

Rancang Bangun Motor BLDC *Axial Flux* Menggunakan Dua Kawat *Email* Pada Lilitan Kumbaran Stator

M. Fariz Azizi

Farizken29@gmail.com
Universitas Jember

Widyono Hadi

widyono@unej.ac.id
Universitas Jember

Guido Dias Kalandro

guidokalandro89@unej.ac.id
Universitas Jember

Abstrak

Perkembangan teknologi yang semakin cepat pada era globalisasi ini berdampak pada perkembangan teknologi motor listrik di Indonesia. Terdapat dua jenis motor listrik berdasarkan sumber tegangan yang digunakan yaitu motor listrik DC dan motor listrik AC. Karena penggunaan motor DC maupun motor AC belum mampu memenuhi kebutuhan, maka penggunaan motor BLDC (*Brushless Direct Current*) menjadi pilihan yang sangat tepat. Pada penelitian ini dilakukan perancangan motor BLDC *Axial Flux* dengan menggunakan rotor tunggal yang terpasang magnet *neodymium* dan sebuah stator yang terbuat dari dua kawat *email* yang dililitkan bersamaan. Dari pengujian motor tanpa beban saat tegangan sumber 18 V memiliki daya *input* 4,038 W dan kecepatan motor 1513 RPM. Sedangkan saat tegangan sumber 24 V memiliki daya *input* 8,716 W dan kecepatan motor 1606 RPM. Adapun pengujian motor dengan beban saat tegangan sumber 24 V memiliki daya *input* 11,432 W, daya *output* 3,579 W, efisiensi 31,311%, kecepatan motor 1098 RPM, torsi mekanik 0,031 Nm dan torsi elektromagnetik 0,099 Nm. Peletakkan kelapa pada *roll* mata pisau yang terlalu ditekan mengakibatkan motor tidak dapat memberikan torsi sesuai dengan kebutuhan beban, sehingga kecepatan motor akan turun dan torsi semakin meningkat. Selain itu, semakin besar tegangan sumber maka semakin besar daya dan kecepatan motor.

Kata Kunci — *Axial Flux, Motor BLDC, Motor Listrik*

Abstract

The rapid development of technology in this era of globalization has an impact on the development of electric motor technology in Indonesia. There are two types of electric motors based on the voltage source used namely DC electric motor and AC electric motor. Because the use of DC motor or AC motor has not been able to meet the needs, the use of BLDC motor (*Brushless Direct Current*) is a very appropriate choice. In this research, the design of BLDC *Axial Flux* motor used a single rotor attached to a neodymium magnet and a stator made of two email wires wrapped together. From testing the motor no-load when the source voltage is 18 V it has an input power of 4,038 W and motor speed of 1513 RPM. While when the source voltage is 24 V has an input power of 8,716 W and motor speed 1606 RPM. As for testing motors with loads when the source voltage is 24 V has an input power of 11,432 W, output power 3,579 W, efficiency 31,311%, motor speed 1098 RPM, mechanical torque 0.031 Nm, and electromagnetic torque 0.099 Nm. Coconut laying

on overpressed blade roll results in the motor not being able to provide torque according to load needs, so the speed of the motor will drop, and torque increases. Besides, the greater the voltage of the source then the greater the power and speed of the motor.

