

PENGARUH DIMENSI MAGNET PERMANEN NdFeB DAN JARAK CELAH UDARA TERHADAP KINERJA GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUKS AKSIAL SATU FASA

¹Bangun Giri Pamungkas, ²Suyitno, ³Daryanto, ⁴Perdamean Sebayang
^{1,2,3}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNJ, Jalan Rawamangun Muka, Jakarta, 13220
⁴Pusat Penelitian Fisika, LIPI, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, 15314
¹E-mail: bangun.gpamungkas@gmail.com

Abstract

The purpose of this research is to know the influence of NdFeB permanent magnet dimensions and the distance of air gap on performance of single phase axial flux permanent magnet generator. In this research using quantitative approach with experimental method. Research subjects used, namely permanent magnetic generator axial flux with two rotor samples that have different magnetic dimensions and conducted air gap variation. The research data was collected by testing without load and testing with electrical load, to know the performance values of the generator in the form of induction voltage and electric power. The results showed that the induction voltage and electric power were affected by the magnetic dimensions and the distance of the air gap. These results indicate that the rotor with a magnetic surface area of 0.0058 m² and 0.0034 m² produces an induced voltage of 91.7 and 27.1 V, as well as a power of 14 and 2.8 W. Whereas, for variations in the air gap with the rotor magnetic surface area 0.0058 m² and varied 2; 3; 4; 5; and 6 mm produces an induced voltage of 91.7; 89.0; 86.5; 80.2; and 68.5 V, and power of 14; 12; 10.9; 10.5; and 8.8 W. Thus, the use of a magnetic dimension that is larger and in accordance with the size of the coil, as well as the use of a small air gap distance will result in a better induction voltage value.

Keyword: Magnet Dimension, NdFeB, Air Gap, Performance, Axial Flux Permanent Magnet Generator, Single Phase.

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dimensi magnet permanen NdFeB dan jarak celah udara terhadap kinerja generator magnet permanen fluks aksial satu fasa. Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Subjek penelitian yang digunakan, yaitu generator magnet permanen fluks aksial dengan dua sampel rotor yang memiliki dimensi magnet berbeda dan dilakukan variasi celah udara. Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban listrik, untuk mengetahui nilai-nilai kinerja generator berupa tegangan induksi dan daya listriknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan induksi dan daya listrik dipengaruhi oleh dimensi magnet dan jarak celah udara. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada rotor dengan luas permukaan magnet 0,0058 m² dan 0,0034 m² menghasilkan tegangan induksi sebesar 91,7 dan 27,1 V, serta daya sebesar 14 dan 2,8 W. Sedangkan, pada variasi celah udara dengan rotor luas permukaan magnet 0,0058 m² dan divariasi 2; 3; 4; 5; dan 6 mm menghasilkan tegangan induksi sebesar 91,7; 89,0; 86,5; 80,2; dan 68,5 V, serta daya sebesar 14; 12; 10,9; 10,5; dan 8,8 W. Maka, penggunaan dimensi magnet yang lebih besar dan sesuai dengan ukuran kumparan, serta penggunaan jarak celah udara yang kecil akan menghasilkan nilai tegangan induksi yang lebih baik.

Kata kunci: Dimensi Magnet, NdFeB, Celah Udara, Kinerja, Generator Magnet Permanen Fluks Aksial, Satu Fasa.

PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi listrik terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahunnya. Hal tersebut terlihat dalam konsumsi energi yang dipublikasikan oleh BPPT dalam Outlook Energi Indonesia tahun 2016, bahwa dari tahun 2000-2014 konsumsi energi listrik terus mengalami peningkatan. Oleh karena itu, berbagai macam upaya dan penelitian dilakukan untuk mengembangkan teknologi pembangkitan energi listrik dalam upaya memenuhi permintaan akan kebutuhan energi listrik. Salah satu pengembangan yang muncul adalah penggunaan generator magnet permanen fluks

aksial. Pada generator ini terus dipelajari cara pengoptimalan dari kinerja yang dihasilkan generator dengan melakukan berbagai variasi pada desain generator.

Tegangan induksi sebagai salah satu bentuk kinerja generator dipengaruhi berbagai faktor dalam desain generator itu sendiri. Dalam komponen medan magnet, tegangan dipengaruhi oleh dimensi magnet dan kuat fluks magnet. Selain itu, jarak celah udara, jumlah kutub dan kecepatan putar generator juga mempengaruhi nilai tegangan yang dikeluarkan generator.

