

Analisa Pengaruh Perbedaan Winding terhadap *Back EMF* dan Ke pada PMSG 18s16p

Ibnu Aqil Albarohin¹, Ulinnuha Latifa²

^{1,2} Universitas Singaperbangsa Karawang

e-mail: ibnuaqil.albarohin17015@student.unsika.ac.id¹, Ulinnuha.latifa@ft.unsika.ac.id²

Diterima: 15-04-2021

Disetujui: 03-07-2021

Diterbitkan: 31-08-2021

Abstract

Electrical energy depends on the non-renewable natural resources which depletion all year. It has been a reason to run the research about renewable energy. In terms of renewable energy, wind power, has various types of wind turbines which able to produce quality new renewable electrical energy. The problems should be assessed was how to wind a coil or winding in a generator needs. It was important to result a good quality wind turbine. From this study, there are 2 winding options on the PMSG 18s16p which have same winding direction for each coil with average tension. This winding obtained about 4.188 V. The second option was the winding which has an average voltage value of 4.762 V but the windings stand in the opposite direction for some coils. It should been considered by an engineer if the use of generator to produce a larger output. On the other hand, to make easier manufacturing, the next study must sacrifice the resulting output.

Keywords: Wind Turbine, Winding, Synchronous Generator, Average Voltage

Abstrak

Energi listrik bergantung pada sumber daya alam yang tidak terbarukan yang menipis sepanjang tahun. Hal tersebut menjadi alasan untuk melakukan penelitian tentang energi terbarukan. Dalam hal energi terbarukan, tenaga angin, memiliki berbagai jenis turbin angin yang mampu menghasilkan energi listrik baru terbarukan yang berkualitas. Permasalahan yang harus dikaji adalah bagaimana melilitkan koil atau lilitan dalam kebutuhan generator. Sangat penting untuk menghasilkan turbin angin yang berkualitas baik. Dari penelitian ini, terdapat 2 pilihan belitan pada PMSG 18s16p yang memiliki arah belitan yang sama untuk setiap koil dengan tegangan rata-rata. Gulungan ini diperoleh sekitar 4,188 V. Pilihan kedua adalah belitan yang memiliki nilai tegangan rata-rata 4,762 V tetapi belitan berdiri berlawanan arah untuk beberapa gulungan. Hal ini harus diperhatikan oleh seorang insinyur jika penggunaan generator untuk menghasilkan output yang lebih besar. Di sisi lain, untuk mempermudah pembuatan, penelitian selanjutnya harus mengorbankan output yang dihasilkan.

Kata Kunci: Turbin Angin, Winding, Generator Sinkron, Tegangan Rata Rata

Pendahuluan

Saat ini energi listrik merupakan kebutuhan premier bagi kehidupan manusia. Segala aspek kegiatan manusia melibatkan energi listrik dalam berbagai alat elektronik. Kebutuhan ini tidak berimbang penyediaan Sumber Daya Alam yang semakin terbatas. Penggunaan sumber daya alam tak terbarukan menjadi suatu hal yang harus dipertimbangkan karena sumber daya alam tersebut lambat laun pasti akan mengalami deplesi (Budiastara, 2009), oleh karena itu pengembangan dalam pemanfaatan energi terbarukan itu sangat diperlukan. Salah satu pengembangan energy tersebut adalah dengan penggunaan turbin angin.

Turbin angin merupakan salah satu energi alternatif yang terus dilakukan pengembangan dan penelitian. Sejumlah ahli teknik terus melakukan studi tentang ini karena berkaitan dengan sumber daya fosil yang terus menurun atau mengalami penipisan. Berbagai macam adaptasi dalam pembuatan turbin angin baik itu dari sumber angin rendah sampai yang tinggi masih menjadi topik penelitian dalam meningkatkan kualitas sumber energi listrik (Budiastara et al., 2009).

Konsep kerja turbin angin yaitu dengan mengubah energi angin menjadi energi kinetik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Perubahan ini dilakukan dengan memanfaatkan daya tarik magnet yang mempengaruhi kumparan pada generator. Kumparan pada generator ini sangat mempengaruhi keluaran yang dihasilkan oleh generator tersebut. Keadaan lilitan kumparan berbanding lurus dengan seberapa besar listrik yang dihasilkan. Pada penelitian ini, tujuan yang akan dibahas yaitu tentang variasi *winding* dari generator sinkron yang akan disimulasikan menggunakan software elektromagnetik berbasis *finite elemented method*. Aplikasi ini secara otomatis mampu melakukan perhitungan desain elektromagnetik (Gancoli, 2011).

