

**ANALISA BACK EMF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR 12
SLOT 8 POLE $\frac{1}{4}$ MODEL MENGGUNAKAN SOFTWARE MAGNET INFOLYTICA
7.5.**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh :

HELMI MURFID ZUHDI

D 400 150 064

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA BACK EMF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR 12
SLOT 8 POLE ¼ MODEL MENGGUNAKAN SOFTWARE MAGNET INFOLYTICA
7.5.**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh :

HELMI MURFID ZUHDI

D400150064

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing



Aris Budiman, S.T., M.T.

NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA BACK EMF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR 12
SLOT 8 POLE ¼ MODEL MENGGUNAKAN SOFTWARE MAGNET INFOLYTICA
7.5.**

OLEH

HELMI MURFID ZUHDI

D400150064

**Telah dipertahankan di depan dewan penguji
Fakultas Teknik Program studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Jum'at, 30 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji :

**1. Aris Budiman, S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)**

(.....)

**2. Umar, S.T., M.T.
(Anggota Dewan Penguji I)**

(.....)

**3. Agus Supardi, S.T., M.T.
(Anggota Dewan Penguji II)**

(.....)

Dekan,



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIK. 892

PERNYATAAN

Dengan dibuatnya publikasi ilmiah ini saya menyatakan bahwa naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat pendapat atau karya yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis yang diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila suatu hari nanti terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan yang saya buat, maka saya siap untuk mempertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 30 Juli 2021

Penulis,



Helmi Murfid Zuhdi

D400150064

ANALISA BACK EMF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR 12 SLOT 8 POLE $\frac{1}{4}$ MODEL MENGGUNAKAN SOFTWARE MAGNET INFOLYTICA 7.5

Abstrak

Generator tidak memerlukan eksitasi awal untuk pembangkitan dengan menggunakan permanent magnet. Menggunakan permanent magnet synchronous generator pada pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah satu opsi terbaik. Induksi yang menghasilkan *back EMF* akan timbul apabila medan magnet bergerak sesuai dengan arah putarannya. Penelitian ini membahas tentang bagaimana menganalisa nilai *back EMF* yang dihasilkan oleh permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole $\frac{1}{4}$ model. Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah dengan melakukan *Solve transient 2D with motion* menggunakan software MagNet Infolytica 7.5. Dengan memutar setiap 3° yang memerlukan waktu 0,005 milidetik akan diketahui rata-rata tegangan yang dihasilkan dari PMSG 12 slot 8 pole sebesar 18,346 volt.

Kata Kunci : Permanent magnet synchronous generator, back EMF, medan magnet

Abstract

The generator does not require initial excitation for generation using a permanent magnet. Using permanent magnet synchronous generators in wind power plants is one of the best options. Induction that produces back EMF will occur when the magnetic field moves according to the direction of rotation. This study discusses how to analyse the back EMF value generated by the 12 slot 8 pole $\frac{1}{4}$ permanent magnet synchronous generator model. The method used in this research is to perform 2D transient solve with motion using Magnet Infolytica 7.5 software. By rotating ever 3° which takes 0,005 milliseconds, it will be known that the average voltage generated from the PMSG 12 slot 8 pole is 18,346 volts.

Keywords : Permanent magnet synchronous generator, back EMF, magnetic field

1. PENDAHULUAN

Generator merupakan komponen penting pada pembangkit listrik. Generator merupakan rancangan mesin listrik yang dapat mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Medan magnet akan berputar sesuai dengan arah putaran ketika generator mendapatkan putaran dari luar yang kemudian mengakibatkan terjadinya induksi elektromagnetik pada kumparan.

Angin adalah satu dari sumber energi terbarukan yang pemanfaatannya dapat digunakan untuk memutar generator. Walau demikian, banyak faktor yang dapat mempengaruhi pergerakan angin, misalnya cuaca, suhu lingkungan, ketinggian pada permukaan laut, dan lain-lain. Faktor ini yang menyebabkan naik-turunnya pergerakan angin.

