



**RANCANG BANGUN MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT AXIAL*
FLUX STATOR GANDA**

SKRIPSI

Oleh

Violla

NIM 151910201067

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**RANCANG BANGUN MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT AXIAL*
FLUX STATOR GANDA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Violla

NIM 151910201067

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

MOTTO

“Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik, kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan.” (QS. Al-Qasas : 77)*

* Kementerian Agama RI

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Viola

NIM : 151910201067

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “**Rancang Bangun Motor *Brushless Direct Current Axial Flux Stator Ganda***” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Mei 2019

Yang menyatakan,

Viola

151910201067

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT AXIAL*
FLUX STATOR GANDA**

Oleh

Violla

NIM 151910201067

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Widyono Hadi, M. T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto, S. T., M. T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Motor *Brushless Direct Current Axial Flux* Stator Ganda” karya Violla telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 15 Mei 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,

Anggota I,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 197104022003121001

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826199701001

Anggota II,

Anggota III,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 197004041996011001

Widya Cahyadi, S.T., MT.
NIP 198511102014041001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. U. M.
NIP 1966121151995032001

RINGKASAN

Rancan Bangun Motor *Brushless Direct Current Axial Flux Stator Ganda*; Viola, 151910201067; 2019; 82 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Pada era modern kehidupan manusia tidak terlepas dari *energy* listrik. *Energy* listrik menjadi favorit masyarakat, karena ramah lingkungan. Masyarakat mulanya menggunakan motor bakar, perlahan beralih ke motor listrik dikarenakan biaya bahan bakar yang perlahan naik, serta tidak ramah lingkungan. Menurut data bphmigas, konsumsi bahan bakar minyak JBU (Jenis Bahan Bakar Umum) dari tahun ke tahun selalu meningkat. Tahun 2017 mencapai angka 55.400.604,901 angka ini lebih besar dari konsumsi di tahun 2016 yang mencapai angka 45.655.005,967 (Statistik BBM, 2018). Peningkatan konsumsi sebanding juga dengan kenaikan harga minyak mentah. Dari data tersebut, untuk kedepannya dibutuhkan motor yang tidak menggunakan bahan bakar yaitu motor listrik. Walaupun dalam proses penghasilan listrik juga memerlukan bahan bakar minyak, namun masih banyak proses penghasil tenaga listrik dari bahan yang bisa diperbaharui (*renewable*).

Perancangan motor *brushless direct current axial flux* ini memiliki stator ganda dengan jenis seri dan paralel serta stator tunggal sebagai pembanding. Tiap kumparan pada stator terdiri dari 75 lilitan kawat *email* dengan diameter kawat 0,5 mm. Pada bagian rotor digunakan magnet permanen jenis *neodymium* dengan dimensi 15 x 2 mm. Untuk mengetahui pengaruh jenis stator terhadap kinerja motor digunakan tegangan sumber sebesar 6 sampai 12 Volt.

Pengujian pertama untuk mengetahui kinerja tiap motor dengan variasi jenis stator. Hal tersebut meliputi, tegangan motor, arus motor, frekuensi dan kecepatan motor. Untuk daya dan torsi termasuk perhitungan. Setelah data tersebut terkumpul selanjutnya dibandingkan antar tiap jenis stator yang berbeda.

Dari hasil pengujian, jenis stator sangat mempengaruhi kinerja dari motor. Motor dengan resistansi stator paling rendah memiliki kecepatan putaran paling

tinggi. Hal ini disebabkan karena arus yang mengalir pada tiap belitan stator tinggi, sehingga putaran motor menjadi ringan. Namun, untuk motor dengan reistansi stator yang lebih besar memiliki torsi yang lebih besar. Hal tersebut disebabkan arus ada tiap belitan stator kecil, namun tegangannya cukup besar sehingga cukup untuk memutar motor.



SUMMARY

Design of Double Stator Axial Flux Brushless Direct Current Motor; Viola, 151910201067; 2019; 82 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Jember

In the modern era, human life is not separated from electrical energy. Electrical energy becomes society's favorite because of environmentally friendly. Societies use fuel motor at first, slowly switching to electric motor caused by the cost of fuel slowly rising, and not environmentally friendly as well. According to BPH Migas data, the consumption of JBU (General Fuel Type) fuel oil from year to year always increases. In 2017 it reached 55,400,604.901, this number is bigger than the consumption in 2016 that reached 45,655,005.967 (Fuel Statistics, 2018). Increased consumption is also proportional to the increased cost of crude oil. From those data, it is needed for the future a motor which is not using fuel that is an electric motor. Although the process of electricity production needs fuel oil, there are still many processes of electrical energy production from the material that is renewable.

The design of this axial flux brushless direct current motor has double stator with the type of series and parallel as well as single stator as the comparison. Each coil on the stator consists of more than 75 email wire coils with the wire diameter of 0.5 mm. On the rotor part, it is used the neodymium type of permanent magnet with the dimension of 15 x 2 mm. In order to know the effect of stator type on the motor performance, it was used the source voltage of 6 until 12 Volt.

The first test was to find out the performance of each motor with the variance of stator type. This covered motor voltage, motor current, frequency, and motor speed. For the power and torsion, it was included the calculation. After the data were collected, then compared with each type of different stators.

From the test result, the type of stator is highly affecting motor performance. Motor with the lowest resistance of stator has the highest rotation

speed. This is caused by the current flowing to each high stator coil so that the motor rotation becomes light. However, for the motor with higher resistance of stator has higher torsion. That is caused by the current in each stator that is low, but the voltage is high enough so that it is enough to rotate the motor.



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada era modern kehidupan manusia tidak terlepas dari *energy* listrik. *Energy* listrik menjadi favorit masyarakat, karena ramah lingkungan. Masyarakat mulanya menggunakan motor bakar, perlahan beralih ke motor listrik dikarenakan biaya bahan bakar yang perlahan naik, serta tidak ramah lingkungan. Menurut data bphmigas, konsumsi bahan bakar minyak JBU (Jenis Bahan Bakar Umum) dari tahun ke tahun selalu meningkat. Tahun 2017 mencapai angka 55.400.604,901 angka ini lebih besar dari konsumsi di tahun 2016 yang mencapai angka 45.655.005,967 (Statistik BBM, 2018). Peningkatan konsumsi sebanding juga dengan kenaikan harga minyak mentah. Dari data tersebut, untuk kedepannya dibutuhkan motor yang tidak menggunakan bahan bakar yaitu motor listrik. Walaupun dalam proses penghasilan listrik juga memerlukan bahan bakar minyak, namun masih banyak proses penghasil tenaga listrik dari bahan yang bisa diperbaharui (*renewable*).

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (Wikipedia, 2018). Jenis motor listrik yang banyak digunakan adalah motor DC dan motor induksi, karena mudah dalam pengendalian kecepatan yaitu hanya mengatur nilai tegangan dan arus medan saja. Namun, pada motor DC digunakan komutator mekanik (sikat) sehingga memiliki keandalan rendah dikarenakan adanya rugi-rugi sikat dan memerlukan pemeliharaan atau penggantian secara berkala.

Motor DC merupakan suatu perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan tegangan searah sebagai sumber tenaganya. Oleh sebab itu, manusia tidak dapat terlepas dengan alat yang bernama motor DC karena motor DC memiliki efisiensi yang tinggi dan torsi awal yang besar serta membantu kegiatan manusia dalam menggerakkan suatu sistem. Sedangkan motor induksi memiliki perawatan yang mudah dan kecepatan yang sulit diatur.

