



Perancangan Generator Magnet Permanen Fluks Aksial pada Turbin *Crossflow* dengan Variasi *Head* dan Celah Udara

Achmad Maulana Soehada Sebayang* dan Silviana Simbolon

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: *dosen01547@unpam.ac.id

Masuk : 20 November 2019

Direvisi : 10 Desember 2019

Disetujui : 20 Desember 2019

Abstrak: Energi listrik adalah salah satu energi yang dihasilkan dari hasil konversi berbagai jenis energi utama, salah satunya adalah energi air. Potensi yang terdapat pada energi air sangatlah besar, untuk itu diperlukan sebuah mesin turbin air beserta dengan generator yang sesuai dengan sistem dari turbin air yang dirancang. Beberapa parameter penting yang dapat mengoptimalkan kinerja dari generator, salah satunya adalah jarak celah udara antara rotor dengan stator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui uji kinerja generator magnet permanen fluks aksial satu fasa menggunakan magnet NdFeB bertipe stator tunggal dengan rotor ganda. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jarak celah udara (0,004 m dan 0,006 m) dengan jumlah magnet dan kumparan yang konstan. Dalam pelaksanaan pengujian dilakukan dua tahap yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban lampu AC 9W/220V dengan kecepatan putar yang berbeda sesuai dengan putaran turbin air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran tertinggi terdapat pada kecepatan 975 Rpm dengan jarak celah udara 0,004 m yaitu 88 Volt tanpa beban dengan frekuensi 195 Hz. Sedangkan pengujian berbeban menunjukkan hasil yaitu tegangan keluaran sebesar 88 volt dengan frekuensi 124,96 Hz serta arus 0,12 ampere. Daya listrik maksimal generator fluks aksial adalah sebesar 10,56 Watt.

Kata kunci: generator NdFeB, uji kinerja, celah udara, tegangan keluaran

Abstract: Electrical energy is one of the energies produced from the conversion of various types of main energy, one of which is water energy. The potential contained in water energy is very large, for that we need a water turbine engine along with a generator that is in accordance with the system of the water turbine designed. There are several important parameters that can optimize the performance of the generator, one of which is the air gap between the rotor and the stator. This study aims to determine the performance test of a single phase axial flux permanent magnet generator using a single stator type NdFeB magnet with a double rotor. The test was carried out by varying the air gap distance (0.004 m and 0.006 m) with a constant number of magnets and coils. In the implementation of the test, two stages were carried out, namely the no-load test and the 9W / 220V AC lamp-loaded test with different rotational speeds according to the water turbine rotation. The test results show that the highest output voltage is at a speed of 975 Rpm with an air gap of 0.004 m, namely 88 volts without load with a frequency of 195 Hz. While the load test shows the results, namely the output voltage of 88 volts with a frequency of 124.96 Hz and a current of 0.12 amperes. The maximum electric power of the axial flux generator is 10.56 Watts.

Keywords: NdFeB generator, performance test, air gap, output voltage

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan adanya energi listrik kini meningkat pesat. Era globalisasi ini akan mendorong setiap individu dan perusahaan untuk terus menjaga tingkat produktivitas, kreativitas dan kualitas dari produk atau jasa yang ditawarkan. Hal ini sangat erat kaitannya dengan aplikasi teknologi yang harus selalu diiringi dengan persediaan dan pasokan tenaga listrik yang memadai. Tidak hanya pada daerah perkotaan saja, melainkan

