

# PERANCANGAN GENERATOR PUTARAN RENDAH MAGNET PERMANEN JENIS FE FLUKS AKSIAL

Arif Nurhadi<sup>1</sup>  
Ir. Tejo Sukmadi, MT.<sup>2</sup>  
Karnoto, ST.MT.<sup>2</sup>

## ABSTRACT

Energy crisis derived from fossil fuels also affected the field of electric power. This makes many people look for alternative energy sources. Among them is the utilization of wind power and water. Wind and water potential in Indonesia is quite large, especially in rural areas that had not even electricity. That potential energy can be harnessed for power generation, so can answer the challenge of electrical energy crisis.

In this final project designed a generator can be coupled with a windmill or water, with a low speed. The generator uses a permanent magnet so it does not require initial excitation in generating a voltage. The designs of generator are axial flux type, uses ceramic type permanent magnet (Fe), uses two flanking rotor stator. For the use of electricity, AC voltage transform into DC voltage using a rectifier for charging accumulators.

Based on the results of testing, on 100 rpm to 700 rpm the generator produces AC voltage 2.7 V to 33.33 V. The faster the rotation, the greater the voltage generated. In charging the accumulator, three-phase generator star-circuit system produces 12.63 Vdc, 0.68 A at 300 rpm. At 500 rpm three-phase star-circuit system produces 13.73 Vdc, 2.9 A, and three-phase delta-circuit systems produces 12.9 Vdc, 1.1 A.

Keywords: energy, low speed generator, permanent magnet, axial flux, rectifier

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang pesat mendorong penggunaan energi dalam jumlah yang besar. Hal ini mengakibatkan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil tersebut juga mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Permasalahan ini juga berdampak pada bidang energi listrik. Untuk itu diperlukan energi alternatif sebagai penghasil energi listrik. Diantaranya adalah pemanfaatan energi air dan angin, dimana dua sumber energi ini ramah lingkungan, dan bisa diperbaharui. Dari kedua sumber energi tersebut membutuhkan perangkat generator berjenis putaran rendah, tanpa eksitasi, untuk menghasilkan listrik

Pada penelitian sebelumnya untuk pengisian akumulator 12 volt generator pada putaran 375 rpm menghasilkan arus 0.11 A dan tegangan 11.45 volt. Pada Tugas Akhir ini dirancang sebuah generator putaran rendah, dengan desain generator berupa generator 3 fasa tipe aksial dengan menggunakan magnet permanen jenis Fe. Hasil keluaran generator pada putaran disearahkan untuk dapat digunakan mengisi akumulator 12 volt.

### 1.2 Tujuan

Tujuan Tugas Akhir adalah ini berupa perancangan dan pembuatan generator putaran rendah magnet permanen, serta mengamati karakteristik generator.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini, pembahasan dibatasi pada

batasan-batasan berikut ini :

1. Pengujian menggunakan motor DC sebagai penggerak mula.
2. Pada pengujian, kecepatan putar generator mulai 100 sampai dengan 700 rpm, dengan kenaikan tiap 100 rpm.
3. Pengujian berbeban menggunakan beban resistif lampu pijar.
4. Penyearah menggunakan penyearah 3 fasa tak terkontrol tipe jembatan penuh.
5. Pengujian pengisian akumulator, menggunakan akumulator 12 volt 60 ah.
6. Rugi-rugi tidak diperhitungkan.
7. Efisiensi generator tidak diperhitungkan.

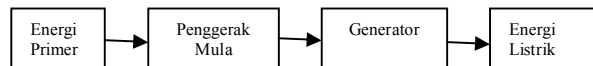
## II. DASAR TEORI

### 2.1 Energi Listrik

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Salah satu bentuk energi adalah energi listrik. Energi listrik adalah energi yang berkaitan dengan akumulasi arus elektron, dinyatakan dalam Watt-jam.

#### 2.1.1 Konversi Energi Listrik

Prinsip umum proses konversi energi listrik dapat ditunjukkan oleh gambar berikut ini.



Gambar 2.1 Skema konversi energi listrik

#### 2.1.2 Hukum Induksi Faraday

Hukum induksi Faraday menyatakan bahwa apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka garis gaya listrik diinduksikan dalam kumparan itu. Besarnya garis gaya listrik yang

<sup>1</sup>Mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

diinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya yang melalui kumparan

$$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

dimana:

- E = tegangan induksi (v)
- N = jumlah lilitan
- $\Delta\phi$  = perubahan fluks (Wb)
- $\Delta t$  = waktu (s)

## 2.2 Generator

Generator merupakan salah satu mesin listrik, yang mengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri atas dua bagian utama yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan yang ditempatkan pada stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam/ tetap, dan rotor adalah bagian yang berputar pada mesin

Hubungan antara kecepatan putar dan frekuensi generator dapat dirumuskan pada persamaan berikut ini:

$$n = \frac{120 f}{p}$$

dimana:

- n = putaran (rpm)
- f = frekuensi (Hz)
- p = jumlah kutub

Tegangan rms yang dibangkitkan generator adalah:

$$\begin{aligned} E_{rms} &= \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot N \cdot f \cdot \phi_{max} \cdot \frac{N_s}{N_{ph}} \\ &= 4.44 \cdot N \cdot f \cdot \phi_{max} \cdot \frac{N_s}{N_{ph}} \end{aligned}$$

Keterangan :

- $E_{rms}$  : Tegangan induksi (volt)
- N : Jumlah lilitan per kumparan
- f : Frekuensi (Hz)
- $\phi_{max}$  : Fluks magnet (Wb)
- $N_s$  : Jumlah kumparan
- $N_{ph}$  : Jumlah fasa

## 2.3 Mesin Fluks Aksial

Mesin fluks aksial merupakan salah satu tipe alternatif selain mesin silinder fluks radial. Mesin jenis ini memiliki konstruksi yang kompak, berbentuk piringan, dan kerapatan daya yang besar. Pada mesin listrik berjenis fluks aksial digunakan magnet permanen. Penggunaan magnet permanen pada mesin listrik ini dapat menghasilkan medan magnet pada celah udara tanpa perlu eksitasi, dan tanpa disipasi daya listrik.

