



## **Analisa Pengaruh Letak Magnet Dan Penambahan *Fluks Berrier* Terhadap Nilai *Back EMF* Pada *PMSG 12S8P* Menggunakan Metode *FEM***

Nur Cholis<sup>1</sup>, Rizki Noor Prasetyono<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro

Universitas Peradaban

[rizkinoorupb@gmail.com](mailto:rizkinoorupb@gmail.com)

---

### **Article Info**

#### **Article history:**

Received: 03 Mei 2022

Received in revised form: 14 Mei 2022

Accepted: 30 Mei 2022

Available online: 30 Mei 2022

---

#### **Keywords:**

*Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG),*

*Magnetic Placement,*

*Flux Barriers,*

*Back Emf Value,*

#### **Kata Kunci:**

*Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG),*

*Letak Magnet,*

*Fluks Berrier,*

*Nilai Back Emf,*

---

### **ABSTRACT**

#### **ANALYSIS OF THE EFFECT OF MAGNETIC LOCATION AND ADDITION OF BARRIER FLUX ON BACK EMF VALUE ON PMSG 12S8P USING FEM METHOD.**

*The purpose of the study was to determine the effect of variations in the placement of magnets and flux barriers on the back emf value in the 12S8P permanent magnet synchronous generator (PMSG) modeling. Process the output voltage (back emf) by varying the geometry of the magnet's location and adding a carrier flux to each variation of the magnet's geometry because magnets are one of the most important parts of the Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). Where in this study there are 2 independent variables, namely the location of the magnet and the addition of a carrier flux. Where variations in the location of the magnet there are three variations, namely on the surface of the rotor, 2 mm below the surface of the rotor, and 4 mm below the surface of the rotor and each variation will be added with a flux barrier. While the dependent variable in this study is the back emf value. The data analysis technique used is a simple linear regression method, where the simulation results are then entered into MS.Excel and then processed using SPSS software. From the results of the study, it was concluded that the location of the magnet and the addition of a carrier flux could affect the Back EMF value, as indicated by the significance of the regression analysis of the dependent and independent variables  $0.001 < 0.05$ . From the Back EMF value data, the closer the magnet is to the stator or rotor surface, the greater the back EMF value, on the contrary, the farther the magnet is from the stator or rotor surface, the smaller the back emf value.*

Tujuan penelitian yaitu mengetahui pengaruh variasi peletakan magnet dan *fluks barrier* terhadap nilai *back emf* pada permodelan *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) 12S8P. Proses tegangan keluaran (*back emf*) dengan memvariasikan geometri letak magnet dan menambahkan *fluks barrier* pada masing masing variasi geometri magnet karena magnet merupakan salah satu bagian terpenting dalam *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Dimana pada penelitian ini terdapat 2 variabel bebas yaitu letak magnet dan penambahan fluks barrier. Dimana variasi letak magnet terdapat tiga variasi yaitu pada permukaan rotor, 2 mm dibawah permukaan rotor, dan 4 mm dibawah permukaan rotor dan disetiap variasi akan ditambahkan dengan *fluks barrier*. Sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai *back emf*. Teknik analisis data yang digunakan adalah menggunakan metode regresi linear sederhana, dimana hasil simulasi kemudian dimasukan kedalam MS.Excel dan kemudian di olah dengan menggunakan software SPSS. Dari hasil penelitian disimpulkan letak magnet dan penambahan *fluks barrier* dapat mempengaruhi nilai *Back EMF* ditunjukkan hasil signifikansi analisis regresi variable terikat dan bebas  $0,001 < 0,05$ . Dari data nilai *Back EMF* semakin dekat jarak magnet dengan stator atau permukaan rotor semakin besar pula nilai *back EMF*nya, sebaliknya semakin jauh jarak magnet dengan stator atau permukaan rotor maka akan semakin kecil nilai *back emf*.

---

#### **Corresponding author:**

Rizki Noor Prasetyono

Universitas Peradaban

Jalan Raya Pagojengan Km.3 Bumiayu Kab. Brebes 52276

E-mail addresses: [rizkinoorupb@gmail.com](mailto:rizkinoorupb@gmail.com)

---

### **1. Pendahuluan**

Listrik merupakan suatu kebutuhan pokok bagi manusia saat ini baik untuk industri maupun rumah tangga. Seiring meningkatnya kebutuhan akan energi listrik maka dibutuhkan pula persediaan energi listrik yang cukup guna memenuhi akan kebutuhan energi listrik [1]. Penggunaan energi baru dan terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia tidak hanya sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil melainkan juga untuk mewujudkan energi bersih atau ramah lingkungan [2]. Tetapi saat ini perkembangan energi baru terbarukan di Indonesia sudah berkembang cukup pesat, ada banyak contoh dari energi baru terbarukan salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ( PLTB ). Salah satu komponen utama pada pembangkit listrik adalah generator. Generator merupakan mesin listrik yang berfungsi mengkonversikan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik [3]. Generator dapat menghasilkan gaya gerak listrik dengan induksi elektro magnetik yang diubah menjadi tenaga listrik [4]. Generator merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam sistem pembangkitan, jadi sangat

diperlukan perancangan yang optimal agar menghasilkan efisiensi sesuai yang diinginkan. Ada beberapa jenis generator salah satunya adalah generator sinkron dan generator asinkron. Salah satu jenis generator sinkron adalah *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) [5].

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) pada umumnya menggunakan permanent magnet synchronous generator (PMSG). Jenis *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) adalah salah satu jenis generator yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, karena tidak ada rugi-rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga banyak digunakan pada pembangkit [6]. Bagian-bagian yang ada pada *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) adalah stator, rotor, magnet permanen, dan air gap, air box, dan core (lilitan) [7]. Generator sinkron magnet permanen merupakan mesin listrik berputar dengan 3-fase stator klasik yang seperti generator induksi pada umumnya. Magnet permanen bisa terpasang pada permukaan ataupun tertanam pada rotornya [4]. Magnet permanen merupakan salah satu komponen yang sangat berpengaruh terhadap nilai atau besarnya energi listrik yang dihasilkan, karena semakin bagus kualitas dari magnet permanen maka akan memperbesar nilai atau besarnya energi listrik yang dihasilkan. Maka dari itu, perlu dilakukan perancangan magnet permanen pada *permanent magnet synchronous generator* (PMSG).

Penelitian sebelumnya hanya membahas variasi letak magnet tetapi yang difokuskan terhadap nilai *torsi coging* [8]. Pada penelitian serupa juga membahas tentang nilai *BACK EMF* tetapi variabel yang digunakan adalah variasi dari material inti [9]. Penelitian lainnya hanya membahas variasi geometri rotor terhadap nilai *fluks linkagenya* [10]. Maka dari itu pada penelitian ini akan membahas tentang analisa Pengaruh Letak Magnet Dan Penambahan *fluks berrier* Terhadap Nilai *BACK EMF* Menggunakan Metode FEM. Maka dari itu dibuatlah percobaan beberapa variasi geometri letak magnet terhadap permukaan rotor. Selain itu juga dibuatlah percobaan penambahan *fluks berrier* (celah pada kedua magnet) pada masing-masing percobaan variasi geometri letak magnet terhadap permukaan rotor.

## 2. Landasan Teori

Listrik merupakan suatu kebutuhan pokok bagi manusia saat ini baik untuk industri maupun rumah tangga. Seiring meningkatnya kebutuhan akan energi listrik maka dibutuhkan pula persediaan energi listrik yang cukup guna memenuhi akan kebutuhan energi listrik.

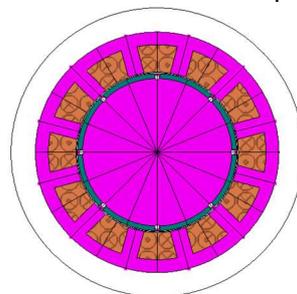
### 2.1. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG).

Generator bekerja berdasarkan hukum Faraday yaitu Ketika sebuah penghantar memotong garis gaya suatu medan magnet maka akan timbul gaya gerak listrik pada penghantar tersebut [11]. Generator biasanya digerakan oleh turbin yang mempunyai sumber tenaga dari angin, air, batubara maupun tenaga yang lainnya. PMSG dengan generator sinkron konvensional adalah terletak pada rotornya [12]. Pada *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) yang membedakan adalah terletak pada magnet permanennya, jadi pada rotor langsung terdapat magnet permanen atau tidak memerlukan eksitasi dari luar karena sudah membentuk medan magnet sendiri.

Generator sinkron magnet permanen dibangkitkan melalui magnet permanen sebagai penghasil medan magnet pada rotor dan fluks magnet diperoleh dari magnet permanen kemudian fluks magnet masuk melewati celah udara menuju gigi stator yang sehingga timbul garis-garis gaya magnet keluar dari kutub magnet secara axial atau radial [9]. Kelebihan generator ini dapat digunakan pada putaran rendah maupun putaran tinggi.

### 2.2. Fluks Berrier

*Fluks berrier* merupakan celah udara yang berada diantara magnet sesuai gambar 2.1. *Fluks berrier* berfungsi untuk mengurangi fluks yang bergerak ke rotor, dan fluks berrier juga dapat menurunkan *torca coging* [13]. *Fluks berrier* berfungsi sebagai pengeblok fluks magnet pada rotor [14]. Karena pada dasarnya fluks magnet tidak bisa melewati udara, maka dari itu fungsi dari fluks berrier adalah untuk menghalang jalannya fluks magnet.



Gambar 2.1. *Fluks Berrier*

### 2.3. Back Emf

Back EMF (*Back Electromotive Force*) adalah nilai tegangan yang terinduksi pada suatu kumparan stasioner [15]. Nilai *back EMF* dapat diturunkan secara langsung dari fungsi perubahan *flux linkage* terhadap perubahan waktu sesuai hukum Faraday [16]. Hukum Faraday tersebut dapat direpresentasikan pada persamaan 2.1 [17].

$$E_{coil} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$E_{coil}$  : tegangan pada masing masing kumparan atau *coil* (V)

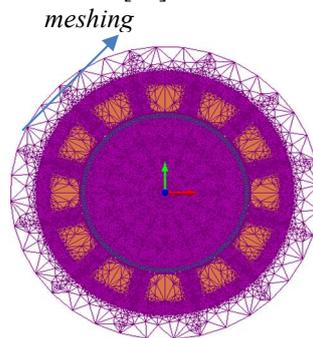
$\Delta\lambda$  : Perubahan *flux linkage* (Wb)

$\Delta t$  : rentang waktu (s)

Tegangan yang dihasilkan pada masing masing kumparan atau *coil* dihasilkan oleh perubahan *fluks linkage* terhadap waktu. Pada masing masing *coil* biasanya di paralelkan dengan *coil* yang lain karena outputan tegangan hanya akan disalurkan kedalam tiga kabel fasa atau sering disebut *three phase*.

#### 2.4. Metode FEM (*Finite Element Method*)

FEM adalah sebuah metode sistematis untuk mengubah fungsi dalam ruang berdimensi tak hingga menjadi fungsi pertama dalam ruang berdimensi hingga berakhir menjadi vektor biasa (dalam ruang vektor) yang dapat disusun dengan metode numerik [18]. Objek yang dianalisis menggunakan FEM akan dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah [19].



Gambar 2.2. *Meshing*

Pada metode FEM pembagian terhadap suatu bidang (*meshing*) merupakan hal yang sangat penting. Dalam *meshing*, semakin suatu bidang dibagi menjadi daerah-daerah yang kecil maka hasil yang didapat akan semakin akurat [19]. Jadi *meshing* adalah semua titik titik yang ada pada suatu bidang yang sudah diatur dengan sedemikian rupa, yang dapat dilihat pada gambar 2.2. Akan tetapi ketika melakukan *meshing* dengan ukuran yang semakin kecil atau pembagiannya semakin kecil maka pada saat perhitungan juga akan memakan waktu yang lama.

### 3. Metode Penelitian

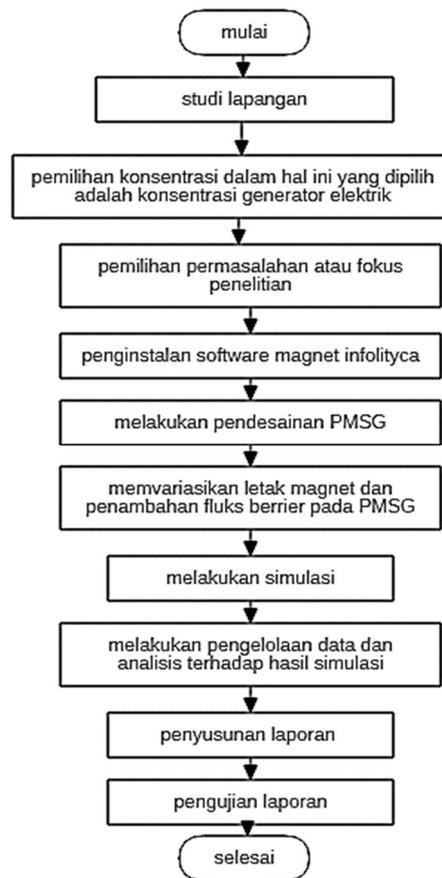
Penelitian ini tertuju atau berfokus pada permodelaan *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) karena pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) banyak menggunakan *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Pada penelitian ini akan menganalisa tegangan keluaran (*back emf*) dengan memvariasikan geometri letak magnet dan menambahkan *fluks berrier* pada masing masing variasi geometri magnet karena magnet merupakan salah satu bagian terpenting dalam *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Dimana pada penelitian ini terdapat 2 variabel bebas yaitu letak magnet dan penambahan fluks berrier. Dimana variasi letak magnet terdapat tiga variasi yaitu pada permukaan rotor, 2 mm dibawah permukaan rotor, dan 4 mm dibawah permukaan rotor dan disetiap variasi akan ditambahkan dengan *fluks berrier*. Sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai *back emf*.

#### 3.1. Metode Pengumpulan Data

Pengambil data dari percobaan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan bantuan software Magnet Infolytica 7.5. hal ini dikarenakan pada penelitian ini mensimulasikan beberapa variasi letak magnet dan penambahan *fluks berrier* untuk mencari nilai *back emf* (tegangan keluaran) dengan menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*) dan salah satu software yang dapat digunakan untuk membuat model mesin mesin listrik dan menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*) adalah software Magnet Infolytica 7.5. Maka dari itu salah satu pengambilan data pada penelitian ini menggunakan hasil dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan bantuan software Magnet Infolytica 7.5 [20].

#### 3.2. Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan untuk mensimulasikan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1. Proses Penelitian

### 3.3. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah menggunakan metode regresi linear sederhana, dimana hasil yang sudah didapatkan dalam simulasi kemudian dimasukkan kedalam MS.Excel dan kemudian di olah dengan menggunakan software SPSS. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan Teknik analisis regresi linear.

Regresi linear merupakan suatu pendekatan untuk memantapkan hubungan antara satu atau lebih variabel dependen dan juga variabel independen [21]. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan analisis regresi linear sederhana. Persamaan regresi linier sederhana merupakan suatu model persamaan yang menggambarkan hubungan satu variabel bebas/ predictor (X) dengan satu variabel tak bebas/ response (Y) [22]. Pada penelitian ini variabel tak bebas atau variabel terikatnya adalah nilai back emf sedangkan variabel bebasnya adalah letak magnet dan penambahan fluks berrier.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data Penelitian

Model yang divariasikan pada laporan ini adalah pada magnet permanen dan juga penambahan *fluks berrier*. Variasi yang dilakukan adalah pada letak magnet terhadap permukaan rotor dan penambahan *fluks berrier* pada masing masing terdapat 2 variasi. Kondisi normal yaitu untuk variable X letak magnet permanen 0 mm terhadap permukaan rotor dan tanpa *fluks barrier*. Variasi pertama untuk variabel  $Y_1$  letak magnetnya dirubah dari posisi awalnya 0 mm dari permukaan rotor menjadi 2 mm dibawah permukaan rotor dan dilakukan penambahan *fluks berrier*. Variasi kedua untu variabel  $Y_2$  letak magnetnya dirubah dari posisi awalnya 0 mm dari permukaan rotor menjadi 4 mm dibawah permukaan rotor . pada variasi  $Y_2$  juga dilakukan penambahan *fluks berrier*. Hasil pengumpulan data simulasi didapatkan 60 nilai *back emf* dari setiap variasi yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Data Hasil Nilai *Back Emf*

NO	X	Variasi $Y_1$	Variasi $Y_2$	NO	X	Variasi $Y_1$	Variasi $Y_2$
1.	23.96121577	14.10378608	4.43255992	31	23.96127682	14.11790785	4.431344644
2	25.86899497	14.4385983	4.677383202	32	25.86901527	14.43873368	4.67743568
3	20.64017549	12.17060252	3.258310973	33	20.64019589	12.17341725	3.258298617
4	25.88452757	14.7943211	4.690435523	34	25.8845283	14.78645929	4.690332126
5	23.87849944	14.06334799	4.449876323	35	23.87849422	14.07985353	4.45000728
6	23.83694067	14.14423194	4.436327035	36	23.83700546	14.13078243	4.436203708

7	25.89746184	14.4394715	4.678924202	37	25.89742176	14.43940709	4.679099253
8	20.78241675	12.14164021	3.256616295	38	20.78245466	12.14167701	3.256628782
9	25.89690308	14.7886651	4.673741097	39	25.89687837	14.78857858	4.673773325
10	23.83739583	14.07442499	4.437487726	40	23.83739606	14.07393917	4.437482482
11	23.87825522	14.17230288	4.45037378	41	23.87832166	14.17193286	4.450416085
12	25.88446558	14.40950605	4.695476649	42	25.88443896	14.40897078	4.695460824
13	20.64026933	12.18173074	3.257632298	43	20.64023937	12.18177143	3.257595548
14	25.86831767	14.77229415	4.671077325	44	25.86831237	14.7721572	4.671024654
15	23.96048091	14.04411309	4.433325817	45	23.96167523	14.04440442	4.433337679
16	23.96134226	14.11813243	4.43139345	46	23.96101981	14.11828526	4.431436586
17	25.86902072	14.43683316	4.676684418	47	25.86902645	14.43707582	4.676712734
18	20.64019516	12.1750762	3.258057577	48	20.64019481	12.1722134	3.258028363
19	25.88452842	14.7867091	4.691249408	49	25.8845199	14.79425652	4.69114288
20	23.87846021	14.0797658	4.449746821	50	23.87851502	14.0638168	4.449855422
21	23.83744226	14.13042255	4.436063759	51	23.83730801	14.14411812	4.436137861
22	25.89683445	14.44091293	4.679838341	52	25.89683053	14.44151361	4.679825729
23	20.78267924	12.14170374	3.256875493	53	20.78265066	12.14191531	3.256802454
24	25.89686792	14.78865177	4.672910661	54	25.89690411	14.78866324	4.672883274
25	23.83742154	14.07419479	4.437634811	55	23.83740329	14.07407663	4.437574588
26	23.87804445	14.17160892	4.450454057	56	23.87806309	14.17151915	4.450526303
27	25.88474266	14.40814177	4.694769692	57	25.88471128	14.40878956	4.694701904
28	20.64018626	12.17603611	3.257887747	58	20.64024033	12.17587092	3.257857372
29	25.86830789	14.77790556	4.671864222	59	25.8683139	14.77798138	4.67183388
30	23.96042937	14.04497669	4.433208323	60	23.96155414	14.04470346	4.43323435

## 4.2. Analisis Data

### 4.2.1. Analisis Regresi Linier

Hasil analisis data regresi linier dari variasi  $Y_1$  terhadap kondisi normal X yaitu ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.2. Analisis Data ANOVA  $Y_1$

Model		Sum of square	df	Mean square	F	Sig
1	regresion	46.381	1	46.381	761.360	<.001
	residual	3.533	58	.061		
	Total	49.914	59			

Pada tabel 4.2 diatas merupakan salah satu output dari SPSS. Pada output anova ini menjelaskan apakah ada pengaruh yang nyata atau signifikan antara varibel atau variasi  $Y_1$  terhadap variasi X. dari output tersebut terlihat  $f_{hitung} = 761.360$  dengan tingkat signifikasi  $0.001 < 0.05$ , maka dapat disimpulkan bahwa data tersebut bisa diterima dan variasi  $Y_1$  berpengaruh terhadap variasi X.

Tabel 4.3 Model Sumarry  $Y_1$

Model	R	R square	Adjusted R square	Std.error of the estimate
1	.964 <sup>a</sup>	.929	.928	.24682

Pada tabel 4.3 diatas merupakan salah satu output dari SPSS. Pada output *model summary* ini menjelaskan besarnya nilai korelasi atau hubungan (R) yaitu sebesar 0.964 dan dijelaskan besarnya prosentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat yang disebut koefisien determinasi yang merupakan hasil penguadratan R . dari output diatas diperoleh koefisien determinasi sebesar 0.929, yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (letakmagnet dan penambahan *fluks berrier*) terhadap variabel terikat (nilai *back emf*) adalah sebesar 92.9%, sedangkan sisanya yakni 7.1 % dipengaruhi oleh faktor yang lain. Hasil analisis data regresi linier dari variasi  $Y_2$  terhadap kondisi normal X yaitu ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.4. Analisis Data ANOVA  $Y_2$

Model		Sum of square	df	Mean square	F	Sig
1	regresion	15.659	1	15.659	677.352	<.001b
	residual	1.341	58	.023		
	Total	17.000	59			

Pada tabel 4.4 diatas merupakan salah satu output dari SPSS. Pada output anova ini menjelaskan apakah ada pengaruh yang nyata atau signifikan antara varibel atau variasi  $Y_2$  terhadap variasi X. dari output tersebut terlihat

$f_{hitung} = 677.352$  dengan tingkat signifikansi  $0.001 < 0.05$ , maka dapat disimpulkan bahwa data tersebut bisa diterima dan variasi  $Y_2$  berpengaruh terhadap variasi  $X$ .

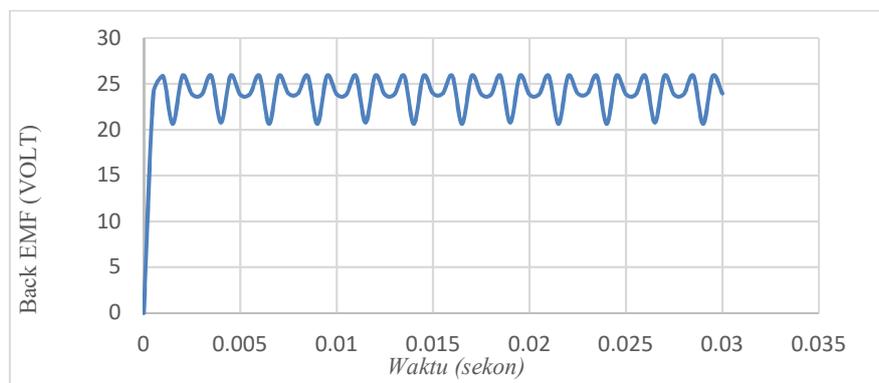
Tabel 4.5 Model Summary  $Y_2$

Model	R	R square	Adjusted R square	Std.error of the estimate
1	.960a	.921	.920	.15205

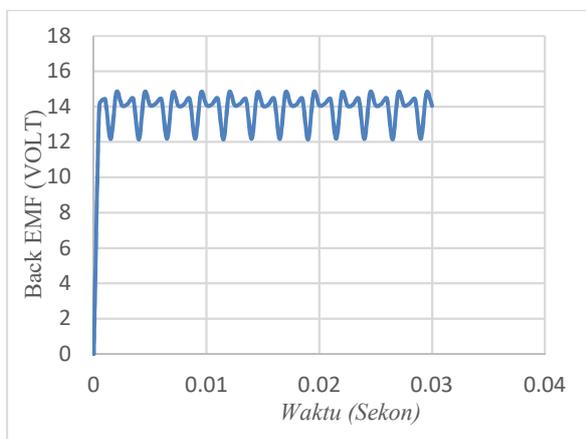
Pada tabel 4.5 diatas merupakan salah satu output dari SPSS. Pada output model summary ini menjelaskan besarnya nilai korelasi atau hubungan (R) yaitu sebesar 0.960 dan dijelaskan besarnya prosentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat yang disebut koefisien determinasi yang merupakan hasil penguadratan R dari output diatas diperoleh koefisien determinasi sebesar 0.921, yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (letakmagnet dan penambahan *fluks berrier*) terhadap variabel terikat (nilai *back emf*) adalah sebesar 92.1%, sedangkan sisanya yakni 7.9 % dipengaruhi oleh faktor yang lain.

#### 4.2.2. Analisis Grafik Nilai Vdc Atau Back Emf Pada Masing Masing Variasi

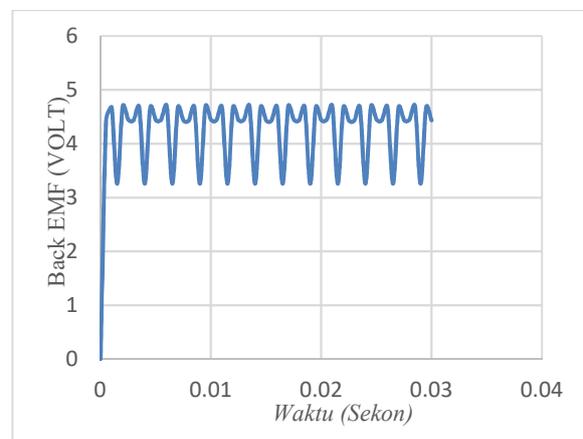
Pada penjelasan diatas menyatakan bahwa variabel bebas (letak magnet terhadap permukaan rotor dan penambahan *fluks berrier*) berpengaruh terhadap variabel terikat (nilai *back emf*). Hal ini juga diperkuat dengan grafik nilai *back emf* dari masing masing variasi yang dapat dilihat pada gambar 5.7 gambar 5.8 dan gambar 5.9 dibawah ini.



Gambar 4.1. Grafik Nilai Back Emf Variabel X Kondisi Normal



Gambar 4.2. Grafik Nilai Back Emf Variasi Y1



Gambar 4.3. Grafik Nilai Back Emf Variasi Y2

Dari gambar 5.7, gambar 5.8, dan gambar 5.9 diatas dapat dilihat bahwa terjadinya perbedaan menambah penguatan bahwa variasi  $Y_1$  dan  $Y_2$  memang mempengaruhi nilai *back emf* pada kondisi normal. pada kondisi normal atau variasi X bisa dilihat pada gambar 5.7 bahwa grafik voltagenya menyentuh angka 21 volt bahkan pada puncaknya melebihi angka 25 volt, dan ketika melihat struktur dari grafiknya memang terlihat konstan antara lembah maupun bukit gelombangnya dari masing masing waktu. Sedangkan pada variasi  $Y_1$  (2 mm dibawah permukaan rotor dan penambahan *fluks berrier*) grafiknya menurun dari kondisi normal yang tadinya antara 21 volt sampai 25 volt berubah menjadi antara 12 volt sampai 14 volt, pada variasi ini terjadi penurunan yang cukup signifikan dari kondisi awalnya.

Sedangkan pada variasi  $Y_2$  (4 mm dibawah permukaan rotor dan penambahan *fluks berrier*) grafiknya menurun dari kondisi normal yang tadinya antara 21 volt sampai 25 volt berubah menjadi antara 3 volt sampai 4 volt, pada variasi ini terjadi penurunan yang cukup signifikan dari kondisi awalnya. Hal ini memperkuat bahwa letak magnet dan penambahan *fluks berrier* berpengaruh terhadap nilai *back emf*. Sejalan dengan penelitian bayu [23] bahwa variasi posisi magnet mempengaruhi nilai back emf pada PMSG 18 Slot 16 Pole. Penelitian Bacco dkk [24]

juga menyatakan *fluks berrier* mempengaruhi performa keluaran nilai *back emf*. Nilai *back emf* sangat penting mengingat banyak dipengaruhi beberapa factor yang bisa menaikkan atau menurunkan nilai tersebut [25].

## 5. Simpulan dan Saran

Dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa letak magnet dan penambahan *fluks berrier* dapat mempengaruhi nilai *Back EMF* ditunjukkan hasil signifikansi analisis regresi variable terikat dan bebas  $0,001 < 0,05$ . Dari data nilai *Back EMF* diatas dapat disimpulkan bahwa, semakin dekat jarak magnet dengan stator atau permukaan rotor maka akan semakin besar pula nilai *back EMF*nya, sebaliknya semakin jauh jarak magnet dengan stator atau permukaan rotor maka akan semakin kecil nilai *back emf*. Penambahan *fluks berrier* pada sisi magnet dapat membuat nilai *Back EMF* semakin turun. Saran penelitian selanjutnya peningkatan penelitian mengenai generator karena kedepanya pembangkit listrik menjadi kebutuhan masyarakat. Khususnya yaitu memvariasikan bentuk magnet dan luas dari magnet permanen. Kemudian membahas mengenai nilai *torca coging* karena mempengaruhi efisiensi dalam generator.

## Daftar Pustaka

- [1] Situngkir, Licardo H., and Abil Mansyur. "aplikasi metode smoothing eksponensial dalam peramalan persediaan energi listrik (studi kasus: persediaan energi listrik oleh pt. Pln (persero) area medan." *KARISMATIKA: Kumpulan Artikel Ilmiah, Informatika, Statistik, Matematika dan Aplikasi* 4.1 (2018).
- [2] Ahmad Redi, "Hukum Pertambangan Indonesia", Jakarta: Gramata Publishing, 2014.
- [3] Zhang, L., Zheng, H., Wan, T., Shi, D., Lyu, L., & Cai, G. (2021). An integrated control algorithm of power distribution for islanded microgrid based on improved virtual synchronous generator. *IET Renewable Power Generation*, 15(12), 2674-2685.
- [4] M. R. Hadisiwoyo, I. Arifianto, S. Rahmatia, and R. Elson, "Variasi Geometri Pemodelan PM Generator Sinkron 12 Slot 8 Pole ¼ Model," pp. 48-52, 2018.
- [5] Krisdiantoro, Heni, Triwahju Hardianto, and Widyono Hadi. "Unjuk Kerja Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 3 Fasa Fluks Radial dari Modifikasi Motor Induksi." *Jurnal Arus Elektro Indonesia* 7.3 (2021): 95-100.
- [6] Irfan, Muhammad, Erwin Erwin, and Slamet Wiyono. "Perancangan Permanent Magnet Synchronous Generator Sultan Wind Turbine V-5." *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi* (2021): 131-142.
- [7] Prayogo, Ferdi Ridho. *Skripsi-Energi Listrik Rancang Bangun Motor Induksi Sebagai Generator Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg) Pada Pltb Skala Mikro*. Diss. Institut Teknologi Nasional Malang, 2021.
- [8] Anuja, T. A., and M. Arun Noyal Doss. "Reduction of cogging torque in surface mounted permanent magnet brushless DC motor by adapting rotor magnetic displacement." *Energies* 14.10 (2021): 2861.
- [9] Liliana, Liliana Liliana. "Analisis Pengaruh Material Magnet Permanen Terhadap Karakteristik Generator Sinkron Radial 18 Slot 16 Pole." *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro* 11.1 (2022): 45-50.
- [10] Sauza, Nurcholis Harmade. *Pengaruh Variasi Geometri Umbrella Terhadap Torsi Cogging Pada Generator 12s8p Untuk Turbin Angin Menggunakan Software Magnet*. Diss. Universitas Gadjah Mada, 2020.
- [11] Wibowo, B. C., Winardi, I. B., Kom, M., & Belakang, L. "Simulasi Perubahan Tegangan Keluaran Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg) 12s8p Terhadap Variasi Kecepatan Putar Rotor Dengan Software Berbasis Finite Element Method (Fem)." *J. Tek. Elektro* 2.1 (2020): 1-9.
- [12] E. Maghfira, A. Harahap, I. H. Rosma, and A. Hamzah, "Analisis Pengaruh Posisi Peletakan Magnet Permanen di Rotor Terhadap Kinerja Generator Sinkron Magnet Permanen," vol. 7, pp. 1-6, 2020.
- [13] Ujang, Ujang Cakra Buana. "Analisis Pengaruh Lebar Teeth Terhadap Penurunan Nilai Cogging Torque pada PMSG 18S16P." *Electrician* 16.1 (2022): 1-8.
- [14] N. Tajuddin and E. Lisa, "Studi the Effect of Height and Edge on The Cogging Torque Reduction of Frantional Slot Number in Magnet Permanent Machine," in International Conference on Electrical Engineering, Science and Technology (ICEST), Bandar Lampung, 2019.
- [15] Adıgüzel, Fatih, and Türker Türker. "A periodic adaptive controller for the torque loop of variable speed brushless DC motor drives with non-ideal back-electromotive force." *Automatika* 63.4 (2022): 732-744.
- [16] Rigatos, G., M. Abbaszadeh, and P. Siano. "A nonlinear optimal control approach for permanent magnet AC motors with non-sinusoidal back EMF." *Electrical Engineering* (2022): 1-26.
- [17] J. R. Hendershot Jr and T. J. E. Miller, *Design of Brushless Permanent-Magnet Motors*, Oxford: MAGNA PHYSICS PUBLISHING AND CLARENDON PRESS, 1994.
- [18] Mukhtar, M., et al. "Analisis Desain Stator Generator Tipe Magnet Permanen Fluks Aksial Menggunakan Metode Finite Element Analysis (FEA)." *Jurnal Teknik Mesin* 8.2 (2021): 149-156.
- [19] B. Setiyawan, A. A. Z. M, I. Pendahuluan, and L. Belakang, "Simulasi Perubahan Tegangan Keluaran Permanent Magnet Synchronous Generator ( Pmsg ) 12s8p Terhadap Variasi Material Inti Dengan Software Berbasis Finite Element Method ( FEM )."
- [20] Indrawan Arifianto, Muhamad Ranga HS. "Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7.5." *Seminar Nasional Microwave, Antena dan Propagasi (SMAP)*. 2018.
- [21] Janie, Dyah Nirmala Arum. "Statistik deskriptif & regresi linier berganda dengan SPSS." *Jurnal, April* (2012).
- [22] Pramesti, Getut. *Statistika lengkap secara teori dan aplikasi dengan SPSS 23*. Elex Media Komputindo, 2016.
- [23] Bayu, Era. *Pengaruh Variasi Posisi Letak Magnet Terhadap Back-Emf Pada Pemodelan Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 16 Pole Menggunakan Software Field Element Method*. Era Bayu, 2021.
- [24] Bacco, Giacomo, and Nicola Bianchi. "Design criteria of flux-barriers in synchronous reluctance machines." *IEEE Transactions on Industry Applications* 55.3 (2018): 2490-2498.
- [25] Li, Yong, et al. "Programmable design of magnet shape for permanent-magnet synchronous motors with sinusoidal back EMF waveforms." *IEEE transactions on magnetics* 44.9 (2008): 2163-2167