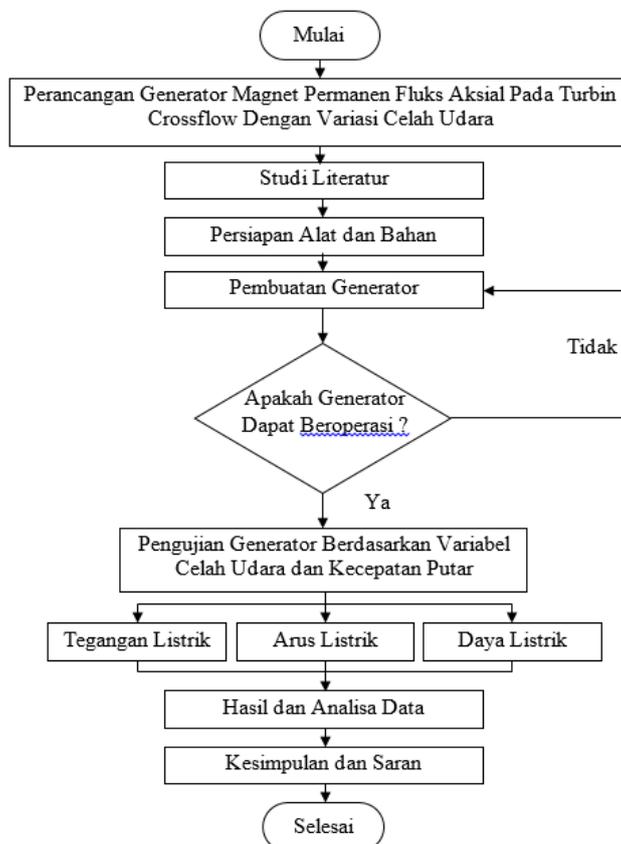
sekarang kebutuhan tersebut sudah menjamur sampai ke daerah pedesaan dan bahkan daerah yang belum terjamah sekalipun. Terlepas dari masalah transmisi dan distribusi energi listrik yang belum merata, alternatif pembangkit energi listrik yang murah dan mudah dengan tingkat efisiensi yang tinggi adalah salah satu jawaban mutlak atas permasalahan akan kebutuhan energi listrik [1]. Berbagai cara dilakukan agar kebutuhan listrik tersebut dapat terpenuhi, baik dengan cara menemukan sumber energi baru, maupun dengan pengoptimalan fungsi dan kinerja generator pembangkit listrik yang telah ada. Khususnya bagi pengembangan daerah – daerah pedesaan dan terpencil, maka adanya sumber energi alternatif dalam pembangkit energi listrik akan memegang peran penting dalam berbagai aktivitas industri dan ekonomi [2].

Untuk pembangkit energi listrik skala kecil, generator magnet permanen fluks aksial merupakan salah satu pilihan terbaik untuk pembangkit listrik dengan tenaga turbin air [3]. Hal ini disebabkan karena jumlah kutub magnet yang tinggi, densitas daya listrik yang tinggi, dan perawatan yang lebih ringan adalah karakter menarik dari generator fluks aksial [4]. Dibandingkan dengan generator fluks radial, generator ini memiliki keunggulan yaitu rasio daya per volume yang lebih besar, massa yang lebih ringan, pendigninan yang lebih baik, dan konstruksi lebih sederhana, serta kemudahan dalam meningkatkan kapasitas daya [5].

Generator fluks aksial tipe rotor ganda stator tunggal tanpa inti besi adalah salah satu jenis generator yang seringkali digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin, dalam kasus ini generator tersebut akan dikopling menggunakan puli dengan pembangkit listrik tenaga air (turbin air jenis crossflow). Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis ingin melakukan suatu penelitian secara langsung terhadap karakteristik rancangan generator yang akan dibuat dengan memvariasikan celah udara.

METODOLOGI

Metodelogi penelitian ini sesuai dengan yang tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Spesifikasi Generator Fluks Aksial

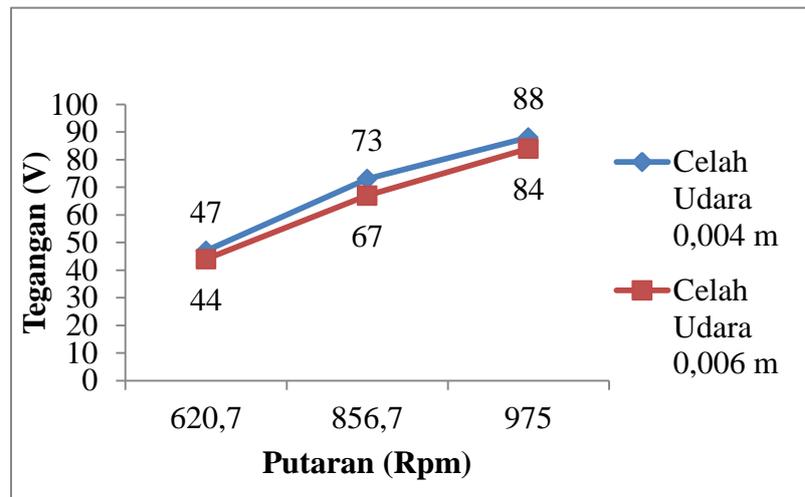
| Generator | | | |
|-----------|-------------------------|-------------------|-------------|
| No. | Parameter | Lambang | Nilai |
| 1 | Diameter luar stator | D_{so} | 0,27 m |
| 2 | Diameter dalam stator | D_{si} | 0,14 m |
| 3 | Tebal stator | T_s | 0,012 m |
| 4 | Jumlah kumparan | N_s | 12 buah |
| 5 | Jumlah lilitan | N | 360 lilitan |
| 6 | Jumlah phasa | N_{ph} | 1 phasa |
| 7 | Diameter kawat | D_k | 0,5 mm |
| 8 | Diameter luar kumparan | D_{ko} | 0,048 m |
| 9 | Diameter dalam kumparan | D_{ki} | 0,01 m |
| 10 | Tebal kumparan | T_k | 0,01 m |
| 11 | Diameter rotor | D_r | 0,22 m |
| 12 | Tebal rotor | T_r | 0,009 m |
| 13 | Jumlah magnet | N_m | 24 buah |
| 14 | Radius dalam magnet | r_i | 0,088 m |
| 15 | Radius luar magnet | r_o | 0,103 m |
| 16 | Jarak antar magnet | τ_f | 0,01 m |
| 17 | Dimensi magnet | d | 0,015 m |
| | | t atau η_m | 0,006 m |
| 18 | Kerapatan fluks magnet | B_r | 0,2 T |
| 19 | Celah udara | g_1 | 0,004 m |
| | | g_2 | 0,006 m |

