

# **Desain Generator Sinkron Magnet Permanen Jenis Neodymium Iron Boron Untuk PLTB Daya 500 Watt Menggunakan Perangkat Lunak MagNet Infolytica**

***Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator with Neodymium Iron Boron Type for Wind Turbine 500 Watt Using MagNet Infolytica***

**Muhammad Irsyadul Umami<sup>1</sup>, I Made Ari Nrartha<sup>2</sup>, Teti Zubaidah<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas mataram, NTB

<sup>1</sup>[irsyad.umami@gmail.com](mailto:irsyad.umami@gmail.com), <sup>2</sup>[nrartha@te.ftunram.ac.id](mailto:nrartha@te.ftunram.ac.id), <sup>3</sup>[tetizubaidah@te.ftunram.ac.id](mailto:tetizubaidah@te.ftunram.ac.id)

## **ABSTRAK**

Potensi energi angin di Indonesia sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Generator sinkron magnet permanen (PMSG) merupakan salah satu komponen utama dari PLTB. Sebelumnya desain PMSG dilakukan dengan cara *trial and error* dan menggunakan magnet permanen jenis Ceramic. Dengan berkembangnya teknologi, PMSG dapat didesain menggunakan perangkat lunak, begitu juga dengan penggunaan magnet permanen yang mulai menggunakan material Neodymium Iron Boron. Penelitian ini mendesain PMSG menggunakan perangkat lunak MagNet Infolytica untuk kapasitas 500 Watt, dengan magnet permanen jenis Neodymium Iron Boron menghasilkan tegangan *output* sebesar 224,96 Volt DC, arus *output* sebesar 2,24 Ampere DC dengan tahanan 100  $\Omega$ , daya *output* sebesar 507,8 Watt, dan torsi *cogging* sebesar 0,16 Nm. Apabila dibandingkan desain yang sama namun menggunakan material Ceramic menghasilkan tegangan *output* sebesar 49,36 Volt DC, arus *output* sebesar 2,24 Ampere DC dengan tahanan 22  $\Omega$ , daya *output* sebesar 112,90 Watt, dan torsi *cogging* sebesar 0,013 Nm.

**Kata kunci :** MagNet Infolytica, Generator Sinkron Magnet Permanen, Neodymium Iron Boron, Ceramic.

## **ABSTRACT**

*The potential of wind energy in Indonesia is very large to be utilized as a Wind Turbine. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is one of the main components of Wind Turbine. Previously, PMSG is designed with trial and error and using permanent magnet of Ceramic material. With the development of technology, PMSG can be designed using software, as well as the use of permanent magnet Neodymium Iron Boron material. This research designed PMSG using MagNet Infolytica for 500 Watt capacity, with Neodymium Iron Boron material permanent magnet resulting in output voltage of 224.96 Volt DC, output current of 2.24 Ampere DC with resistance of 100  $\Omega$ , output power of 507.8 Watt, and cogging torque of 0.16 Nm. If compared to the same design but using Ceramic material resulting in output voltage of 49.36 Volt DC, output current of 2.24 Ampere DC with resistance of 22  $\Omega$ , output power of 112.90 Watts, and cogging torque of 0.013 Nm.*

**Keywords :** MagNet Infolytica, Permanent Magnet Synchronous Generator, Neodymium Iron Boron, Ceramic.

## **PENDAHULUAN**

Pemanfaatan energi terbarukan dapat menjadi solusi untuk membantu memenuhi penyediaan energi listrik di masyarakat, seperti penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu pada daerah-daerah yang memiliki potensi angin. Daerah dengan kecepatan angin rendah dapat memanfaatkan generator sinkron magnet permanen 500 Watt sebagai penghasil listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

Generator sinkron magnet permanen memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan generator induksi, bentuknya yang lebih sederhana membuat generator magnet permanen menjadi lebih rapi, ringan, dan tersusun padat. Penggunaan magnet permanen Neodymium Iron Boron mulai menggantikan magnet permanen Ceramic dikarenakan kemampuan Neodymium Iron Boron lebih baik daripada kemampuan Ceramic

dimana magnet permanen pada Neodymium Iron Boron lebih tinggi dari Ceramic.

