

## Pengaruh Variasi Tebal Magnet Terhadap Nilai Back EMF dan Ke pada Pemodelan PMSG 12S8P

Rohmad Mucharom<sup>1✉</sup>, Bayu Aji Saputro<sup>2</sup>, Velyn Resvia Dhena<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

### Informasi Artikel

#### Riwayat Artikel

**Diserahkan** : 07-12-2022

**Direvisi** : 18-12-2022

**Diterima** : 23-12-2022

### Kata Kunci:

PMSG, Generator, Back EMF, Tebal Magnet, 12S8P.

### Keywords :

PMSG, Generator, Back EMF, Thick Magnet, 12S8P.

### ABSTRAK

Penggunaan energi baru terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia untuk mewujudkan energi bersih ramah lingkungan. Pembangkit listrik skala mikro merupakan salah satu cara pemanfaatan sumber energi yang dapat digunakan untuk menunjang pemerataan program elektrifikasi di Indonesia. Salah satu jenis Generator teknologi sumber listrik dari energi terbarukan yang dapat dikembangkan adalah Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). Penelitian ini dilakukan variasi tebal magnet pada PMSG 12S8P. Metode percobaan dilakukan dengan simulasi pemodelan pada software Infolytica MagNet. Variasi tebal magnet yang digunakan dalam percobaan adalah 3mm, 6mm, 9mm dengan kecepatan sebesar 1000rpm. Dari percobaan simulasi beberapa variasi diketahui bahwa ketebalan magnet dapat mempengaruhi kerapatan serta penyebaran fluks dan nilainya berbanding lurus dengan tebal magnet. Dari hasil percobaan beberapa variasi tebal magnet didapatkan hasil berturut-turut 18.11v, 21.13v, 22,08v. Semakin tebal magnet maka nilai Back EMF dan Konstanta Ke nya akan semakin tinggi pula.

### ABSTRACT

*The use of new and renewable energy must be the main concern of the Indonesian government to realize clean, environmentally friendly energy. Micro-scale power plants are one of the ways to utilize energy sources that can be used to support the distribution of the electrification program in Indonesia. One type of generator for electricity source technology from renewable energy that can be developed is the Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). This research was carried out by varying the thickness of the magnet on PMSG 12S8P. The experimental method was carried out by modeling simulation on Infolytica MagNet software. The variation of the thickness of the magnet used in the experiment was 3mm, 6mm, 9mm with a speed of 1000rpm. From several variations of the simulation experiment, it is known that the thickness of the magnet can affect the density and distribution of the flux and its value is directly proportional to the thickness of the magnet. From the experimental results of several variations of the thickness of the magnet, the results obtained were 18.11v, 21.13v, 22.08v, respectively. The thicker the magnet, the higher the Back EMF and Ke Constant values.*

### Corresponding Author :

Rohmad Mucharom

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kecamatan Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57169

Email: d400190079@student.ums.ac.id

## PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi baru dan terbarukan yang besar seperti angin dan air, tetapi di negara ini belum dilakukan secara maksimal dalam pemanfaatannya (Buana & Santoso, 2022)(Arifianto & HS, 2018)(Zaputra & Gusnita, 2022). Energi baru dan terbarukan mempunyai sifat yang ramah lingkungan seperti halnya energi air dan angin, karena dengan energi tersebut bisa membantu menjawab permasalahan penggunaan energi fosil. Pemanfaatan sumber tenaga dengan skala kecil seperti angin dan air sangat mungkin untuk digunakan menjadi energi listrik, sehingga konversi angin dan air dibutuhkan generator yang dapat berputar oleh angin dan air dalam skala kecepatan kecil sekalipun (Arthur et al., 2022).

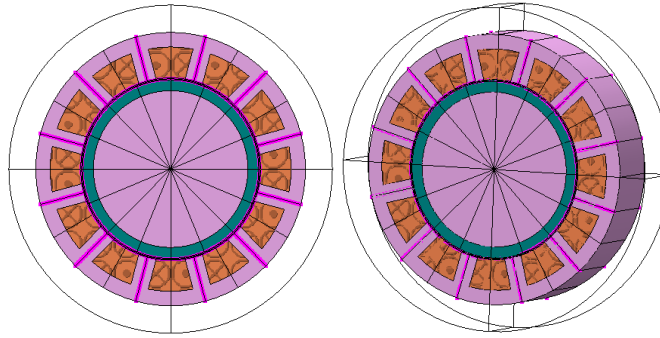
Pembangkit listrik skala mikro merupakan salah satu cara pemanfaatan sumber energi yang dapat digunakan untuk menunjang pemerataan program elektrifikasi di Indonesia (Ilmiah et al., 2022). Pembangkit listrik skala mikro yang tidak lepas dari kemajuan dari mesin listrik ini menjadi bahan pertimbangan penting masa depan apabila dilihat berdasarkan tinjauan dari wilayah Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau. Peningkatan mesin listrik penting guna memanfaatkan sumber dari tenaga berkecepatan kecil. Adapun pemanfaatan sumber energi tenaga berkecepatan skala kecil antara lain seperti energi angin dan air memungkinkan untuk dikonversi menjadi energi listrik (Fikri et al., 2022).

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) adalah salah satu jenis generator sinkron yang umum digunakan pada system pembangkitan yang berbasis pada pembangkit kinetik (Saputra & Aini, 2021). Generator adalah sebuah motor listrik yang dapat mengkonversi energi mekanik(gerak) menjadi energi listrik. Gerak dari generator menginduksi elektro magnetis yang menghasilkan energi listrik, dimana generator sendiri juga termasuk dalam alat pembangkit listrik (Prasetyo, 2019)(Yasyak et al., 2021). Generator dengan magnet permanen ini memiliki keunggulan dibandingkan mesin generator lainnya, tetapi jenis generator ini memiliki kelemahan terhadap nilai cogging torquency (Putri, 2022)(Ujang, 2022). Karena fungsi generator yang amat vital maka diperlukan perancangan yang optimal agar menghasilkan efisiensi sesuai yang diinginkan.

Back-EMF (Back Electromotive Force) merupakan nilai keluaran dari sebuah generator yang berupa tegangan rata-rata atau nilai tegangan yang terinduksi pada suatu kumparan stasioner. Nilai Back-EMF ini ada dikarenakan adanya perubahan fluks medan magnet yang terjadi pada suatu kumparan. Nilai back EMF dapat diturunkan secara langsung dari fungsi perubahan flux linkage terhadap perubahan waktu sesuai hukum Faraday (Cholis & Prasetyono, 2022). Kondisi diatas menjadi menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan penelitian ini yang bertujuan merancang sebuah *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dengan variasi tebal magnet yang kemudian akan di hasilkan desain *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dengan nilai efisiensi back emf sesuai yang diinginkan.

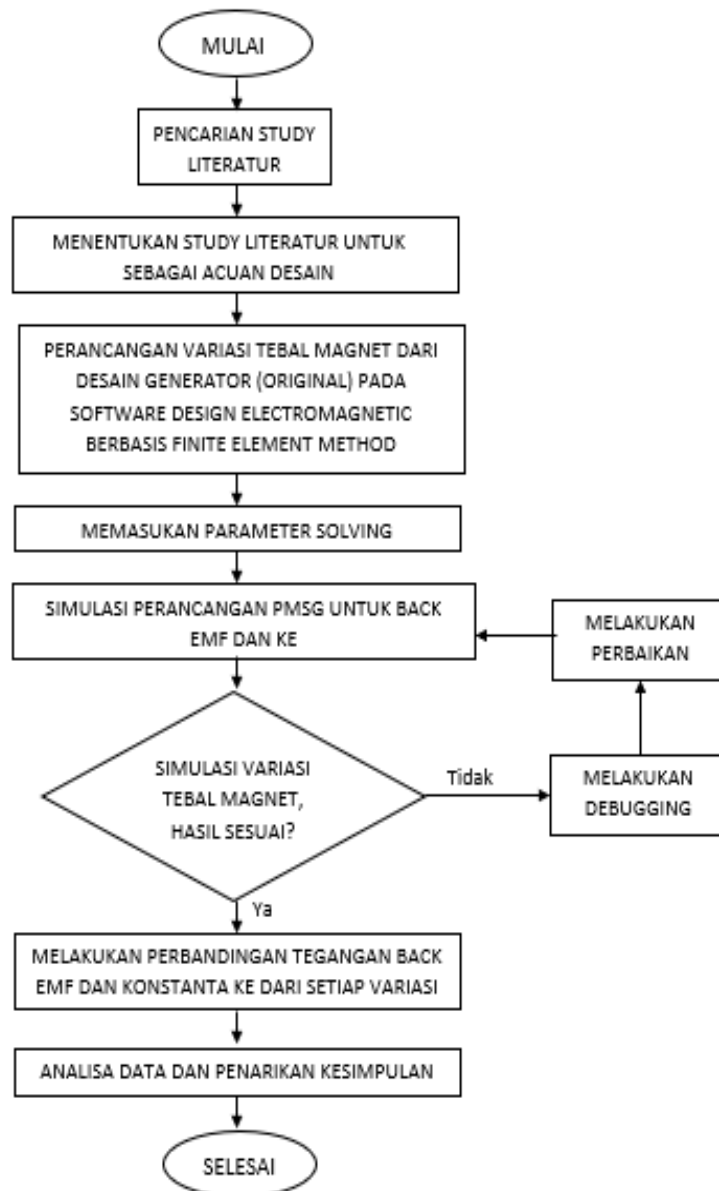
## METODE PENELITIAN

Pada penelitian pengaruh tebal magnet pada PMSG ini menggunakan aplikasi software Magnet, dan telah dilakukan perancangan permanent magnet synchronous generator dengan variasi tebal magnet. PMSG merupakan generator jenis sinkron yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga bayu. Generator ini mengubah energi mekanik dari bilah atau baling-baling yang bergerak karena terkena angin menjadi energi listrik.



**Gambar 1. Pemodelan Generator Pada *Software Finite Element Method***

Proses penelitian ini berlangsung secara urut dan digambarkan pada diagram alir pada Gambar 2.



**Gambar 2. Diagram Alir Penelitian**

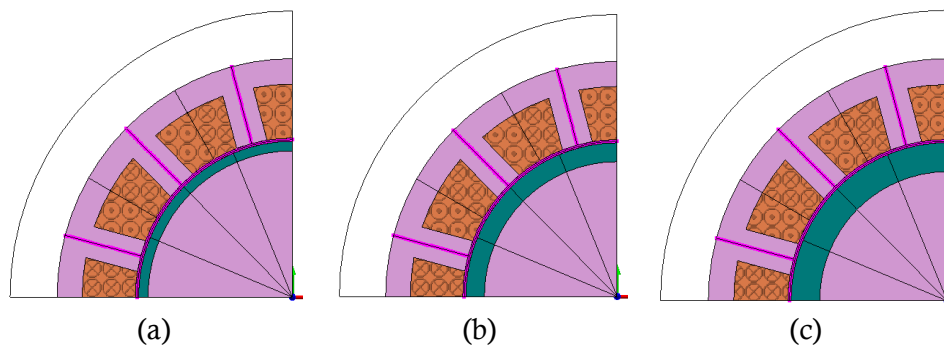
Pada proses perancangan ini awalnya melakukan studi literature dengan mencari jurnal atau artikel sebagai awal rancangan PMSG yang telah diteliti sebelumnya. Adapun spesifikasi

PMSG yang diteliti dalam penelitian ini dengan menggunakan software magnet tersebut. Untuk spesifikasi desain PMSG 12S8P yaitu :

**Tabel 1. Spesifikasi Desain PMSG 12S8P**

| Parameter          | DC Rata-rata (V)                                                |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Jumlah Slot        | 12                                                              |
| Jumlah Pole        | 8                                                               |
| Slot Degree        | 30                                                              |
| Pole Degree        | 22,5                                                            |
| Diameter Stator    | 150 mm                                                          |
| Diameter Rotor     | 92 mm                                                           |
| Ketebalan Inti     | 40 mm                                                           |
| Material Inti Besi | SS400/Cold Rolled 1010                                          |
| Tipe Magnet        | NdFeB (Neodymium Iron Boron)                                    |
| Tebal Magnet       | Variasi 1 : 3 mm<br>Variasi Original : 6 mm<br>Variasi 2 : 9 mm |

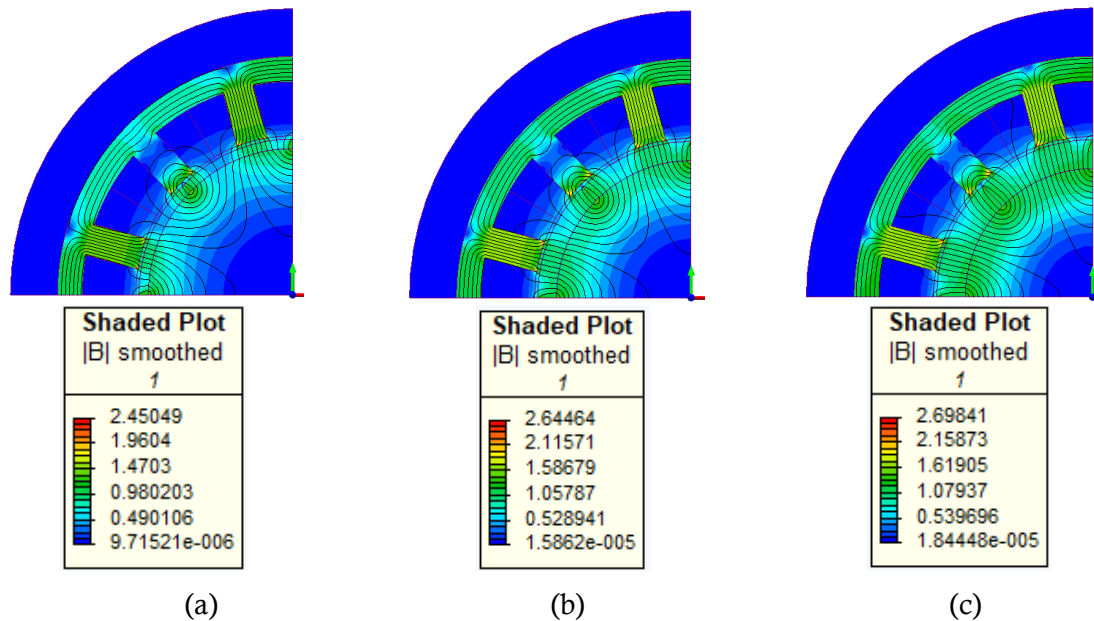
Berdasarkan spesifikasi desain PMSG pada Tabel 1 dilakukan pemodelan dengan software magnet dalam 2 variasi lebar magnet. Berikut adalah pemodelan 1/4 model dari kedua variasi tersebut.



**Gambar 3. (a) Variasi 1, (b) Original, dan (c) Variasi 2**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pemodelan dan simulasi yang dilakukan digunakan model yang sama persis kecuali pada tebal magnet (Bagus et al., 2022). Sebelum membandingkan nilai dari Back EMF dan  $K_e$  dari masing-masing variasi. Kita dapat mengamati hasil dari fluks magnet dari setiap variasi. Berikut adalah gambar Fluks magnet dari hasil simulasi beberapa variasi yang dilakukan.



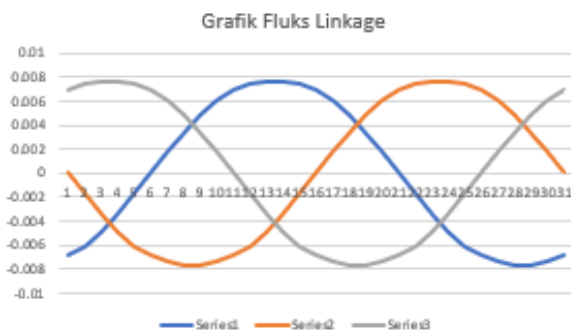
Gambar 4. Aliran Flux Magnet PMSG 12S8P (a) Variasi 1, (b) Original, dan (c) Variasi 2

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 4. dapat diamati bahwa fluks magnet ditunjukkan dengan warna hijau. Semakin gelap warna hijau atau semakin mendekati warna merah menunjukkan semakin tinggi nilai fluks magnet. Sementara warna biru adalah area yang sama sekali tidak terdapat fluks magnet. Sementara untuk garis-garis hitam menunjukkan kepadatan penyebaran area fluks magnet. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa semakin tebal magnet yang digunakan akan mempengaruhi tingkat penyebaran fluks. Dengan demikian variasi yang memiliki kepadatan dan penyebaran fluks paling tinggi adalah variasi 1 (3mm) dengan nilai 1,1979 Wb/m<sup>2</sup>. Dan variasi yang memiliki kepadatan dan penyebaran fluks paling rendah adalah variasi 2 (9mm) dengan 1,1826 Wb/m<sup>2</sup>.

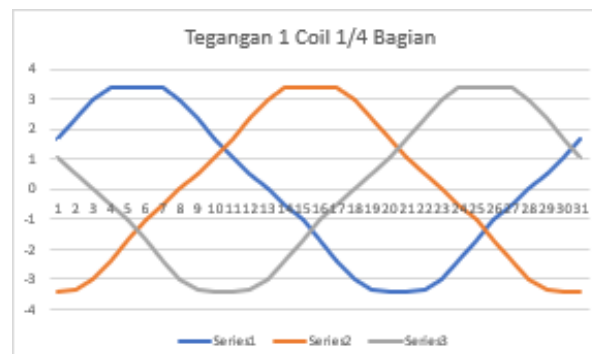
Tabel 2. Nilai Flux Linkage dan Tegangan 1 Coil 1/4 Bagian

| Sudut Rotasi | Nilai Flux Linkage |             |            | Tegangan 1 Coil 1/4 Bagian |           |              |
|--------------|--------------------|-------------|------------|----------------------------|-----------|--------------|
|              | Coil 1             | Coil 2      | Coil 3     | Coil 1                     | Coil 2    | Coil 3       |
| 0            | -0.0066212         | 1.81E-08    | 0.00662121 | 1.67552352                 | -3.41E+00 | 1.046035779  |
| 3            | -0.0058237         | -0.00164059 | 0.00714358 | 2.38183598                 | -3.37E+00 | 0.517438536  |
| 6            | -0.0046896         | -0.00326431 | 0.00741571 | 3.007641989                | -3.01E+00 | 0.000274423  |
| 9            | -0.0032639         | -0.00468889 | 0.00741478 | 3.365369547                | -2.38E+00 | -0.518403138 |
| 12           | -0.0016403         | -0.00582265 | 0.00714231 | 3.405645864                | -1.68E+00 | -1.045935609 |
| 15           | -1.94E-08          | -0.00662024 | 0.00662025 | 3.405667615                | -1.05E+00 | -1.675058089 |
| 18           | 1.64E-03           | -0.00714232 | 0.00582267 | 3.365300533                | -5.18E-01 | -2.381674499 |
| 21           | 0.00326401         | -0.00741484 | 0.00468884 | 3.007640969                | 5.60E-05  | -3.007712592 |
| 24           | 0.00468887         | -0.00741478 | 0.00326392 | 2.381624211                | 5.18E-01  | -3.365173304 |
| 27           | 0.00582261         | -0.00714233 | 0.0016403  | 1.675541633                | 1.05E+00  | -3.405740187 |
| 30           | 0.00662035         | -0.00662035 | -6.14E-11  | 1.045875293                | 1.68E+00  | -3.405512074 |
| 33           | 0.00714253         | -0.00582285 | -0.0016403 | 0.518129153                | 2.38E+00  | -3.365241994 |
| 36           | 0.00741501         | -0.00468912 | -0.0032639 | 0.001189586                | 3.01E+00  | -3.009343304 |
| 39           | 0.00741499         | -0.00326389 | -0.0046892 | -0.517823731               | 3.37E+00  | -2.382156626 |
| 42           | 0.00714263         | -0.00164015 | -0.0058232 | -1.046368132               | 3.41E+00  | -1.674608195 |
| 45           | 0.00662052         | -3.82E-09   | -0.0066205 | -1.674559225               | 3.41E+00  | -1.046410692 |
| 48           | 0.00582309         | 0.001640186 | -0.0071426 | -2.382174585               | 3.37E+00  | -0.517792709 |

| Sudut Rotasi | Nilai Flux Linkage |             |            | Tegangan 1 Coil 1/4 Bagian |           |              |
|--------------|--------------------|-------------|------------|----------------------------|-----------|--------------|
|              | Coil 1             | Coil 2      | Coil 3     | Coil 1                     | Coil 2    | Coil 3       |
| 51           | 0.00468915         | 0.003263984 | -0.0074151 | -3.009017518               | 3.01E+00  | -1.14112E-06 |
| 54           | 0.00326405         | 0.004689118 | -0.0074151 | -3.365433048               | 2.38E+00  | 0.517871303  |
| 57           | 0.00164016         | 0.005823098 | -0.0071426 | -3.405546755               | 1.67E+00  | 1.046376923  |
| 60           | 7.85E-09           | 0.006620524 | -0.0066205 | -3.405370423               | 1.05E+00  | 1.674409026  |
| 63           | -1.64E-03          | 0.007142623 | -0.0058232 | -3.365685947               | 5.18E-01  | 2.382178492  |
| 66           | -0.003264          | 0.007415102 | -0.0046891 | -3.009051436               | -3.94E-05 | 3.009116209  |
| 69           | -0.0046891         | 0.007415085 | -0.003264  | -2.382240063               | -5.18E-01 | 3.365662648  |
| 72           | -0.0058231         | 0.007142609 | -0.0016402 | -1.674487271               | -1.05E+00 | 3.40551584   |
| 75           | -0.0066205         | 0.006620514 | -5.50E-10  | -1.046284853               | -1.67E+00 | 3.405473839  |
| 78           | -0.0071426         | 0.005822978 | 0.00164024 | -0.517914535               | -2.38E+00 | 3.365613876  |
| 81           | -0.0074151         | 0.004689125 | 0.00326398 | 5.39635E-05                | -3.01E+00 | 3.009052369  |
| 84           | -0.0074151         | 0.003264022 | 0.00468911 | 0.517939718                | -3.37E+00 | 2.382144547  |
| 87           | -0.0071426         | 0.001640226 | 0.00582298 | 1.046200153                | -3.41E+00 | 1.674468498  |
| 90           | -0.0066205         | 5.44E-09    | 0.0066205  | 1.676301317                | -3.41E+00 | 1.045167625  |



Gambar 5. Grafik Fluks Linkage

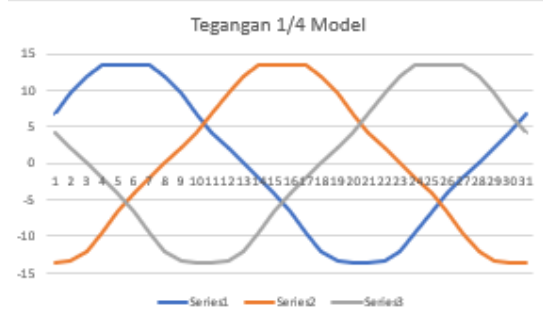


Gambar 6. Grafik Nilai Tegangan Coil

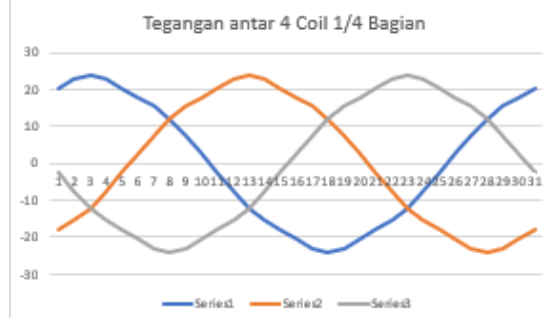
Berdasarkan pengamatan pada gambar grafik dan tabel dapat diamati bahwa dari Tabel 2. didapatkan grafik yang menunjukkan gelombang sinus sempurna dari nilai flux linkage. Kemudian terlihat dari Gambar 5. dengan rinci dalam tabel 2. maka coil 1 mendapatkan nilai tertinggi pada sudut rotasi  $36^\circ$ . Selanjutnya, pada coil 2 didapatkan nilai tertinggi pada sudut rotasi  $66^\circ$ . Sedangkan pada coil ke 3 nilai tertinggi didapatkan pada sudut rotasi  $6^\circ$ . Keseluruhan fluks linkage memiliki nilai tertinggi bersamaan masing-masing saat sudut rotasi  $36^\circ$ ,  $66^\circ$ ,  $6^\circ$ . Dengan demikian dari data itulah grafik sinus sempurna dihasilkan. Serta dari Tabel 2. didapatkan grafik yang menunjukkan gelombang sinus tak sempurna. Terlihat dari Gambar 6. dengan rinci dalam Tabel 2. maka pada coil 1 mendapatkan nilai tegangan coil tertinggi pada sudut rotasi  $12^\circ$ . Selanjutnya, pada coil 2 didapatkan nilai tegangan coil tertinggi pada sudut rotasi  $42^\circ$ . Sedangkan pada coil ke 3 nilai tegangan coil tertinggi didapatkan pada sudut rotasi  $72^\circ$ . Keseluruhan nilai tegangan coil memiliki nilai tertinggi bersamaan masing-masing saat sudut rotasi  $12^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $72^\circ$ . Dapat ditarik kesimpulan dari ketiga coil yang memiliki nilai tegangan coil tertinggi adalah coil 2 dengan sudut  $42^\circ$ .

Tabel 3. Nilai Tegangan Seri 1/4 Bagian dan Tegangan Antar 4 Coil 1/4 Bagian

| Sudut Rotasi | Tegangan seri 4 Coil 1/4 Bagian |            |              | Tegangan antar 4 Coil 1/4 Bagian |            |            |
|--------------|---------------------------------|------------|--------------|----------------------------------|------------|------------|
|              | Coil 1                          | Coil 2     | Coil 3       | Coil 1-2                         | Coil 2-3   | Coil 3-1   |
| 0            | 6.70209408                      | -13.624033 | 4.184143116  | 20.3261276                       | -17.808177 | -2.517951  |
| 3            | 9.52734392                      | -13.460062 | 2.069754143  | 22.9874064                       | -15.529817 | -7.4575898 |
| 6            | 12.030568                       | -12.031245 | 0.001097692  | 24.0618133                       | -12.032343 | -12.02947  |
| 9            | 13.4614782                      | -9.5260036 | -2.073612553 | 22.9874818                       | -7.4523911 | -15.535091 |
| 12           | 13.6225835                      | -6.7004028 | -4.183742437 | 20.3229863                       | -2.5166604 | -17.806326 |
| 15           | 13.6226705                      | -4.1836616 | -6.700232356 | 17.8063321                       | 2.51657072 | -20.322903 |
| 18           | 13.4612021                      | -2.0727318 | -9.526697997 | 15.5339339                       | 7.45396622 | -22.9879   |
| 21           | 12.0305639                      | 0.00022401 | -12.03085037 | 12.0303399                       | 12.0310744 | -24.061414 |
| 24           | 9.52649684                      | 2.0722834  | -13.46069321 | 7.45421344                       | 15.5329766 | -22.98719  |
| 27           | 6.70216653                      | 4.18226517 | -13.62296075 | 2.51990136                       | 17.8052259 | -20.325127 |
| 30           | 4.18350117                      | 6.7002075  | -13.62204829 | -2.5167063                       | 20.3222558 | -17.805549 |
| 33           | 2.07251661                      | 9.52672263 | -13.46096797 | -7.454206                        | 22.9876906 | -15.533485 |
| 36           | 0.00475835                      | 12.0319271 | -12.03737322 | -12.027169                       | 24.0693004 | -12.042132 |
| 39           | -2.0712949                      | 13.4617996 | -9.528626503 | -15.533095                       | 22.9904261 | -7.4573316 |
| 42           | -4.1854725                      | 13.622872  | -6.698432782 | -17.808345                       | 20.3213048 | -2.5129603 |
| 45           | -6.6982369                      | 13.6226769 | -4.18564277  | -20.320914                       | 17.8083197 | 2.51259413 |
| 48           | -9.5286983                      | 13.4617728 | -2.071170834 | -22.990471                       | 15.5329436 | 7.45752751 |
| 51           | -12.03607                       | 12.0361717 | -4.5645E-06  | -24.072242                       | 12.0361763 | 12.0360655 |
| 54           | -13.461732                      | 9.52824564 | 2.071485212  | -22.989978                       | 7.45676043 | 15.5332174 |
| 57           | -13.622187                      | 6.697887   | 4.18550769   | -20.320074                       | 2.51237931 | 17.8076947 |
| 60           | -13.621482                      | 4.18512648 | 6.697636104  | -17.806608                       | -2.5125096 | 20.3191178 |
| 63           | -13.462744                      | 2.07190324 | 9.528713967  | -15.534647                       | -7.4568107 | 22.9914578 |
| 66           | -12.036206                      | -0.0001578 | 12.03646484  | -12.036048                       | -12.036623 | 24.0726706 |
| 69           | -9.5289603                      | -2.0717449 | 13.46265059  | -7.4572154                       | -15.534395 | 22.9916108 |
| 72           | -6.6979491                      | -4.1852675 | 13.62206336  | -2.5126816                       | -17.807331 | 20.3200124 |
| 75           | -4.1851394                      | -6.6980931 | 13.62189536  | 2.51295373                       | -20.319988 | 17.8070348 |
| 78           | -2.0716581                      | -9.5289153 | 13.4624555   | 7.45725712                       | -22.991371 | 15.5341136 |
| 81           | 0.00021585                      | -12.036208 | 12.03620948  | 12.0364242                       | -24.072418 | 12.0359936 |
| 84           | 2.07175887                      | -13.46245  | 9.528578188  | 15.5342093                       | -22.991029 | 7.45681932 |
| 87           | 4.18480061                      | -13.621344 | 6.69787399   | 17.8061444                       | -20.319218 | 2.51307338 |
| 90           | 6.70520527                      | -13.623796 | 4.180670499  | 20.3290017                       | -17.804467 | -2.5245348 |



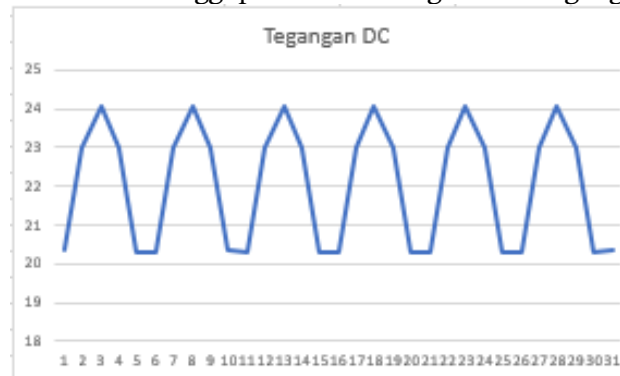
Gambar 7. Grafik Tegangan 1/4 model



Gambar 8. Grafik Tegangan Antar Coil

Berdasarkan pengamatan pada gambar grafik dan tabel dapat diamati dari Tabel 3. didapatkan grafik yang menunjukkan gelombang sinus tak sempurna dari tegangan 1/4 bagian dan tegangan antar coil. Kemudian terlihat dari Gambar 7. dengan rinci dalam Tabel 3. maka coil 1 mendapatkan nilai tertinggi dengan nilai 13.6226705 volt. Selanjutnya, pada coil 2 didapatkan

nilai tertinggi dengan nilai 13.622872 volt. Sedangkan pada coil ke 3 nilai tertinggi didapat dengan nilai 13.62206336 volt. Secara keseluruhan didapat nilai tertinggi pada coil 2 dengan nilai tegangan 13.622872 volt. Kemudian dari gambar 8 dengan rinci dalam tabel 3. maka coil 1 mendapatkan nilai tegangan antar coil tertinggi dengan nilai 24.0618133 volt. Selanjutnya, pada coil 2 didapatkan nilai tegangan antar coil tertinggi dengan nilai 24.0693004 volt. Sedangkan pada coil ke 3 nilai tegangan antar coil tertinggi didapat dengan nilai 24.0726706 volt. Secara keseluruhan didapat nilai tegangan antar coil tertinggi pada coil 3 dengan nilai tegangan 24.0726706 volt.



**Gambar 9. Grafik Tegangan DC**

Gambar 9. menunjukkan grafik dari nilai VDC yang dihasilkan. Berdasarkan pengamatan grafik yang dihasilkan merupakan grafik tegangan DC tak sempurna serta dapat diketahui bahwa nilai VDC tertinggi adalah 24.0727 volt.

**Tabel 4. Data Perbandingan VDC dan Ke**

| Variasi Tebal Magnet | DC Rata-rata (V) | Ke    |
|----------------------|------------------|-------|
| Variasi 1            | 18.11            | 0.173 |
| Variasi 2            | 21.13            | 0.202 |
| Variasi 3            | 22.08            | 0.211 |

Dari tabel 4. dapat di lihat percobaan ini dilakukan sebanyak tiga kali (Bagus et al., 2022) dengan variasi tebal magnet yang berbeda yaitu secara berurutan 3,6,9 mm. Hasil yang didapat menunjukkan pengaruh tebal magnet terhadap tegangan keluaran PMSG. Dimana semakin tebal magnet yang digunakan maka semakin tinggi juga tegangan keluarannya.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi PMSG yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tebal magnet memiliki pengaruh yang berbanding lurus dengan penyebaran fluks, nilai Back EMF serta nilai Konstanta Ke. Semakin tebal magnet semakin besar pula nilai Back EMF serta nilai Konstanta Ke nya. Variasi tebal magnet yang memiliki nilai Back EMF serta Konstanta Ke terbesar pada percobaan di paper ini adalah variasi 2 (9mm). Nilai Back EMF 22.08 V dan nilai Konstanta Ke 0.211. Sedangkan variasi dengan nilai Back EMF serta Konstanta Ke terkecil adalah variasi 1 (3mm), dengan nilai Back EMF 18.11 V dan nilai Konstanta Ke 0.173.

### Saran

Saran untuk penelitian variasi tebal magnet pada PMSG selanjutnya dapat dilakukan penelitian untuk perbandingan daya keluaran serta efisiensi yang dilakukan. Dapat pula dilakukan penelitian untuk perbandingan nilai torsi. Saran lainnya bisa juga dilakukan penelitian tentang desain dan tebal magnet yang sesuai untuk mendapatkan persebaran fluks yang merata dengan mempertahankan rapat fluks yang ada pada bagian teeth.

---

**REFERENSI**

- Arifianto, I., & HS, M. R. (2018). Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7 . 5. *Seminar Nasional Microwave, Antena Dan Propagasi (SMAP)*, 43–48.
- Arthur, S., Sumawang, E., & Pramono, S. (2022). *Analisis Perubahan Jumlah Slot pada Permanent Magnet Synchronous Generator ( PMSG ) untuk Mencapai Nilai Optimal Back EMF dan KE berbasis Finite Element Method ( FEM )*. 43(2), 140–146. <https://doi.org/10.14710/teknik.v43i2.44519>
- Bagus, I., Citarsa, F., Ayu, I., & Adnyani, S. (2022). *Pengaruh Ketebalan Magnet Rotor terhadap Back EMF dan Efisiensi Permanent Magnet Synchronous Generator 12S8P*. 9(1), 11–17. <https://dielektrika.unram.ac.id>
- Buana, U. C., & Santoso, D. B. (2022). *DENGAN NILAI COGGING TORQUE RENDAH*. 7(2), 61–68.
- Cholis, N., & Prasetyono, R. N. (2022). *Analisa Pengaruh Letak Magnet Dan Penambahan Fluks Berrier Terhadap Nilai Back EMF Pada PMSG 12S8P Menggunakan Metode FEM*. 3–9.
- Fikri, M. N., Buana, U. C., & Santoso, D. B. (2022). *Desain Permanent Magnet Synchronous Generator Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Daya 500 Watt Dengan Kecepatan Angin Rendah*. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 8(2), 200. <https://doi.org/10.24036/jtev.v8i2.116750>
- Ilmiah, P., Pambudi, D. W., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2022). *Analisa pengaruh variasi umbrella dan tebal magnet terhadap nilai back-emf dan ke pada permodelan permanent magnet synchronous generator 12s8p menggunakan software magnet infolytica*.
- Prasetyo, Y. (2019). *Analisis Perbandingan Bahan Material Magnet Dalam Pemodelan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 12 Slot 8 Kutub Dengan Menggunakan Finite Elemen Method (FEM) Software*.
- Putri, T. D. (2022). 3279-10571-1-Pb. 11(1), 45–50.
- Saputra, R., & Aini, Z. (2021). *Analisis Pengaruh Ketebalan dan Jenis Inti Besi Rotor Stator terhadap Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen 18S16P Fluks Radial*. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 18(2), 220–227.
- Ujang, U. C. B. (2022). *Analisis Pengaruh Lebar Teeth Terhadap Penurunan Nilai Cogging Torque Pada Pmsg 18S16P*. *Electrician*, 16(1), 1–8. <https://doi.org/10.23960/elc.v16n1.2245>
- Yasyak, M. I., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2021). *Naspub FIX\_Muhamad Ibnu Yasyak\_D400170137 (1)*.
- Zaputra, T. P., & Gusnita, N. (2022). *Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada Permanent Magnet Synchronus Generator 18 Slot 16 Pole*. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 8(2), 411. <https://doi.org/10.24036/jtev.v8i2.117875>