

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISIS**

#### **4.1. Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Sepeda Hybrid Berbasis Tenaga Pedal dan Tenaga Surya**

##### **4.1.1. Analisis Radiasi Matahari**

Analisis dilakukan dengan menggunakan data yang diperoleh dari *software Homer Energy*. Data yang digunakan adalah data rata-rata radiasi matahari pada waktu percobaan alat, lebih tepatnya pada bulan Mei 2016. Data radiasi matahari secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 2. Radiasi harian pada bulan Mei 2016 tercatat 4,730 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Data tersebut menjelaskan bahwa jumlah rata-rata radiasi matahari setiap hari pada bulan Mei 2016 sebesar 4730 Wh/m<sup>2</sup>. Dari data tersebut dapat diasumsikan lama penyinaran matahari dalam sehari adalah 6 jam, sehingga dengan asumsi tersebut didapatkan:

$$\begin{aligned} 4,730\text{kWh/m}^2/d &= 4730 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \times \frac{1}{d} \\ &= 4730 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \times \frac{1}{6h} \\ &= 788,3 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Hal ini berarti untuk luas 1 m<sup>2</sup> diperoleh daya sebesar 788,3 watt.

##### **4.1.2. Analisis Sistem Hubung Generator dengan Puli Roda**

Pada proyek penelitian ini, sepeda yang digunakan masih dapat digunakan seperti sepeda pada umumnya hanya saja pada poros roda dimodifikasi dengan menambahkan sebuah puli yang akan digunakan sebagai penghubung antara poros roda dan poros generator. Adapun ukuran puli yang digunakan pada poros roda dengan jari-jari 10 cm. Dari data tersebut dapat dihitung keliling puli pada poros roda dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling} &= 2\pi r \\
 &= 2 \times 3,14 \times 10 \\
 &= 62,8 \text{ cm} \\
 &= 0,628 \text{ m}
 \end{aligned}$$

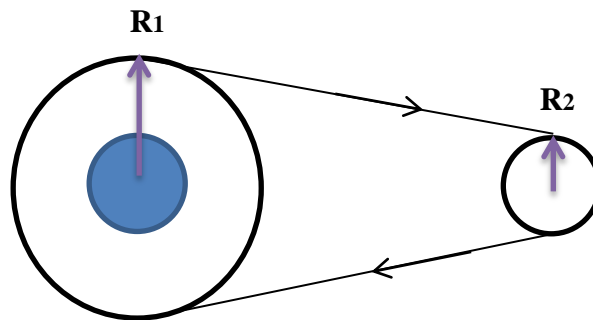
Sepeda yang digunakan dalam penelitian ini hanya memiliki satu percepatan sehingga dibutuhkan energi yang cukup besar untuk mengayuh sepeda ini. Gambar 4.1 menunjukkan sepeda yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4.1. Desain Sepeda Hybrid

Puli pada poros roda dihubungkan pada poros generator dengan sebuah sabuk (*belt*). Berdasarkan hukum fisika pada gerak melingkar, pada roda-roda yang dihubungkan dengan rantai atau sabuk berlaku dua hal. Pertama, arah putar kedua roda sama. Kedua, kelajuan linier kedua roda sama. Persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan sabuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 v_1 &= v_2 \\
 \omega_1 \times R_1 &= \omega_2 \times R_2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2. Hubungan Puli Roda dengan Puli Generator

Pada penelitian ini, generator yang digunakan memiliki puli dengan jari-jari berukuran 2,5 cm. Sedangkan sepeda yang digunakan memiliki puli dengan jari-jari 10 cm. Dari data tersebut, dapat dihitung perbandingan kecepatan sudut antara roda sepeda dengan generator sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 v_1 &= v_2 \\
 \omega_1 \times R_1 &= \omega_2 \times R_2 \\
 \omega_1 \times 10 &= \omega_2 \times 2,5 \\
 \omega_1 / \omega_2 &= 2,5 / 10 \\
 \omega_1 / \omega_2 &= 1/4
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan hasil bahwa kecepatan sudut generator empat kali lebih besar daripada kecepatan sudut roda sepeda.