Perangkat lunak yang digunakan mendesain generator sinkron magnet permanen adalah perangkat lunak MagNet Infolytica. Perangkat lunak MagNet Infolytica mampu menganalisa hasil desain generator yang telah dibuat

Prinsip kerja generator sinkron dengan generator sinkron magnet permanen sesungguhnya tidak jauh berbeda. Penggunaan magnet permanen menghasilkan medan magnet yang tetap sehingga tidak memerlukan pencatuan arus searah untuk menghasilkan medan magnet. Sedangkan fluks diperoleh dari magnet permanen yang telah diberikan perlakuan khusus sehingga arah garis-garis gaya magnet keluar dari kutub magnet secara radial atau axial. Generator ini juga memiliki konstruksi umum yang sama yaitu memiliki lilitan stator sebagai tempat terjadinya induksi elektromagnetik, rotor tempat meletakkan magnet

permanen sebagai sumber medan magnet, dan celah udara sebagai tempat mengalirnya fluks udara dari rotor ke stator.

Magnet permanen merupakan material yang memiliki banyak manfaat terutama dalam bidang konversi energi, yaitu digunakan untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik maupun sebaliknya. Magnet permanen jenis Neodymium Iron Boron menjadi bahan yang paling baik dari bahan-bahan magnet permanen lainnya. Neodymium Iron Boron mempunyai nilai fluks remanen yang paling besar dibandingkan bahan feromagnetik yang lain.

Terdapat beberapa rumus yang digunakan untuk membandingkan hasil *output* dari generator sinkron magnet permanen, adapun rumus-rumus tersebut adalah :

### Desain Rangkain Magnet

Menghitung luas area magnet per kutub ( $S_m$ ) :

$$S_m = \pi \cdot \frac{D_i + D_a}{2} \cdot \frac{1}{p} \cdot L_h \quad (m^2)$$

Menghitung luas ekuivalen gap ( $S_g$ ) :

$$S_g = \pi \cdot \frac{D_i + D_c}{2} \cdot \frac{N_c}{N_s} \cdot L_a \quad (m^2)$$

Menghitung koefisien permeance ( $P_c$ ) :

$$P_c = \frac{L_m \cdot S_g}{\sigma_g \cdot S_m} \cdot \frac{k_f}{k_r}$$

Menghitung kemiringan kurva demagnetisasi ( $\mu_r$ ) :

$$\mu_r = \frac{B_r}{H_c} \cdot \frac{10^7}{4\pi}$$

Menghitung nilai kerapatan fluks di titik pengoperasian generator ( $B_d$ ) :

$$B_d = \frac{P_c \cdot B_r}{P_c + \mu_r} \quad (T)$$

Menghitung kerapatan fluks dalam celah udara ( $B_g$ ) :

$$B_g = \frac{B_d \cdot S_m}{k_f + S_g} \quad (T)$$

Menghitung kerapatan fluks dalam celah udara rata-rata ( $B_g'$ ) :

$$B_g' = \frac{2}{\pi} \cdot B_g \quad (T)$$

Jumlah fluks efektif yang melalui air gap ke koil ( $\Phi_g$ ) :

$$\Phi_g = B_g \cdot S_g \quad (Wb)$$

Jumlah fluks efektif rata-rata ( $\Phi_g'$ ) :

$$\Phi_g' = \frac{2}{\pi} \cdot \Phi_g \quad (Wb)$$

### Desain Kumparan Stator

Menghitung luas lubang slot ( $A_s$ ) :

$$A_s = \pi \frac{D_e^2 - D_c^2}{4} \cdot \frac{1}{N_s} - L_{tg} \cdot L_t - \frac{\pi D_e - L_{tg} \cdot N_s}{N_s} \cdot L_t \\ - L_w \cdot \frac{D_e - D_c - 2 \cdot L_t}{2} \quad (m^2)$$

Menghitung luas area slot ( $A_o$ ) yang dapat terisi oleh lilitan :

$$A_o = A_s \cdot \frac{S_f}{100} \quad (m^2)$$

Menghitung jumlah lilitan ( $N_t$ ) yang dapat diisi dalam slot :

$$\frac{N_t}{2} = \frac{A_s}{\frac{\pi \cdot (d \cdot 10^{-3})^2}{4}}$$

### Mengitung Tegangan Output 3 Fasa Generator Sinkron Magnet Permanen

$$q = \frac{N_s}{p \cdot n_{ph}}$$

$$K_w = \frac{1}{q} \cdot \frac{\sin(\pi/6)}{\sin(\pi/6 \cdot q)}$$

$$E_{ph} = 4,44 \cdot f \cdot N_c \cdot k_w \cdot k_s \cdot \Phi \cdot \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (Volt)$$