Keywords — *Axial Flux, BLDC Motor, Electric Motor*

I. PENDAHULUAN

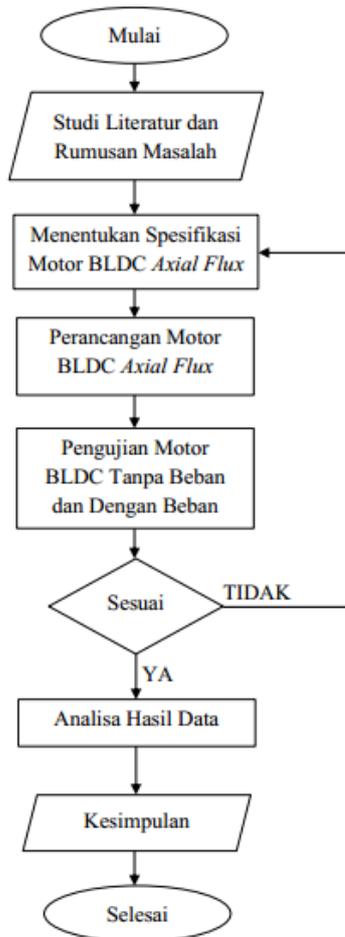
Perkembangan teknologi yang semakin hari semakin cepat pada era globalisasi ini memberikan pengaruh besar terhadap kebutuhan industri, transportasi maupun rumah tangga. Hal ini juga berdampak pada perkembangan teknologi motor listrik di Indonesia. Terdapat dua jenis motor listrik berdasarkan sumber tegangan yang digunakan yaitu motor listrik DC dan motor listrik AC. Motor DC memiliki kecepatan yang mudah diatur, tetapi karena menggunakan sikat (*brush*) dan komutator, maka perlu dilakukan perawatan atau penggantian secara berkala. Sedangkan motor AC jenis induksi memiliki perawatan yang mudah, tetapi terdapat slip pada kecepatan putar motor.

Karena penggunaan motor DC maupun motor AC masih belum mampu memenuhi kebutuhan, maka penggunaan motor BLDC (*Brushless Direct Current*) menjadi pilihan yang sangat tepat. Motor BLDC mempunyai banyak kelebihan dibandingkan motor DC dan motor induksi. Beberapa diantaranya yaitu, memiliki kebisingan yang rendah saat digunakan, karakteristik kecepatan dan torsi yang lebih baik, umur pakai yang lebih lama, dan efisiensi yang tinggi [1]. Sedangkan kelemahan dari motor BLDC yaitu pengendalian kecepatan dan torsi motor lebih rumit serta harga motor BLDC cukup mahal [2].

Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka akan dilakukan penelitian dan perancangan motor BLDC dengan tujuan untuk mengetahui kinerja motor BLDC *Axial Flux* saat tanpa beban dan saat dengan beban. Motor BLDC *Axial Flux* ini dirancang dengan menggunakan rotor tunggal yang terpasang magnet *neodymium* dan terdapat sebuah stator dengan beberapa kumbaran yang terpasang pada stator. Kumbaran pada stator tersebut berasal dari dua kawat *email* yang dililitkan secara bersamaan pada sebuah spul sebagai wadah kumbaran. Terdapat sensor *hall effect* sebagai pemacu untuk *on off* motor.

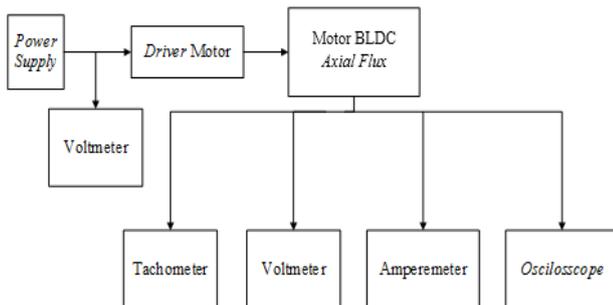
II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian



Gbr. 1 Flowchart tahapan penelitian

B. Blok Diagram Penelitian



Gbr. 2 Blok diagram sistem

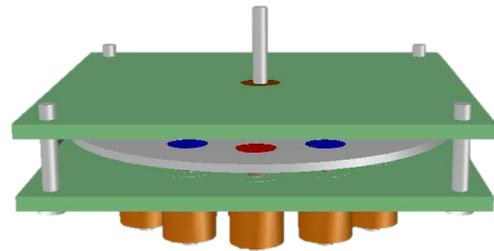
53

Sumber utama yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC *axial flux* ini adalah sumber DC dari *Power Supply*. Pada motor BLDC *axial flux* ini terdapat sebuah rotor yang terpasang magnet *neodymium* dengan dilakukan secara berlawanan antara kutub utara dengan kutub selatan. Selain itu,

motor BLDC *axial flux* ini memiliki stator tunggal yang tersusun dari kumparan dengan pemasangan sisi kumparan secara berseling juga. Selain itu, pengujian pada motor BLDC *axial flux* ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan, torsi, frekuensi, arus dan tegangan.

