

PROTOTYPE GENERATOR MAGNET PERMANEN AXIAL AC 1 FASA PUTARAN RENDAH SEBAGAI KOMPONEN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO

*Prototype of 1-Phase AC Axial Permanent Magnet Generator Low Speed as Pico
Hydro Power Plant Component*

Hari Prasetyo¹, Sugeng Walujo²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Mayjend Sungkono KM 05 Blater Purbalingga Indonesia, Telp. (0281) 6596801

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Mayjend Sungkono KM 05 Blater Purbalingga Indonesia, Telp. (0281) 6596801

¹Email : aydinhari@yahoo.com

²Email: sugengwalj@googlemail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini dirancang sebuah prototipe generator magnet permanen aksial AC 1 fasa. Generator magnet permanen dipilih karena tidak memerlukan arus eksitasi DC serta sistem pemeliharaan yang relatif mudah. Jenis magnet permanen yang digunakan adalah NdFeb (Neodymium-Iron-Boron). Generator yang dirancang bertipe double sided coreless stator. Hasil pengujian diperoleh tegangan rms sebesar 12,13 volt dengan frekuensi 50,2 Hz pada pengujian tanpa beban dan 11,93 volt dengan frekuensi 50,1 Hz pada pengujian berbeban. Beban yang digunakan yaitu 3 buah lampu pijar 24 volt 125 mA terhubung paralel.

Kata kunci : PLTPH, Generator, aksial, 1 fasa dan NdFeb

ABSTRACT

In this research designed a prototype of 1-phase AC axial permanent magnet generator. Permanent magnet generator is chosen because it does not require a DC excitation current and a relatively easy system maintenance. The type of permanent magnet used is NdFeb (Neodymium-Iron-Boron). Type of generator is designed double sided coreless stator. The result of this research obtained rms voltage of 12.13 Volt with a frequency of 50.2 Hz at no-load examination and 11.93 Volt with a frequency of 50.1 Hz at load examination. Load used is 3 pieces of incandescent lamps 24 Volt 125 mA connected parallel.

Key words : Pico Hydro Power Plant, Generator, axial, 1-phase and NdFeb.

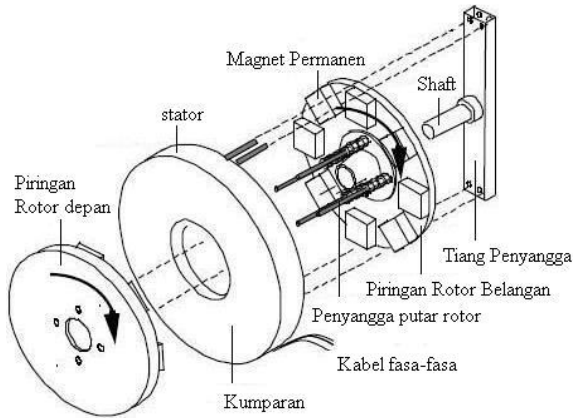
PENDAHULUAN

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. Untuk generator magnet permanen digunakan sistem penguatan sendiri. Sistem penguatan ini digunakan pada generator tanpa sikat (*brushless alternator*).

Kelebihan penggunaan magnet permanen pada konstruksi mesin listrik ini adalah (Sharma Pawan, 2011) :

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, mengurangi biaya pemeliharaan pada beberapa tipe mesin.



Gambar 1. Konstruksi generator magnet permanen

Generator ini memiliki dua komponen utama, yaitu stator dan rotor yang menentukan jenis dan karakteristik generator. Stator adalah bagian dari generator yang statis (diam atau tidak berubah). Stator berfungsi sebagai kumparan jangkar yang menghasilkan listrik saat terpotong medan magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator.

