

RANCANG BANGUN GENERATOR AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET (AFPM) MULTICAKRAM 1 FASA DENGAN KUTUB BERLAWANAN (N-S) MENGGUNAKAN MAGNET PERMANEN NEODYMIUM IRON BORON (NdFeB)

Pandu Putra Pratama*, Widyono Hadi, Widya Cahyadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No.37 Kampus Bumi Tegal Boto Jember 68121

*Penulis korespondensi, E-mail: pandugekos@gmail.com

Abstrak

Generator *Axial Flux Permanent Magnet* (AFPM) merupakan generator yang mampu menghasilkan tegangan relatif tinggi dengan putaran rendah. Salah satunya adalah generator multicakram yang memiliki jumlah cakram stator dan cakram rotor lebih banyak dari generator tipe lainnya. Pada rancang bangun generator multicakram AC 1 fasa ini menggunakan magnet *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) yang disusun dengan kutub berlawanan pada magnet yang berhadapan. Pengujian pertama diberikan putaran sebesar 3000 RPM pada generator dengan jumlah beban sebanyak 8 paralel yang disetiap paralel terdapat 7 LED terhubung seri. Diperoleh frekuensi gelombang *output* generator 400.6 Hz, tegangan beban 14.65 V, arus beban 13.704 mA, daya 0.2008 W, dan torsi 6.39×10^{-4} Nm. Pengujian kedua, generator dihubungkan dengan *full wave rectifier* (penyearah gelombang penuh) yang selanjutnya dihubungkan dengan beban, menghasilkan frekuensi luaran *rectifier* 800 Hz, tegangan beban 12.380 V, arus beban 13.340 mA, daya 0.161 W, dan torsi 5.129×10^{-4} Nm. Pungujian ketiga ditambahkan kapasitor pada *rectifier* yang berfungsi untuk mengurangi tegangan *ripple* pada *full wave rectifier*, sehingga dihasilkan tegangan DC yang terhubung pada beban. Diperoleh tegangan beban 14.700 V, arus beban 15.147 mA, daya 0.223 W, dan torsi 7.115×10^{-4} Nm. Semakin besar jumlah beban pada generator maka tegangan semakin kecil, sedangkan arus, daya, dan torsi semakin besar.

Kata kunci: generator axial flux permanent magnet (AFPM), multicakram, 1 fasa

Abstract

Axial Flux Generator Permanent Magnet (AFPM) is a generator that is producing relatively high voltages with low rotation. One of them is a multi-disc generator which has more stator and rotor discs than other types. The design of this single phase AC multi-disc generator using *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) magnets arranged with opposite poles on the opposite magnet. The first test is given a rotation of 3000 RPM on a generator with a total load of 8 parallel, each of which has 7 LEDs connected in series. The obtained generator output wave frequency is 400.6 Hz, load voltage is 14.65 V, load current is 13,704 mA, power is 0.2008 W, and torque is 6.39×10^{-4} Nm. The second test, the generator is connected to a full wave rectifier (full wave rectifier) which is then connected to the load, the rectifier output frequency is 800 Hz, the load voltage is 12,380 V, the load current is 13,340 mA, the power is 0.161 W, and the torque is 5.129×10^{-4} Nm. The third praise is to add a capacitor to the rectifier which functions to reduce the ripple voltage on the full wave rectifier, so that a DC voltage is connected to the load. Obtained a load voltage of 14,700 V, a load current of 15,147 mA, a power of 0.223 W, and a torque of 7.115×10^{-4} Nm. The greater the number of loads added, the smaller the voltage, while the current, power and torque are greater.

Keywords : permanent magnet axial flux generator (AFPM), multi-disk, 1 phase

1. Pendahuluan

Generator merupakan sebuah mesin listrik yang sering digunakan pada energi terbarukan sebagai pembangkit listrik. Generator listrik adalah suatu alat yang dapat mengubah suatu energi mekanik atau energi gerak menjadi suatu energi listrik dengan adanya proses induksi magnetik. Secara umum generator yang sering dijumpai merupakan sebuah generator dengan tipe High Speed, dimana dengan tipe high speed tersebut dibutuhkan energi

mekanik yang cukup besar agar dapat menghasilkan tegangan [1].

Saat ini dibutuhkan generator yang dapat menghasilkan tegangan yang relatif tinggi dengan skala energi terbarukan yang relatif kecil. Generator tersebut adalah generator *axial flux permanent magnet* (AFPM). Beberapa jenis magnet digunakan untuk AFPM, antara lain menggunakan magnet array [2], magnet permanen khususnya dari bahan neodymium (NdFeB) [3-7]. Selain

itu beberapa studi telah dilakukan guna untuk memperoleh kinerja yang maksimum.

Pada penelitian sebelumnya, dirancang AFPM pada silikon dengan magnet NdFeB [5], namun kemampuan dayanya kecil. Selain itu, dilakukan rancang bangun generator AC konstruksi axial flux satu fasa menggunakan magnet NdFeB silinder dengan kutub magnet berlawanan (U-S) [6] maupun searah (U-U) [7]. Pada penelitian tersebut dilakukan pengujian dengan menggunakan beban resistor namun pengujian tersebut masih belum bisa memperlihatkan penggunaan dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, pada penelitian tersebut generator memiliki konstruksi tipe single side.