Studi Pustaka

Pada umumnya penelitian banyak dilakukan untuk membahas tentang generator, pengaruh jumlah lilitan, serta bahan magnet. Kajian yang difokuskan adalah tentang perhitungan dasar konversi energi listrik (Anam, 2017). Namun pada penelitian ini, akan membahas tentang *winding* atau perlakuan lilitan pada generator PMSG 18s16p.

a. Generator Sinkron

Sama seperti generator pada umumnya, generator sinkron mampu mengubah energi kinetik menjadi energi listrik baik itu generator DC ataupun AC. Generator sinkron memiliki frekuensi yang sama dengan laju rotasi generator, perbedaan bentuk serta bahan pada generator. Sehingga hal ini sangat mempengaruhi performa atau keluaran dari generator (Indriani, 2015).

b. Winding

Winding adalah cara memperlakukan lilitan pada generator. Bagi seorang ahli teknik, penting untuk meningkatkan performa dari sebuah generator dengan mempertimbangkan cara pembuatannya. Secara prinsip, *winding* ini merupakan cara untuk menentukan bagaimana lilitan akan diperlakukan dalam sebuah generator, baik itu searah jarum jam (*Clockwise/CW*) atau berlawanan arah jarum jam (*Counter Clockwise/CCW*) (Anam, 2017).

c. Flux Linkage, Tegangan Antar Fasa dan Konstanta Elektromotive (Ke)

Perhitungan output generator dengan menggunakan software elektromagnetik berbasis FEM ini akan menghasilkan nilai fluks linkage yang selanjutnya nilai ini harus diolah kembali. Pengolahan ini penting hingga menemukan nilai yang ditentukan. Perhitungan tersebut bisa dilakukan dengan teori dasar dari hukum Faraday (Magnet, 2012).

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- \mathcal{E} = Tegangan induksi (V)
- ϕ = Fluks magnet (Wb)
- N = jumlah lilitan
- $\Delta\phi$ = perubahan fluks (Wb)
- Δt = perubahan waktu (s)

Fluks linkage merupakan fluks yang masuk melewati ke dalam kumparan sehingga elektron pada lilitan tersebut bergerak atau menghasilkan listrik yang biasa disebut gaya gerak listrik/ GGL (Edwards, 1982).

$$\lambda = N \cdot \phi \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- λ = Fluks Linkage (Wb)
- ϕ = Fluks Magnet (Wb)
- N = Jumlah Lilitan

Tanda minus pada persamaan 1 menandakan perbedaan kutub magnet maka untuk persamaan fluks linkage ini sudah disertai dengan nilai minus dari perhitungan software elektromagnetic maka persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\lambda}{\Delta t} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- \mathcal{E} = Tegangan induksi (V)
- $\Delta\lambda$ = perubahan fluks linkage (Wb)
- Δt = perubahan waktu (s)

Selanjutnya untuk mengetahui konstanta *elektromotive* (*Ke*) sebagai nilai spesifikasi pada generator yang didesain dengan membagi tegangan rata-rata dengan kecepatan sudut generator sebagai berikut persamaannya:

$$Ke = E/\omega = V_{dc \text{ rata-rata}}/\omega \dots\dots\dots (4)$$

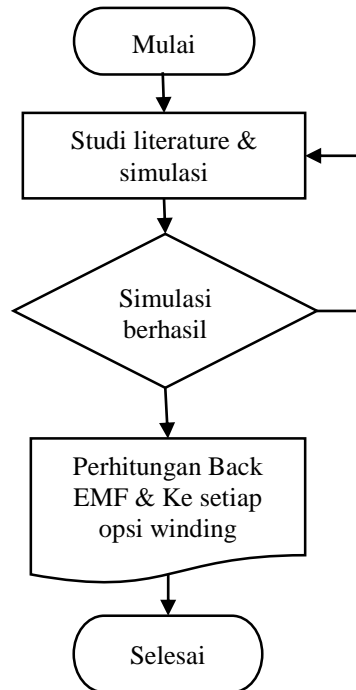
Keterangan:

- Ke* = Konstanta Electromotive
- E* = Tegangan rata rata (V)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Metodologi

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur tentang winding dilanjutkan dengan mempelajari software elektromagnetic berbasis FEM. Pada aplikasi ini akan membuat simulasi perhitungan sederhana mengenai problematika pada elektromagnetic hingga tahap membuat desain *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) dengan berbagai variasi bentuk, bahan maupun lilitan. Pada dasarnya, keluaran atau output dari setiap generator memiliki variasi yang berbeda tergantung dari spesifikasi dari masing masing generator. Adapun penelitian ini akan menganalisa hasil output dari generator dengan pengaruh dari perbedaan kumparan pada

generator PMSG 18s16p. Pada 18 slot bermakna memiliki 18 lilitan dalam suatu desain generator. Kemudian dari 18 lilitan atau kumparan tersebut akan dilakukan perangkaian untuk membuat generator 3 phase karena lilitan juga berpengaruh pada output dari generator yang dibuat (1).

