

Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Motor Brushless DC Dengan Menggunakan Dynamometer Generator

Muhammad Baroq Arkham¹, Triwahju Hardianto², Guido Dias Kalandro³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan No.37, Kampus Tegal Boto, Jember, Indonesia

¹181910201120@mail.unej.ac.id

²triwahju.teknik@mail.unej.ac.id

³guidokalandro89@gmail.com

Abstrak— Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sejak tahun 1980-an konsep baru motor listrik telah banyak berkembang. Isu mengenai penghematan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dan pemanasan global dapat disebut pendorong berkembangnya teknologi motor listrik. Motor listrik DC dikembangkan tanpa menggunakan sikat yang dikenal dengan sebutan motor listrik BLDC (*Brushless DC*). Dibandingkan dengan motor DC, motor BLDC memiliki tingkat efisiensi, performa yang lebih tinggi, serta biaya perawatan yang rendah. Penggunaan motor BLDC untuk pengaplikasian mobil listrik, industri dan aplikasi lainnya. Pegujian variasi motor BLDC 220 watt, 250 watt, dan 1000 watt tanpa adanya beban serta menggunakan variasi beban lampu 90 watt, 130 watt, dan 160 watt. Adapun hasil penelitian ini yaitu nilai rpm akan berbanding lurus dengan arus dan pembebanan lampu, kemudian nilai torsi akan berbanding terbalik dengan rpm dan akan berbanding lurus dengan nilai pembebanan lampu. Motor BLDC dengan nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan lampu 90 watt terjadi pada motor BLDC 250 W dan nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan lampu 130 dan 160 watt terjadi pada motor BLDC 1000 W.

Kata Kunci— Motor Listrik, Motor BLDC, Torsi, Efisiensi, Arus, Daya.

I. PENDAHULUAN

Motor Listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sejak tahun 1980-an konsep baru motor listrik telah banyak berkembang. Isu mengenai penghematan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dan pemanasan global dapat disebut pendorong berkembangnya teknologi motor listrik.

Pada perkembangan teknologi, penggunaan motor listrik semakin berkembang. Motor listrik DC dikembangkan tanpa menggunakan sikat yang dikenal dengan sebutan motor listrik BLDC (*Brushless DC*). Dibandingkan dengan motor DC, motor BLDC memiliki tingkat efisiensi, performa yang lebih tinggi, serta biaya perawatan yang rendah. Penggunaan

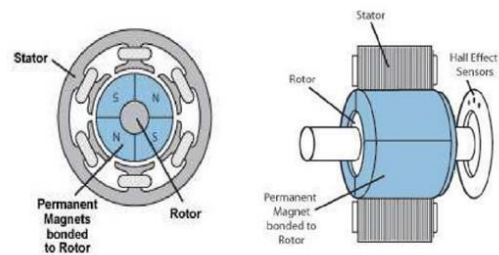
motor BLDC untuk pengaplikasian mobil listrik, industri dan aplikasi lainnya, motor BLDC banyak digunakan karena motor ini memiliki karakteristik yang sama dengan motor *Direct Current* (DC) tetapi tidak menggunakan sikat untuk beroperasi sehingga biaya perawatan yang dibutuhkan rendah dan lebih praktis, kecepatan yang lebih baik, kemudian memiliki perbandingan karakteristik torsi dan respons dinamis yang lebih besar.

Motor BLDC dapat diketahui karakteristiknya dengan berbagai cara salah satunya dengan menggunakan *dynamometer generator*. Sistem kerja dari *dynamometer generator* ketika sistem penggerak berputar maka rotor pada generator akan berputar karena diteruskannya daya oleh transmisi, nantinya hasil penelitian dapat diterapkan pada mobil listrik tipe urban konsep.

II. DASAR TEORI

A. Motor BLDC

Motor DC tanpa sikat (*brush*) menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun mamalik arah putarannya untuk menggerakkan motor, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya halus.