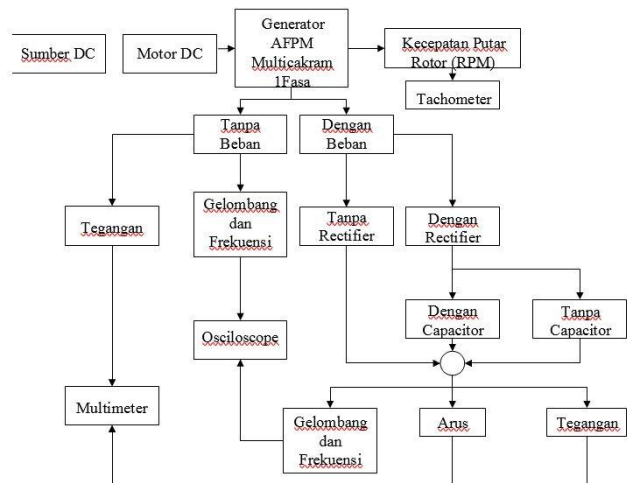
Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan dengan cara merancang generator AFPM Multicakram 1 fasa dengan jumlah stator sebanyak 3 dan jumlah rotor sebanyak 2. Generator 1 fasa ini menggunakan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB) yang disusun secara berlawanan (N-S). Target pada penelitian ini adalah dapat menghasilkan tegangan sebesar 15 V dan daya sebesar 5,5 Watt pada kecepatan putar sebesar 3000 rpm dan akan diberikan beban berupa rangkaian LED.

2. Metode

2.1. Konsep umum

Generator AFPM Multicakram 1 Fasa ini membutuhkan energi mekanik yang diperoleh dari motor DC. Generator AFPM Multicakram ini terdiri dari 3 buah stator dan 2 buah rotor. Rotor tersebut diletakkan diantara stator.

Sebelum melakukan pengujian generator pada 2 kondisi dilakukan pengukuran kecepatan putar rotor dengan satuan radian per menit (RPM) dan diukur menggunakan tachometer. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga kecepatan agar tetap disetiap kondisi. Pada pengujian dilakukan dalam 2 kondisi tak terbeban dan dengan terbeban, dimana pada kondisi terbeban dapat menggunakan rectifier dan tanpa rectifier. Oleh karena itu, pada kondisi menggunakan rectifier dapat menggunakan kapasitor dan tanpa kapasitor. Pengujian tersebut menggunakan rectifier digunakan untuk mengetahui hasil luaran DC sedangkan tanpa rectifier untuk luaran AC. Selain itu, pada pengujian luaran rectifier menggunakan kapasitor dan tidak bertujuan untuk mengetahui hasil luaran yang terbaik. Pengukuran tegangan dan arus menggunakan multimeter, sedangkan frekuensi dan gelombang pada pengujian menggunakan oskiloskop. Peta pengujian generator AFPM ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta pengujian generator AFPM

2.2. Perancangan Generator

Sebelum dilakukan perancangan, berikut ini adalah spesifikasi perancangan dari generator AFPM Multicakram yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Generator AFPM Multicakram

Parameter	Simbol	Nilai
Jumlah fasa	Nph	1 fasa
Jumlah stator		3 stator
Jumlah rotor		2 rotor
Jumlah kumparan	Ns	8 kumparan
Jumlah kumparan	$[(Ns)]_{tot}$	24 kumparan
Jumlah lilitan per kumparan	N	300 lilitan
Inti Besi		Ya
Diameter kawat email		0.4 mm
Ukuran Stator	p	11 cm
	l	11 cm
Jumlah magnet per rotor	Nm	8 magnet
Dimensi magnet	r	7.5 mm
	t	3 mm
Diameter rotor	D	9.5 cm
Radius dalam magnet	r _i	2.75 cm
Radius luar magnet	r _o	4.25 cm
Jarak antar magnet	r _f	1.256 cm

Pada perancangan rotor dilakukan perhitungan sebagai berikut.

2.2.1. Perancangan Rotor

Pada perancangan rotor dilakukan perhitungan sebagai berikut.

a. Menentukan Jumlah Pole

Jika diketahui frekuensi dan kecepatan putar sebesar 50 Hz dan 375 rpm, maka diperoleh pole sebanyak 16 buah [2]

$$p = 120 \cdot f / N \quad (1)$$

Dimana :

f : frekuensi (Hz)

p : pole

N : kecepatan putar (Rpm)

b. Menentukan Fluks Maksimum

Pada perancangan ini magnet yang digunakan adalah tipe NdFeB, dimana magnet tersebut memiliki ukuran diameter 1.5 cm dan tebal 0.3 cm. Selanjutnya dilakukan pengukuran fluks magnet sebagai berikut :

Jika diketahui bahwa densitas fluks magnet 1.5 mT, jari-jari 0.75 cm, dan celah udara 0.7 mm. Sehingga diperoleh $B_{max} 4,5 \times 10^{-4} T$ dan $A_{magnet} 1,766 \times 10^{-4} m^2$ [8]

$$B_{max} = B_r \frac{lm}{lm+\delta} \quad (2)$$

$$A_{magnet} = \pi \cdot (r_{magnet})^2 \quad (3)$$

Dimana :

B_r : densitas fluks magnet (T)

lm : tinggi magnet (m)

δ : lebar celah udara (m)

r_{magnet} : jari-jari magnet (m)

$$\Phi_{max} = A_{magn} \cdot B_{max} \cdot m \cdot R \quad (4)$$

dimana:

Φ_{max} : fluks maksimum magnet (Wb)

A_{magn} : luasan medan magnet (m²)

B_{max} : kerapatan medan magnet maksimum (T)

m : jumlah Magnet

R : jumlah rotor

Dengan menggabungkan persamaan (2) dan (3) pada persamaan (4), maka diperoleh fluks maksimum pada 2 rotor sebesar $1,2717 \times 10^{-6} Wb$. Pengukuran fluks magnet ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran Fluks Magnet