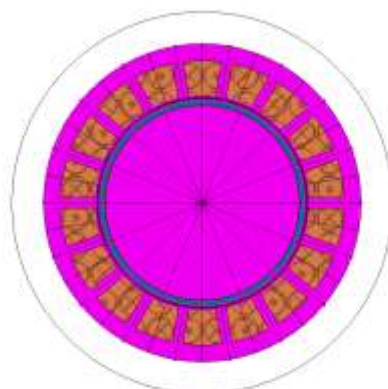


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Hasil dan Pembahasan

Pada pembahasan ini akan dilakukan perbandingan pada desain PMSG 18S16P dengan 2 variasi winding yang berbeda yang akan ditentukan setelah mendapatkan nilai fluks linkage pada desain tersebut yang selanjutnya akan mendapatkan nilai tegangan rata rata untuk setiap desain.

a. Geometri PMSG 18S16P dan Spesifikasi



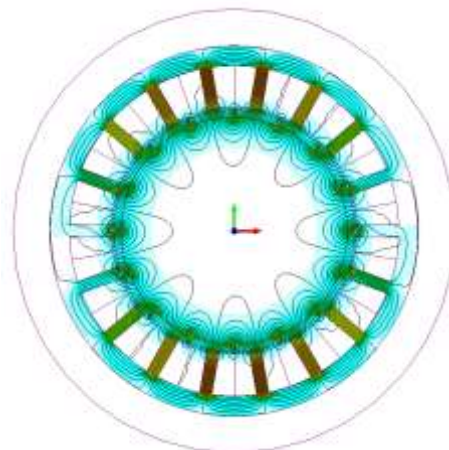
Gambar 2 Desain PMSG 18 Slot 16 Pole

Dapat dilihat pada gambar geometri di atas bahwa desain ini memiliki 18 slot lilitan dan 16 kutub magnet dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Airgap rotor
Nama : RT-AG
Material : Air
Distance : 40mm
- b. Airgap Stator
Nama : AirGap-ST
Material : Air
Distance : 40 milimeter
- c. Magnet Utara
Nama : MG-N-L dan MG-N-R
Material : PM12: Br 1.2 mur 1.0
Type : Uniform
Direction : (0,10)
Distance : 40mm
- d. Magnet Selatan
Nama : MG-S-L dan MG-S-R
Material : PM12: Br 1.2 mur 1.0
Type : Uniform Direction: (0,-1,0)
Distance : 40mm
- e. Rotor
Nama : RT-CORE
Material : Carpenter: Silicon steel
Distance : 40mm
- f. Stator
Nama : ST-L dan ST-R
Material : Carpenter: Silicon steel
Distance : 40mm
- g. Coil/lilitan
Nama : Coil-L dan Coil-R
Material : Copper:5.77e7 Siemens/meter
Lilitan : 10 turns
Distance : 40mm

b. Intensitas Fluks Magnet

Pada gambar berikut ini merupakan intensitas fluks magnet yang mempengaruhi stator maupun rotor pada desain PMSG 18S16P.

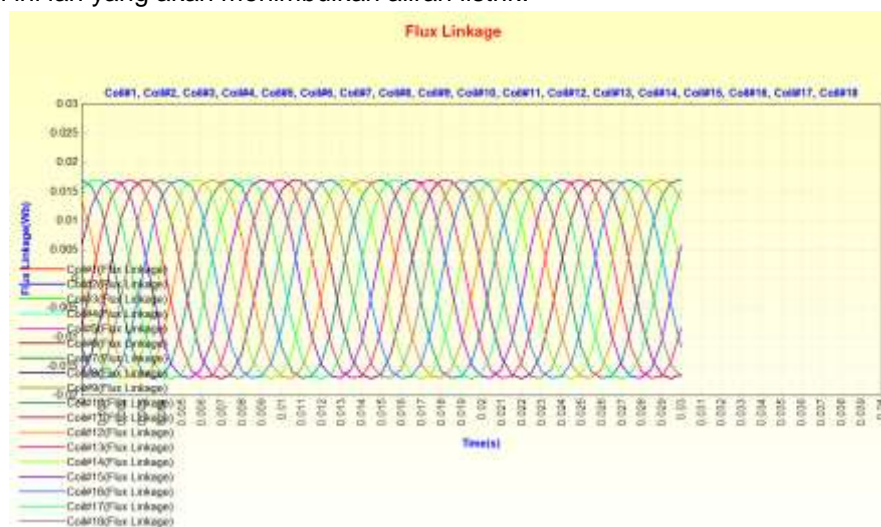


Gambar 3 Intensitas Fluks Magnet

Dapat dilihat dari gambar diatas untuk stator yang memiliki garis yang semakin padat serta berwarna merah menandakan intensitas fluks magnet yang kuat begitu juga sebaliknya untuk area warna putih menandakan bahwa area tersebut tidak mengalami dampak dari magnet.

