



GENERATOR LISTRIK MAGNET PERMANEN TIPE AKSIAL FLUKS PUTARAN RENDAH DAN UJI PERFORMA

Mulyadi^(1*), Priyo Sardjono⁽¹⁾, Djuhana⁽¹⁾, Karyaman H Z⁽²⁾, M Situmorang⁽³⁾

⁽¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Banten

^(1*)dosen01545@unpam.ac.id

⁽²⁾Mahasiswa Fisika S1 FMIPA Universitas Sumatera Utara.

⁽³⁾Dosen Fisika FMIPA Universitas Sumatera Utara.

Abstrak - Telah dilakukan disain, pembuatan dan uji kelistrikan generator magnet permanen aksial fluks (MPAF) AC satu fasa menggunakan magnet NdFeB. Generator dirancang bertipe stator dan rotor tunggal. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan tiga jenis rotor dengan dimensi dan jumlah magnet yang berbeda serta pada kondisi jarak celah stator dan rotor yang konstan. Pengujian dilakukan dalam dua tahap yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban lampu AC 5W/220V pada kecepatan 200 rpm – 320 rpm dengan interval 10 rpm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan output tertinggi pada kecepatan 320 rpm adalah 142.6 Volt tanpa beban dengan frekuensi 32.08 Hz dan 124.0 Volt bila menggunakan beban dengan frekuensi 32.04 Hz. Daya out put tertinggi dari generator listrik MPAF adalah 75 Watt untuk rotor yang menggunakan magnet berukuran 4 x 5 cm.

Kata kunci : generator listrik, magnet permanen NdFeB, stator, rotor, jarak celah dan keluaran generator

Abstract - Desain, manufacturing and testing of axial flux permanent magnetic generator 1 phase using NdFeB magnet have been done. This generator was designed by using a single stator and rotor. The testing was done by comparing three types of rotor with its dimensions and the number of different magnets as well as the condition of the stator and rotor gap distance constant. Tests was carried out in two stages, such as the no-load testing and load testing with AC lamp 5W / 220V at a speed of 200 rpm - 320 rpm with intervals of 10 rpm. The test results showed that the highest output voltage at a speed of 320 rpm is 142.6 Volt without load with a frequency of 32.08 Hz and it is 124.0 Volt when using a load with a frequency of 32.04 Hz. The highest power output of the electric generator MPAF is 75 Watt for rotor that uses a magnet with dimension of 4 x 5 cm.

Key word : electric generator, permanent magnet NdFeB, stator, rotor, gaps distance, generator output.

I. PENDAHULUAN

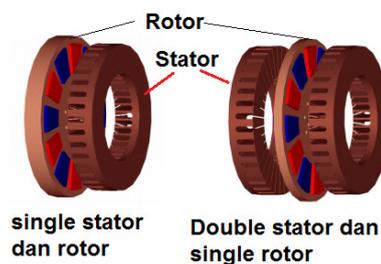
Pembangkit energi listrik terbarukan merupakan pilihan terbaik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia mengingat mahal dan langkanya energi minyak bumi yang selama ini selalu menjadi pilihan utama pada sistem pembangkitan energi listrik [1]. Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri dan masyarakat dunia. Kebutuhan energi dipenuhi dengan fasilitas ekonomi dan teknologi yang masih menggunakan sumber energi yang tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil yang mengakibatkan pasokan listrik ikut menurun. Untuk menanggulangi hal ini maka banyak penelitian yang mengkaji energi alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dengan pemanfaatan sumber energi lain seperti air, angin, gelombang laut yang membutuhkan generator putaran rendah untuk dapat menghasilkan listrik [2].

Pada umumnya, untuk membangkitkan energi listrik yang ada biasanya tetap menggunakan generator listrik konvensional untuk proses pembangkitan listrik. Generator listrik adalah sebuah divais yang dapat merubah energi mekanik (energi gerak) menjadi energi listrik [1,2]. Generator yang tersedia banyak dipasaran biasanya berjenis *high speed induction* generator dimana pada generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi penggerak menggunakan motor bakar yang masih memakai bahan bakar dari fosil (minyak bumi atau gas) untuk menghasilkan medan magnetnya (medan magnet induksi). Sehingga generator jenis ini tidak cocok digunakan pembangkit