Magnet permanen yang digunakan secara umum antara lain:

1. Alnico (Al, Ni, Co, Fe);
2. Keramik / Besi (*ferrites*), seperti *barium ferrite*  $BaOx6Fe_2O_3$  dan *strontium ferrite*  $SrOx6Fe_2O_3$

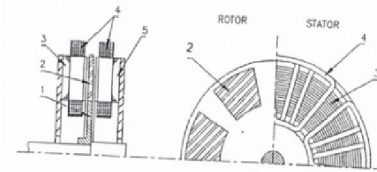
3. Material *rare-earth*, seperti *samarium-cobalt* SmCo dan *neodymium-iron-boron* NdFeB

Kelebihan penggunaan magnet permanen pada konstruksi mesin listrik ini adalah:

1. Tidak ada energi listrik yang diserap sistem medan eksitasi sehingga tidak ada kerugian eksitasi yang artinya dapat meningkatkan efisiensi
2. Menghasilkan torsi yang lebih besar daripada yang menggunakan eksitasi elektromagnet
3. Menghasilkan performa dinamis yang lebih besar (kerapatan fluks magnet lebih besar pada celah udara) daripada yang menggunakan eksitasi
4. Menyederhanakan konstruksi dan perawatan
5. Mengurangi biaya pemeliharaan pada beberapa tipe mesin

Pada mesin fluks aksial ini ada beberapa jenis desain, antara lain:

1. Mesin sisi ganda rotor tunggal
2. Mesin sisi ganda stator tunggal
3. Mesin tunggal
4. Mesin sisi ganda tanpa besi
5. Mesin sisi banyak

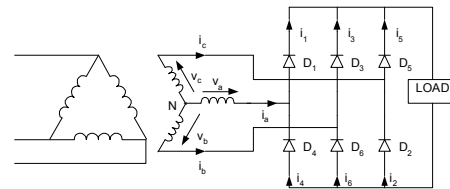


Configuration of axial flux double-sided PM brushless motor with internal disk rotor: 1 — rotor, 2 — PM, 3 — stator core, 4 — stator winding.

Gambar 2.2 Konstruksi mesin aksial

## 2.4 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa

Di dalam penyearah sistem jembatan 3 fasa, terdapat dua dioda yang konduksi secara bersamaan dalam interval waktu  $60^\circ$  dan masing-masing dioda akan konduksi selama  $120^\circ$ . Oleh karena itu akan diperoleh tegangan output yang lebih rata, sedang frekuensi *ripple*-nya menjadi enam kali dari frekuensi input.



Gambar 2.3 Penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol

Tegangan output rata-rata :

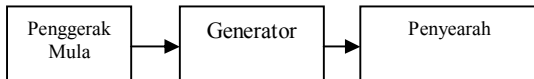
$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} V_m \cos \omega t d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = 1,6542 V_m.$$

### III PERANCANGAN ALAT

#### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

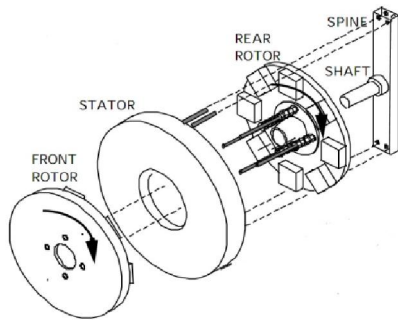
Secara umum perancangan tugas akhir ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu generator dan penyearah. Generator berfungsi mengubah energi mekanik baik dari turbin angin maupun air menjadi energi listrik, tegangan yang dihasilkan berupa tegangan AC 3 fasa. Karena energi angin dan air bersifat fluktuatif dan tidak terlalu besar maka dibuat penyearah untuk mengubah tegangan AC menjadi DC yang digunakan untuk mengisi akumulator. Penyearah yang dibuat adalah penyearah 3 fasa tak terkontrol tipe jembatan penuh. Blok diagram ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Blok diagram alat

#### 3.2 Generator

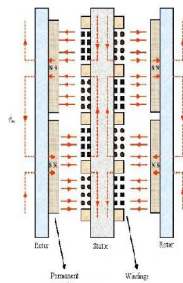
Generator terdiri dari dua bagian utama yaitu rotor dan stator. Pada pembuatan tugas ini dilakukan perancangan masing-masing bagian generator. Kemudian masing-masing bagian generator dirakit dan disatukan melalui poros dan rangka.



Gambar 3.2 Skema rancangan generator

Pada generator ini rotor berfungsi sebagai kumparan medan untuk menghasilkan fluks. Digunakan dua buah rotor mengapit stator untuk menghasilkan fluks magnet.

Sedangkan stator berfungsi sebagai kumparan jangkar yang menghasilkan tegangan keluaran generator.



Gambar 3.3 Konsep Generator

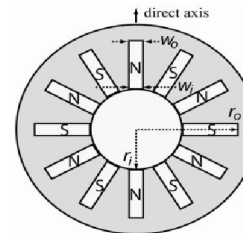
#### 3.2.1 Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar pada generator. Pada perancangan ini menggunakan dua buah rotor yang terhubung oleh suatu poros.



Gambar 3.4 Rangka poros rotor

Rotor berfungsi sebagai kumparan medan, dan untuk menghasilkan medan magnetik digunakan magnet permanen. Magnet permanen yang digunakan adalah magnet batang berjenis keramik (Fe). Jumlah magnet yang digunakan 12 buah untuk tiap rotor.



Gambar 3.5 Komposisi magnet

Magnet yang digunakan adalah *grade Y40*, yang memiliki data spesifikasi teknis sebagai berikut:

- *Residual Induction* (Br) 450~460 mT  
4.5~4.6 kGs
- *Coercive Force* (Hcb) 330~354 kA/m  
4.15~4.45 kOe
- *Intrinsic Coercive Force* (Hcj) 340~360 kA/m  
4.27~4.52 kOe
- *Max. Energy Product* (BHmax) 37.6~41.8 kJ/m<sup>3</sup>  
4.7~5.25 MGOe

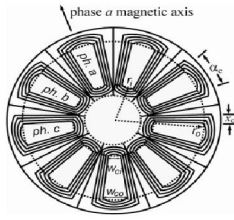
#### 3.2.2 Stator

Stator merupakan bagian yang tetap pada generator. Pada tugas akhir ini stator berfungsi sebagai kumparan jangkar yang menghasilkan tegangan keluaran generator. Stator terdiri dari kumparan lilitan tembaga. Kawat tembaga yang digunakan berdiameter 1 mm. Kawat digulung membentuk kumparan lingkaran dengan jumlah lilitan adalah 125 tiap kumparan.