Data Pengukuran tanpa beban

Tabel 2. Hasil Data Pengujian Tanpa Beban

| No. | Head (m) | Daya air (Watt) | Daya Turbin (Watt) | Tekanan <i>penstock</i> (n/m^2) | Debit air (m^3/s) | Putaran generator (Rpm) | Celah udara (m) | Tegangan listrik (V) |
|-----|----------|-----------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | 1,7 | 6,95 | 9,706014 | 27579,03 | $4,17 \times 10^{-4}$ | 620,7 | 0,004 | 47 |
| | | | | | | | 0,006 | 44 |
| 2 | 3,4 | 19,44 | 15,33 | 41368,54 | $5,83 \times 10^{-4}$ | 856,7 | 0,004 | 73 |
| | | | | | | | 0,006 | 67 |
| 3 | 5,1 | 34,72 | 19,43 | 55158,06 | $6,94 \times 10^{-4}$ | 975 | 0,004 | 88 |
| | | | | | | | 0,006 | 84 |

Pada Tabel 2. terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan kecepatan putar dari generator, dimana semakin cepat putaran generator maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Tetapi berbanding terbalik dengan jarak celah udara. Nilai tegangan tertinggi yaitu 88 volt yang terdapat pada *head* setinggi 5,1 meter, yang menghasilkan tekanan pada pipa *penstock* 55158,06 n/m² serta debit air sebesar $6,94 \times 10^{-4}$ m³/s dengan celah udara yang digunakan adalah 0,004 meter.



Gambar 2. Grafik Hubungan Pengaruh Putaran Terhadap Tegangan Listrik Tanpa Beban Dengan Variasi Celah Udara

Sedangkan nilai tegangan terendah terdapat pada *head* setinggi 1,7 meter dengan tekanan 27579,03 n/m² dan debit air $4,17 \times 10^{-4}$ m³/s yaitu sebesar 44 volt pada jarak celah udara yaitu 0,006 meter. Pada Tabel 4.4 bahwa putaran sangat berpengaruh terhadap tegangan listrik yang dihasilkan, semakin cepat suatu putaran maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Hal tersebut terlihat jelas pada Gambar 4. Besarnya tegangan berbanding terbalik dengan jarak celah udara, semakin kecil nilai celah udara maka semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan begitupun sebaliknya semakin besar nilai celah udara maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 3. Hasil Data Perhitungan Frekuensi

| No. | Putaran generator (Rpm) | Celah udara (m) | Frekuensi (Hz) |
|-----|-------------------------|-----------------|----------------|
| 1 | 620,7 | 0,004 | 124,14 |
| | | 0,006 | |
| 2 | 856,7 | 0,004 | 171,34 |
| | | 0,006 | |
| 3 | 975 | 0,004 | 195 |
| | | 0,006 | |

Berdasarkan Tabel 3 maka dapat dibuat sebuah grafik untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar generator terhadap nilai frekuensi. Dilihat dari data diatas terbukti bahwa kecepatan putar tertinggi yaitu 975 Rpm menghasilkan frekuensi berkisar 195 Hz dan terendah terdapat pada kecepatan putar 620,7 Rpm dengan nilai frekuensi 124,14 Hz. Ini sesuai dengan teori bahwa semakin besar putaran dari generator maka semakin kecil frekuensi yang dihasilkan.