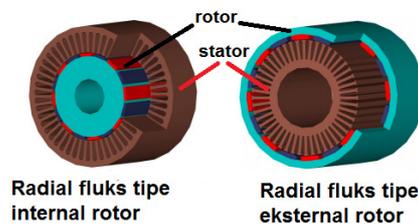


energi listrik yang daya putarnya rendah. Contoh generator listrik putaran rendah antara lain : mikrohidro – pico hydro generator listrik yang tenaga geraknya menggunakan tenaga bayu (air, angin dan gelombang laut) [3]. Pada perancangan generator magnet permanen ini adalah generator yang berjenis *low speed*, artinya hanya dengan putaran rendah (< 500 rpm) maka generator ini dapat menghasilkan energi listrik [4]. Tipe generator listrik putaran rendah hanya dapat dibuat dengan menggunakan komponen magnet permanen [5], performa dari generator listrik seperti ini sangat tergantung pada kekuatan medan magnet dari komponen manet permanen. Semakin besar kuat medan magnet yan di gunakan maka semakin tinggi performa dari luaran generator listrik [6].

Generator listrik dengan low speed ada dua macam yaitu : Axial Fluks dan Radial Fluks [7]. Generator listrik yang akan dibuat adalah generator tipe axial fluks yang menggunakan stator dan satu rotor, dimana pada bagian stator terdapat gulungan (kumparan), sedangkan pada bagian rotor terdapat sejumlah magnet permanen [5,8]. Jenis magnet permanen yang digunakan adalah magnet berbasis logam tanah jarang (NdFeB magnet). Gambar generator tipe axial fluks dan radial fluks masing ditunjukkan pada gambar 1 dan 2 [7,9].



Gambar 1. Generator tipe axial fluks



Gambar 2. Generator tipe radial fluks

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tentang penggunaan magnet permanen dalam pemanfaatannya untuk membangkitkan energi listrik serta memvariasikan ukuran dan besarnya medan magnet yang digunakan terhadap luaran dari generator listrik. Pemanfaatan magnet permanen sangat berguna dalam penerapan pembangkitan listrik skala kecil, karena generator magnet permanen mempunyai keunggulan ketika hanya mendapatkan putaran rendah tetap bisa mengeluarkan energi listrik yang memadai. Perancangan generator magnet permanen tipe aksial ini menggunakan magnet permanen jenis NdFeB (*Neodymium-Iron-Boron*), dikarenakan magnet jenis ini mempunyai kerapatan fluks magnet yang sangat tinggi, sehingga sangat baik digunakan untuk merancang generator magnet permanen.

II. PERANCANGAN KOMPONEN DAN KONSTRUKSI GENERATOR

2.1. Disain Kumparan dan Stator generator magnet permanen aksial fluks (MPAF)

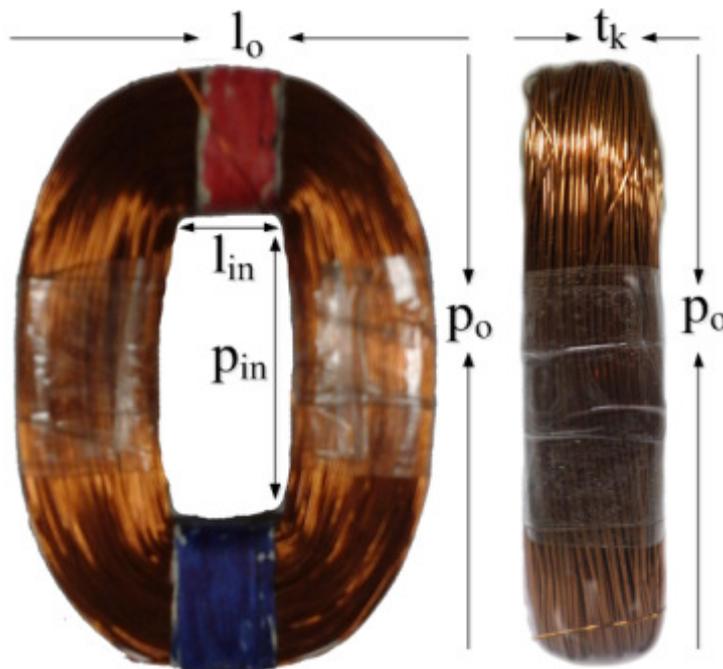
Pada perancangan generator MPAF, stator dibuat satu buah untuk tempat lilitan kumparan dengan susunan kumparan seri . Rancangan yang dibuat pada penelitian ini berjumlah enam buah kumparan dan disusun seri. Untuk menghitung koil maka banyak lilitan (N) pada kumparan yang akan dibuat digunakan persamaan (1). Pada Tabel 1 diperlihatkan spesifikasi kumparan.