Gambar. 1 Kontruksi Motor Brushless DC dengan Sensor Hall

Motor BLDC dapat bekerja ketika *stator* yang terbuat dari kumparan diberikan tegangan AC 3 fasa. Karena adanya arus yang melewati kumparan pada *stator* menimbulkan medan magnet (*B*) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{2 \cdot l} \quad (1)$$

dimana N merupakan jumlah lilitan, i untuk nilai arus (A), l merupakan panjang lilitan dan μ permeabilitas bahan.

Motor BLDC berputar sebagai akibat dari interaksi *magnet permanent* pada *rotor* dengan medan magnet yang dihasilkan ketika tegangan DC terhubung pada satu kumparan *stator*.

B. Dynamometer Generator

Dinamometer adalah suatu mesin yang digunakan untuk mengukur torsi (torque) dan daya (power) yang diproduksi oleh suatu mesin motor atau penggerak berputar lain. Selain itu dinamometer juga digunakan untuk mengkarakterisasi torsi motor sebagai fungsi kecepatan. Dinamometer ini juga biasanya digunakan sebagai instrumen elektro-mekanis dasar untuk pengembangan motor dan motor drive.

Prinsip kerja dari dinamometer ini sama halnya dinamometer yang lainnya, hanya saja penyerapan daya menggunakan pembebanan listrik. Secara detailnya prinsip kerja dari dinamometer ini yaitu ketika sistem penggerak berputar, maka rotor pada generator akan berputar karena diteruskannya daya oleh transmisi. Daya listrik kemudian disalurkan terhadap pembebanan listrik yang besarnya dinyatakan menggunakan persamaan (2) dan (3).

$$P = V \cdot I \quad (\text{Untuk generator 1 fasa}) \quad (2)$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad (\text{Untuk generator 3 fasa}) \quad (3)$$

C. Daya

Daya merupakan jumlah energi yang dihabiskan per satuan waktu. Dalam sistem SI, satuan daya adalah joule per detik (J/s), atau Watt. Daya keluaran motor BLDC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4).

$$W = \frac{V \cdot I}{\eta t \cdot \eta g} \quad (4)$$

dimana W adalah daya keluaran motor (w), V untuk tegangan (v), I untuk arus (A), ηt mempresentasikan efisiensi transmisi (%), ηg adalah efisiensi generator (%).

D. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja yaitu menggerakkan atau memindahkan mobil atau motor dari kondisi diam hingga berjalan. Untuk itu torsi berkaitan dengan akselerasi dan putaran bawah mesin, sehingga torsi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (5).

$$\tau = \frac{60 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (5)$$

E. Efisiensi

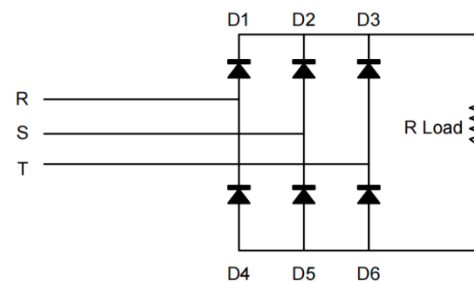
Suatu mesin konversi energi tidak mungkin mengubah energi yang diterimanya menjadi energi yang diharapkan. Sebagian energi akan diubah menjadi energi yang tidak diharapkan atau biasa disebut *losses*. Proses tersebut merupakan sifat alami sehingga dikemukakan konsep

efisiensi. Efisiensi didefinisikan sebagai hasil bagi keluaran dan masukan dikali seratus persen dan secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan (5).