Mesin penggerak bertenaga elektrik yang populer adalah motor arus searah tanpa sikat (motor BLDC), karena memiliki kelebihan dibanding dengan jenis mesin penggerak bertenaga elektrik lainnya. Kelebihan motor BLDC adalah efisiensi lebih tinggi daripada motor induksi, dimensi lebih kecil daripada motor arus searah konvensional. Selain itu, dengan tidak adanya sikat, maka perawatan menjadi ringan, hampir tidak ada derau/*noise*, dan bisa dioperasikan pada lingkungan yang mudah terbakar. Kelebihan lain dibanding mesin induksi adalah tanggapannya lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar (Yulianta, Hadi, & Suharyanto, 2015)

Pada motor listrik DC konvensional sistem transmisi listriknya membutuhkan cincin komutator berupa sikat (*brushed*) terbuat dari arang (*carbon*). *Brushed* tersebut memerlukan penggantian berkala untuk umur pemakaian tertentu. Kekurangan lainnya pada jangkar motor DC *brushed* harus logam feromagnetik untuk mengatur fluks magnetnya. Hal tersebut menyebabkan terjadi *cogging torque* yang menghambat putaran motor, karena terjadi gaya tarik menarik antara jangkar (rotor) dan magnet yang bertindak sebagai stator. Demikian dengan motor DC *brushless radial* fluks, meskipun sudah beroperasi tanpa cincin komutator, pada motor DC *brushless radial* fluks masih terjadi hambatan *cogging* karena penggunaan *core armature ferromagnetic* untuk mengatur arah fluks magnetik dari lilitan. Serta penggunaan *core armature* menyebabkan motor listrik lebih berat (Panjaitan Sakti Wengi & Yuniarto, 2014).

Pada tugas akhir ini akan dirancang sebuah motor *brushless* DC *axial flux* stator ganda seperti penelitian sebelumnya milik Fitria Rizky tentang rancang bangun kutub magnet dengan *axial flux* untuk perbaikan kinerja motor *brushless direct current*. Motor tersebut menggunakan stator ganda 3 kutub dengan 6 buah magnet permanen sebagai rotornya. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa dengan pemasangan stator ganda dapat menambah torsi putaran (Nm) dari motor BLDC. Penelitian ini digunakan dua buah variasi motor yaitu 6 dan 8 buah kutub. Di tengah stator terdapat rotor yang terdapat 6 dan 8 buah magnet permanen. Rotor tersebut akan berputar dengan adanya sensor *hall effect*. Sensor *hall effect* pada alat ini bekerja ketika kutub utara sensor *hall effect* bertemu

dengan magnet yang berkutub utara maka kumparan akan bersifat positif sehingga menghasilkan tegangan yang berbentuk sinyal kotak. Ketika kutub utara sensor *hall effect* bertemu dengan magnet yang berkutub selatan maka kumparan akan bersifat negatif sehingga tidak menghasilkan tegangan.

1.2 Rumusan masalah

Adapun beberapa rumusan masalah yang dibuat dalam melakukan penelitian diantaranya yaitu :

1. Bagaimana perancangan motor *brushless direct current axial flux* dengan stator ganda?
2. Bagaimana pengaruh yang ditimbulkan dari perubahan desain stator tunggal dan stator ganda terhadap kecepatan dan torsi motor BLDC *axial flux*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan magnet *neodymium* berukuran 15 x 2 mm.
2. Menggunakan kawat *email* 0,5 mm sebanyak 75 lilitan pada stator.
3. Menggunakan stator ganda 8 kutub.
4. Pengujiannya hanya kecepatan dan frekuensi motor.
5. Menggunakan rotor berjari-jari 3,45 cm.
6. Menggunakan sensor *hall effect* sebagai *on off* motor.
7. Kumparan dipasang secara seri antara satu kumparan dengan kumparan yang lain.
8. Peletakan kutub magnet secara berseling antara kutub utara dan selatan magnet.

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian yang akan dilakukan ini memiliki beberapa tujuan sebagai pencapaian akhir diantaranya yaitu :

1. Mengetahui perancangan motor *brushless direct current axial flux* dengan stator ganda.
2. Mengetahui kecepatan dan torsi yang dihasilkan motor BLDC dengan desain stator yang berbeda.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari hasil penelitian tentang system pengisian baterai menggunakan solar cell diantaranya yaitu :

1. Mendukung pengembangan ilmu pengetahuan tentang motor *brushless direct current axial flux* stator ganda.
2. Motor BLDC *axial flux* stator ganda sebagai konsep perkembangan teknologi untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penelitian

Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. BAB 1. PENDAHULUAN
Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian.
- b. BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA
Berisi tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.
- c. BAB 3. METODE PENELITIAN
Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.
- d. BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN
Berisi hasil penelitian berupa data dan analisis hasil penelitian.
- e. BAB 5. PENUTUP
Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Motor Listrik

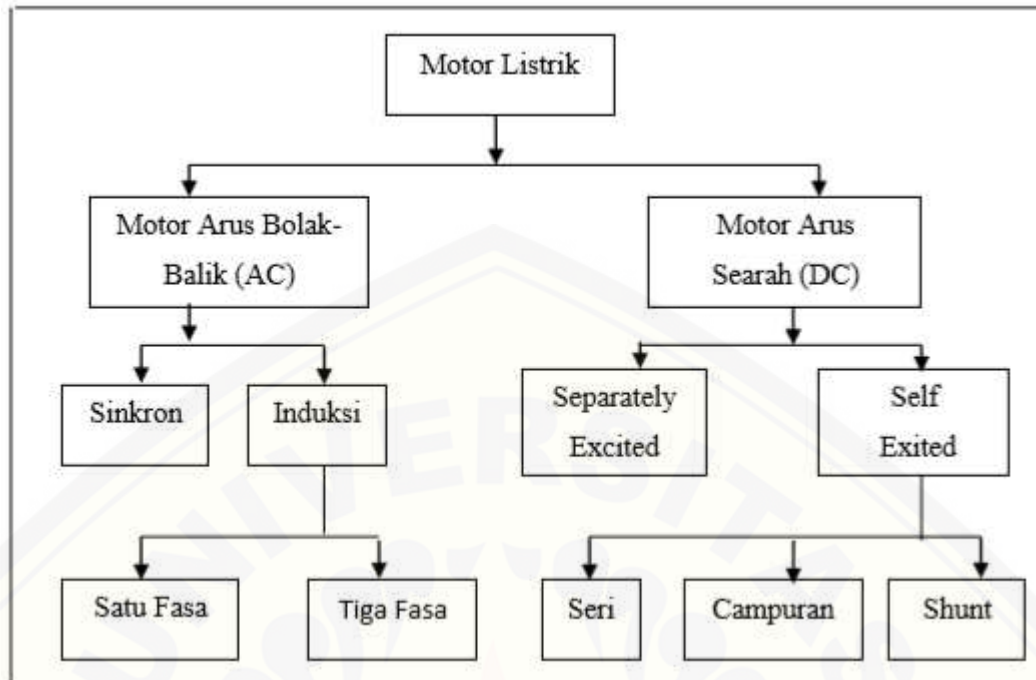
Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama yaitu:

- a. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
- b. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- c. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ *torque* untuk memutar kumparan.
- d. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

2.2 Jenis Motor Listrik

Bagian ini menjelaskan tentang dua jenis utama motor listrik: motor DC dan motor AC. Motor tersebut diklasifikasikan berdasarkan pasokan *input*, konstruksi, dan mekanisme operasi, dan dijelaskan lebih lanjut dalam bagan pada gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2.1 Klasifikasi Utama Jenis Motor Listrik (Sumber: www.habetec.com)

2.3 Pengertian Motor DC

Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:

- Kutub medan.** Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

- b. **Dinamo.** Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.
- c. **Commutator.** Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

2.4 Pengertian Motor *Brushless Direct Current*

Motor BLDC adalah jenis motor sinkron. Ini berarti medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor memutar di frekuensi yang sama. Motor BLDC tidak menghasilkan slip yang biasanya terdapat pada motor induksi. Motor BLDC memiliki beberapa jenis yaitu motor BLDC 1 fasa, motor BLDC 2 fasa dan motor BLDC 3 fasa. Sesuai dengan jenisnya, stator memiliki jumlah belitan yang sama. Dari semua ini, motor 3 fasa adalah yang paling populer dan banyak digunakan terutama di dunia industri (Yedamale, 2003).

Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor DC *brushless* bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun satu buah elektromagnet yang berada diantara *brushless* (sikat) yang terhubung. Rotor dibuat dari magnet permanen dan dapat desain dari dua sampai delapan kutub Magnet Utara (N) atau Selatan (S). Bahan material magnetis yang baik sangat diperlukan untuk mendapatkan kerapatan medan magnet yang baik pula. Biasanya magnet permanen dibuat menggunakan magnet ferrit. Tetapi saat ini dengan kemajuan teknologi, campuran logam sudah kurang populer untuk digunakan. Meskipun dinilai lebih murah, magnet ferrit mempunyai kekurangan yaitu

kerapatan fluks yang rendah sebagai bahan material yang diperlukan untuk membuat rotor (Onexperience, 2016).

Stator adalah bagian pada motor yang diam/statis dan berfungsi sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Pada motor DC *brushless* statornya terdiri dari 12 belitan (elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada motor DC *brushless* terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan pada rangkaian kontrol sedangkan pada motor DC konvensional stator-nya terdiri dari dua buah kutub magnet permanen (Onexperience, 2016).

Cara kerja pada motor *brushless direct current* yaitu magnet yang berada pada poros motor akan tertarik dan terdorong oleh gaya elektromagnetik yang diatur oleh *driver* pada motor *brushless direct current*. Jika magnet kutub utara bertemu dengan magnet kutub selatan maka akan terjadi gaya tarik menarik sehingga akan timbul momen inersia. Motor *brushless direct current* mempunyai beberapa keunggulan diantaranya yaitu torsi lebih besar sehingga tidak menyebabkan kebisingan, lebih tahan lama, dan tidak adanya belitan pada rotor. Selain mempunyai keunggulan, motor *brushless direct current* mempunyai kelemahan diantaranya yaitu biaya penyediaan yang tinggi dan membutuhkan pengendali kecepatan elektronik untuk menjalakkannya.

2.5 Daya yang Dihasilkan Pada Motor

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa kerja motor. (Fuad, 2012). Untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan motor *brushless direct current* dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini :

$$P = Va \times Ia \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

P = Daya yang dihasilkan motor (Watt)

Va = Tegangan motor (Volt)

Ia = Arus motor (A)

2.6 Kecepatan Motor

Rotor adalah bagian yang bergerak pada motor *brushless direct current* dan juga rotor merupakan tempat *pole* atau medan magnet. Semakin banyak *pole* atau medan magnet pada rotor maka semakin besar torsi motor sehingga kecepatan putar motor semakin kecil.

Jumlah *pole* yang dihasilkan rotor untuk menghasilkan fluks magnet yang besar dapat memutar sebuah roda, hal tersebut dipilih dari jenis magnet yang memiliki kerapatan yang besar. (Wahyudi, Habib dan Warindi, 2016). Untuk mengetahui dan mendapatkan kecepatan motor yang sedang berputar maka dapat menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

Keterangan :

$$n_r = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

n_r = Kecepatan motor (rpm)

f = Frekuensi (Volt)

p = Kutub

Secara umum *brushless* motor dibagi menjadi dua yaitu *sensored* dan *sensorless sensed*, *brushless* motor jenis ini dilengkapi dengan encoder atau *hall effect* sensor yang berfungsi sebagai detektor pada medan magnet, *hall effect* sensor akan menghasilkan sebuah tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. (Aditya R K, 2016)

2.7 Torsi Motor

Torsi (*torque*) merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu (Academia, 2019). Untuk mencari nilai torsi maka nilai yang harus diketahui terlebih dahulu yaitu nilai tegangan, arus dan kecepatan motor. Untuk mengetahui nilai torsi, dapat kita ketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R I_a^2}{n_r} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

p = Jumlah kutub

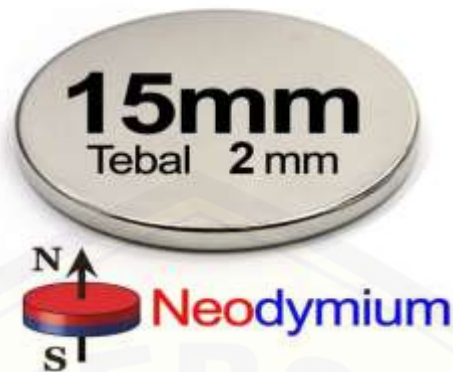
n_r = Kecepatan motor (RPM)

R = Hambatan (Ω)

I_a = Arus Motor (A)

2.8 Magnet Permanen (*Neodymium*)

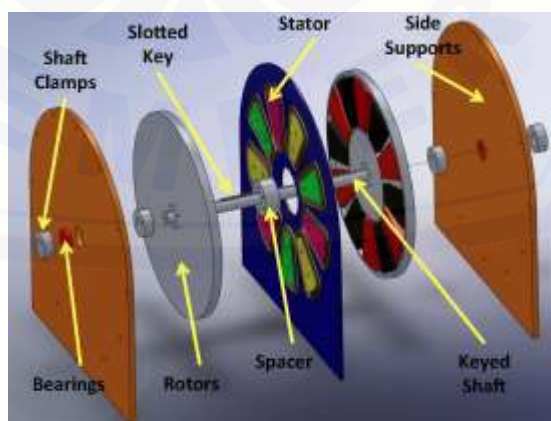
Magnet adalah suatu benda yang mempunyai suatu medan magnet. Benda magnetik biasanya terbuat dari besi, baja, kobalt, dan nikel. Berdasarkan kemampuan menyimpan sifat magnetiknya, bahan magnetik dapat digolongkan menjadi dua yaitu magnet permanen dan magnet sementara. Magnet permanen merupakan magnet yang tetap mempertahankan kekuatannya untuk jangka waktu yang lama. *Magnet* permanen digunakan dalam berbagai alat pengukur, antara lain *Voltmeter*, *galvanometer*, alat perekam *kardiograf*, kompas magnet, dan *magnetometer*. Magnet permanen juga digunakan dalam peralatan seperti pengeras suara (*loudspeaker*), pita kaset, dan disket. Magnet yang digunakan pada motor *brushless direct current* adalah magnet *neodymium* dengan tipe koin. Magnet *neodymium* tipe koin adalah magnet *rare earth* yang paling kuat di dunia. Magnet *neodymium* terbentuk dari besi dan boron (biasa disebut magnet NIB atau NdFeB). (Mustang T). Magnet *neodymium* memiliki beberapa kelebihan diantaranya yaitu memiliki kekuatan medan magnet, resistansi terhadap berkurangnya daya magnetik, kepadatan energi magnetik dan ketahanan terhadap suhu tinggi. (Wikipedia, 2017)



Gambar 2.2 Magnet *Neodymium* Koin (Sumber: cekhargahp.web.id)

2.9 Axial Flux

Axial flux disebut juga mesin tipe piringan dengan desain satu lapis atau dua lapis, dengan ada atau tanpa slot jangkar dimana rotor tersebut terletak di luar (eksternal) dan dalam (internal). Untuk mesin dengan daya rendah biasanya diberi slot kumparan dan permukaan magnet permanen. Saat daya keluaran dari *axial flux* meningkat, maka kontak permukaan antara rotor dengan poros akan semakin dekat. Hal ini mengakibatkan pentingnya dalam hal desain dan menyatukan rotor dengan poros agar tidak terjadi kerusakan. Untuk penggunaan mesin listrik akan mengakibatkan peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya. *Axial flux* banyak di aplikasikan pada motor DC tanpa sikat (motor BLDC). (Jati, 2013).