$$N = \frac{(P_o - P_{in}) \times t_k}{2 \times D_k^2} \quad (1)$$

Tabel 1. Spesifikasi Kumaran

Parameter	Besaran (m)
Diameter kawat (D _k)	0.0003
Panjang bagian luar (p _o)	0.07
Panjang bagian dalam (p _{in})	0.04
Lebar bagian luar (l _o)	0.05
Lebar bagian dalam (l _{in})	0.02
Tebal kumaran (t _k)	0.006

Pada Gambar 3 menunjukkan kumaran dari gulungan kawat tembaga.

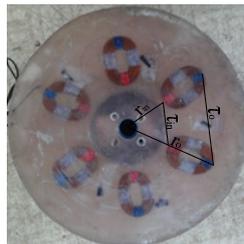


Gambar 3. Spesifikasi kumaran

Stator pada penelitian ini dibuat dengan menanamkan kumaran kedalam bahan epoxy resin, ini dipilih karena resin bersifat isolator listrik yang baik dan keras. Pada Tabel 2 diperlihatkan spesifikasi dari rotor dan pada gambar 4 diperlihatkan gambar dari stator.

Tabel 2. Spesifikasi stator

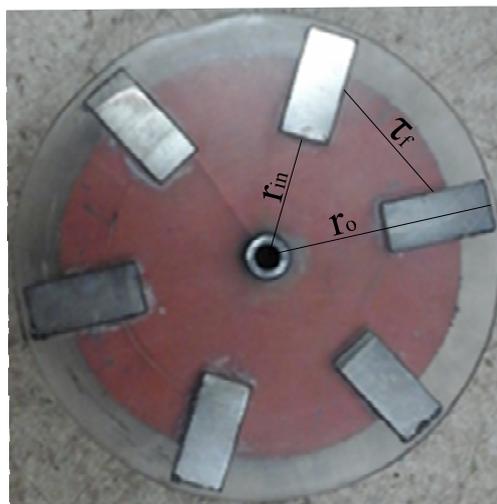
Parameter	Besaran (m)
Diameter stator (D_s)	0,38
Jari-jari dalam kumparan (r_{in})	0,07
Jari-jari bagian luar (r_o)	0,14
Jarak kumparan dalam (τ_{in})	0,07
Jarak kumparan luar (τ_o)	0,14
Banyak kumparan (N_s)	6 buah



Gambar 4. Spesifikasi stator generator MPAF

2.2. Disain Rotor generator magnet permanen aksial fluks (MPAF)

Sedangkan pada rotor generator dibuat tiga variasi untuk tempat magnet dengan diameter rotor yang disesuaikan dengan dimensi dan jumlah magnet. Rotor yang dibuat pada penelitian ini menggunakan bahan epoxy resin dengan diameter rotor 0.29 m dan tebal 0.005 m. Rotor dengan menggunakan magnet NdFeB berukuran 3 cm x 6.5 cm ditunjukkan pada Gambar 5 dan spesifikasi rotornya diperlihatkan pada Tabel 3.

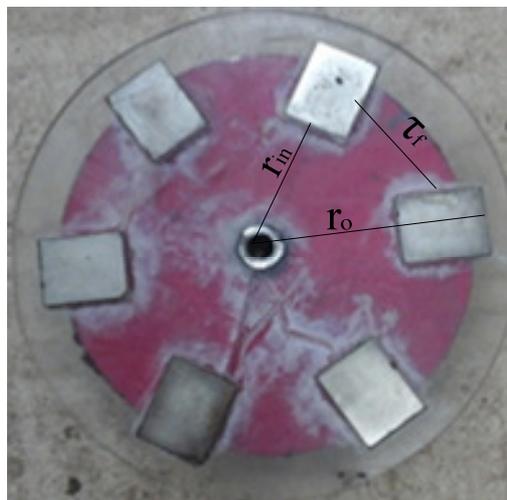


Gambar 5. Spesifikasi rotor menggunakan magnet berukuran 3 cm x 6.5 cm

Tabel 3. Spesifikasi rotor untuk magnet NdFeB berukuran
 3 cm x 6.5 cm

Parameter	Besaran (m)
Jari-jari dalam magnet (r_{in})	0.075
Jari-jari luar magnet (r_o)	0.14
Jarak magnet (τ_f)	0,083
Panjang magnet (p_m)	0,065
Lebar magnet (l_m)	0,03
Tebal magnet (t_m)	0,01
Banyak magnet (P)	6 buah

Rotor dengan menggunakan magnet NdFeB berukuran 4 cm x 5 cm ditunjukkan pada Gambar 6 dan spesifikasinya diperlihatkan pada tabel 4.