$$\eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \cdot 100\% \quad (5)$$

F. Rangkaian Penyearah

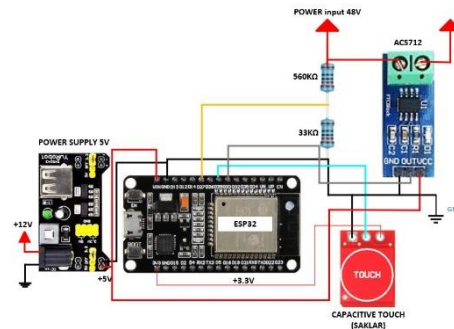
Rangkaian penyearah gelombang penuh adalah rangkaian peyearah yang menggunakan empat buah dioda, penyearah ini mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Pada sistem penyearah ini bekerja secara menyeluruh yang menyearahkan semua siklus gelombang sinus. Jadi pada dioda satu dan dua bekerja pada siklus positif dan untuk dioda ketiga dan keempat bekerja pada siklus negatif.



Gambar. 2 Rangkaian Penyearah Gelombang 3 Fasa

G. Data Logger

Data logger adalah sebuah alat digital atau elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu. Atau secara singkat data logger adalah alat untuk melakukan data logging. Secara fisik alat data logger berukuran kecil dan perangkat ini dilengkapi dengan mikroprosesor dan memori internal yang digunakan untuk mencatat dan merekam data dan sensor.

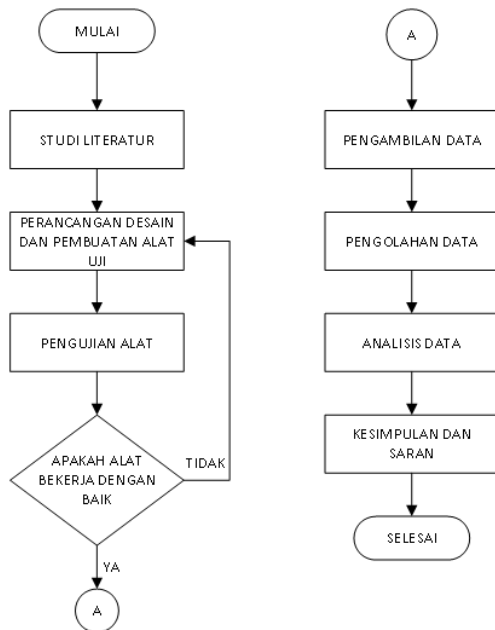


Gambar. 3 Rangkaian Keseluruhan Sistem Akuisisi Data

ESP32 adalah sebagai mikrokontroler yang tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem Internet Of Things. Hasil pembacaan dari sensor akan disimpan pada website dan menjadi variabel utama untuk menentukan nilai arus dan tegangan dari alat uji.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan-tahapan penelitian yang dilaksanakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



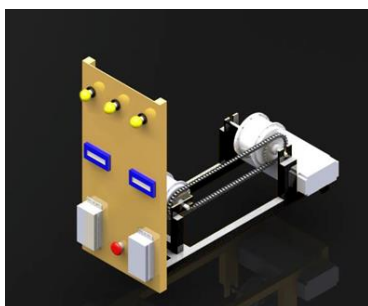
Gambar. 4 Flowchart Tahap Penelitian

A. Studi Literatur

Pada tahapan ini akan mempelajari tentang teori-teori yang berkaitan dengan motor listrik. Literatur yang digunakan berupa teori pada buku, jurnal, *datasheet* dan *website*. Teori yang dikutip berupa penjelasan mengenai motor BLDC, *Dynamometer Generator*, *Data Logger*, dan *Rectifier*. Diperlukan juga *datasheet* motor BLDC 220W, 250W, dan 1000W untuk mengetahui spesifikasi, serta fungsi pin.

