



**RANCANG BANGUN KUTUB MAGNET DENGAN *AXIAL FLUX* UNTUK
PERBAIKAN KINERJA MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT***

SKRIPSI

Oleh

**Fitria RizkyAmalia
NIM 141910201021**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**RANCANG BANGUN KUTUB MAGNET DENGAN *AXIAL FLUX* UNTUK
PERBAIKAN KINERJA MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi syarat-syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Fitria Rizky Amalia
NIM 141910201021**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Dengan segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Sripsi ini merupakan pencapaian awal sebelum melangkah ke pencapaian selanjutnya. Dengan penuh rasa bangga dan terimakasih saya persembahkan skripsi kepada :

1. Allah SWT, Tuhan yang bergantung kepada-Nya segala sesuatu.
2. Kedua orang tua, Ayahanda Hadari dan ibunda Siti Hamdiah, yang telah membesarkan, mendidik dan memberikan begitu banyak semangat serta kasih sayang begitu besar juga memberikan doa yang tiada henti hentinya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini, seluruh pencapaian ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya.
3. Dosen pembimbing utama Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. serta Bapak pembimbing anggota Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T atas kesabarannya membimbing saya hingga menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Kedua saudara tercinta, Benny Andrian F dan Dwi Maulina A yang selalu meberikan doa dan mendukung saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi saya.
6. Seluruh Saudara KETEK UJ 14 yang telah memberikan dukungan dan doanya.
7. Sahabat seperjuangan tercinta Ramadhaniar Eka W, Febriana Ika L.H, Hani Sofiatius dan Evhi Nur I yang telah memberikan semangat dan perhatian yang luar biasa.
8. Almamater Tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“ Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri “. (QS. Ar Ra’d : 11)^{*)}

atau

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.” (QS. Al Insyirah: 5-6)^{*)}

“ Orang tidak selalu ada dibawah. Pada saat kita berada diatas, janganlah lupa pada teman-teman kita yang ada di bawah...Kita bantu mereka yang lagi dibawah...Dan pada saat kita dibawah, saat itulah SEMANGAT kita harus tumbuh dan berkembang...Dan senyumlah selalu menghadapi semua masalah”
(Benny Andrian F)

“Saat Aku Melibatkan “Allah SWT” dalam semua impianku
Aku percaya tidak ada yang tidak mungkin”
(Dwi Maulina A)

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia, 1998. Al Qur'an dan Terjemahannya.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Fitria Rizky Amalia

NIM : 141910201021

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “ **Rancang Bangun Kutub Magnet Dengan *Axial Flux* Untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current***” 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Juli 2018

Yang menyatakan,

Fitria Rizky Amalia

NIM 141910201021

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN KUTUB MAGNET DENGAN AXIAL FLUX UNTUK
PERBAIKAN KINERJA MOTOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT**

Oleh

Fitria Rizky Amalia
NIM 141910201021

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Kutub Magnet Dengan *Axial Flux* Untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current*” karya Fitria Rizky Amalia telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 17 Juli 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP 197104022003121001

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 197104022003121001

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., MT
NIP 19700826 1997021001

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

Mengesahkan
Dekan,

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

RINGKASAN

Rancang Bangun Kutub Magnet Dengan *Axial Flux* Untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current*; Fitria Rizky Amalia, 141910201021; 2018: 66 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Teknologi yang semakin berkembang pada saat ini dan seterusnya untuk memenuhi kebutuhan dan memudahkan kegiatan manusia. Aplikasi motor telah meluas ke semua jenis lapangan dalam ekonomi nasional dan kehidupan sehari-hari sebagai alat konversi energi mekanik utama. Salah satu hasil dari perkembangan teknologi adalah motor DC dan motor induksi. Motor DC merupakan suatu perangkat elektromagnetis 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. Namun, motor DC memerlukan biaya perawatan yang tidak sederhana dan harganya mahal. Sedangkan motor induksi memiliki perawatan yang mudah dan kecepatan yang sulit diatur.

Perencanaan motor *brushless direct current axial flux* memiliki stator ganda yaitu bagian atas dan bagian bawah yang masing – masing memiliki 3 kumparan atas dan 3 kumparan bawah dan menggunakan lilitan sebanyak 100, 200 dan 300 lilitan. Stator disini dihubungkan secara seri dengan kumparan yang lain. Kawat *email* yang digunakan untuk stator adalah kawat *email* yang berdiameter 0,3 mm. Pada bagian rotor motor terdapat 6 magnet *neodymium* tipe koin. Untuk mengetahui pengaruh variasi lilitan terhadap kecepatan dilakukan pengujian dengan tegangan input sebesar 6 volt, 7 volt, 8 volt, 9 volt, 10 volt, 11 volt, 12 volt, 13 volt, 14 volt dan 15 volt.

Pengujian pertama untuk mengetahui pengaruh variasi lilitan terhadap kecepatan dengan 100 lilitan pada tegangan *input* sebesar 6 volt sampai 15 volt didapatkan arus yang mengalir pada tiap – tiap tegangan *input* sebesar 0,24 A, 0,28 A, 0,32 A, 0,34 A, 0,38 A, 0,41 A, 0,44 A, 0,48 A, 0,51 A dan 0,55 A.