c. Fluks Linkage

Seperti yang sudah diketahui bahwa *fluks linkage* merupakan fluks magnet yang masuk melewati kumparan sehingga dari pergerakan magnet tersebut akan menghasilkan *fluks linkage* yang berbeda hal ini lah yang akan menimbulkan aliran listrik.



Gambar 4 Grafik Fluks Linkage

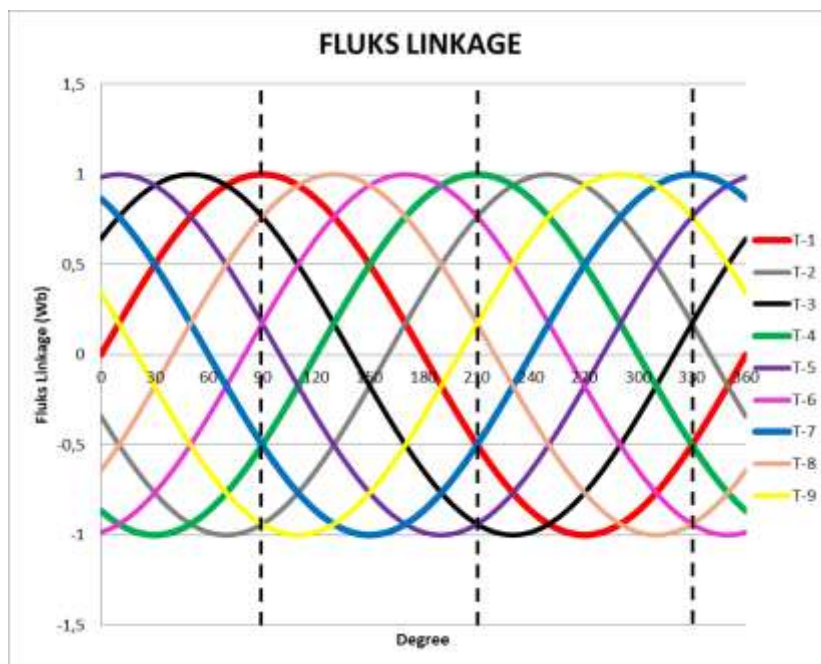
Gambar diatas merupakan hasil perhitungan menggunakan software elektromagnetik. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat gelombang tersebut memiliki lebih dari tiga gelombang sedangkan pada desain ini akan dibuat generator tipe 3 phase. Cara untuk melakukan perhitungan tersebut adalah dengan melakukan perhitungan secara excel dimana nilai yang didapatkan akan dilakukan perhitungan kembali hingga mendapatkan 3 gelombang yang saling berkesinambungan.

