



**PENGARUH PANJANG PENAMPANG JANGKAR TERHADAP
KINERJA MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* FLUKS AKSIAL**

SKRIPSI

Oleh

Yoga Tri Cahya Putra

NIM 141910201035

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

2018



**PENGARUH PANJANG PENAMPANG JANGKAR TERHADAP
KINERJA MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT AXIAL FLUX***

SKRIPSI

**diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

Oleh:

Yoga Tri Cahya Putra

NIM 141910201035

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini merupakan sebuah awal, langkah kecil menuju lompatan besar guna menggapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Untuk itu saya ucapkan rasa syukur dan terima kasih sebesar-besarnya kepada...

Allah SWT, dengan segala Keagungan dan Keajaiban-Nya yang senantiasa mendengar do'a ku, menuntunku dari dari kegelapan, serta senantiasa menaungiku dengan rahmat dan hidayah-Nya dan junjunganku

Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi penerang di dunia dan suri tauladan bagi kita semua;

Ibunda Sunarni, Ayahanda Tuyan (Alm.), Kakak Yuli Astutik, Kakak Yuli Rastuningsih, dan Adek Eko Sulistiono, terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan, semangat, dan doa selama ini;

Dosen Pembimbing Tugas Akhir Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., MT. terimakasih atas ketekunan dan kesabarannya dalam membimbing saya;

Seluruh teman dan sahabat seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2014 (KETEK UJ 2014), kalian sebagai tempat berbagi suka dan duka yang tidak akan terlupakan.

Aku menjadikan kalian semua bagian dari diriku dan aku sangat menyayangi kalian semua;

Buat semua teman-teman Jurusan Elektro angkatan 2012, 2013, dan 2015. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan yang ikut dalam membantu dan berdoa;

Guru-guruku sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;

Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesukaran itu terdapat keringanan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharap kepada Tuhanmu”

(Terjemahan Surat Al-Insyirah ayat 6-8)*)

“Cobalah dulu baru cerita. Pahami dulu baru menjawab. Pikirlah dulu baru berkata. Dengarlah dulu baru berpendapat. Bekerjalah dulu baru berharap.”

(Socrates)

“Jika mendapat suatu masalah, maka hadapi(kerjakan). jangan hanya berfikir tanpa berani bertindak mendapatkan solusi dari masalah tersebut”

(Yoga Tri Cahya Putra)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yoga Tri Cahya Putra

NIM : 141910201035

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Panjang Penampang Jangkar Terhadap Kinerja Motor *Brushless Direct Current* Fluks Aksial” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jilpakan. Saya bertanggung jawab penuh 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Juli 2018

Yang menyatakan,

Yoga Tri Cahya Putra
NIM 141910201035

SKRIPSI

**PENGARUH PANJANG PENAMPANG JANGKAR TERHADAP
KINERJA MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* FLUKS AKSIAL**

Oleh

Yoga Tri Cahya Putra

NIM 141910201035

Pembimbing :

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

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Panjang Penampang Jangkar Terhadap Kinerja Motor *Brushless Direct Current* Fluks Aksial” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik universitas Jember pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 24 Juli 2018
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Ketua, Tim penguji, Anggota I,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 196104141989021001

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

Anggota II, Anggota III,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 196312011994021002

Sumardi, S.T., M.T.
NIP 196701131998021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

RINGKAKASAN

PENGARUH PANJANG PENAMPANG JANGKAR TERHADAP KINERJA MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* FLUKS AKSIAL.
Yoga Tri Cahya Putra, 141910201035; 2018; halaman; Jurusan Teknik Universitas Jember.

Perkembangan ilmu pengetahuan semakin meningkat dari masa ke masa, tak terkecuali dibidang elektromagnetis. Penelitian mengenai perbaikan dan peningkatan performa terus dilakukan. Motor listrik adalah topik yang menarik untuk dikembangkan. Motor listrik adalah sebuah alat elektromagnetis untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam kehidupan sehari – hari motor listrik digunakan untuk memutar pompa, kipas angin, menggerakkan kompresor, dan lain – lain. Motor listrik dibedakan menjadi 2 macam, yaitu motor listrik DC (*Direct Current*) dan motor listrik AC (*Alternating Current*). Motor listrik DC menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaga. Dengan berkembangnya teknologi, penemuan terbaru mengenai motor listrik semakin banyak. Penemuan tingkatan motor DC ialah motor BLDC (*Brushless Direct Current*). Motor BLDC merupakan motor DC yang dikembangkan tidak menggunakan sikat arang sebagai penerus tegangan dari bagian statis ke bagian berputar.

Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) menggunakan sensor elektrik untuk mendeteksi sudut rotor, serta mengontrol sakelar semikonduktor sehingga motor BLDC berputar. Penerapan motor tanpa sikat arang memungkinkan memiliki lebih sedikit gesekan dan bekerja lebih lama. Motor BLDC memiliki beberapa kelebihan dibandingkan motor DC ialah peningkatan torsi, peningkatan efisiensi, peningkatan keandalan, pengurangan kebisingan, masa pakai lebih lama.

Dalam penelitian ini menggunakan motor BLDC fluks aksial. Motor BLDC fluks aksial dilakukan perubahan penampang jangkar (angker) yang akan diharapkan dapat menambah performa motor BLDC fluks aksial. Pada penelitian ini dilakukan perubahan ialah menambah dan mengurangi panjang penampang

jangkar motor BLDC fluks aksial. Kemudian dilakukan percobaan untuk mendapatkan data sesuai parameter yang diinginkan.



SUMMARY

INFLUENCE ON PERFORMANCE OF ANCHOR CROSS SECTION LENGTH MOTOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT AXIAL FLUX. Yoga Tri Cahya Putra; 141910201035; 2018; pages; Departement of Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Development of science increased from time to time, the electromagnetic field was no exception. Research on the improvement and enhancement of performance continues to do. Electric motors are interesting topics to be developed. The electric motor is a device to convert electromagnetic energy into an electric mechanics. A day in the life – day of the electric motor is used to rotate the pump, fan, moving komperesor, and others – other. Electric motors are distinguished into two kinds, namely, electric motor DC (Direct Current) electric motors and AC (Alternating Current). DC electric motor using direct voltage as the power source. With the development of technology, recent discoveries concerning the electric motors more and more. The discovery of the DC motor is the motor level BLDC (Brushless Direct Current). BLDC motor is a DC motor that does not use charcoal brush developed as a successor to the voltage of the static part of the spin.

BLDC motor using electric sensors to detect the angle of the rotor, as well as controlling a semiconductor switch so that the motor rotates BLDC. Application of motor without brushes allows charcoal have less friction and work longer. BLDC motors have some advantage over the DC motor is the increase in torque, improved efficiency, increased reliability, reduced noise, longer life.

In this study using axial flux BLDC motor. Axial flux BLDC Motors carried out cross-sectional anchor changes (amature) that would be expected to increase the performance of the axial flux BLDC motor. This research was conducted on the change is add and subtract the length of the cross-section of the axial flux BLDC motor anchor. Then conducted an experiment to get the data according to the desired parameter.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul "PENGARUH PANJANG PENAMPANG JANGKAR TERHADAP KINERJA MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* FLUKS AKSIAL" dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan rizki-Nya serta memberi kelancaran dan kemudahan sehingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita ke peradaban manusia yang lebih baik.
3. Bapak/Ibu, Keluarga Besar yang telah memberikan dorongan semangat, motivasi, dukungan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini.
4. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
6. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 Teknik Elektro Universitas Jember.
7. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Sumardi, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah

memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini.

9. Bapak Samsul Bachri Masmachofari, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik (DPA) yang telah memberikan bimbingan dan pengarahannya.
10. Seluruh Dosen yang ada di Fakultas Teknik khususnya Teknik Elektro beserta karyawan.
11. Keluarga besar Teknik Elektro angkatan 2013, 2014, 2015, 2016 terima kasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
12. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan motivasi kalian dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, 24 Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Motor Listrik	4
2.2 Jenis – Jenis Motor Listrik	4
2.2.1 Motor AC.....	4
2.2.2 Motor DC.....	5
2.2.3 Motor BLDC.....	6
2.3 Electromotive Force	8
2.4 Solenoida	9
2.5 Gaya Gerak Listrik (GGL)	9
2.6 Kecepatan Motor	10

2.7	Torsi Motor	11
2.8	Kuat Medan Magnet	11
2.9	Daya Motor	12
2.10	Magnet Permanen	12
2.11	<i>Axial Flux</i>	13
2.12	<i>Sensor Hall Effect</i>	14
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		16
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.1.1	Tempat Penelitian	16
3.1.2	Waktu Penelitian	16
3.2	Alat dan Bahan	17
3.2.1	Alat	17
3.2.2	Bahan	17
3.3	Tahap Penelitian	17
3.4	Blok Diagram dan Perancangan Sistem	19
3.5	Desain Alat Motor BLDC Fluks Aksial	19
3.6	Alur Perancangan Motor BLDC Fluks Aksial	22
3.6.1	Perancangan Rotor	22
3.6.2	Perancangan Stator	22
3.6.3	Pemasangan Rotor dan Stator	22
3.6.4	Pemasangan Sensor <i>Hall Effect</i>	22
3.7	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial	22
3.7.1	Pengukuran Tahanan Stator Motor	22
3.7.2	Memberikan Tegangan Pada Motor	23
3.8	Perhitungan	23
3.8.1	Menghitung Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial	23
3.8.2	Menghitung Fluks Magnet Motor BLDC Fluks Aksial	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial	26
4.1.1	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 0,5 cm dan Lilitan 100	26

4.1.2.	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 0,5 cm dan Lilitan 200	29
4.1.3.	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 1 cm dan Lilitan 100	31
4.1.4.	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 1 cm dan Lilitan 200	34
4.1.5.	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 2 cm dan Lilitan 100	36
4.1.6.	Pengujian Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 2 cm dan Lilitan 200	39
4.2	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial	41
4.2.1.	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Berdasarkan Panjang Penampang	41
4.2.1.1.	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 0,5 cm	41
4.2.1.2.	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 1 cm	43
4.2.1.3.	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Panjang Penampang 2 cm	44
4.2.2.	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Berdasarkan Lilitan	46
4.2.2.1.	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Jumlah Lilitan 100	46
4.2.2.2.	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Jumlah Lilitan 200	47
4.3	Data Perhitungan	48
BAB 5	PENUTUP	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi Motor <i>Brushed</i>	6
Gambar 2.2 Konstruksi Motor <i>Brushless</i>	7
Gambar 2.3 Medan Magnet Solenoida.....	9
Gambar 2.4 Magnet <i>Neodymium</i> Koin	13
Gambar 2.5 <i>Axial Flux Permanent Magnet</i>	14
Gambar 2.6 <i>Hall Effect</i> Sensor	15
Gambar 3.1 Tahap Penelitian.....	18
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem	19
Gambar 3.3 Perancangan Motor BLDC Fluks Aksial Tampak Atas.....	20
Gambar 3.4 Perancangan Motor BLDC Fluks Aksial Tampak Samping.....	20
Gambar 3.5 Perancangan Rotor Motor BLDC Fluks Aksial	20
Gambar 3.6 Perancangan Stator Motor BLDC Fluks Aksial.....	21
Gambar 3.7 Motor BLDC Fluks Aksial.....	21
Gambar 4.1 Motor BLDC fluks aksial panjang penampang 0,5 cm.....	25
Gambar 4.2 Motor BLDC fluks aksial panjang penampang 1 cm.....	25
Gambar 4.3 Motor BLDC fluks aksial panjang penampang 2 cm.....	26
Gambar 4.4 Grafik Arus Terhadap Frekuensi dan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Penampang 0,5 cm dan Lilitan 100	27
Gambar 4.5 Grafik Arus Terhadap Frekuensi dan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Penampang 0,5 cm dan Lilitan 200	29
Gambar 4.6 Grafik Arus Terhadap Frekuensi dan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Penampang 1 cm dan Lilitan 100	32
Gambar 4.7 Grafik Arus Terhadap Frekuensi dan Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial Penampang 1 cm dan Lilitan 200	34

Gambar 4.8 Grafik Arus Terhadap Frekuensi dan Kecepatan Motor BLDC Fluks
Aksial Penampang 2 cm dan Lilitan 100.....37

Gambar 4.9 Grafik Arus Terhadap Frekuensi dan Kecepatan Motor BLDC Fluks
Aksial Penampang 2 cm dan Lilitan 20039



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Tugas Akhir	16
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Panjang Penampang 0,5 cm dan lilitan 100.....	27
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Panjang Penampang 0,5 cm dan lilitan 200.....	29
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Panjang Penampang 1 cm dan lilitan 100.....	31
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Panjang Penampang 1 cm dan lilitan 200.....	34
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Panjang Penampang 2 cm dan lilitan 100.....	36
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Panjang Penampang 2 cm dan lilitan 200.....	39
Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Kecepatan Panjang Penampang 0,5 cm.....	41
Tabel 4.8 Hasil Perbandingan kecepatan Panjang Penampang 1 cm.....	43
Tabel 4.9 Hasil Perbandingan Kecepatan Panjang Penampang 2 cm.....	44
Tabel 4.10 Hasil Perbandingan Kecepatan Jumlah Lilitan 100	46
Tabel 4.11 Hasil Perbandingan Kecepatan Jumlah Lilitan 200	47
Tabel 4.12 Hasil Penelitian Kecepatan Motor BLDC Fluks Aksial	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan semakin meningkat dari masa ke masa, tak terkecuali dibidang elektromagnetis. Penelitian mengenai perbaikan dan peningkatan performa terus dilakukan. Motor listrik adalah topik yang menarik untuk dikembangkan. Motor listrik adalah sebuah alat elektromagnetis untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam kehidupan sehari – hari motor listrik digunakan untuk memutar pompa, kipas angin, menggerakkan kompresor, dan lain – lain.

Motor listrik dibedakan menjadi 2 macam, yaitu motor listrik DC (*Direct Current*) dan motor listrik AC (*Alternating Current*). Motor listrik DC menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaga. Dengan berkembangnya teknologi, penemuan terbaru mengenai motor listrik semakin banyak. Penemuan tingkatan motor DC ialah motor BLDC (*Brushless Direct Current*). Motor BLDC merupakan motor DC yang dikembangkan tidak menggunakan sikat arang sebagai penerus tegangan dari bagian statis ke bagian berputar.

Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) menggunakan sensor elektrik untuk mendeteksi sudut rotor, serta mengontrol sakelar semikonduktor sehingga motor BLDC berputar. Penerapan motor tanpa sikat arang memungkinkan memiliki lebih sedikit gesekan dan bekerja lebih lama. Motor BLDC memiliki beberapa kelebihan dibandingkan motor DC ialah peningkatan torsi, peningkatan efisiensi, peningkatan keandalan, pengurangan kebisingan, masa pakai lebih lama.

Dalam penelitian ini menggunakan motor BLDC fluks aksial. Motor BLDC fluks aksial memiliki struktur hampir sama dengan motor BLDC fluks radial. Perbedaan antara fluks aksial dan fluks radial ialah arah fluks pada motor BLDC fluks aksial yang cenderung terpusat secara aksial dan membuat fluks tidak banyak terbuang.

Pada penelitian ini dilakukan perubahan penampang jangkar (angker) motor BLDC fluks aksial yang akan diharapkan dapat menambah performa dari motor BLDC fluks aksial. Perubahan yang dilakukan ialah menambah dan mengurangi panjang penampang jangkar (angker) motor BLDC fluks aksial. Sebelum melakukan perubahan panjang penampang, langkah yang harus dilakukan pengambilan data performa motor BLDC fluks aksial. Kemudian dilanjutkan mengubah penampang jangkar (angker) motor BLDC fluks aksial untuk didapatkan data sesuai dengan parameter yang diinginkan..

1.2 Rumusan Masalah

Dari penelitian ini terdapat beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya :

- a. Bagaimana performa parameter motor BLDC fluks aksial setelah mengubah penampang lilitan jangkar (angker)?
- b. Bagaimana performa parameter motor BLDC fluks aksial setelah menambah jumlah lilitan?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah diatas, maka batasan masalah pada penelitian ini diantaranya :

- a. Menggunakan magnet *neodymuim* berukuran 10 x 2 mm.
- b. Menggunakan kawat *email* sebanyak 100 lilitan, dan 200 lilitan.
- c. Menggunakan kawat *email* diameter 0,3 mm.
- d. Menggunakan rotor berdiameter 5 cm.
- e. Menggunakan stator ganda yaitu atas dan bawah.
- f. Menggunakan tegangan masukkan sebesar 6 volt sampai 15 volt
- g. Tidak membahas mengenai driver kontrol motor BLDC
- h. Hanya membahas parameter kecepatan motor BLDC fluks aksial.
- i. Tidak membahas parameter efisiensi, torsi, dan suhu motor BLDC fluks aksial.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk dapat mengetahui performa perancangan motor BLDC fluks aksial ketika dilakukan perubahan penampang lilitan jangkar (angker).
- b. Untuk dapat mengetahui performa perancangan motor BLDC fluks aksial ketika dilakukan penambahan jumlah lilitan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat yaitu :

- a. Mendukung pengembangan ilmu pengetahuan dalam lingkup motor BLDC, khususnya motor BLDC fluks aksial.
- b. Mengetahui perbandingan yang terjadi pada motor BLDC fluks aksial pada bagian perubahan penampang lilitan jangkar (angker).
- c. Mengetahui perbandingan yang terjadi pada motor BLDC fluks aksial pada bagian penambahan jumlah lilitan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Motor Listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik digunakan untuk memutar *impeller* pompa, fan atau *blower*, kompresor, dan lain-lain. Motor listrik juga digunakan untuk kebutuhan rumah (*mixer*, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadang kala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri. Mekanisme kerja motor secara umum ialah arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya, 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, pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan, 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. Sebagaimana telah diketahui bahwasanya kutub – kutub dari magnet yang senama akan terjadi tolak – menolak, dan sebaliknya jika kutub – kutub tidak senama akan terjadi saling tarik – menarik. Maka didapat gerakan jika menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada kedudukan tetap. (Tri Sutrisno, Himawan., Borian.Pinto.,2012).

2.2 Jenis-jenis Motor Listrik

Motor listrik memiliki beraneka ragam jenis atau tipenya. Pada dasarnya motor listrik dapat dibedakan dari tegangan sumber yang digunakan. Dibawah ini merupakan beberapa jenis motor listrik yaitu :

2.2.1 Motor AC

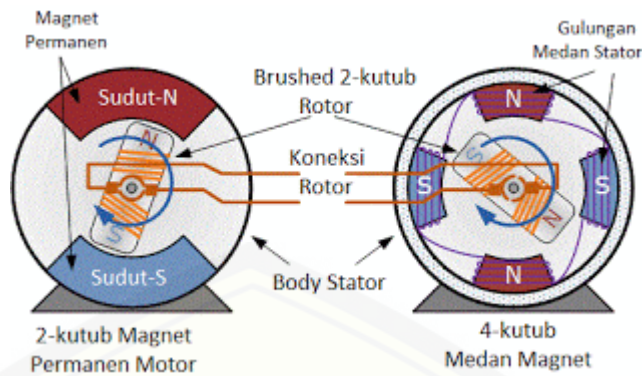
Motor AC merupakan jenis motor listrik yang bekerja menggunakan tegangan AC (*Alternating Current*). Motor AC menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang tertentu. Motor AC memiliki

dua buah bagian utama yaitu “stator” dan “rotor”. Stator merupakan komponen motor AC yang statis atau diam. Rotor merupakan komponen motor AC yang berputar. Motor AC ini sendiri memiliki dua jenis motor yaitu motor AC sinkron (Motor Sinkron) dan motor AC induksi (Motor Induksi). Motor AC sinkron adalah motor yang bekerja pada kecepatan konstan pada sistem frekuensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki *torque* awal yang rendah. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistem, sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik. Sedangkan motor AC induksi merupakan motor paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Hal dikarenakan rancangan motor induksi yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC. (Suprianto, 2015)

2.2.2 Motor DC

Motor DC merupakan jenis motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk dikonversi menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur tegangan dinamo dan arus medan. Motor DC memiliki beberapa jenis diantaranya yaitu:

1. Motor DC sumber daya terpisah/*separately excited*, jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/ *separately excited*.
2. Motor DC sumber daya sendiri/*Self Excited*, pada jenis motor DC sumber daya sendiri dibagi menjadi 3 tipe yaitu motor DC tipe shunt, motor DC tipe seri dan motor DC tipe kompon/gabungan. (NN, 2012)