Gambar 2.3 Motor *Axial Flux* (Sumber: http://flyingv.ucsd.edu/nima/Aksial_Flux/Aksial_Flux.html)

2.10 Hall Effect Sensor

Hall effect sensor adalah sensor yang berfungsi untuk adanya mendeteksi medan magnet. *Hall effect* sensor memberikan *output* berupa tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. *Hall effect* sensor terbuat dari lapisan silikon dan dua buah elektroda. Kelebihan dari *hall effect* sensor yaitu harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan sakelar mekanik, lebih handal, dapat mendeteksi rentang medan magnet yang luas dan dapat mendeteksi kutub utara atau kutub selatan. Namun *hall effect* sensor juga memiliki kelemahan yaitu tingkat akurasi pengukuran yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sensor sejenisnya. Sensor *hall effect* memiliki 2 kutub yaitu utara dan selatan. Sensor *hall effect* pada alat ini bekerja ketika kutub utara sensor *hall effect* bertemu dengan magnet yang berkutub utara maka kumparan akan bersifat positif sehingga menghasilkan tegangan yang berbentuk sinyal kotak. Dan ketika kutub utara sensor *hall effect* bertemu dengan magnet yang berkutub selatan maka kumparan akan bersifat negatif sehingga tidak menghasilkan tegangan.



Gambar 2.4 Hall Effect Sensor (Sumber: <https://components101.com/a3144-hall-effect-sensor>)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dengan judul “Rancang Bangun Motor *Brushless Direct Current Axial Flux* Stator Ganda” ini dilaksanakan bertempat di Labortorium Konversi Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember, Jalan Slamet Riyadi No. 62 Patrang Jember 68111.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1.	Studi Literatur	■	■				
2.	Perancangan dan Pembuatan Alat		■	■	■		
3.	Pengujian Alat				■	■	
4.	Analisa Data					■	■
5.	Penulisan Laporan					■	■

Keterangan:

■ : Kegiatan dilaksanakan

3.2 Alat dan Bahan

Pada pembuatan motor BLDC ini terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan, diantaranya:

a. Alat

Alat yang digunakan pada pembuatan motor *brushless direct current axial flux* yaitu:

1. Tachometer
2. Osiloskop
3. Multimer
4. Sumber DC

5. *Driver Kit* Motor
 6. Obeng
 7. Penggulung Kawat *Email*
 8. Tang Kombinasi
 9. Tang Potong
 10. Solder
- b. Bahan

Bahan yang digunakan pada pembuatan motor *brushless direct current axial flux* yaitu:

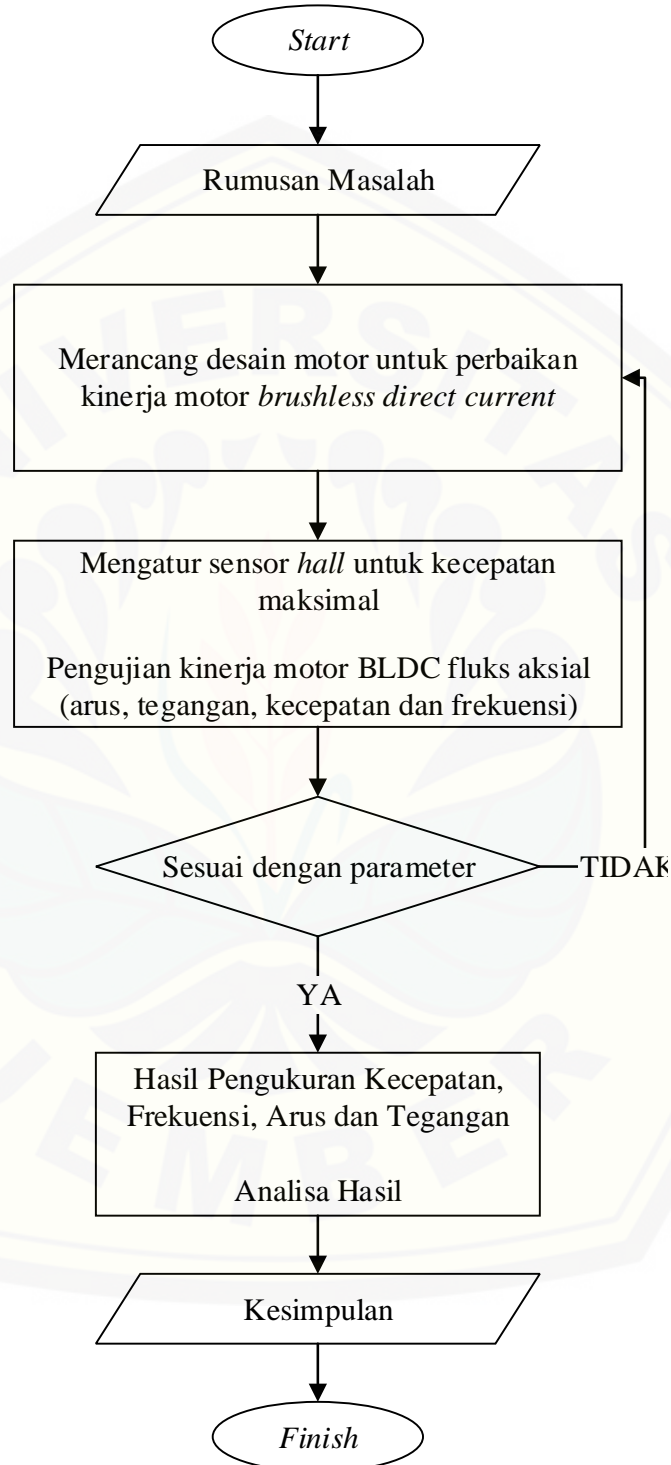
1. Magnet *Neodymium* tipe koin
2. Akrilik
3. Kawat *Email*
4. Baut
5. Mur
6. Sensor *Hall Effect* tipe 3144
7. *Bearing*
8. Spul jahit
9. Kabel Penghubung
10. Timah

3.3 Tahapan Penelitian

Serangkaian tahapan yang dilakukan dalam perancangan dan pengujian pada penelitian ini meliputi:

1. Menentukan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Menentukan spesifikasi motor *brushless direct current axial flux* stator ganda 8 kutub yang terdiri dari kawat *email* yang berdiameter 0,5 mm, lilitan kawat untuk setiap kumparan sebanyak 75 lilitan, dengan dimensi magnet 15 x 2 mm serta diameter rotor sebesar 6,9 cm.
3. Membuat desain motor *brushless direct current* stator ganda 8 kutub.
4. Pengambilan data dapat dilakukan saat pengujian motor.

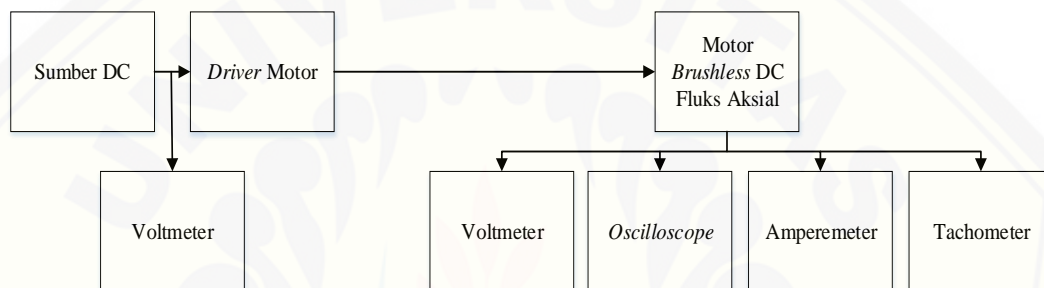
5. Menganalisa hasil dari pengujian dan selanjutnya dibahas dalam pembahasan sekaligus untuk membuat kesimpulan dari motor tersebut.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.4 Blok Diagram dan Perancangan Sistem

Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram seperti dibawah. Sumber yang digunakan adalah sumber DC yang berasal dari *power supply*. Pada motor *brushless direct current axial flux* menggunakan 8 magnet permanen yang diletakkan ditengah – tengah rotor. Untuk stator, digunakan stator ganda yaitu pada bagian atas dan bagian bawah. Pengujian pada motor *brushless direct current axial flux* ini untuk mengetahui kecepatan, torsi dan kerapatan medan magnet.