2.2.2. Perancangan Stator

Pada perancangan stator dilakukan perhitungan sebagai berikut.

a. Menentukan Jumlah Kumputan

Pada penentuan jumlah kumputan dapat diketahui dengan jumlah pole sebanyak 16, sehingga diperoleh jumlah kumputan sebanyak 8 dengan persamaan berikut [9]:

$$N_s = p \cdot N_{ph} / 2 \quad (5)$$

dimana:

N_s : Jumlah kumputan

N_{ph} : Jumlah fasa

p : pole

b. Menentukan Diameter Kawat Email

Dengan target tegangan sebesar $\pm 15 V$ dan daya sebesar $\pm 5,5$ Watt pada kecepatan putar sebesar 3000 rpm. Maka dengan persamaan dibawah ini diperoleh arus sebesar 0.3667 A, dimana kawat email yang memiliki karakteristik dengan arus maksimum sebesar 0.3667 A adalah kawat email berdiameter 0.4 mm.

$$I = PV \quad (6)$$

dimana: I : Arus (A)

P : Daya (W)

V : Tegangan (V)

c. Menentukan Jumlah Lilitan

Dalam menentukan jumlah lilitan dilakukan perhitungan dengan persamaan berikut sehingga diperoleh jumlah lilitan sebanyak 300 lilitan.

$$E_a = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{max} \cdot N_s / N_{ph} \quad (7)$$

dimana:

E_a : tegangan efektif induksi generator (V)

f : frekuensi (Hz)

N : jumlah lilitan

Φ_{max} : fluks maksimum magnet (Wb)

N_s : Jumlah kumputan

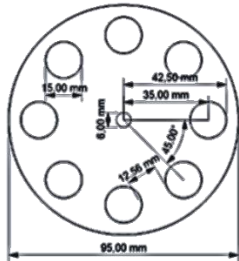
N_{ph} : Jumlah fasa

2.3. Desain Alat

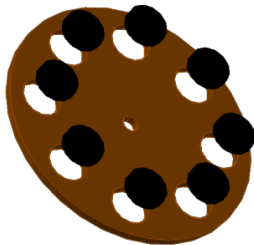
2.3.1. Desain Rotor

Generator AFPM Multicakram 1 fasa ini terdiri dari 2 buah rotor, dimana masing-masing rotor terdapat 8 buah magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB) silinder berdiameter 15 mm dan tebal 3 mm yang dipasang dengan kutub yang berlawanan (N-S). Jarak antara inti rotor dengan inti magnet adalah 3,5 cm dengan jarak antar magnet sebesar

45° [8]. Desain rotor dua dimensi ditunjukkan pada Gambar 3. Selain itu, desain tiga dimensi (3D) rotor embedded dan pemasangan magnet ditunjukkan di Gambar 4.



Gambar 3. Desain dua dimensi (2D) kerangka rotor

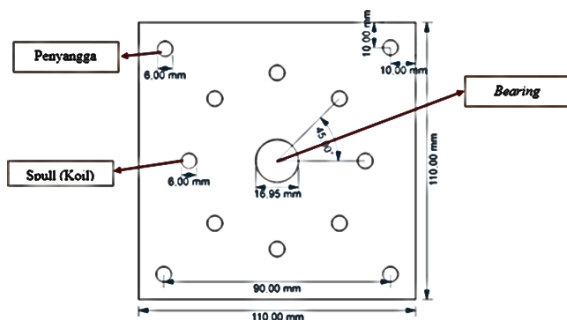


Gambar 4. Desain tiga dimensi (3D) rotor embedded dan pemasangan magnet

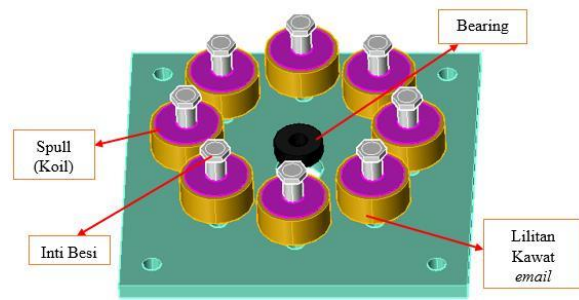
2.3.2. Desain Stator

Generator AFPM Multicakram 1 fasa ini dibuat dengan 3 buah stator, dimana masing-masing stator terdapat 8 buah kumparan yang terdiri dari 300 lilitan. Kawat email yang digunakan berukuran 0.4 mm. Kemudian kawat email tersebut dililitkan pada spull plastik dan diletakkan pada akrilik dengan ukuran 11 cm × 11 cm × 0.5 cm. Desain dari kerangka stator ditunjukkan di Gambar 5.

Dengan jumlah kumparan pada setiap rotor sebanyak 8 maka diletakkannya kumparan pada kerangka stator yaitu dengan sudut antara kumparan 1 dengan kumparan lainnya sebesar 45°[8]. desain dari peletakan kumparan ditunjukkan di Gambar 6.



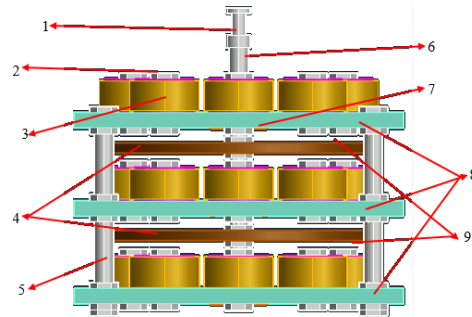
Gambar 5. Desain dua dimensi (2D) kerangka stator



Gambar 6. Desain tiga dimensi (3D) stator

2.3.3. Desain Generator AFPM Multicakram 1 Fasa

Stator dan rotor dirakit sedemikian rupa untuk menjadi generator AFPM Multicakram, dimana konstruksi dari generator tersebut dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Desain tiga dimensi (3D) Generator AFPM Multicakram 1 Fasa

Keterangan :

- | | |
|--------------------|------------|
| 1. Pulley | 6. Shaft |
| 2. Inti Besi | 7. Bearing |
| 3. Kumparan (Coil) | 8. Stator |
| 4. Rotor | 9. Air Gap |
| 5. Penyangga | |

2.4. Metode Pengumpulan Data

2.4.1. Pengujian

Pengumpulan data pengujian dilakukan dalam 2 kondisi tak terbeban dan dengan terbeban, dimana pada kondisi terbeban dapat menggunakan rectifier dan tanpa rectifier, dimana pada kondisi menggunakan rectifier dapat menggunakan kapasitor dan tanpa kapasitor. Pengujian dengan beban dihubungkan dengan LED yang disusun hingga 8 paralel yang disetiap paralel terdapat 7 LED seri.

1. Pengujian tanpa beban

Pengujian ini dilakukan pada kecepatan putar tetap 3000 rpm yang dilakukan pada 2 kondisi yaitu pada luaran AC dan luaran rectifier. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi dan tegangan open circuit (V_{oc}).

2. Pengujian dengan beban

Pengujian ini dilakukan pada kecepatan yang sama yaitu 3000 rpm, dimana pada kondisi terbeban dapat menggunakan rectifier dan tanpa rectifier. Pada kondisi menggunakan rectifier dapat menggunakan kapasitor dan tanpa kapasitor. Pengujian dengan beban dihubungkan dengan LED yang disusun hingga 8 paralel yang disetiap paralel terdapat 7 LED seri. Pada pengujian ini diperoleh tegangan dan arus sehingga diperoleh daya dan torsi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Rancang Bangun Generator AFPM Multicakram 1 Fasa

1. Pembuatan Rotor

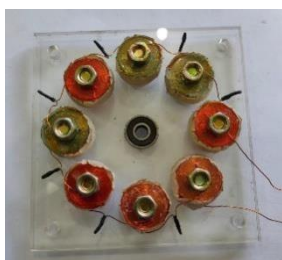
Pada pembuatan rotor magnet dipasang akrilik dengan ketebalan 0.3 cm. Rotor pada gambar 8 dibuat sebanyak 2 buah[10].



Gambar 8. Rotor Generator AFPM

2. Pembuatan Stator

Pada pembuatan stator terdapat kumparan yang yang dipasang pada kerangka stator dan di tengah kerangka terdapat bearing yang direkatkan menggunakan lem. Pembuatan stator dibuat sebanyak 3 buah seperti gambar 9.



Gambar 9. Stator Generator AFPM

3. Pembuatan Generator AFPM Multicakram

Pada pembuatan generator, stator dan rotor dihubungkan dengan sebuah shaft berdiameter ± 0.6 cm dan rotor berada diantara stator dengan jarak celah 0.7 cm. Gambar 10 menunjukkan pembuatan generator.



Gambar 10. Generator AFPM

Pada generator dilakukan pengukuran sehingga diperoleh induksi kumparan (L) 42.5 mH, densitas fluks magnet (Br) 1.5 mT, dan resistansi jangkar (Ra) 50.97 Ω.

3.2. Pengujian Generator AFPM Multicakram 1 Fasa Dengan Variasi Beban LED

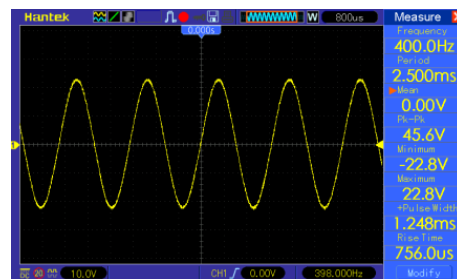
3.2.1. Pengujian Tanpa Beban

1. Pengujian pada Luaran AC

Pada pengujian ini dilakukan pada putaran yang tetap sebesar 3000 rpm. Sehingga diperoleh tegangan, gelombang dan frekuensi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengujian tanpa beban luaran AC

Kecepatan (rpm)	VocAC (V)	Frekuensi (Hz)
3000	15.870	400.6



Gambar 11. Frekuensi Gelombang Luaran AC

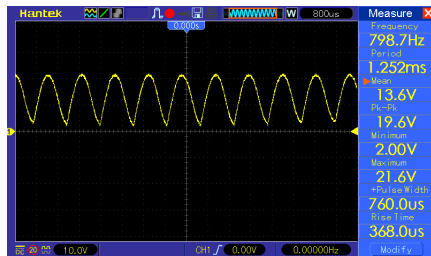
Pada pengujian ini generator tidak terhubung oleh beban sehingga diperoleh tegangan open circuit 15.87 V dengan frekuensi 400.6 Hz dan kecepatan 3000, seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Pada pengujian ini sudah sesuai dengan perancangan yaitu dapat menghasilkan tegangan hingga 15 V pada putaran dan frekuensi tersebut.

2. Pengujian pada Luaran Rectifier

Pada pengujian ini dilakukan pada putaran yang tetap sebesar 3000 rpm, dimana luaran dari generator ini dihubungkan dengan full bridge rectifier. Sehingga diperoleh tegangan, gelombang dan frekuensi seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 12.