C. Desain Motor BLDC Axial Flux

Motor BLDC *Axial Flux* ini terdiri dari stator tunggal dengan 12 buah kumparan yang terdiri dari 96 lilitan. Kawat *email* yang digunakan mempunyai diameter sebesar 0.5 mm. Kemudian dua kawat *email* dengan diameter sama tersebut dililitkan secara bersamaan pada spul besi sebagai wadah kumparan. Selain itu, terdapat sebuah rotor yang terpasang 12 buah magnet *Neodymium* dengan pemasangan dilakukan secara berlawanan antara kutub utara dengan kutub selatan. Setelah itu, stator dan rotor digabung hingga membentuk sebuah motor BLDC *Axial Flux*, dimana konstruksi dari motor tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gbr. 3 Desain tiga dimensi (3D) motor BLDC axial flux

D. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dalam 2 kondisi pengujian antara lain pengujian motor tanpa beban dan pengujian motor dengan beban. Dalam pengujian motor dengan beban, beban yang digunakan berupa sebuah kelapa. Kedua pengujian yang dilakukan menggunakan variasi tegangan sumber (18 V, 20 V, 22 V dan 24 V).

1) *Pengujian Motor BLDC Axial Flux Tanpa Beban:* Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kecepatan putar motor, tegangan *input*, arus *input*, dan frekuensi ketika motor dalam keadaan tanpa beban.

2) *Pengujian Motor BLDC Axial Flux Dengan Beban:* Pengujian motor BLDC *axial flux* selanjutnya dilakukan ketika motor BLDC *axial flux* dalam kondisi dengan beban. Pengujian ini menggunakan sebuah kelapa sebagai beban motor BLDC. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan beban terhadap nilai kecepatan putar motor, tegangan *input*, arus *input*, dan frekuensi.

E. Perhitungan

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui perhitungan beberapa parameter berdasarkan persamaan yang sesuai.

1) *Kecepatan Putar Motor BLDC Axial Flux:* Untuk menentukan kecepatan putar motor (N_r), perlu diketahui

frekuensi (f) dan jumlah *pole* (p) yang digunakan. Sehingga kecepatan putar motor (Nr) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [3].

$$Nr = (120 \times f) / p \tag{1}$$

2) *Error Persen (%) Kecepatan Putar Motor*: Setelah hasil perhitungan kecepatan putar motor diketahui. Selanjutnya dapat dilakukan perbandingan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan kecepatan putar motor untuk mengetahui nilai *error* persen (%) menggunakan persamaan berikut.

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% \tag{2}$$

3) *Torsi Motor BLDC Axial Flux*: Besarnya torsi mekanik (T) diperoleh dari perkalian antara gaya (F) dengan jari-jari rotor (r). Sehingga untuk mencari nilai torsi mekanik (T) dapat ditulis dengan persamaan berikut [4].

$$T = F \times r \tag{3}$$

Sementara itu, untuk menghitung besarnya torsi elektromagnetik (T_{em}), perlu diketahui tegangan input (V), arus input (I), dan kecepatan putar motor (Nr). Sehingga diperoleh besarnya torsi elektromagnetik (T_{em}) dengan persamaan berikut [5].

$$T_{em} = (V \times I \times 60) / (2\pi \times Nr) \tag{4}$$

4) *Daya Motor BLDC Axial Flux*: Semakin besar nilai tegangan input (V) dan arus input (I), maka daya input (P_{in}) akan semakin besar. Sehingga diperoleh besarnya daya input (P_{in}) diperoleh dengan persamaan berikut [6].

$$P_{in} = V \times I \tag{5}$$

Sedangkan Sedangkan besarnya daya output (P_{out}) dipengaruhi oleh kecepatan putar motor (Nr) dan torsi mekanik (T). Sehingga daya output (P_{out}) dapat ditulis dengan persamaan berikut [7].

$$P_{out} = ((2\pi \times Nr) / 60) \times T \tag{6}$$

5) *Efisiensi Motor BLDC Axial Flux*: Efisiensi (η) merupakan perbandingan antara nilai daya output (P_{out}) dengan daya input (P_{in}). Untuk mencari nilai efisiensi (η) dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% \tag{7}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Motor BLDC Axial Flux Tanpa Beban