B. Perancangan Alat Uji

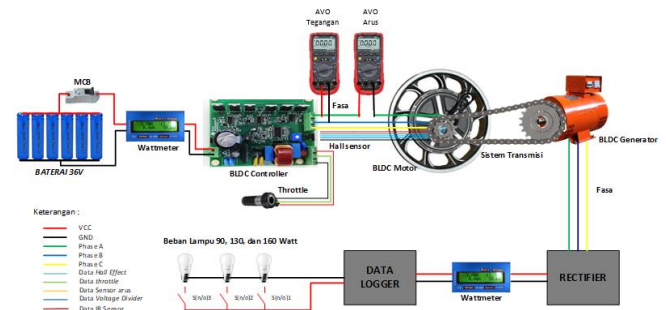
Proses perancangan alat uji berfokus pada perancangan bentuk dengan menggambar bentuk rancangan mekanik dari alat uji dan peletakan sistem kelistrikan pada alat. Perancangan alat dapat dipisahkan menjadi 2 bagian yaitu perancangan bentuk alat uji dan perancangan peletakan posisi rangkaian kelistrikan. Bagian perencanaan alat uji dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar. 5 Desain Alat Uji Motor BLDC

C. Perancangan Sistem Keseluruhan Elektrik

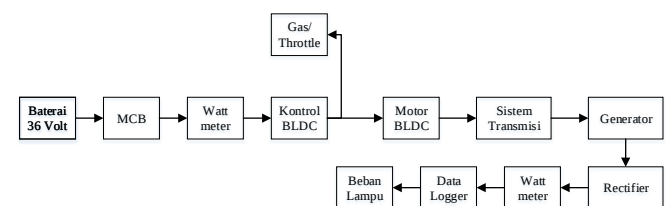
Perancangan sistem kelistrikan dapat dilihat pada Gambar 5. Sumber daya menggunakan baterai Li-Po sebesar 36V dan 48V. Keseluruhan komponen kelistrikan nantinya akan disusun berdasarkan Gambar 7. Datalogger berfungsi sebagai penyimpanan data arus, tegangan, dan daya yang didapatkan dari wattmeter.



Gambar. 6 Desain Keseluruhan Elektrik

D. Diagram Blok Sistem

Pada tahapan rangkaian sistem keseluruhan elektrik pada penelitian ini dapat dijelaskan pada diagram blok seperti pada Gambar 6.



Gambar. 7 Diagram Blok Sistem

E. Rencana Pengujian

Pada tahap ini, dilakukan pengujian untuk menetapkan daya nominal motor BLDC dan pembebanan lampu sebagai media pembebanan elektrik. Kemudian penentuan kecepatan putaran motor BLDC, pengujian dilakukan dengan memutar motor BLDC sesuai variasi kecepatan putaran motor yang telah ditetapkan. Proses pengujian dilakukan berulang beberapa kali sesuai variasi pembebanan lampu yang telah ditetapkan, kemudian dilakukan pengukuran arus, tegangan dengan menggunakan wattmeter serta pengukuran putaran motor menggunakan sensor rpm. Berikut diagram alir pengujian seperti pada Gambar 8.

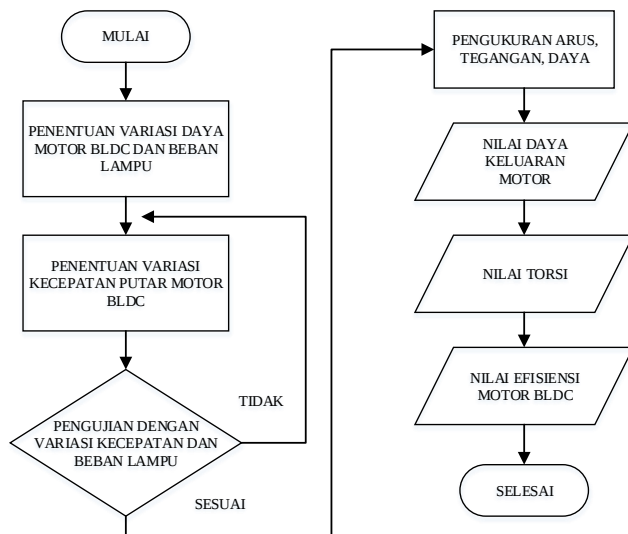
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perancangan untuk mengetahui unjuk kerja motor BLDC dengan menggunakan *dynamometer generator* perlu dilakukan beberapa pengujian yang akan dilakukan secara bertahap.