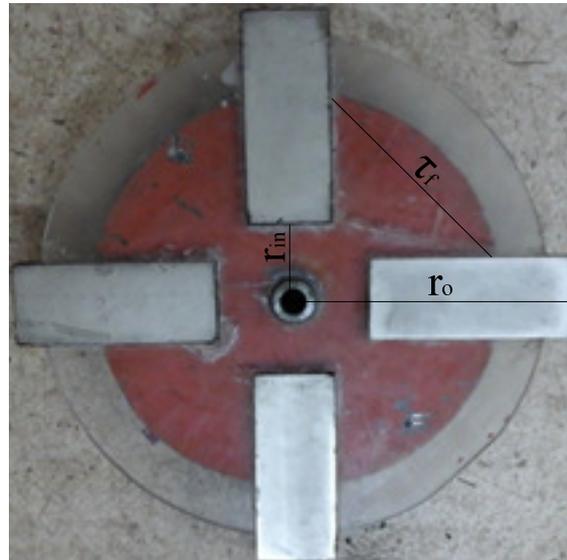


Gambar 6. Spesifikasi rotor menggunakan magnet berukuran 4 cm x 5 cm

Tabel 4. Spesifikasi rotor untuk magnet NdFeB berukuran 4 cm x 5 cm

Parameter	Besaran (m)
Jari-jari dalam magnet (r_{in})	0.08
Jari-jari luar magnet (r_o)	0.13
Jarak magnet (τ_f)	0,071
Panjang magnet (p_m)	0,05
Lebar magnet (l_m)	0,04
Tebal magnet (t_m)	0,01
Banyak magnet (P)	6 buah

Rotor dengan menggunakan Magnet NdFeB berukuran 5 cm x 12 cm ditunjukkan pada Gambar 7 dan spesifikasinya diperlihatkan pada Tabel 5.

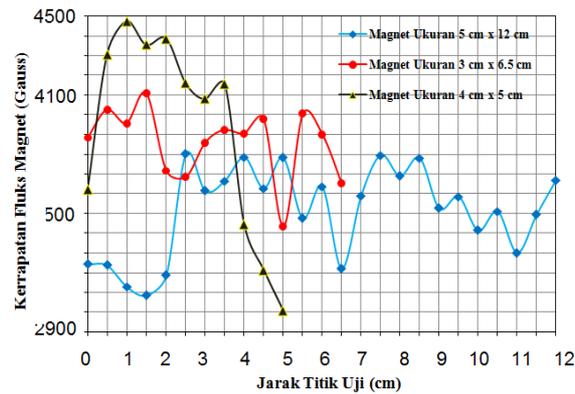


Gambar 7. Spesifikasi rotor menggunakan magnet berukuran 4 cm x 5 cm

Tabel 5. Spesifikasi rotor untuk Magnet NdFeB berukuran 5 cm x 12 cm.

Parameter	Besaran (m)
Jari-jari dalam magnet (r_{in})	0.045
Jari-jari luar magnet (r_o)	0.165
Jarak magnet (τ_r)	0,12
Panjang magnet (p_m)	0,12
Lebar magnet (l_m)	0,05
Tebal magnet (t_m)	0,01
Banyak magnet (P)	4 buah

Data-data pengukuran kerapatan fluks magnet yang digunakan, untuk mendapat informasi besar kerapatan fluks magnet rata-rata tiap magnet. Pada gambar 8 menunjukkan data distribusi kerapatan fluks magnet dari masing-masing magnet yang digunakan.



Gambar 8. Grafik distribusi kerapatan fluks magnet NdFeB

Pada gambar 8 memperlihatkan karakteristik dari masing-masing magnet, misalnya untuk magnet berukuran 4 cm x 5 cm memiliki fluks magnetik tertinggi sekitar 4350 – 4450 yang posisinya didaerah tengah bidang magnet. Sedangkan magnet untuk yang berukuran 3cm x 6,5 cm memiliki fluks magnetik dengan distribusi hampir merata pada daerah ditengah-tengah bidang magnet yaitu dengan fluks magnetik sekitar 3900 – 4000 Gauss. Sedangkan untuk magnet yang besar berukuran 5 cm x 12 cm memiliki rata-rata fluks magnetik tertinggi sekitar 3600 - 3800 gauss yang berada 2 cm dari tepi kiri sampai ke jarak 5 cm dari pinggir kiri, nampaknya tidak homogen.