Pada tegangan induksi, dimensi magnet yang digunakan mempengaruhi besarnya luasan area

magnet. Sedangkan, pada jarak celah udara tertentu antara rotor dan stator dapat menyebabkan hilangnya sebagian fluks magnetik. Dengan jarak celah udara yang semakin besar akan menyebabkan tegangan induksi yang dibangkitkan tidak maksimal (Jacobs, 1998: 11).

Untuk daya keluaran generator, berkaitan dengan nilai tegangan induksi yang dibangkitkan dan besarnya arus. Dengan mengetahui nilai tegangan induksi dan arus saat diberi beban listrik, maka akan didapatkan nilai daya yang mampu diserap dalam kumparan pada beban listrik tersebut.

Menurut Jarekson (2011: 45), besarnya nilai tegangan generator magnet permanen fluks aksial dipengaruhi oleh luas permukaan magnet yang digunakan pada rotor. Dengan desain generator yang dibuat melalui simulasi *Finite Element Analysis*, V_{rms} maksimum yang dihasilkan oleh model dengan luas permukaan magnet $0,003325 \text{ m}^2$, yaitu sebesar $88,8 \text{ volt}$ dan perbandingan tegangan induksinya sebesar $2,27\%$ per cm^2 . Sedangkan, kapasitas ataupun efisiensi generator menurutnya tidak dipengaruhi oleh jarak antar magnet atau dimensinya.

Menurut Indriani (2015: 70), pada penelitiannya dengan melakukan variasi celah udara 1-3 mm dan putaran 1400 rpm, didapatkan nilai tegangan berurutan dari celah udara 1, 2, dan 3 mm adalah 261,3; 258,5; dan 254 volt. Sehingga, dalam penelitiannya disimpulkan bahwa pengaruh jarak celah udara magnet rotor dan kumparan stator tanpa beban dan dengan menggunakan beban pada kinerja generator sinkron (tegangan) akan semakin besar jika jarak celah udara semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh medan induksi yang dihasilkan juga semakin besar ketika jarak celah udaranya kecil.

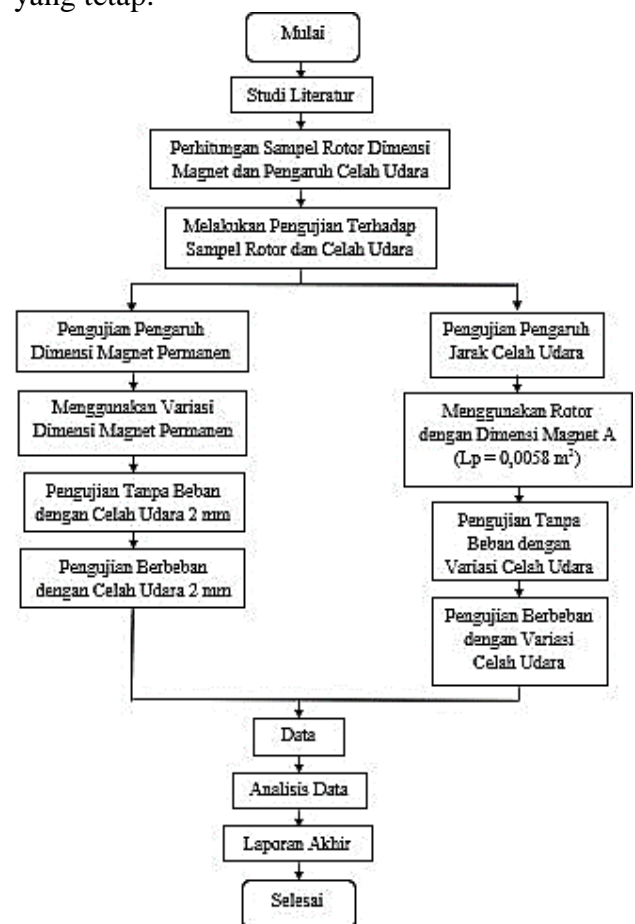
Berdasarkan beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja generator magnet permanen fluks aksial dan beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Sehingga, pada studi ini diputuskan untuk melakukan kajian mengenai pengaruh dimensi magnet permanen pada rotor dan variasi jarak celah udara antara rotor dan stator dengan pengujian terhadap kinerja-kinerja seperti yang sudah

disebutkan sebelumnya pada keluaran generator magnet permanen fluks aksial satu fasa.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Penelitian menggunakan dua sampel rotor dengan dimensi magnet yang berbeda dan sampel celah udara 2, 3, 4, 5, dan 6 mm dengan melakukan pengujian tanpa beban dan berbeban.