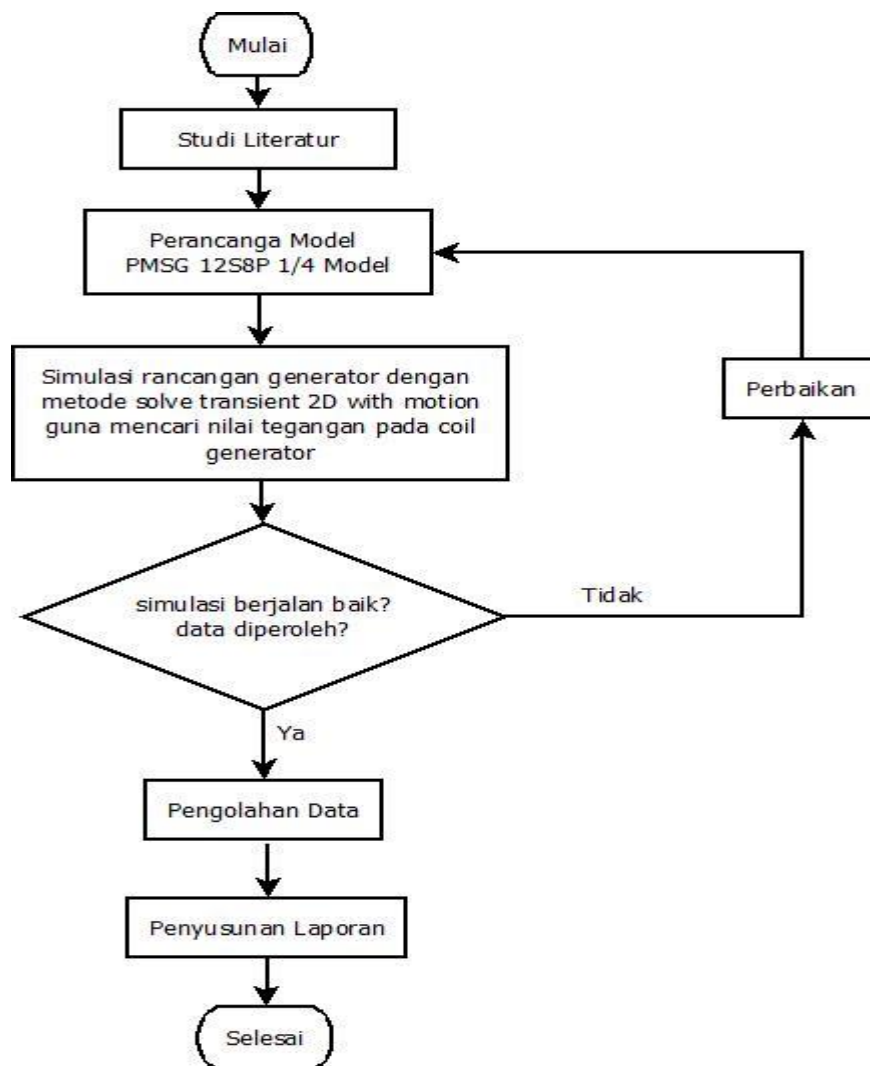
Penggunaan permanent magnet synchronous generator (PMSG) adalah pilihan terbaik pada suatu system pembangkit listrik tenaga bayu atau angin karena generator tidak memerlukan eksitasi awal dengan memanfaatkan permanent magnet.

Pada posisi tertentu, permanent magnet dapat menghasilkan medan magnet yang menyebar ke kumparan, stator dan rotor yang merupakan inti besi dari generator. Kerapatan medan magnet menyebar sesuai terhadap luas penampang yang kemudian dapat menghasilkan fluks magnetik. Dari fluks magnetik ini akan dapat dianalisa berapa nilai *back EMF/back electromotive force* dengan memanfaatkan fluks magnetik sebagai inputan.

Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan bagaimana cara mendapatkan dan menganalisa nilai *back EMF* pada sebuah *permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole 1/4* model.