2.3. Konstruksi Generator magnet Permanen Axial Fluks.

Dari hasil perencanaan komponen Generator MPAF diperoleh data-data spesifikasi yang digunakan untuk pembuatan / konstruksi stator dan rotor Generator MPAF yang diperlihatkan pada Tabel 6 dan 7.

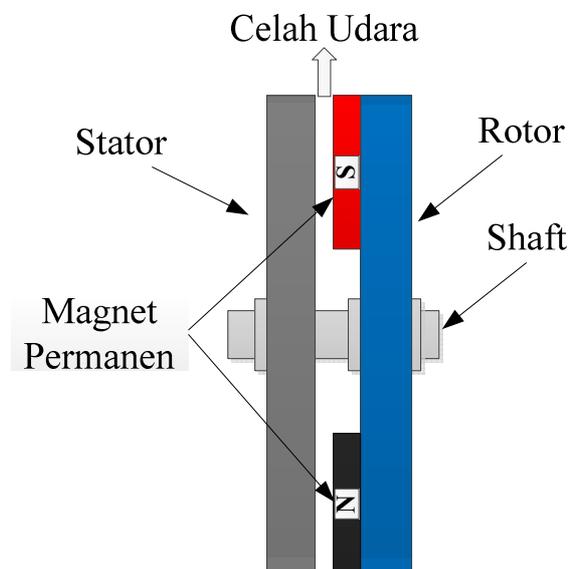
Tabel 6. Spesifikasi desain stator generator MPFA

Parameter	Lambang	Keterangan
Jenis kawat	-	Type-1PEW/300
Diameter kawat	D	0.03 cm
Jumlah lilitan	N	1000 lilitan
Jumlah Kumparan	N_s	6 kumparan
Konfigurasi lilitan	-	Seri
Jumlah fasa	N_{ph}	1 fasa

Tabel 7. Spesifikasi desain rotor generator MPFA dan Magnet Permanent NdFeB

Parameter	Lambang	Ukuran Magnet NdFeB		
		3 cm x 6.5 cm	4 cm x 5 cm	5 cm x 12 cm
Kerapatan Fluks Magnet	Br rata-rata	3928.8 Gauss	3861.8 Gauss	3515.5 Gauss
Dimensi Magnet	P, L, T	6,5 cm, 3 cm, 1 cm	5 cm, 4 cm, 1 cm	12 cm, 5 cm, 1 cm
Diameter Rotor	D, T	19 cm, 0,5 cm	19 cm, 0,5 cm	19 cm, 0,5 cm
Jumlah Magnet	N	6	6	4
Jarak Antar Magnet	τ_f	8,5 cm	7,0 cm	11,5 cm
Jari-jari magnet	r_{in}	7,5 cm	8 cm	4,5 cm
	r_o	14 cm	13 cm	13 cm
Luas Penampang	A	19,5 cm ²	20 cm ²	60 cm ²

Pada penelitian ini, lebar celah udara yang dimaksud adalah sisi bagian yang memisahkan antar permukaan rotor dan stator yang saling berhadapan, lebar celah udara yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.5 cm dan digunakan pada semua jenis rotor yang diuji. Gambar yang menunjukkan posisi dari celah udara (air gap) diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Celah udara antara Stator dan Rotor

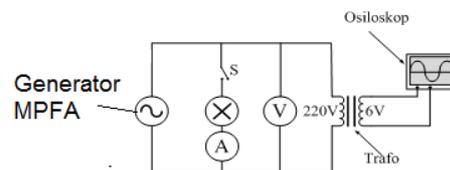
Bentuk generator MPFA yang dibuat pada penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Generator pada penelitian ini dirancang untuk menghasilkan sumber energi listrik dengan cara membanding pengaruh fluks magnet yang melewati kumparan menggunakan ukuran magnet yang berbeda, Untuk simulasi gerak rotor digunakan motor listrik yang dapat diatur kecepatannya. Untuk keperluan pengujian performa generator listrik MPFA di koneksikan dengan

beberapa alat ukur seperti Tachometer untuk pengukuran kecepatan putar rotor, oscilloscope untuk pengukuran tegangan output, ampere meter untuk pengukuran arus yang dihasilkan serta bola lampu sebagai beban dan untuk indikasi bahwa generator dapat menghasilkan arus listrik.