A. Pengujian Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC

Pengujian tanpa beban pada pengaruh rpm terhadap arus motor BLDC bertujuan untuk mengetahui nilai rpm

maksimal dari setiap motor BLDC yang dapat menghasilkan perolehan tegangan, arus, dan daya yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC pada setiap rpmnya.



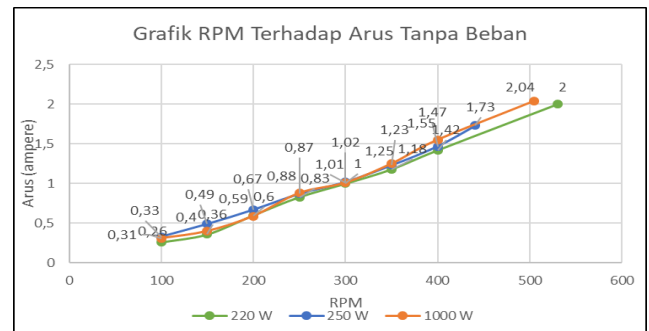
Gambar. 8 Flowchart Tahap Pengujian

Pada pengujian ini setiap motor BLDC memiliki nilai rpm tertinggi yang berbeda-beda oleh sebab itu perlu menentukan nilai batas untuk rpm tertinggi pada pengujian dengan pembebanan lampu yaitu sebesar 400 rpm.

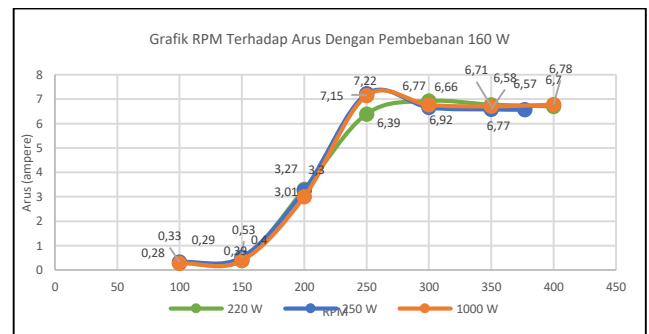
Pengujian dengan beban lampu bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus yang ditinjau dari perolehan arus masukan, daya masukan, dan daya keluaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban lampu 90 watt, 130 watt, dan 160 watt dengan metode pengujian yang sama pada setiap pembebanannya. Kecepatan efektif yang digunakan pada pengujian ini yaitu sebesar 300 rpm dengan hasil pengujian pengaruh pembebanan terhadap arus motor tersaji pada Tabel 1.

Dari hasil pengujian tersebut masing-masing motor BLDC dilakukan pengujian dengan meninjau nilai rpm sesuai pada pengujian yaitu dengan bertambahnya nilai pembebanan maka arus akan semakin besar dimana nilai arus tertinggi pada pembebanan lampu 160 W dengan hasil seperti pada Gambar 10.

Pada grafik kurva berwarna hijau adalah motor 220W, nilai arus tertinggi sebesar 6,92 A saat kecepatan 300 rpm. Pada kurva berwarna biru merupakan grafik kurva motor 250W, nilai arus tertinggi sebesar 7,22 A saat kecepatan 250 rpm. Pada kurva berwarna jingga adalah motor 1000W, nilai arus tertinggi sebesar 7,15 A saat kecepatan 250 rpm.



Gambar. 9 Grafik Pengaruh RPM Terhadap Arus Motor BLDC Tanpa Pembebanan Lampu



Gambar. 10 Grafik Pengaruh RPM terhadap Arus Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt

B. Pengujian Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Torsi Motor BLDC

Pengujian ini dilakukan dengan mengaplikasikan perhitungan nilai torsi yang didapat dari pengukuran nilai daya keluaran generator dengan hasil tertinggi pada kecepatan 250 rpm dengan hasil perhitungan torsi tersaji pada Tabel 2 hasil perhitungan torsi motor BLDC.