Gambar 3.6 Lilitan kawat tembaga

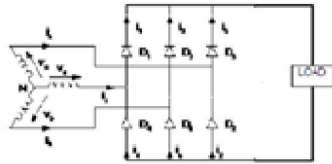
Pada stator digunakan 9 buah kumparan yang disusun secara simetris seperti ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.7 Kumparan stator tiga fasa

### 3.3 Penyearah

Penyearah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah rangkaian penyearah 3 fasa tak terkontrol jembatan penuh.



Gambar 3.8 Rangkaian penyearah

## IV. PENGUJIAN & ANALISIS

### 4.1. Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Pengukuran

Dari generator yang dibuat diperoleh data spesifikasi teknis seperti ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data spesifikasi generator

| Parameter              | Lambang  | Nilai   |
|------------------------|----------|---------|
| Kerapatan fluks magnet | $B_r$    | 450 mT  |
| Dimensi magnet         | $p$      | 6 cm    |
|                        | $l$      | 2.5 cm  |
|                        | $t$      | 1.2 cm  |
| Jumlah magnet          | $N_m$    | 12      |
| Radius dalam magnet    | $r_i$    | 5.5 cm  |
| Radius luar magnet     | $r_o$    | 11.5 cm |
| Jarak antar magnet     | $\tau_f$ | 3.5 cm  |
| Celah udara            | $\delta$ | 2 mm    |
| Jumlah kumparan        | $N_s$    | 9       |
| Jumlah fasa            | $N_{ph}$ | 3       |
| Jumlah lilitan         | $N$      | 125     |

Nilai kerapatan fluks magnet maksimum ( $B_{max}$ ) :

$$B_{max} = B_r \cdot \frac{lm}{lm + \delta}$$

$$= 0.450 \cdot \frac{0.012}{0.012 + 0.002}$$

$$= 0.38 \text{ T}$$

Luasan magnet sebagai berikut:

$$A_{magn} = \frac{\pi (r_o^2 - r_i^2) - \tau_f (r_o - r_i) N_m}{N}$$

$$= \frac{3.14(0.115^2 - 0.055^2) - 0.035(0.115 - 0.055)12}{12}$$

$$= 5.69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Fluks maksimum yang dihasilkan adalah:

$$\Phi_{max} = A_{magn} \cdot B_{max}$$

$$= 5.69 \cdot 10^{-4} \cdot 0.38$$

$$= 2.1622 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Generator didesain untuk bekerja dalam frekuensi 50 Hz, dengan jumlah kutub 12 buah maka diperoleh putaran sebagai berikut:

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$= \frac{120 \cdot 50}{12}$$

$$= 500 \text{ rpm}$$

Tegangan induksi yang dihasilkan generator dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$E_{rms} = 4.44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_{max} \cdot \frac{Ns}{Nph}$$

$$= 4.44 \cdot 125 \cdot 50 \cdot 2.1622 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{9}{3}$$

$$= 18.000315 \text{ volt}$$

Dari hasil pengujian generator dengan sistem 1 fasa yang dikopel dengan motor DC sebagai penggerak mula, didapat hasil keluaran tegangan generator pada putaran 500 rpm adalah 13.61 volt.

Tabel 4.2 Hasil perbandingan perhitungan dan pengukuran

| Tegangan hasil perhitungan (v) | Tegangan hasil pengukuran (v) | Presentase (%) |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 18.000315                      | 13.61                         | 75.61          |

Dari hasil tabel 4.2 di atas terdapat perbedaan antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran karena pengaruh faktor akurasi perakitan, pengukuran, kondisi tidak ideal serta rugi-rugi. Dari data tersebut juga bisa dilihat dengan putaran 500 rpm maka generator sudah mampu digunakan untuk aplikasi pengisian akumulator.

### 4.2 Pengujian Tegangan Tanpa Beban

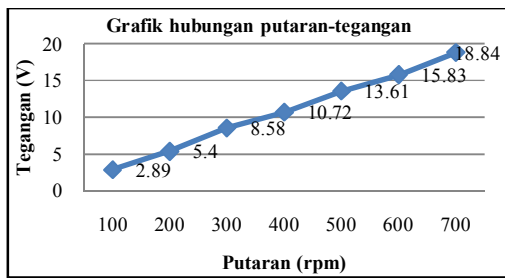
#### 4.2.1 Pengujian Satu Fasa

Pengujian dilakukan terhadap generator dengan hubungan 1 fasa. Dengan variasi putaran generator dihasilkan data tegangan keluaran fasa ke netral seperti ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data pengujian satu fasa tanpa beban

| No | Putaran generator (rpm) | Tegangan keluaran (v) |
|----|-------------------------|-----------------------|
| 1. | 100                     | 2.89                  |
| 2. | 200                     | 5.4                   |
| 3. | 300                     | 8.58                  |
| 4. | 400                     | 10.72                 |
| 5. | 500                     | 13.61                 |
| 6. | 600                     | 15.83                 |
| 7. | 700                     | 18.84                 |

Dari tabel 4.3 dapat digambarkan grafik hubungan antara putaran terhadap tegangan pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap tegangan satu fasa tanpa beban

Dari gambar 4.1 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan tegangan keluaran generator. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar tegangan generator yang dihasilkan. Pertambahan tegangan diperoleh sekitar 2 sampai 3 volt setiap penambahan putaran 100 rpm.