## 4.2. Pengolahan Data Percobaan Pembangkit Listrik Sepeda Hybrid Berbasis Tebaga Pedal dan Tenaga Surya

### 4.2.1. Pengujian Modul Sel Surya

Modul sel surya yang digunakan mempunyai daya keluaran sebesar 50 watt untuk irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup>. Modul sel surya yang digunakan berjumlah dua buah yang tersusun secara paralel, masing-masing modul sel surya memiliki spesifikasi Voc sebesar 21,6 V dan Isc sebesar 3,23 A. Dengan menggunakan Persamaan 2.1 dari Sub-Subbab 2.2.6, nilai tegangan keluaran dan daya modul sel surya adalah:

$$N_{\text{series}} = V_{\text{out}}/0,9.V_{\text{oc}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= N_{\text{series}} \times 0,9 \times V_{\text{oc}} \\ &= 1 \times 0,9 \times 21,6 \\ &= 19,44 \text{ V} \end{aligned}$$

Dimana:

$N_{\text{series}}$  = Jumlah modul surya yang tersusun seri

$V_{\text{out}}$  = Tegangan keluaran modul surya

$V_{\text{oc}}$  = *Voltage open circuit* (tegangan hubung terbuka) artinya tegangan tanpa beban

Hal ini berarti satu buah modul sel surya mempunyai tegangan keluaran sebesar 19,44 volt.

$$N_{\text{paralel}} = P_{\text{out}}/V_{\text{out}}(0,9.I_{\text{sc}})$$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= N_{\text{paralel}} \times V_{\text{out}} (0,9.I_{\text{sc}}) \\ &= 2 \times 19,44 (0,9 \times 3,23) \\ &= 113,024 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dimana:

$N_{\text{paralel}}$  = Jumlah modul surya yang tersusun paralel

$P_{\text{out}}$  = Daya keluaran modul surya

$V_{\text{out}}$  = Tegangan keluaran modul surya

$I_{\text{sc}}$  = *Current short circuit* (arus hubung singkat)

Hal ini berarti dua buah modul sel surya yang disusun secara paralel dapat menghasilkan daya sebesar 113,024 watt

#### 4.2.1.1. Efisiensi modul sel surya yang digunakan

Modul sel surya yang digunakan mempunyai daya keluaran sebesar 113,024 watt untuk irradiansi  $1000 \text{ watt/m}^2$ . Luas modul sel surya yang digunakan adalah  $0,992 \text{ m}^2$ . Hal ini berarti nilai daya masukan untuk modul sel surya adalah:

$$P_{\text{masukan}} = 0,992 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ watt/m}^2 = 992 \text{ watt}$$

Nilai efisiensi modul sel surya yaitu:

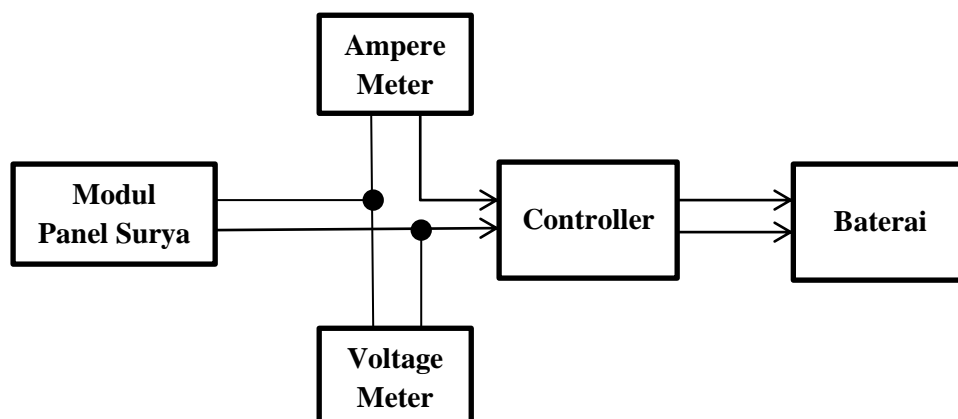
$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{113,024}{992} \times 100\% \\ &= 11,39 \%\end{aligned}$$

Maka diperoleh nilai efisiensi modul sel surya yang digunakan adalah 11,39 %.