Penelitian menekankan pada kinerja dasar berupa tegangan dan daya yang dihasilkan generator. Pengujian pengaruh dimensi magnet terhadap kinerja dilakukan pada celah udara tetap, yaitu 2 mm dengan pengujian tanpa beban dan berbeban lampu pijar sebesar 30 Watt. Selanjutnya, pengujian pengaruh celah udara terhadap kinerja dilakukan dengan variasi 2, 3, 4, 5, dan mm dengan salah satu dimensi magnet yang tetap.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Eksperimen dilakukan dengan mengontrol faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja generator, seperti jenis magnet NdFeB dan kelas magnet yang sama sebanyak 8 kutub, kecepatan

putar ± 750 rpm serta stator 8 kumparan dengan 350 lilitan setiap kumparannya.

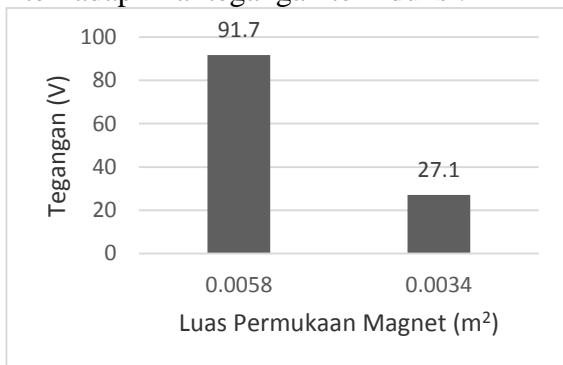
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dimensi magnet permanen NdFeB terhadap tegangan induksi generator, untuk mengetahui pengaruh dimensi magnet permanen NdFeB terhadap daya listrik generator, untuk mengetahui pengaruh jarak celah udara terhadap tegangan induksi generator, untuk mengetahui pengaruh jarak celah udara terhadap daya listrik generator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian terdiri dari 2 bagian, yaitu pengujian pengaruh dimensi magnet dan pengujian jarak celah udara. Pada pengujian pengaruh dimensi magnet, celah udara dikontrol pada 2 mm dan dimensi magnet yang digunakan adalah 2 sampel. Selanjutnya, pengujian jarak celah udara diuji pada jarak 2, 3, 4, 5, dan 6 mm dengan dimensi magnet tetap, yaitu sampel dengan luas permukaan $0,0058 \text{ m}^2$.

A. Pengujian Pengaruh Dimensi Magnet

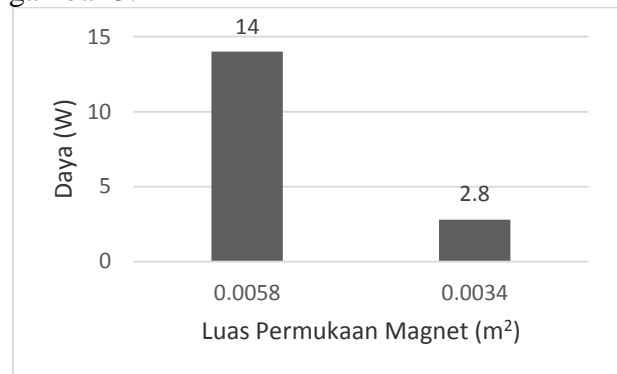
Hasil pengujian tanpa beban pada gambar 3. menunjukkan bahwa adanya pengaruh rotor 1 dengan luas permukaan magnet $0,0058 \text{ m}^2$ dan rotor 2 dengan luas permukaan magnet $0,0034 \text{ m}^2$ terhadap nilai tegangan terinduksi.



Gambar 2. Perbandingan Tegangan Induksi pada Pengaruh Dimensi Magnet

Berdasarkan gambar 2 dapat diketahui bahwa rotor yang menggunakan luas permukaan magnet $0,0034 \text{ m}^2$ menghasilkan tegangan induksi sebesar 27,1 Volt. Sedangkan, rotor yang menggunakan luas permukaan magnet $0,0058 \text{ m}^2$ menghasilkan tegangan induksi sebesar 91,7 Volt. Hal tersebut sesuai dengan persamaan 1, dan akan mempengaruhi Φ_{max} pada persamaan 3, sehingga perumusan tegangan induksi akan dipengaruhi dimensi magnet tersebut.