$$E_{ll} = E_{ph} \cdot \sqrt{3} \quad (Volt)$$

### Menghitung Torsi Generator Sinkron Magnet Permanen

$$\omega = \frac{n \cdot 2\pi}{60} \quad (rad/sec)$$

$$K_e = \frac{V_{dc}}{\omega}$$

$$K_t = K_e$$

$$T = K_t \cdot I \quad (Nm)$$

### Menghitung Daya pada Generator Sinkron Magnet Permanen

$$P_{in} = T \cdot \omega \quad (Watt)$$

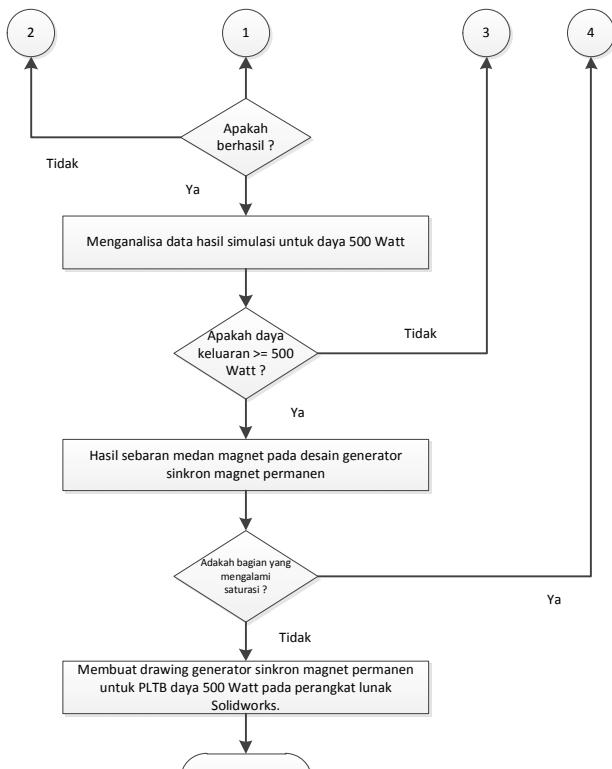
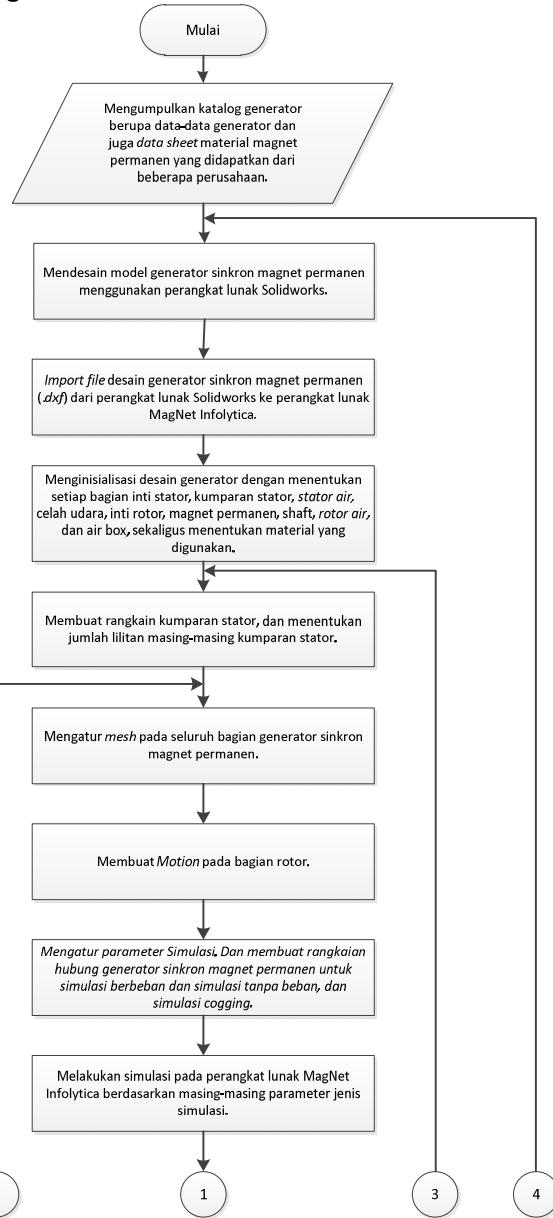
$$P_{out} = V \cdot I \quad (Watt)$$