#### 4.2.1.2. Pengolahan data modul sel surya

- 1) Besar pengukuran tegangan dan arus pada pukul 08:45 masing-masing sebesar 12,35 volt dan 0,84 ampere. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 10,37 watt.
- 2) Besar pengukuran tegangan dan arus pada pukul 09:00 masing-masing sebesar 12,54 volt dan 1,14 ampere. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 14,30 watt.

Tabel 4.1 menunjukkan pengolahan data hasil uji coba panel surya pada tanggal 24 Mei 2016 tepatnya pukul 08:45 hingga pukul 14:45 atau selama 6 jam.

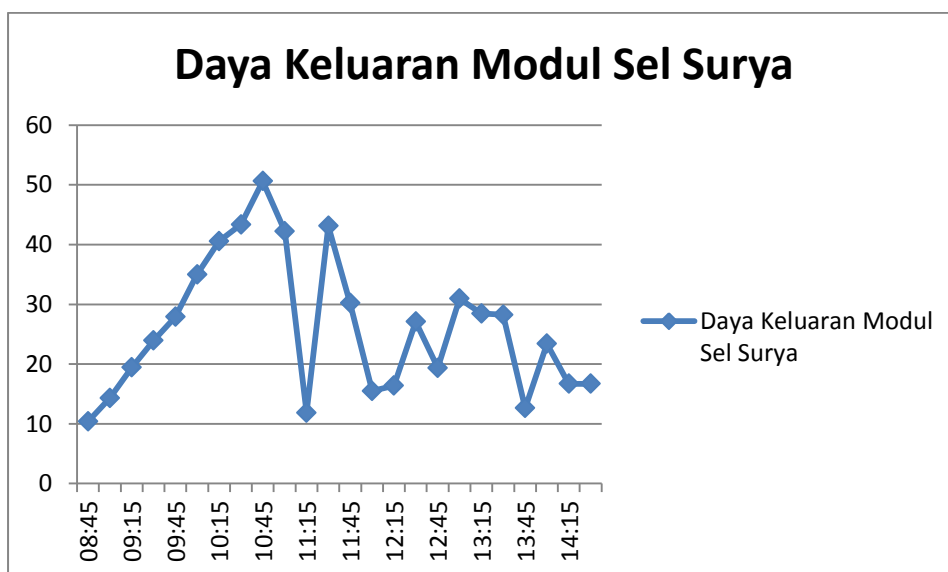


Gambar 4.3. Skema Rangkaian Percobaan Modul Surya

Tabel 4.1. Daya Keluaran Panel Surya

No.	Waktu	Tegangan ke SCC (volt)	Arus ke SCC (ampere)	Daya Keluaran Modul Surya (watt)
1	08:45	12.35	0.84	10.37
2	09:00	12.54	1.14	14.30
3	09:15	12.79	1.52	19.44
4	09:30	13.00	1.84	23.92
5	09:45	13.22	2.11	27.89
6	10:00	13.51	2.59	34.99
7	10:15	13.80	2.94	40.57
8	10:30	13.85	3.13	43.35
9	10:45	14.30	3.54	50.62
10	11:00	13.41	3.15	42.24
11	11:15	13.17	0.90	11.85
12	11:30	16.33	2.64	43.11
13	11:45	13.79	2.19	30.20
14	12:00	13.47	1.15	15.50
15	12:15	13.54	1.21	16.39
16	12:30	13.75	1.97	27.09
17	12:45	13.72	1.41	19.35
18	13:00	18.53	1.67	30.95
19	13:15	18.35	1.55	28.45
20	13:30	18.22	1.55	28.24
21	13:45	13.74	0.92	12.64
22	14:00	14.10	1.18	16.64
23	14:15	19.50	1.20	23.40
24	14:30	19.41	0.86	16.70
25	14:45	19.18	0.87	16.69
<b>Rata-rata</b>		<b>14.86</b>	<b>1.76</b>	<b>25.80</b>

Tabel 4.1 diatas merupakan tabel hasil pengujian dua buah modul sel surya yang dihubungkan secara paralel. Pengujian dilakukan pada pukul 08:45 hingga 14:45 pada tanggal 24 Mei 2016. Terlihat bahwa daya terbesar yang dihasilkan sebesar 50,62 watt pada pukul 10:45. Ketidakstabilan daya yang dihasilkan disebabkan beberapa faktor diantara intensitas matahari, keadaan lokasi ujicoba, serta penyebab lainnya.