2. METODE

Perancangan penelitian ini berisi tentang tahap yang dilakukan berdasarkan garis besar pelaksanaan penelitian. Garis besar pelaksanaan penelitian dapat dilihat dari rangkaian flowchart berikut :



Gambar 1. Flowchart penelitian

Berdasarkan pada gambar 1. Yang dapat dilakukan pertama kali adalah dengan mencari studi literatur untuk mengetahui dimensi dari generator yang dirancang dan mengetahui sifat mekanik dan elektrik dari bahan yang digunakan. Material yang digunakan pada magnet digunakan magnet jenis neodymium dan pada inti besi adalah silicon steel, material ini didapat dari PT. Lentera Bumi Nusantara (LBN). Generator dirancang menggunakan *software MagNet infolytica 7.5*. Setelah generator dirancang, kemudian pengujian dilakukan untuk melihat terjadinya kesalahan atau error pada rancangan generator. Apabila hasil pengujian masih salah, maka akan diperbaiki atau dilakukan perancangan ulang dari awal. Namun jika hasil uji rancangan sudah sesuai, maka rancangan generator dapat diuji menggunakan variabel berupa melakukan putaran setiap 3° sampai 90° untuk mendapatkan data berupa *back EMF*. Setelah melakukan analisa masalah dan didapatkan keseluruhan data, maka data dapat diolah dan dianalisa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permanent magnet synchronous generator merupakan salah satu mesin listrik yang memanfaatkan induksi elektromagnetik yang timbul akibat pertemuan magnet dengan konduktor. Permanent magnet synchronous generator mendapatkan putaran dari luar sebagai pemutar rotor yang mengakibatkan :

- a. Rapatana meda magnet

Rapatan medan magnet merupakan rapatan yang terdapat pada area dari sebuah material.

$$B = \mu \cdot H \quad (1)$$

Dengan :

B = rapatan medan magnet (T)

μ = permeabilitas magnet (H/m)

H = intensitas magnet (A/m)

- b. Fluks Magnetik

Fluks magnetik merupakan jumlah medan magnet yang melewati luas penampang tertentu.

$$\phi = B \cdot A \quad (2)$$

Dengan :

ϕ = fluks magnetik (Wb)

A = luas penampang (m²)

c. Flux Linkage

Flux linkage merupakan jumlah fluks melalui atau melewati sebuah lilitan kumparan.

$$\lambda = N\phi \quad (3)$$

Dengan :

λ = flux linkage

N = banyak lilitan pada kumparan

d. Percepatan Sudut

Percepatan sudut adalah laju perubahan kecepatan pada posisi sudut terhadap waktu. Pada rotor dalam generator, percepatan sudut dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$e = \frac{d\theta m}{dt} \quad (4)$$

Dengan :

ωm = kecepatan sudut mekanik (rad/s)

θm = posisi sudut rotor (rad)

t = waktu (s)

e. Kecepatan Sudut Elektrik

Banyaknya magnet yang mempengaruhi suatu sudut elektrik pada rancangan generator.

$$\omega e = \left(\frac{P}{2}\right) \cdot \omega m \quad (5)$$

Dengan :

P = banyak magnet

ωe = kecepatan sudut elektrik (rad/s)

f. Posisi sudut elektrik

Posisi sudut mekanik juga dapat dipengaruhi oleh banyaknya magnet yang pada generator.

$$\theta e = \left(\frac{P}{2}\right) \cdot \theta m \quad (6)$$

Dengan :

θe = posisi sudut elektrik (rad)

g. Back Electromotive Force/Back EMF

Berdasarkan hukum faraday, tegangan dihasilkan ketika fluks berubah yang menciptakan gaya gerak listrik/GGL. Induksi terjadi pada setiap kumparan yang memiliki nilai densitas sama apabila kumparan sangat rapat.

$$e = \frac{d\lambda}{dt} \quad (7)$$

Dengan :

$$e = \text{back emf (v)}$$

Gaya gerak listrik induksi yang dipengaruhi kecepatan putar dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$e = \frac{d\lambda}{dt}$$

$$e = \left(\frac{d\lambda}{d\theta_e} \right) \cdot \left(\frac{d\theta_e}{dt} \right)$$