## METODE PENELITIAN

## Langkah-langkah Mendesain Generator Sinkron Magnet Permanen

1. Mengumpulkan Katalog Generator Berupa Data Generator Dan *Data Sheet* Material Magnet Permanen Yang Didapatkan Dari Beberapa Perusahaan
2. Membuat Desain Generator Sinkron Magnet Menggunakan Perangkat Lunak Solidworks
3. Melakukan Inisialisasi Desain Generator Sinkron Magnet Permanen Pada Perangkat Lunak Magnet Infolytica
4. Membuat Rangkaian Kumparan Stator
5. Mengatur *Mesh*
6. Membuat Motion Bagian Rotor
7. Mengatur parameter Simulasi
8. Membuat Rangkaian Simulasi

## Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

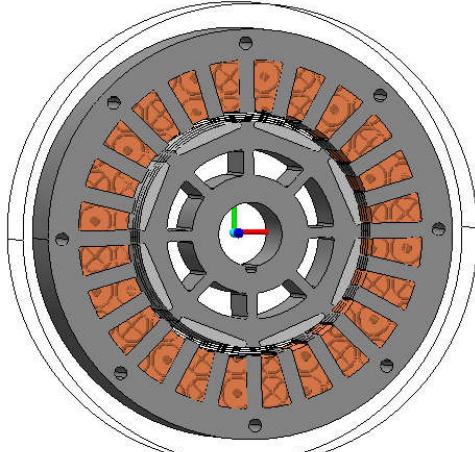
### Desain Generator Sinkron Magnet Permanen

Tabel 1. Dimensi generator sinkron magnet permanen

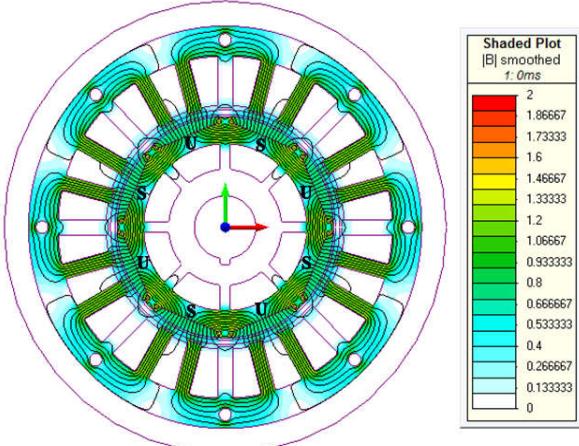
No.	Dimensi	Unit	Nilai
1.	Jumlah slot ( $N_s$ )	-	24
2.	Jumlah pole ( $N_p$ )	-	8
3.	Diameter dalam magnet ( $D_a$ )	mm	79
4.	Diameter luar stator ( $D_b$ )	mm	160
5.	Diameter dalam stator ( $D_c$ )	mm	95
6.	Diameter luar rotor ( $D_d$ )	mm	88
7.	Diameter dalam lubang slot ( $D_e$ )	mm	136
8.	Diameter luar magnet ( $D_i$ )	mm	88
9.	Tebal inti stator/rotor ( $L_a$ )	mm	50
10.	Panjang magnet ( $L_h$ )	mm	28
11.	Tebal magnet ( $L_m$ )	mm	4,5
12.	Tinggi <i>umbrella</i> ( $L_t$ )	mm	20,5
13.	Jarak antar slot ( $L_{tg}$ )	mm	6,51
14.	Lebar <i>teeth</i> ( $L_w$ )	mm	6

15.	Celah udara ( $\sigma_g$ )	mm	3,5
-----	----------------------------	----	-----

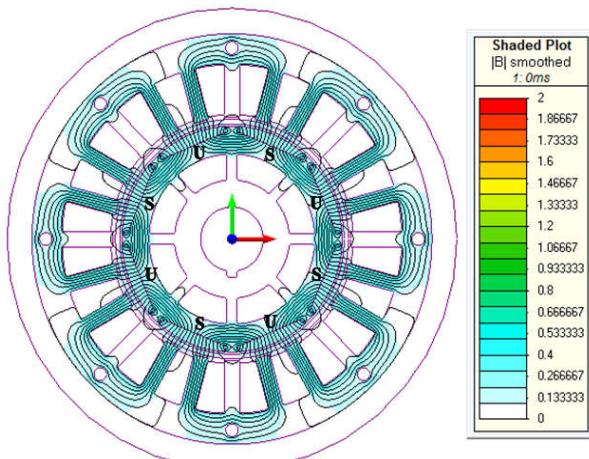
Tabel 1 merupakan data dimensi generator sinkron magnet permanen. Generator sinkron magnet permanen yang didesain adalah generator dengan 24 slot dan 8 pole. Dari data dimensi tersebut menghasilkan generator sinkron magnet permanen pada Gambar 2.