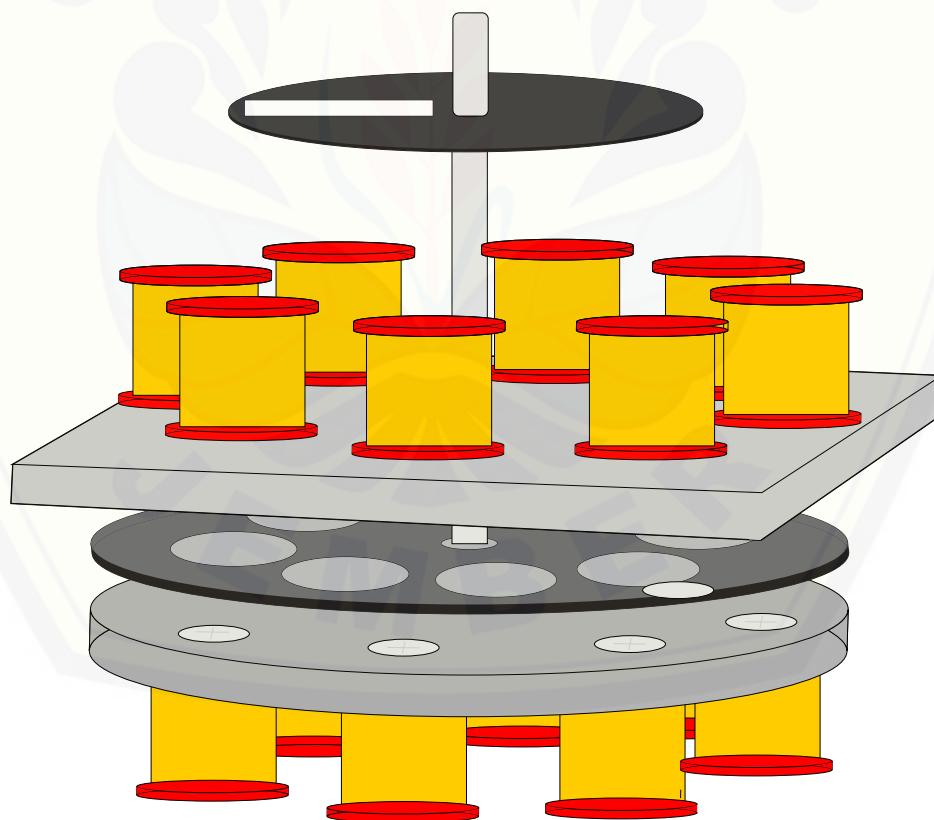
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

3.5 Desain Alat

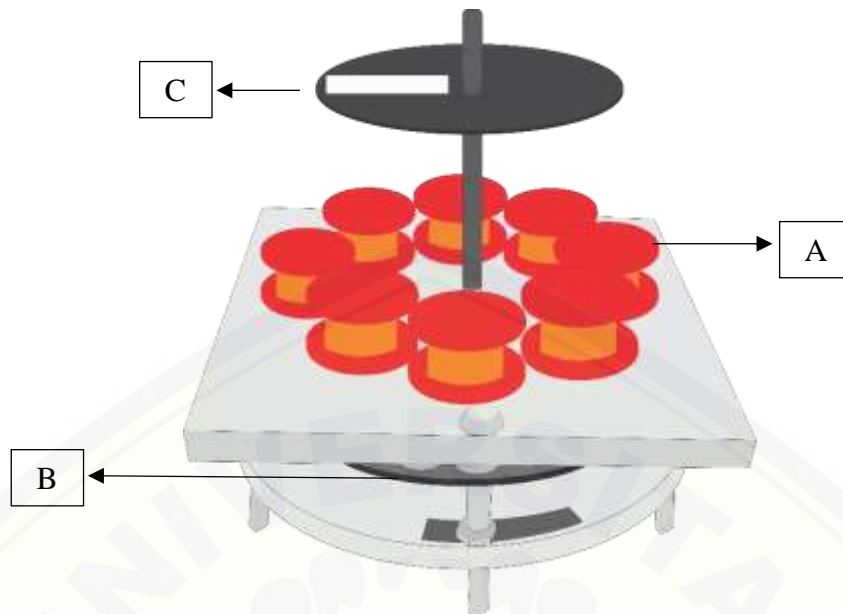
Perancangan motor *brushless direct current axial flux* ini memiliki stator ganda. Motor ini menggunakan tegangan sebesar 6 sampai 12 Volt. Dibawah ini adalah desain motor rotor *brushless direct current axial flux* tampak atas dan keseluruhan desain motor *brushless direct current axial flux* :



Gambar 3.3 Perancangan Rotor *Brushless direct current Axial flux* 8 Kutub Tampak Atas



Gambar 3.4 Rancang Keseluruhan Dari Stator dan Rotor 8 kutub



Gambar 3.5 Rancang Keseluruhan Dari Stator dan Rotor 8 kutub Tampak Depan

Keterangan :

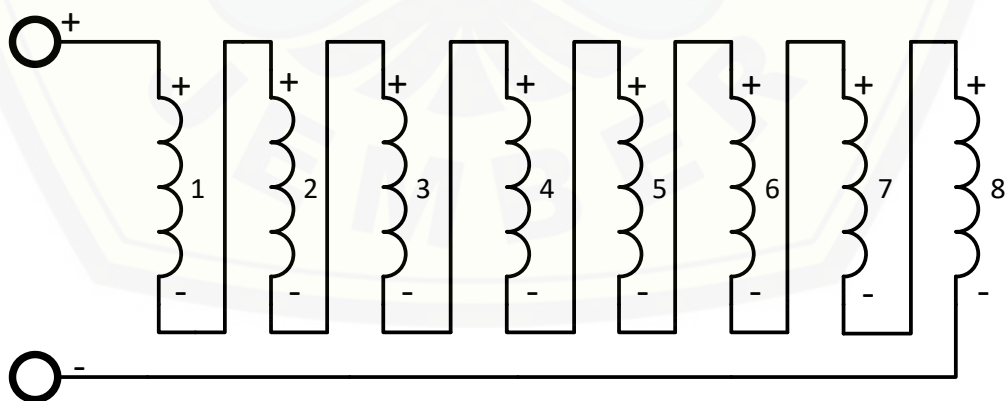
A : Stator

B : Rotor

C : *Encoder* untuk pengukuran rpm motor menggunakan tachometer

3.5.1 Gambar Rangkaian Hubungan pada Kumparan Stator

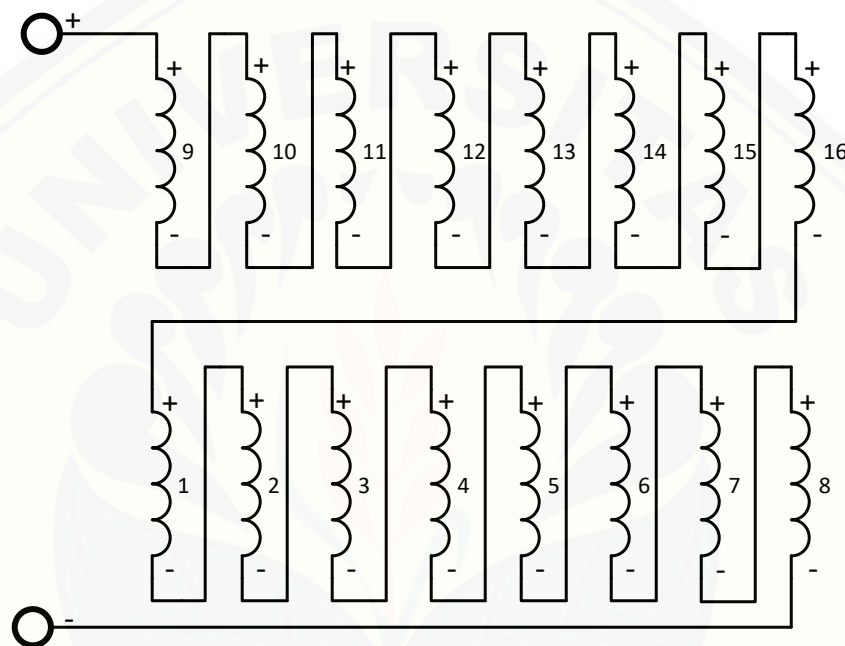
a. Gambar Rangkaian Hubungan Kumparan pada Stator Tunggal