$$e = \left(\frac{d\lambda}{d\theta_e} \right) \cdot \omega_e$$

$$e = \left(\frac{N \cdot d\phi}{d\theta_e} \right) \cdot \omega_e$$

$$e = \left(\frac{N \cdot dB \cdot A}{d\theta_e} \right) \cdot \omega_e$$

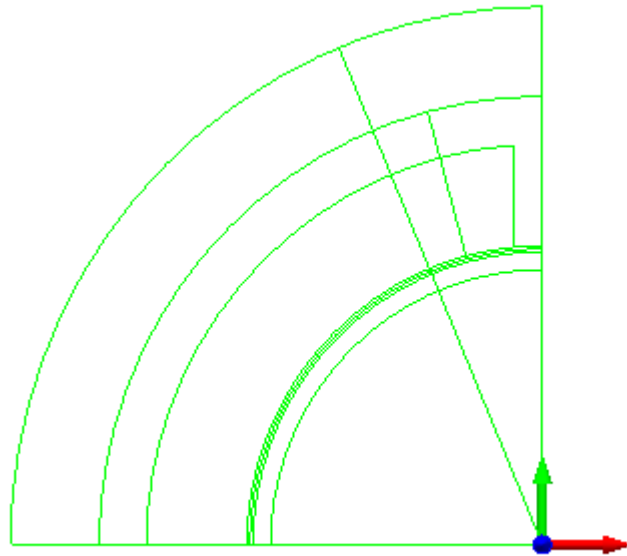
$$e = \left(\frac{2 \cdot N \cdot dB \cdot A}{P \cdot d\theta_m} \right) \cdot \omega_e$$

$$e = \left(\frac{2 \cdot N \cdot dB \cdot A}{P \cdot d\theta_m} \right) \cdot \left(\frac{P}{2} \right) \cdot \omega_m$$

$$e = \left(\frac{N \cdot dB \cdot A \cdot \omega_m}{P \cdot d\theta_m} \right) \quad (8)$$

3.1 Desain generator

Generator dirancang dengan perhitungan mulai dari magnet, stator, rotor dan lain-lain. Rancangan generator disimulasikan menggunakan *software MagNet infolytica 7.5* yang berbasis Finite Elemen Metode (FEM), berikut rancangan $\frac{1}{4}$ model *permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole* beserta komponen-komponennya.

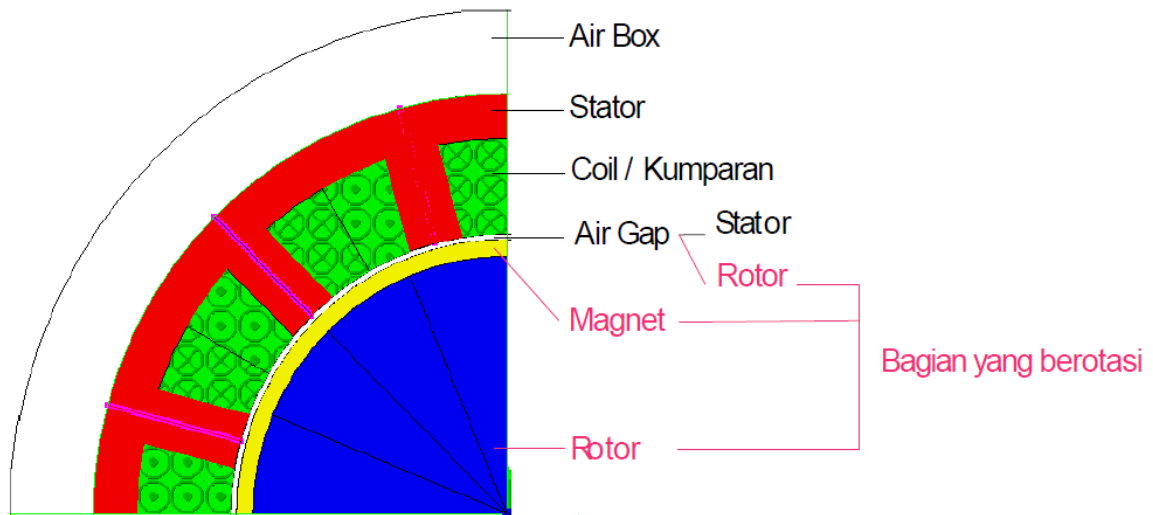


Gambar 2. Garis ¼ model

Gambar 2. Adalah garis yang diperlukan untuk menempatkan komponen pada PMSG 12 slot 8 pole ¼ model. Bahan dan parameter yang digunakan dalam perancangan generator dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 1. Bahan dan parameter pada generator