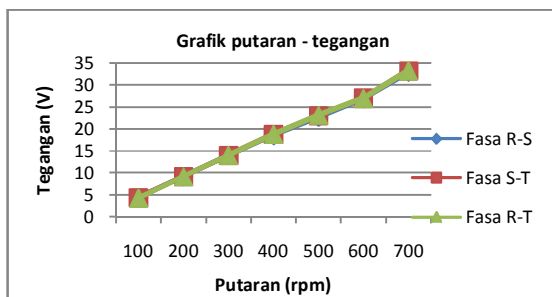
#### 4.2.2 Pengujian Tiga Fasa Hubung Bintang

Pengujian dilakukan terhadap generator 3 fasa hubung bintang. Dengan variasi putaran generator dihasilkan data tegangan keluaran fasa ke fasa seperti ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data pengujian tiga fasa hubung bintang tanpa beban

| No | Putaran (rpm) | Tegangan keluaran (v) |          |          |
|----|---------------|-----------------------|----------|----------|
|    |               | Fasa R-S              | Fasa S-T | Fasa R-T |
| 1  | 100           | 4.41                  | 4.39     | 4.27     |
| 2  | 200           | 9.16                  | 9.19     | 9.18     |
| 3  | 300           | 13.98                 | 14.01    | 14.07    |
| 4  | 400           | 18.55                 | 18.84    | 18.78    |
| 5  | 500           | 22.66                 | 23.01    | 23.22    |
| 6  | 600           | 26.91                 | 27.07    | 27.05    |
| 7  | 700           | 32.92                 | 33.31    | 33.33    |

Dari tabel 4.4 dapat digambarkan grafik hubungan antara putaran terhadap tegangan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh putaran terhadap tegangan tiga fasa hubung bintang tanpa beban.

Dari gambar 4.2 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan putaran generator maka semakin besar tegangan generator yang dihasilkan. Pertambahan tegangan diperoleh sekitar 4 volt setiap penambahan putaran 100 rpm.

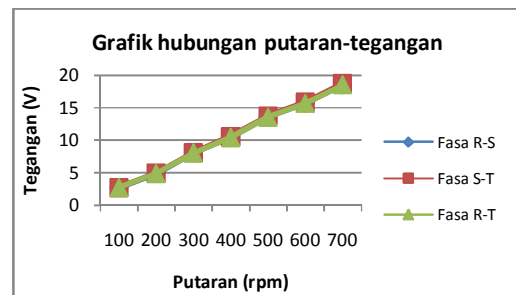
#### 4.2.3 Pengujian Tiga Fasa Hubung Delta

Pengujian dilakukan terhadap generator 3 fasa hubung delta. Dengan variasi putaran generator dihasilkan data tegangan keluaran fasa ke fasa seperti ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data pengujian tiga fasa hubung delta tanpa beban

| No | Putaran (rpm) | Tegangan keluaran (v) |          |          |
|----|---------------|-----------------------|----------|----------|
|    |               | Fasa R-S              | Fasa S-T | Fasa R-T |
| 1  | 100           | 2.7                   | 2.73     | 2.76     |
| 2  | 200           | 4.86                  | 4.98     | 4.92     |
| 3  | 300           | 8.03                  | 8.12     | 8.07     |
| 4  | 400           | 10.47                 | 10.56    | 10.43    |
| 5  | 500           | 13.61                 | 13.74    | 13.57    |
| 6  | 600           | 15.68                 | 15.87    | 15.67    |
| 7  | 700           | 18.53                 | 18.76    | 18.53    |

Dari tabel 4.5 dapat digambarkan grafik hubungan antara putaran terhadap tegangan pada gambar 4.4.



Gambar 4.3 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap tegangan tiga fasa hubung delta tanpa beban.

Dari gambar 4.3 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan tegangan keluaran generator. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar tegangan generator yang dihasilkan. Pertambahan tegangan diperoleh sekitar 2 sampai 3 volt setiap penambahan putaran 100 rpm.

#### 4.3 Pengujian Tegangan Berbeban

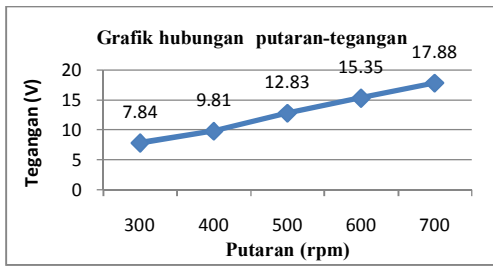
##### 4.3.1 Pengujian Satu Fasa

Pengujian dilakukan terhadap generator dengan hubungan 1 fasa. Beban yang diberikan adalah lampu pijar 60 watt 220 volt. Dengan variasi putaran generator dihasilkan data seperti ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut.

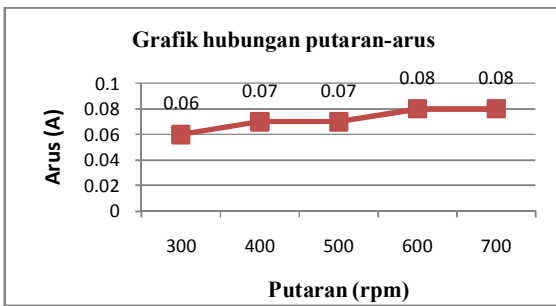
Tabel 4.6 Data pengujian satu fasa berbeban

| No | Putaran (rpm) | Tegangan (v) | Arus (A) | cosφ  |
|----|---------------|--------------|----------|-------|
| 1  | 300           | 7.84         | 0.06     | 0.995 |
| 2  | 400           | 9.81         | 0.07     | 0.996 |
| 3  | 500           | 12.83        | 0.07     | 0.998 |
| 4  | 600           | 15.35        | 0.08     | 0.997 |
| 5  | 700           | 17.88        | 0.08     | 0.999 |

Dari tabel 4.6 tersebut dapat digambarkan grafik hubungan antara putaran terhadap tegangan dan arus pada gambar 4.4 dan 4.5.

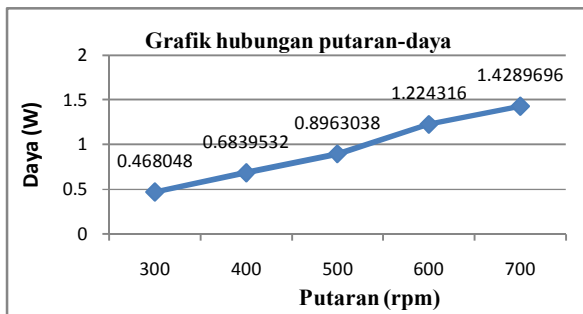


Gambar 4.4 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap tegangan satu fasa berbeban



Gambar 4.5 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap arus satu fasa berbeban

Daya yang dihasilkan generator berdasar variasi putaran generator ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap daya satu fasa berbeban

Dari gambar 4.6 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan daya. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar daya generator yang dihasilkan. Pertambahan daya diperoleh sekitar 0.2 watt setiap penambahan putaran 100 rpm.