Tabel 3. Data hasil pengujian tanpa beban luaran rectifier

Kecepatan (rpm)	Frekuensi AC (Hz)	VocAC (V)	Frekuensi Rectifier (Hz)	Vo (V)
3000	400,6	15,870	798,7	14,24



Gambar 12. Frekuensi Gelombang Luar AC

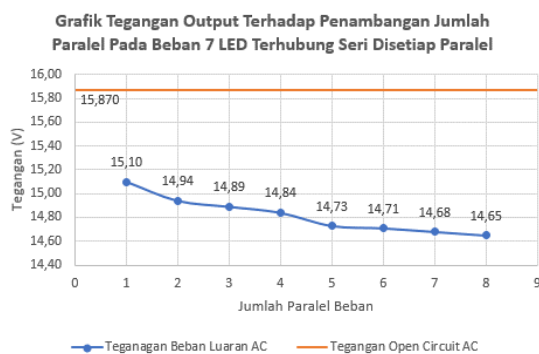
3.2.2. Pengujian Dengan Beban

Pada pengujian dengan beban dilakukan dengan menggunakan LED yang dipasang paralel hingga 8, dimana disetiap paralel terdapat 7 buah LED seri. Berikut ini adalah pengujian menggunakan beban :

1. Pengujian pada luaran AC

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Generator pada Luar AC saat Diberikan Variasi Beban Paralel

Kecepatan (rpm)	Frekuensi (Hz)	Jumlah Paralel	Tegangan Output AC (V)	Arus Output AC (mA)
3000	400,6	1	15,100	10,533
		2	14,940	11,571
		3	14,890	12,426
		4	14,840	12,698
		5	14,730	13,010
		6	14,710	13,330
		7	14,680	13,650
		8	14,650	13,704

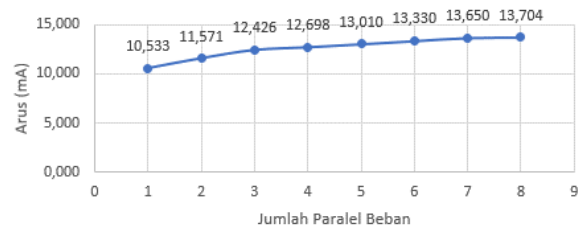


Gambar 13. Grafik Tegangan Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian saat terbebani pada luaran AC. Berdasarkan tabel 4, semakin banyak jumlah beban paralel yang digunakan, maka tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal tersebut diakibatkan karena adanya drop tegangan yang semakin besar seiring bertambahnya beban.

Sementara itu, Gambar 13 menunjukkan grafik tegangan output terhadap penambahan jumlah paralel pada beban 7 LED terhubung seri di setiap paralel. Semakin besarnya drop tegangan dari tegangan open circuit, karena semakin besarnya rugi rugi kumparan yang dihasilkan.

Grafik Arus Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel



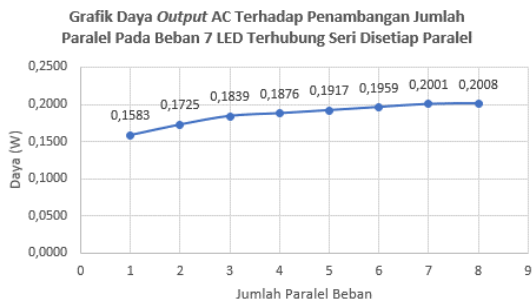
Gambar 14. Grafik Arus Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Di Setiap Paralel.

Gambar 14 menunjukkan grafik arus output terhadap penambahan jumlah paralel pada beban 7 LED terhubung seri di setiap paralel. Sebagaimana persamaan rugi-rugi kumparan, semakin besar arus yang terukur, maka semakin besar pula drop tegangan yang terjadi. Selain itu semakin banyak jumlah beban paralel yang digunakan, maka arus yang terukur juga semakin besar.

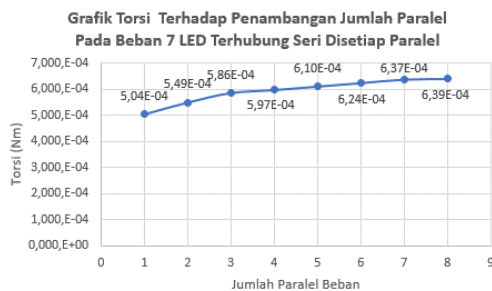
Semakin banyak jumlah beban paralel yang digunakan, maka daya yang dihasilkan akan semakin besar. Selain itu daya mempengaruhi besar torsi putar dengan semakin besar daya yang dihasilkan maka torsi juga semakin besar. Tabel 5 dan Gambar 15-16 menunjukkan data terkait.

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Generator pada Luar AC saat Diberikan Variasi Beban Paralel

Kecepatan (rpm)	Jumlah Paralel Beban	PAC (Watt)	Torsi (Nm)
3000	1	0,1583	5.04×10 ⁻⁴
	2	0,1725	5.49×10 ⁻⁴
	3	0,1839	5.85×10 ⁻⁴
	4	0,1876	5.97×10 ⁻⁴
	5	0,1917	6.1×10 ⁻⁴
	6	0,1959	6.23×10 ⁻⁴
	7	0,2001	6.37×10 ⁻⁴
	8	0,2008	6.39×10 ⁻⁴



