

Performance Test of Three-Phase Brushless Direct Current Motor Axial Flux with Differences Diameter of Neodymium Type Permanent Magnet

Alif Willis Nurmalia^{1*)}, Widyono Hadi²⁾, and Widya Cahyadi³⁾

^{1,2,3)}Department of Electrical Engineering, Jember University, Indonesia.

Corresponding Email: ^{*)}alifwillis@gmail.com

Abstract – Technology that is growing rapidly and innovations that have sprung up in the electrical field today are driving the use of electricity as a source of energy to do work. Electric motor is one component that is very popular in the industrial world and households that are useful to human life. In addition to DC motors and induction motors, there are also 3 phase brushless direct current (BLDC) motors which are a type of synchronous motor where magnetic fields are produced by rotor and stator at the same frequency. The rotor is a moving part of the brushless direct current motor which is a place of permanent magnet called a pole. This paper discusses the performance of brushless direct current 3 phase axial flux motors with different diameters of neodymium type permanent magnets. Tests carried out using neodymium permanent magnets with diameters of 15mm x 2mm and 20mm x 2mm were tested without using a load and using load. The parameters used in testing motor performance include speed, torque, and motor power with a source voltage of 12V, 16V, 20V, and 24V. The test results shows that the speed value of a BLDC motor using permanent magnets with a size of 20mm x 2mm is greater than that of permanent magnets of 15mm x 2mm. The same thing applies to the value of the power produced while, for the value of torque when the motor uses a permanent magnet of 15mm x 2mm will be greater than that of a motor using a permanent magnet of 20mm x 2mm.

Keywords: Motor, BLDC, Neodymium, Diameter

I. PENDAHULUAN

Teknologi sekarang ini terutama pada bidang industri di dunia sangat berkembang dengan pesat selain itu, teknologi yang semakin canggih dan inovasi yang mulai beragam pada bidang elektro sehingga hampir semua peralatan industri maupun rumah tangga membutuhkan listrik sebagai suplai sumber tenaga untuk bekerja. Motor listrik merupakan komponen utama pada peralatan-peralatan industri maupun rumah tangga yang memudahkan hidup manusia. Walaupun motor listrik sudah dikenal efisien dan bebas polusi, perlu adanya pengembangan dan riset untuk mendapatkan performa motor listrik yang efisien dan juga optimal. Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar *impeller* pompa, *fan*, atau blower menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll

[1]. Berdasarkan sumber tegangan dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor listrik AC dan motor listrik DC. Selain motor DC dan motor AC terdapat pula motor *brushless direct current* yang merupakan pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan keandalan yang tinggi, efisiensi tinggi, dan rasio volume *power* tinggi. Motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial merupakan motor sinkron AC 3 fasa dengan magnet permanen pada rotor dimana disebut *brushless direct current* karena pada implementasinya menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama. Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa ialah menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor dimana medan magnet putar yang dihasilkan stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh putaran rotor memiliki frekuensi yang sama [2].

Penelitian sebelumnya membahas rancang motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial. Pada penelitian tersebut membahas mengenai rancangan konstruksi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dan membandingkan hasilnya dengan motor *brushless direct current* 3 fasa *sensorless* tipe *out-runner*. Hasil dari penelitian tersebut ialah pada motor *brushless direct current axial* 3 fasa fluks aksial memiliki variasi tegangan motor yang banyak sedangkan, motor *brushless direct current* 3 fasa *sensorless* tipe *out-runner* hanya memiliki satu variasi tegangan motor. [3]

Paper ini membahas mengenai performa motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan variasi perbedaan diameter magnet permanen neodymium dengan ukuran 15mm x 2mm dan 20mm x 2mm. Pengujian yang dilakukan sebanyak 2 kali dengan kondisi motor tanpa menggunakan beban dan menggunakan beban dengan 4 variasi tegangan sumber. Paper ini meninjau nilai kecepatan dan torsi yang dihasilkan saat melakukan perbandingan 2 magnet permanen jenis neodymium yang memiliki perbedaan dalam ukuran.

II. METODOLOGI

A. Motor *Brushless Direct Current* 3 Fasa Fluks Aksial

Motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial merupakan salah satu jenis motor sinkron yang tidak mengalami *slip* karena menggunakan *hall effect* sebagai komutator sehingga tidak mengalami rugi-rugi yang disebabkan oleh sikat arang.