Pengujian motor BLDC *axial flux* tanpa beban dilakukan dengan kondisi awal *roll* mata pisau parut kelapa sudah terpasang pada motor BLDC *axial flux*. Hasil pengujian motor BLDC *axial flux* tanpa beban dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN MOTOR BLDC AXIAL FLUX TANPA BEBAN

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Input		Arus Input (A)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putar Motor (RPM)
	Kabel A (V)	Kabel B (mV)			
18	4,62	2,53	0,874	150,6	1513
20	5,42	6,94	0,991	152,9	1541
22	6,11	11,9	1,112	156	1571
24	6,89	11,43	1,265	161,2	1606

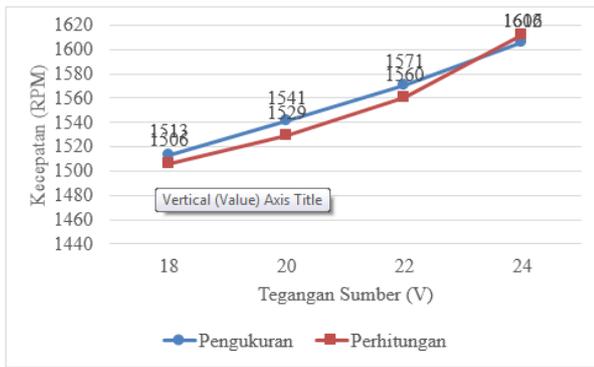
Berdasarkan tabel diatas, semakin besar tegangan sumber yang digunakan maka tegangan *input*, arus *input*, frekuensi dan kecepatan putar motor akan semakin besar. Selain itu, dapat dilihat bahwa tegangan *input* pada kabel A mempunyai selisih nilai yang besar dengan tegangan sumber. Perbedaan hasil tersebut dapat disebabkan oleh komponen dari *driver* yang mengakibatkan adanya rugi-rugi, sehingga tegangan yang diperoleh dari *driver* motor menjadi berkurang. Sedangkan tegangan *input* pada kabel B mempunyai nilai sangat kecil dari tegangan sumber yang digunakan, hal ini dapat disebabkan karena komponen *driver* yang terhubung pada kabel B tidak aktif atau resistansi pada komponen yang terhubung pada kabel B terlalu besar.

TABEL II
PERHITUNGAN KECEPATAN PUTAR MOTOR BLDC AXIAL FLUX TANPA BEBAN

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Input (V)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putar Motor (RPM)		Error Persen (%)
			Pengukuran	Perhitungan	
18	4,62	150,6	1513	1506	0,46
20	5,42	152,4	1541	1529	0,78
22	6,11	158,7	1571	1560	0,71
24	6,89	158,4	1606	1612	0,37

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dengan hasil perhitungan mempunyai sedikit perbedaan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh nilai kecepatan putar motor (RPM) dan frekuensi yang berubah-ubah pada saat pengukuran. Selisih nilai yang muncul dari hasil perhitungan dengan hasil pengukuran disebut *error* persen (%). Selain itu, semakin tinggi tegangan sumber, maka kecepatan motor akan semakin tinggi. Nilai *error* persen (%) pada kecepatan putar motor (RPM) lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik berikut.



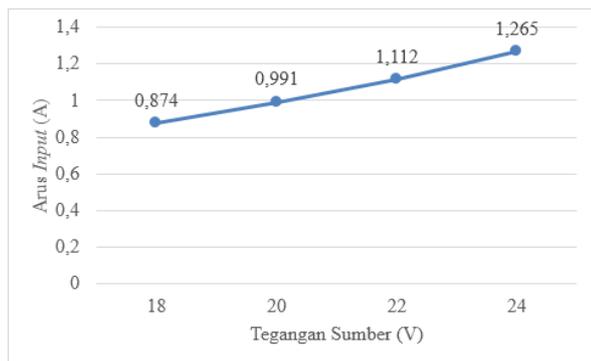


Gbr. 4 Grafik hubungan hasil perhitungan dan hasil pengukuran kecepatan putar motor terhadap tegangan sumber

TABEL III
PERHITUNGAN DAYA INPUT MOTOR BLDC AXIAL FLUX TANPA BEBAN

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Motor (V)	Arus Motor (A)	Kecepatan Putar Motor (RPM)	Daya Input (W)
18	4,62	0,874	1513	4,038
20	5,42	0,991	1541	5,371
22	6,11	1,112	1571	6,794
24	6,89	1,265	1606	8,716

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa besarnya tegangan sumber yang diberikan berpengaruh terhadap besarnya tegangan *input* dan arus *input* yang dihasilkan. Adapun besarnya daya *input* dipengaruhi oleh besarnya arus dan tegangan *input* motor, sehingga semakin besar arus dan tegangan *input* motor maka semakin besar pula daya *input* yang dihasilkan. Hubungan arus *input* motor terhadap tegangan sumber dapat dilihat pada grafik berikut.



Gbr. 5 Grafik hubungan arus input motor terhadap tegangan sumber

B. Pengujian Motor BLDC Axial Flux Dengan Beban

Pengujian motor BLDC *axial flux* dengan beban dilakukan ketika kelapa diletakkan pada *roll* mata pisau parut kelapa,

sehingga kelapa tersebut terkikis dan menghasilkan kelapa yang lebih halus. Berikut adalah data hasil pengujian motor dengan beban.

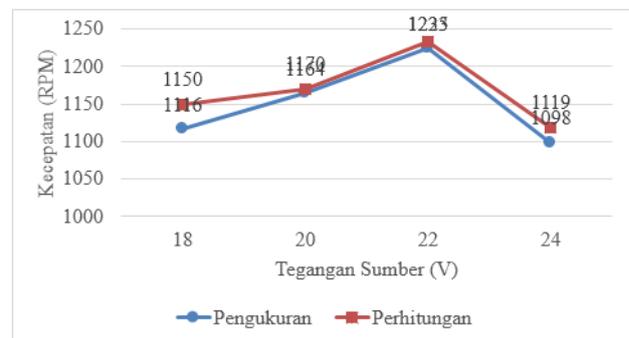
TABEL IV
HASIL PENGUJIAN MOTOR BLDC AXIAL FLUX DENGAN BEBAN

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Input		Arus Input (A)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putar Motor (RPM)
	Kabel A (V)	Kabel B (mV)			
18	5,20	10,35	0,99	115,0	1116
20	6,54	11,80	1,08	117,0	1164
22	6,73	12,38	1,21	123,3	1225
24	7,95	14,19	1,44	111,9	1098

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa frekuensi terkecil dihasilkan ketika menggunakan tegangan sumber sebesar 24 V, hal ini disebabkan karena saat peletakan kelapa pada *roll* mata pisau terlalu ditekan dan tidak tetap saat pengujian dengan variasi tegangan dilakukan, sehingga memengaruhi nilai frekuensi dan berdampak pada kecepatan putar motor. Sedangkan tegangan *input* dan arus *input* motor yang dihasilkan *driver* akan semakin tinggi ketika sumber tegangan tinggi juga.

TABEL V
PERHITUNGAN KECEPATAN PUTAR MOTOR BLDC AXIAL FLUX DENGAN BEBAN

Tegangan Sumber (V)	Tegangan Input (V)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putar Motor (RPM)		Error Persen (%)
			Pengukuran	Perhitungan	
18	5,20	115,0	1116	1150	2.96
20	6,54	117,0	1164	1170	0.51
22	6,73	123,3	1225	1233	0.65
24	7,95	111,9	1098	1119	1.88



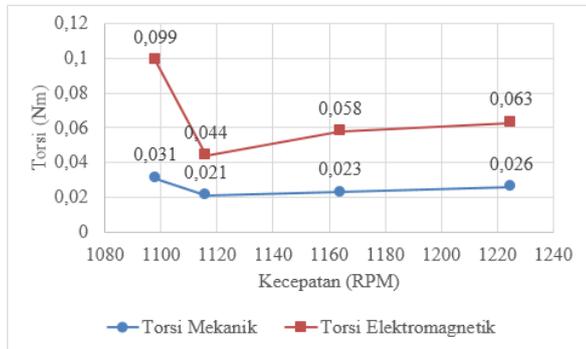
Gbr. 6 Grafik hubungan hasil perhitungan dan hasil pengukuran kecepatan putar motor terhadap tegangan sumber

Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kecepatan putar motor yang diperoleh semakin meningkat ketika variasi tegangan sumber dinaikkan. Namun, terjadi penurunan kecepatan putar motor ketika tegangan sumber sebesar 24 V yang disebabkan karena peletakkan kelapa pada *roll* mata pisau yang tidak tetap, sehingga membuat kecepatan putar motor menjadi berkurang pada saat pengujian. Dalam pengujian ini, kecepatan putar motor dapat turun bahkan berhenti berputar jika peletakkan kelapa pada *roll* mata pisau ditekan terlalu kuat. Selain itu, kecepatan putar motor mempunyai selisih nilai atau *error* persen (%) yang tidak terlalu besar.

TABEL VI
PERHITUNGAN TORSI MEKANIK DAN TORSI ELEKTROMAGNETIK MOTOR BLDC AXIAL FLUX DENGAN BEBAN

Tegangan Sumber (V)	Kecepatan Putar Motor (RPM)	Gaya (N)	Torsi	
			Mekanik (Nm)	Elektromagnetik (Nm)
18	1116	0,329	0,021	0,044
20	1164	0,361	0,023	0,058
22	1225	0,402	0,026	0,063
24	1098	0,479	0,031	0,099

Tabel diatas menunjukkan bahwa nilai torsi elektromagnetik lebih besar dibandingkan dengan nilai torsi mekanik. Besarnya nilai torsi ditentukan dari gaya elektromagnetik yang muncul karena interaksi medan magnet pada celah antara stator dengan rotor. Hubungan torsi mekanik dan torsi elektromagnetik terhadap kecepatan putar motor disajikan pada grafik berikut.



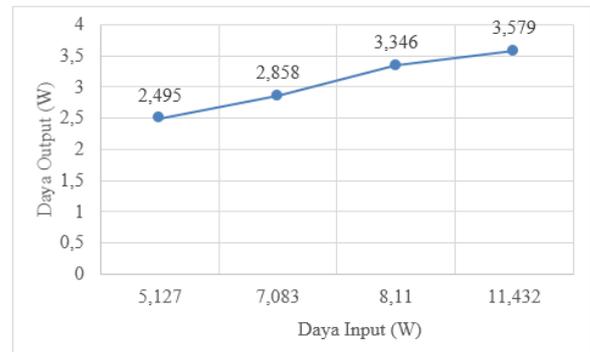
Gbr. 7 Grafik hubungan torsi mekanik dan torsi elektromagnetik motor terhadap kecepatan putar motor

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai torsi mekanik dan torsi elektromagnetik mempunyai pola grafik yang sama. Selain itu, terjadi penurunan nilai torsi mekanik maupun torsi elektromagnetik saat kecepatan putar motor sebesar 1116 RPM. Namun, seiring meningkatnya kecepatan putar motor diikuti dengan meningkatnya torsi mekanik maupun torsi elektromagnetik juga.

TABEL VII
PERHITUNGAN DAYA INPUT, DAYA OUTPUT DAN EFISIENSI MOTOR BLDC AXIAL FLUX DENGAN BEBAN

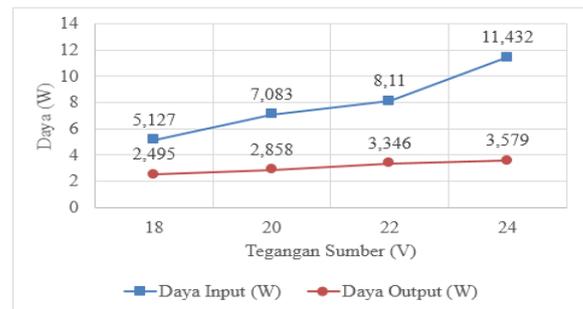
Tegangan Sumber (V)	Kecepatan Putar Motor (RPM)	Torsi		Daya Input (W)	Daya Output (W)	Efisiensi (%)
		Mekanik (Nm)	Elektromagnetik (Nm)			
18	1116	0,021	0,044	5,127	2,495	48,654
20	1164	0,023	0,058	7,083	2,858	40,349
22	1225	0,026	0,063	8,11	3,346	41,265
24	1098	0,031	0,099	11,43	3,579	31,311