Untuk pengujian berbeban didapatkan perbandingan daya listrik yang digunakan untuk menyalakan lampu pijar 30 Watt seperti pada gambar 3.

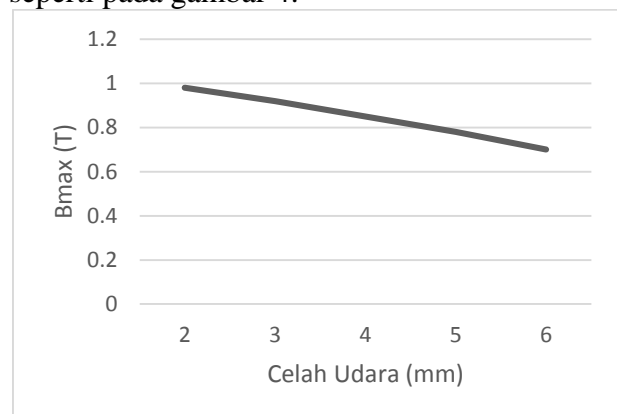


Gambar 3. Perbandingan Konsumsi Daya pada Pengaruh Dimensi Magnet

Berdasarkan gambar 3 daya listrik yang terukur pada variasi dimensi magnet dengan luas permukaan magnet $0,0058 \text{ m}^2$ dan $0,0034 \text{ m}^2$, berturut-turut adalah 14,0 Watt dan 2,8 Watt. Perbandingan tersebut menyatakan bahwa terdapat pengaruh besarnya dimensi magnet terhadap besarnya daya yang dihasilkan. Semakin besar dimensi magnet yang digunakan, daya yang dapat diserap juga semakin besar, karena tegangan induksinya juga lebih besar.

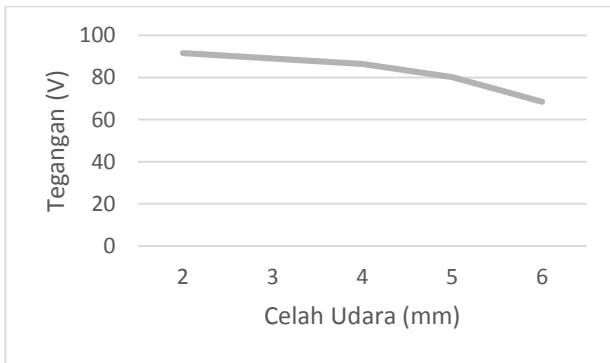
B. Pengujian Pengaruh Jarak Celah Udara

Saat pengujian tanpa beban menggunakan dimensi magnet dengan luas permukaan $0,0058 \text{ m}^2$ didapatkan grafik pengukuran kerapatan fluks pada celah udara 2, 3, 4, 5, dan 6 mm seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Kerapatan Fluks di Celah Udara

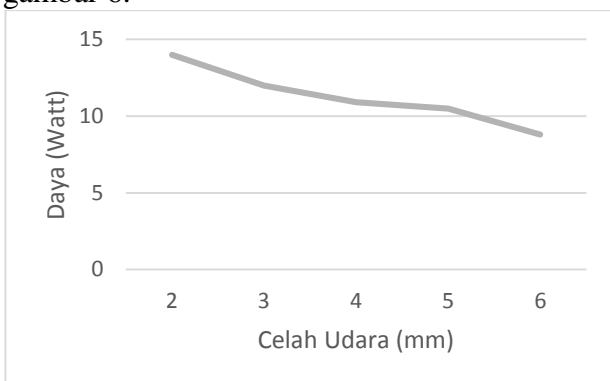
Kerapatan fluks pada celah udara 2, 3, 4, 5, dan 6 mm berurutan mengalami penurunan dalam garis grafiknya. Pada gambar 5. juga didapatkan grafik pengukuran tegangan induksi terhadap variasi celah udara.



Gambar 5. Tegangan Induksi di Celah Udara

Berdasarkan gambar 5. tegangan induksi pada variasi celah udara 2, 3, 4, 5, dan 6 mm berturut-turut, yaitu 91,7; 89; 86,4; 80,1; dan 68,5 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh jarak celah udara antara rotor dan stator terhadap tegangan induksi yang dihasilkan generator. Berkurangnya nilai kerapatan fluks magnet pada celah udara tertentu terjadi karena apabila menggunakan celah udara yang semakin besar, maka akan menyebabkan meningkatnya sebagian fluks yang menyebar ke arah luar melalui celah udara tersebut. Hal tersebut sesuai dengan persamaan 2, dan akan mempengaruhi Φ_{max} pada persamaan 3, sehingga perumusan tegangan induksi dipengaruhi dimensi magnet.