1) Kecepatan Motor

Pada sisi rotor dari motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial terdapat magnet permanen yang biasa disebut *pole* dimana jumlah *pole* akan menghasilkan fluks magnet sehingga dapat memutar sebuah roda [4]. Nilai kecepatan motor dapat didapatkan dengan menggunakan rumus [5]:

$$N_s = \frac{120 f}{p} \quad (1)$$

N_s = Kecepatan putar rotor (RPM)

P = Jumlah kutub

F = Frekuensi (Hz)

2) Torsi

Torsi merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu yang didapat

$$T = r \times F \quad (2)$$

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

R = Jari-jari rotor (m)

3) Gaya Putar Motor

Gaya tolak menolak magnet terjadi pada saat magnet dengan kutub yang memiliki kutub yang sama saat magnet tersebut didekatkan. Untuk menentukan gaya ditentukan dengan rumus [6]

$$F = \frac{k.m_1 m_2}{x^2} \quad (3)$$

$K = 10^{-7}$

m_1 = Medan magnet pada rotor (Am)

m_2 = Medan magnet pada stator (Am)

X = Jarak antar motor dan stator (m)

Dalam menentukan kuat kutub magnet menggunakan perhitungan yang sama yaitu

$$m_1 = H \times A \quad (4)$$

H = Intensitas medan magnet (A/m)

A = Luas penampang magnet (m^2)

Nilai H merupakan perkalian nilai B dengan 795774,71 yang merupakan konversi nilai 1 Tesla [7]. Untuk menentukan kuat kutub magnet pada kumparan dapat diketahui dengan rumus

$$m_2 = H \times A \quad (5)$$

$$H = \left(\frac{IN}{L} \right) \quad (6)$$

I = Arus (A)

N = Jumlah Kumparan

L = Panjang Kumparan (m)

4) Daya Input

Daya *input* merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin listrik atau peralatan lainnya[8]. Untuk daya *input* motor listrik 3 *phase* dapat dirumuskan:

$$P_{in} = \sqrt{3}.V_a.I_a \quad (7)$$

V_a = Tegangan (V)

I_a = Arus (A)

5) Daya Output

Daya *output* merupakan daya mekanis yang dihasilkan pada motor [9]. Daya *output* motor didapatkan dengan rumus:

$$P_{out} = T \omega_s \quad (8)$$

$$P_{out} = T.2\pi.\frac{n_s}{60} \quad (9)$$

T = Torsi (Nm)

ω_s = Kecepatan Putar Rotor (Rad/s)

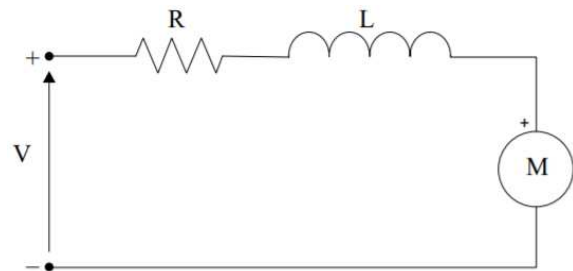
6) Efisiensi Motor

Perhitungan efisiensi diperlukan untuk mengetahui performa dari kinerja motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial. Efisiensi pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial berkaitan dengan daya input dan daya output yang dihasilkan oleh motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial. Efisiensi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial didapatkan dari persamaan berikut[6]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (10)$$

P_{out} = Daya Output (W)

P_{in} = Daya Input (W)

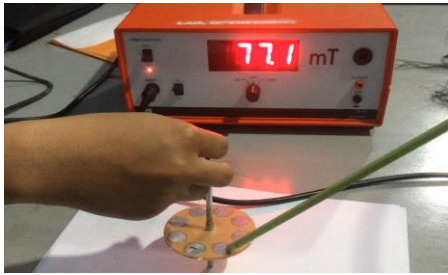


Gambar 1. Rangkaian ekuivalen motor listrik sederhana

B. Perancangan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Terdapat tahapan-tahapan perancangan penelitian mengenai performa motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan perbedaan diameter magnet permanen dilaksanakan diantaranya ialah menentukan rumusan masalah pada penelitian, menentukan densitas magnet berdasarkan material magnet pada sisi rotor yang ditentukan dengan melakukan pengukuran. Gambar 2 merupakan hasil pengukuran densitas magnet pada magnet permanen neodymium dengan ukuran 15mm x 2mm yang bernilai 77.1 mT dan Gambar 3 merupakan hasil pengukuran pada magnet dengan ukuran 20mm x 2mm yang bernilai 35.8 mT. Tahapan selanjutnya yaitu melakukan pengujian terhadap motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dan membandingkan hasil pengujian terhadap kedua motor dengan perbedaan magnet permanen serta menganalisis hasil pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial tanpa menggunakan beban dan dengan menggunakan beban. Masing-masing pengujian menguji 2 variasi magnet

permanen yaitu mengguakan rotor dengan magnet permanen permanen ukuran 15mm x 2mm dan 20mm x 2mm.