Sedangkan untuk kecepatan didapatkan sebesar 1392 rpm, 1748 rpm, 2032 rpm, 2203 rpm, 2446 rpm, 2705 rpm, 2943 rpm, 3122 rpm, 3311 rpm, dan 3514 rpm. Pengujian kedua untuk mengetahui pengaruh variasi lilitan terhadap kecepatan dengan 200 lilitan pada tegangan *input* sebesar 6 volt sampai 15 volt didapatkan arus yang mengalir pada tiap – tiap tegangan *input* sebesar 0,19 A, 0,22 A, 0,25 A, 0,30 A, 0,33 A, 0,36 A, 0,39 A, 0,41 A, 0,44 A, dan 0,48 A. Sedangkan untuk kecepatan didapatkan sebesar 1057 rpm, 1333 rpm, 1625 rpm, 1876 rpm, 2157 rpm, 2527 rpm, 2787 rpm, 3012 rpm, 3263 rpm, dan 3465 rpm. Pengujian terakhir untuk mengetahui pengaruh variasi lilitan terhadap kecepatan dengan 300 lilitan pada tegangan *input* sebesar 6 volt sampai 15 volt didapatkan arus yang mengalir pada tiap – tiap tegangan *input* sebesar 0,16 A, 0,19 A, 0,22 A, 0,24 A, 0,26 A, 0,29 A, 0,31 A, 0,33 A, 0,34 A, dan 0,73 A. Sedangkan untuk kecepatan didapatkan sebesar 1046 rpm, 1255 rpm, 1527 rpm, 1776 rpm, 2056 rpm, 2389 rpm, 2620 rpm, 3004 rpm, 3135 rpm, dan 3281 rpm.

Dari penelitian ini pengaruh variasi lilitan sangat mempengaruhi kecepatan yang dihasilkan motor. Diketahui bahwa semakin banyak lilitan yang digunakan maka semakin kecil pula kecepatan yang dihasilkan motor. Hal ini dipengaruhi oleh arus yang dihasilkan oleh setiap lilitan. Namun jika dilihat dari segi tiap lilitan, arus berbanding lurus dengan kecepatan. Semakin besar arus yang dihasilkan maka semakin besar pula kecepatan.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Kutub Dengan *Axial Flux* Untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Dr. Triwahju Hardisnto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I, Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
3. Catur Suko Sarwono, S.T., MSi. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
5. Ayahanda Hadari dan Ibunda Siti Hamdiyah yang saya sayangi, yang telah membantu baik moral, material, doa, dan mendidik.
6. Saudara kandungku Benny Andrian F dan Dwi Maulina A, terima kasih atas doa dan dukungan yang telah diberikan kepadaku selama ini.
7. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2014, aku bangga menjadi angkatan 2014. Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
8. Teman terbaik saya yang bernama Ramadhanier Eka W, Febriana Ika L.H, Nani Sofiatu S, Evhi Nur Imamah, Gilang Firmansyah, Aulia Setyo Agung N, Yoga Tri C, M. Deny P, dan Hendri Budi S yang selalu menemani disaat suka duka menjalani masa-masa kuliah, berkat kalian masa kuliahku menjadi berwarna.
9. Saya ucapkan terima kasih juga kepada Mas Sugi, Mas Ibrahim, yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

10. Guru-guru tercinta SDN Pajagalan 1 Sumenep, SMPN 3 Sumenep, SMAN 2 Sumenep dan seluruh Dosen Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember, terima kasih atas ilmu pengetahuan dan kasih sayang yang telah diberikan;
11. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember, terimakasih telah mengantarku menuju masa depan.

Penulis juga menerima semua kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 16 Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Motor Listrik	5
2.2 Jenis – jenis Motor Listrik	6
2.2.1 Motor AC	6
2.2.2 Motor DC	7
2.2.3 Motor BLDC	7
2.3 EMF (<i>Electromotive Force</i>)	9
2.4 Kecepatan Motor	10
2.5 Kuat Medan Magnet	10
2.6 Gaya Gerak listrik (GGL)	11
2.7 Daya Yang Dihasilkan Motor	11
2.8 Torsi Motor	12
2.9 Magnet Permanen	12
2.10 Axial Flux	13
2.11 Hall Effect Sensor	14

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Alat dan Bahan	15
3.2 Tahapan Penelitian.....	15
3.3 Blok Diagram dan Perancangan Sistem.....	17
3.4 Desain Alat Kutub Magnet Dengan <i>Axial Flux</i> Untuk Perbaikan Kinerja Motor <i>Brushless Direct Current</i>	17
3.5 Alur Perancangan Alat Kutub Magnet Dengan <i>Axial Flux</i> Untuk Perbaikan Kinerja Motor <i>Brushless Direct Current</i>	19
3.6 Pengujian Motor <i>Brushless Direct Current</i>	20
3.6.1 Pengukuran Tahanan Pada Stator Motor.....	20
3.6.2 Memberikan Tegangan Pada Motor	20
3.6.3 Perhitungan.....	20
BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Analisa Data Pengujian Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i>	23
4.2 Pengujian Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i>	24
4.2.1 Pengujian Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Pada Lilitan 100.....	24
4.2.2 Pengujian Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Pada Lilitan 200.....	26
4.2.3 Pengujian Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Pada Lilitan 300.....	29
4.3 Perbandingan Kecepatan Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i>	32
4.4 Perhitungan Pada Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i>	34
4.5 Perbandingan Kecepatan Prngukuran Dan Perhitungan Pada Motor <i>Brushless Direct Current Flux</i>	42
BAB 5. PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Motor Dengan 100 Lilitan	24
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Motor Dengan 200 Lilitan	27
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Motor Dengan 300 Lilitan	30
Tabel 4.4 Perbandingan Kecepatan Pada Variasi Lilitan.....	33
Tabel 4.5 Perhitungan Motor Dengan 100 Lilitan	35
Tabel 4.6 Perhitungan Motor Dengan 200 Lilitan	38
Tabel 4.7 Perhitungan Motor Dengan 300 Lilitan	40
Tabel 4.8 Perbandingan Kecepatan Dan <i>Error</i> Persen	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Magnet <i>Neodymium</i> Koin	13
Gambar 2.2 <i>Hall Effect</i> Sensor	14
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	16
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem	17
Gambar 3.3 Perancangan Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Tampak Atas dan Tampak Bawah.....	18
Gambar 3.4 Perancangan Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Tampak Samping	18
Gambar 3.5 Perancangan Rotor Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i>	18
Gambar 3.6 Rancang Keseluruhan Dari Stator dan Rotor	19
Gambar 4.1 Motor <i>Berushless Direct Current Axial Flux</i>	23
Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Pada Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Dengan 100 Lilitan.....	26
Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Pada Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Dengan 200 Lilitan.....	29
Gambar 4.4 Grafik Kecepatan Pada Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Dengan 300 Lilitan.....	32
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Pengujian Kecepatan Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Dengan 100, 200 dan 300 Lilitan.....	33
Gambar 4.6 Grafik Torsi Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Dengan 100 Lilitan	37
Gambar 4.7 Grafik Torsi Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Dengan 200 Lilitan	39
Gambar 4.8 Grafik Torsi Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Dengan 300 Lilitan	42