Tabel.1 *Fluks Linkage* Lilitan 1 Sampai 9

Deg Elec	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9
0	0	-0,34	0,64	-0,86	0,98	-0,98	0,86	-0,64	0,34
5	0,08	-0,42	0,70	-0,90	0,99	-0,96	0,81	-0,57	0,25
10	0,17	-0,5	0,76	-0,93	1	-0,93	0,76	-0,50	0,17
15	0,25	-0,57	0,81	-0,96	0,99	-0,90	0,70	-0,42	0,08
20	0,34	-0,64	0,86	-0,98	0,98	-0,86	0,64	-0,34	-8,6E-16
25	0,42	-0,70	0,90	-0,99	0,96	-0,81	0,57	-0,25	-0,08
30	0,5	-0,76	0,93	-1	0,93	-0,76	0,50	-0,17	-0,17
35	0,57	-0,81	0,96	-0,99	0,90	-0,70	0,42	-0,08	-0,25
40	0,64	-0,86	0,98	-0,98	0,86	-0,64	0,34	7,35E-16	-0,34
45	0,70	-0,90	0,99	-0,96	0,81	-0,57	0,25	0,08	-0,42
50	0,76	-0,93	1	-0,93	0,76	-0,50	0,17	0,17	-0,50
55	0,81	-0,96	0,99	-0,90	0,70	-0,42	0,08	0,25	-0,57
60	0,86	-0,98	0,984	-0,86	0,64	-0,342	-6,1E-16	0,34	-0,64
65	0,90	-0,99	0,96	-0,81	0,57	-0,25	-0,08	0,42	-0,70
70	0,93	-1	0,93	-0,76	0,50	-0,17	-0,17	0,50	-0,76
75	0,96	-0,99	0,90	-0,70	0,42	-0,08	-0,25	0,57	-0,81
80	0,98	-0,98	0,86	-0,64	0,34	4,9E-16	-0,34	0,64	-0,86
85	0,99	-0,96	0,81	-0,57	0,25	0,08	-0,42	0,70	-0,90
90	1	-0,93	0,76	-0,50	0,17	0,17	-0,50	0,76	-0,93
95	0,99	-0,90	0,70	-0,42	0,08	0,25	-0,57	0,81	-0,96
100	0,98	-0,86	0,64	-0,34	-3,7E-16	0,34	-0,64	0,86	-0,98
105	0,96	-0,81	0,57	-0,25	-0,08	0,42	-0,70	0,90	-0,99
110	0,93	-0,76	0,50	-0,17	-0,17	0,50	-0,76	0,93	-1
115	0,90	-0,70	0,42	-0,08	-0,25	0,57	-0,81	0,96	-0,99
120	0,86	-0,64	0,34	2,45E-16	-0,34	0,64	-0,86	0,98	-0,98
125	0,81	-0,57	0,25	0,08	-0,42	0,70	-0,90	0,99	-0,96
130	0,76	-0,50	0,17	0,17	-0,50	0,76	-0,93	1	-0,93
135	0,70	-0,42	0,08	0,25	-0,57	0,81	-0,96	0,99	-0,90
140	0,64	-0,34	-1,2251E-16	0,34	-0,64	0,86	-0,98	0,98	-0,86
145	0,57	-0,25	-0,08	0,42	-0,70	0,90	-0,99	0,96	-0,81
150	0,50	-0,17	-0,17	0,50	-0,76	0,93	-1	0,93	-0,76
155	0,42	-0,08	-0,25	0,57	-0,81	0,96	-0,99	0,90	-0,70
160	0,34	0	-0,34	0,64	-0,86	0,98	-0,98	0,86	-0,64
165	0,25	0,08	-0,42	0,70	-0,90	0,99	-0,96	0,81	-0,57
170	0,17	0,17	-0,50	0,76	-0,93	1	-0,93	0,76	-0,50
175	0,08	0,25	-0,57	0,81	-0,96	0,99	-0,90	0,70	-0,42
180	1,23E-16	0,34	-0,64	0,86	-0,98	0,98	-0,86	0,64	-0,34
185	-0,08	0,42	-0,70	0,90	-0,99	0,96	-0,81	0,57	-0,25
190	-0,17	0,50	-0,76	0,93	-1	0,93	-0,76	0,50	-0,17
195	-0,25	0,57	-0,81	0,96	-0,99	0,90	-0,70	0,42	-0,08
200	-0,34	0,64	-0,86	0,98	-0,98	0,86	-0,64	0,34	7,35E-16