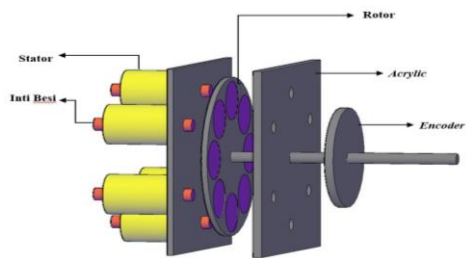
Gambar 2. Hasil pengukuran densitas magnet permanen 15mm x 2mm



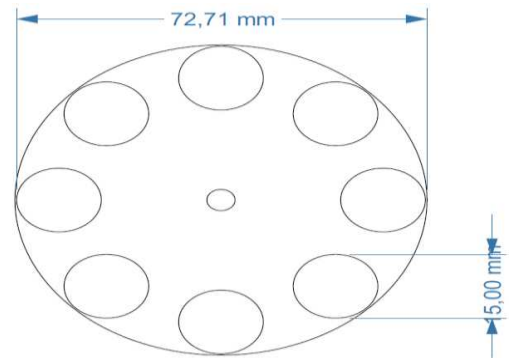
Gambar 3. Hasil pengukuran densitas magnet permanen 20mm x 2mm

Pada sistem motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan sumber tegangan DC yang berasal dari *power supply* dimana motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan 8 magnet permanen dan 6 kumparan lilitan yang pada masing-masing kumparan memiliki 450 lilitan dengan kawat email berukuran 0,3mm. Gambar 4 dan 5 merupakan rancangan rotor pada masing-masing magnet permanen. Magnet permanen yang digunakan memiliki ketebalan yang sama yaitu 2mm dengan perbedaan ukuran diameter dimana diameter yang digunakan berukuran 15mm dan 20mm. Gambar 4 merupakan rancangan keseluruhan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial. Pada Tabel 1 menunjukkan spesifikasi motor yang akan digunakan.

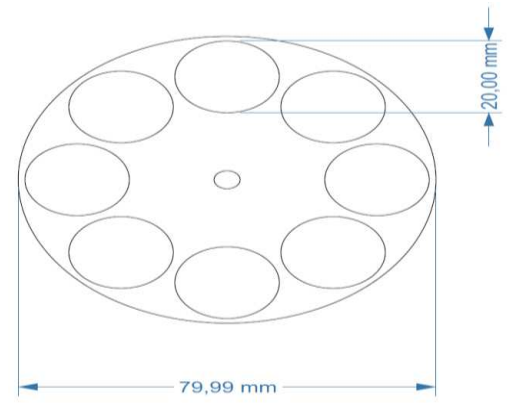
Pada pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan beban dilakukan pada masing-masing magnet permanen. Beban yang digunakan untuk pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan beban generator *axial flux 3 phase* dengan LED sebanyak 3 buah dengan resistor 470 Ohm. Pemberian beban bertujuan untuk mengetahui performa motor saat dibebani



Gambar 4. Rancangan keseluruhan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial



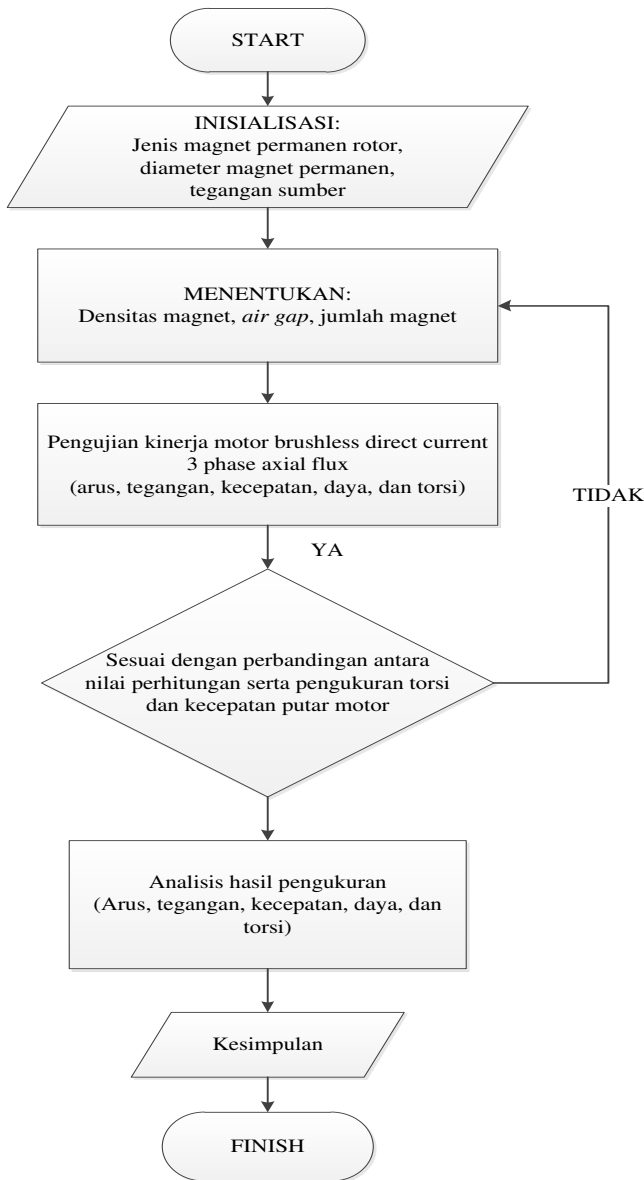
Gambar 5. Rancangan rotor dengan magnet permanen 15mm x 2mm