Gambar 15. Grafik Daya Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel



Gambar 16. Grafik Torsi Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel

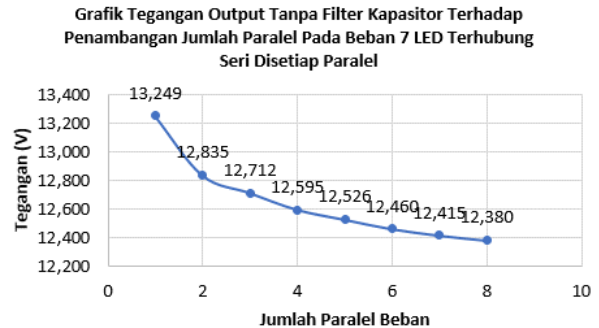
2. Pengujian pada luaran Rectifier

Pada pengujian dengan beban dilakukan dengan menggunakan LED pengujian yang sama, namun keluaran dari generator dihubungkan terlebih dahulu menuju full bridge rectifier tanpa filter. Tabel 6 menunjukkan hasil pengukuran pada saat diberikan beban. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dikatakan bahwa tegangan akan semakin kecil dan arus akan semakin besar seiring bertambahnya jumlah beban paralel. Selain itu tegangan pada luaran rectifier lebih kecil dari luaran AC, dimana hal tersebut diakibatkan karena adanya drop tegangan pada dioda bridge.

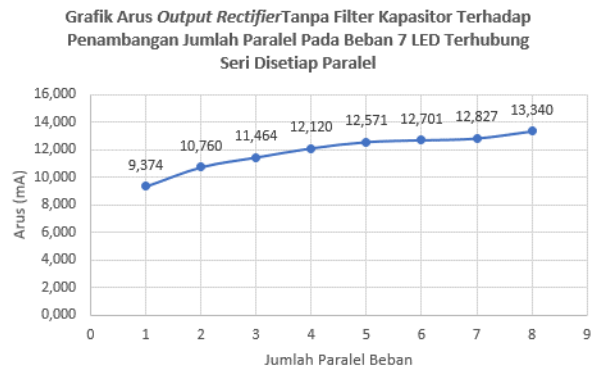
Tabel 6. Data Hasil Pengujian Generator pada Luarannya Rectifier saat Diberikan Variasi Beban Paralel

Kecepatan (rpm)	Jumlah Paralel Beban	Frekuensi (Hz)	Tegangan Output (V)	Arus Output (mA)
3000	1	801,20	13,249	9,374
	2		12,835	10,760
	3		12,712	11,464
	4		12,595	12,120
	5		12,526	12,571
	6		12,460	12,701
	7		12,415	12,827
	8		12,380	13,340

Gambar 17 dan 18 menunjukkan grafik tegangan dan arus output terhadap penambahan jumlah paralel pada beban 7 LED terhubung seri di setiap paralel.



Gambar 17. Grafik Tegangan Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel

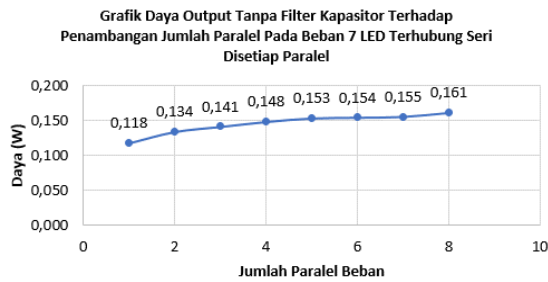


Gambar 18. Grafik Arus Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel

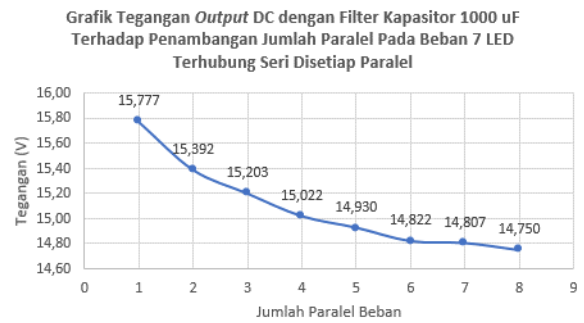
Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Generator pada Luarannya Rectifier saat Diberikan Variasi Beban Paralel

Kecepatan (rpm)	Jumlah Paralel Beba	Po(W)	Torsi (Nm)
3000	1	0,118	3.744×10^{-4}
	2	0,134	4.259×10^{-4}
	3	0,141	4.491×10^{-4}
	4	0,148	4.718×10^{-4}
	5	0,153	4.876×10^{-4}
	6	0,154	4.912×10^{-4}
	7	0,155	4.948×10^{-4}
	8	0,161	5.129×10^{-4}

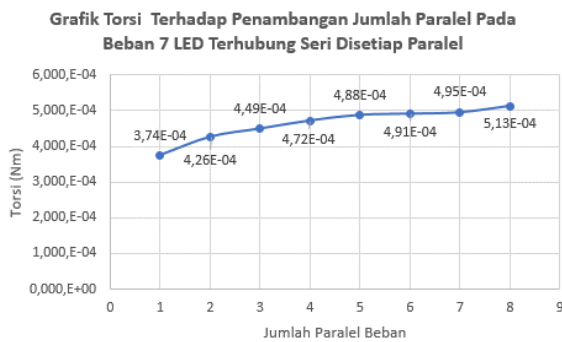
Pada hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 7, daya berbanding lurus dengan tegangan dan arus, sehingga dengan semakin banyak jumlah beban yang digunakan maka daya yang dihasilkan semakin besar. Selain itu, torsi akan semakin besar jika daya yang dihasilkan generator semakin besar [11]. Grafik daya dan torsi terkait ditunjukkan di Gambar 18 dan 19.