Rotor adalah bagian generator yang berputar. Rotor berfungsi sebagai kumparan medan untuk menghasilkan fluks. Digunakan dua buah rotor yang mengapit stator untuk menghasilkan fluks magnet. Untuk menghasilkan medan magnetik digunakan magnet permanen pada rotor yang dilekatkan pada piringan rotor. Dua buah rotor tersebut dihubungkan menggunakan suatu poros sebagai media putar. Antara rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara (air gap). Jumlah kutub magnet yang digunakan untuk masing-masing piringan rotor dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut (Zuhal, 1990) :

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60}$$

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

.....(1)

dengan:

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

P = Jumlah kutub rotor

f = frekuensi (Hz)

Perputaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada akhir kumparan tersebut, hal tersebut sesuai dengan persamaan (Muller, Bruce, dkk. 2008) :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$e = -N \frac{d\phi_{maks} \sin \omega t}{dt}$$

$$e = -N \cdot \omega \cdot \phi_{maks} \cdot \cos \omega t$$

$$e = -N(2\pi f) \cdot \phi_{maks} \cdot \cos \omega t$$

$$f = \frac{np}{120}$$

$$e = -N \left(2\pi \frac{np}{120} \right) \phi_{maks} \cdot \cos \omega t$$

$$E = N \left(2.3,14 \cdot \frac{np}{120} \right) \phi_{maks}$$

$$E_{eff} = \frac{E_{maks}}{\sqrt{2}} = \frac{N \left(2.3,14 \cdot \frac{np}{120} \right)}{\sqrt{2}}$$

$$e = 4,44 \frac{N \cdot p \cdot n \cdot \phi_{maks}}{120}$$

$$c = 4,44 \frac{N \cdot p}{120}$$

$$E_{eff} = C \cdot n \cdot \Phi_{maks} \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

- E_{eff} = ggl induksi (Volt)
- n = Putaran (rpm)
- N = Jumlah belitan
- f = Frekuensi (Hz)
- C = Konstanta
- Φ_{maks} = Fluks magnetik (weber)
- p = Jumlah kutub

T.F. Chan,2007 melakukan penelitian untuk membuat Generator sinkron magnet permanen axial fluks. Dimana jenis generator ini cocok digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga angin baik dengan turbin angin sumbu vertikal maupun turbin angin sumbu horizontal. Generator tersebut didesain dengan

desain rotor bagian luar yang dapat secara langsung dikopel atau dipasangkan dengan turbin angin, selain itu desain dari angker generator tanpa inti dapat menghilangkan daya tarik magnet antara bagian yang statis dengan bagian yang bergerak. Hal yang ditinjau dari desain dan konstruksi Generator sinkron magnet permanen axial fluks ini adalah mempelajari laju kerapatan fluks magnet agar dapat memprediksi besarnya nilai EMF. Secara umum hasil dari penelitian ini dapat membenarkan teori yang berkembang.

Howey pada tahun 2009 telah melakukan penelitian tentang generator listrik yaitu Generator Magnet Permanen Aksial yang diaplikasikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Piko-Hidro (PLTPH). Daya Piko Hidro sangat baik dan memiliki biaya murah untuk memproduksi listrik di negara-negara berkembang, tetapi masih ada beberapa hal yang dapat dikembangkan dari segi performansinya. Generator magnet permanen aksial banyak digunakan pada beberapa jenis mesin listrik untuk turbin angin namun masih sedikit diaplikasikan pada PLTA. Sehingga D.A. Howey melakukan penelitian penggunaan Generator Magnet Permanen Aksial pada PLTPH dapat memproduksi listrik lebih besar dari sekitar 90 % efisiensi lebih besar dari menggunakan generator sinkron dengan efisiensi sebesar 75%.