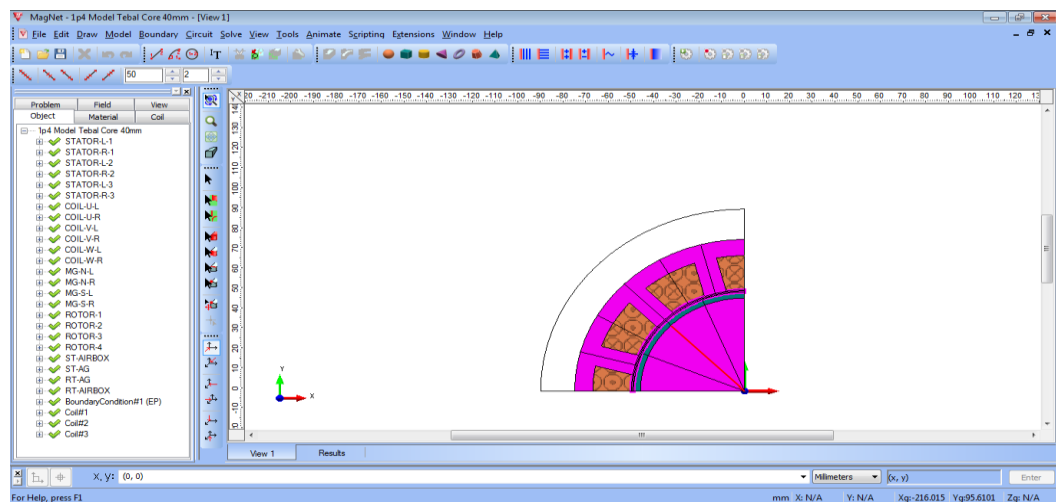
Bahan	Parameter
<i>Slots/Poles</i>	12/8
Stator	150/120 mm
Rotor	100 mm
<i>Stack Length</i>	40mm
<i>Coil Spec</i>	1.00 mm/100 lilitan
Material Inti Besi	Silicon Steel
Material Magnet	PM 12 : Br 1.2 Mur 1.0



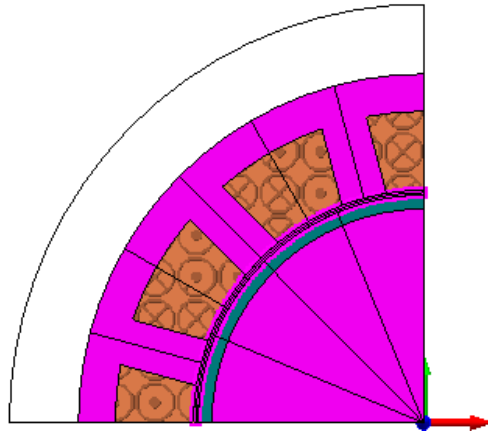
Gambar 3. Komponen utama generator

3.2 Analisa PMSG 12 slot 8 pole $\frac{1}{4}$ model

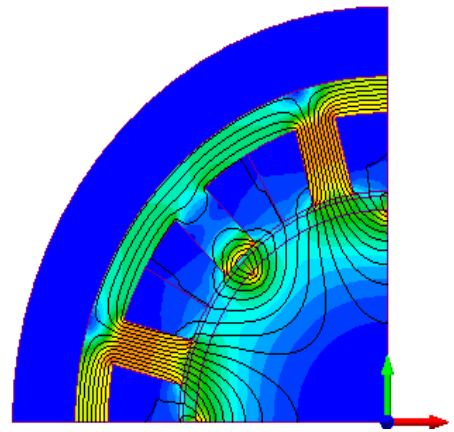
Generator 12 slot 8 pole 3 fasa $\frac{1}{4}$ model dirancang menggunakan *software MagNet Infolytica 7.5*. Perancangan generator ini guna memperoleh data keluaran dan efisiensi generator yang terjadi setiap 360° per 3° .