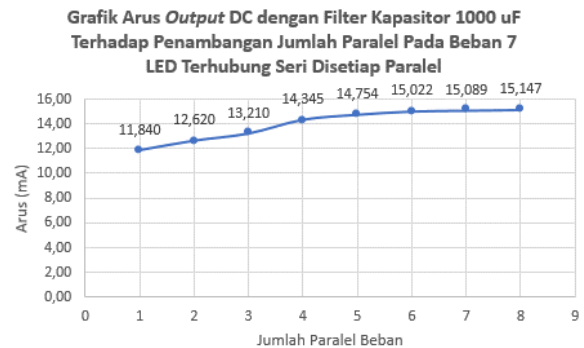
Gambar 18. Grafik Daya Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel



Gambar 21. Grafik Tegangan Luaran DC Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel



Gambar 20. Grafik Torsi Output Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel



Gambar 22. Grafik Arus Luaran DC Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel

3. Pengujian pada luaran DC

Pada pengujian ini generator dihubungkan dengan rectifier dengan ukuran 1000 uF menggunakan perhitungan [12-15] dan diperoleh hasil seperti tabel 8. Penggunaan kapasitor pada pengujian ini untuk memperoleh luaran DC yang baik. Dengan menggunakan filter kapassitor diperoleh Tabel 9.

Tabel 8. Data Tabel Penentuan Kapasitor Sebagai Filter Pada Full Bridge Rectifier

r (%)	Resistansi Beban Paralel 8 (Ω)	Frekuensi AC (Hz)	Kapasitor Terhitung (uF)	Kapasitor yang Digunakan (uF)
0,05	928,036	400,6	776,486	1000

Tabel 9. Data Hasil Pengujian Generator pada Luaran DC saat Diberikan Variasi Beban Paralel

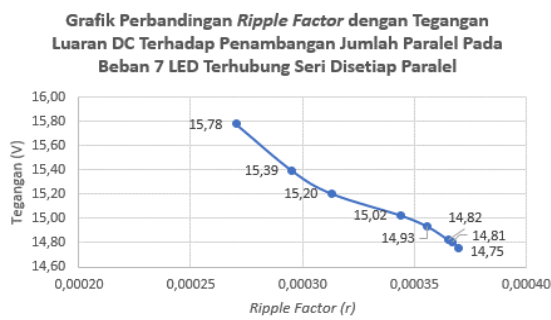
Kecepatan (rpm)	Frekuensi AC (Hz)	Jumlah Beban Paralel	VoAC (V)	IoAC (mA)	VoDC (V)	IoDC (mA)
3000	400,6	1	15,471	13,882	15,777	11,840
		2	15,263	15,625	15,392	12,620
		3	15,175	16,380	15,203	13,210
		4	15,089	16,955	15,022	14,345
		5	15,050	17,325	14,930	14,754
		6	14,998	17,590	14,822	15,022
		7	14,984	17,638	14,807	15,089
		8	14,974	17,860	14,750	15,147

Sama seperti pengujian sebelumnya, tegangan pada pengujian ini semakin menurun dan arus semakin meningkat seperti pada Gambar 21 dan 22, namun pada pengujian ini tegangan luaran DC lebih besar dari tegangan sebelum sebelumnya, karena terdapat sebuah kapasitor.

Tabel 10. Data Hasil Perbandingan Ripple Factor Dengan Tegangan Luaran DC

Kecepatan	Jumlah Beban	Ripple Factor	VoDC ukur (V)
3000	1	0,00027	15,777
	2	0,00029	15,392
	3	0,00031	15,203
	4	0,00034	15,022
	5	0,00035	14,930
	6	0,00036	14,822
	7	0,00036	14,807
	8	0,00037	14,750

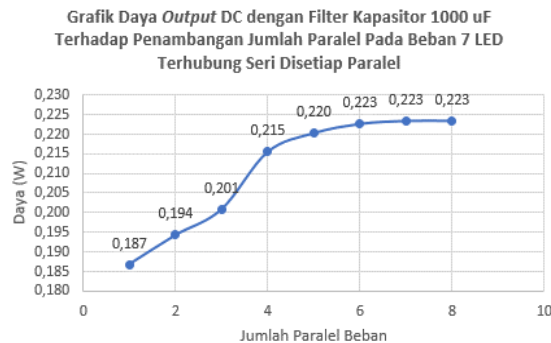
Dari data di Tabel 10, dapat dilihat bahwa tegangan akan semakin kecil dan ripple factor yang dihasilkan akan semakin besar seiring bertambahnya jumlah beban dengan menggunakan kapasitor pada rangkaian rectifier sebesar 1000 uF. Grafik ripple ditunjukkan pada Gambar 23.



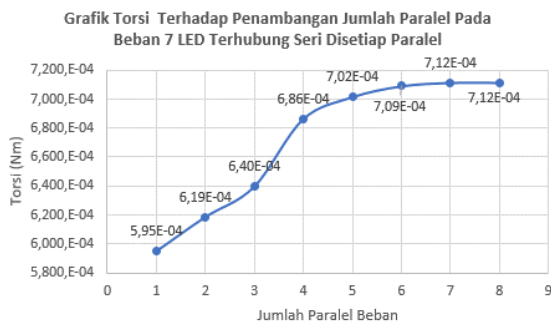
Gambar 23. Grafik Perbandingan Ripple Factor dengan Tegangan Luaran DC Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel

Tabel 11. Data Hasil Perhitungan Generator pada Luaran DC saat Diberikan Variasi Beban Paralel

Kecepatan (rpm)	Jumlah Paralel Beban	Po (W)	Torsi (Nm)
3000	1	0,187	5.949×10^{-4}
	2	0,194	6.186×10^{-4}
	3	0,201	6.395×10^{-4}
	4	0,215	6.862×10^{-4}
	5	0,220	7.015×10^{-4}
	6	0,223	7.091×10^{-4}
	7	0,223	7.115×10^{-4}
	8	0,223	7.115×10^{-4}



Gambar 24. Grafik Daya Luaran DC Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel



Gambar 25. Grafik Torsi Terhadap Penambahan Jumlah Paralel Pada Beban 7 LED Terhubung Seri Disetiap Paralel

Dari data daya dan torsi di Tabel 11 dan Gambar 24-25 tersebut dapat diketahui bahwa daya dan torsi yang diperoleh semakin meningkat seiring bertambahnya beban.