Gambar 10. Konstruksi Generator listrik MPFA yang dibuat.

Rangkaian listrik pengujian generator MPFA ditunjukkan pada gambar 11. Dalam skematik di Gambar 11 bahwa pengujian generator dilakukan dengan dua tahap pengujian, yaitu pengujian tanpa beban dan berbeban. Pada pengujian tanpa beban rangkaian listrik generator tidak dihubungkan dengan beban (saklar S tidak dihubungkan) sedangkan pada pengujian berbeban rangkaian dihubungkan dengan beban (saklar S dihubungkan), kemudian keluaran generator diukur menggunakan multimeter digital, untuk melihat bentuk sinyal generator rangkaian dihubungkan dengan osiloskop.



Gambar 11. Rangkaian pengujian generator MPFA

Karena keluaran generator terlalu besar sedangkan osiloskop hanya mampu menampilkan sinyal tegangan rendah. Maka, tegangan yang masuk ke osiloskop perlu dihubungkan dengan trafo *step down* ini bertujuan untuk mengurangi tegangan yang masuk ke osiloskop sehingga sinyal tegangan masing-masing rotor dapat ditampilkan pada layar osiloskop.

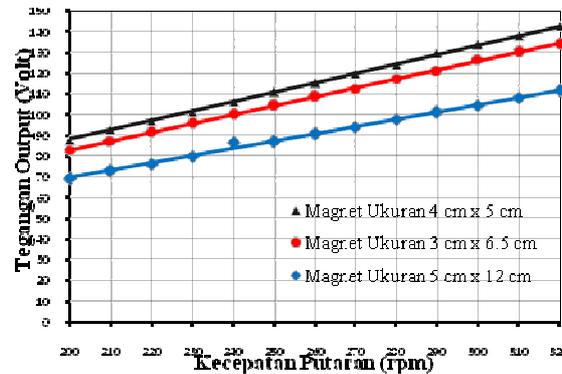
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk pengujian berbeban menggunakan lampu AC 5W/220V. Rotor diatur untuk berputar pada kecepatan 200 rpm sampai 320 rpm dengan interval 10 rpm. Dari hasil pengujian diperoleh frekuensi masing – masing rotor berada diantara 20 Hz sampai 32 Hz, ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh perubahan frekuensi keluaran generator pada saat tidak diberi beban maupun saat diberi beban. Berikut adalah hasil pengujian keluaran generator MPFA.

3.1. Perbandingan Tegangan Keluaran Generator MPFA Tanpa Beban

Pada hasil pengujian tanpa beban diperoleh hubungan tegangan keluaran generator terhadap kecepatan putaran generator adalah linier, seperti terlihat pada gambar 12. Tegangan keluaran generator masing-masing generator adalah 82.8 Volt – 133.8 Volt untuk rotor menggunakan magnet 3 cm x 6.5 cm, tegangan 87.9 Volt – 142.6 Volt untuk rotor menggunakan magnet 4 cm x 5 cm, dan tegangan 69.1 Volt – 111.6 Volt untuk rotor menggunakan magnet 5 cm x 12 cm. Generator dengan

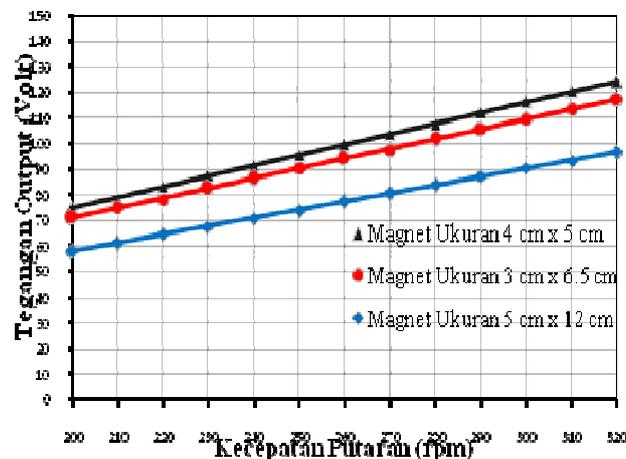
rotor yang menggunakan magnet 3 cm x 6.5 cm memiliki tegangan output yang lebih tinggi, karena dengan jumlah magnet yang sama akan tetapi fluks magnetik rata-ratanya lebih tinggi dibandingkan dengan rotor yang menggunakan magnet 3 cm x 6.5 cm. Tetapi generator yang menggunakan rotor dengan magnet berukuran yang lebih besar (5 x 12 cm) memiliki tegangan output yang paling rendah, karena magnet yang dimensinya paling besar ternyata memiliki fluks magnetik yang paling rendah, sehingga berpengaruh terhadap tegangan output generator.