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Perhitungan.....	49
B. Dokumentasi	59



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan sumber energi yang paling umum digunakan oleh manusia. Listrik bisa dihasilkan dari berbagai teknologi contohnya dari motor listrik. Teknologi yang semakin berkembang pada saat ini dan seterusnya, untuk memenuhi kebutuhan dan memudahkan kegiatan manusia. Aplikasi motor telah meluas ke semua jenis lapangan dalam ekonomi nasional dan kehidupan sehari-hari sebagai alat konversi energi mekanik utama. Salah satu hasil dari perkembangan teknologi adalah motor DC dan motor induksi. Motor DC merupakan suatu perangkat elektromagnetis 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 kelebihan efisiensi yang tinggi dan torsi awal yang besar serta membantu kegiatan manusia dalam menggerakkan suatu sistem. Selain itu, motor DC juga membantu kegiatan manusia dibidang transportasi untuk menggerakkan mobil, sepeda listrik dan lain-lain. Namun, motor DC memerlukan biaya perawatan yang tidak sederhana dan harganya mahal. (Muhammad, 2007) Sedangkan motor induksi memiliki perawatan yang mudah dan kecepatan yang sulit diatur.

Dengan bertambahnya zaman dan teknologi yang semakin maju, maka diciptakanlah motor BLDC. Motor BLDC itu sendiri dikembangkan dengan dasar motor DC yang disikat. Teori mesin modern ini terbentuk ketika Faraday menemukan fenomena induksi elektromagnetik pada tahun 1831. Membatasi perkembangan perangkat tenaga elektronik dan bahan magnet permanen, desain motor BLDC berhasil sampai lebih dari 1 abad. Pada tahun 1915, seorang Amerika yang bernama Langmuir menemukan penyearah merkuri untuk mengendalikan *grid* elektroda dan membuat konverter DC/AC. Pada tahun 1930, untuk mengurangi kerugian motor tradisional, beberapa ilmuwan mulai mengembangkan motor *brushless* DC dimana diimplementasikannya pergantian elektronik, yang membuat persiapan untuk motor BLDC. Namun, pada saat itu

perangkat *power electronic* dalam tahap pengembangan, ilmuwan tidak dapat menemukan pergantian yang tepat. (Chang Liang Xia, 2012)

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah alternatif pengganti motor DC. Kelebihan dari motor *brushless directcurrent* (BLDC) adalah memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan motor induksi, dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan motor arus searah konvensional. Selain itu, dengan tidak adanya sikat, maka perawatan motor lebih mudah, hampir tidak ada derau/*noise*, dan bisa dioperasikan pada lingkungan yang mudah terbakar. Kelebihan lain dibandingkan dengan mesin induksi adalah tanggapan yang lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar (Agung Dwi Yulianta dkk, 2015). Penelitian dari mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) bernama Hudha Rencana Panjaitan Sakti W dan Muhammad Nur Yuniarto, yang merancang motor *brushless direct current axial flux* menggunakan sensor *hall effect*. Motor listrik DC konvensional sistem transmisi listriknya membutuhkan cincin komutator berupa *brush* yang terbuat dari arang (*carbon*). *Brush* tersebut memerlukan penggantian berkala untuk umur pemakaian. Kekurangannya pada jangkar motor BLDC harus logam feromagnetik untuk mengatur fluks magnet. Hal tersebut menyebabkan *cogging torque* yang menghambat putaran motor, karena terjadi gaya tarik menarik antara jangkar (rotor) dan magnet yang bertindak sebagai stator.