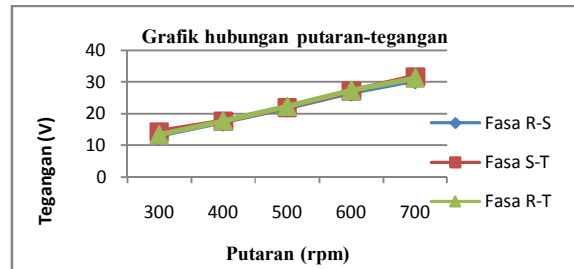
### 4.3.2 Pengujian Tiga Fasa Hubung Bintang

Pengujian dilakukan terhadap generator dengan hubungan 3 fasa hubung bintang. Beban yang diberikan adalah 3 buah lampu pijar 60 watt 220 volt. Dengan variasi putaran generator dihasilkan data seperti ditunjukkan pada tabel 4.7.

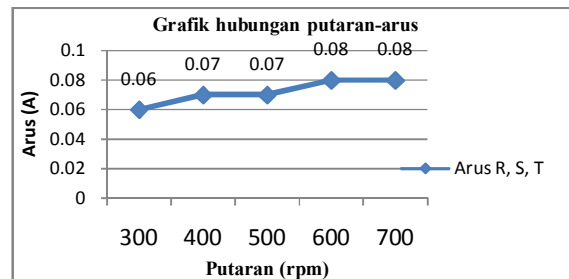
Tabel 4.7 Data pengujian tiga fasa hubung bintang berbeban

| No | Putaran (rpm) | Tegangan keluaran (v) |          |          | Arus (A) |      |      | cosφ  |       |       |
|----|---------------|-----------------------|----------|----------|----------|------|------|-------|-------|-------|
|    |               | Fasa R-S              | Fasa S-T | Fasa R-T | R        | S    | T    | R     | S     | T     |
| 1  | 300           | 13.08                 | 14.24    | 13.41    | 0.06     | 0.06 | 0.06 | 0.857 | 0.864 | 1.008 |
| 2  | 400           | 17.41                 | 17.61    | 17.84    | 0.07     | 0.07 | 0.07 | 0.855 | 0.863 | 1.01  |
| 3  | 500           | 21.86                 | 22.09    | 22.24    | 0.07     | 0.07 | 0.07 | 0.855 | 0.862 | 1.007 |
| 4  | 600           | 26.99                 | 27.25    | 27.38    | 0.08     | 0.08 | 0.08 | 0.864 | 0.86  | 1.001 |
| 5  | 700           | 30.77                 | 31.77    | 31.25    | 0.08     | 0.08 | 0.08 | 0.862 | 0.859 | 1.003 |

.Dari tabel 4.7 dapat digambarkan grafik hubungan antara putaran terhadap tegangan dan arus pada gambar 4.7 dan 4.8.

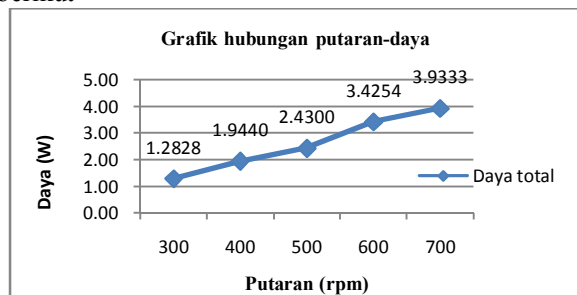


Gambar 4.7 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap tegangan tiga fasa hubung bintang berbeban



Gambar 4.8 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap arus tiga fasa hubung delta berbeban

Daya yang dihasilkan generator berdasar variasi putaran generator ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut



Gambar 4.9 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap daya tiga fasa hubung bintang berbeban

Dari gambar 4.9 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan daya. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar daya generator yang dihasilkan.

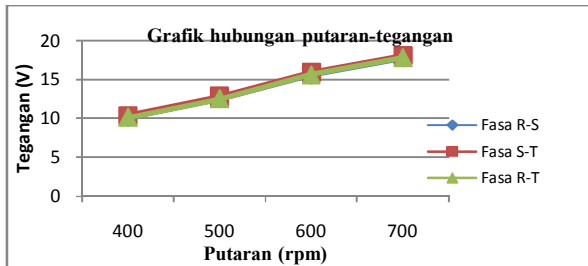
### 4.3.3 Pengujian Tiga Fasa Hubung Delta

Pengujian dilakukan terhadap generator dengan hubungan 3 fasa hubung delta. Beban yang diberikan adalah 3 buah lampu pijar 60 watt 220 volt. Dengan variasi putaran generator dihasilkan data seperti ditunjukkan pada tabel 4.8.

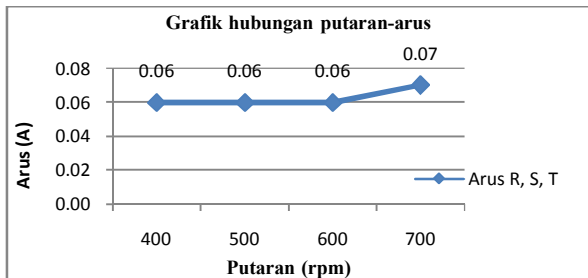
Tabel 4.8 Data pengujian tiga fasa hubung delta berbeban

| No | Putaran (rpm) | Tegangan keluaran (v) |          |          | Arus (A) |      |      | cosφ  |       |       |
|----|---------------|-----------------------|----------|----------|----------|------|------|-------|-------|-------|
|    |               | Fasa R-S              | Fasa S-T | Fasa R-T | R        | S    | T    | R     | S     | T     |
| 1  | 400           | 10.11                 | 10.38    | 10.12    | 0.06     | 0.06 | 0.06 | 0.859 | 0.851 | 1.008 |
| 2  | 500           | 12.5                  | 12.82    | 12.53    | 0.06     | 0.06 | 0.06 | 0.865 | 0.855 | 1.006 |
| 3  | 600           | 15.58                 | 15.91    | 15.62    | 0.06     | 0.06 | 0.06 | 0.857 | 0.855 | 1.007 |
| 4  | 700           | 17.77                 | 18.08    | 17.81    | 0.07     | 0.07 | 0.07 | 0.86  | 0.856 | 1.008 |

Dari tabel 4.8 dapat digambarkan grafik hubungan antara putaran terhadap tegangan dan arus pada gambar 4.10 dan 4.11.