205	-0,42	0,70	-0,90	0,99	-0,96	0,81	-0,57	0,25	0,08
210	-0,5	0,76	-0,93	1	-0,93	0,76	-0,5	0,17	0,17
215	-0,57	0,81	-0,96	0,99	-0,90	0,70	-0,42	0,08	0,25
220	-0,64	0,86	-0,98	0,98	-0,86	0,64	-0,34	-6,1E-16	0,34
225	-0,70	0,90	-0,99	0,96	-0,81	0,57	-0,25	-0,08	0,42
230	-0,76	0,93	-1	0,93	-0,76	0,5	-0,17	-0,17	0,5
235	-0,81	0,96	-0,99	0,90	-0,70	0,42	-0,08	-0,25	0,57
240	-0,86	0,98	-0,98	0,86	-0,64	0,34	4,9E-16	-0,34	0,64
245	-0,90	0,99	-0,96	0,81	-0,57	0,25	0,08	-0,42	0,70
250	-0,93	1	-0,93	0,76	-0,5	0,17	0,17	-0,5	0,76
255	-0,96	0,99	-0,90	0,70	-0,42	0,08	0,25	-0,57	0,81
260	-0,98	0,98	-0,86	0,64	-0,34	-3,7E-16	0,34	-0,64	0,86
265	-0,99	0,96	-0,81	0,57	-0,25	-0,08	0,42	-0,70	0,90
270	-1	0,93	-0,76	0,5	-0,17	-0,17	0,5	-0,76	0,93
275	-0,99	0,90	-0,70	0,42	-0,08	-0,25	0,57	-0,81	0,96
280	-0,98	0,86	-0,64	0,34	2,45E-16	-0,34	0,64	-0,86	0,98
285	-0,96	0,81	-0,57	0,25	0,08	-0,42	0,70	-0,90	0,99
290	-0,93	0,76	-0,5	0,17	0,17	-0,5	0,76	-0,93	1
295	-0,90	0,70	-0,42	0,08	0,25	-0,57	0,81	-0,96	0,99
300	-0,86	0,64	-0,34	-1,2E-16	0,34	-0,64	0,86	-0,98	0,98
305	-0,81	0,57	-0,25	-0,08	0,42	-0,70	0,90	-0,99	0,96
310	-0,76	0,5	-0,17	-0,17	0,5	-0,76	0,93	-1	0,93
315	-0,70	0,42	-0,08	-0,25	0,57	-0,81	0,96	-0,99	0,90
320	-0,64	0,34	0	-0,34	0,64	-0,86	0,98	-0,98	0,86
325	-0,57	0,25	0,08	-0,42	0,70	-0,90	0,99	-0,96	0,81
330	-0,5	0,17	0,17	-0,5	0,76	-0,93	1	-0,93	0,76
335	-0,42	0,08	0,25	-0,57	0,81	-0,96	0,99	-0,90	0,70
340	-0,34	1,23E-16	0,34	-0,64	0,86	-0,98	0,98	-0,86	0,64
345	-0,25	-0,08	0,42	-0,70	0,90	-0,99	0,96	-0,81	0,57
350	-0,17	-0,17	0,5	-0,76	0,93	-1	0,93	-0,76	0,5
355	-0,08	-0,25	0,57	-0,81	0,96	-0,99	0,90	-0,70	0,42
360	-2,5E-16	-0,34	0,64	-0,86	0,98	-0,98	0,86	-0,64	0,34

Tabel diatas merupakan hasil dari perhitungan sebelumnya, karena untuk desain ini memiliki 18 lilitan maka untuk lilitan 1 sampai 9 hasilnya sama dengan lilitan 10 sampai 18 oleh karena itu perhitungan hanya akan menggunakan lilitan 1 (T-1) sampai lilitan 9 (T-9). Dari data diatas dapat dibuat grafik sebagai berikut.

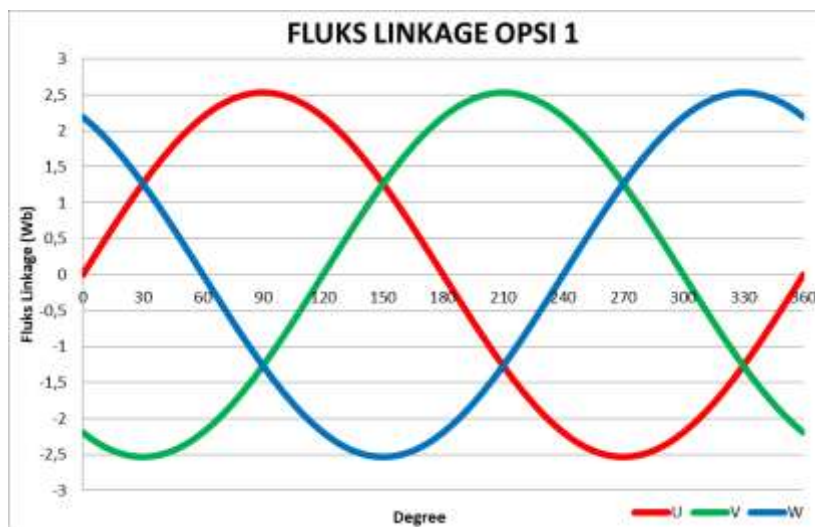


Gambar 5 Grafik *Fluks Linkage* Menggunakan Excel

Pada gambar *fluks linkage* diatas merupakan grafik dari data yang telah dipindahkan pada tabel, untuk membuatnya menjadi 3 gelombang yang berkesinambungan. Cara yang dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu gelombang utama, karena pada desain generator ini akan menggunakan type 3 phase maka kita harus mencari gelombang yang memiliki jarak sudut (*Degree*) sebesar 120. Pada grafik diatas kita dapat melihat untuk gelombang T-1, T-4 dan T-7 merupakan gelombang yang memiliki jarak 120, selanjutnya menggabungkan 2 gelombang yang berdekatan dengan gelombang utama.