Gambar 4. Tampilan utama *software MagNet Infolytica 7.5*



Gambar 4.a. *Permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole ¼ model*



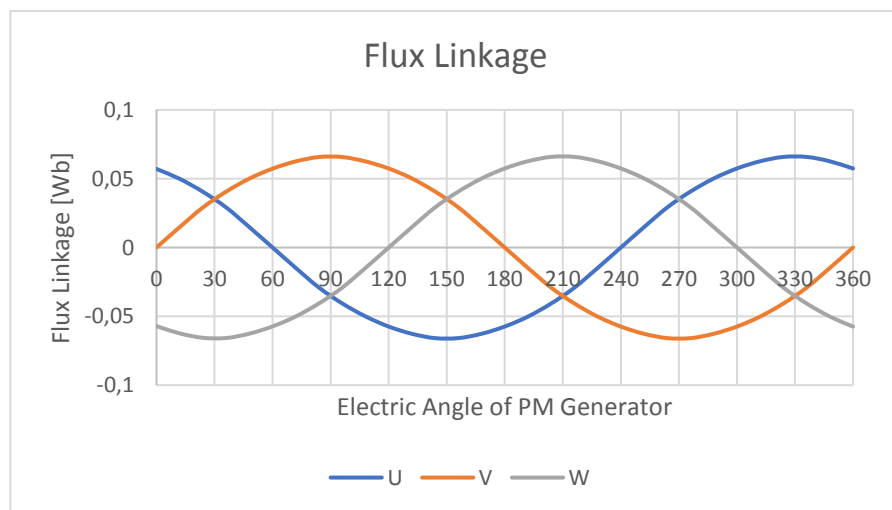
Gambar 4.b. *Flux linkage*

Gambar 4.a merupakan hasil perancangan PMSG 12 slot 8 pole ¼ model dan 4.b merupakan kerapatan fluks yang dihasilkan dari *solve static 2D* dan menunjukkan bahwa kerapatannya akan semakin tinggi bila warna yang dihasilkan semakin berwarna merah.

3.3 Hasil simulasi pada *software MagNet Infolytica 7.5*

Grafik di bawah adalah hasil simulasi menggunakan metode *solve static 2D* pada rancangan PMSG 12 slot 8 pole ¼ model:

a. Flux linkage

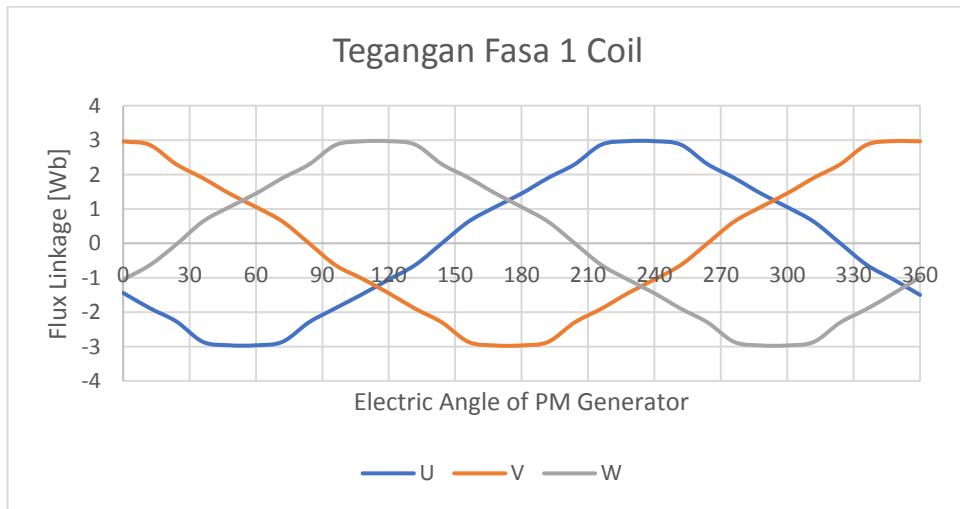


Gambar 5. Grafik nilai *flux linkage*

Gambar 5. Merupakan grafik aliran tegangan pada setiap kumparan U, V, dan w yang dihasilkan pada PMSG 12 slot 8 pole ¼ model yang diperoleh dari metode *solve static 2D*

dengan simulasi putar setiap 3° sampai 90° pada rotor. Data fluks magnetik yang diperoleh diatas digunakan sebagai input untuk mendapatkan nilai back EMF.