Penelitian dari mahasiswa Universitas Jember bernama Victor Trisula Pamungkas yang merancang motor *brushless direct current axial flux* menggunakan sensor *reed switch*. Sensor *reed switch* bekerja ketika sensor bertemu dengan magnet maka sensor akan *on* dan ketika sensor tidak bertemu dengan magnet maka sensor akan *off*. Jadi, sensor *reed switch* disini bekerja secara *on-off*. Motor *brushless direct current* yang dirancang yang dirancang oleh Victor Trisula Pamungkas menggunakan stator ganda (dimana stator ganda untuk mengatur jarak stator dengan magnet) dan kutub pada magnetnya adalah kutub selatan (dimana magnet tersebut hanya ditempelkan pada rotor). Pada motor *brushless direct current* menggunakan stator ganda *axial flux*, jika jarak antara magnet dengan kumparan semakin dekat maka kecepatan semakin tinggi. Jika

sebaliknya maka kecepatan semakin rendah. Jarak magnet dengan magnet terhalang rotor sehingga kecepatannya semakin menurun. (Victor T.P, 2018)

Pada penelitian motor *brushless direct current axial flux* ini hampir sama dengan penelitian punya Victor Trisula Pamungkas menggunakan stator ganda namun pada motor *brushless direct current* ini kutub magnet yang digunakan adalah selatan dan utara (dimana magnet tersebut berada di tengah rotor) dan menggunakan 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

Dari latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang motor *brushless direct current* dengan *axial flux*?
- b. Bagaimana pengaruh banyaknya lilitan kawat *email* terhadap kecepatan yang dihasilkan oleh motor *brushless direct curent axial flux*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan penelitian diatas, supaya pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah yaitu :

- a. Menggunakan magnet *neodymuim* berukuran 10 x 2 mm.
- b. Menggunakan kawat *email* sebanyak 100, 200 dan 300 lilitan.
- c. Pengujiannya hanya kecepatan motor.
- d. Tidak membahas *air gap*.
- e. Menggunakan kawat *email* setebal 0,3 mm.
- f. Menggunakan stator ganda yaitu atas dan bawah dan rotor berdiameter 5 cm.
- g. Motor tidak berbeban.

1.4 Tujuan Penelitian

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

- a. Untuk mengetahui perancangan motor *brushless direct current* dengan *axial flux*.
- b. Untuk mengetahui pengaruh kawat *email* terhadap kecepatan yang dihasilkan oleh motor *brushless direct current*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat yaitu :

- a. Mendukung pengembangan ilmu pengetahuan tentang motor *brushless direct current axial flux*.
- b. Perancangan kutub magnet dengan *axial flux* untuk perbaikan kinerja motor *brushless direct current* adalah konsep terbaru di era teknologi yang semakin maju.

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. METODELOGI 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 adalah alat penggerak benda dengan suatu sumber energi utama yaitu bisa berupa angin, air, bensin atau solar dan listrik. Misalnya motor bensin atau motor bakar yaitu motor sumber energi utamanya adalah bensin. Motor listrik adalah motor dengan sumber energi utama tenaga listrik. Bergeraknya sebuah motor (yaitu berputar horizontal) disebabkan karena adanya gaya dan torsi yang diberikan oleh energi utama tersebut. Motor listrik berputar karena adanya gaya dan torsi elektromagnetik dicela udara didalam mesin tersebut. (Liklikwatil, Y, 2014)

Selain itu, Motor listrik adalah sebuah alat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk memutar *impeller* pompa, fan atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan dan lain-lain. Di rumah, manusia juga menggunakan peralatan yang mempunyai komponen motor listrik seperti *mixer*, bor listrik, dan kipas angin serta motor listrik juga digunakan di dunia industri. Motor listrik sering disebut kuda kerjanya industri karena diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% total beban listrik di industri. Secara umum sistem kerja untuk seluruh jenis motor yaitu arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya, jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka sisi lingkaran/*loop* yaitu pada sudut kanan medan magnet akan mendapatkan gaya dengan arah yang berlawanan sehingga pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan. Motor-motor memiliki beberapa lingkaran/*loop* pada dinamo untuk memberikan tenaga putar yang lebih sesuai dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan. Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu pada keluaran tenaga putar/*torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan dalam tiga kelompok:

- a. Beban *torque* konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan perasinya namun *torque* nya tidak bervariasi. Contoh dari beban dengan *torque* konstan adalah *conveyor*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- b. Beban dengan *variable torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh dari beban dengan *variable torque* adalah pompa sentri fugal dan *fan* (*torque* bervariasi sebagai kuadrat kecepatan).
- c. Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan - peralatan listrik.

2.2 Jenis-jenis Motor Listrik

Dibawah ini ada beberapa macam motor listrik yaitu :

2.2.1 Motor AC

Motor AC adalah motor listrik yang prinsip kerjanya menggunakan tegangan AC (*Alternating Current*). Motor AC memiliki dua buah bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor AC yang diam. Sedangkan rotor adalah bagian dari motor AC yang berputar. Motor AC dilengkapi dengan penggerak frekuensi *variable* untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan penggunaan dayanya. Motor AC memiliki dua jenis motor yaitu motor AC sinkron (Motor Sinkron) dan motor AC induksi (Motor Induksi). Motor sinkron adalah motor AC yang bekerja pada kecepatan tetap dan sistem frekuensi tertentu. Motor sinkron ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki *torque* awal yang rendah, oleh karena itu motor sinkron tepat untuk penggunaan awal dengan beban rendah seperti kompresor udara, perubahan frekuensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistem, sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik. Sedangkan motor induksi merupakan motor paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Motor sinkron menjadi populer karena rancangan

yang sederhana, murah dan mudah didapat, serta dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC.

2.2.2 Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan masukan tegangan arus searah (DC) pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian motor dc yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian motor dc yang berputar). Motor DC menggunakan arus langsung dan tidak langsung/direct-unidirectional. Komponen utama pada motor DC adalah kutub medan, *current* elektromagnet atau dinamo dan *commutator*. Keuntungan utama pada motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak akan mempengaruhi kualitas suplai 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 disuplai 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. Dalam motor DC tipe kompon memiliki 2 jenis yaitu kompon panjang dan kompon pendek.