TABLE I
HASIL PENGUJIAN PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP ARUS MOTOR BLDC

Parameter	Daya Nominal Motor BLDC								
	220 W			250 W			1000 W		
	90 W	130 W	160 W	90 W	130 W	160 W	90 W	130 W	160 W
Arus In (A)	3.22	5.68	6.92	3.22	5.71	6.66	3.8	4.88	6.77
Daya In (W)	161.9	278	333.7	161	277	315.7	187.2	233	312.6
Tegangan Out (V)	26.77	25.96	25.18	31.81	30.55	30.37	32.33	30.38	29.32
Arus Out (A)	3.21	6.35	7.75	2.77	5.46	6.38	2.77	5.4	6.53
Daya Out (W)	85.93	164.84	195.14	88.11	166.8	193.76	89.55	164.05	191.46

TABLE II
HASIL PERHITUNGAN TORSI MOTOR BLDC

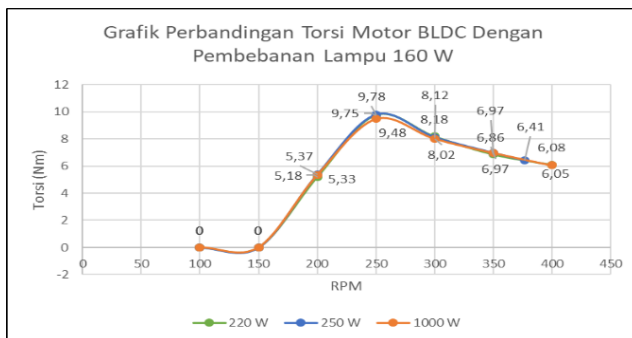
Parameter	Daya Nominal Motor BLDC								
	220 W			250 W			1000 W		
	90 W	130 W	160 W	90 W	130 W	160 W	90 W	130 W	160 W
Arus In (A)	3.18	5.78	6.39	3.14	5.92	7.22	3.77	4.95	7.15
Daya In (W)	160.4	283	307	160	288.5	347.2	184.7	239.6	333.6
Daya Out (W)	113.27	204.35	255.14	112.39	202.5	255.86	113.78	202.55	247.98
Torsi (Nm)	4.33	7.8	9.75	4.29	7.74	9.78	4.35	7.74	9.48

TABLE III
HASIL PERHITUNGAN EFISIENSI MOTOR BLDC

Parameter	Daya Nominal Motor BLDC								
	220 W			250 W			1000 W		
	90 W	130 W	160 W	90 W	130 W	160 W	90 W	130 W	160 W
Arus In (A)	3.22	5.78	6.92	3.22	5.92	6.66	3.8	4.95	6.77
Daya In (W)	161.9	283	333.7	161	288.5	315.7	187.2	239.6	312.6
Daya Out (W)	113.07	204.35	257.77	115.94	202.50	254.95	117.83	202.55	251.92
Efisiensi (%)	69.84	72.21	76.95	72.01	70.19	80.76	62.95	84.53	80.59

Dari hasil perhitungan tersebut masing-masing motor BLDC dilakukan percobaan dengan meninjau nilai rpm sesuai pada pengukuran dengan hasil tertinggi pada pembebanan lampu 160 W dengan hasil seperti pada Gambar 11.

Pada grafik kurva berwarna hijau adalah motor 220W, nilai torsi tertinggi sebesar 9,75 Nm. Pada kurva berwarna biru merupakan grafik kurva motor 250W, nilai torsi tertinggi sebesar 9,78 Nm. Pada kurva berwarna jingga adalah motor 1000W, nilai torsi tertinggi sebesar 9,48 Nm. Pada grafik dari torsi yaitu nilai torsi akan mencapai keadaan puncak dan kemudian akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan putar motor BLDC.