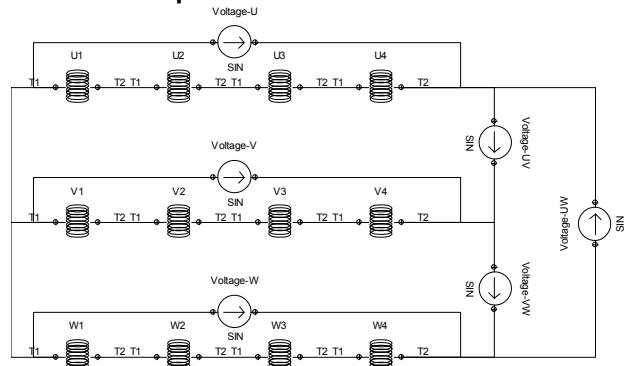
Gambar 2. Generator sinkron magnet permanen



Gambar 3. Medan magne pada Neodymium Iron Boron

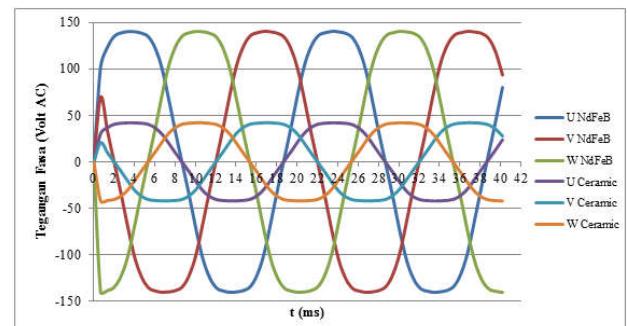


Gambar 4. Medan magnet pada Ceramic Simulasi Tanpa Beban



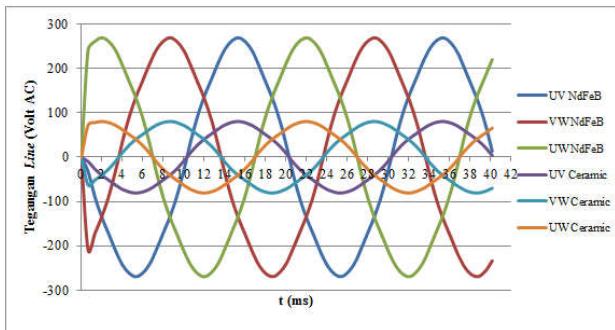
Gambar 5 Rangkaian simulasi tanpa beban

Gambar 5 merupakan rangkaian simulasi tanpa beban pada simulasi generator sinkron magnet permanen, dengan hasil simulasi berupa tegangan fasa dan juga tegangan line.



Gambar 6. Tegangan fasa

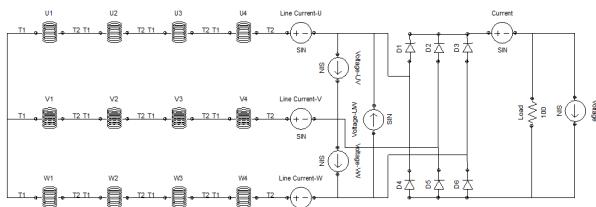
Gambar 6 merupakan tegangan fasa yang dihasilkan oleh generator sinkron magnet permanen dengan tegangan fasa sebesar 140,38 Volt AC, dengan desain yang sama namun dengan magnet permanen Ceramic menghasilkan tegangan fasa sebesar 42,08 Volt AC.



Gambar 7. Tegangan Line

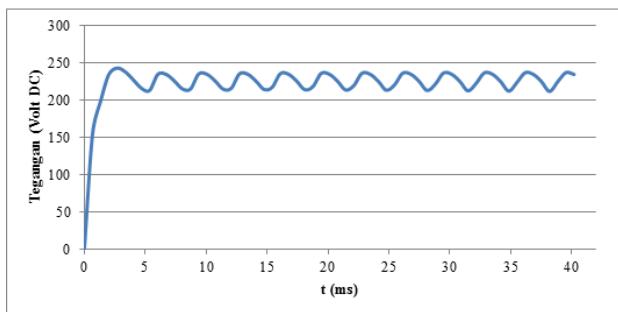
Gambar 7 merupakan grafik tegangan *line* generator sinkron magnet permanen dengan tegangan *line* sebesar 269,72 Volt AC, dan dengan desain yang sama namun dengan magnet permanen jenis Ceramic menghasilkan tegangan *line* sebesar 80,83 Volt AC.