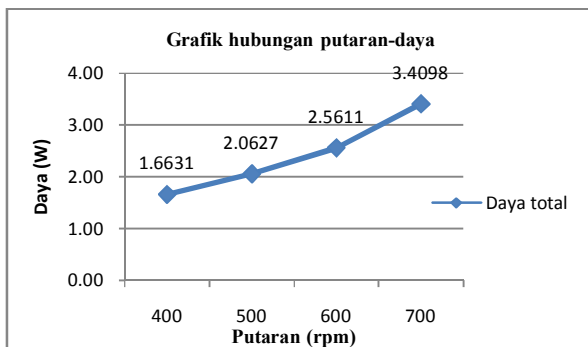


Gambar 4.10 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap tegangan tiga fasa hubung delta berbeban



Gambar 4.11 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap arus tiga fasa hubung delta berbeban

Daya yang dihasilkan generator berdasar variasi putaran generator ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik hubungan pengaruh putaran terhadap daya tiga fasa hubung bintang berbeban

Dari gambar 4.12 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan daya. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar daya generator yang dihasilkan.

#### 4.4 Perhitungan Nilai Regulasi Tegangan

Dari data pengujian generator dapat dihitung besarnya faktor regulasi tegangan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\% \text{ reg} = \frac{V \text{ no load} - V \text{ beban}}{V \text{ beban}} \times 100\%$$

Pada sistem satu fasa diperoleh nilai regulasi seperti ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai regulasi sistem satu fasa

| No | Putaran (rpm) | V no load (V) | V beban (V) | % Regulasi |
|----|---------------|---------------|-------------|------------|
| 1  | 300           | 8.58          | 7.84        | 9.438776   |
| 2  | 400           | 10.72         | 9.81        | 9.276249   |
| 3  | 500           | 13.61         | 12.83       | 6.079501   |
| 4  | 600           | 15.83         | 15.35       | 3.127036   |
| 5  | 700           | 18.84         | 17.88       | 5.369128   |

Pada sistem tiga fasa hubung bintang diperoleh nilai regulasi seperti ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Nilai regulasi sistem tiga fasa hubung bintang

| No | Putaran (rpm) | V no load (V) | V beban (V) | % Regulasi |
|----|---------------|---------------|-------------|------------|
| 1  | 300           | 8.104046      | 7.838492    | 3.387821   |
| 2  | 400           | 10.82274      | 10.17291    | 6.387791   |
| 3  | 500           | 13.2736       | 12.73827    | 4.202545   |
| 4  | 600           | 15.61272      | 15.70778    | -0.60518   |
| 5  | 700           | 19.18304      | 18.04989    | 6.277878   |

Pada sistem tiga fasa hubung delta diperoleh nilai regulasi seperti ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai regulasi sistem tiga fasa hubung delta

| No | Putaran (rpm) | V no load (V) | V beban (V) | % Regulasi |
|----|---------------|---------------|-------------|------------|
| 1  | 400           | 10.48667      | 10.20333    | 2.77687    |
| 2  | 500           | 13.64         | 12.61667    | 8.110964   |
| 3  | 600           | 15.74         | 15.70333    | 0.233496   |
| 4  | 700           | 18.60667      | 17.88667    | 4.025345   |

Dari data pada tabel 4.9 diketahui bahwa nilai regulasi untuk sistem satu fasa pada variasi kecepatan putar 300 sampai 700 rpm adalah berkisar antara 3.127% sampai 9.439%. Pada tabel 4.10 menunjukkan nilai regulasi untuk sistem tiga fasa hubung bintang pada variasi kecepatan putar 300 sampai 700 rpm adalah berkisar antara -0.60518% sampai 6.387791%. Pada tabel 4.11 menunjukkan nilai regulasi untuk sistem tiga fasa hubung bintang pada variasi kecepatan putar 400 sampai 700 rpm adalah berkisar antara 0.233496% sampai 8.110964%. Terlihat dari ketiga sistem memiliki nilai regulasi terkecil pada kecepatan putar 600 rpm.

#### 4.5 Pengujian Pengisian Akumulator

Dilakukan pengujian tegangan keluaran untuk mengisi akumulator. Pengujian dilakukan terhadap generator 3 fasa hubung bintang dan hubung delta. Tegangan keluaran generator berupa tegangan AC disearahkan menggunakan penyearah 3 fasa tak terkontrol jembatan penuh. Akumulator yang digunakan adalah 12 volt 60 Ah.

##### 4.5.1 Pengujian Penyearah 3 Fasa Tak Terkontrol Jembatan Penuh

Pengujian ini dilakukan terhadap tegangan masukan penyearah yaitu tegangan keluaran generator berupa tegangan AC dan tegangan keluaran penyearah. Secara teoritis tegangan keluaran rata-rata

penyearah 3 fasa tak terkontrol jembatan penuh adalah  $V_{dc} = 1.6542 V_m$ .

Dilakukan pengujian terhadap beberapa variasi keluaran generator tanpa beban sebagai tegangan masukan penyearah 3 fasa tak terkontrol jembatan penuh seperti ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data pengujian penyearah

| No | Vdc pengukuran (V) | Vdc perhitungan (V) | Presentase (%) |
|----|--------------------|---------------------|----------------|
| 1  | 6.73               | 9.05                | 74.43          |
| 2  | 8.76               | 11.319              | 77.39          |
| 3  | 11.23              | 14.07               | 79.79          |

Dari data tabel 4.12 diketahui nilai tegangan keluaran penyearah sesuai dengan teori yaitu lebih besar dari tegangan masukan. Namun hasil pengukuran lebih kecil daripada hasil perhitungan teoritis karena adanya rugi-rugi pada komponen penyearah. Pada pengujian presentase semakin meningkat seiring peningkatan nilai tegangan masukan.

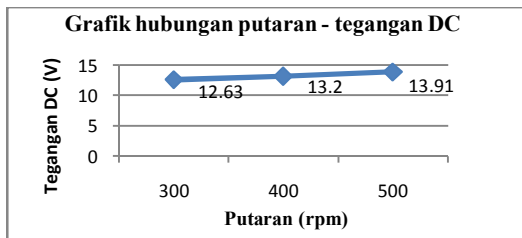
#### 4.5.2 Pengujian Tiga Fasa Hubung Bintang

Pengujian pengisian akumulator terhadap generator 3 fasa hubung bintang dilakukan dengan putaran generator 300, 400 dan 500 rpm. Hal ini berdasarkan hasil pengujian tegangan berbeban dimana pada putaran tersebut menghasilkan tegangan diatas 12 volt sehingga mampu untuk mengisi akumulator 12 volt.