Untuk pengujian berbeban didapatkan perbandingan daya listrik yang digunakan untuk menyalakan lampu pijar 30 Watt seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Konsumsi Daya di Celah Udara

Daya listrik yang terukur pada variasi celah udara 2, 3, 4, 5, dan 6 mm berturut-turut, yaitu 14,0; 12,0; 10,9; 10,5; dan 8,8 Watt. Perbandingan tersebut menyatakan bahwa terdapat pengaruh jarak celah udara terhadap besarnya daya yang dihasilkan. Semakin besar celah udara yang digunakan, daya yang dapat diserap akan semakin kecil.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Besarnya dimensi magnet yang digunakan pada rotor dapat mempengaruhi besarnya nilai tegangan terinduksi yang dihasilkan generator. Pada pengujian tanpa beban dengan rotor yang memiliki luas permukaan $0,0058 \text{ m}^2$ menghasilkan tegangan induksi 3 kali lebih besar dibandingkan dengan sampel dengan luas permukaan magnet $0,0034 \text{ m}^2$.
2. Dimensi magnet juga mempengaruhi daya keluaran dari generator. Dari hasil pengujian dengan beban lampu pijar 30 Watt, rotor yang memiliki luas permukaan magnet $0,0058 \text{ m}^2$ memberikan daya listrik 5 kali lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan magnet $0,0034 \text{ m}^2$.
3. Lebarnya jarak celah udara memiliki pengaruh terhadap besarnya tegangan yang terinduksi. Pada pengujian tanpa beban dengan rotor yang memiliki luas permukaan $0,0058 \text{ m}^2$ terjadi penurunan nilai tegangan sekitar 5,8 V setiap penambahan 1 mm celah udara.
4. Jarak celah udara juga mempengaruhi daya yang terserap oleh beban. Pada pengujian berbeban lampu pijar 30 W dengan rotor yang memiliki luas permukaan $0,0058 \text{ m}^2$ terjadi perbandingan rata-rata 1 W setiap perubahan 1 mm celah udara.

Saran

1. Untuk menentukan dimensi magnet yang akan digunakan, disarankan untuk melakukan perhitungan luas permukaan dengan persamaan
$$A_m = \frac{\pi(r_0^2 - r_1^2) - \tau f(r_0 - r_1) N_m}{N_m}$$
 Persamaan tersebut terbukti akan mempengaruhi tegangan induksi generator, sehingga dapat digunakan untuk merencanakan pemilihan dimensi magnet pada generator fluks aksial.
2. Untuk menghasilkan daya yang lebih besar, sebaiknya gunakan dimensi magnet yang lebih besar, karena dapat memperbesar daya yang dihasilkannya.
3. Dalam perencanaan generator, disarankan untuk menggunakan celah udara dengan jarak yang sekecil mungkin, sehingga dapat memaksimalkan nilai tegangan induksi generator.

4. Penggunaan jarak celah udara yang kecil akan memaksimalkan daya listriknya, karena sebagian fluks magnet yang menyebar ke arah luar sistem generator akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan penggunaan celah udara yang lebih lebar.

DAFTAR PUSTAKA

- BPPT. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016*. Jakarta: BPPT.
- Chapman, Stephen J. 2005. *Electric Machinery Fundamentals, 4th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Fitzgerald, A. E, dkk. 1981. *Dasar-Dasar Elektro Teknik Jilid 1*. Terjemahan oleh Silaban, Pantur. 1981. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Gieras, Jacek F., Rong-Jie Wang & Maarten J. Kamper. 2004. *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machine*. New York: Kluwer Academic Publisher.
- Indriani, Anizar. 2015. *Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial*. ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, 9:62-71.
- Jacobs, Gerrit. 1998. *Performance of Two Permanent Magnet Generator For Use with Small Windchargers*. Eindhoven: RED Renewable Energy Development vof.
- Jarekson, Ramadhan. 2011. *Studi Jarak Antar Rotor Magnet Permanen Pada Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Aksial Tanpa Inti Stator*. [Skripsi]. Depok: Universitas Indonesia.
- Theraja, B. L. dan A. K. Theraja. 2005. *A Textbook of Electrical Technology Volume I Basic Electrical Engineering*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd.