

Analisis Generator Sinkron Permanen Magnet (PMSG) Tipe Radial 3 Fasa dengan Hubungan Kumparan Delta

Rohana Ayu Mustikasari
rohanaayuu@gmail.com
Universitas Jember

Triwahju Hardianto
Triwahju.teknik@unej.ac.id
Universitas Jember

Widyono Hadi
widyono@unej.ac.id
Universitas Jember

Abstrak

Generator merupakan mesin listrik yang dapat menghasilkan energi listrik dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator permanen magnet tipe radial sendiri mampu menghasilkan energi listrik pada putaran rendah, generator permanen magnet (PMSG) merupakan generator sinkron yang menggunakan magnet permanen. Magnet yang digunakan adalah *Neodymium iron boron*. Hubungan kumparan yang digunakan ketika pengambilan data dengan menggunakan hubungan kumparan delta. Hubungan kumparan ini memiliki kelebihan dapat digunakan pada generator kapasitas rendah sehingga dapat diketahui tegangan keluarannya. Hasil yang didapatkan dari analisis data ini yaitu, daya dan efisiensi generator menunjukkan bahwa semakin besar beban yang di berikan maka dayanya semakin besar, sedangkan efisiensinya semakin kecil. Kecepatan putar yang didapatkan generator berpengaruh pada gelombangkeluaran pada osiloskop. Semakin besar rpm maka gelombang osiloskop semakin besar.

Kata Kunci — Generator, Fluks Radial, Hubung Kumparan Delta.

Abstract

Generator is an electrical machine that can produce electrical energy by converting mechanical energy into electrical energy. The radial type permanent magnet generator itself is capable of producing electrical energy at low rotations, the permanent magnet generator (PMSG) is a synchronous generator that uses permanent magnets. The magnet used is *neodymium iron boron*. The coil connection used when data collection has the advantage that is can be used in low capacity generators so that the output voltage can be known. The results obtainer from this data analysis, namely, the power and efficiency of the generator indicate that the greater the load given, the greater the power, while the efficiency is getting smaller. The rotational speed obtained by the generator affects the output wave on the oscilloscope. The higher the rpm, the bigger the oscilloscope waveform.

Keywords — Generator, Radial Fluks, Delta Coil Connection.

I. PENDAHULUAN

Generator merupakan komponen penting dalam pembangkit energi listrik. Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik yang memutarnya. Generator permanen magnet merupakan salah satu pengembangan dalam teknologi kelistrikan yang diciptakan guna meningkatkan efisiensi penggunaan serta fungsinya. Generator jenis ini menggunakan magnet permanen pada rotor untuk menghasilkan medan magnet utama. Terdapat dua jenis generator dalam arah *fluks* medan magnet yaitu radial dan aksial[1]. Jenis radial biasanya digunakan pada generator konvensional. Sedangkan aksial digunakan pada jenis generator magnet permanen.

Generator gerak linier merupakan mesin listrik yang dapat menghasilkan energi listrik dengan mengkonversikannya dari generator linier. Keunggulan generator linier adalah pemanfaatan gerakan yang dapat langsung menggunakan gerakan kinetik yang bergerak secara linier tanpa melalui energi mekaniknya. Generator jenis ini terus dikembangkan dengan berbagai variasi agar didapat tingkat efisiensi yang baik sesuai dengan sumber penggeraknya.

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis generator permanen magnet permanen (PMSG) dengan menggunakan hubungan kumparan delta untuk mendapatkan hasil tegangan, daya dan efisiensi yang baik. Dalam menyelesaikan penelitian ini maka dibuat rancangan generator tipe *radial*, menggunakan 8 magnet permanen *Neodymium* dengan tebal magnet 3 mm, menggunakan 12 *coil*.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pembahasan tentang analisis generator permanen magnet fluks radial dengan hubungan kumparan delta. Hasil yang akan didapatkan berupa arus, tegangan, daya serta efisiensi dari generator yang diberikan beban resistor sebesar 2200, 1100, 733.33, 550 dan 440 Ohm.

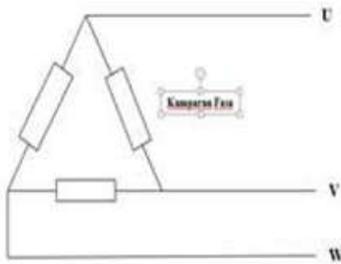
A. Generator Sinkron Permanen Magnet

Pada prinsipnya generator sinkron merupakan mesin sinkron yang digunakan sebagai generator arus bolak balik (*alternating current generators*). Tipe dari generator sinkron

yaitu *rotating-armature type* dan *rotating field type*. Dalam penelitian ini generator yang digunakan tipe kedua atau *rotating-field type* yang dimana pada tipe ini kumparan atau belitan armatur atau terminal ada di stator dan medan gaya ada di rotor.

Dalam generator dua komponen penting yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Pada generator permanen magnet, stator merupakan kumparan medan, yang tersusun dari beberapa kumparan kawat (coil) email[1].

Hubungan kumparan untuk mendapatkan tegangan keluaran generator 3 fasa dibedakan menjadi dua yaitu, hubungan kumparan bintang dan hubungan kumparan delta[2]. Pada jenis hubungan kumparan delta, pangkal dan ujung masing-masing kumparan fasa saling berhubungan. Ujung kumparan fasa U dengan pangkal kumparan fasa V, ujung kumparan fasa V dengan pangkal kumparan fasa W, ujung kumparan W dengan pangkal kmparan fasa U. seperti pada Gambar 1, yaitu rangkaian hubungan hubungan kumparan delta yang digunakan untuk menganalisis output generator.



Gbr.1 Hubungan kumparan delta

B. Prinsip Kerja Generator

Generator sinkron bekerja berdasarkan prinsip kumparan medan dan penggerak (*prime over*) yang terkopel ke rotor sehingga rotor berputar pada kecepatan nominalnya[3]. Kecepatan putar dan beberapa parameter lain dapat cari sesuai dengan persamaan 1 dan persamaan berikut ini.

1. Kecepatan putar (rpm)

Untuk mencari kecepatanputar generator yang berputar maka dapat dirumuskan

$$n = \frac{120f}{p} \tag{1}$$

Dimana :

n :Kecepatan putar (rpm)

f :Frekuensi (Hz)

p :Jumlah kutub

2. Tegangan yang Dibangkitkan

$$E_a = 4.44 \times f \times N \times \tag{2}$$

Dimana :

E_a =Tegangan yang dibangkitkan(V)

N =Jumlah lilitan (M)

f =Frekuensi(Hz)

m_{max} =Fluks maksimum (Wb)

N_s =Jumlah kumparan

3. Fluks maksimum

$$m_{max} = B_{max} A_{magn} \tag{3}$$

Dimana :

A_{mag} =Luas magnet(m²)

B_{max} =Fluks magnet maksimum(T)

m_{max} =Fluks maksimum (Wb)

4. Luas area magnet

$$A_{mag} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau f(ro - ri)Nm}{Nm} \tag{4}$$

Dimana :

ro =Radius luar magnet(m)

ri =Radius dalam magnet(m)

τf =Jarak antar magnet(m)

Nm =Jumlah magnet

5. Kuat magnet

$$B_{max} = Br \cdot \frac{lm}{lm + \delta} \tag{5}$$

Dimana :

Br =Kerapatan fluks (T)

lm =Tinggi magnet (m)

δ =Lebar celah udara (m)

B_{max} = Fluks magnet maksimum (T)

6. Daya output

$$P = V \times I \tag{6}$$

Dimana :

P =Daya aktif (watt)

V =Tegangan (V)

I =Arus (A)

7. Daya input

$$P_{in} = I_{in} V_{in} \tag{7}$$

Dimana :

P_{in} = Daya masukan

I_{in} = Arus masukan

V_{in} = Tegangan masukan

8. Efisiensi

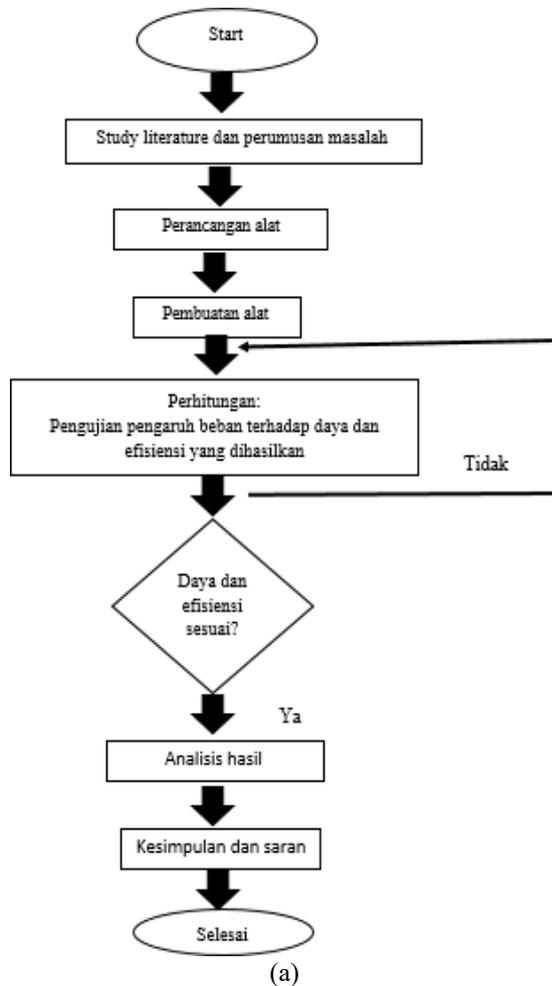
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{7}$$



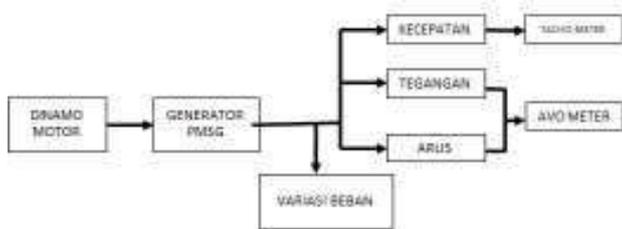
Dimana :
 η = Efisiensi
 P_{out} = Daya keluaran
 P_{in} = Daya masukan

C. Diagram Blok dan Desain Alat

Berikut ini merupakan diagram alir pelaksanaan penelitian serta blog diagram perancangan sistem untuk melakukan analisis.

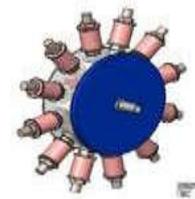


(a)

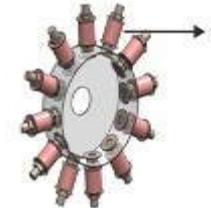


(b)

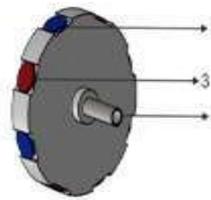
Gbr.2 (a)Diagram Alir Kegiatan (b) Blog Diagram Sistem



(a)



(b)



(c)

Gbr.3 (a) Penggabungan Generator (b) Stator (c) Rotor [1]

Gambar 2(a) merupakan diagram alir analisis generator sinkron dengan menggunakan hubungan kumparan delta, sedangkan gambar 2(b) merupakan blog diagram system yang dimana dynamo motor berperan sebagai penggerak alat atau *prime over* untuk melakukan analisis generator.

Pada generator AC sinkron permanen ini menggunakan delapan magnet permanen. Generator ini dirancang dapat bergerak dengan cara dikopel oleh dynamo motor merk national. Berikut ini merupakan gambar desain generator.

Keterangan :

1. Kumparan
2. Magnet kutub U
3. Magnet kutub S
4. Poros

Gambar 3(a) adalah gambar generator full generator dengan stator dan rotor. Gambar 3(b) adalah gambar stator sebelum digabungkan dengan rotor generator. Gambar 3(c) adalah rotor generator yang belum digabungkan dengan stator generator

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan membahas mengenai percobaan yang telah dilakukan serta pengujian keseluruhan system yang dilanjutkan dengan analisis hasil data sesuai hubung kumparan delta yang didapat pada Generator Permanen Magnet (PMSG) tipe radila 3 dengan membuat generatornya terlebih dahulu.

A. Perancangan Generator Sinkron Permanen Magnet Tiga Fasa

Perancangan alat ini dilakukan untuk mengetahui output dari generator yang akan di analisis. Dalam penelitian ini generator yang dibuat menggunakan kawat email 0.3 mm. jumlah kumparan yang dibuat yaitu 12 buah dengan masing-masing kumparan terdiri dari 840 lilitan. Sedangkan rotanya menggunakan 8 buah magnet. Dari rancangan generator yang telah dibuat didapatkan spesifikasi generator seperti pada table 1. Dimensi generator sinkron permanen yang telah dibuat dapat dilihat pada tabel 2.

TABEL I
DATA SPESIFIKASI GENERATOR

Parameter	Lambang	Nilai
Kerapatan Fluks Magnet	Br	1.4T
Diameter Magnet	D	18 mm
Tinggi Magnet	T	3 mm
Jumlah Magnet	Nm	8
Jumlah Kumparan	Ns	8
Jumlah Fasa	Nph	3
Jumlaha Lilitan	N	840

TABEL II
DATA DIMENSI

Dimensi	Nilai
Radius Stator Inner (SRi)	106 mm
Radius Stator Outer (SRo)	220 mm
Radius Rotor Inner (RRi)	10 mm
Radius Rotor Outer (RRo)	103 mm
Tebal Generator (L_stk)	18 mm
Lebar Coil (Coil Span)	15 Derajat
Jarak Antar Slot (Slot Pitch)	30 Derajat

B. Pengujian Arus

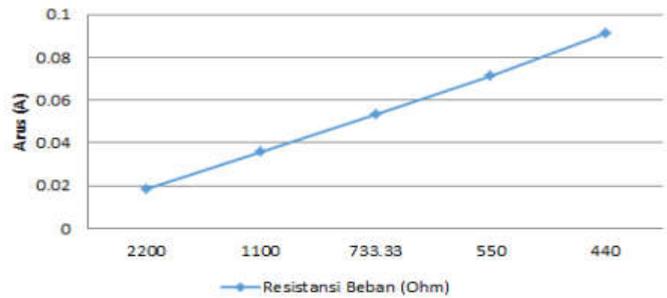
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar arus keluaran generator dengan tegangan konstan 4,8 dan 12V serta menggunakan beban resistor sebesar 2200, 1100, 733.33, 550 dan 440 Ohm.

Dari data yang telah didapatkan dapat diketahui bahwa arus mengikuti besar resitansi beban seperti yang terdapat pada gambar 4.

TABEL III
DATA PENGUJIAN ARUS

Beban	Tegangan Keluaran	Arus
2200Ω	4.009	0.01839
1100Ω	4.009	0.03594
733.33	4.051	0.05329
550	4.053	0.07128
440	4.079	0.09114

Arus



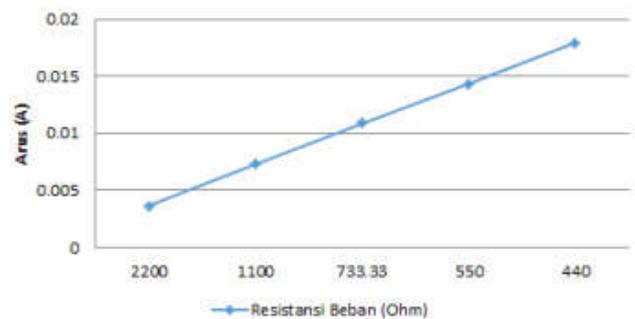
Gbr.4 Grafik Nilai Resistansi Beban Terhadap Arus pada Tegangan Tetap 4V

TABEL IV
DATA PENGUJIAN ARUS

Beban	Tegangan Keluaran	Arus
2200Ω	8.038	0.003651
1100Ω	8.029	0.00729
733.33	8.06	0.010885
550	8.046	0.014331
440	8.055	0.017909

Dari data yang telah didapatkan dapat diketahui bahwa arus mengikuti besar resitansi beban seperti pada gambar 5.

Arus

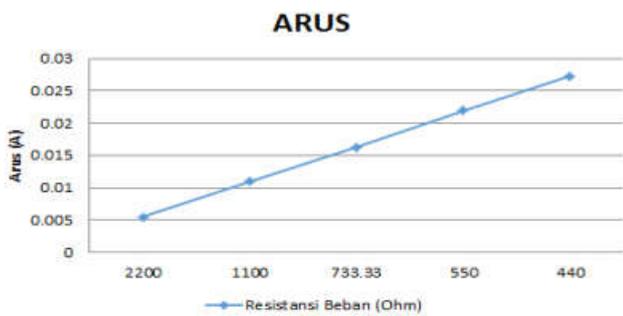


Gbr.5 Grafik Nilai Resistansi Beban Terhadap Arus pada Tegangan Tetap 8V

Dari data yang telah didapatkan dapat diketahui bahwa arus mengikuti besar resitansi beban seperti pada gambar 6.

TABEL V
DATA PENGUJIAN ARUS

Beban	Tegangan Keluaran	Arus
2200Ω	12.06	0.005481
1100Ω	12.561	0.010959
733.33	12.041	0.016297
550	12.039	0.02192
440	12.013	0.02729



Gbr.6 Grafik Nilai Resistansi Beban Terhadap Arus pada Tegangan Tetap 12V

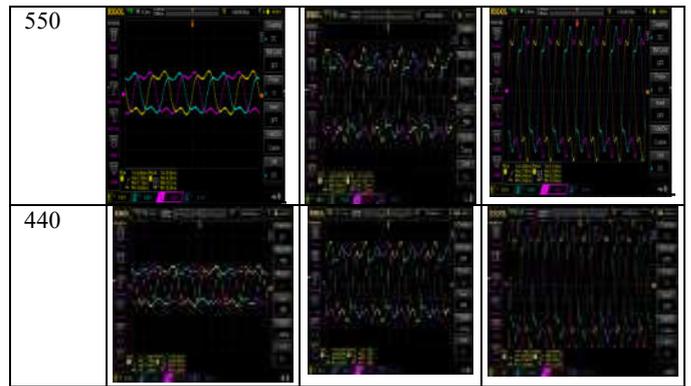
C. Hasil Daya Keluaran dan Efisiensi

Dari data table 4 yang didapatkan dengan perhitungan menggunakan rumus seperti pada persamaan (6) dan (7) maka hasilnya seperti table 4. Daya dan efisiensi yang dikeluarkan kecil karena pengaruh dari bahan rotor serta pengaruh dari ukuran kawat email. Table 6 merupakan hasil daya dan efisiensi pada tegangan tetap 4V dengan menggunakan hubungan delta.

TABEL VI
DATA NILAI DAYA DAN EFISIENSI YANG DIHASILKAN GENERATOR

Beban	Daya Keluaran	Efisiensi
2200Ω	3.973	0.412
1100Ω	0.135	0.494
733.33	0.201	1.146
550	0.262	1.46
440	0.318	1.756

Beban	Gelombang pada Tegangan Konstan		
	4V	8V	12V
2200			
1100			
733.33			



Nilai frekuensi didapatkan dari hasil putaran generator, semakin tinggi rpm maka nilai frekuensinya juga akan semakin besar, sehingga hal ini berbanding lurus antar rpm dan frekuensi.

Pada gambar table 7 didapatkan gelombang pada osiloskop volt/div yang diatur sebesar 5-6 kotak ini berbeda karena semakin besar nilai rpm yang diuji maka bentuk gelombangnya juga lebih besar, nilai ini juga mempengaruhi dari nilai perhitungan frekuensi yang dihasilkan oleh gelombang dengan perbedaan rpm.

IV. KESIMPULAN (PENUTUP)

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada analisis generator tersebut maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Penelitian ini berjudul analisis generator permanen magnet (PMSG) tipe radial tiga fasa dengan hubungan kumparan delta, dengan beban resistor sebesar 2200, 1100, 733.33, 550 dan 440 Ohm.
2. Pada pengujian generator dengan hubungan kumparan delta didapatkan arus keluaran dengan tegangan konstan 4V lebih besar dibandingkan dengan tegangan konstan 8V atau 12 V. Hasil daya dan efisiensi generator menunjukkan bahwa semakin besar beban yang di berikan maka dayanya semakin besar, sedangkan efisiensinya semakin kecil. Daya terbesar yaitu sebesar 3.973 W sedangkan efisiensi tertingginya 1.756 %.
3. Kecepatan putar yang didapatkan generator berpengaruh pada gelombang keluaran pada osiloskop. Semakin besar rpm maka gelombang osiloskop semakin besar.

REFERENSI

- [1] Elbi, Fitra, 2019, Rancang Bangun Generator Sinkron Permanen Magnet (PMSG) Tipe Radial 3 Fasa, Universitas Jember.
- [2] Prasetijo, H., Ropiudin dan Darmawan, B., 2012, "Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah," ISSN., vol.8.2, 1858-3075, Agt. 2012.
- [3] Perawati, 2017, "Karakteristik Generator Sinkron yang Berbeban dan Tidak Konstan," *Jurnal*.vol.2.no.2, Des. 2017
- [4] Khennas, Smail 2001. PMG Contruaction Manual. England
- [5] Rizky, H., 2018, "Desain Generator Permanen Magnet 500 watt sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin", Skripsi, UNILA.
- [6] Chapman, S.J., 2002, Electric Machinery and Power system Fundamentals international edition, McGraw-Hill Companies, Amerika.
- [7] Hari. Dkk. 2012. *Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah*. Purwokerto.