Grafik 4.1. Daya Keluaran Modul Sel Surya

Dari data yang telah diketahui bahwa rata-rata radiasi yang terjadi pada bulan mei 2016 sebesar  $788,3 \text{ W/m}^2$ . Hal ini berarti untuk luas  $1 \text{ m}^2$  diperoleh daya sebesar  $788,3 \text{ watt}$ . Luas dua buah modul sel surya yang digunakan adalah  $1,24 \text{ m} \times 0,80 \text{ m}$  atau  $0,992 \text{ m}^2$ .

Untuk radiasi  $788,3 \text{ W/m}^2$ , modul sel surya dapat menyerap daya sebesar:

$$P_{\text{masuk}} = 0,992 \text{ m}^2 \times 788,3 \text{ W/m}^2 = 781,99 \text{ watt}$$

Untuk efisiensi modul sel surya sebesar 11,39% maka daya keluaran modul sel surya adalah:

$$\begin{aligned} P_{\text{keluaran}} &= 11,39\% \times 781,99 \text{ watt} \\ &= 88,83 \text{ watt} \end{aligned}$$

Hal ini berarti rata-rata daya yang dapat dihasilkan oleh dua modul sel surya bulan Mei 2016 sebesar 88,83 watt.

Energi total yang dapat dihasilkan pada percobaan modul sel surya pada tanggal 24 Mei 2016 adalah sebesar:

$$\begin{aligned} E &= \bar{P} \times t \\ &= 25,8 \text{ watt} \times 6 \text{ h} \\ &= 154,8 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Dimana:

$E$  = Energi listrik yang dihasilkan (Wh)

$\bar{P}$  = Daya rata-rata yang dihasilkan (watt)

$t$  = lama waktu percobaan (*hour*)

Hal ini berarti total energi listrik yang dihasilkan oleh modul sel surya perhari sebesar 154,8 Wh, atau total energi listrik yang dihasilkan perbulan sebesar 4,64 kWh.

Daya yang dapat diserap oleh modul panel surya cukup besar namun tingkat efisiensi modul sel surya yang hanya 11,39% menyebabkan daya keluaran modul sel surya tergolong rendah.



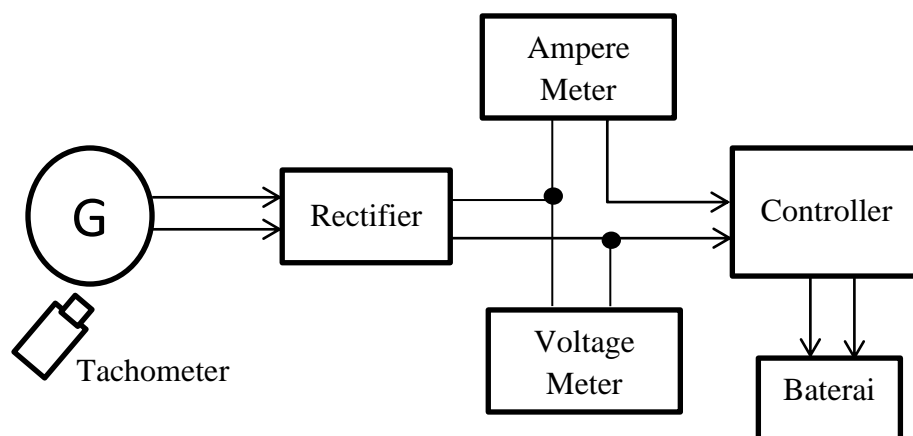
Gambar 4.4. Uji Coba Modul Panel Surya



#### 4.2.2. Pengujian Generator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan generator saat melakukan pengisian ke akumulator. Pada pengujian ini, generator langsung dihubungkan dengan puli pada roda sepeda melalui sebuah sabuk (*belt*). Kemudian sepeda dikayuh dengan kecepatan tertentu sehingga menyebabkan puli generator ikut berputar. Kecepatan putar alternator dijaga agar mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk mengisi baterai. Hal ini dilakukan dengan cara melihat tegangan listrik baterai yang terukur di voltmeter. Besar tegangan listrik minimal yang dibutuhkan agar baterai dapat diisi adalah 12 volt. Pengujian ini dilakukan selama 30 menit.

