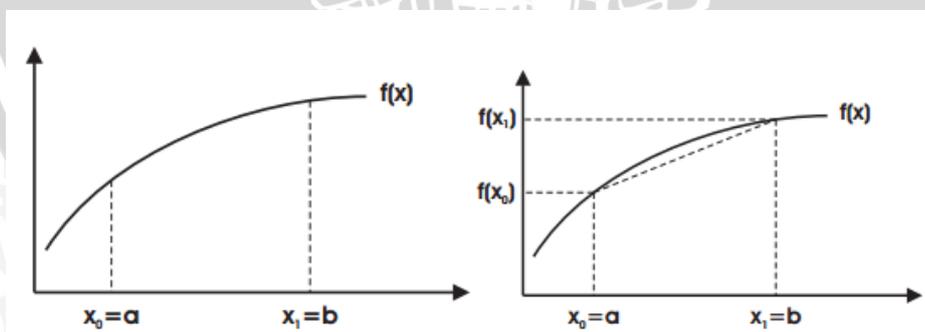
Dari hasil perhitungan Tabel 5.9 memperlihatkan kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan.



Gambar 5.8 Grafik daya dan pembebanan terhadap satuan waktu.

Pada Gambar 5.8 memperlihatkan grafik daya yang dihasilkan oleh generator dan pembebanan yang dilakukan terhadap satuan waktu pada pengujian. Pembebanan pada pengujian ini bervariasi mulai dari beban 5 watt, 10 Watt dan 15 Watt. Dari data-data perhitungan daya didapat total daya yang dihasilkan implementasi sistem adalah 322.21 Watt dengan daya rata-rata sebesar 13.43 Watt.

Untuk perhitungan energi yang dihasilkan dapat dicari dengan menghitung luas daerah pada grafik dimana perhitungan luas pada grafik tersebut menggunakan metode *Trapezoida*, sehingga dapat dijelaskan sebagai berikut.



$$\int_a^b f(x)dx = \frac{h}{2} [f(x_0) + f(x_1)]$$

Dengan rumus diatas  $h$  merupakan jarak dari  $b$  ke  $a$ , dalam perhitungan ini jarak yang digunakan adalah waktu. Sehingga penurunan rumus dapat dilakukan sebagai berikut.

$$Ln = \frac{(\text{Jam B} - \text{Jam A}) \text{ hours}}{2} (f(A)\text{Watt} + f(B)\text{watt}) = \text{Luas Wh}$$

dimana  $h$  bernilai 1 maka dapat ditulis sebagai berikut :

$$L_n = \frac{1 \text{ hours}}{2} (f(A)Watt + F(B)watt) = Luas Wh$$

sehingga pada perhitungan luas daerah grafik implementasi sistem didapat:

$$L1 = \frac{1}{2} (11.10 + 23.18) = 17.14 Wh$$

$$L8 = \frac{1}{2} (27.50 + 26.75) = 27.13 Wh$$

$$L2 = \frac{1}{2} (23.18 + 22.22) = 22.70 Wh$$

$$L9 = \frac{1}{2} (26.75 + 23.18) = 24.97 Wh$$

$$L3 = \frac{1}{2} (22.22 + 18.73) = 20.48 Wh$$

$$L10 = \frac{1}{2} (23.18 + 22.22) = 22.70 Wh$$

$$L4 = \frac{1}{2} (18.73 + 27.50) = 23.12 Wh$$

$$L11 = \frac{1}{2} (22.22 + 18.64) = 20.43 Wh$$

$$L5 = \frac{1}{2} (27.50 + 23.18) = 28.21 Wh$$

$$L12 = \frac{1}{2} (18.64 + 14.38) = 16.51 Wh$$

$$L6 = \frac{1}{2} (28.92 + 27.88) = 28.40 Wh$$

$$L13 = \frac{1}{2} (14.38 + 9.11) = 11.75 Wh$$

$$L7 = \frac{1}{2} (27.88 + 27.50) = 27.69 Wh$$

$$L14 = \frac{1}{2} (9.11 + 10.1) = 10.11 Wh$$

$$L15 = \frac{1}{2} (11.1 + 6.35) = 8.73 Wh$$

$$L20 = \frac{1}{2} (0.20 + 0.10) = 0.15 Wh$$

$$L16 = \frac{1}{2} (6.35 + 0.10) = 3.23 Wh$$

$$L21 = \frac{1}{2} (0.10 + 0.30) = 0.20 Wh$$

$$L17 = \frac{1}{2} (0.10 + 0.20) = 0.15 Wh$$

$$L22 = \frac{1}{2} (0.30 + 0.20) = 0.25 Wh$$

$$L18 = \frac{1}{2} (0.20 + 0.30) = 0.25 Wh$$

$$L23 = \frac{1}{2} (0.20 + 0.10) = 0.15 Wh$$

$$L19 = \frac{1}{2} (0.30 + 0.20) = 0.25 Wh$$

Dimana total energi yang dihasilkan dengan menghitung luas daerah grafik adalah sebagai berikut:

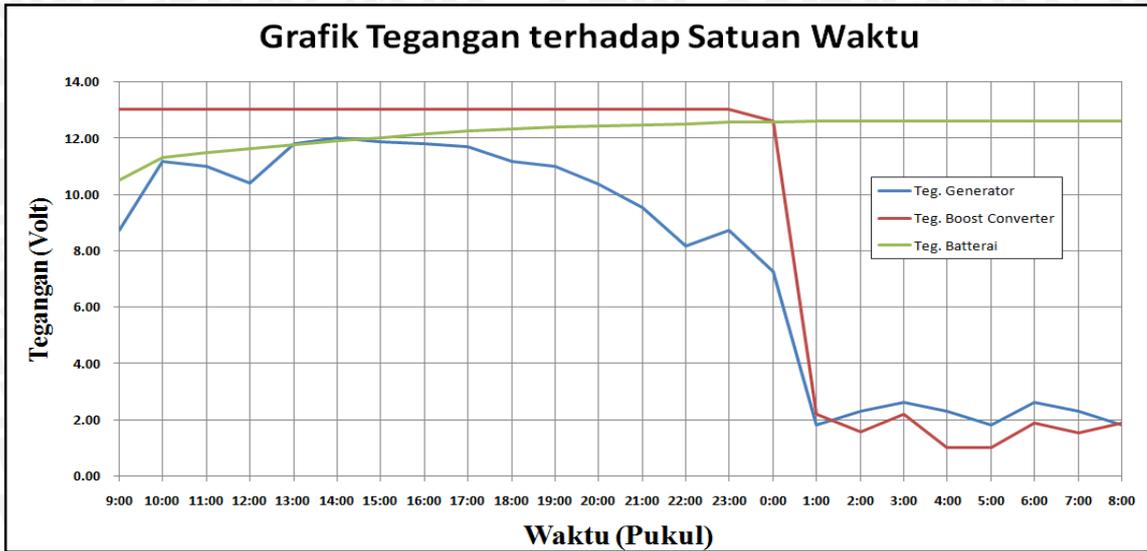
$$L_{total} = L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 + L11 + L12 + L13 + L14 + L15 + L16 + L17 + L18 + L19 + L20 + L21 + L22 + L23$$

$$L_{total} = 17 + 22.70 + 20.48 + 23.12 + 28.21 + 28.40 + 27.69 + 27.13 + 24.97 + 22.70 + 20.43 + 16.51 + 11.75 + 10.11 + 8.73 + 3.23 + 0.15 + 0.25 + 0.25 + 0.15 + 0.20 + 0.25 + 0.15$$

$$L_{total} = 314.66 Wh$$

Dari perhitungan diatas menunjukkan energi yang dihasilkan oleh sistem ini selama 24 jam pada tanggal 8 Mei sebesar 314.66 Wh.

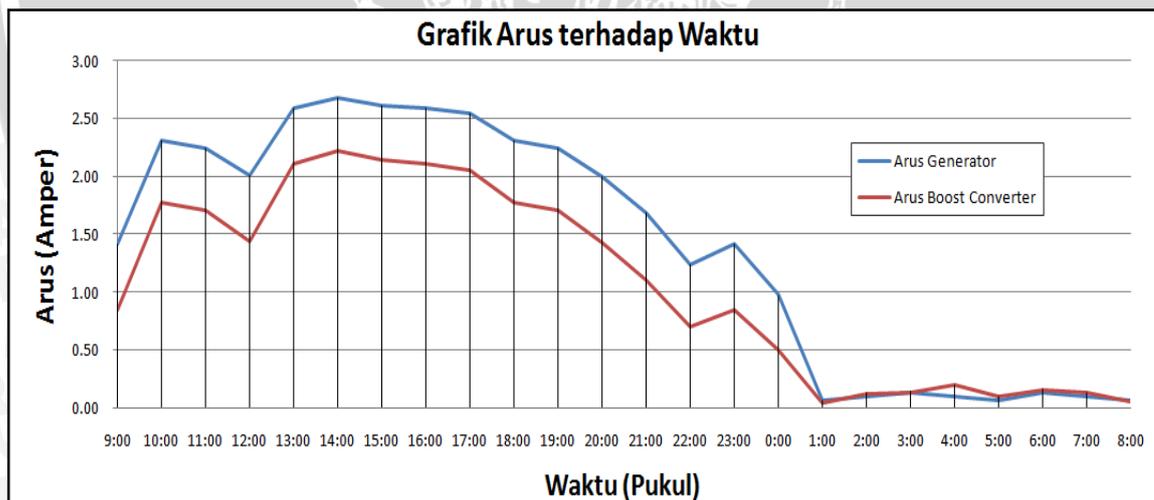
Sedangkan hubungan antara tegangan generator, tegangan *boost converter* dan tegangan baterai (pengecasan) terhadap satuan waktu pada implementasi sistem dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik tegangan generator, tegangan *boost converter* dan tegangan baterai terhadap satuan waktu