Gambar 12 Grafik perbandingan tegangan keluaran generator MPFA tanpa beban

3.2. Perbandingan Tegangan Keluaran generator MPFA Berbeban

Pada hasil pengujian menggunakan beban seperti diperlihatkan pada Gambar 13 bahwa diperoleh tegangan keluaran generator masing-masing generator adalah 70.9 Volt – 117.5 Volt untuk rotor menggunakan magnet 4 cm x 5 cm.

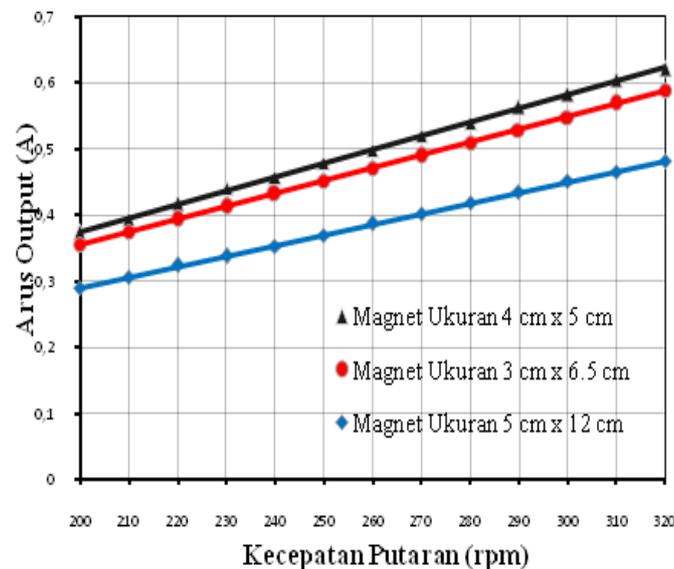


Gambar 13. Grafik perbandingan tegangan keluaran generator MPFA menggunakan beban lampu AC 5W/220V

Keluaran tegangan sebesar 74.6 Volt – 124.0 Volt untuk rotor menggunakan magnet 3 cm x 6,5 cm, dan 58.1 Volt – 96.4 Volt untuk rotor menggunakan magnet 5 cm x 12 cm. Dari ke tiga macam magnet yang digunakan ternyata magnet yang memiliki fluks magnetik yang tinggi akan menghasilkan tegangan output yang tinggi pula. Rotor yang menggunakan magnet dengan dimensi paling besarmemiliki fluks magnetik yang paling rendah dan jumlah magnetnya lebih kecil, bila jumlah magnetnya samaa maka diameter rotor akan lebih besar dan kemungkinan akan dihasilkan tegangan output yang lebih tinggi.

3.3. Perbandingan Arus Keluaran Generator MPFA

Pada hasil pengujian menggunakan beban seperti terlihat digambar 14 diperoleh tengangan keluaran generator masing-masing generator adalah 0.35 A – 0.59 A untuk rotor menggunakan magnet 3 cm x 6.5 cm, 0.37 A – 0.62 A untuk rotor menggunakan magnet 4 cm x 5 cm, dan 0.29 A – 0.48 A untuk rotor menggunakan magnet 5 cm x 12 cm. Gambar berikut ini menunjukkan grafik perbandingan arus keluaran generator menggunakan beban.