Data yang diperoleh pada pengujian ini adalah kecepatan putar generator, tegangan listrik, dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Gambar 4.5. Skema Rangkaian Percobaan Generator

Langkah pengujian generator yang dilakukan selama 30 menit:

1. Memasang rangkaian seperti pada pada rangkaian pengujian Gambar 4.5.
2. Memutar generator dengan cara mengayuh pedal sepeda.
3. Mencatat kecepatan putaran generator yang terukur di tachometer.
4. Mencatat tegangan listrik yang terukur di voltmeter.

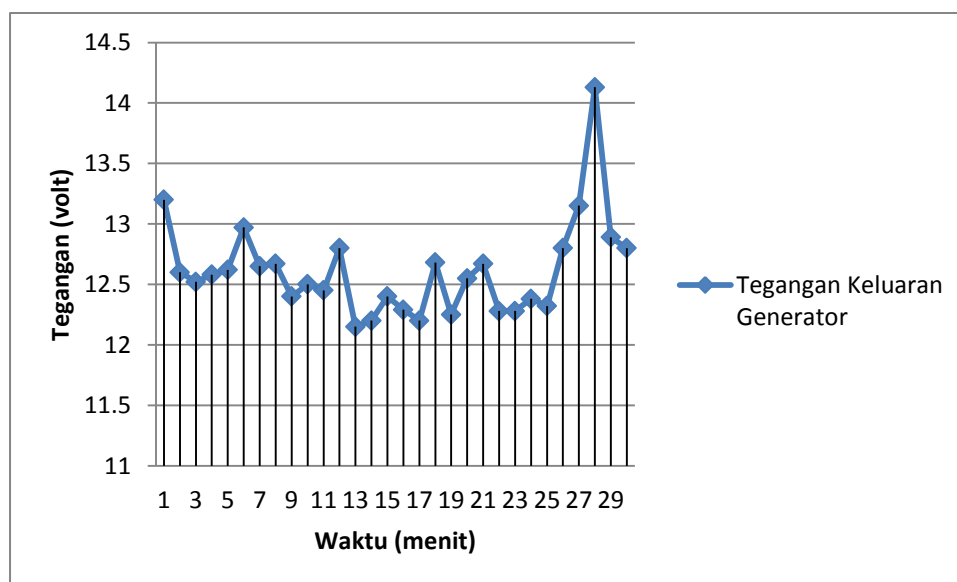
5. Mencatat arus listrik yang terukur di amperemeter.
6. Pengujian dilakukan selama 30 menit.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Generator selama 30 menit

No.	Menit ke (menit)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Kecepatan putar generator (rpm)
1	1	13.20	1.8	985
2	2	12.60	1.1	926
3	3	12.52	0.9	916
4	4	12.58	1.0	920
5	5	12.62	1.4	968
6	6	12.97	0.8	910
7	7	12.65	0.6	895
8	8	12.67	0.6	898
9	9	12.40	1.1	923
10	10	12.50	1.4	930
11	11	12.45	1.0	920
12	12	12.80	1.1	925
13	13	12.15	0.5	890
14	14	12.20	0.9	912
15	15	12.40	1.1	923
16	16	12.29	2.3	975
17	17	12.20	2.0	970
18	18	12.68	2.5	983
19	19	12.25	2.2	965
20	20	12.55	2.4	980
21	21	12.67	1.3	936
22	22	12.28	1.2	928
23	23	12.28	1.2	925
24	24	12.38	1.6	945

No.	Menit ke (menit)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Kecepatan putar generator (rpm)
25	25	12.32	1.5	940
26	26	12.80	0.7	898
27	27	13.15	1.3	938
28	28	14.13	2.1	980
29	29	12.89	1.8	964
30	30	12.80	1.0	922
<b>Rata-rata</b>		<b>12.61</b>	<b>1.35</b>	<b>936</b>

Dari table 4.2, didapatkan hasil bahwa tegangan listrik maksimum yang dihasilkan adalah 14,13 volt dan tegangan listrik minimum yang dihasilkan adalah 12 volt. Sedangkan tegangan listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 12,61 volt. Grafik 4.2 menunjukkan tegangan listrik yang dihasilkan selama 30 menit pengujian.