Gambar 6. Rancangan rotor dengan magnet permanen 20mm x 2mm

Tabel 1. Spesifikasi Motor *Brushless Direct Current* 3 Fasa Fluks Aksial

Keterangan	Simbol	Nilai
Lilitan	N	450 lilitan/kumparan
Kumparan	s	6 Buah
Stator		Tunggal
Diameter Rotor 1	D	0,072 meter
Diameter Rotor 2	D	0,079 meter
Jumlah Magnet	p	8 Buah
Jumlah Phase	N _{ph}	3 Phase
Penampang Stator	P	0,01 meter
	l	0,026 meter
Bentuk Magnet		Silinder
Diameter Magnet 1	D	0,015 meter
Tebal Magnet 1	t	0,002 meter
Diameter Magnet 2	D	0,02 meter
Tebal Magnet 2	t	0,002 meter
Jarak Rotor dan Stator	X	0,005 meter



Gambar 7. Flowchart penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan menguji motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan perbedaan diameter magnet permanen tanpa menggunakan beban didapatkan data yang terlampir pada Tabel 2 dan 3.

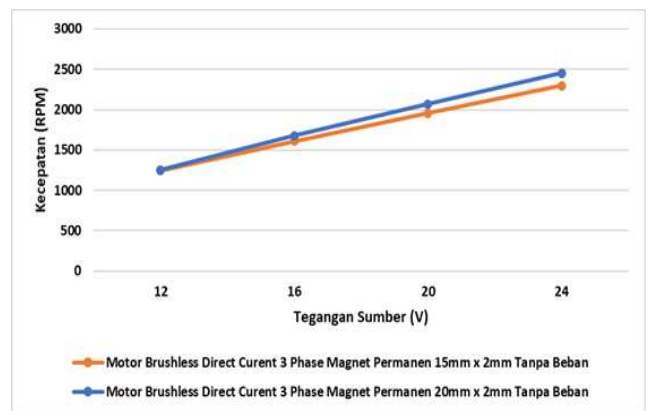
Tabel 2. Hasil pengujian kecepatan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 15mm x 2mm tanpa beban

Tegangan Sumber (Volt)	Tegangan Motor (Volt)	Arus Motor (A)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (RPM)
12	8,263	0,109	83,05	1246
16	11,097	0,127	107,20	1608
20	13,943	0,145	130,20	1957
24	16,940	0,16	153,20	2300

Tabel 3. Hasil pengujian motor kecepatan *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 20mm x 2mm tanpa beban

Tegangan Sumber (Volt)	Tegangan Motor (Volt)	Arus Motor (A)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan (RPM)
12	7,233	0,108	83,5	1251
16	10,100	0,128	111,1	1677
20	12,967	0,145	139,6	2072
24	15,867	0,162	163,3	2454

Dari data pada Tabel 2 dan Tabel 3 diketahui bahwa nilai kecepatan dan nilai frekuensi berbanding lurus dimana saat nilai frekuensi semakin besar maka nilai kecepatan akan semakin besar pula. Saat membandingkan nilai kecepatan dengan nilai tegangan sumber yang sama dari kedua hasil pengujian dengan variasi diameter magnet permanen didapat bahwa nilai kecepatan saat menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm lebih besar dibandingkan dengan nilai kecepatan pada magnet permanen 15mm x 2mm. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai diameter dari masing-masing magnet dimana pada saat magnet dengan diameter 20mm x 2mm memiliki nilai diameter yang lebih besar dibandingkan dengan diameter magnet permanen 15mm x 2mm. Karena perbedaan frekuensi yang dibaca *hall effect* menyebabkan nilai kecepatan yang berbeda. Perbedaan nilai kecepatan terhadap tegangan pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Karakteristik kecepatan motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan perbedaan diameter magnet permanen tanpa beban

Torsi sangat berpengaruh dengan performa dari motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial. Pada perhitungan nilai torsi yang dihasilkan pada pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial tanpa beban didapatkan bahwa nilai torsi yang dihasilkan pada saat motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm lebih besar dibandingkan dengan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan magnet permanen 20mm x 2mm. Nilai hasil perhitungan torsi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

