

Rancang Bangun Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius

Mohammad Fiky Alqodri^{*)}, Cecep E.Rustana¹, Hadi Nasbey²

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta
Jalan Pemuda 10, Rawamangun, Jakarta Timur 13220

^{*)} M.fikyalqodri@gmail.com

Abstrak

Generator fluks aksial merupakan generator sederhana yang mampu bekerja pada putaran rendah. Generator ini terdiri atas bagian stator dan rotor, bagian stator terdiri atas kumparan kawat tembaga yang disusun membentuk 3 fasa, dan bagian rotor terdiri atas magnet permanen jenis Neodymium (NdFeB), magnet permanen ini memiliki nilai kemagnetan (remanen) yang cukup besar sehingga bisa menghasilkan fluks magnetik yang cukup besar pula. Generator fluks aksial ini sangat cocok untuk turbin angin savonius yang dapat berputar pada kecepatan angin rendah. Desain bagian generator dan pemasangan pada turbin sangat diperlukan untuk meminimalkan biaya, memperbesar torsi, bergerak pada beberapa variasi kecepatan angin rendah. Untuk memperbesar daya output sistem, maka dilakukan penggandaan generator yang akan dipasang pada turbin. Diharapkan dengan memasang generator fluks aksial magnet permanen jenis NdFeB dan menambah jumlah generator pada turbin, dapat lebih meningkatkan efisiensi sistem. Pada kecepatan putar rendah, mampu menghasilkan tegangan dan arus sekitar 0,079 V, 0,079 A pada kecepatan putar 17,2 rpm dan 2 V, 0,354 A pada kecepatan putar 500 rpm.

Kata kunci : generator fluks aksial, magnet permanen. Efisiensi

Abstract

Axial flux generator is a simple generator that is able to work at low rpm. This generator consists of a stator and rotor parts, parts stator consists of a coil of copper wire arranged to form three-phase, and part of the rotor consists of a permanent magnet type Neodymium (NdFeB) permanent magnet has a magnetization value (remanent) large enough so that it can produce magnetic flux is big enough. The axial flux generator is suitable for wind turbines savonius which can rotate at low wind speeds. The design of the generator and installation of the turbines is needed to minimize costs, increase torque, moving on some variation of wind speed is low. To increase the power output of the system, then the doubling generator that will be installed on the turbine. Expected by installing generators axial flux permanent magnet type NdFeB and increasing the number of generators in the turbine, can further improve the efficiency of the system. at low wind speed produce voltage and current 0,079 V, 0,079 A at 17,2 rpm and 2 V, 0,354 A at 500 rpm.

Keywords: axial flux generator, a permanent magnet. efficiency of the system

1. Pendahuluan

Krisis energi menjadi salah satu masalah utama di Indonesia. Menipisnya bahan bakar fosil menjadi faktor yang paling dominan. Untuk menanggulangi krisis energi tersebut, diperlukan solusi energi baru. Generator merupakan faktor penting dalam energi baru terbarukan dalam menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk

menciptakan generator yang mampu bekerja dalam kecepatan putar rendah.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang generator yang mampu menghasilkan tegangan dan arus yang cukup besar dengan kecepatan putar rendah.

1.1 Generator Listrik

Generator adalah sebuah alat pembangkit listrik yang terdiri atas 2 bagian utama. Bagian rotor terdiri atas magnet permanen dan bagian stator terdiri atas beberapa kumparan kawat konduktor. Prinsip kerja generator menggunakan hukum Faraday.

Besar GGL induksi pada generator fluks radial dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1.1):

$$E_{ph} = 4,44 f N_{ph} k_w k_s \Phi_{max} \quad (1.1)$$

Dimana :

- E_{ph} = Tegangan induksi yang dibangkitkan (V)
- f = frekuensi (Hz)
- Φ_{max} = fluks magnet (Wb)
- N_{ph} = Jumlah belitan kumparan
- K_w = faktor lilit (1)
- K_s = faktor kemiringan (0,984)

Fluks magnet maksimal

$$B_{max} = B_r \frac{l_m}{l_m + \delta} \quad (1.2)$$

Dimana :

- B_r = Kerapatan fluks (T)
- l_m = Tinggi magnet (m)
- δ = Lebar celah udara (m)
- B_{max} = Fluks magnet maksimal (T)