Pada Gambar 5.9 memperlihatkan bahwa tegangan pengecasan pada saat jam 1:00 cenderung linier yang disebabkan karena kecepatan angin yang berhembus kecil sehingga tegangan yang dihasilkan juga kecil.

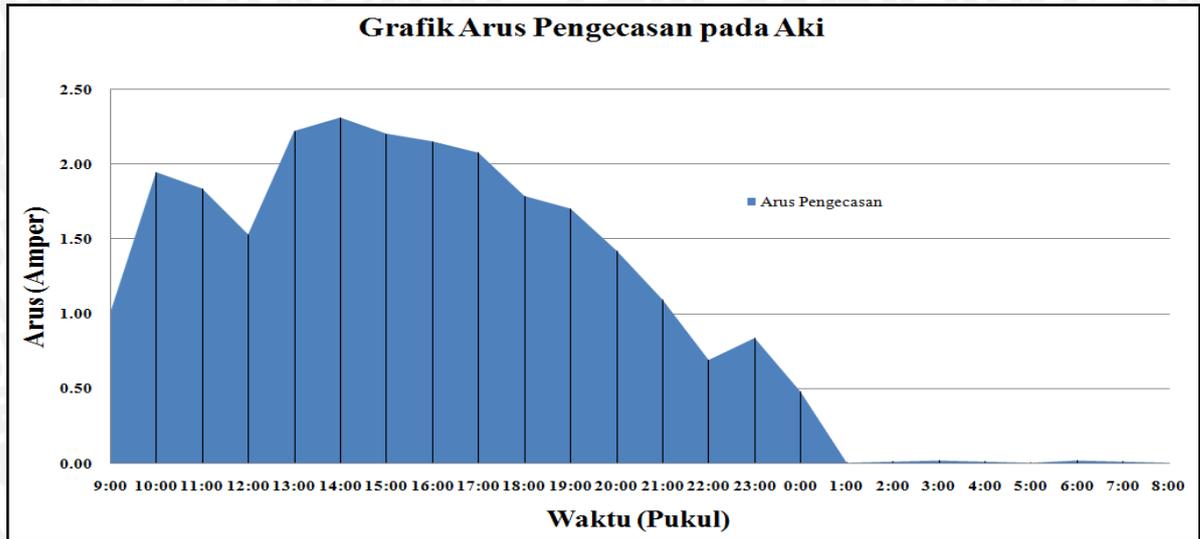
Pada Gambar 5.10 memperlihatkan grafik karakteristik arus generator dan arus *boost converter* terhadap satuan waktu.



Gambar 5.10 Grafik arus terhadap satuan waktu.

Pada Gambar 5.10 memperlihatkan bahwa pola arus yang terjadi pada generator dan *boost converter* sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin yang berhembus terhadap sistem yang dirancang.

Sedangkan pada Gambar 5.11 memperlihatkan arus pengecasan dimana besar nilai arus pengecasan ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang dihasilkan.



Gambar 5.11 Grafik arus pengecasan pada aki.

Pada Gambar 5.11 memperlihatkan arus pengecasan mengalami penurunan pada jam 1:00 dikarenakan angin yang bertiup belum cukup menghasilkan daya yang digunakan untuk melakukan pengisian pada aki.

Proses pembebanan ini dilakukan dengan 3 jenis beban antara lain beban 5 Watt beban 10 watt dan beban 15 Watt. Dimana proses pembebanan ini terpisah dari sistem utama yang dirancang, artinya bahwa pengujian sistem ini dimulai dari aki yang dicas oleh sistem dengan beban itu sendiri. Hasil pengukuran dapat diperlihatkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil pengukuran dengan beban.