(Taspenku,2015)

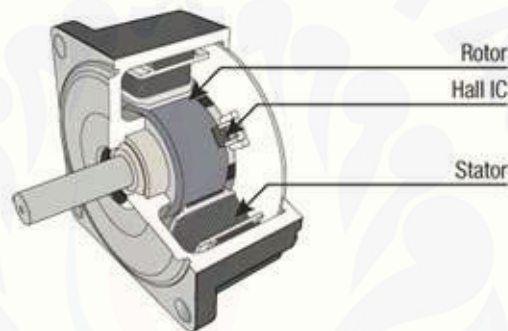
2.2.3 Motor *Brushless* DC

Motor BLDC adalah temuan terbaru mengenai motor DC. Perbedaan pada motor BLDC terletak pada penggunaan sikat arang. Pada motor BLDC tidak memerlukan sikat arang untuk motor berputar. Sebagai ganti sikat arang pada motor BLDC menggunakan sensor hall. Sehingga memerlukan sinkronisasi antara magnet dengan sensor *hall*. Medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor memutar di frekuensi yang sama. Salah satu kelebihan motor ini ialah tidak mengalami "*Slip*" yang biasanya terjadi pada motor induksi. Motor BLDC hadir dalam fase tunggal, 2 fase dan konfigurasi 3 fase. Sesuai dengan jenisnya, stator memiliki jumlah lilitan yang sama. Dari semua ini, motor 3 fase adalah yang paling populer dan banyak digunakan. Motor BLDC banyak digunakan di industri maupun rumahan seperti *mixer*, bor listrik, kipas angin. (Yedamale P, 2003)

Stator merupakan bagian pada motor yang tidak bergerak. Stator memiliki fungsi sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik sehingga motor dapat berputar. Bagian ini dapat berupa magnet permanen atau elektromagnetis yang dikenal sebagai kumparan medan. Pada motor *brushless* DC statornya terdiri dari 12 belitan (elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada motor *brushless* dc terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan dengan rangkaian kontrol. (Gerry D, 2013)

Rotor merupakan bagian pada motor yang bergerak. Rotor berputar dengan adanya gaya elektromagnetik dari stator. Pada motor *brushless* DC

memiliki rotor yang berbeda dengan motor DC. Perbedaannya terletak dari secara umum rotor pada motor *brushless* DC ialah magnet permanen. Sedangkan, pada motor DC menggunakan rotor dari kumparan yang dialiri listrik. Rotor pada motor *brushless* DC dibuat dari magnet tetap dan didesain dari dua sampai delapan magnet utara (N) atau selatan (S). Biasanya magnet ferrit yang dipakai untuk magnet tetap (Gerry D, 2013). Fluks magnetik yang dihasilkan oleh arus pada stator dapat mempengaruhi kerapatan fluks antara stator dengan posisi rotor, yang menyebabkan perubahan induktansi karena saturasi stator. (Nekoubin A, 2011)



Gambar 2.2. Konstruksi Motor *Brushless*
(Eko Prabowo. Irwan, 2016)

Cara kerja motor *brushless* DC ialah rotor akan berputar jika magnet yang berada atau sebagai rotor dapat energi elektromagnetik dari stator. Kinerja magnet ini akan menarik atau mendorong rotor sehingga rotor dapat berputar. Sumber tegangan diatur oleh *driver* yang didesain khusus untuk motor *brushless* Dc. Jika magnet kutub utara bertemu dengan magnet kutub selatan maka akan terjadi gaya tarik menarik sehingga akan timbul momen inersia. Untuk proses sinkronisasi, motor *brushless* DC menggunakan sensor *hall* dan encoder. Sehingga berfungsi untuk menentukan kutub utara ataupun kutub selatan. Motor *brushless direct current* mempunyai beberapa keunggulan diantaranya yaitu lebih tahan lama karena tidak memerlukan sikat arang, tidak menyebabkan kebisingan, torsi lebih besar, kecepatan tinggi. Selain mempunyai keunggulan, motor *brushless direct*

current mempunyai kelemahan diantaranya yaitu biaya produksi yang lebih tinggi dan membutuhkan pengendali kecepatan elektronik untuk menjalankannya.

2.3 *Electromotive Force*

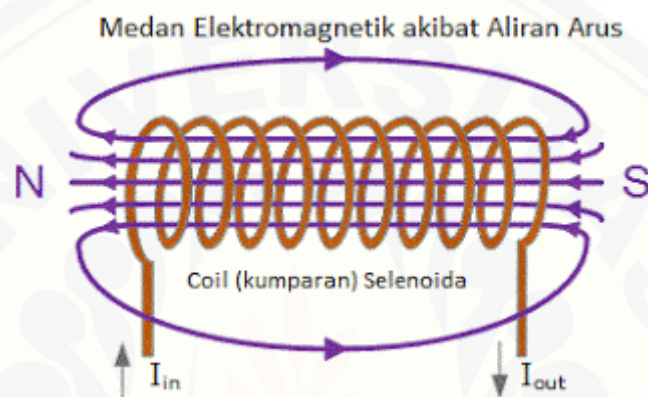
Electromotive force (EMF) atau dalam istilah bahasa Indonesia disebut gaya – gaya listrik. *Electromotive force* merupakan tegangan yang dikembangkan oleh sumber energi listrik apapun seperti baterai. Hal ini didefinisikan sebagai potensi listrik sebagai sumber energi pada sirkuit. *Electromotive Force* (EMF) terbentuk karena adanya perpotongan medan listrik pada motor atau generator. Dalam induksi elektromagnetik, EMF didefinisikan sebagai pekerjaan elektromagnetik pada sekitar konduktor yang akan dilakukan pada muatan listrik yang mengalir *loop* tersebut. Saat muatan listrik mengalir di sekitar *loop*, maka energi awal akan diubah menjadi energi panas karena adanya resistansi konduktor. (Wikipedia, 2017)

Electromotive force (EMF) induksi terjadi pada motor listrik, generator serta rangkaian listrik dengan arah berlawanan terhadap gaya. *Electromotive force* (EMF) terjadi berdasarkan dari kekuatan garis fluks magnet, jumlah lilitan konduktor, sudut perpotongan *fluks* magnet dengan konduktor dan kecepatan konduktor memotong garis *fluks* magnet. (NN, 2017)

Setelah motor BLDC selesai dirancang, maka jumlah lilitan pada stator dan medan magnet yang dihasilkan memiliki nilai konstan. Sehingga, faktor yang mempengaruhi besaran dari EMF adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor. Perubahan besaran EMF dapat mempengaruhi torsi motor BLDC. Apabila kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada belitan stator, maka arus yang mengalir pada stator akan menurun. Hal ini dapat mempengaruhi torsi pada motor semakin menurun. (Gerry D, 2013)

2.4 Solenoida

Solenoida merupakan sebuah kumparan kawat yang terdiri dari beberapa lilitan (loop). Saat arus listrik mengalir solenoida, solenoida tersebut akan memiliki sifat medan magnet. Posisi dari kutub – kutub medan magnet pada solenoida dipengaruhi oleh arah arus di tiap lilitan tersebut. Karena garis – garis medan magnet akan meninggalkan kutub utara magnet, maka kutub utara solenoida.



Gambar 2.3 Medan Magnet Pada Solenoida

(Taspenku,2015)

Setiap kumparan menghasilkan medan magnet dan medan total di dalam solenoida akan merupakan jumlah medan – medan yang disebabkan oleh setiap lilitan arus. Jika kumparan – kumparan solenoida berjarak sangat dekat, medan di dalam pada dasarnya akan parallel dengan sumbu kecuali di bagian ujung – ujungnya.

2.5 Gaya Gerak Listrik (GGL)

Gaya gerak listrik (GGL) merupakan beda potensial yang terjadi pada ujung-ujung kumparan dengan adanya pengaruh induksi elektromagnetik. Induksi elektromagnetik merupakan dasar dari prinsip kerja dinamo atau generator dan peralatan listrik lainnya (Fisika Zone, 2014). Untuk mengetahui gaya gerak listriknya, dapat kita ketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ea = V - I.R \quad \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

$$Ea = \text{Gaya gerak listrik (GGL) induksi (Volt)}$$

V = Tegangan (*Volt*)

I = Arus (*A*)

R = Resistansi (Ω)

2.6 Kecepatan Motor

Stator dan rotor merupakan bagian penting pada motor listrik. Stator ialah bagian motor yang diam. Sedangkan, rotor ialah bagian motor yang berputar. Rotor merupakan tempat medan magnet yang dapat menentukan kecepatan maupun torsi pada motor. Perputaran terjadi akibat gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh stator. Semakin tinggi nilai kecepatan maka semakin kecil nilai torsi. Kecepatan dan torsi memiliki nilai yang berbanding terbalik.

Jumlah kutub (*pole*) pada rotor mempengaruhi *fluks* magnet yang dapat memutar sebuah roda. Hal ini dilakukan dengan cara pemilihan jenis magnet yang memiliki kerapatan yang besar (Wahyudi, Habib dan Warindi, 2016). Untuk mengetahui kecepatan motor yang sedang berputar maka dapat menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$N_s = \frac{120}{p} \times \frac{2\pi I_a f N \phi}{\phi} \dots\dots\dots (1)$$

$$E_a = 2 \cdot \pi \cdot I_a \cdot f \cdot N \cdot \phi \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

N_s = Kecepatan motor (*Rpm*)

p = Jumlah kutub

f = Frekuensi

E_a = Gerak – Gerak Listrik (*V*)

π = Konstanta

I_a = Arus Jangkar (*A*)

N = Jumlah Lilitan

2.7 Torsi Motor

Torsi (*torque*) merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu (NN, 2012). Untuk mencari nilai torsi maka yang harus diketahui terlebih dahulu yaitu nilai tegangan, arus dan kecepatan motor. Untuk mengetahui nilai torsi, dapat kita ketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$T = \left(\frac{120}{p} \right) \left(\frac{Ea \times Ia}{Ns} \right) \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

T = Torsi motor (N-m)

p = Jumlah kutub

Ns = Kecepatan motor (*Rpm*)

Ea = GGL induksi (*Volt*)

Ia = Arus (A)

2.8 Kuat Medan Magnet

Motor listrik berputar apabila kumparan pada stator diberi sumber tegangan, sehingga menimbulkan adanya kuat medan magnet pada kumparan. Kumparan akan menjadi magnet yang memiliki kutub sesuai dengan konstruksi dan pemasangan lilitan. Dimana untuk mendapatkan nilai kuat medan magnet (B) dapat dihitung menggunakan rumus seperti dibawah ini:

$$\Phi = B \times A \dots\dots\dots(3)$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot Ia \cdot N}{2\ell} \dots\dots\dots(4)$$

$$A = \pi \times r^2 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

B = Kuat Medan Magnet (Tesla)

A = Luas Penampang

π	= Ketetapan
I_a	= Arus Jangkar (A)
μ_0	= $4 \pi \times 10^{-7}$
ℓ	= Luas Jangkar
r	= Jari – jari Stator

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)

2.9 Daya Motor

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Semakin besar daya yang dimiliki maka semakin besar satuan didalamnya, seperti kecepatan, torsi, *fluks*, dan lain – lain. (Fuad, 2012). Untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan motor *brushless direct current* dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini :

$$P = Ea \cdot I_a \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

P	= Daya yang dihasilkan motor (<i>Watt</i>)
Ea	= Gaya gerak listrik (GGL) induksi (<i>Volt</i>)
I_a	= Arus (A)

2.10 Magnet Permanen (*Neodymuim*)

Pengertian magnet didalam ilmu fisika ialah suatu benda yang mampu menarik benda lain disekitarnya, dan setiap magnet itu mempunyai sifat kemagnetan. Benda magnetik biasanya terbuat dari besi, baja, kobalt, dan nikel. Berdasarkan kemampuan menyimpan sifat magnetik, bahan magnetik dapat digolongkan menjadi magnet permanen dan magnet sementara. Magnet permanen merupakan suatu jenis magnet yang mampu mempertahankan kekuatannya untuk jangka waktu yang lama. Magnet permanen sering dikenal dengan sebutan magnet

tetap. Magnet permanen digunakan dalam berbagai alat pengukur, antara lain *voltmeter*, *galvanometer*, alat perekam *kardiograf*, kompas magnet, *magnetometer*. Magnet permanen dapat digunakan pada peralatan sehari – hari seperti pengeras suara (*loudspeaker*), pita kaset, dan disket. seperti baja dan logam campuran besi, nikel, dan kobalt.

Salah satu magnet permanen ialah magnet *neodymium*. magnet *neodymium* termasuk golongan langka dan produksi hanya ada di daratan China, Taiwan, dan sekitarnya. Dengan bahan utama pembuatan ialah *Neodymium Alloy*, *Iron*, dan *Boron*. Magnet ini dapat digunakan untuk membuat motor *brushless* DC satu fasa konstruksi sangkar tupai belitan dengan magnet *neodymium* tipe koin. Magnet *neodymium* koin adalah magnet *rare earth* yang paling kuat dan magnet permanen terkuat di dunia yang mana magnet ini berbentuk koin. Magnet *neodymium* terbentuk dari *neodymium*, besi dan boron (biasa disebut magnet NIB atau NdFeB). (Mustang T). Magnet *neodymium* memiliki beberapa kelebihan diantaranya yaitu kekuatan medan magnet, resistansi terhadap kehilangan daya magnetik, kepadatan energi magnetik dan ketahanan terhadap suhu tinggi. (Wikipedia, 2017)



Gambar 2.4 Magnet *Neodymium* Koin

(Rahamarf. M. Abdul, 2014)

2.11 *Axial Flux*

Axial flux juga disebut jenis mesin atau motor tipe cakram. Untuk mesin dengan daya rendah biasanya diberi slot kumparan dan permukaan magnet permanen. Saat daya keluaran dari *axial flux* ini meningkat, maka kontak permukaan antara rotor dengan stator akan semakin dekat. Hal ini mengakibatkan pentingnya dalam hal desain dan menyatukan rotor dengan stator agar menghindari kerusakan. Dalam beberapa hal, rotor diberi tambahan komponen transmisi daya untuk mengoptimalkan volume, massa, transfer daya dan waktu perakitan. Untuk penggunaan mesin listrik hal ini mengakibatkan peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya. Kebanyakan aplikasi dari *axial flux* ini adalah untuk motor DC tanpa sikat. (Jati, 2013).

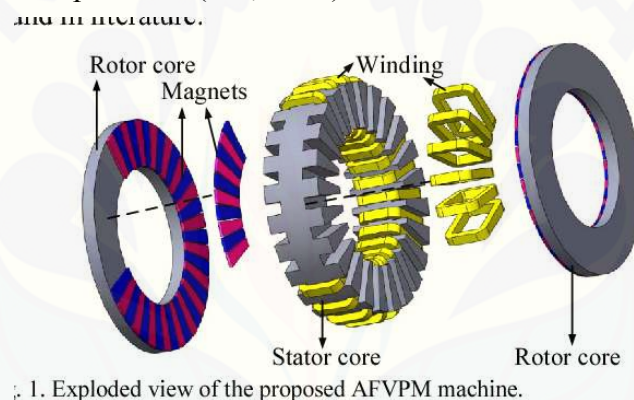


Fig. 1. Exploded view of the proposed AFVPM machine.

Gambar 2.5. *Axial Flux Permanent Magnet*

(Zou. Tianje, Qu. Ronghai, Li. Jian, Li. Dawen, 2015)

2.12 *Sensor Hall Effect*

Hall effect adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi medan magnet pada suatu sirkuit. *Hall effect* sensor memberikan *output* berupa variasi tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima. Sensor *hall effect* terbuat dari lapisan silikon yang pada sisi – sisinya terdapat dua buah elektroda. Dalam bentuk yang paling sederhana, Sensor *hall effect* beroperasi sebagai transduser analog. Kelebihan dari *hall effect* sensor yaitu relatif lebih murah dibandingkan dengan sakelar mekanik dan 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.



Gambar 2.6 *Hall Effect* Sensor
(Ulla. Zaki, 2012)

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan beberapa hal pokok ialah tempat dan waktu berlangsungnya penelitian, alat dan bahan penelitian, tahapan penelitian, blok diagram dan perancangan sistem, serta desain motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial. Adapun beberapa kegiatan yang dilakukan, dijelaskan dalam susunan seperti berikut:

3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan

3.1.1. Tempat Penelitian

Perancangan dan pengambilan data akan dilaksanakan di Laboratorium Patrang tepatnya pada Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Jember yang beralamat Jln. Slamet Riyadi no. 62 Patrang Jember.

3.1.2. Waktu penelitian

Waktu perancangan dan pengambilan data dilaksanakan pada bulan Maret 2018 sampai Mei 2018. Adapun kegiatan yang dilakukan selama waktu perancangan dan pengambilan data seperti berikut :

Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Tugas Akhir

No	Kegiatan	Bulan Ke-/Minggu															
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Tahap Persiapan	■	■	■	■												
2.	Studi Literatur					■	■	■	■								
3.	Perancangan Motor <i>Brushless</i> DC dan Pengambilan data.									■	■	■	■				
4.	Pengolahan Data													■	■	■	■
5.	Analisa Data																
6.	Pembuatan Laporan																

Keterangan:



: Pelaksanaan Kegiatan

3.2 Alat dan Bahan

Pada perancangan ini membutuhkan beberapa alat dan bahan yang perlu digunakan dalam penelitian, diantaranya yaitu :

3.2.1. Alat

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

1. Tachometer
2. Gaussmeter
3. Multimeter
4. *Power supply*

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada perancangan motor motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial yaitu :

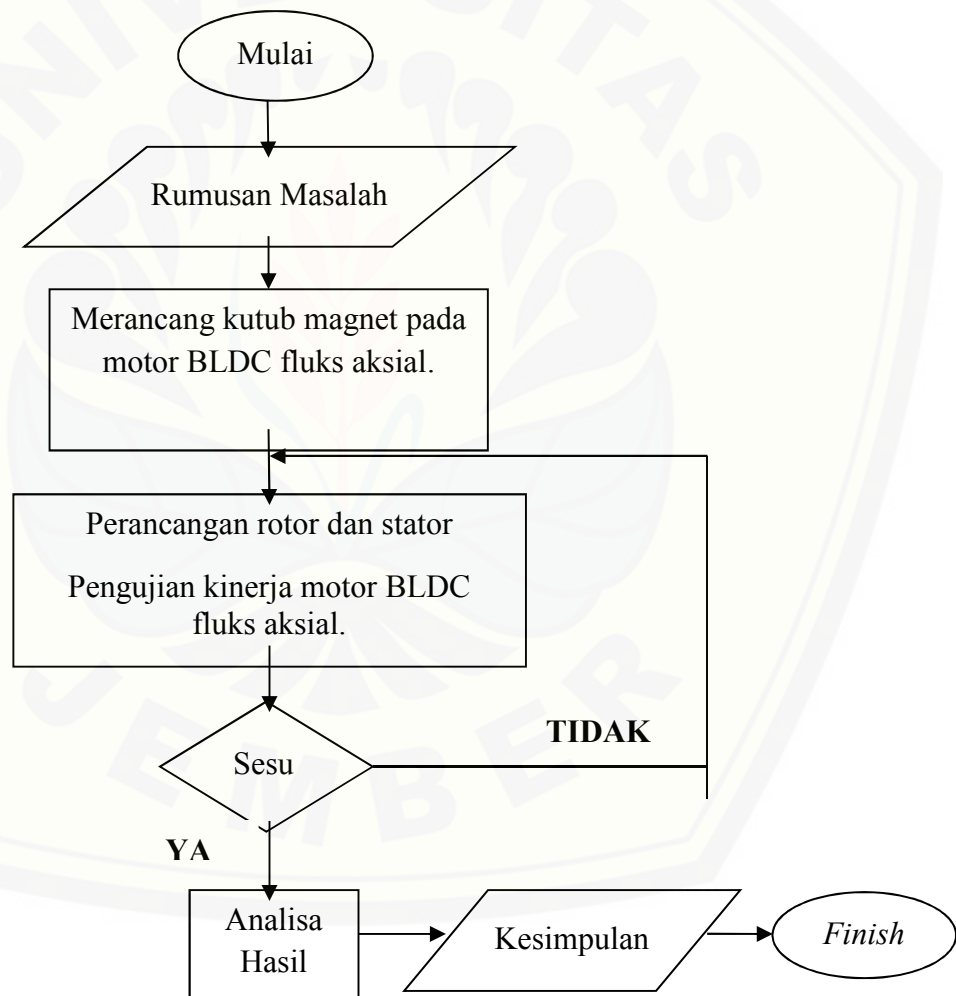
1. Magnet *neodymium*
2. Akrilik
3. Kawat *email*
4. Baut dan Mur
5. *Hall effect* sensor
6. *Bearing*
7. Spul

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan – tahapan pada penelitian yang dilakukan pada perancangan dan pengujian motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial adalah:

1. Menentukan alat dan bahan yang akan digunakan.

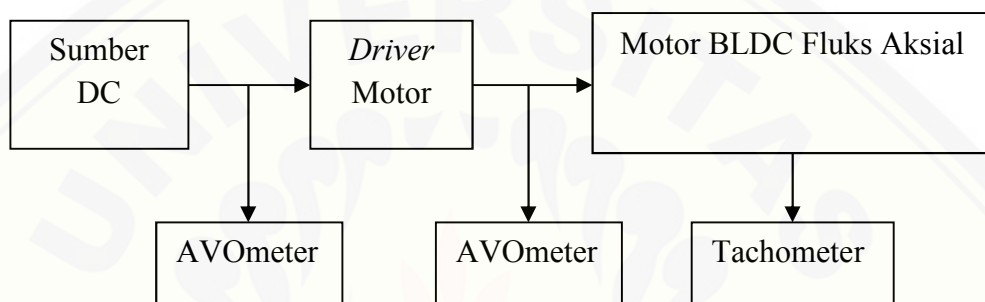
- Menentukan spesifikasi motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial yang terdiri dari kawat *email* yang berukuran 0,3 mm, lilitan kawat *email* sebanyak 100 lilitan, dan 200 lilitan, diameter dan tebal magnet sebesar 10 x 2 mm serta diameter rotor sebesar 5 cm.
- Merancang motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial.
- Melakukan pengujian motor dan pengambilan data dapat dilakukan saat pengujian motor.
- Hasil data yang diperoleh saat pengujian dapat dibahas dalam pembahasan sekaligus dapat menganalisa untuk membuat kesimpulan dari motor tersebut.



Gambar 3.1 Tahap Penelitian

3.4 Blok Diagram dan Perancangan Sistem

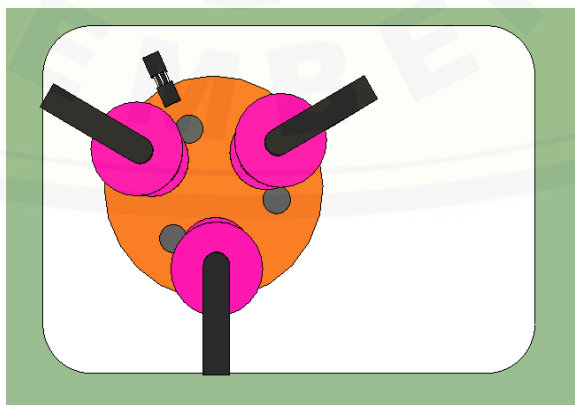
Prinsip kerja secara umum pada penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram seperti dibawah. Sumber yang digunakan adalah sumber DC yang berasal dari *power supply*. Pada motor BLDC fluks aksial menggunakan 6 magnet permanen pada rotor. Untuk stator, menggunakan stator ganda berada diatas dan bawah rotor. Tujuan pengujian motor BLDC fluks aksial untuk mengetahui kecepatan, torsi dan kerapatan medan magnet yang dihasilkan.



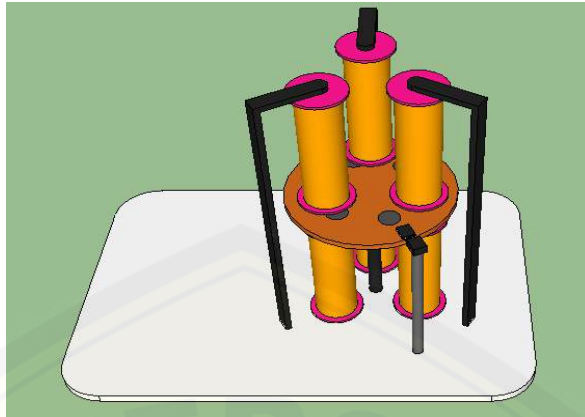
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

3.5 Desain Alat Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks Aksial.

Perancangan motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial ini memiliki stator ganda yang berada pada atas dan bawah rotor. Motor ini menggunakan tegangan sebesar 6 sampai 15 volt. Dibawah ini adalah desain motor *brushless direct current* fluks aksial tampak atas, tampak bawah dan tampak samping :



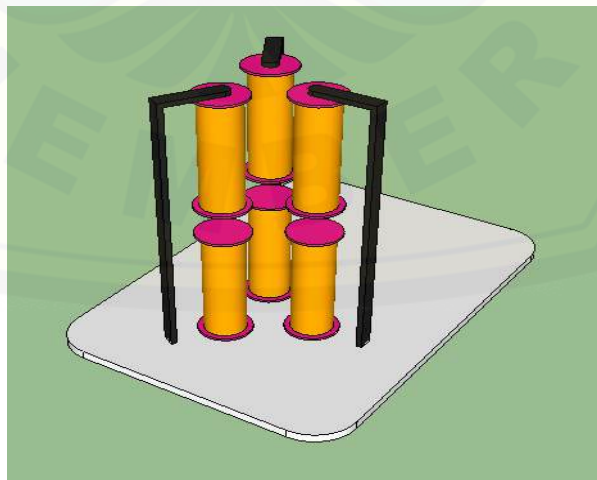
Gambar 3.3 Perancangan Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks Aksial Tampak Atas



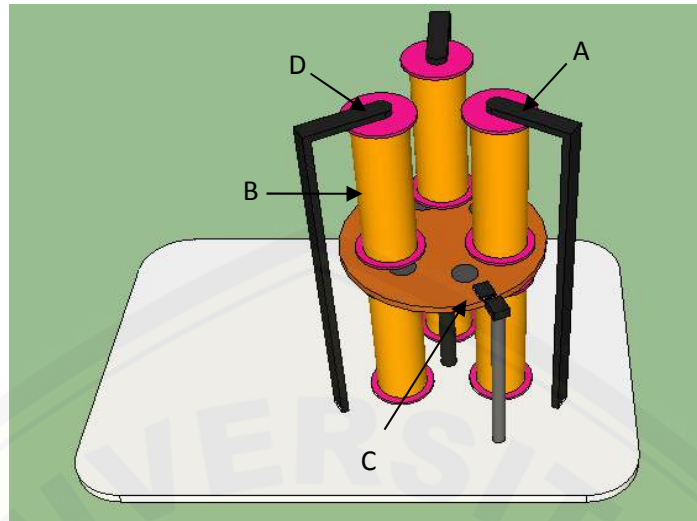
Gambar 3.4 Perancangan Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks Aksial
Tampak Samping



Gambar 3.5 Perancangan Rotor Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks
Aksial



Gambar 3.6 Perancangan Stator Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks
Aksial



Gambar 3.7 Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks Aksial

Keterangan :

A : Stator

B : Rotor

C : *Hall Effect* Sensor

D : Baut

3.6 Alur Perancangan Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks Aksial.

3.6.1. Perancangan Rotor

Desain rotor pada alat ini yaitu berbentuk lingkaran. Bahan yang digunakan adalah PCB yang dilubangi untuk pemasangan magnet sebanyak 6 buah dengan ukuran 10 mm x 2 mm per magnet. Magnet yang digunakan pada rotor ini adalah magnet neodymium. Magnet tersebut diletakan di sisi – sisi rotor sesuai dengan desain yang dirancang. Rotor ini berdiameter sebesar 5 cm.

3.6.2. Perancangan Stator

Pada alat ini menggunakan stator sebanyak 6, dimana jumlah lilitan yang dipakai yaitu 100 lilitan, dan 200 lilitan. Jenis kawat email yang digunakan berdiameter 0,3 mm. Kumputan atau stator diletakkan diatas dan dibawah rotor.

3.6.3. Pemasangan Rotor dan Stator

Setelah perancangan rotor dan stator selesai, maka langkah selanjutnya adalah menyusun rotor dan stator. Langkah pertama ialah pemasangan stator bagian bawah rotor sebanyak 3 kumparan. Langkah kedua, pemasangan rotor yang diletakkan diantara stator. Rotor dipasang dengan poros dengan menggunakan baut. Terakhir ialah pemasangan stator bagian atas rotor. Pemasangan Stator bagian atas dan bawah sebanyak 3 kumparan yang dihubungkan secara seri dengan kumparan lain.

3.6.4. Pemasangan Sensor *Hall Effect*

Sensor *hall effect* diletakkan diantara rotor dan stator. Untuk memastikan posisi sensor benar, maka sensor harus digerakkan ke kanan dan ke kiri agar peletakan sensornya tepat. Peletakan sensor akan mempengaruhi kecepatan rotor berputar.

3.7 Pengujian Motor BLDC (Brushless Direct Current) Fluks Aksial.

3.7.1 Pengukuran Tahanan Stator Motor

Proses pengukuran tahanan stator pada motor dapat dilakukan saat motor dalam keadaan belum diberi sumber tegangan. Cara mengukur tahanan pada motor *brushless* DC satu fasa ialah ujung kawat email pada belitan awal sebagai kutub positif dan ujung belitan terakhir sebagai kutub negatif. Kemudian dapat dihubungkan pada multimeter. Sehingga dapat dilihat nilai tahanan stator pada motor di multimeter.

3.7.2 Memberikan Tegangan Pada Motor.

Tegangan yang diberikan pada motor motor *brushless direct current axial flux* sebesar 6 volt sampai 15 volt DC. Di motor *brushless direct current axial flux* memiliki 2 ujung kawat yaitu ujung pada belitan pertama merupakan sumber positif dan ujung pada belitan terakhir merupakan sumber negatif. Sehingga dapat langsung dihubungkan pada sumber tegangan atau *power supply*.