Gambar 3.6 Rangkaian Kumparan pada Motor *Brushless Direct Current* 8 Kutub Stator Tunggal

Pada motor *brushless direct current* 8 kutub stator tunggal tiap kumparan stator 1 sampai 8 dihubungkan secara seri. Ujung dan pangkal dari sambungan tersebut yang menjadi terminal hubung antara motor *brushless direct current* 8 kutub stator tunggal ke *driver* motor.

b. Gambar Rangkaian Hubungan Kumparan pada Motor *Brushless Direct Current* 8 Kutub Stator Ganda Seri

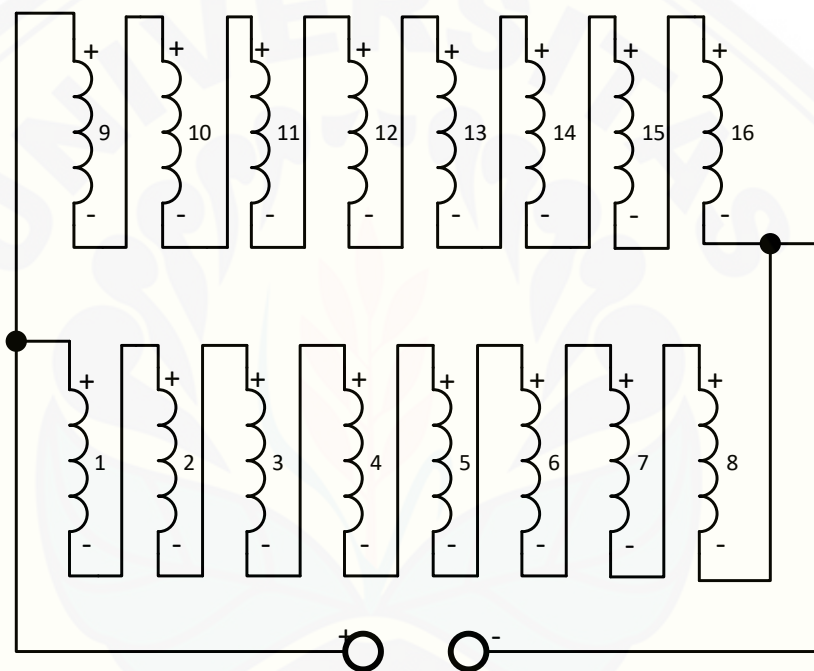


Gambar 3.7 Rangkaian Kumparan pada Motor *Brushless Direct Current* 8 Kutub Stator Tunggal

Pada motor *brushless direct current* 8 kutub stator ganda seri, antara stator atas dan stator bawah dihubungkan secara seri. Kumparan 1 sampai 8 merupakan stator bawah dan kumparan 9 sampai 16 merupakan stator atas. Stator atas dan bawah tiap kumparannya dihubungkan secara seri. Ujung pada stator atas dan stator bawah yang tidak tersambung dengan kumparan lain inilah yang menjadi terminal hubung ke *driver* motor *brushless direct current* 8 kutub stator ganda seri.

c. Gambar Rangkaian Hubungan Kumbaran pada Motor *Brushless Direct Current* 8 Kutub Stator Ganda Paralel

Pada motor *brushless direct current* 8 kutub stator ganda seri, antara stator atas dan stator bawah dihubungkan secara seri. Kumbaran 1 sampai 8 merupakan stator bawah dan kumbaran 9 sampai 16 merupakan stator atas. Stator atas dan bawah tiap kumbarannya dihubungkan secara paralel. Ujung dari kedua hubungan paralel dari stator atas dan stator bawah inilah yang menjadi terminal hubung ke *driver* motor *brushless direct current* 8 kutub stator ganda paralel.



Gambar 3.8 Rangkaian Kumbaran pada Motor *Brushless Direct Current* 8 Kutub Stator Paralel

3.6 Alur Perancangan Alat Kutub Magnet Dengan *Axial flux* untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current*

a. Pembuatan Rotor

Desain rotor pada alat ini yaitu berbentuk lingkaran berbahan akrilik dengan tebal 2 mm. Rotor ini memiliki jari-jari sebesar 3,45 cm dengan lubang sebanyak 8 buah untuk menempatkan magnet *neodymium*. Magnet tersebut diletakan pada lubang yang ada pada rotor dengan urutan kutub yang saling

bergantian, misal magnet pertama kutub utara menghadap ke atas magnet kedua kutub utara menghadap ke bawah (gambar 6) sampai ke peletakan magnet ke enam.

b. Pembuatan Lilitan

Pada alat ini menggunakan stator ganda dengan kumparan sebanyak 16, dimana lilitan yang dipakai yaitu 75. Kawat email yang digunakan untuk lilitan ini adalah kawat email yang berdiameter 0,5 mm. Kumparan atau stator diletakkan 8 di atas dan 8 di bawah untuk motor berkutub 8.

c. Pemasangan Rotor dan Stator

Setelah rotor dan stator selesai maka langkah selanjutnya adalah menyusun rotor dan stator tersebut. Pertama yaitu pemasangan stator bagian bawah yang berjumlah 8. Kedua, pemasangan *bearing* sebagai pusat putaran, *bearing* dipasang dengan menjepit pada akrilik dudukan stator bagian bawah, selanjutnya baut digunakan sebagai poros, bagian tengah rotor diletakkan di poros. Terakhir yaitu pemasangan stator bagian atas. Pemasangan stator bagian atas dan bawah yang berjumlah 8 dihubungkan secara seri antara kumparan yang satu dengan kumparan yang lain.

d. Pemasangan Sensor *Hall Effect*

Sensor *hall effect* diletakkan di atas magnet namun sebelum diletakkan diatas magnet, sensor harus digerakkan ke kanan dan ke kiri agar peletakan sensornya tepat. Peletakan sensor yang tepat akan mempengaruhi kecepatan rotor berputar.

3.7 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, dilakukan metode penelitian dengan menguji motor *brushless direct current axial flux* untuk tiap-tiap variasi jenis stator yang digunakan. Pengujian ini meliputi pengujian motor *brushless direct current* 8 kutub dengan stator tunggal, pengujian motor *brushless direct current* 8 kutub dengan stator ganda seri dan yang terakhir pengujian motor *brushless direct current* 8 kutub dengan stator ganda paralel. Untuk tiap pengujian, lilitan tiap kumparan tetap, bentuk serta desain rotor tetap. Pengujian ini dilakukan dengan mengubah tegangan sumber. Tegangan sumber yang diberikan yaitu 6 Volt, 7 Volt, 8 Volt, 9 Volt, 10

Volt, 11 Volt, dan 12 Volt. Langkah langkah dalam pengambilan data, akan dijelaskan pada sub-bab berikut.

3.7.1 Pengukuran Tahanan Pada Stator Motor

Pengukuran tahanan pada lilitan stator motor dilakukan ketika motor dalam keadaan belum diberi sumber tegangan. Cara untuk mengukur tahanan pada motor *brushless direct current axial flux* ini adalah 2 ujung kawat pada belitan stator dihubungkan ke multimeter dengan mode pengukuran hambatan, sehingga dapat dilihat hasil pada multimeter berupa nilai tahanan stator.

3.7.2 Memberikan Tegangan pada Motor

Pada motor BLDC *axial flux* penelitian ini, tegangan yang diberikan sebesar 6 Volt sampai 12 Volt. Tegangan pada motor didapatkan dari *power supply* yang dihubungkan ke *kit driver* motor, selanjutnya keluaran dari driver masuk ke kedua ujung kumparan stator (ujung positif dan negatif).