No	Jam	Tegangan Aki (Volt)			Arus pada Beban 5 Watt (Amper)	Arus pada Beban 5 Watt (Amper)	Arus pada Beban 5 Watt (Amper)
		5 Watt	10 Watt	15 Watt			
1	9:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
2	10:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
3	11:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
4	12:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
5	13:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
6	14:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
7	15:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
8	16:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
9	17:00	12.70	12.70	12.70	0.000	0.000	0.000
10	18:00	12.67	12.64	12.62	0.395	0.791	1.189
11	19:00	12.64	12.59	12.53	0.396	0.794	1.197
12	20:00	12.62	12.53	12.48	0.396	0.798	1.202
13	21:00	12.59	12.49	12.45	0.397	0.801	1.205
14	22:00	12.56	12.47	12.41	0.398	0.802	1.209
15	23:00	12.53	12.45	12.37	0.399	0.803	1.213
16	0:00	12.51	12.42	12.33	0.400	0.805	1.217
17	1:00	12.49	12.40	12.28	0.400	0.806	1.221
18	2:00	12.48	12.37	12.23	0.401	0.808	1.226
19	3:00	12.47	12.34	12.18	0.401	0.810	1.232
20	4:00	12.46	12.31	12.12	0.401	0.812	1.238
21	5:00	12.45	12.28	12.06	0.402	0.814	1.244
22	6:00	12.45	12.28	12.06	0.000	0.000	0.000
23	7:00	12.45	12.28	12.06	0.000	0.000	0.000
24	8:00	12.45	12.28	12.06	0.000	0.000	0.000

Sumber :Pengujian

Pengujian beban ini dilakukan pada jam 17:00-5:00, dengan kapasitas awal baterai sebesar 100% atau dengan tegangan 12.7 Volt. Selanjutnya akibat pembebanan

yang dilakukan, kapasitas baterai mengalami perubahan terhadap yang dapat diperlihatkan pada Tabel 5.11

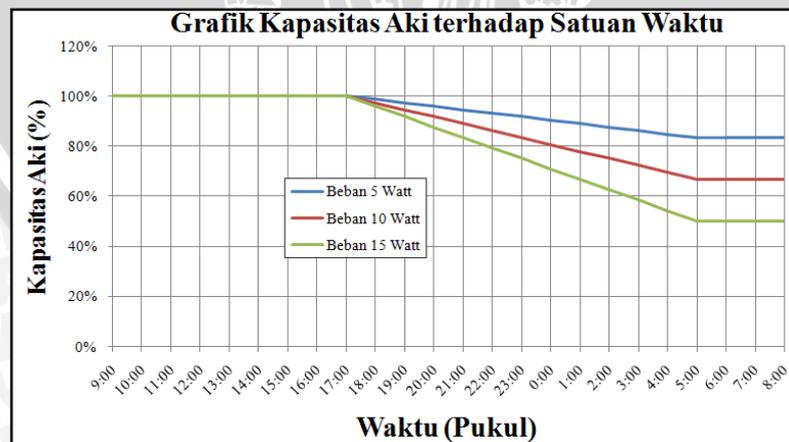
Tabel 5.11 Karakteristik baterai terhadap satuan waktu.

No	Jam	Kapasitas Baterai		
		5 Watt	10 Watt	15 Watt
1	9:00	100%	100%	100%
2	10:00	100%	100%	100%
3	11:00	100%	100%	100%
4	12:00	100%	100%	100%
5	13:00	100%	100%	100%
6	14:00	100%	100%	100%
7	15:00	100%	100%	100%
8	16:00	100%	100%	100%
9	17:00	100%	100%	100%
10	18:00	99%	97%	96%
11	19:00	97%	94%	92%
12	20:00	96%	92%	88%
13	21:00	94%	89%	83%
14	22:00	93%	86%	79%
15	23:00	92%	83%	75%
16	0:00	90%	81%	71%
17	1:00	89%	78%	67%
18	2:00	88%	75%	63%
19	3:00	86%	72%	58%
20	4:00	85%	69%	54%
21	5:00	83%	67%	50%
22	6:00	83%	67%	50%
23	7:00	83%	67%	50%
24	8:00	83%	67%	50%