Gambar. 11 Grafik Perbandingan Torsi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt

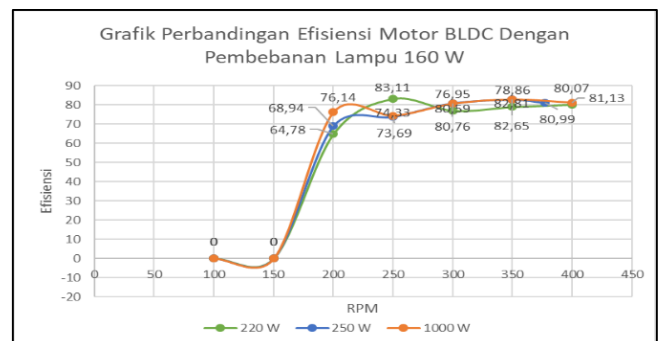
C. Pengujian Pengaruh Pembebanan Lampu Terhadap Efisiensi Motor BLDC

Pengujian ini dilakukan dengan mengaplikasikan perhitungan nilai efisiensi yang diperoleh dari perbandingan nilai hasil pengukuran dan perhitungan motor BLDC dengan hasil tertinggi pada kecepatan 300 rpm dengan hasil perhitungan efisiensi tersaji pada Tabel 3 hasil perhitungan efisiensi motor BLDC.

Dari hasil perhitungan tersebut masing-masing motor BLDC dilakukan percobaan dengan meninjau nilai rpm

sesuai pada pengukuran dengan hasil rata-rata tertinggi pada pembebanan lampu 160 W dengan hasil seperti pada Gambar 12.

Pada grafik kurva berwarna hijau adalah motor 220W, nilai efisiensi tertinggi sebesar 83,11% pada kecepatan 250 rpm. Pada kurva berwarna biru merupakan grafik kurva motor 250W, nilai efisiensi tertinggi sebesar 82,65% pada kecepatan 350 rpm. Pada kurva berwarna jingga adalah motor 1000W, nilai efisiensi tertinggi sebesar 82,81% pada kecepatan 350 rpm. Pada grafik dari efisiensi yaitu nilai efisiensi akan mengalami kenaikan dan penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan putar motor BLDC.



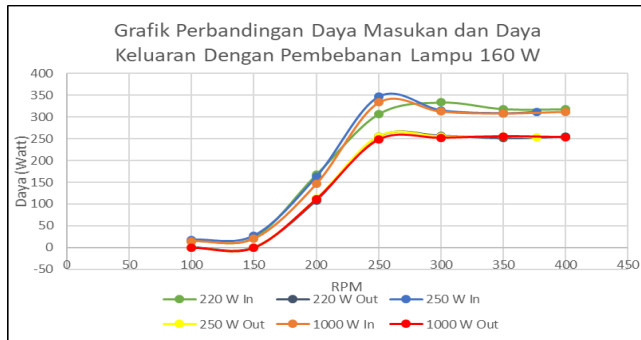
Gambar.12 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor BLDC Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt

D. Perbandingan Daya Input dan Daya Output Motor BLDC

Dari pengambilan data pada pengukuran daya input dan perhitungan daya output, dilakukan perbandingan daya input dan daya output dengan parameter kecepatan putar motor BLDC. Perbandingan dilakukan pada pembebanan tertinggi yaitu 160 Watt. Hasil dari perbandingan daya input dan daya output disajikan pada Gambar 13.

Dari hasil perbandingan nilai daya input dan daya output bernilai relatif stabil. Pada daya output setiap motor BLDC relatif memiliki nilai yang sama namun berbeda dengan daya

input yang memiliki nilai yang berbeda antara motor BLDC 1000 watt dengan motor BLDC 220 dan 250 watt. Pada pembebanan 130 watt daya input motor BLDC 250 watt memiliki grafik nilai yang paling tinggi, hal tersebut karena nilai arus pada motor BLDC 250 watt yang relatif besar.