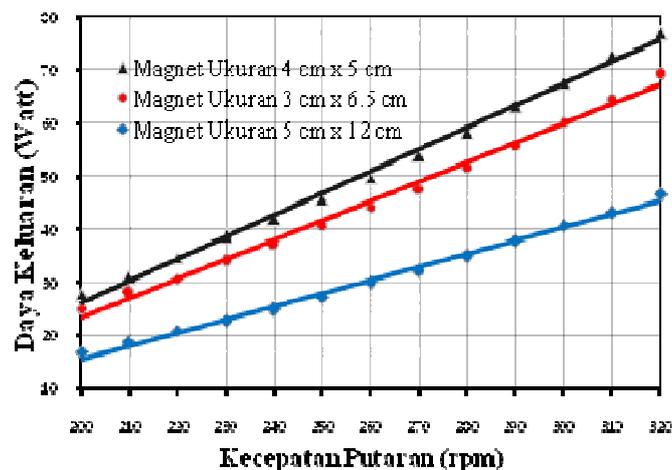


Gambar 14. Grafik perbandingan arus keluaran generator MPFA menggunakan beban lampu AC 5W/220V

Generator dengan rotor yang menggunakan magnet dengan dimensi yang paling besar menghasilkan arus output paling rendah, karena jumlah magnetnya lebih rendah dan fluks magnetiknya paling rendah dibandingkan dengan yang lainnya.

3.4. Perbandingan Daya Keluaran Generator MPFA

Pada hasil pengujian menggunakan beban diperoleh tengangan keluaran generator masing-masing generator adalah 25.13 Watt – 69.03 Watt untuk rotor menggunakan magnet 3 cm x 6.5 cm, 27.82 Watt – 76.88 Watt untuk rotor menggunakan magnet 4 cm x 5 cm, dan 16.88 Watt – 46.46 Watt untuk rotor menggunakan magnet 5 cm x 12 cm. Gambar berikut ini menunjukkan grafik perbandingan daya keluaran generator menggunakan beban.



Gambar 15. Grafik perbandingan daya keluaran generator MPFA menggunakan beban lampu AC 5W/220V

IV. KESIMPULAN

1. Telah berhasil dibuat generator listrik MPFA dengan sistem single stator dan rotor menggunakan magnet permanen NdFeB.
2. Jumlah magnet dan besarnya fluks magnetik memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tegangan dan arus output dari generator yang dibuat.
3. Kecepatan putaran yang maksimal untuk mendapat daya output tertinggi (75 watt) adalah 320 rpm untuk rotor yang menggunakan magnet berukuran 4 x 5 cm.
4. Frekuensi yang dihasilkan pada kecepatan putaran 200 – 320 rpm untuk semua rotor magnet menghasilkan frekuensi yang sama yaitu dalam rentang 20 – 32 Hz.
5. Ukuran dimensi dan jumlah magnet yang digunakan pada rotor sangat berpengaruh pada keluaran generator.
6. Kecepatan putar sangat menentukan karakteristik dari generator listrik magnet permanen fluks aksial agar mencapai spesifikasi yang sesuai dengan penggerak generator yaitu apakah akan digunakan penggerak tenaga angin (sebagai wind power) dan atau air (micro/pico hydro).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Akbar, Maulana. 2012. Rancangan Bangun Generator Turbin Angin Axial Tiga Fasa Untuk Kecepatan Angin Rendah. Depok : Universitas Indonesia.
- [2]. Gieras, J. F, dkk. 2004. Axial Fluks
- [3]. Permanent Magnet Brushless Machines. USA : Kluwer Academic Publisher.
- [4]. Alqodri, M. F. 2015. Rancangan Bangun
- [5]. Abdul.Muti.Dkk. 2013. Determining the Air Gap Length of an Axial Flux Wound Rotor Synchronous Generator. Depok : Universitas Indonesia.
- [6]. Alam, M. F. 2013 .Simulasi Pengaruh Ketebalan Yoke Rotor, Jarak Antara Kutub dan Jenis Material Magnet Permanen Terhadap Rapat Fluks Pada Generator Sinkron Fluks Aksial. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [7]. Muljadi, Priyo Sardjono, Suprapedi, 2015, Preparation and characterization of 5 wt. persen epoxy resin bonded magnet NdFeB for micro generator application, Energy Procedia 68 pp.282 – 287; Published by Elsevier Ltd
- [8]. Prasetijo. Hari. 2014. Prototipe Generator Magnet Permanen Axial AC 1 Fasa Putaran Rendah Sebagai Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro. Puwakerto : Universitas Jendral Soedirman.



-
- [9]. Parviainen, Asko. 2005. Design of Axial Flux Permanent Magnet Low Speed Machines and Performance Comparison Between Radial Flux and Axial Flux Machines. [Tesis].Finland : Lappeenranta Univesity of Technology.
- [10]. Asko Parviainen, 2005,Design of Axial-Flux Permanent-Magnet Low-Speed Machines and Performance Comparison Between Radial-Flux and Axial-Flux Machines, Finland, hal 1-153.