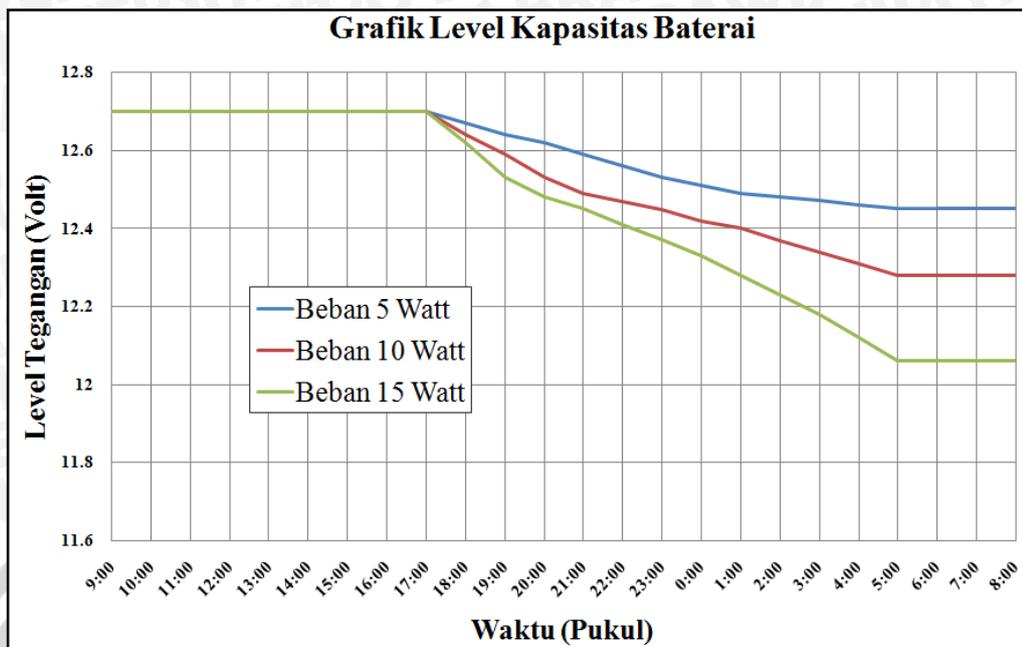
Sumber :Perhitungan

Dari Tabel 5.10 memperlihatkan kapasitas aki pada beban 5 Watt mengalami penurunan hingga 83%, sedangkan pada beban 10 Watt mengalami penurunan hingga 67% dan pengujian dengan beban 15 Watt kapasitas baterai turun hingga 50%.

Berdasarkan data-data pada Tabel 5.10 dapat dibuat grafik hubungan antara kapasitas baterai dan pembebanan yang dilakukan terhadap fungsi waktu, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13.



Gambar 5.12 Grafik kapasitas aki terhadap satuan waktu.

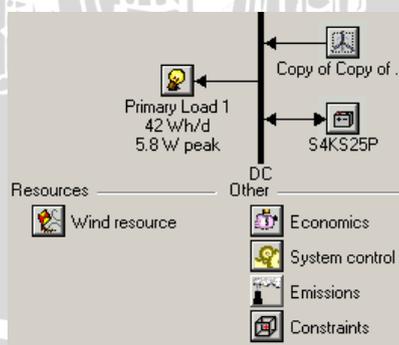


Gambar 5.13 Grafik level tegangan kapasitas baterai.

Pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 memperlihatkan perubahan level presentasi kapasitas baterai dan level tegangan baterai dimana mengalami penurunan pada jam 17:00-5:00. Semakin besar jumlah beban yang digunakan maka level tegangan dari baterai tersebut akan semakin berkurang.

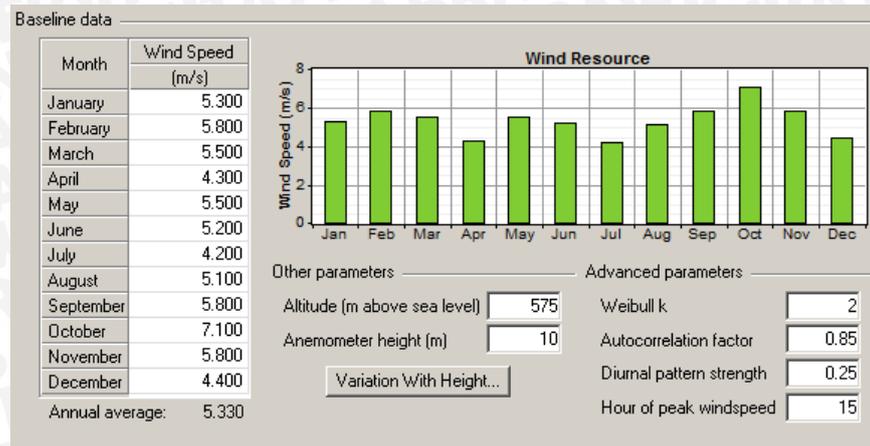
### 5.7. Simulasi Homer

Simulasi ini bertujuan mengetahui nilai dari *Nett Present Cost* (NPC) dan bisa hanya dilakukan dengan permisalan jumlah turbin angin lebih dari satu. Konfigurasi Homer tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar 5.14.