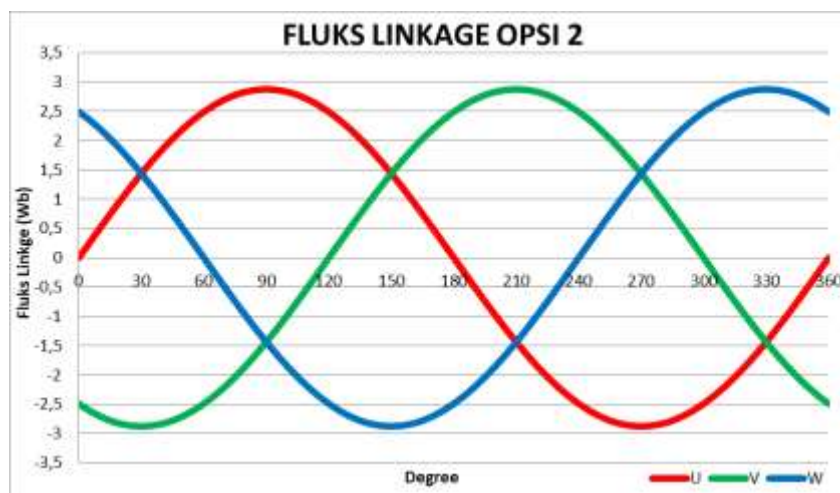
d. Perbandingan *Fluks Linkage*

Untuk menentukan winding opsi pertama yaitu dengan melihat puncak yang berdekatan dengan puncak gelombang utama. Untuk gelombang T-1 berdekatan dengan gelombang T-3 dan T-8 maka nilai dari gelombang tersebut dijumlahkan $(T-1) + (T-3) + (T-8) = \text{Phase U}$, begitu pula dengan gelombang yang lainnya $(T-4) + (T-6) + (T-2) = \text{Phase V}$, $(T-7) + (T-9) + (T-5) = \text{Phase W}$, berikut *fluks linkage* yang didapatkan.



Gambar 6 Grafik *Fluks Linkage* 3 Phase Opsi 1

Dari *fluks linkage* untuk opsi 1 kita mendapatkan nilai puncak sebesar 2,5, sedangkan untuk opsi 2 yaitu dengan menjumlahkan puncak utama dengan 2 lembah yang bedekatan dengan puncak utama. Pada Gambar dapat dilihat pada garis putus putus dimana T-1 bertemu dengan T-2 dan T-9, karena lembah berada disumbu negatif maka lembah tersebut bernilai negatif, maka perhitungannya $(T-1) - (T-2) - (T-9) = \text{Phase U}$, begitu juga untuk phase V dan Phase W. berikut grafik *Fluks Linkage* yang didapatkan.