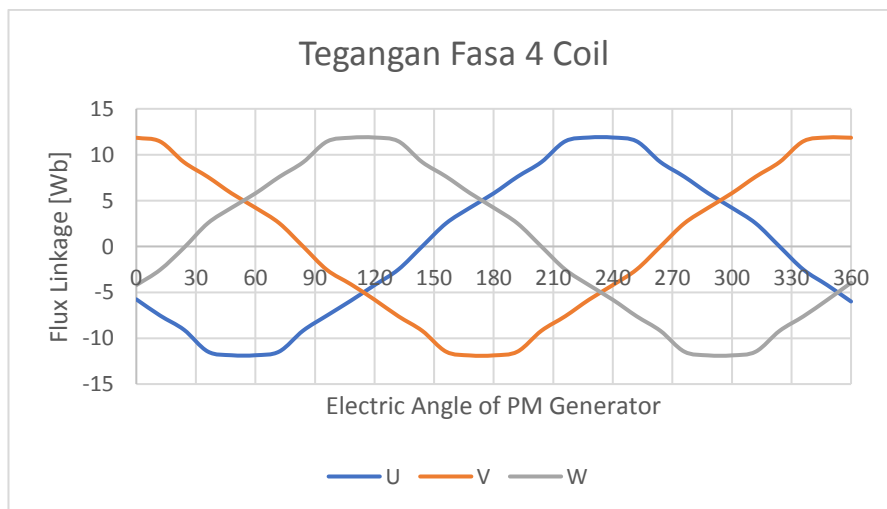
b. Tegangan fasa 1 coil



Gambar 6. Grafik tegangan fasa 1 coil

Gambar 6. Merupakan nilai tegangan fasa satu coil yang diperoleh dari pengurangan data *flux linkage* sebelum dengan sesudah dirotasikan yang kemudian dibagi dengan rentang waktu yang dibutuhkan untuk memutar setiap 3° , yang diketahui rentang aktu yang dibutuhkan adalah 0,5 detik atau 0,005 milidetik.

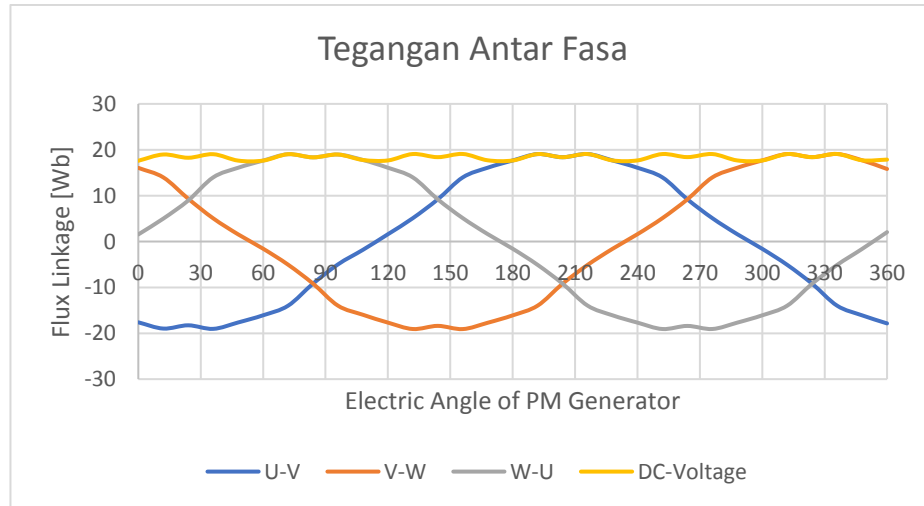
c. Tegangan fasa 4 coil



Gambar 7. Grafik tegangan fasa 4 coil

Gambar 7. Merupakan nilai tegangan dari full model PMSG 12 slot 8 pole yang diperoleh dari menyierikan $\frac{1}{4}$ model sebanyak 4 kali, yang pada kesempatan ini data yang diperoleh dari grafik di atas adalah hasil dari tegangan fasa satu coil dikali 4.