METODE PENELITIAN

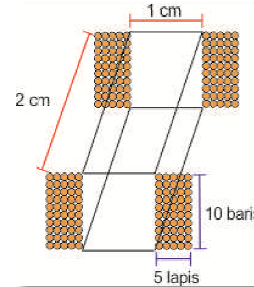
Rancang Bangun

Penelitian ini mendesai generator magnet permanen putaran rendah dengan spesifikasi tegangan 12 volt pada kecepatan 666 rpm, frekuensi 50 Hz. Sedangkan spesifikasi fisik generator magnet permanen sbb:

Tabel 1. Spesifikasi Fisik

Parameter	Nilai
Kerapatan fluks magnet	350 mT
Panjang Magnet	2 inc
Lebar Magnet	1 inc
Tebal Magnet	0.5 inc
Jumlah magnet	9 buah
Radius dalam magnet	4.8 cm
Radius luar magnet	10.2 cm
Jarakantar magnet	4.15 cm
Celah udara	3 mm
Jumlah kumparan	9 belitan & 1 belitan
Jumlah fasa	1fasa
Jumlah lilitan kumparan	50

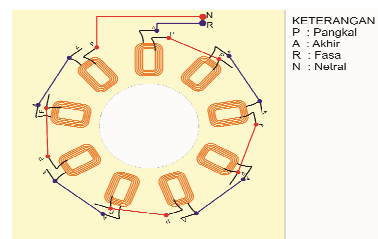
Stator terdiri dari 9 kumparan, masing-masing kumparan seperti pada gambar 2.a. tersusun dari 50 lilitan dengan dimensi pada gambar 2.b.



2.a. Kumparan stator

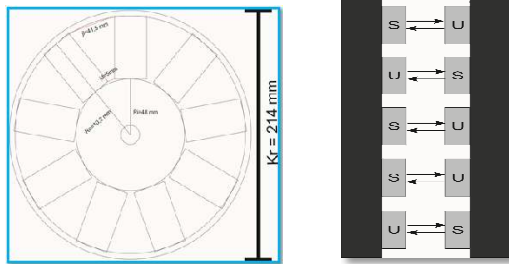
2.b. Lilitan stator

Sembilan kumparan stator dihubungkan seri seperti pada gambar 3. sehingga tegangan yang dihasilkan saling menjumlahkan.



Gambar 3. Sembilan kumparan stator

Rotor terdiri dari 9 pasang magnet permanen yang masing-masing diletakkan pada piringan rotor seperti pada gambar 4. Masing-masing pasang magnet pada kondisi kutub yang berlawanan. Gambar 5 menunjukkan rotor dari generator..



Gambar 4. Piringan rotor



Gambar 5. Rotor generator

Pengujian

Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa beban dan kondisi berbeban (Muller, Bruce, dkk. 2008). Uji tanpa beban dilakukan untuk mengetahui relasi antara kecepatan putar rotor (rpm), tegangan yang dihasilkan stator (volt) dan frekuensi generator. Sedangkan pada uji berbeban akan diketahui relasi antara

putaran stator (rpm), arus stator (A), tegangan stator dan frekuensi generator (Hz). Pengujian generator magnet permanen aksial AC 1 fasa akan dihubungkan dengan DC *Variable Speed Drive*, lalu dilakukan pengambilan data untuk besaran frekuensi, tegangan satu fasa (*line to neutral*), untuk generator tanpa beban dan faktor daya untuk generator berbeban.

HASIL DAN PEMBAHASAN

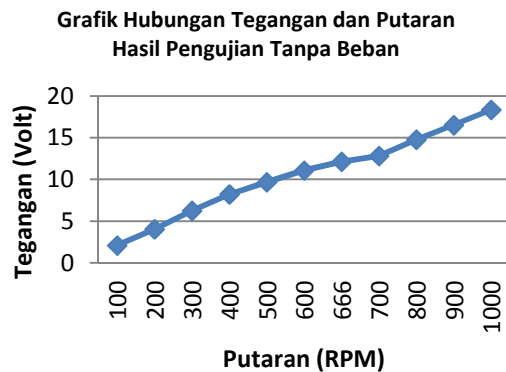
Pengujian Tanpa Beban

Dari pengujian generator tanpa beban ini diperoleh data seperti tampak pada tabel 2 berikut :