2.2.3 Motor BLDC

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 P, 2003)

Secara umum, motor BLDC dianggap motor dengan performa tinggi yang mampu memberikan jumlah besar torsi pada rentang kecepatan yang luas. Motor BLDC adalah turunan dari motor DC yang paling umum digunakan, motor DC disikat, dan berbagi torsi serta karakteristik kinerja kecepatan pada kurva. Perbedaan utama antara keduanya adalah penggunaan kuas. Motor BLDC tidak memiliki sikat maka disebut *brushless* DC dan harus secara *elektronik commutated*. (Shiddiq A, 2012)

Stator adalah bagian pada motor yang diam yang berfungsi sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik sehingga rotor pada motor dapat berputar. Stator pada motor *brushless* dc 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. Belitan stator pada motor *brushless* dc terdiri dari dua jenis yaitu belitan stator trapezoidal dan jenis sinusoidal. Hal yang menjadi dasar perbedaan antara kedua jenis belitan stator tersebut terletak pada hubungan antara koil dan belitan stator yang bertujuan untuk memberikan *back EMF (Electro Motive Force)* yang berbeda. Stator motor *brushless* DC terdiri dari laminasi baja yang ditumpuk dengan gulungan yang ditempatkan di slot yang dipotong secara aksial sepanjang pinggiran dalam atau disekitar tiang stator.

Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana rotor pada motor *brushless* dc berbeda dengan rotor pada motor dc konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berbeda diantara *brushless* (sikot) yang terhubung pada motor. Rotor dibuat dari magnet permanen dan didesain dari dua sampai delapan magnet ber kutub utara (N) atau ber kutub selatan (S). Biasanya magnet ferrit yang dipakai untuk magnet permanen. Fluks magnetik yang dihasilkan oleh arus dibelitan stator dapat meningkatkan atau menurunkan kerapatan fluks pada stator, hal itu tergantung pada posisi rotor. (Nekoubin A, 2011)

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 menjalankannya.

2.3 EMF (*Electromotive Force*)

Electromotive force (EMF) adalah tegangan yang dikembangkan oleh sumber energi listrik seperti baterai atau dinamo. Hal ini umumnya didefinisikan sebagai potensi listrik untuk sumber di sirkuit. *Electromotive Force* (EMF) sering juga disebut gaya gerak listrik (ggl). Dalam induksi elektromagnetik, ggl dapat didefinisikan disekitar lingkaran tertutup sebagai kerja elektromagnetik yang akan dilakukan pada muatan jika berjalan begitu mengelilingi *loop* itu. (Wikipedia, 2017)

Electromotive force (EMF) induksi terjadi pada motor listrik, generator serta rangkaian listrik dengan arah berlawanan terhadap gaya yang menimbulkannya. Timbulnya *electromotive force* (EMF) tergantung pada kekuatan garis fluks magnet, jumlah lilitan konduktor, sudut perpotongan *fluks* magnet dengan konduktor dan kecepatan konduktor memotong garis *fluks* magnet.

Ketika motor BLDC selesai dibuat maka jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya telah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF balik mempengaruhi torsi motor BLDC, apabila kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada belitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan menurun dan torsi juga akan menurun.

2.4 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. (Budi, Putra dan Warindi, 2016). Untuk mengetahui dan mendapatkan kecepatan motor yang sedang berputar maka dapat menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

N_s = Kecepatan motor (rpm)

p = Jumlah kutub

f = Frekuensi (Hz)

2.5 Kuat Medan Magnet

Motor akan bekerja apabila kumparan pada stator diberi sumber tegangan, sehingga menimbulkan kuat medan magnet. Kuat medan magnet terjadi diakibatkan adanya arus yang mengalir pada belitan stator. Dimana untuk mendapatkan nilai kuat medan magnet (B) dapat dihitung menggunakan rumus seperti dibawah ini:

$$\Phi = B \times A \dots\dots\dots 2.2$$

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

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

Keterangan :

B = Kuat medan magnet (Tesla)

Φ = Fluks magnet (Wb)

A = Luas penampang

π = Ketetapan (3,14)

I_a = Arus (A)

N = Banyaknya lilitan

μ_0 = Permeabilitas 1 (Udara bebas)

ℓ = Luas spul

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. (Kurniawan A, 2016)

2.6 Gaya Gerak Listrik (GGL)

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

$$E_a = V - (I_a \times R) \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

E_a = Gaya gerak listrik (GGL) induksi (*Volt*)

V = Tegangan (*Volt*)

I_a = Arus (A)

R = Hambatan (Ω)

2.7 Daya Yang Dihasilkan Motor

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

$$P = R \times I_a^2 \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

P = Daya yang dihasilkan motor (*Watt*)

R = Hambatan (Ω)

I_a = Arus (A)

2.8 Torsi Motor

Torsi (*torque*) merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu. 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 :

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} \dots\dots\dots 2.5$$

Keterangan :

T = Torsi motor (Nm)

p = Jumlah kutub

N_s = Kecepatan motor (rpm)

R = Hambatan (Ω)

I_a = Arus (A)

2.9 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). Magnet *neodymium* memiliki beberapa kelebihan diantaranya yaitu memiliki kekuatan medan magnet, resistansi terhadap berkurangnya daya magnetik, kepadatan energi magnetik dan ketahanan terhadap suhu tinggi.



Gambar 2.1 Magnet *Neodymium* Koin

Sumber : <http://www.tokomagnetmustang.com/product.html>

2.10 *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).