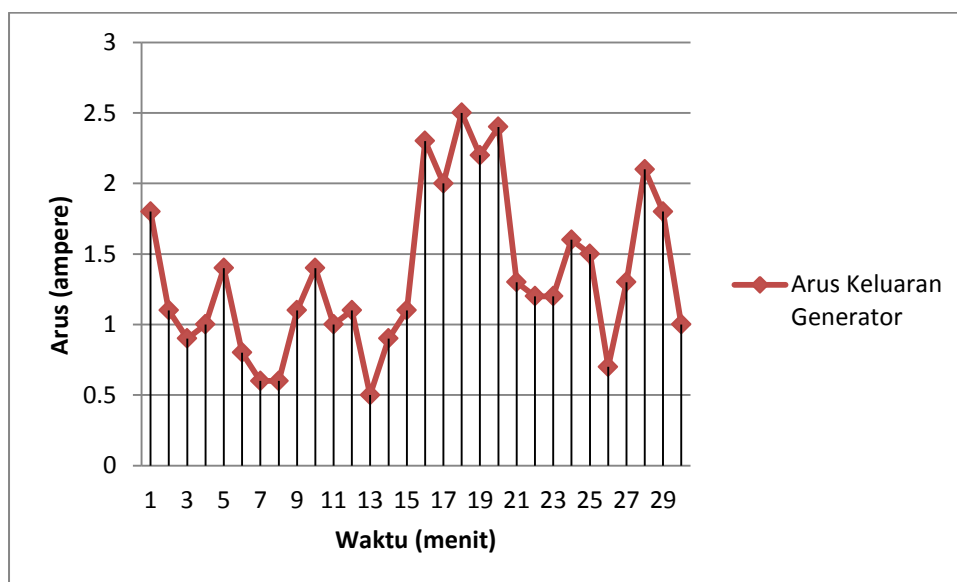


Grafik 4.2. Tegangan Keluaran Generator selama 30 menit

Dari grafik diatas, terlihat bahwa tegangan listrik yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dijaga konstan antara 12 volt sampai dengan 14 volt.

Hal ini dilakukan agar terjadi aliran arus listrik dari generator ke baterai karena tegangan listrik generator lebih tinggi daripada tegangan listrik baterai.

Tabel 4.2 juga memperlihatkan arus listrik yang dihasilkan oleh generator untuk mengisi baterai. Arus listrik maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh generator adalah 2,5 ampere dan 0,5 ampere. Sedangkan arus listrik rata-rata yang dihasilkan oleh generator adalah 1,35 ampere. Grafik 4.3 menunjukkan arus listrik yang dihasilkan oleh generator selama 30 menit pengujian.