3.7.3 Pengukuran Kinerja Motor (Kecepatan, Frekuensi, Tegangan dan Arus)

Pengukuran kecepatan, frekuensi, tegangan dan arus dilakukan pada tiap variasi tegangan masukan (6 - 12 Volt). Kecepatan motor diukur menggunakan tachometer, dengan mengarahkan tachometer ke piringan hitam dengan garis putih yang terpasang pada poros motor. Frekuensi diukur dengan oskiloskop. Dengan menggunakan 1 chanel saja yang dihubungkan dengan terminal motor, maka frekuensi dari motor BLDC *axial flux* dapat dilihat pada layar oskiloskop. Tegangan dan arus diukur dengan multimeter, untuk arus dipasang secara seri terhadap salah satu terminal motor, sedangkan untuk tegangan dipasang secara paralel terhadap 2 terminal motor BLDC *axial flux*.

3.7.4 Perhitungan

a. Menghitung daya masukan dan daya keluaran motor BLDC *axial flux*

Untuk menghitung daya pada motor BLDC *axial flux* dapat digunakan persamaan 2.1. Daya masukan merupakan perkalian tegangan dan arus yang berasal

dari *power supply* sedangkan daya keluaran merupakan hasil perkalian tegangan dan arus yang berasal dari terminal motor BLDC *axial flux*.

b. Menghitung efisiensi motor BLDC *axial flux*

Efisiensi dari motor BLDC berkaitan dengan hasil perhitungan daya masukan dan daya keluaran. Efisiensi didapatkan dari persamaan seperti dibawah ini:

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

c. Menghitung kecepatan motor BLDC *axial flux*

Untuk mendapat kecepatan motor BLDC *axial flux* dari perhitungan digunakan hasil pengukuran frekuensi dan banyaknya jumlah kutub motor. Perhitungan kecepatan motor BLDC *axial flux* dapat diselesaikan dengan persamaan 2.2.

d. Menghitung torsi pada motor BLDC *axial flux*

Pada perancangan motor BLDC *axial flux*, untuk mendapatkann torsi dari motor BLDC harus mengetahui nilai gaya tarik atau tolak menolak antar magnet permanen dengan kumparan stator serta nilai jari-jari rotor motor BLDC *axial flux*. Perhitungan torsi dapat dilihat pada persamaan 2.3.

e. Membandingkan hasil pengukuran kecepatan motor

Pada poin “c” di atas telah dihitung kecepatan motor (RPM) sesuai teori. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan data pengujian kecepatan motor BLDC. Data pengujian yang dimaksud berupa data yang diperoleh dari tachometer yang digunakan sebagai alat ukur kecepatan putaran motor. Kedua data ini kemudian dibandingkan. Dari perbandingan antara pengukuran kecepatan motor bldc *axial flux* dan perhitungan kecepatan motor bldc *axial flux* akan menghasilkan *error* dari motor bldc *axial flux* pada penelitian ini. Perumusannya seperti di bawah ini:

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

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian berjudul “Rancang Bangun Motor *Brushless Direct Current Axial Flux* 8 Kutub Stator Ganda” ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Perancangan motor *brushless direct current* dengan jenis stator yang berbeda (stator tunggal, stator ganda seri dan stator ganda paralel) sangat mempengaruhi kinerja motor baik daya *output*, kecepatan motor maupun torsi motor *brushless direct current* 8 kutub. Perancangan motor *brushless direct current axial flux* stator ganda ini memiliki efisiensi mendekati 100%.
2. Jenis stator yang digunakan pada motor *brushless direct current axial flux* sangat mempengaruhi kecepatan dan torsi motor. Motor *brushless direct current axial flux* 8 kutub dengan jenis stator ganda paralel memiliki kecepatan putaran yang paling tinggi daripada motor *brushless direct current axial flux* 8 kutub dengan jenis stator tunggal ataupun ganda seri. Motor *brushless direct current axial flux* 8 kutub dengan jenis stator ganda seri memiliki torsi yang paing tinggi daripada motor *brushless direct current axial flux* 8 kutub dengan jenis stator tunggal ataupun ganda paralel. Jenis motor *brushless direct current axial flux* 8 kutub stator ganda terbukti memiliki kinerja (kecepatan putaran dan torsi) yang lebih baik daripada motor *brushless direct current axial flux* 8 kutub dengan stator tunggal.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk membandingkan antara torsi pengukuran dengan torsi perhitungan. Pengukuran fluks magnetik juga disertakan dalam penelitian selanjutnya sehingga dapat mengetahui induksi magnetik yang ada pada penelitian selanjutnya. Selain itu, diperlukan data perbandingan dari penelitian yang sudah ada untuk mengetahui hasil perbandingan kinerja kedua motor tersebut. Dari penelitian yang sudah dilakukan, diturunkan suatu persamaan dari persamaan yang sudah ada sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk penentuan hasil perhitungan kinerja motor *brushles direct current axial flux* dengan spesifikasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Academia. (2019). Diambil kembali dari Torsi torque pada motor:
https://www.academia.edu/22411954/Torsi_torque_Pada_Motor
- Anonim. “Konsumsi BBM Nasional per Tahun”. 16 Desember 2018.
<https://www.bphmigas.go.id/konsumsi-bbm-nasional>
- Anonim. “Jenis Motor Listrik”. 17 Februari 2019.
<https://www.habetec.com/news/52/Jenis-Motor-Listrik>
- Amalia, Rizky Fitria. 2018. “Rancang Bangun Kutub Magnet dengan Fluks aksial untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless direct current*”, Universitas Jember. Jember
- Dharmawan, Abe. 2009. “Pengendali Motor DC *Brushless* dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan ATMega 16”, Universitas Indonesia. Depok.
- Dwi Yulianta, Agung. Sasongko Pramono Hadi. Suharyanto. 2015. *Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Metode Logika Fuzzy*, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Lasprilla Hincapie, J. S., Sandoval, A. V., & Parra, J. Z. (t.thn.). *Aksial Flux Electric Motor*. Colombia.
- Mahmoudi, Amin. Solmaz Kahourzade. Nasrudin Abd. Rohim. Wooi Ping Hew. Mohammad Nasir Uddin. 2014. “*Design, Analysis, and Prototyping of a Novel-Structured Solid-Rotor-Ringed Line-Start Aksial-Fluks Permanent-Magnet Motor*. IEEE
- Masudi, Nanang. 2014. *Desain Controller Motor BLDC untuk Meningkatkan Performa (Daya Output) Sepeda Motor Listrik*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mismail, Budiono. 2006. *Dasar Teknik Elektro*. Malang: Bayumedia Publishing.
- Nur Yuniarto, Muhammad. 2014. “Perancangan dan Uji Performa Fluks aksial *Permanent Magnet Coreless Brushless direct current (DC) Motor*”, *Jurnal Teknologi Industri*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.
- Onexperience. (2016, September 4). Diambil kembali dari Konstruksi Motor BLDC: <https://onexperience.wordpress.com/2016/09/04/blog-post-title-2/>

Panjaitan Sakti Wengi, H. R., & Yuniarto, M. N. (2014). Perancangan dan uji Performa Aksial Flux Permanent Magnet Coreless Brushless Direct Curent (DC) Motor. *Jurnal Teknik POMITS*.

Pamungkas, Victor Trisula. 2018. ” Pengaruh Jarak Optimum Antara Magnet dengan Kutub pada Motor *Brushless direct current* Fluks aksial”, *Skripsi*. Universitas Jember. Jember.

Statistik BBM. (2018, 12 25). Diambil kembali dari Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi: <http://www.bphmigas.go.id/konsumsi-bbm-nasional>

Wikipedia. (2018, November 24). Dipetik Januari 7, 2019, dari Motor Listrik: https://id.wikipedia.org/wiki/Motor_listrik

Yedamale, P. 2003. *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals*. California

Yulianta, A. D., Hadi, S. P., & Suharyanto. (2015). Pengendalian Kecepatan Motor Brushless Dc (BLDC) Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal Teknologi Technoscientia*.