2.11 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. Namaun *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 2.2 Hall Effect Sensor

Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-sensor-efek-hall-hall-effect-sensor-prinsip-kerja-efek-hall/>

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pembahasan pada bab ini akan menjelaskan beberapa hal yaitu alat dan bahan penelitian, tahapan penelitian, blok diagram dan perancangan sistem, serta desain motor *brushless direct current axial flux*.

3.1 Alat dan Bahan

Pada pembuatan alat ini ada beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam mengerjakan skripsi. Alat dan bahan yang digunakan diantaranya yaitu :

a. Alat

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

1. Tachometer
2. *Oscilloscope* Hantek DSO5102P
3. Avometer Tegangan
4. Protek DC *Power Supply* DF1730SB5A

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. *Hall effect* sensor tipe 3144
6. *Bearing*
7. Spul

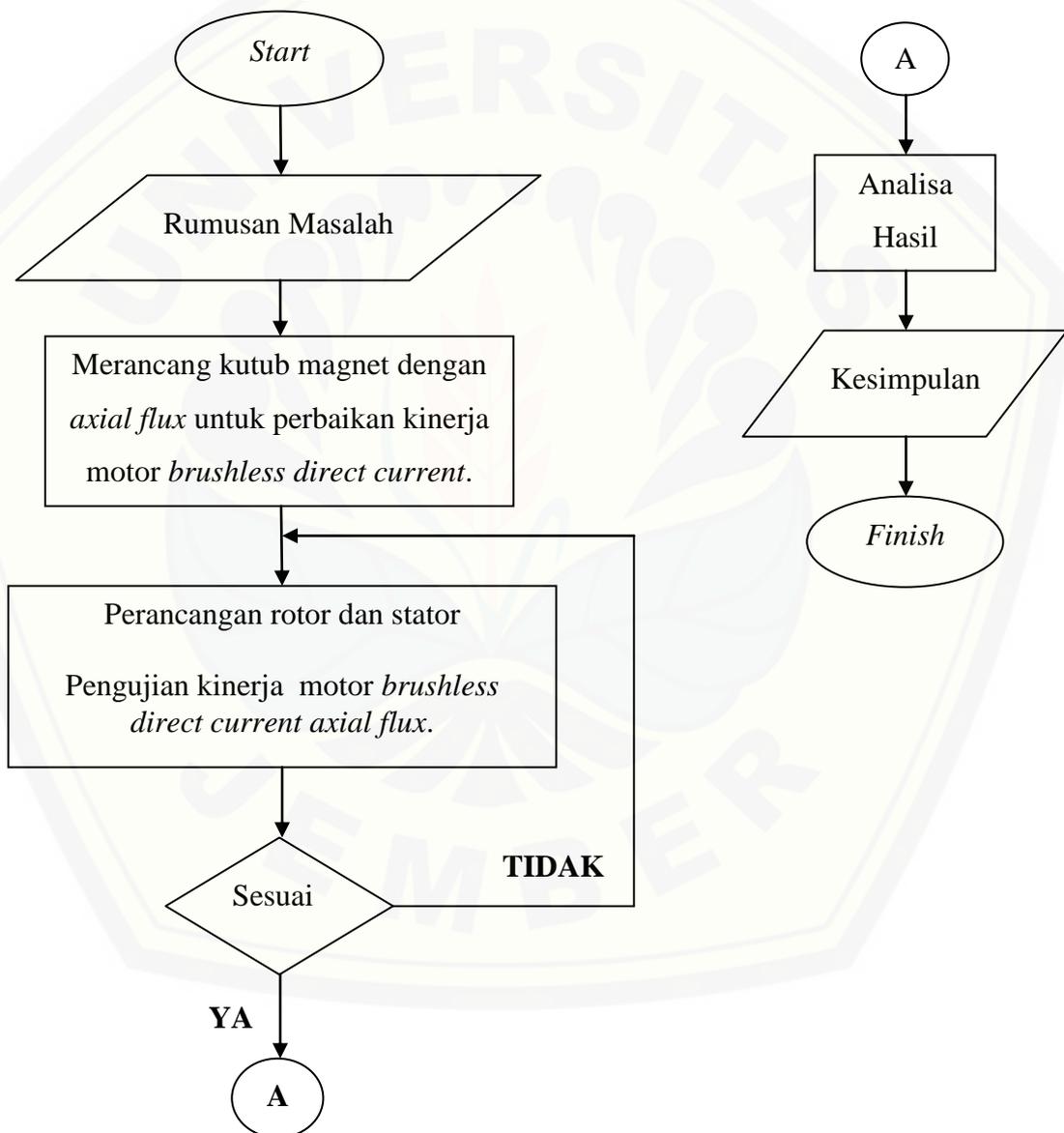
3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pada penelitian yang dilakukan pada perancangan dan pengujian motor *brushless direct current axial flux* adalah:

1. Menentukan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Menentukan spesifikasi motor *brushless direct current axial flux* yang terdiri dari kawat *email* yang berdiameter 0,3 mm, lilitan kawat *email* sebanyak 100,

200 dan 300 lilitan, diameter dan tebal magnet sebesar 10 x 2 mm serta diameter rotor sebesar 5 cm.