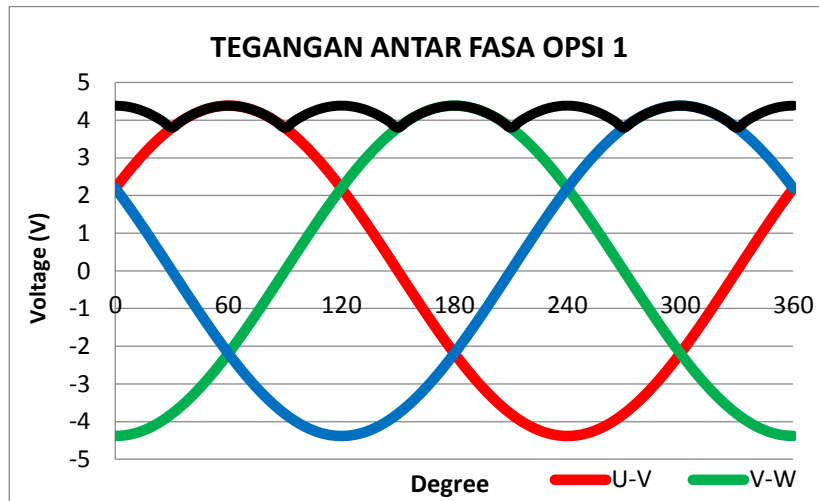


Gambar 7 Grafik *Fluks Linkage* 3 Phase Opsi 2

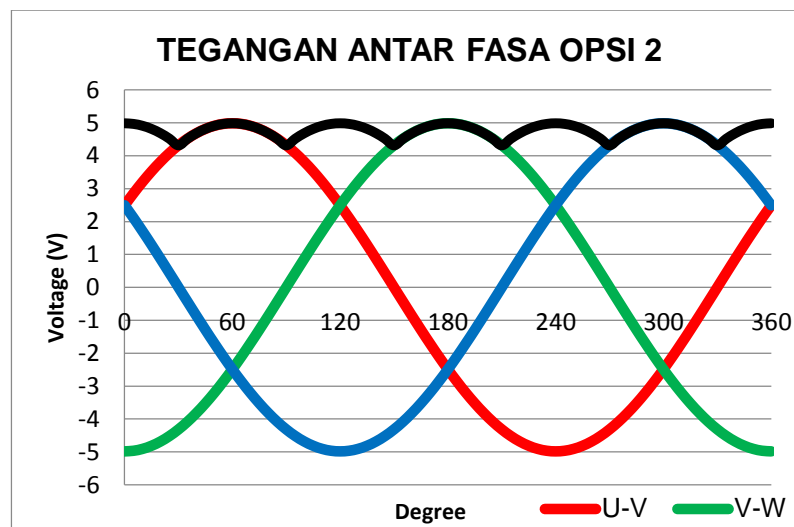
Hasil perhitungan opsi 2 ini mendapatkan nilai yang lebih besar dari opsi 1 yaitu sekitar 0,8 dari perbandingan *fluks linkage* ini lilitan untuk opsi 1 memiliki arah lilitan yang sama untuk seluruh lilitannya sedangkan opsi 2 untuk lilitan yang menjumlahkan dengan lembah. Sehingga, arah lilitannya berbeda maka dari itu nilai yang besar untuk opsi 2 tersebut harus memperlakukan lilitan yang berbeda untuk beberapa lilitan. Selanjutnya adalah perbandingan tegangan antar fasa berikut dengan tegangan rata ratanya.

e. Perbandingan Tegangan Antar Fasa dan *Konstanta Elektromotive (Ke)*

Tegangan antar fasa ini selanjutnya akan menghasilkan tegangan rata rata untuk mengetahui *Konstanta Elektromotive (Ke)* sebagai nilai tetap output pada generator yang telah di desain.



Gambar 8 Grafik Tegangan Antar Fasa Opsi 1



Gambar 9 Grafik Tegangan Antar Fasa Opsi 2

Grafik tegangan antar fasa diatas berbanding lurus dengan nilai *fluks linkage*, pada tegangan antar fasa opsi 1 memiliki hasil tegangan rata rata sebesar 4,188 V sedangkan untuk nilai tegangan rata rata pada opsi 2 sebesar 4,762 V maka variasi lilitan pada opsi kedua memiliki nilai yang lebih besar namun dengan lilitan yang berbeda. Untuk nilai konstanta bisa dilihat pada perhitungan sebagai berikut:

$$K_e = \frac{V_{dc \text{ rata rata}}}{\omega} = \frac{4,188}{104,667} = 0,0402 \text{ Vs/rad}$$

$$K_e = \frac{V_{dc \text{ rata rata}}}{\omega} = \frac{4,762}{104,667} = 0,0454 \text{ Vs/rad}$$

Kesimpulan

Pengaruh perbedaan winding pada generator PMSG 18s16p ini memiliki output atau keluaran berbeda. Hasil yang diperoleh menggunakan perhitungan excel dimana output pada winding opsi pertama lebih kecil dari opsi kedua namun pada opsi kedua ini arah lilitannya memiliki 2 arah lilitan yaitu CW dan CCW. Untuk opsi pertama arah lilitan untuk setiap kumparannya sama. Sebagai seorang pakar teknik, penting untuk membuat kualitas dari produk yang dihasilkan serta memiliki nilai yang bagus cara pembuatan dari produk tersebut. Pada generator PMSG 18s16p ini opsi pertama memiliki tingkat kesulitan pembuatan yang lebih kecil dibanding dengan opsi kedua yang harus memperhatikan secara lebih teliti mengenai arah lilitan yang harus dimiliki setiap kumparan.

Pada penelitian mengenai perbedaan winding ini dapat diteruskan hingga mendapatkan nilai efisiensi setelah dilakukan pembebanan dengan variasi beban maupun kecepatan putar yang berbeda hingga mendapatkan hasil efisiensi generator yang baik.

Referensi

- Anam, C., Nurhadi, N., & Irfan, M. (2017). Perancangan Generator 100 Watt Menggunakan Software Magnetik Infolytica. *Kinetik*, 2(1), 27–36. <https://doi.org/10.22219/kinetik.v2i1.125>
- Budiastara, I. N., Giriantari, I. a. D., Artawijaya, W., & Partha, C. I. (2009). Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Nusa Penida Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan. *Jurnal Bumi Lestari*, 9(2), 263–267.
- Edwards, C. W., Nyholm, E., & Chapman, J. (1982). Lymphomatoid granulomatosis: Report of a case. *Thorax*, 37(4), 311–312. <https://doi.org/10.1136/thx.37.4.311>
- Indriani, A. (2015). Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial. *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 9(2), 62–71.
- Magnet, P., Speed, L., Power, E., Prasetijo, H., & Dharmawan, B. (2012). *Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah*. 8(2).
- Gancoli, Douglas, C., (2001). *Fisika 2*. Jakarta: Erlangga.