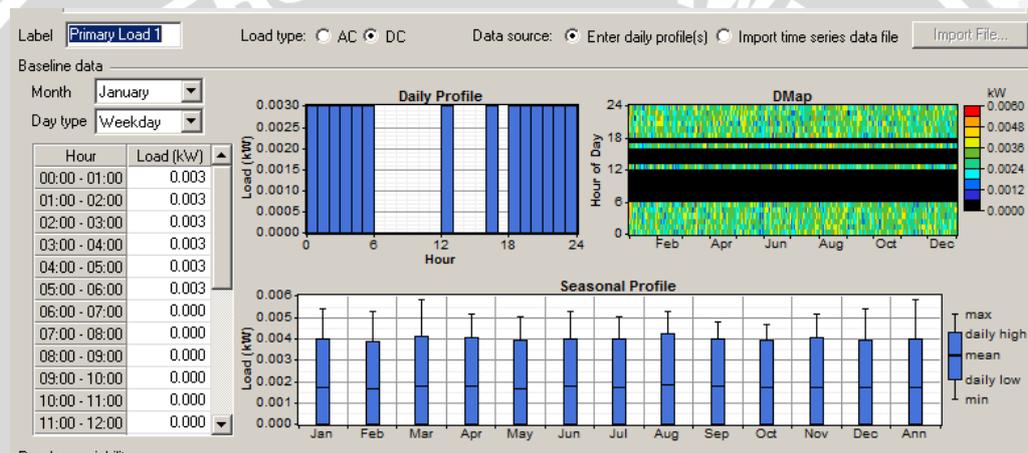


Gambar 5.14. Konfigurasi pada sistem Homer.

Dari Gambar 5.14 memperlihatkan konfigurasi pada turbin angin dan baterai yang dihubungkan pada bus DC kemudian selanjutnya dihubungkan dengan beban DC. Dalam pengisian konfigurasi angin dapat diperlihatkan pada Gambar 5.15.

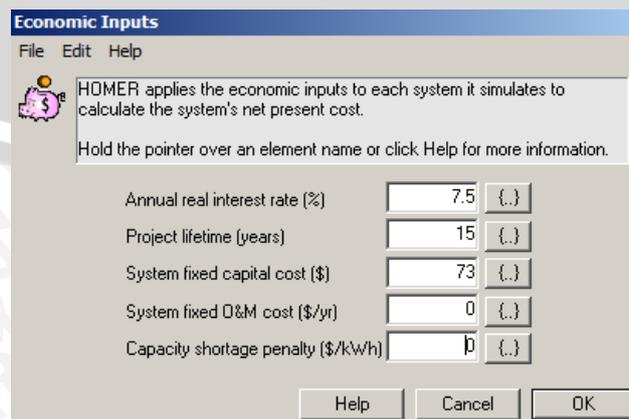


Gambar 5.15. Konfigurasi kecepatan angin data dari Stasiun Karang Ploso.



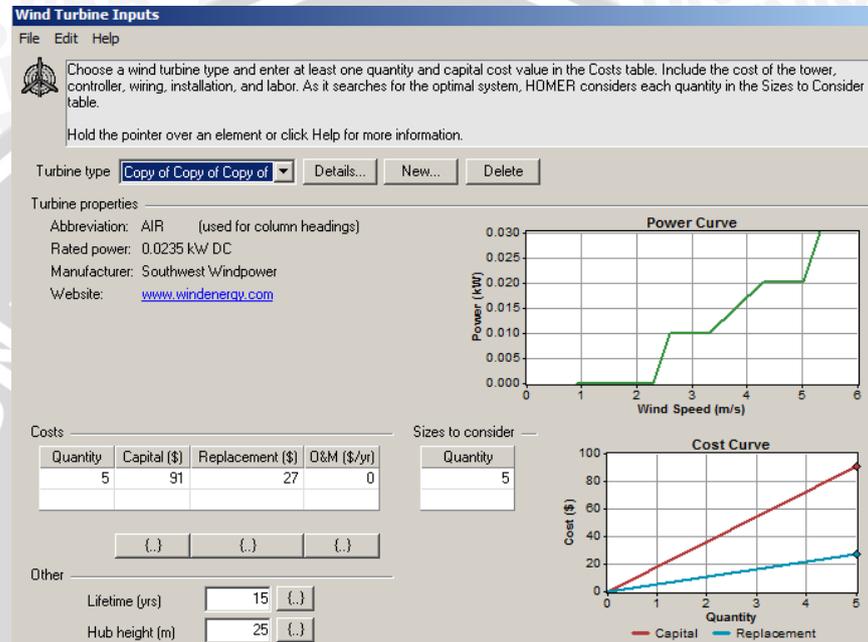
Gambar 5.16. Data Beban yang dilakukan.