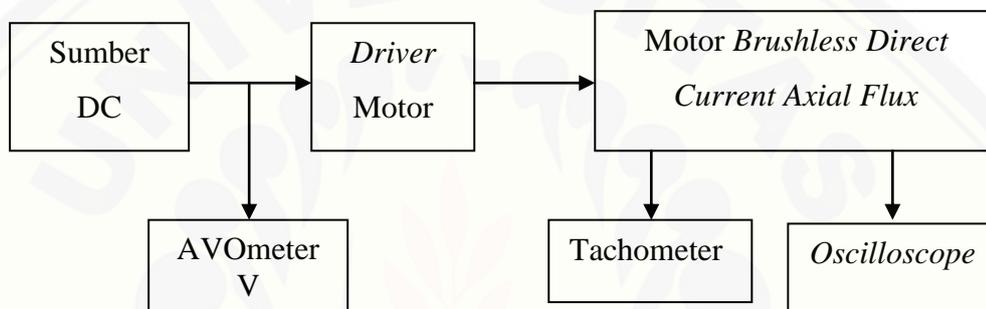
3. Merancang motor *brushless direct current axial flux*.
4. Untuk pengujian motor dan pengambilan data dapat dilakukan saat pengujian motor.
5. Hasil data yang diperoleh saat pengujian dapat dibahas dalam pembahasan sekaligus dapat menganalisa untuk membuat kesimpulan dari motor tersebut.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.3 Blok Diagram dan Perancangan Sistem

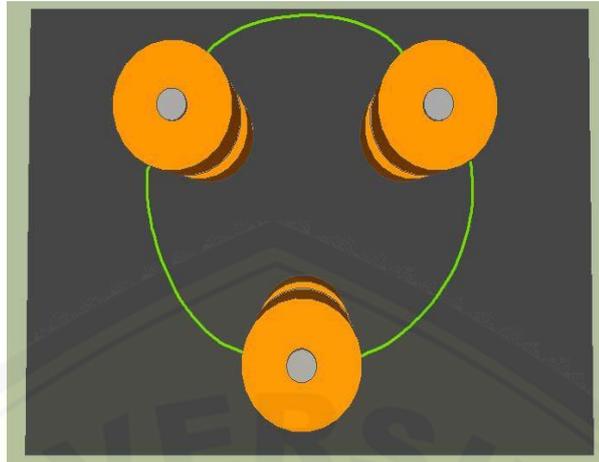
Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram seperti dibawah. Sumber yang digunakan adalah sumber DC yang berasal dari *power supply*. Pada motor *brushless direct current axial flux* menggunakan 6 magnet permanen yang diletakkan ditengah – tengah rotor. Untuk stator, digunakan stator ganda yaitu pada bagian atas dan bagian bawah. Pengujian pada motor *brushless direct current axial flux* ini untuk mengetahui kecepatan, daya dan torsi.



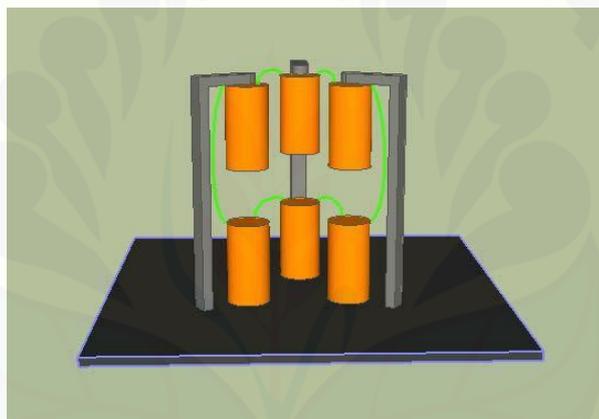
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

3.4 Desain Alat Kutub Magnet Dengan *Axial Flux* Untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current*

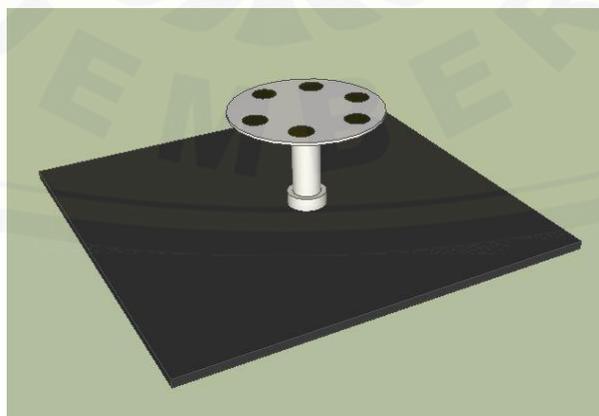
Perancangan motor *brushless direct current axial flux* ini memiliki stator ganda. Motor ini menggunakan tegangan sebesar 6 sampai 15 *volt*. Dibawah ini adalah desain motor *brushless direct current axial flux* tampak atas, tampak bawah dan tampak samping :



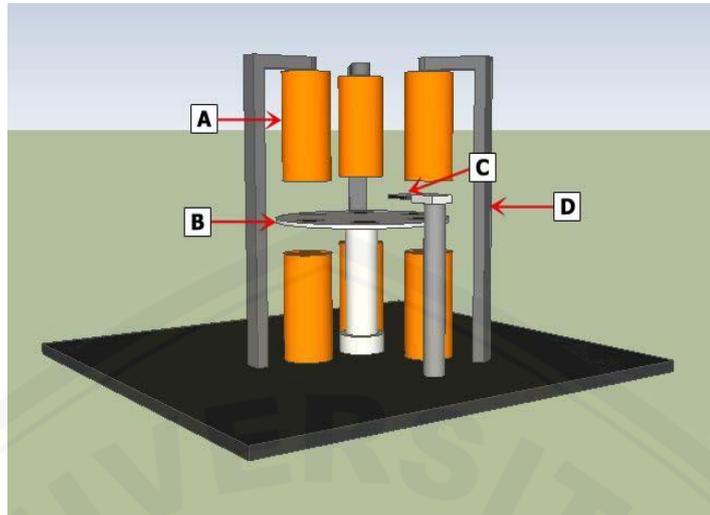
Gambar 3.3 Perancangan Motor *Brushless Direct Current Axial Flux*
Tampak Atas dan Tampak Bawah