### Simulasi Berbeban

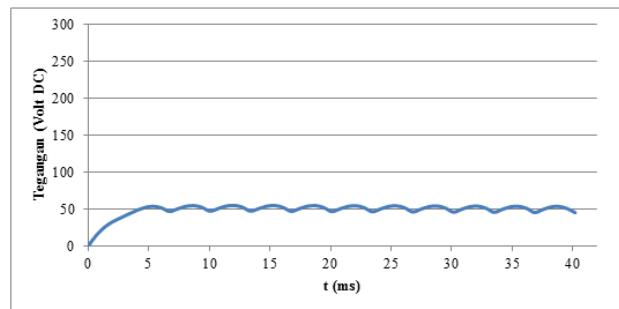


Gambar 8. Rangkaian simulasi berbeban

Gambar 9 merupakan rangkaian simulasi berbeban pada simulasi generator sinkron magnet permanen, dengan hasil simulasi berupa tegangan DC, arus DC, torsi, dan daya setelah disearahkan menggunakan penyearah gelombang penuh 3 fasa.

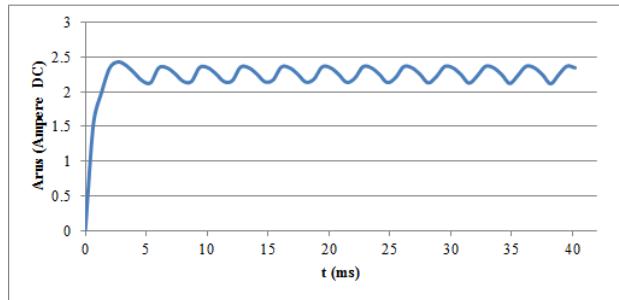


Gambar 6. Tegangan DC pada Nrodymium Iron Boron

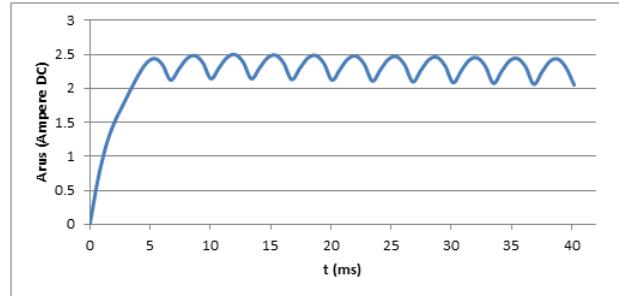


Gambar 7. Tegangan DC pada Ceramic

Tegangan DC yang dihasilkan oleh generator sinkron magnet permanen sebesar 224,96 Volt DC seperti Gambar 6, adapun dengan desain yang sama namun dengan magnet permanen jenis Ceramic menghasilkan tegangan sebesar 49,36 Volt DC seperti Gambar 7.

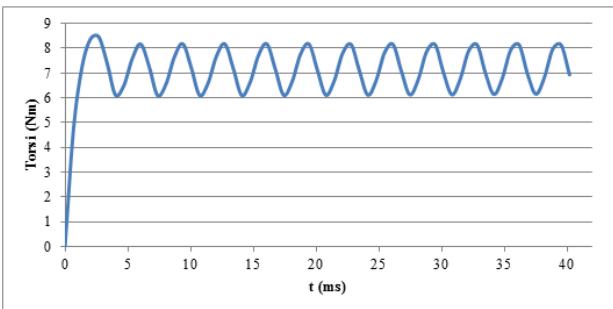


Gambar 8. Arus DC pada Neodymium Iron Boron

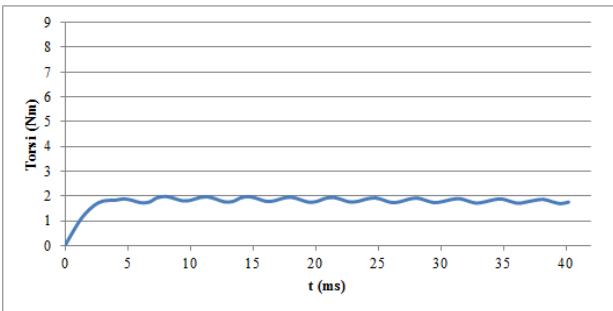


Gambar 9. Arus DC pada Ceramic

Arus DC yang dihasilkan oleh generator sinkron magnet permanen sebesar 2,24 Ampere DC dengan tahanan sebesar  $100\Omega$  seperti Gambar 8, adapun dengan desain yang sama namun dengan magnet permanen jenis Ceramic menghasilkan arus DC sebesar 2,24 Ampere DC dengan tahanan  $22\Omega$  seperti Gambar 9.