Tabel diatas menunjukkan bahwa nilai daya input mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan daya output yang diperoleh. Selain itu, semakin besar nilai daya input maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan. Hubungan daya output terhadap daya input motor dapat dilihat pada grafik berikut.



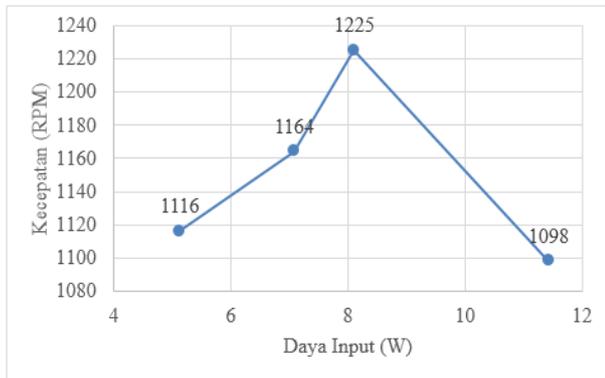
Gbr. 8 Grafik hubungan daya output terhadap daya input motor

Dari tabel VII dapat dilihat bahwa nilai tegangan sumber mempunyai pengaruh terhadap besarnya nilai daya input dan daya output motor. Seiring dengan pemberian tegangan sumber yang semakin tinggi maka diikuti dengan meningkatnya nilai daya input dan daya output yang diperoleh. Dalam pengujian ini, nilai daya input yang dihasilkan mempunyai nilai yang fluktuatif dibandingkan dengan nilai daya output. Hubungan daya input dan daya output terhadap tegangan sumber dapat dilihat pada grafik berikut.

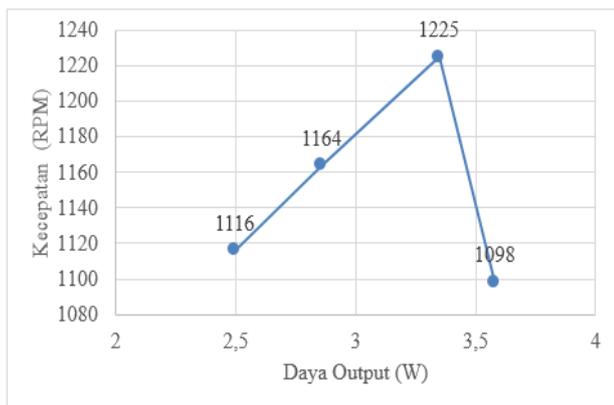


Gbr. 9 Grafik hubungan daya input dan daya output motor terhadap tegangan sumber

Sementara itu, seiring dengan meningkatnya kecepatan putar motor diikuti dengan kenaikan daya *input* maupun daya *output*. Terdapat penurunan kecepatan putar motor yang menyebabkan daya *input* meningkat secara pesat daripada sebelumnya. Sebaliknya, penurunan kecepatan putar motor tidak terlalu berpengaruh terhadap kenaikan daya *output* motor. Hubungan antar kecepatan putar motor terhadap daya *input* dan daya *output* dapat dilihat pada grafik gambar 10 dan 11.