Tabel 4.16 Data pengujian pengisian akumulator hubung tiga fasa bintang

| N o | Putaran (rpm) | Tegangan AC (V) | Tegangan DC (V) | Arus DC (A) | Daya DC (W) |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1   | 300           | 13.28           | 12.63           | 0.68        | 8.5884      |
| 2   | 400           | 17.1            | 13.2            | 2           | 26.4        |
| 3   | 500           | 20.08           | 13.91           | 2.9         | 40.339      |

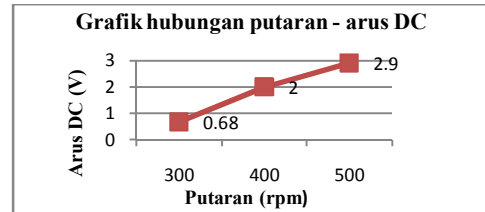
Dari tabel 4.16 menunjukkan pada putaran 300 rpm generator menghasilkan tegangan 13.28 Vac dan setelah melalui penyearah menghasilkan tegangan 12.63 Vdc. Hal ini menunjukkan bahwa dengan putaran minimal 300 rpm generator 3 fasa dengan hubung bintang mampu digunakan untuk aplikasi pengisian akumulator, dengan tegangan 12.63 Vdc dan arus 0.68 A.



Gambar 4.14 Grafik hubungan putaran-tegangan DC hubung bintang

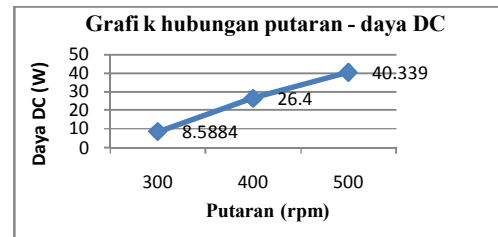
Dari gambar 4.14 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator

dengan tegangan DC. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar tegangan DC. Pertambahan tegangan diperoleh sekitar 0.6 volt setiap penambahan putaran 100 rpm.



Gambar 4.15 Grafik hubungan putaran-arus DC hubung bintang

Dari gambar 4.15 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan arus DC. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar arus DC.



Gambar 4.16 Grafik hubungan putaran-daya DC hubung bintang

Dari gambar 4.16 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan daya DC. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar daya DC.

Generator 3 fasa dengan hubung bintang ini memiliki keuntungan mampu menghasilkan tegangan yang optimal pada putaran yang rendah, cocok diaplikasikan pada tempat yang memiliki potensi energi yang tidak terlalu besar.

#### 4.5.3 Pengujian Tiga Fasa Hubung Delta

Pengujian pengisian akumulator terhadap generator 3 fasa hubung delta dilakukan dengan putaran generator 500 dan 600 rpm. Hal ini berdasarkan hasil pengujian tegangan berbeban dimana pada putaran tersebut menghasilkan tegangan diatas 12 volt sehingga mampu untuk mengisi akumulator 12 volt.

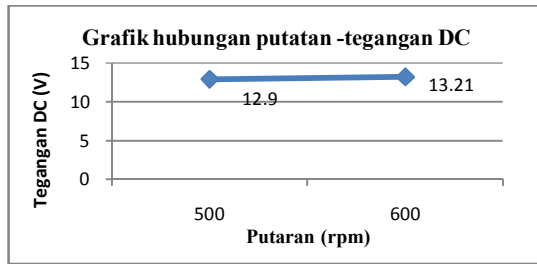
Tabel 4.17 Data pengujian pengisian akumulator hubung tiga fasa delta

| No | Putaran (rpm) | Tegangan AC (V) | Tegangan DC (V) | Arus DC (A) | Daya DC (W) |
|----|---------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1  | 500           | 13.21           | 12.9            | 1.1         | 14.19       |
| 2  | 600           | 15.28           | 13.21           | 2.18        | 28.7978     |

Dari tabel 4.17 menunjukkan pada putaran 500 rpm generator menghasilkan tegangan 13.21 Vac dan setelah melalui penyearah menghasilkan tegangan 12.9 Vdc. Hal ini menunjukkan bahwa dengan putaran minimal 500 rpm generator 3 fasa

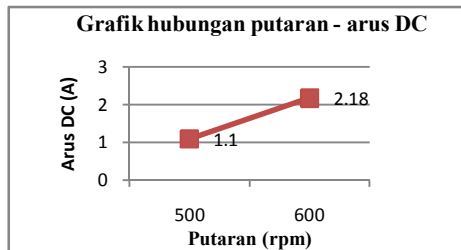


dengan hubung delta mampu digunakan untuk aplikasi pengisian akumulator, dengan tegangan yang dihasilkan 12.9 Vdc dan arus 2.18 A.



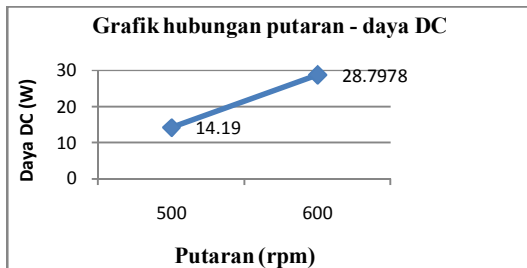
Gambar 4.17 Grafik hubungan putaran-tegangan DC hubung delta

Dari gambar 4.17 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan tegangan DC. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar tegangan DC. Pertambahan tegangan diperoleh sekitar 0.3 volt pada penambahan putaran 100 rpm.



Gambar 4.18 Grafik hubungan putaran-arus DC hubung delta

Dari gambar 4.18 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan arus DC. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar arus DC.



Gambar 4.19 Grafik hubungan putaran-daya DC hubung delta

Dari gambar 4.19 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara putaran generator dengan daya DC. Semakin cepat putaran generator maka semakin besar daya DC.

Generator 3 fasa dengan hubung delta ini cocok diaplikasikan pada tempat yang memiliki potensi energi cukup besar, untuk penggunaan generator dengan putaran yang lebih cepat.