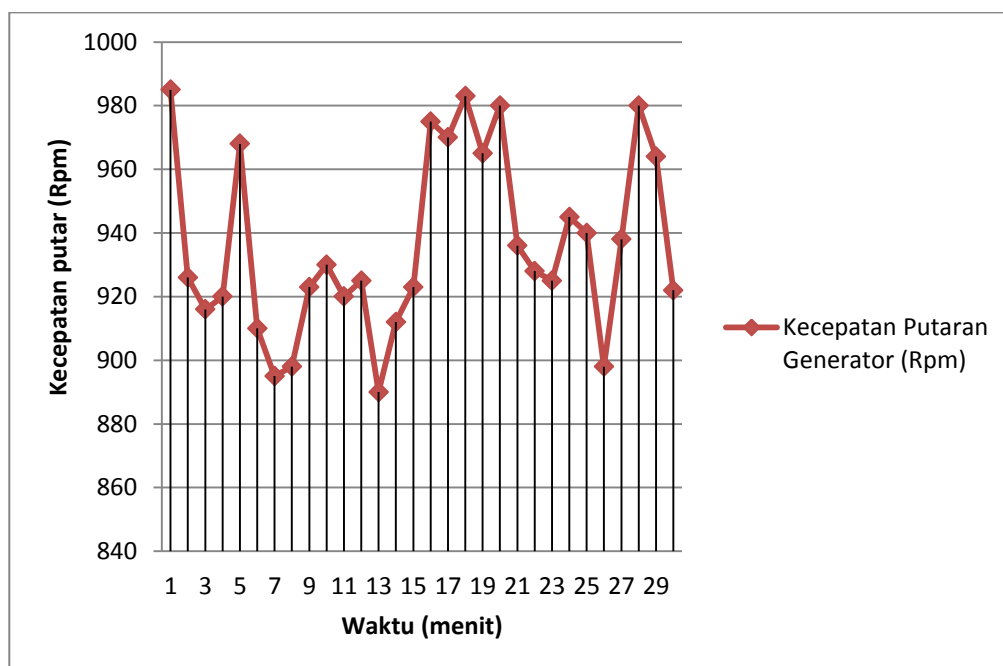


Grafik 4.3. Arus Keluaran Generator selama 30 menit

Grafik 4.3 menunjukkan bahwa nilai arus listrik pengisian baterai berubah-ubah. Namun, besar arus pengisian sudah cukup untuk mengisi baterai karena terjadi aliran arus listrik dari generator ke baterai. Hal ini ditandai dengan arus listrik yang bernilai positif. Aliran arus listrik dari generator ke baterai terjadi karena tegangan listrik generator dijaga sedikit lebih tinggi daripada tegangan listrik baterai.

Selain tegangan dan arus listrik, table 4.2 juga memperlihatkan data kecepatan putar generator selama 30 menit. Kecepatan putar maksimum dan

minimum generator yang dihasilkan adalah 985 rpm dan 890 rpm. Sedangkan kecepatan putar rata-rata yang dihasilkan oleh generator adalah 936 rpm. Grafik 4.4 memperlihatkan grafik kecepatan putar generator selama 30 menit pengujian.



Grafik 4.4. Kecepatan Putaran Generator selama 30 menit

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa nilai kecepatan putar generator cenderung tidak stabil. Namun, hal ini tidak mempengaruhi selama pengisian baterai karena tegangan listrik generator tetap dijaga besarnya sedikit lebih tinggi daripada tegangan listrik baterai 12 volt. Ini dilakukan agar terjadi aliran arus listrik dari generator ke baterai sehingga pengisian baterai dapat berlangsung.

Pada pengujian ini, tegangan listrik awal baterai sebelum dilakukan pengisian adalah 11,2 volt. Sedangkan, tegangan listrik baterai setelah 30 menit pengisian adalah 12,2 volt. Hal ini berarti tegangan listrik baterai bertambah 1 volt dalam 30 menit.

Adapun daya listrik maksimum yang dihasilkan oleh generator selama pengujian sebesar 28,53 watt dan daya minimum yang dihasilkan generator

sebesar 6,83 watt. Sedangkan besar potensi daya listrik rata-rata yang dihasilkan pada pengujian tersebut dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\bar{P} &= \bar{V} \times \bar{I} \times \text{Cos phi} \\ &= 12,61 \times 1,35 \times 0,9 \\ &= 15,32 \text{ watt}\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\bar{P} &= \text{Daya rata-rata (watt)} \\ \bar{V} &= \text{Tegangan rata-rata (volt)} \\ \bar{I} &= \text{Arus rata-rata (ampere)} \\ \text{Cos phi generator} &= 0,9\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh daya listrik rata-rata yang dihasilkan generator selama 30 menit sebesar 15,32 watt.

Besar energi listrik yang dihasilkan selama 30 menit mengisi baterai dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}E &= \bar{P} \times t \\ &= 15,32 \text{ watt} \times 0,5 \text{ jam} \\ &= 7,66 \text{ Wh}\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}E &= \text{Energi listrik yang dihasilkan (Wh)} \\ \bar{P} &= \text{Daya rata-rata yang dihasilkan (watt)} \\ t &= \text{lama waktu percobaan (hour)}\end{aligned}$$

Dengan hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa energi listrik yang dihasilkan generator selama 30 menit pengisian baterai adalah sebesar 7,66 Wh. Sedangkan jika asumsi pengujian dilakukan selama 6 jam total energi yang dihasilkan sebesar 91,92 Wh atau total energi yang dihasilkan perbulan sebesar 2,76 kWh.