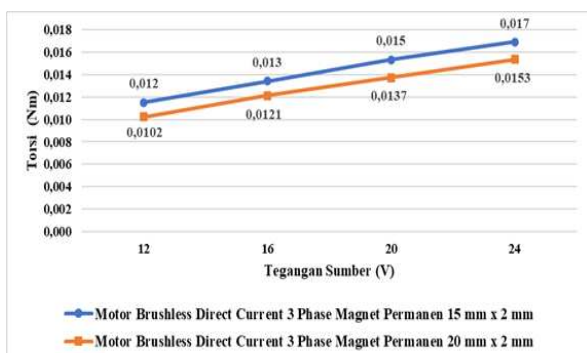
Tabel 4. Hasil pengujian torsi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 15mm x 2mm tanpa beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Gaya (N)	Torsi (Nm)
12	8,263	0,109	0,320	0,012
16	11,097	0,127	0,373	0,013
20	13,943	0,145	0,426	0,015
24	16,940	0,16	0,470	0,017

Tabel 5. Hasil pengujian torsi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 20mm x 2mm tanpa beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Gaya (N)	Torsi (Nm)
12	7,233	0,108	0,262	0,0102
16	10,100	0,128	0,311	0,0121
20	12,967	0,145	0,352	0,0137
24	15,867	0,162	0,393	0,0153

Perbedaan pada nilai torsi pada motor menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm dan 20mm x 2mm disebabkan nilai gaya yang dihasilkan saat motor dengan magnet permanen 15mm x 2mm lebih besar dibandingkan dengan motor dengan magnet permanen 20mm x 2mm. Nilai gaya dipengaruhi oleh nilai intensitas medan magnet dan luas permukaan magnet permanen. Sehingga nilai torsi dan gaya yang dihasilkan akan berbeda. Perbedaan nilai torsi pada pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai tegangan motor, arus motor, kecepatan, dan torsi mempengaruhi nilai daya *input* dan daya *output* dari motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial. Nilai daya akan mempengaruhi nilai efisiensi dari motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial. Tabel 6 dan 7 merupakan hasil perhitungan nilai daya *input* dan daya *output* pada pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial tanpa menggunakan beban. Pada tabel tersebut membandingkan nilai daya *input* saat motor menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm dengan nilai daya *input* motor menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm.



Gambar 9. Karakteristik torsi motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 phase axial flux dengan perbedaan diameter magnet permanen tanpa beban

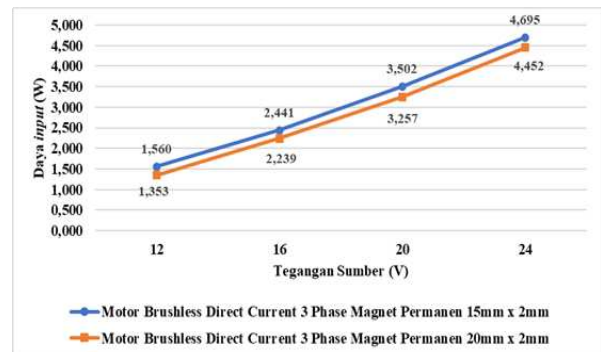
Tabel 6. Hasil perhitungan daya motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 15mm x 2mm tanpa beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Torsi (Nm)	Daya Input (W)	Daya Output (W)
12	8,263	0,109	0,012	1,560	1,503
16	11,097	0,127	0,013	2,441	2,259
20	13,943	0,145	0,015	3,502	3,139
24	16,940	0,16	0,017	4,695	4,071

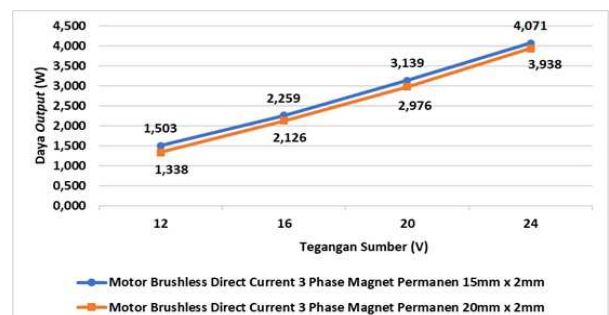
Tabel 7. Hasil perhitungan daya motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 20mm x 2mm tanpa beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Torsi (Nm)	Daya Input (W)	Daya Output (W)
12	7,233	0,108	0,0102	1,353	1,338
16	10,100	0,128	0,0121	2,239	2,126
20	12,967	0,145	0,0137	3,257	2,976
24	15,867	0,162	0,0153	4,452	3,938

Perbedaan nilai daya *input* pada motor menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm dan 20mm x 2mm dikarenakan nilai arus motor dan tegangan motor yang dihasilkan sehingga, nilai daya *input* yang dihasilkan pada motor dengan magnet permanen 15mm x 2mm lebih besar dibandingkan dengan motor dengan menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm.