3.8 Perhitungan

3.8.1 Menghitung Kecepatan Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks Aksial.

Untuk mendapatkan kecepatan motor yang sedang berputar dengan menggunakan nilai EMF pada motor, dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Nr = \frac{120}{p} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

Nr = Kecepatan motor dc (RPM)

p = Jumlah Kutub

f = Frekuensi

π = Ketetapan (3,14 atau $\frac{22}{7}$)

Φ = Fluks Magnet

N = Jumlah Lilitan

3.8.2 Menghitung Fluks Magnet Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) Fluks Aksial

Untuk mencari kuat medan magnet pada saat motor berputar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Phi = B \times A \dots\dots\dots (2)$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell}$$

$$A = \pi \times r^2$$

Dimana :

B = Kuat Medan Magnet (Tesla)

A = Luas Penampang

π = Ketetapan

I_a = Arus Jangkar (A)

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$$

ℓ = Luas Jangkar

r = Jari – jari Stator

BAB 5. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian motor BLDC fluks aksial dapat diambil kesimpulan dan saran yang dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian pengaruh panjang penampang jangkar terhadap kinerja motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial ialah sebagai berikut:

1. Pengujian motor BLDC fluks aksial pada arus terhadap kecepatan dapat dihasilkan mempunyai hubungan berbanding lurus. Peristiwa ini terjadi saat panjang penampang yang digunakan sama. Semakin besar arus yang dihasilkan maka kecepatan motor yang dihasilkan semakin besar. Seperti pada penampang 0,5 cm percobaan pertama dengan arus sebesar 0,12 *A* didapatkan kecepatan sebesar 1535 *rpm*. Sedangkan pada percobaan terakhir dengan arus sebesar 0,24 *A* didapatkan kecepatan sebesar 6113 *rpm*.
2. Pengujian motor BLDC pada arus terhadap panjang penampang jangkar dapat dihasilkan memiliki hubungan berbanding lurus. Semakin besar panjang penampang jangkar yang digunakan maka arus yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan hambatan yang dihasilkan semakin kecil. Seperti pada motor BLDC panjang penampang 0.5 cm pada percobaan pertama didapatkan arus sebesar 0,12 *A*, pada panjang penampang 1 cm percobaan pertama didapatkan arus sebesar 0,25 *A*, dan pada panjang penampang 2 cm percobaan pertama didapatkan arus sebesar 0,52 *A*.
3. Pada pengujian motor BLDC pada arus jumlah dapat dihasilkan memiliki hubungan berbanding terbalik. Semakin banyak lilitan yang digunakan maka semakin besar arus yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan hambatan yang terjadi tiap lilitan. Sepeti pada motor BLDC fluks aksial panjang penampang 0,5 cm yang pada lilitan 100 percobaan pertama didapat arus sebesar 0,12 *A* sedangkan pada lilitan 200 percobaan pertama diperoleh arus sebesar 0,08 *A*.

5.2 Saran

Adapun hasil penelitian pengaruh panjang penampang jangkar terhadap kinerja motor BLDC (*Brushless Direct Current*) fluks aksial yang belum didapatkan. Saran penulis untuk pengembangan alat penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Pada perancangan motor BLDC fluks aksial ini perlu diperhatikan dalam pembuatan dan pemasangan komponen. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja dari motor BLDC fluks aksial.
2. Pada penelitian ini perlu ditambahkan untuk mengukur torsi motor BLDC fluks aksial. Karena dalam pengujian ini hanya dilakukan pengujian kecepatan.
3. Perlu dikembangkan dengan perancangan motor BLDC fluks aksial 3 fasa. Penelitian ini masih menggunakan motor BLDC fluks aksial 1 fasa

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, W., Putra, H., & Warindi. (2016). Perancangan Motor Listrik BLDC 10 KW Untuk Sepeda Motor Listrik. Prosiding SNATIF. ISBN.
- Hadi, W. (2016). RANCANG BANGUN MOTOR BLDC DENGAN ROTOR. Prosiding SNATIF.
- Kurniawan, A. R. (2016). Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa. Universitas Jember : Jember.
- Liklikwatil, Y.(2014). Mesin-mesin Listrik. Yogyakarta. Deepublish.
- Nekoubin, A. 2011. *Design a Single Phase BLDC Motor and Finite Element Analysis of Stator Slots Structure Effect on The Efficiency. International Journal of Electrical and Computer Engineering, Volume 5, Number 5.*
- Shiddiq, A. 2012. Rancang Bangun Prototipe Sistem Aktuator Kendali Sirip Menggunakan *Brushless* DC Motor. Universitas Indonesia : Depok.
- Siswoyo, 2008, Teknik Listrik Industr Jilid 1, Jakarta, Departemen Pendidikan Nasional.
- Wengi, Sakti dan Yuniarto, Nur M. 2014. Perancangan dan Uji Performa *Axial Flux Magnet Coreless Brushless Direct (DC) Motor*. Jurnal Teknik POMITS, Vol 1, No 1.
- Yedamale, P. (2003). *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals*. California.
- Yulianta, DA., Hadi, PS., dan Suharyanto. (2015). Pengendalian Kecepatan Motor *Brushless* DC (BLDC) menggunakan Metode Logika *Fuzzy*. Jurnal *Sains*, Vol 12, No 2.
- Zuhal. (1991). Dasar Tenaga Listrik. Bandung : ITB Press.



LAMPIRAN

A. Perhitungan

➤ Panjang Penampang 0,5 cm Lilitan 100

1. Pengujian Saat Tegangan *Input 6 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,12 \cdot 100}{2,0,005} = 1200 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1200 \times 0,000019625 = 2,35 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14,77 \cdot 100 \cdot 0,02355}{0,02355} = 1540 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1540 - 1535}{1540} \times 100 = 0,3247 \%$$

2. Pengujian Saat Tegangan *Input 7 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,12 \cdot 100}{2,0,005} = 1200 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1200 \times 0,000019625 = 2,35 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14,103 \cdot 100 \cdot 0,02355}{0,02355} = 2060 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2060 - 2067}{2060} \times 100 = 0,3398 \%$$

3. Pengujian Saat Tegangan *Input 8 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,14 \cdot 100}{2,0,005} = 1400 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1400 \times 0,000019625 = 2,74 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 130 \cdot 100 \cdot 0,027475}{0,027475} = 2600 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2600 - 2590}{2600} \times 100 = 0,3846 \%$$

4. Pengujian Saat Tegangan *Input 9 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,15 \cdot 100}{2,0,005} = 1500 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1500 \times 0,000019625 = 2,94 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 159 \cdot 100 \cdot 0,0294375}{0,0294375} = 3180 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{3180 - 3188}{3180} \times 100 = 0,2516 \%$$

5. Pengujian Saat Tegangan Input 10 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,18 \cdot 100}{2,0,005} = 1800 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1800 \times 0,000019625 = 3,53 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 185 \cdot 100 \cdot 0,035325}{0,035325} = 3700 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{3700 - 3706}{3700} \times 100 = 0,1622 \%$$

➤ **Panjang Penampang 0,5 cm Lilitan 200**

1. Pengujian Saat Tegangan Input 6 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,08 \cdot 100}{2,0,005} = 1600 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1600 \times 0,000019625 = 3,14 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 66 \cdot 200 \cdot 0,0314}{0,0314} = 1320 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1320 - 1314}{1320} \times 100 = 0,4545 \%$$

2. Pengujian Saat Tegangan *Input 7 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,11.100}{2,0,005} = 2200 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2200 \times 0,000019625 = 4,32 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 87 \cdot 200 \cdot 0,0432}{0,0432} = 1740 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1740 - 1741}{1740} \times 100 = 0,0575 \%$$

3. Pengujian Saat Tegangan *Input 8 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,12.100}{2,0,005} = 2400 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2400 \times 0,000019625 = 4,71 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 107 \cdot 200 \cdot 0,0471}{0,0471} = 2140 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2140 - 2141}{2140} \times 100 = 0,0467 \%$$

4. Pengujian Saat Tegangan Input 9 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,15 \cdot 100}{2,0,005} = 3000 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 3000 \times 0,000019625 = 5,89 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 127 \cdot 200 \cdot 0,0589}{0,0589} = 2540 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2540 - 2560}{2540} \times 100 = 0,7874 \%$$

5. Pengujian Saat Tegangan Input 10 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,16 \cdot 100}{2,0,005} = 3200 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 3200 \times 0,000019625 = 6,28 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 145 \cdot 200 \cdot 0,0628}{0,0628} = 2900 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2900 - 2912}{2900} \times 100 = 0,4138 \%$$

➤ Panjang Penampang 1 cm Lilitan 100

6. Pengujian Saat Tegangan *Input 6 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,25 \cdot 100}{2,0,01} = 1250 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1250 \times 0,000019625 = 2,45 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$Nr = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14,70 \cdot 100 \cdot 0,02453}{0,02453} = 1400 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1400 - 1392}{1400} \times 100 = 0,5714 \%$$

7. Pengujian Saat Tegangan *Input 7 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,27 \cdot 100}{2,0,01} = 1350 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1350 \times 0,000019625 = 2,64 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$Nr = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14,83 \cdot 100 \cdot 0,02649}{0,02649} = 1660 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1660 - 1645}{1660} \times 100 = 0,9036 \%$$

8. Pengujian Saat Tegangan Input 8 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,31 \cdot 100}{2,0,01} = 1550 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1550 \times 0,000019625 = 3,04 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 101 \cdot 100 \cdot 0,03041}{0,03041} = 2020 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2020 - 2032}{2020} \times 100 = 0,5941 \%$$

9. Pengujian Saat Tegangan Input 9 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,34 \cdot 100}{2,0,01} = 1700 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1700 \times 0,000019625 = 3,33 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 110 \cdot 100 \cdot 0,03336}{0,03336} = 2200 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2200 - 2203}{2200} \times 100 = 0,1364 \%$$

10. Pengujian Saat Tegangan *Input 10 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,38 \cdot 100}{2,0,01} = 1900 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1900 \times 0,000019625 = 3,72 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 123 \cdot 100 \cdot 0,03728}{0,0,3728} = 2460 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2460 - 2446}{2460} \times 100 = 0,561 \%$$

➤ **Panjang Penampang 1 cm Lilitan 200**

1. Pengujian Saat Tegangan *Input 6 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,18 \cdot 100}{2,0,01} = 1800 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1800 \times 0,000019625 = 3,53 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 53 \cdot 200 \cdot 0,0353}{0,0353} = 1060 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1060 - 1057}{1060} \times 100 = 0,283 \%$$