#### 4.5.4 Perhitungan Nilai Regulasi Tegangan

Dari data pengujian generator untuk

pengisian akumulator dapat diperoleh nilai regulasi tegangan. Pada sistem tiga fasa hubung bintang diperoleh nilai regulasi seperti ditunjukkan pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Nilai regulasi tiga fasa hubung bintang

| No | Putaran (rpm) | V no load (V) | V beban (V) | % Regulasi |
|----|---------------|---------------|-------------|------------|
| 1  | 300           | 13.41         | 13.28       | 0.978916   |
| 2  | 400           | 18.45         | 18.25       | 1.09589    |
| 3  | 500           | 21.38         | 20.1        | 6.368159   |

Pada sistem tiga fasa hubung delta diperoleh nilai regulasi seperti ditunjukkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.19 Nilai regulasi tiga fasa hubung delta

| No | Putaran (rpm) | V no load (V) | V beban (V) | % Regulasi |
|----|---------------|---------------|-------------|------------|
| 1  | 500           | 13.21         | 12.9        | 2.403101   |
| 2  | 600           | 14.28         | 13.21       | 8.099924   |

Dari data pada tabel 4.18 diketahui bahwa nilai regulasi untuk sistem tiga fasa hubung bintang pada variasi kecepatan putar 300 sampai 500 rpm adalah berkisar antara 0.978% sampai 6.368%. Pada tabel 4.19 menunjukkan nilai regulasi sistem tiga fasa hubung delta untuk pada variasi kecepatan putar 500 sampai 600 rpm adalah berkisar antara 2.403% sampai 8.099%. Terlihat semakin cepat putaran generator semakin besar nilai regulasi tegangannya.

## V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Generator satu fasa pada putaran 100 sampai 700 rpm menghasilkan tegangan tanpa beban 2.89 volt sampai 18.84 volt, dengan kenaikan tegangan rata-rata 2.68 volt tiap kenaikan kecepatan putar 100 rpm.
2. Generator tiga fasa hubung bintang pada putaran 100 sampai 700 rpm menghasilkan tegangan tanpa beban fasa ke fasa 4.27 volt sampai 33.33 volt, dengan kenaikan tegangan rata-rata 4.81 volt tiap kenaikan kecepatan putar 100 rpm
3. Generator tiga fasa hubung delta pada putaran 100 sampai 700 rpm menghasilkan tegangan tanpa beban fasa ke fasa 2.7 sampai 21.02 volt, dengan kenaikan tegangan rata-rata 2.65 volt tiap kenaikan kecepatan putar 100 rpm.
4. Nilai regulasi tegangan dengan beban lampu pijar 60 watt/220 volt adalah antara 3.13% sampai dengan 9.44% untuk generator satu fasa, 0.135937% sampai dengan 6.39 % untuk generator tiga fasa hubung bintang, dan 0.23% sampai 8.11% untuk generator tiga fasa hubung delta.
5. Pada beban akumulator 12 volt, pada putaran 300 rpm generator tiga fasa hubung bintang mampu mengisi akumulator dengan tegangan

12.91 Vdc dan arus 0.68 A. Pada putaran 500 rpm generator 3 fasa hubung bintang mengisi akumulator dengan tegangan 13.73 Vdc dan arus 2.9 A, generator tiga fasa hubung hubung delta mengisi akumulator dengan tegangan 12.9 Vdc dan arus 1.1 A.

6. Pada beban akumulator nilai regulasi tegangan untuk generator tiga fasa hubung bintang antara 0.978% sampai 6.368%, dan untuk generator tiga fasa hubung delta antara 2.403% sampai 8.099%.

## 5.2 Saran

1. Penelitian mengenai perancangan generator putaran rendah magnet permanen ini dapat dikembangkan lebih lanjut. Sebagai contoh dengan mengubah parameter celah udara, jenis dan jumlah magnet, serta kumparan yang digunakan.
2. Hasil tegangan keluaran generator dapat dinaikkan menggunakan transformator untuk dapat digunakan pada level tegangan tertentu.
3. Diperlukan perancangan kincir angin atau air yang mampu dikopel pada generator untuk dapat langsung memanfaatkan energi angin atau air.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fahey, Steven. 2006. *Basic Principle Of The Homemade Axial Flux Alternator*.
- [2] Gieras, J.F., and Mitchell King. 2002. *Permanent Magnet Motor Technology*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [3] Lister. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Margana, Oong Iban S. 2009. *Perancangan dan Pembuatan Generator Aksial Putaran Rendah dengan Kontrol Switch Proses Charging*. Universitas Muhammadiyah Malang
- [5] Price, Garrison F., Todd D. Batzel, Mihai Comanescu, and Bruce A. Muller. 2008. *Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator*. Pennsylvania State University, Altoona College
- [6] Puchstein, A.F., Lloyd, T.C., Conrad, A.G., 1960. *Alternating Current Machines*. New York : John Willey and Sons Inc
- [7] Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- [8] Rashid, M. H. 1993. *Power Electronics : Circuit, Devices, and Application*. New Jersey : Prentice-Hall International Inc
- [9] Ridwan, Abrar., Hariyotejo Pujowidodo, Jefri Helian, Gatot Eka Pramono. 2008. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen*. Universitas Indonesia
- [10] Sulasno, 2003. *Dasar Konversi Energi*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro
- [11] Upadhyay, K.G. 2004. *Conventional and Computer Aided Design of Electrical Engineering*. New Delhi: Galgotia Publications Pvt. Ltd
- [12] Wildi, Theodore. 1993. *Electrical Machines, Drives, And Power Systems*. New Jersey: Prentice Hall Inc
- [13] ----, Generator Listrik Sederhana. <http://tonytaufik.wordpress.com/generator-listrik-sederhana/> [Mei 2011]
- [14] ----, Magnet Datasheet, <http://www.pro-perfect.com>
- [15] ----, PMG construction manual, <http://itdg.org.pe>

## BIODATA PENULIS



Arif Nurhadi (L2F006013)  
lahir di kota Tegal 22 Desember 1987. Menjalani pendidikan SDN Banyumanik 1, SLTPN 21 Semarang, SMAN 4 Semarang dan saat ini sedang menyelesaikan studi strata 1 di Teknik Elektro Universitas Diponegoro

mengambil Konsentrasi Teknik Energi Listrik

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I,

Ir. Tejo Sukmadi, MT.  
NIP. 196111171988031001

Dosen Pembimbing II,

Karnoto, ST, MT.  
NIP. 196907091997021001