Pada Tabel 4. terlihat adanya penurunan pada tegangan serta kecepatan putar generator dikarenakan beban yang diberikan menyebabkan generator bekerja lebih kuat untuk menyalurkan tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh beban lampu untuk menyala. Dimana arus yang diperlukan oleh sebuah lampu LED 9 watt adalah sebesar 0,12 ampere. Nilai tegangan listrik mengalami penurunan yang cukup besar terjadi pada *head* setinggi 3,4 meter dengan tekanan *penstock* 41368,54 n/m² serta debit air $5,84 \times 10^{-4}$ m³/s yaitu sebesar 12,3% atau sekitar 9 volt pada celah udara 0,004 m.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Dengan Beban Lampu 9 Watt

| No. | Head (m) | Tekanan penstock (n/m ²) | Debit air (m ³ /s) | Putaran generator (Rpm) | Frekuensi (Hz) | Celah udara (m) | Tegangan listrik (V) | Arus listrik (A) | Daya lampu (W) | Daya Listrik (W) | Keterangan |
|-----|----------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|------------------|----------------|------------------|------------|
| 1 | 1,7 | 27579,03 | 4,17x10 ⁻⁴ | 440,3 | 88,06 | 0,004 | 42 | 0,12 | 9 | 5,04 | Redup |
| | | | | | | 0,006 | 40 | | | 4,8 | Redup |
| 2 | 3,4 | 41368,54 | 5,83x10 ⁻⁴ | 531,4 | 106,28 | 0,004 | 64 | | | 7,68 | Nyala |
| | | | | | | 0,006 | 60 | | | 7,2 | Nyala |
| 3 | 5,1 | 55158,06 | 6,94x10 ⁻⁴ | 624,8 | 124,96 | 0,004 | 88 | | | 10,56 | Nyala |
| | | | | | | 0,006 | 84 | | | 10,08 | Nyala |

Berdasarkan Tabel 4 untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan putar terhadap nilai frekuensi. Peningkatan nilai frekuensi dikarenakan beban yang diberikan menyebabkan kecepatan putar generator meningkat sehingga frekuensi yang dihasilkan cenderung besar. Nilai maksimum frekuensi dialami pada head 5,1 meter dengan kecepatan putar berkisar 624,8 Rpm, yaitu sebesar 35,92% atau berkisar 124,96 Hz.

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Daya Turbin dan Daya Generator

| No | Daya Turbin (P _{in}) (Watt) | Putaran Generator (Rpm) | Daya Generator (P _{out}) (Watt) | | Efisiensi Generator (%) | |
|----|---------------------------------------|-------------------------|---|---------------------|-------------------------|---------------------|
| | | | Celah udara 0,004 m | Celah udara 0,004 m | Celah udara 0,006 m | Celah udara 0,006 m |
| 1 | 9,706014 | 440,3 | 5,04 | 51,92 | 49,45 | 4,8 |
| 2 | 15,33 | 531,4 | 7,68 | 50,09 | 49,96 | 7,2 |
| 3 | 19,43 | 624,8 | 10,56 | 54,34 | 51,87 | 10,08 |

Pada Tabel 5 terlihat jelas bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada Kecepatan Putar 624,8 Rpm dengan celah udara 0,004 m yaitu sebesar 54,34 %, dan nilai efisiensi terendah terdapat pada ketinggian 440,3 Rpm dengan celah udara 0,006 m yaitu sebesar 49,45 %.

KESIMPULAN

Generator fluks aksial magnet permanen telah berhasil dibuat dengan unjuk kerja, tegangan maksimal 88 volt pada kecepatan putar 975 Rpm dan jarak celah udara sebesar 0,004 mm serta dengan daya 10,56 watt. Celah udara 0,004 mm dengan kecepatan putar 975 Rpm memiliki tegangan 88 volt. Sedangkan celah udara 0,006 mm dengan kecepatan yang sama, memiliki tegangan 84 volt. Hal ini membuktikan semakin rapat celah udara maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Nilai tegangan berbeban 9 watt dengan celah udara 0,004 mm memiliki tegangan tertinggi yaitu 88 volt, arus 0,12 ampere dengan kecepatan putar 624,8 Rpm. Sedangkan tegangan terendah yaitu 42 volt, 0,12 ampere, dengan kecepatan putar 440,3 Rpm. Efisiensi generator fluks aksial mencapai 54,34 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. T.F. Chan. An Axial-Flux Permanent-Magnet Synchronous Generator for a Direct-Couple Wind-Turbine System. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.22 No. 1. 2004.
- [2]. Putra, A. Eka. 2014. Perancangan Dan Pembuatan Generator Fluks Radial Satu Fasa Menggunakan Lilitan Kawat Sepeda Motor Dengan Variasi Diameter Kawat.. Universitas Bengkulu.
- [3]. Jacek F. Gieras, Rong-jie Wang, Maarten J. Kamper. *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machine*. Kluwer Academic Publisher. New York. 2004.
- [4]. M. Sadeghirad, et al. Design Considerations of High Speed Axial Flux Permanent Magnet Generator with Coreless Stator. 2007. IPEC. 2007.
- [5]. Rossouw F.G. "Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator System For Direct battery Charging Applications" Departement of Electrical & Electronic Engineering, Stellenbosch University, Matieland, 2009.