Luasan magnet dihitung dengan Persamaan (2.3):

$$A_m = \frac{\rho(r_o^2 - r_i^2) - \tau f (r_o - r_i) N_m}{N_m} \quad (1.3)$$

Dimana:

- A_{magn} = luasan magnet (m²)
- r_o = radius luar magnet (m)
- r_i = radius dalam magnet (m)
- N_m = jumlah magnet τf = jarak antar magnet (m)

Maka diperoleh fluks maksimum yang dihasilkan dengan Persamaan (2.4) adalah:

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \quad (1.4)$$

Dimana :

- A_{magn} = luasan magnet (m²)

- B_{max} = Fluks magnet maksimal (T)
- Φ_{max} = Fluks maksimum (Wb)

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

$$n = \frac{120f}{p} \quad (1.5)$$

dimana:

n = putaran (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

Tegangan rms yang dibangkitkan generator adalah:

$$E_{rms} = \frac{E_{Max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_{rms} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot N \cdot f \cdot \Phi_{Max} \cdot \frac{N_s}{N_{ph}}$$

$$E_{rms} = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_{Max} \cdot \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (1.6)$$

2. Metode Penelitian

2.1 Perancangan Alat

a. Desain bagian rotor generator

Bagian rotor atau bagian generator yang bergerak terdiri atas papan akrilik sebagai alas dan 6 buah magnet. Dengan dimensi magnet; jari-jari 2,5 cm dan ketebalan 0,5 cm



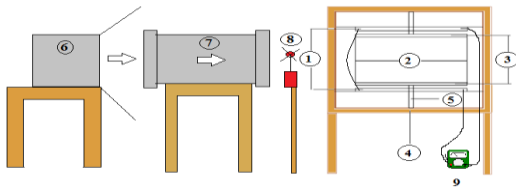
Gambar 2.1 Bagian Rotor

b. Desain bagian stator generator

Bagian stator atau bagian generator yang tidak bergerak terdiri atas kumparan kawat tembaga dengan ketebalan 0,7mm dan karakteristik baik. Kawat tembaga dililitkan sehingga membentuk 6 bagian lilitan yang saling terhubung satu sama lain, dengan arah lilitan searah dengan pergerakan jarum jam dan jumlah lilitan sebanyak 150 lilitan tiap kumparan.



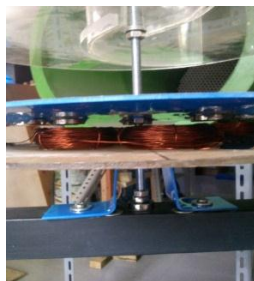
Gambar 2.2 Bagian Stator, Kumparan 3 fasa



Gambar 2.3 Skema Alat Penelitian

Keterangan:

1. Bagian stator generator
2. Turbin
3. Bagian rotor generator
4. Frame/menara Turbin
5. Poros Turbin
6. Blower
7. Wind Tunnel
8. Anemometer
9. Multimeter



Gambar 2.3 Generator Fluks Aksial Magnet Permanen

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 3.1 Data Spesifik Generator

Parameter	Lambang	Nilai
Kerapatan fluks magnet	Br	0,6 T
Dimensi Magnet	r	2,5 cm
	t	0,5 cm
Jumlah Magnet	Nm	6
Radius Dalam Magnet	Ri	6 cm

Radius Luar Magnet	Ro	12 cm
Jarak Antar Magnet	rf	4 cm
Celah Udara	δ	2 mm
Jumlah Kumputan	Ns	6
Jumlah Fasa	Nph	3
Jumlah Lilitan	N	150

$$B_{\max} = B_r \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$B_{\max} = 0,6 \frac{0,25}{0,25 + 0,002}$$

$$B_{\max} = 0,59 \text{ T}$$

Luasan Magnet

$$A_m = \frac{\rho(r_o^2 - r_i^2) - \pi f(r_o - r_i)N_m}{N_m}$$

$$A_{\text{magn}} = \frac{3,14 \cdot (0,12^2 - 0,06^2) - 0,04 \cdot (0,12 - 0,06) \cdot 6}{6}$$

$$A_{\text{magn}} = \frac{0,033912 - 0,0144}{6}$$

$$A_{\text{magn}} = 3,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Fluks Maksimum

$$\phi_{\max} = A_{\text{magn}} \cdot B_{\max}$$

$$\phi_{\max} = 3,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,59$$

$$\phi_{\max} = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Generator didesain untuk bekerja dalam frekuensi 50 Hz, dengan jumlah kutub 6 buah maka diperoleh putaran sebagai berikut:

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

$$n = \frac{120 \times 50}{6}$$

$$n = 1000 \text{ rpm}$$

Tegangan Induksi yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \phi_{\text{Max}} \cdot \frac{N_s}{N_{ph}}$$

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \cdot 150 \cdot 50 \cdot 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{6}{3}$$

$$E_{\text{rms}} = 12,654 \text{ volt}$$

Dari pengujian generator dengan sistem 3 fasa yang digerakkan oleh turbin angin dengan sumber angin yaitu dari blower yang disandingkan dengan bantuan wind tunnel didapat tegangan dan arus keluaran pada fasa A-B untuk putaran sekitar 500 rpm

345,9	1,10	0,236	0,18	0,043
403,6	1,26	0,286	0,21	0,051
477,7	1,53	0,302	0,25	0,052
500,34	2,00	0,354	0,30	0,055

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan dan Pengukuran

Tegangan Hasil Perhitungan (V)	Tegangan Hasil Pengukuran (V)	Arus Hasil Pengukuran (A)	Daya (watt)	Presentase (%)
12,654	2	0,354	0,708	15,8

Presentase terlihat sangat kecil, hal ini diidentifikasi karena nilai hambatan pada kumparan yang kecil yaitu

Tabel 3.3 Nilai Hambatan Kumparan

Hambatan Dalam (ohm)		
Fasa A-B	Fasa A-C	Fasa B-C
6,756	5,674	6,453

Berdasarkan hukum ohm $V = I \times R$, menunjukkan bahwa nilai tegangan sangat dipengaruhi oleh nilai hambatan dan arus. Nilai hambatan yang kecil membuat nilai tegangan menjadi kecil dan membuat nilai arus menjadi cukup besar.

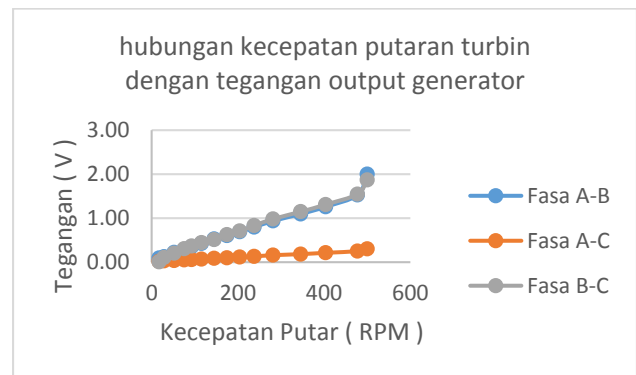
3.1 Pengujian Generator 3 Fasa Hubung Bintang

Tabel 3.5 Data pengujian generator 3 fasa dalam berbagai kecepatan putar.

Putaran (Rpm)	Fasa A-B		Fasa A-C	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
17,2	0,09	0,079	0,02	0,001
28,7	0,12	0,014	0,03	0,003
52,4	0,22	0,024	0,03	0,007
75,5	0,28	0,026	0,05	0,010
92,8	0,35	0,055	0,06	0,012
115,8	0,42	0,070	0,07	0,014
145,2	0,53	0,089	0,09	0,018
174,7	0,60	0,113	0,10	0,020
204,6	0,69	0,126	0,11	0,023
237,9	0,79	0,169	0,13	0,027
281,5	0,94	0,195	0,16	0,031

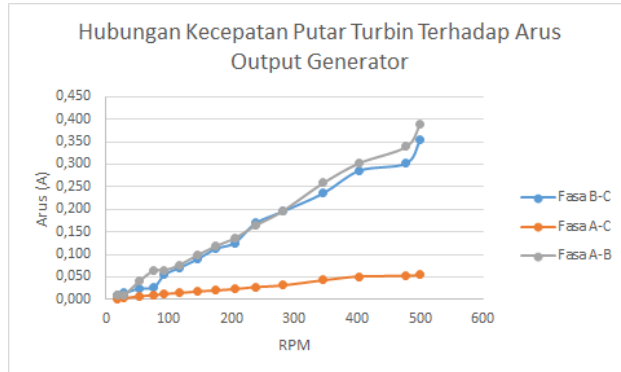
Putaran (Rpm)	Fasa B-C	
	Tegangan (V)	Arus (A)
17,2	0,01	0,009
28,7	0,10	0,010
52,4	0,20	0,040
75,5	0,31	0,064
92,8	0,37	0,065
115,8	0,44	0,076
145,2	0,51	0,098
174,7	0,63	0,118
204,6	0,71	0,136
237,9	0,83	0,164
281,5	0,98	0,196
345,9	1,15	0,258
403,6	1,31	0,303
477,7	1,55	0,339
500,34	1,87	0,389