2. Pengujian Saat Tegangan Input 7 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,23 \cdot 100}{2,0,01} = 2300 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2300 \times 0,000019625 = 4,51 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 67 \cdot 200 \cdot 0,0451}{0,0,451} = 1340 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1340 - 1333}{1340} \times 100 = 0,5224 \%$$

3. Pengujian Saat Tegangan Input 8 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,25 \cdot 100}{2,0,01} = 2500 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2500 \times 0,000019625 = 4,91 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 81 \cdot 200 \cdot 0,0491}{0,0,491} = 1620 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1620 - 1625}{1620} \times 100 = 0,3086 \%$$

4. Pengujian Saat Tegangan Input 9 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,3.100}{2,0,01} = 3000 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1250 \times 0,000019625 = 5,89 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 93 \cdot 200 \cdot 0,0589}{0,0,0589} = 1880 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1880 - 1874}{1880} \times 100 = 0,2128 \%$$

5. Pengujian Saat Tegangan Input 10 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,33.100}{2,0,01} = 3300 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1250 \times 0,000019625 = 6,48 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 108 \cdot 200 \cdot 0,0648}{0,0,648} = 2160 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2160 - 2157}{2160} \times 100 = 0,1389 \%$$

➤ Panjang Penampang 2 cm Lilitan 100

1. Pengujian Saat Tegangan *Input 6 Volt*

f. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

g. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,52 \cdot 100}{2,0,02} = 1300 \text{ T}$$

h. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1300 \times 0,000019625 = 2,55 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

i. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 40 \cdot 100 \cdot 0,02551}{0,2551} = 800 \text{ rpm}$$

j. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{800 - 813}{800} \times 100 = 1,625 \%$$

2. Pengujian Saat Tegangan *Input 7 Volt*

f. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

g. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,57 \cdot 100}{2,0,02} = 1425 \text{ T}$$

h. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1425 \times 0,000019625 = 2,79 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

i. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 65 \cdot 100 \cdot 0,02796}{0,02796} = 1300 \text{ rpm}$$

j. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1300 - 1309}{1300} \times 100 = 0,6923 \%$$

3. Pengujian Saat Tegangan *Input 8 Volt*

f. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

g. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,66 \cdot 100}{2,0,02} = 1650 \text{ T}$$

h. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1650 \times 0,000019625 = 3,23 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

i. Perhitungan Kecepatan

$$Nr = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 84 \cdot 100 \cdot 0,03238}{0,03238} = 1680 \text{ rpm}$$

j. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1680 - 1690}{1680} \times 100 = 0,5952 \%$$

4. Pengujian Saat Tegangan *Input 9 Volt*

f. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

g. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,74 \cdot 100}{2,0,02} = 1850 \text{ T}$$

h. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1850 \times 0,000019625 = 3,63 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

i. Perhitungan Kecepatan

$$Nr = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 108 \cdot 100 \cdot 0,03630}{0,03630} = 2300 \text{ rpm}$$

j. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2160 - 2167}{2160} \times 100 = 0,3241 \%$$

5. Pengujian Saat Tegangan Input 10 Volt

f. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

g. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,82 \cdot 100}{2,0,02} = 2050 \text{ T}$$

h. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2050 \times 0,000019625 = 4,02 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

i. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 115 \cdot 100 \cdot 0,04023}{0,04023} = 2300 \text{ rpm}$$

j. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2300 - 2280}{2300} \times 100 = 0,8696 \%$$

➤ **Panjang Penampang 2 cm Lilitan 200**

1. Pengujian Saat Tegangan Input 6 Volt

a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,42 \cdot 100}{2,0,02} = 2100 \text{ T}$$

c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2100 \times 0,000019625 = 4,12 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 36 \cdot 200 \cdot 0,0412}{0,0412} = 720 \text{ rpm}$$

e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{720 - 713}{720} \times 100 = 0,9722 \%$$

2. Pengujian Saat Tegangan *Input 7 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,50 \cdot 100}{2,0,02} = 2500 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2500 \times 0,000019625 = 4,91 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$Nr = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 56 \cdot 200 \cdot 0,0491}{0,0491} = 1120 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1120 - 1118}{1120} \times 100 = 0,1786 \%$$

3. Pengujian Saat Tegangan *Input 8 Volt*

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,58 \cdot 100}{2,0,02} = 2900 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2900 \times 0,000019625 = 5,69 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$Nr = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 56 \cdot 200 \cdot 0,0569}{0,0569} = 1360 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1360 - 1368}{1360} \times 100 = 0,5882 \%$$

4. Pengujian Saat Tegangan Input 9 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,65 \cdot 100}{2,0,02} = 3250 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 3250 \times 0,000019625 = 6,38 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 92 \cdot 200 \cdot 0,0638}{0,0638} = 1840 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1840 - 1858}{1840} \times 100 = 0,9783 \%$$

5. Pengujian Saat Tegangan Input 10 Volt

- a. Perhitungan Luas Penampang

$$A = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,0025^2 = 0,000019625$$

- b. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,72 \cdot 100}{2,0,02} = 3600 \text{ T}$$

- c. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 3600 \times 0,000019625 = 7,07 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- d. Perhitungan Kecepatan

$$N_r = \frac{120}{P} \times \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi}{\Phi} = \frac{120}{P} \times \frac{2,3,14 \cdot 101 \cdot 200 \cdot 0,0707}{0,0707} = 2020 \text{ rpm}$$

- e. Perhitungan *Error* Persen

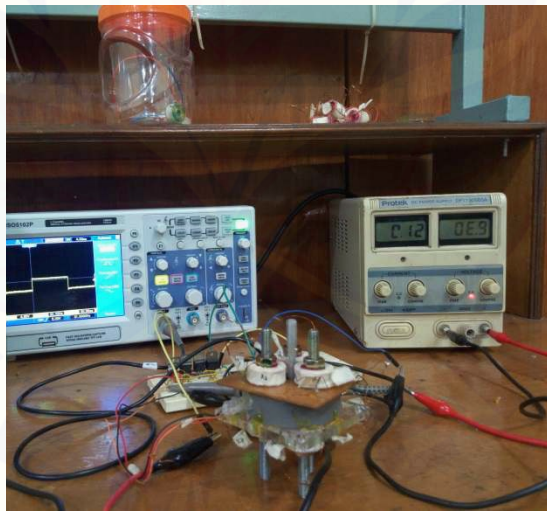
$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2020 - 2040}{2020} \times 100 = 0,9901 \%$$

B. Dokumentasi

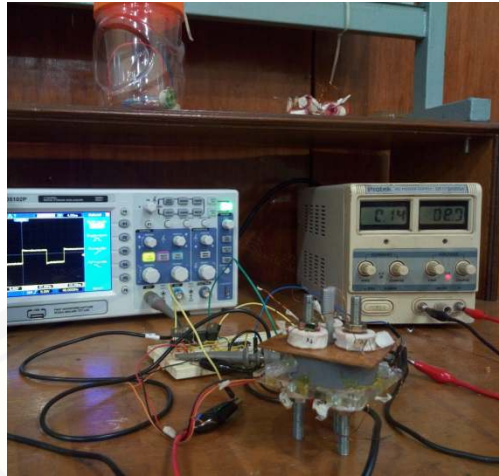
- Penampang 0,5 cm Lilitan 100



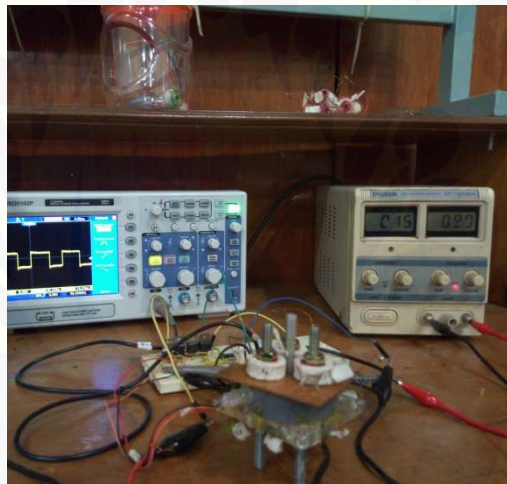
Gambar 1. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 6 Volt



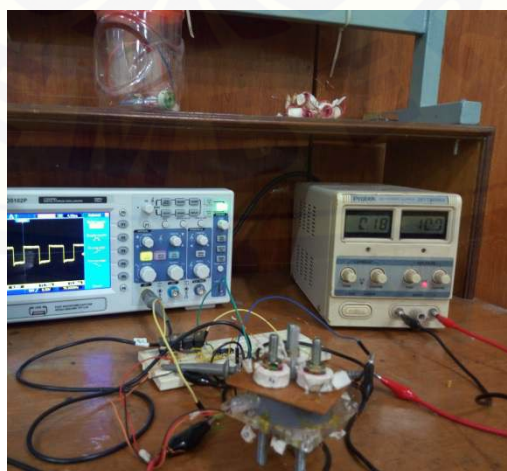
Gambar 2. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 7 Volt