Pada Gambar 5.16 memperlihatkan data rancangan yang dilakukan, dalam hal ini beban rancangan yang digunakan hanya 3 Watt, digunakan untuk menyalakan lampu penerangan saja. Untuk bunga Bank sesuai dengan BI rate sebesar 7.5% ,selanjutnya dapat dimasukkan pada *economic inputs*, dapat diperlihatkan pada Gambar 5.17.

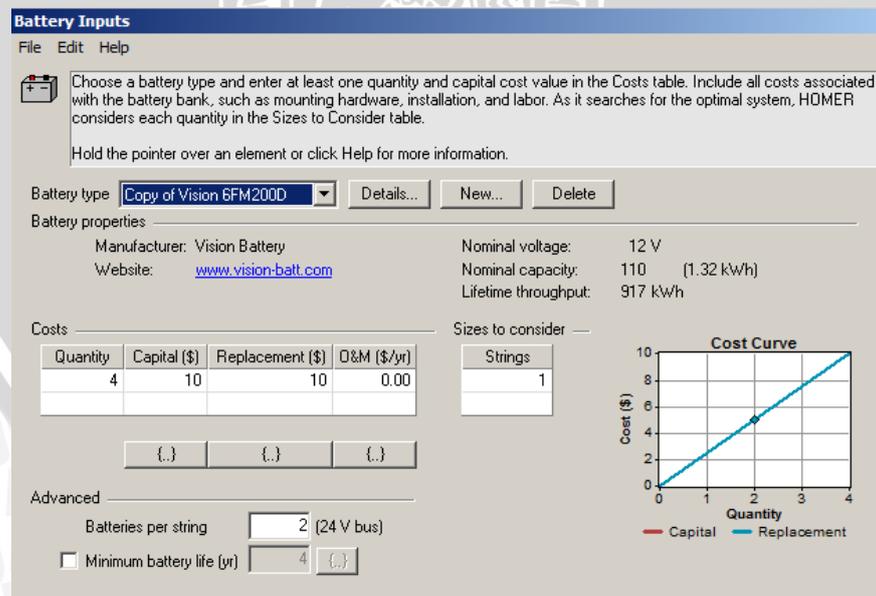


Gambar 5.17. Pengisian terkait dengan indikator ekonomi.

Pada pengisian data turbin angin dapat diperlihatkan pada Gambar 5.18. Pengisian data ini dilakukan berdasarkan perancangan turbin angin yang dibuat. Dalam perancangan ini jumlah turbin angin dimisalkan sebanyak 5 Unit dengan lama pengoperasian 15 tahun. Dan harga pembuatan turbin adalah Rp. 1.178.500 dimana nilai kurs yang digunakan pada tanggal 3 Mei 2015 adalah Rp 12,987,- per 1 USD sehingga nilai investasi setara dengan 91 USD.

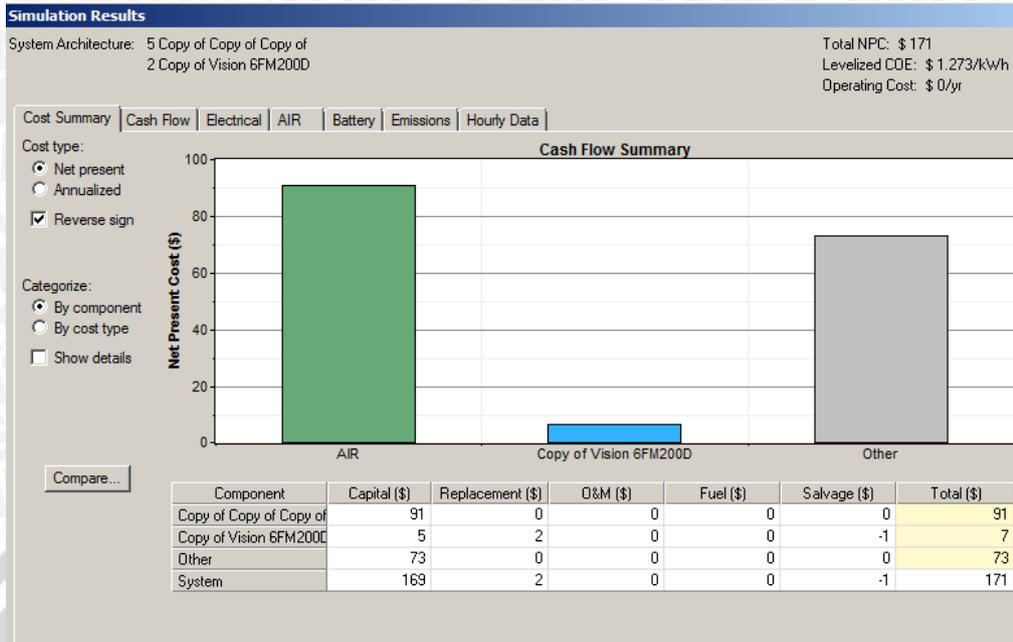


Gambar 5.18. Pengisian data turbin angin.