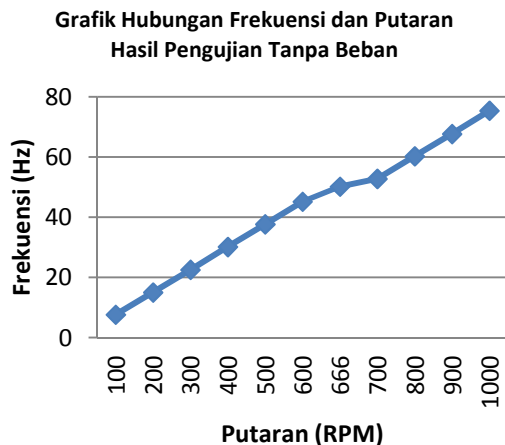
Tabel 2. Data hasil pengujian tanpa beban

Putaran(rpm)	Tegangan (volt)	Frekuensi (Hz)
100	2.1	7.7
200	4.05	15.1
300	6.26	22.6
400	8.23	30.2
500	9.67	37.7
600	11.08	45.2
666	12.13	50.2
700	12.82	52.8
800	14.78	60.3
900	16.52	67.7
1000	18.35	75.4

Pada tabel 2 tersebut tampak bahwa setiap kenaikan kecepatan 100 rpm tegangan RMS akan meningkat berkisar 1,4V-2V sedangkan frekuensi meningkat antara 7,4 Hz - 7,7 Hz. Dari tabel 2 dapat digambarkan grafik hubungan antara tegangan dan putaran serta frekuensi dan putaran pada gambar 6 dan gambar 7:



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan dan putaran pada pengujian tanpa beban



Gambar 7. Grafik hubungan frekuensi dan putaran pada pengujian tanpa beban

Pengujian Berbeban

Pengujian dilakukan pada rentang putaran antara 100 rpm sampai 1000 rpm. Pada pengujian berbeban menggunakan 3 buah lampu pijar 24 volt 125 mA yang dihubungkan paralel. Dari pengujian generator berbeban ini diperoleh data seperti tampak pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Data hasil pengujian berbeban

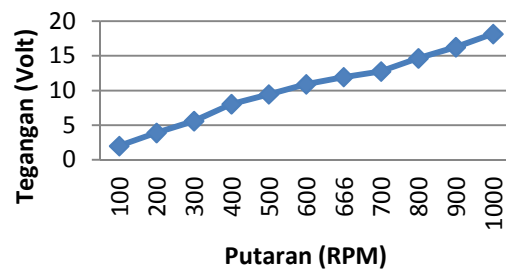
n (rpm)	V (volt)	Arus (A)	P (watt)	f (Hz)
100	2	0.08	0	7.7
200	3.9	0.11	0	15
300	5.6	0.13	1	22.3
400	8.02	0.19	1	30.1
500	9.44	0.23	2	37.6
600	10.89	0.27	3	45.1
666	11.93	0.29	3	50.1
700	12.73	0.3	4	52.6
800	14.63	0.31	4	60.2
900	16.24	0.32	5	67.5
1000	18.13	0.33	6	75.3

Dari tabel 3 tersebut dapat dilihat bahwa tegangan RMS meningkat berkisar antara 0,9 V - 2,4 Volt, arus mengalami peningkatan berkisar

antara 0,01A-0,06A, daya mengalami peningkatan yang sesuai dengan peningkatan nilai tegangan dan arus, sedangkan untuk frekuensi meningkat berkisar antara 7,5 Hz - 7,7 Hz masing-masing untuk setiap kenaikan kecepatan putaran 100 rpm. Secara umum baik tegangan maupun frekuensi mengalami penurunan dibandingkan saat tanpa beban, dikarenakan adanya arus yang mengalir ke beban sehingga timbul rugi-rugi kumparan.