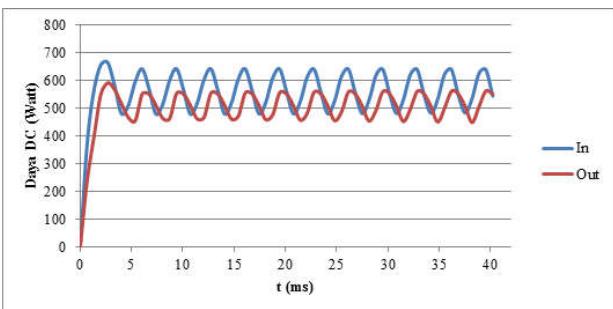


Gambar 10. Torsi pada Neodymium Iron Boron

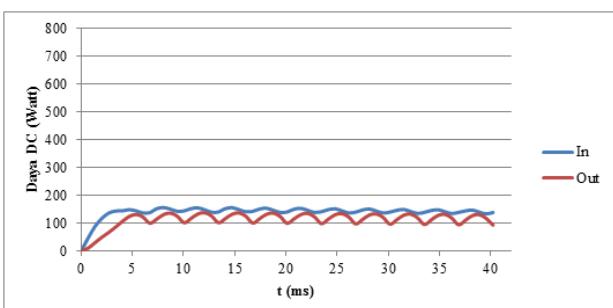


Gambar 11. Torsi pada Ceramic

Torsi yang butuhkan oleh generator sinkron magnet permanen sebesar 7,17 Nm seperti Gambar 10, dan dengan desain yang sama namun dengan magnet permanen jenis Ceramic torsi yang dibutuhkan oleh generator sinkron magnet permanen sebesar 1,79 seperti Gambar 11.



Gambar 12. Daya pada Neodymium Iron Boron



Gambar 13. Daya pada Ceramic

Daya *input* yang dihasilkan oleh generator sinkron magnet permanen sebesar 563,37 Watt dan

dengan daya *output* sebesar 507,80 Watt, dan dengan desain yang sama namun dengan magnet permanen jenis Ceramic menghasilkan daya *input* sebesar 140,86 Watt dengan daya *output* sebesar 112,90 Watt.

### Kesimpulan

- Desain generator sinkron magnet permanen memiliki jumlah slot 24 dan pole 8 menggunakan magnet permanen Neodymium Iron Boron mampu menghasilkan daya 500 Watt.
- Hasil simulasi generator sinkron magnet permanen pada simulasi tanpa beban didapatkan tegangan fasa sebesar 140,38 Volt AC dan tegangan *line* sebesar 269,72 Volt AC. Pada simulasi berbeban dengan beban  $R$  sebesar  $100 \Omega$  didapatkan tegangan DC rata-rata sebesar 224,96 Volt DC, arus DC rata-rata sebesar 2,24 Amp DC, daya *output* sebesar 507,8 Watt, torsi sebesar 7,17 Nm, dan juga torsi *cogging* sebesar 0,16 Nm.
- Apabila dibandingkan desain yang sama namun menggunakan material Ceramic, pada simulasi tanpa beban didapatkan tegangan fasa sebesar 42,08 Volt AC dan tegangan *line* sebesar 80,83 Volt AC. Untuk mendapatkan nilai arus 2,24 Ampere digunakan beban sebesar  $22 \Omega$  pada simulasi berbeban, dengan tegangan DC rata-rata sebesar 49,36 Volt DC, dengan daya *output* sebesar 112,90 Watt, torsi sebesar 1,79 Nm, dan torsi *cogging* sebesar 0,013 Nm.