LAMPIRAN

1. Perhitungan

a. Motor *Brushless Direct Current Axial Flux 8 Kutub Stator Tunggal*

➤ Tegangan Sumber 6 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 6 \times 0,75 = 4,5 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 5,43 \times 0,8 = 4,34 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{4,34}{4,5} \times 100\% = 96,53 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 195}{8} = 2925 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{2925 - 2933}{2925} \right| \times 100\% = 0,274 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,8^2 \times 2,1}{2933} = 0,0069 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 7 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 7 \times 0,8 = 5,6 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 6,03 \times 0,9 = 5,43 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{5,43}{5,6} \times 100\% = 96,91 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 258}{8} = 3870 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{3870 - 3876}{3870} \right| \times 100\% = 0,155 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,9^2 \times 2,1}{3876} = 0,0066 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 8 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 8 \times 0,85 = 6,8 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 6,91 \times 0,96 = 6,63 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{6,63}{6,8} \times 100\% = 97,55 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 305}{8} = 4575 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{4575 - 4579}{4575} \right| \times 100\% = 0,087 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,96^2 \times 2,1}{4579} = 0,0063 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 9 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 9 \times 0,89 = 8,01 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 7,6 \times 1,03 = 7,83 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{7,83}{8,01} \times 100\% = 97,73 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 349}{8} = 5235 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{5235 - 5238}{5235} \right| \times 100\% = 0,274 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1,03^2 \times 2,1}{5238} = 0,0064 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 10 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 10 \times 0,94 = 9,4 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 8,93 \times 1,04 = 9,29 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{9,29}{9,4} \times 100\% = 98,80 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 381}{8} = 5715 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{5715 - 5726}{5715} \right| \times 100\% = 0,192 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1,04^2 \times 2,1}{5726} = 0,0060 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 11 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 11 \times 0,96 = 10,56 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 9,79 \times 1,07 = 10,48 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{10,48}{10,56} \times 100\% = 99,20 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 417}{8} = 6255 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{6255 - 6260}{6255} \right| \times 100\% = 0,080 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1,07^2 \times 2,1}{6260} = 0,0058 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 12 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 12 \times 1 = 12 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 10,84 \times 1,1 = 11,92 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{11,92}{12} \times 100\% = 99,37 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 456}{8} = 6840 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{6840 - 6848}{6840} \right| \times 100\% = 0,117 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1,1^2 \times 2,1}{6848} = 0,0056 \text{ Nm}$$

b. Motor *Brushless Direct Current Axial Flux* 8 Kutub Stator Ganda Seri

➤ Tegangan Sumber 6 Volt

- Daya *Input*

$$P_{in} = V \times I = 6 \times 0,69 = 4,14 \text{ Watt}$$

- Daya *Output*

$$P_{out} = V_a \times I_a = 5,47 \times 0,74 = 4,05 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{4,05}{4,14} \times 100\% = 97,77 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 98}{8} = 1470 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{1470 - 1478}{1470} \right| \times 100\% = 0,005 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,74^2 \times 4,2}{1478} = 0,0235 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 7 Volt

- Daya *Input*

$$P_{in} = V \times I = 7 \times 0,75 = 5,25 \text{ Watt}$$

- Daya *Output*

$$P_{out} = V_a \times I_a = 6,42 \times 0,8 = 5,14 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{5,14}{5,25} \times 100\% = 97,83 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 129}{8} = 1935 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{1935 - 1939}{1935} \right| \times 100\% = 0,002 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,8^2 \times 4,2}{1938} = 0,0208 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 8 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 8 \times 0,8 = 6,40 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 7,29 \times 0,86 = 6,27 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{6,27}{6,40} \times 100\% = 97,96 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 160}{8} = 2400 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{2400 - 2411}{2400} \right| \times 100\% = 0,005 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,86^2 \times 4,2}{2411} = 0,0194 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 9 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 9 \times 0,69 = 7,47 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 8,24 \times 0,89 = 7,33 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{7,33}{7,47} \times 100\% = 98,17 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 190}{8} = 2850 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{2850 - 2857}{2850} \right| \times 100\% = 0,002 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,89^2 \times 4,2}{2857} = 0,0175 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 10 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 10 \times 0,87 = 8,70 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 9,20 \times 0,93 = 8,56 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{8,56}{8,70} \times 100\% = 98,34 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 223}{8} = 3345 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{3345 - 3351}{3345} \right| \times 100\% = 0,002 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,93^2 \times 4,2}{3351} = 0,0163 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 11 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 11 \times 0,89 = 9,79 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 10,11 \times 0,96 = 9,71 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{9,71}{9,79} \times 100\% = 99,14 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 254}{8} = 3810 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{3810 - 3816}{3810} \right| \times 100\% = 0,002 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{0,96^2 \times 4,2}{2411} = 0,0152 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 12 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 12 \times 0,93 = 11,16 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 11,07 \times 1,00 = 11,07 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{11,07}{11,16} \times 100\% = 99,19 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 278}{8} = 4170 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{4170 - 4184}{4170} \right| \times 100\% = 0,003 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1^2 \times 4,2}{4184} = 0,0151 \text{ Nm}$$

c. Motor *Brushless Direct Current Axial Flux* 8 Kutub Stator Ganda Paralel

➤ Tegangan Sumber 6 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 6 \times 1,76 = 10,56 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 5,15 \times 1,86 = 9,58 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{9,58}{10,56} \times 100\% = 90,71 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 202}{8} = 3030 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{3030 - 3036}{3030} \right| \times 100\% = 0,002 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1,86^2 \times 1,3}{3036} = 0,0223 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 7 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 7 \times 1,85 = 12,95 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 6,04 \times 1,96 = 11,84 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{11,84}{12,95} \times 100\% = 91,42 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 254}{8} = 3810 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{3810 - 3820}{3810} \right| \times 100\% = 0,003 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1,96^2 \times 1,3}{3820} = 0,0197 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 8 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 8 \times 1,91 = 15,28 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 7,24 \times 2,04 = 14,77 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{14,77}{15,28} \times 100\% = 96,66 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 320}{8} = 4800 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{4800 - 4828}{4800} \right| \times 100\% = 0,006 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{1,91^2 \times 1,3}{4828} = 0,0169 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 9 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 9 \times 1,95 = 17,55 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 8,07 \times 2,12 = 17,11 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{17,11}{17,55} \times 100\% = 97,48 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 380}{8} = 5700 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{5700 - 5729}{5700} \right| \times 100\% = 0,005 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{2,12^2 \times 1,3}{5729} = 0,0154 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 10 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 10 \times 2,03 = 20,30 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 9,06 \times 2,20 = 19,93 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{19,93}{20,30} \times 100\% = 98,19 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 442}{8} = 6630 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{6630 - 6642}{6630} \right| \times 100\% = 0,002 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{2,20^2 \times 1,3}{6642} = 0,0133 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 11 Volt

- Daya Input

$$P_{in} = V \times I = 11 \times 2,08 = 22,88 \text{ Watt}$$

- Daya Output

$$P_{out} = V_a \times I_a = 10,03 \times 2,25 = 22,57 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{22,57}{22,88} \times 100\% = 98,63 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 494}{8} = 7410 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{7410 - 7414}{7410} \right| \times 100\% = 0,001 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{2,25^2 \times 1,3}{7414} = 0,0133 \text{ Nm}$$

➤ Tegangan Sumber 12 Volt

- Daya *Input*

$$P_{in} = V \times I = 12 \times 2,10 = 25,20 \text{ Watt}$$

- Daya *Output*

$$P_{out} = V_a \times I_a = 10,89 \times 2,31 = 25,16 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Motor

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{25,16}{25,20} \times 100\% = 99,83 \%$$

- Kecepatan Putaran Motor

$$n_r = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 544}{8} = 8160 \text{ RPM}$$

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\% = \left| \frac{8160 - 8166}{8160} \right| \times 100\% = 0,001 \%$$

- Torsi Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{I_a^2 \times R}{n_r} = \frac{120}{8} \times \frac{2,31^2 \times 1,3}{8166} = 0,0128 \text{ Nm}$$

2. Dokumentasi



Pengambilan Data Stator Ganda Paralel



Pengambilan Data Stator Tunggal



Pengukuran Putaran Motor



Proses Pengambilan Data