4. Kesimpulan

Generator AFPM Multicakram 1 fasa dengan kutub berlawanan (N-S) menggunakan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB). Pada generator ini terdiri dari 3 buah stator dengan 24 kumparan disetiap stator, dan 300 lilitan dengan kawat email berdiameter 0.4 mm disetiap kumparan. Selain itu generator ini terdiri dari 2 buah rotor, dimana terdapat 8 buah magnet disetiap rotornya. Dengan putaran 3000 rpm diperoleh tegangan open circuit AC dan rectifier sebesar 15.870 V dan 14.24 V, sedangkan frekuensi luaran AC dan rectifier sebesar 400 Hz, dan 800 Hz. Dengan melakukan pengujian menggunakan beban dengan jumlah paralel 8 diperoleh tegangan 14.650 V, arus 13.704 mA, daya 0.2008 W, dan torsi 6.39×10^{-4} Nm. Dari pengujian ini diharapkan dapat dilakukan pengujian dengan memperhatikan rugi-rugi lainnya, selain itu konstruksi penunjang perlu diperhatikan guna untuk menghasilkan performa yang maksimum. Dari pengujian tersebut dapat dikatakan bahwa perancangan generator ini sudah sesuai dengan apa yang diharapkan yaitu dapat menghasilkan tegangan 15 V pada putaran dan frekuensi yang tetap yaitu 400 Hz untuk luaran generator sendiri (tanpa diberi beban). Sedangkan hasil daya yang dirancang untuk generator ini sendiri masih belum memenuhi harapan karena penggunaan beban LED yang mengakibatkan daya yang dihasilkan relative kecil.

Referensi

- [1]. J. F. Gieras, R.-J. Wang, and M. J. Kamper, Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines, 2nd Edition. Springer Science & Business Media, 2008.
- [2]. A. Habib, H. S. Che, N. Abd Rahim, M. Tousizadeh, and E. Sulaiman, "A fully coreless Multi-Stator Multi-Rotor (MSMR) AFPM generator with combination of conventional and Halbach magnet arrays," Alexandria Eng. J., vol. 59, no. 2, pp. 589–600, 2020, doi: 10.1016/j.aej.2020.01.039.
- [3]. Chan, T. F., and L. L. Lai. "An axial-flux permanent-magnet synchronous generator for a direct-coupled wind-turbine system." IEEE Transactions on Energy Conversion 22, no. 1 (2007): 86-94.
- [4]. Bumby, J. R., and Richard Martin. "Axial-flux permanent-magnet air-cored generator for small-scale wind turbines." IEE Proceedings-Electric Power Applications 152, no. 5 (2005): 1065-1075.
- [5]. Holmes, Andrew S., Guodong Hong, and Keith R. Pullen. "Axial-flux permanent magnet machines for micropower generation." Journal of microelectromechanical systems 14, no. 1 (2005): 54-62.
- [6]. Rohmah, Ainur. "Rancang Bangun Generator AC Konstruksi Axial Flux Satu Fasa Menggunakan Magnet Neodymium (NdFeB) Silinder Dengan Kutub Magnet Berlawanan (US)." Disertasi PhD, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jember, 2019.

- [7]. Karisma Addina Putri, Alysa. "Rancang Bangun Generator Axial Flux Satu Fasa Menggunakan Neodymium Iron Boron Magnet (Ndfeb) Silinder Dengan Kutub Searah (UU)." Disertasi PhD., Fakultas Teknik Universitas Jember, 2019
- [8]. S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 4th ed. Australia: McGraw - Hill Companies, 2005.
- [9]. W. Budi Pramono, Warindi, and A. Hidayat, "Perancangan mini generator turbin angin 200 W untuk energi angin kecepatan rendah," *Pros. Snatif*, vol. 4, no. 1, pp. 374–382, 2010.
- [10]. Puja, Setia, and P. Rozeff. "Rancang Bangun Mini Generatoe Fluks Aksial 1 Fasa Putaran Rendah Menggunakan Neodymium Magnet (NdFeB) Berbasis Multi Cakram." *FT. UMRAH*, p. 117, 2017.
- [11]. Sumiati, Ruzita, and Aidil Zamri. "Rancang bangun miniatur turbin angin pembangkit listrik untuk media pembelajaran." *Jurnal Teknik Mesin (JTM)* 3, no. 2 (2013).
- [12]. A. Atmam, "Penggunaan Filter Kapasitif Pada Rectifier Satu Fasa Dan Tiga Fasa Menggunakan Power Simulator (Psim)," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 18–26, 2018, doi: 10.31849/sainetin.v2i1.1667.
- [13]. Giyantara, Andhika, Vicky Mudeng, Rizky Ramadhani, and Rizky Wulandari. "Analisis Rangkaian Full Wave Rectifier dengan Filter Kapasitor, Pembagi Tegangan, Buffer dan Penguat Differensial pada Sensor Arus." *SPECTA Journal of Technology* 3, no. 2 (2019): 1-9.
- [14]. Sedra, *Microelectronic Circuits*, 7th ed. Wiley, 2017
- [15]. Harianto, Totok, and Yanu Shalahuddin. "Filter Pasif Single Tuned LC sebagai Kompensator Harmonisa Pada Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Matlab Simulink." *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer* 7, no. 1 (2018): 127-135.