d. Tegangan antar fasa dan DC-voltage



Gambar 8. Grafik tegangan antar fasa dan dc-voltage

Gambar 8. Merupakan nilai tegangan yang didapat dari pengurangan pada tegangan coil dari tegangan fasa 4 coil yang mana garis biru adalah pengurangan dari tegangan coil U dengan tegangan coil V, garis merah adalah pengurangan dari tegangan coil V dengan tegangan coil W, dan garis jingga adalah pengurangan dari tegangan coil W dengan tegangan coil U. Sedangkan garis kuning merupakan nilai dc-voltage yang didapat dari mencari nilai mutlak pada tegangan antar fasa.

Analisa di atas merupakan serangkaian data beda potensial yang melewati generator akibat dari perubahan fluks magnetik. Dengan memanfaatkan fluks linkage sebagai inputan back EMF dapat diketahui nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan dari PMSG 12S8P adalah 18,346 Volt.

4. PENUTUP

Berdasarkan Analisa hasil *back emf permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole 1/4 model* menggunakan *software MagNet infolytica 7.5*, dapat disimpulkan bahwa :

- Permanent magnet shynchroous generator* dirancang $\frac{1}{4}$ model uang kemudian di uji simulaisi dengan memutar rotor generator setiap 3° hingga 90° guna mengetahui nilai masukan dan keluaran model generator.
- Kecepatan putaran memerlukan waktu untuk memutar rotor dan akan berbeda jika suatu rotor mendapatkan kecepatan yang berbeda pula.
- Nilai back EMF akan berbeda jika mendapatkan putaran yang berbeda.

- d. Untuk memutar rotor setiap 3° memerlukan waktu sebanyak 0,5 detik atau 0,005 milidetik.
- e. Tegangan rata-rata yang dihasilkan dari generator magnet permanen 12 slot 8 kutub di atas adalah 18,346 volt.

PERSANTUNAN

Alhamdulillahirobbil'alamiin dan terimakasih penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, inayah, ilmu, dan kemudahan kepada penulis dan teman-teman seperjuangan penulis hingga dapat menyelesaikan tugas akhir di semester ini. Tak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Sriyono dan Ibu Supadmini yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi, dan selalu menemani penulis hingga detik ini.
2. Keluarga besar yang sudah membantu dan mendo'akan.
3. Bapak Aris Budiman, S.T., M.T. yang senantiasa memberikan motivasi, inovasi, dan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Umar, S.T., M.T, sebagai ketua program studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Bapak, Ibu dosen dan jajaran pengurus program studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
6. Bang Ricky Elson dan Tim Lentera Bumi Nusantara, yang dengan sabar memberikan bimbingan serta motivasi yang menjadikan penulis banyak belajar hingga terciptalah tugas akhir ini.
7. Ahmad Maulana Soedjanaatmadja yang dengan sabar menemani Tim Gerombolan Anak Solo (GAS).
8. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro yang telah membantu, menemani, dan selalu memberikan semangat serta motivasi selama masa perkuliahan berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Maulana S. 2019. "Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Back Emf Pada Permanent Magnet Synchronous Generator". Politeknik Negeri Jakarta.
- Fitzgerald. A.E, Kingsley Jr. Charles, Umans. Stephen. 2003. Electric Machinery (sixth edition). New York. McGraw-Hill.
- Duane Hanselman. 2006. Brushless Permanent Magnet Motor Design (second edition). Ohio. Magna physics Publishing.
- Tim Penulis Lentera Bumi Nusantara. 2015. "Tutorial Perancangan Motor Dengan Software MagNet", Lentera Bumi Nusantara. Tasikmalaya, Jawa Barat.

J. Chapman. 2012. *Electric Machinery Fundamentals* (fifth edition). New York. MCGraw-Hill.

Yudi Presetio. 2019. “Analisa Perbandingan Bahan Material MagNet Dalam Pemodelan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 12 Slot 8 Kutub Dengan Menggunakan Finite Element Method (FEM) Software”. Universitas Muhammadiyah Surakarta.