Gambar 3. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 8 Volt



Gambar 4. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 9 Volt

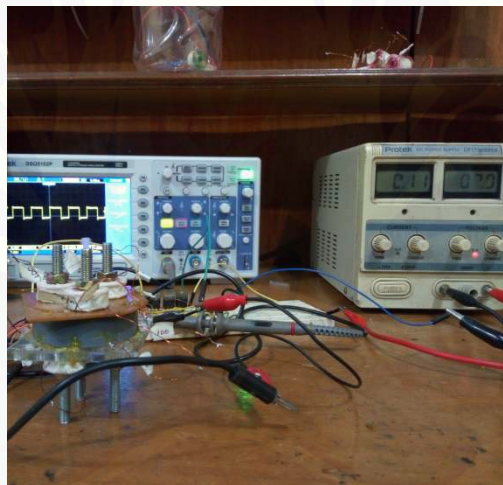


Gambar 5. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 10 Volt

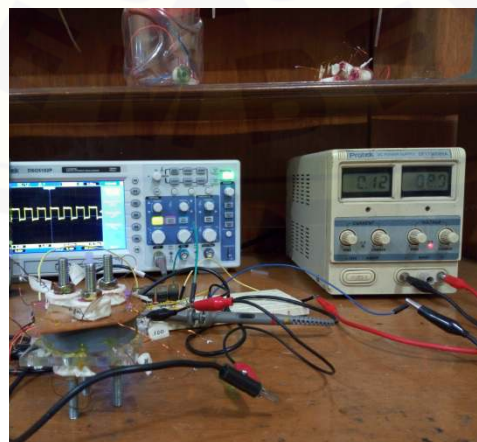
- Penampang 0,5 cm Lilitan 200



Gambar 6. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 6 Volt



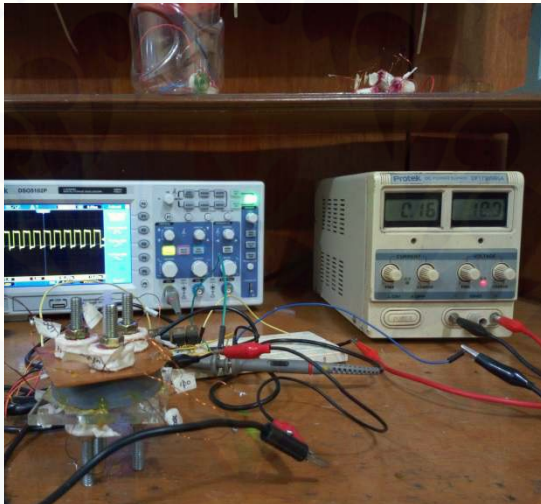
Gambar 7. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 7 Volt



Gambar 8. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 8 Volt

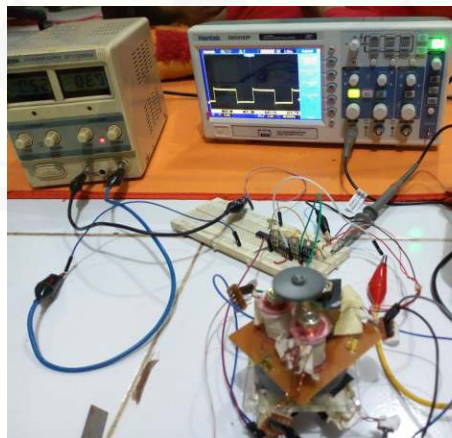


Gambar 9 Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 9 Volt

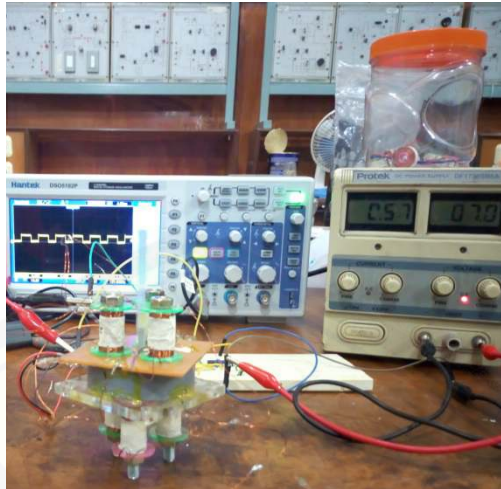


Gambar 10. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 10 Volt

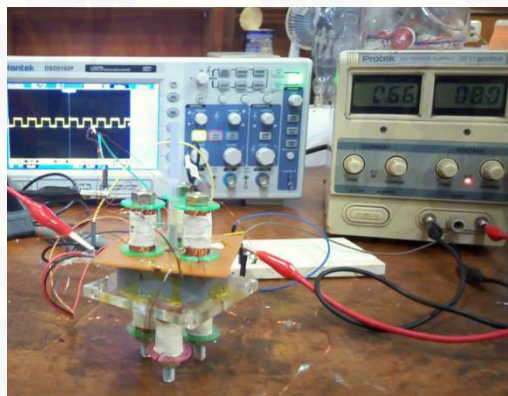
➤ Penampang 2 cm Lilitan 100



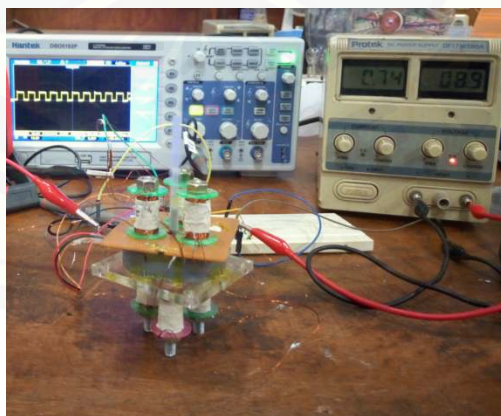
Gambar 11. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 6 Volt



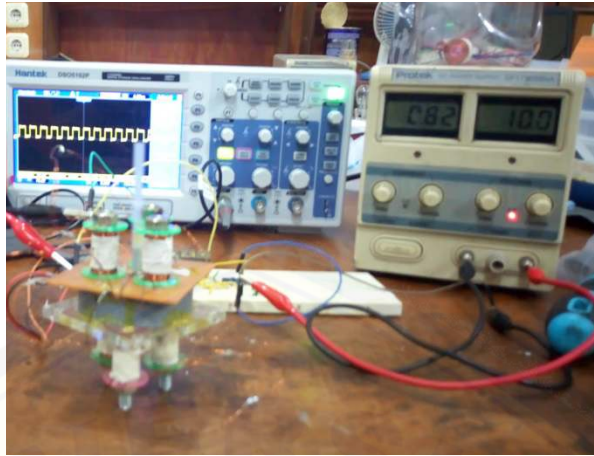
Gambar 12. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 7 Volt



Gambar 13. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 8 Volt

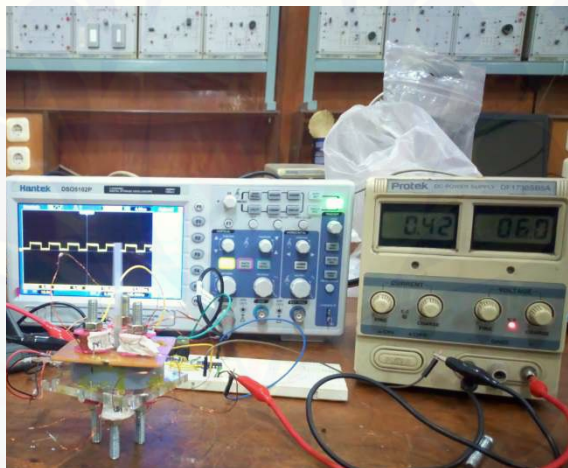


Gambar 14. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 9 Volt

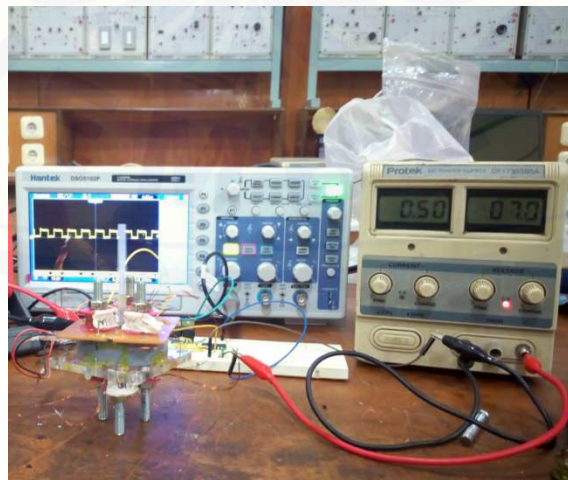


Gambar 15. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 10 Volt

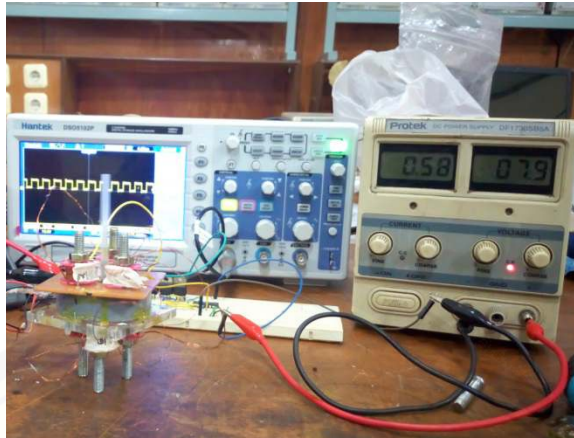
➤ Penampang 2 cm Lilitan 200



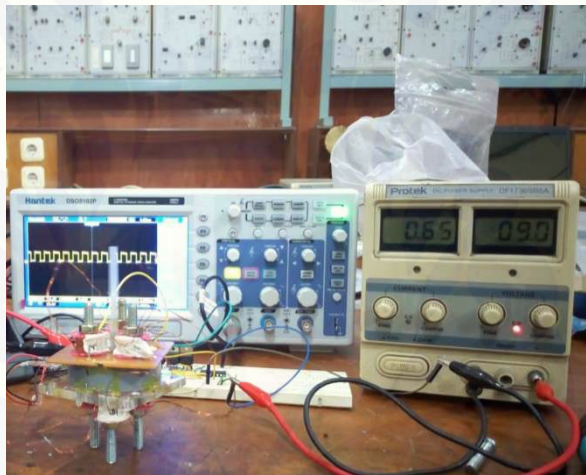
Gambar 16. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 6 Volt



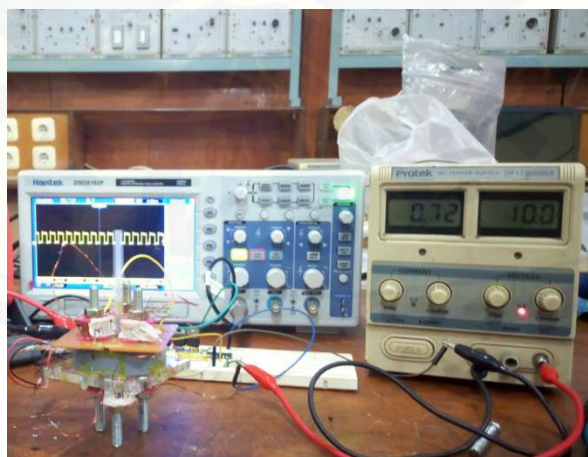
Gambar 17. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 7 Volt



Gambar 18. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 8 Volt



Gambar 19. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 9 Volt



Gambar 20. Pengukuran Arus dan Frekuensi Pada Tegangan 10 Volt