Gambar 10. Karakteristik daya *input* motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan perbedaan diameter magnet permanen tanpa beban



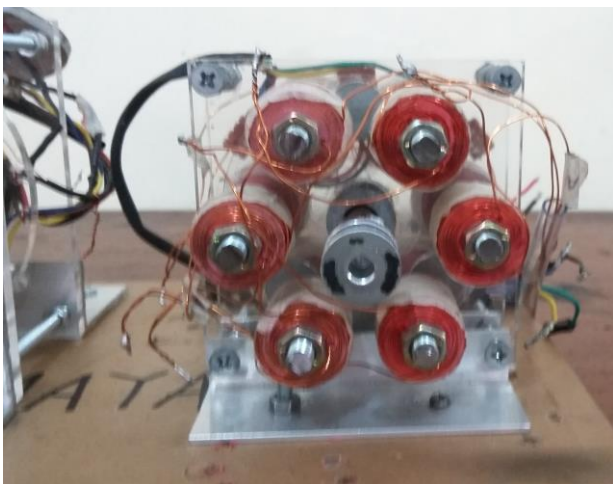
Gambar 11. Karakteristik daya *output* motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan perbedaan diameter magnet permanen tanpa beban

Pada nilai daya *output* motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan magnet permanen 15mm x 2mm memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm dengan nilai tegangan sumber yang sama. Nilai torsi mempengaruhi nilai daya *output* yang dihasilkan. Sehingga nilai daya *output* yang dihasilkan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm lebih besar dibandingkan daya *output* pada magnet permanen 20mm x 2mm.

Pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan menggunakan beban dilakukan dengan menggunakan beban generator fluks aksial 3 fasa dengan menggunakan LED dan resistor 470 Ohm dengan spesifikasi seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Spesifikasi *prototype* generator fluks aksial tiga fasa menggunakan magnet permanen *neodymium* (NdFeB) stator ganda

Parameter	Simbol	Nilai
Jumlah fasa	Nph	3 Phase
Densitas flux magnet	Br	0,089 T
Ukuran magnet	R	0,75 cm
	T	0,2 cm
Ukuran rotor	D	7,2 cm
Ukuran stator	p	8 cm
	l	8 cm
Diameter kawat	D	0,5 mm
Jarak antar magnet		2 cm
Jumlah magnet	Nm	8 magnet
Jumlah lilitan (tiap kumparan)	N	375 lilitan
Jumlah kumparan	Ns	12 kumparan
Inti besi		Ya
Lebar celah udara		0,4 mm



Gambar 12. Generator *axial flux* tiga fasa menggunakan magnet permanen *neodymium* (NdFeB) stator ganda

Tabel 9. Hasil pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 15mm x 2mm dengan beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Motor (RPM)
12	8,13	0,262	33,15	497
16	11,15	0,317	46,72	696
20	13,89	0,363	57,73	852,7
24	16,69	0,39	70,42	1042

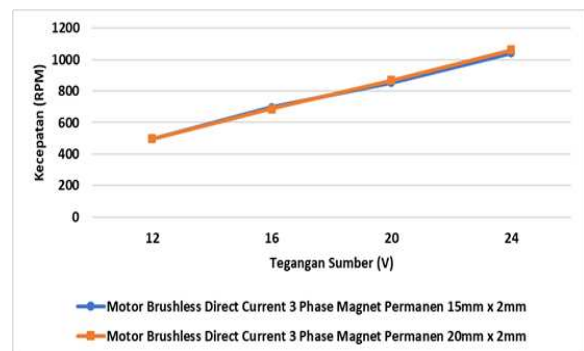
Tabel 10. Hasil pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 20mm x 2mm dengan beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Motor (RPM)
12	8,12	0,255	32,69	495,8
16	10,96	0,298	45,87	686
20	13,66	0,342	57,47	867,1
24	17,00	0,392	71,22	1061

Dari Tabel 9 dan 10 dilihat bahwa nilai kecepatan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan magnet permanen 20mm x 2mm dan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm memiliki nilai kecepatan yang hampir sama. Hal yang sama juga berlaku pada nilai frekuensi yang dihasilkan. Perubahan nilai kecepatan dan frekuensi pada pengujian disebabkan oleh penambahan beban generator pada rangkaian.