### Saran

- Dalam perancangan generator sinkron magnet permanen yang menggunakan perangkat lunak MagNet Infolytica dibutuhkan laptop dengan spesifikasi yang lebih tinggi dari laptop yang digunakan oleh penulis untuk mempercepat waktu simulasi.
- Perangkat lunak MagNet Infolytica yang digunakan merupakan perangkat lunak *trial edition*, sehingga untuk mengetahui harmonisasi dan untuk mereduksi *cogging* dengan teknik skewing dibutuhkan perangkat lunak MagNet Infolytica yang memiliki lisensi.
- Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah simulasi 2 dimensi yaitu hanya mendapatkan hasil pada permukaan depan. Sehingga sudah dapat mewakili untuk seluruh bagian generator sinkron magnet permanen. Untuk mendapatkan hasil lebih maksimal dapat melakukan simulasi 3 dimensi yaitu pada seluruh bagian generator sinkron magnet permanen.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alqodri, M.F., 2015, *Rancang Bangun Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet*

- Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius*, Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015, Volume IV Oktober 2015, ISSN : 2339-0654.
- Anam, M.C., 2017, *Perancangan Generator 100 Watt Menggunakan Software Elektromagnet Infolytica*, Jurnal Kinetik, Vol. 2 No.1 Februari 2017, ISSN : 2503-2259.
- Anonim, 2014, *Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin*, Lentera Angin Nusantara, Ciheras, Jawa Barat.
- Azka, M., 2013, *Analisis Perancangan dan Simulasi Generator Sinkron Magnet Permanen dengan Rotor Berlubang*, Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Boylestad, R., dan Nashelsky, L., 1998, *Electronic Devices And Circuit Theory, Seventh Edition*, Prentice Hall, Upper Saddle River New Jersey Columbus.
- Chapman, S.J., 2005, *Electric Machinery Fundamentals, 4th edition*, McGraw-Hill, New York.
- Datasheet, AC and DC Motors, Advanced Power for Commercial or Recreational Vehicles or Lifts, Catalogue, Advanced Motors & Drives*, New York, [www.nidec.com](http://www.nidec.com).
- Datasheet, 2014, Brushless DC Motors, Brushless DC Motors for Industrial Use A6E Series, Catalogue, Nidec Corporation, Japan*, [www.nidec.com](http://www.nidec.com).
- Datasheet, Ferrite Magnets / Ceramic Magnets Datasheet, Eclipse Magnetics Ltd, England*, [www.eclipsemagnetics.com](http://www.eclipsemagnetics.com).
- Datasheet, Neodymium Iron Boron Datasheet, Eclipse Magnetics Ltd, England*, [www.eclipsemagnetics.com](http://www.eclipsemagnetics.com).
- Datasheet, Wire Size & Current Rating (A) Guide, J.S.T.(U.K.) Ltd., England, UK*, [www.jst.co.uk](http://www.jst.co.uk).
- Fitzgerald, A.E.. Kingsley, C., and Umans, S.D., 2003, *Electric Machinery, 6th edition*, McGraw-Hill, New York.
- Hanselman, D.C., 2006, *Brushless Permanent Magnet Motor Design, Second Edition*, Magna Physics Publishing, Motorsoft Division of Fisher Electric Technology, Ohio, USA.
- Hendershot JR, J.R., and Miller, T., 1994, *Design Of Brushless Permanent Magnet Motors*, Magna Physics Publishing and Oxford University Press, New York, USA.
- Kenjo, T., and Nagamori, S., 1985, *Permanent-Magnet and Brushless DC Motors*, Oxford University Press, New York.
- Lander, C.W., 1993, *Power Electronics, 3rd edition*, McGraw-Hill, Singapore.
- Putra, A.E., 2014, *Perancangan Dan Pembuatan Generator Fluks Radial Satu Fasa Menggunakan Lilitan Kawat Sepeda Motor Dengan Variasi Diameter Kawat*, Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Rashid, M.H., 2001, *Power Electronics Handbook*, Academic Press, California, USA.
- Rahmat, M.H., 2017, *Potensi Pengembangan PLTB di Indonesia*, Diakses tanggal 17 Januari 2018. <http://setkab.go.id/potensi-pengembangan-pltb-di-indoensia>.
- Simanjuntak, P.A., 2014, *Perancangan Motor/Generator dengan Software Magnet, Modul Pembelajaran*, Lentera Angin Nusantara, Ciheras, Jawa Barat.



**Muhammad Irsyadul Umami**,  
Lahir di Selong pada tanggal 03 Mei 1994. Menempuh pendidikan Program Strata (S1) di Fakultas Teknik Universitas Mataram sejak tahun 2013.