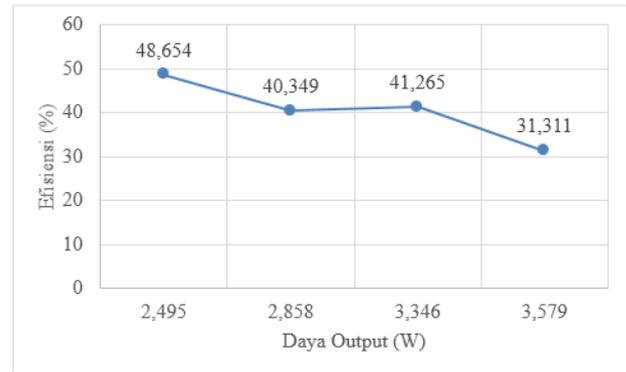


Gbr. 10 Grafik hubungan kecepatan putar motor terhadap daya input motor



Gbr. 11 Grafik hubungan kecepatan putar motor terhadap daya output motor

Disamping itu, perbandingan antara daya *input* dengan daya *output* berpengaruh besar terhadap efisiensi motor yang dihasilkan. Efisiensi merupakan acuan untuk menentukan keandalan dari sebuah motor. Jika motor memiliki efisiensi rendah maka motor dapat dikategorikan tidak memiliki keandalan yang baik. Namun, jika motor memiliki efisiensi tinggi maka motor dapat dikategorikan memiliki keandalan yang baik. Karena nilai daya *input* lebih besar dibandingkan dengan daya *output* maka efisiensi yang diperoleh akan kecil. Karena banyaknya rugi-rugi yang terjadi saat pengujian dengan beban, maka efisiensi yang diperoleh kurang dari 50% dan motor dapat dikategorikan memiliki keandalan yang tidak baik. Hubungan efisiensi terhadap daya *output* dapat dilihat pada grafik berikut.



Gbr. 12 Grafik hubungan efisiensi terhadap daya output motor

IV. KESIMPULAN (PENUTUP)

Dari pengujian motor BLDC *axial flux* tanpa beban, ketika menggunakan tegangan sumber 18 V memiliki daya *input* 4,038 W dan kecepatan putar motor sebesar 1513 RPM. Sedangkan ketika menggunakan tegangan sumber 24 V memiliki daya *input* 8,716 W dan kecepatan putar motor sebesar 1606 RPM. Jadi, semakin besar tegangan sumber maka semakin besar kecepatan putar motor dan daya *input* yang diperoleh. Sementara itu, dari pengujian motor dengan beban, ketika menggunakan tegangan sumber 18 V diperoleh daya *input* 5,127 W, daya *output* 2,495 W, efisiensi 48,654%, kecepatan putar motor 1116 RPM, torsi mekanik 0,021 Nm dan torsi elektromagnetik sebesar 0,044 Nm. Sedangkan ketika menggunakan tegangan sumber 24 V memiliki daya *input* 11,432 W, daya *output* 3,579 W, efisiensi 31,311%, kecepatan putar motor 1098 RPM, torsi mekanik 0,031 Nm dan torsi elektromagnetik sebesar 0,099 Nm. Dalam pengujian ini, peletakkan kelapa pada *roll* mata pisau yang terlalu ditekan mengakibatkan motor tidak dapat memberikan torsi sesuai dengan kebutuhan beban, sehingga kecepatan putar motor akan turun dan torsi semakin meningkat. Adanya beban juga mengakibatkan arus *input* meningkat, sehingga daya *input* yang diperoleh juga akan meningkat. Namun, efisiensi yang dihasilkan akan semakin kecil. Selain itu, torsi mekanik mempunyai nilai yang lebih kecil daripada torsi elektromagnetik. Akan tetapi, torsi mekanik maupun torsi elektromagnetik mempunyai pola grafik yang sama.

REFERENSI

- [1] Yedamale, P. 2003. Brushless dc (blde) motor fundamentals.
- [2] Gifary, H. B. 2017. Rancang bangun motor blde tiga fasa sensorless dengan tipe konstruksi out-runner.
- [3] Chapman, S. J. 2015. *Electric Machinery Fundamentals*. Edisi 5th.
- [4] Hanselman, D. D. 2003. *Brushless Permanent Magnet Motor Design*. Edisi 2nd.
- [5] Reqzy, M. 2019. *Rancang Bangun Motor Brushless Direct Current 3 Phase Flukz Axial*.
- [6] Halliday, D., R. Resnick, dan J. Walker. 2011. *Fundamentals of Physics*. Edisi 9th.
- [7] JR, J. R. H. Dan T. Miller. 1994. *Design of Brushless Permanent-Magnet Motors*.