Gambar 13. Rangkaian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan beban generator



Gambar 14. Karakteristik kecepatan motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan beban

Tabel 11. Hasil perhitungan torsi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 15mm x 2mm dengan beban

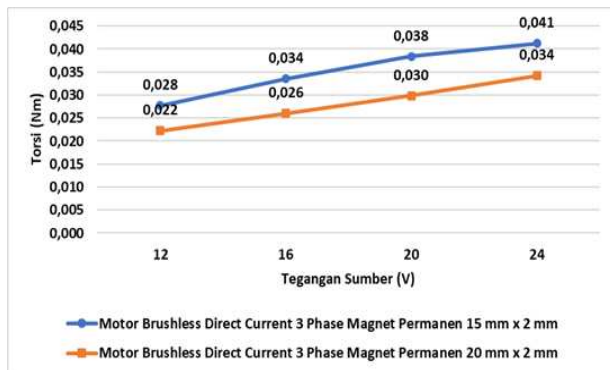
Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Gaya (N)	Torsi (Nm)
12	8,13	0,262	0,691	0,028
16	11,15	0,317	0,808	0,034
20	13,89	0,363	0,927	0,038
24	16,69	0,39	1,063	0,041

Tabel 12. Hasil perhitungan torsi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 20mm x 2mm dengan beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Gaya (N)	Torsi (Nm)
12	8,12	0,255	0,619	0,022
16	10,96	0,298	0,723	0,026
20	13,66	0,342	0,830	0,030
24	17,00	0,392	0,951	0,034

Pada Tabel 11 dan Tabel 12 menyajikan data nilai torsi dan gaya pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm dan 20mm x 2mm. Nilai torsi yang dihasilkan oleh motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial saat menggunakan magnet permanen dengan ukuran 15mm x 2mm lebih besar bila dibandingkan dengan motor dengan magnet permanen berukuran 20mm x 2mm. Gambar 15 menyajikan grafik hubungan antara kecepatan dengan tegangan sumber saat pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan menggunakan beban.

Pada Tabel 13 dan 14 nilai daya *input* dan daya *output* pada pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan magnet permanen 15mm x 2mm lebih besar dibandingkan dengan motor dengan menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm. Nilai daya *input* dan *output* pada pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial memiliki nilai selisih yang besar.



Gambar 15. Karakteristik torsi motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan beban

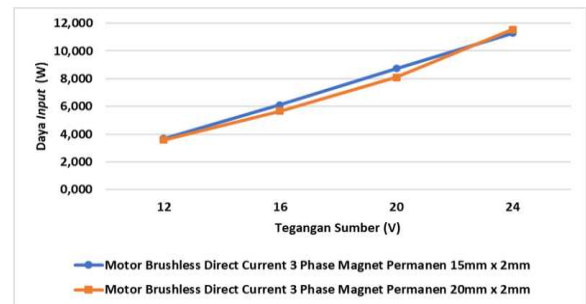
Tabel 13. Hasil perhitungan daya *input* dan daya *output* motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 15mm x 2mm dengan beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Torsi (Nm)	Daya Input (W)	Daya Output (W)
12	8,13	0,262	0,028	3,688	1,441
16	11,15	0,317	0,034	6,122	2,441
20	13,89	0,363	0,038	8,733	3,424
24	16,69	0,39	0,041	11,276	4,496

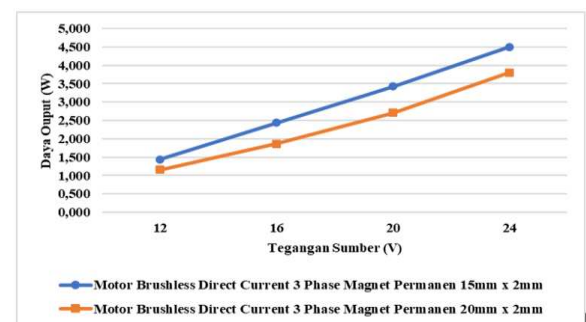
Tabel 14. Hasil perhitungan daya *input* dan daya *output* motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial magnet permanen 20mm x 2mm dengan beban

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Torsi (Nm)	Daya Input (W)	Daya Output (W)
12	8,12	0,255	0,022	3,588	1,156
16	10,96	0,298	0,026	5,657	1,869
20	13,66	0,342	0,030	8,094	2,712
24	17,00	0,392	0,034	11,542	3,803

Nilai daya *input* yang besar dipengaruhi oleh nilai arus yang tinggi. Nilai arus pada saat pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial lebih besar dibandingkan saat pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial diuji tanpa menggunakan beban sedangkan, besarnya nilai daya *output* dikarenakan nilai torsi yang dimiliki semakin besar. Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan perbedaan nilai daya *input* dan daya *output* terhadap setiap kenaikan tegangan sumber.