Gambar. 13 Grafik Perbandingan Daya Input dan Daya Output Dengan Pembebanan Lampu 160 Watt

V. KESIMPULAN

Dari penelitian analisis perbandingan unjuk kerja motor *brushless* DC dengan menggunakan *dynamometer* generator, dapat disimpulkan bahwa nilai rpm akan berbanding lurus dengan arus dan pembebanan lampu, pada motor BLDC 250W saat rpm 300 pembebanan 90W memperoleh nilai arus sebesar 3,22 A dan pada pembebanan 160W nilai arus sebesar 6,66 A. Nilai torsi akan berbanding terbalik dengan rpm dan akan berbanding lurus dengan pembebanan lampu, pada motor BLDC 250W saat rpm 300 pembebanan 90W memperoleh nilai torsi sebesar 3,69 Nm dan pada pembebanan 160W nilai torsi sebesar 8,12 Nm. Nilai efisiensi optimal pada motor BLDC 220W saat pembebanan lampu 160W, kemudian pada motor BLDC 250W saat pembebanan lampu 90W, dan pada motor BLDC 1000W saat pembebanan lampu 130W.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Tim Mobil Listrik (TITEN) Universitas Jember yang telah memperbolehkan untuk melakukan penelitian ini dengan menggunakan barang-barang yang terdapat pada ruang sekretariat. Selanjutnya kepada kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Dharmawan, A. (2009). Pengendalian Motor *Brushless* DC Dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan ATMEGA16. *Univeritas Indonesia*, 1-45
- [2] Hanselmen, D. (2006). *Brushless Permanent Magnet Motor Design*. Lebanon, Ohio: Magna Physics Publishing.
- [3] Putra, I.H. (2019). "Karakteristik Unjuk Kerja Motor BLDC 500W Terhadap Jumlah Lilitan Dan Diameter Lilitan Stator". Jember: Universitas Jember.
- [4] Apresco, R.A.D (2017). "Perbandingan Unjuk Kerja Motor *Brushless Direct Current* Dengan *Brushed Direct Current* Pada Mobil Nogogeni Urban Konsep". Surabaya: ITS.
- [5] Luthfianto, A. (2017). "Perencanaan Ulang Sistem Transmisi Rantai Mobil Nogogeni Evo 3". Surabaya: ITS.
- [6] Dwinata, D. (2017). Analisis Kerja Rangkaian Rectifier Signal Amplifier Sebagai *Pembersih Siaran Televisi*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [7] Ismail, A. K. (2019). "Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* Pada Kendaraan Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Inference System". Jember: Universitas Jember.
- [8] Erwan Eko Prasetyo, Wahyuni Fajar Arum (2021). Analisis Perbandingan Kinerja *Brushless* Motor Menggunakan Metode Eksperimen. Yogyakarta :.
- [9] Nensy Is Suendri, Slamet Hani, Sigit Priyambodo (2018). Analisis Performa *Brushless* Motor DC Pada Mobil Listrik Molista. Yogyakarta : IST AKPRIND YOGYAKARTA.
- [10] P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhuff, 1995 *Analysis of Electric Machinery*, IEEE Press.
- [11] Mineral, K. E. (2014, December Friday). <http://ebtke.esdm.go.id/post/2014/12/05/733/sampai.2014.kontribusi.energi.baru.terbarukan.pada.listrik.nasional.21.persen>. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, p. 1.
- [12] Yunus Chandra Wibowo, Slamet Riyadi. (2018). Analisa Pembebanan Pada Motor *Brushless* DC (BLDC). *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*J.F., G. (2001). *Fisika Lingkungan*. Jakarta:Hipokrates.