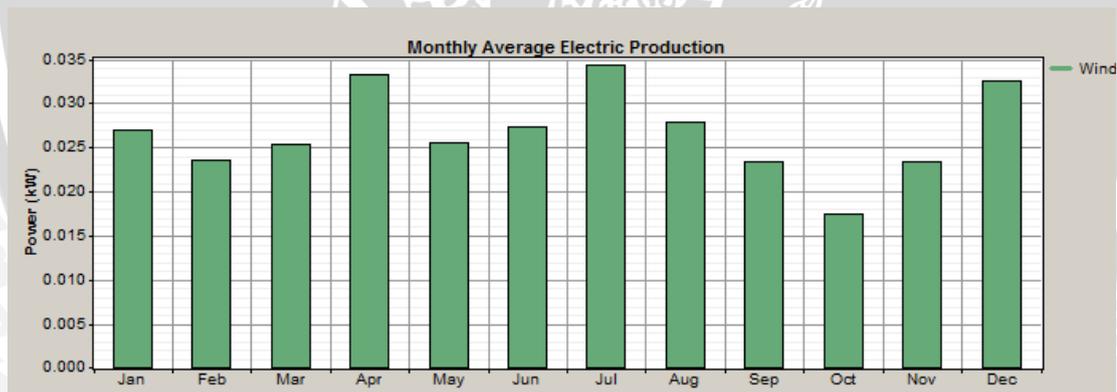
Gambar 5.19. Pengisian data baterai.

Dan untuk pengisian baterai yang digunakan pada Homer dapat diperlihatkan pada Gambar 5.19. Harga baterai 10 USD terdiri dari 4 Unit. Selanjutnya untuk simulasi menggunakan Homer maka didapat nilai NPC dapat perlihatkan pada Gambar 5.20.



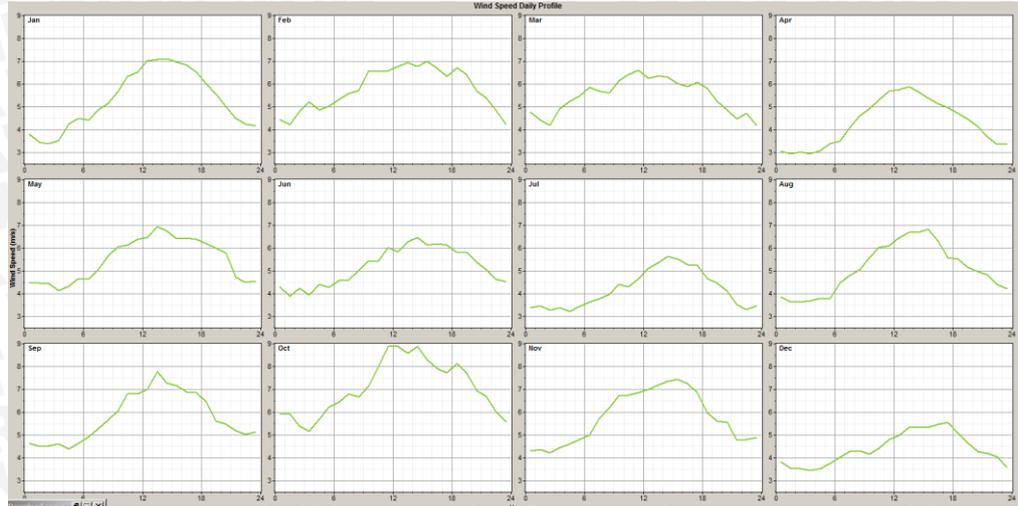
Gambar 5.20. Nilai NPC pada Homer.

Pada Gambar 5.20 memperlihatkan nilai NPC senilai 171 USD yang setara dengan Rp. 2.220.777 terdiri dari Turbin dan Baterai. Sedangkan pada Gambar 5.21 hasil rata-rata produksi listrik dalam 1 tahun.



Gambar 5.21. Grafik hasil rata-rata produksi listrik.

Dari Gambar 5.21 memperlihatkan produksi listrik terbesar terjadi pada bulan Juli dan April dengan nilai diatas 0.03kW. sedangkan produksi listrik terendah terjadi pada bulan Oktober dibawah 0.02 kW.



Gambar 5.22. Wind Speed Daily Profile.

Pada Gambar 5.22 Menunjukkan profile harian berdasarkan kondisi aktual harian. Secara umum laporan yang ditunjukkan program *Homer* mudah untuk dipahami karena *visualisasi report* cukup menarik.