Gambar 16. Karakteristik daya *input* motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan beban

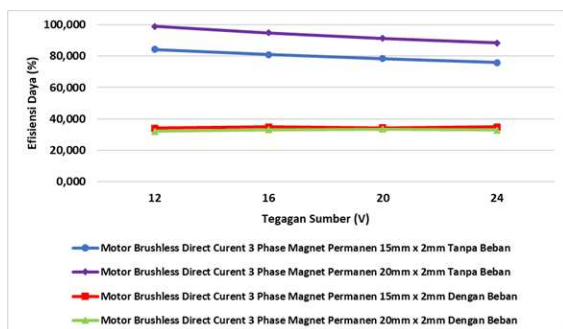


Gambar 17. Karakteristik daya *output* motor terhadap tegangan sumber pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan beban

Tabel 16. Hasil perhitungan efisiensi daya motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan perbedaan diameter magnet

Tegangan Sumber	Magnet Permanen	Magnet Permanen	Magnet Permanen	Magnet Permanen
	15mm x 2mm	20mm x 2mm	15mm x 2mm	20mm x 2mm
	Tanpa Beban	Tanpa Beban	Dengan Beban	Dengan Beban
	(%)	(%)	(%)	(%)
12 V	96,314	98,918	39,063	32,223
16 V	92,559	94,966	39,871	33,045
20 V	89,650	91,394	39,212	33,504
24 V	86,724	88,460	39,870	32,950

Pada Gambar 16 merupakan grafik karakteristik efisiensi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dimana nilai efisiensi tertinggi didapat saat motor menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm dengan nilai pengujian tanpa beban sebesar 98% dan nilai efisiensi terendah didapat saat motor menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm dengan pengujian dengan beban. Dengan nilai 32,223%. Nilai efisiensi daya dipengaruhi oleh perbedaan nilai daya *input* dan daya *output* yang dihasilkan.



Gambar 18. Karakteristik efisiensi motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial setiap pengujian terhadap setiap kenaikan tegangan sumber

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian mengenai pengaruh diameter magnet permanen terhadap performa motor didapat beberapa kesimpulan bahwa nilai kecepatan saat pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm lebih besar bila dibandingkan dengan kecepatan motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan menggunakan magnet permanen 15mm x 2mm sedangkan, nilai torsi pada motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial saat menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm lebih kecil dibandingkan saat menggunakan magnet permanen dengan ukuran 15mm x 2mm. Hal ini disebabkan perbedaan nilai medan magnet pada sisi rotor.

Pada pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan tanpa menggunakan beban, nilai kecepatan, torsi dan daya yang dihasilkan lebih besar

bila dibandingkan dengan pengujian motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial menggunakan beban. Nilai efisiensi tertinggi didapat saat motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan menggunakan magnet permanen 20mm x 2mm tanpa beban sebesar 98,18% dan efisiensi terkecil didapat saat motor *brushless direct current* 3 fasa fluks aksial dengan magnet permanen 20mm x 2mm dengan beban sebesar 32,2%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam pembuatan penelitian ini. Terimakasih kepada keluarga Laboratorium Konversi Energi Listrik telah memfasilitasi pembuatan alat pada penelitian ini. Tidak lupa, terimakasih kepada ELKHA atas fasilitas dan penerbitan jurnal Performance Test of Three-Phase Brushless Direct Current Motor Axial Flux with Differences Diameter of Neodymium Type Permanent Magnet

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Abidin, T. Priangkoso, and D. Darmanto, "Pengujian Performance Motor Listrik Ac 3 Fasa Dengan Daya 3 Hp Menggunakan Pembebanan Generator Listrik," *J. Momentum UNWAHAS*, vol. 9, no. 1, pp. 30-34, 2013.
- [2] A. Kumiawan Rizky, "Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa," University of Jember, 2016.
- [3] M. Reqzy, "Rancang Bangun Motor Brushless Direct Current 3 Phase Fluks Aksial," University of Jember, 2020.
- [4] W.B. Pramono, H. P. Pratama, and Warindi, "Perancangan Motor Litrik BLDC 10KW Untuk sepeda Motor Listrik," *Semin. Nas. Teknol. dan Inform.*, vol. 3, pp. 113-120, 2016.
- [5] R. Afif, "Analisis Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor BLDC (Brushless Direct Current) Satu Fasa Kontruksi Axial Flux Celah Udara Tunggal," pp. 1-4, 2020.
- [6] A. Nurtriartono, "Rancang Bangun Dan Uji Peforma Axial Brushless DC Motor Dengan Daya Output 2000 Watt," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2014.
- [7] M. Gussow, *Theory and Problems of Basic Electricity*. 1983.
- [8] T. Kenjō and S. Nagamori, *Permanent-magnet and brushless DC motors*. 1985.
- [9] E. Prasetyo, "Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Jala-Jala Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fasa", 2016.