Dari tabel 3.5 dapat digambarkan dalam grafik hubungan kecepatan putar turbin dan generator dengan tegangan pada gambar 4.2



Gambar 3.2 Hubungan Kecepatan Putaran Turbin Dengan Tegangan Output Generator

Dari grafik tersebut dapat kita lihat bahwa semakin cepat putaran turbin dan generator, tegangan yang dihasilkan semakin besar.



Gambar 4.3 Hubungan Kecepatan Putaran Turbin Dengan Arus Output Generator

Dari grafik tersebut dapat kita lihat bahwa semakin cepat putaran turbin dan generator, arus yang dihasilkan menjadi lebih besar. Arus yang dihasilkan generator ini cukup besar hingga mencapai 0,389 A untuk putaran 500 rpm.

4. Kesimpulan

Dari Penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

1. Generator fluks aksial ini dapat menghasilkan tegangan dan arus pada kecepatan putar rendah, yaitu sekitar 0,079 V, 0,079 A pada kecepatan putar 17,2 rpm dan 2 V, 0,354 A pada kecepatan putar 500 rpm.
2. Generator fluks aksial ini memiliki nilai efisiensi sebesar 15,8%
3. Pada bagian stator, kumparan masing-masing fasa memiliki nilai hambatan yang kecil yaitu sekitar 6,7 ohm, yang membuat arus keluaran menjadi cukup besar yaitu sekitar 0,35 A

Ucapan Terima Kasih

Atas terlaksananya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Cecep E. Rustana Ph.D, Hadi Nasbey M.si, dan rekan-rekan yang telah membantu.

Daftar Acuan

- [1] Fahey, Steven. 2006. *Basic Principle Of The Homemade Axial Flux Alternator*.

- [2] Tipler, P.A., 1998, *Fisika untuk Sains dan Teknik– Jilid I (terjemahan)*, Jakarta: Erlangga
- [3] Eka Putra, Atria. 2014. *Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Satu Fasa Menggunakan Lilitan Kawat Sepeda Motor Dengan Variasi Diameter Kawat*. Skripsi: Universitas Bengkulu.
- [4] Gieras, J.F., and Mitchell King. 2002. *Permanent Magnet Motor Technology*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [5] Lister. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Margana, Oong Iban S. 2009. *Perancangan dan Pembuatan Generator Aksial Putaran Rendah dengan Kontrol Switch Proses Charging*. Universitas Muhammadiyah Malang
- [7] Price, Garrison F., Todd D. Batzel, Mihai Comanescu, and Bruce A. Muller. *Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator*. Pennsylvania State University, Altoona College. 190, ENT 202, IAJC-IJME 2008, ISBN 978-1-60643-379-9.
- [8] Puchstein, A.F., Lloyd, T.C., Conrad, A.G., 1960. *Alternating Current Machines*. New York: John Wiley and Sons Inc
- [9] Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- [10] Rashid, M. H. 1993. *Power Electronics: Circuit, Devices, and Application*. New Jersey: Prentice-Hall International Inc
- [11] Ridwan, Abrar., Hariyotojo Pujowidodo, Jefri Helian, Gatot Eka Pramono. 2008. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen*. Universitas Indonesia
- [12] Sulasno, 2003. *Dasar Konversi Energi*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro
- [13] Wildi, Theodore. 1993. *Electrical Machines, Drives, And Power Systems*. New Jersey: Prentice Hall Inc
- [14] Nurhadi, Arif, skripsi: *Perancangan Generator Putaran Rendah Magnet Permanen*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.

- [15] Waluyo Jati,Dimas , Sukmadi,Tejo , Karnoto.
Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeb) Dengan Variasi Celah Udara. Jurusan Teknik Elektro , Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro: Semarang.