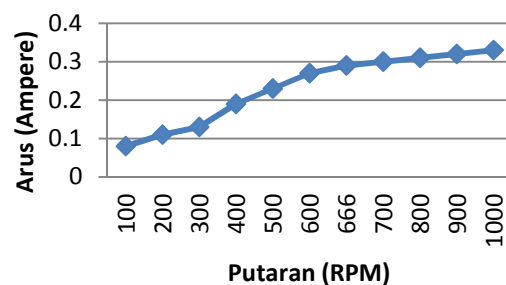
Dari table 3 dapat digambarkan grafik hubungan tegangan, arus, daya dan frekuensi dengan kenaikan kecepatan putaran hasil pengujian dengan beban pada gambar 8, 9, 10, dan 11 berikut berturut-turut merupakan :

Grafik Hubungan Tegangan dan Putaran Hasil Pengujian Berbeban

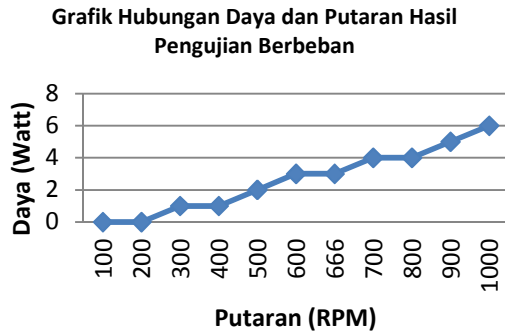


Gambar 8. Grafik hubungan tegangan dan putaran pada pengujian berbeban

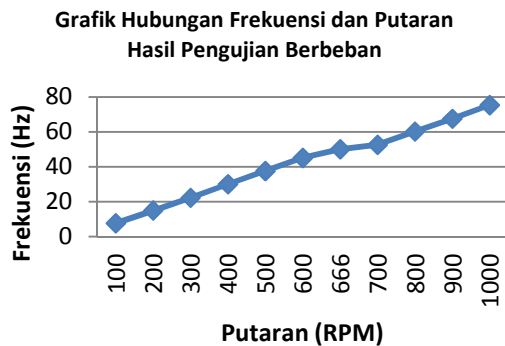
Grafik Hubungan Arus dan Putaran Hasil Pengujian Berbeban



Gambar 9. Grafik hubungan arus dan putaran pada pengujian berbeban



Gambar 10. Grafik hubungan daya dan putaran pada pengujian berbeban



Gambar 11. Grafik hubungan frekuensi dan putaran pada pengujian berbeban

KESIMPULAN

1. Penelitian ini telah berhasil membuat sebuah prototipe generator magnet permanen aksial AC 1 fasa sesuai spesifikasi yang diharapkan yaitu 12 Volt 50 Hz pada putaran 666 rpm.
2. Berdasarkan hasil pengujian tanpa beban yang dilakukan, generator dapat menghasilkan tegangan rms AC sebesar 12,13 volt dengan frekuensi 50,2 Hz, dan berdasarkan hasil pengujian dengan beban menghasilkan tegangan rms beban sebesar 11,93 volt dengan frekuensi 50,1 Hz pada kecepatan putaran generator 666 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

Chan T.F dan L.L. Lai.2007. An Axial-Flux Permanent-Magnet Synchronous

Generator for a Direct-Coupled Wind-Turbine Sistem

Howey D. A. 2009. Axial Flux Permanent Magnet Generators For Pico-Hydropower. South Kensington : Electrical Engineering Department, Imperial College.

Muller, Bruce, dkk. 2008. Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator. Pennsylvania State University

Sharma Pawan, T.S. Bhatti, K.S.S. Ramakrishnan. 2011. Permanent-Magnet Induction Generators. New Delhi: Indian Institute of Technology Delhi

Zuhal, 1990. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta : PT. Gramedia.