Gambar 3.4 Perancangan Motor *Brushless Direct Current Axial Flux* Tampak
Samping



Gambar 3.5 Perancangan Rotor Motor *Brushless Direct Current Axial*
Flux



Gambar 3.6 Rancang Keseluruhan Dari Stator dan Rotor

Keterangan :

A : Stator

B : Rotor

C : *Hall Effect* Sensor

D : Baut

3.5 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 piringan atau lingkaran. Bahan yang digunakan untuk membuat rotor adalah akrilik. Rotor ini memiliki diameter sebesar 5 cm. Setelah rotor dibuat berbentuk piringan atau lingkaran, maka rotor tersebut dilubangi sebanyak 6 untuk menempatkan magnet. Magnet yang digunakan pada rotor ini adalah magnet *neodymium*. Magnet tersebut diletakan di tengah-tengah akrilik.

b. Pembuatan Lilitan

Pada alat ini menggunakan stator sebanyak 6, dimana lilitan yang dipakai yaitu 100, 200 dan 300 lilitan. Kawat *email* yang digunakan untuk lilitan ini adalah kawat *email* yang berdiameter 0,3 mm. Kumparan atau stator diletakkan diatas dan dibawah.

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 3. Kedua, pemasangan rotor yang diletakkan ditengah-tengah poros. Bahan yang digunakan untuk poros tersebut adalah baut. Terakhir yaitu pemasangan stator bagian atas. Pemasangan Stator bagian atas dan bawah yang berjumlah 3 dihubungkan secara seri dengan kumparan 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.

3.6 Pengujian Motor *Brushless Direct Current Axial Flux*

3.6.1 Pengukuran Tahanan Pada Stator Motor

Pengukuran tahanan stator pada motor dilakukan pada saat motor dalam keadaan diam dan belum diberi sumber tegangan. Cara untuk mengukur tahanan pada motor *brushless direct current axial flux* ini adalah 2 ujung kawat pada belitan stator yaitu ujung belitan pertama adalah positif dan ujung belitan terakhir adalah negatif dihubungkan langsung pada AVOMeter (Ω). Sehingga dapat dilihat nilai tahanan stator pada motor di AVOMeter.

3.6.2 Memberikan Tegangan Pada Motor.

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

3.6.3 Perhitungan

a. Menghitung daya pada motor *brushless direct current axial flux*.

Untuk mencari daya pada motor *brushless direct current axial flux* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = R \times I_a^2 \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

P = Daya yang dihasilkan motor (*Watt*)

R = Hambatan (Ω)

I_a = Arus (A)

b.. Menghitung kecepatan pada motor *brushless direct current axial flux*.

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

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan :

N_s = Kecepatan motor (rpm)

p = Jumlah kutub

f = Frekuensi (Hz)

c. Menghitung torsi pada motor *brushless direct current axial flux*.

Pada perancangan motor *brushless direct current axial flux*, untuk mendapatkan torsi maka harus mengetahui nilai hambatan, arus, kecepatan motor dan jumlah kutub pada motor ini, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan :

T = Torsi motor (Nm)

p = Jumlah kutub

N_s = Kecepatan motor (rpm)

R = Hambatan (Ω)

I_a = Arus (A)

BAB 5. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian motor *brushless direct current axial flux* dapat diambil kesimpulan dan saran yang dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian Rancang Bangun Kutub Magnet Dengan *Axial Flux* Untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current*, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perancangan motor *brushless direct current axial flux* menggunakan sensor *hall effect* yang memiliki ketelitian dalam membaca kutub karena sensor *hall effect* disini berfungsi mendeteksi adanya medan magnet dan menggunakan stator ganda yang dapat mempengaruhi nilai torsi yang semakin besar.
2. Pada pengujian pengaruh banyaknya lilitan terhadap kecepatan yang dihasilkan memiliki hubungan berbanding terbalik. Hal ini dipengaruhi oleh arus yang semakin menurun. Semakin banyak lilitan yang digunakan maka semakin kecil kecepatan yang dihasilkan oleh rotor motor tersebut. Diketahui saat tegangan *input* sebesar 15 volt dengan 100 lilitan didapatkan kecepatan sebesar 3500 rpm, saat tegangan *input* sebesar 15 volt dengan 200 lilitan didapatkan kecepatan sebesar 3460 rpm dan saat tegangan *input* sebesar 15 volt dengan 300 lilitan didapatkan kecepatan sebesar 3280 rpm.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian mengenai Rancang Bangun Kutub Magnet Dengan *Axial Flux* Untuk Perbaikan Kinerja Motor *Brushless Direct Current*, berikut saran penulis untuk pengembangan alat selanjutnya sebagai berikut:

1. Pada perancangan motor *brushless direct current axial flux* ini perlu diperhatikan dalam segi mekanik yaitu pemasangan jarak *air gap* antara rotor dan stator serta pemasangan poros yang kuat agar saat motor berputar poros tidak goyang.
2. Pada motor *brushless direct current axial flux* peletakan jarak magnet harus diperhatikan dengan baik.

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.*
- Pamungkas, T V. 2018. Pengaruh Jarak Optimum Antara Magnet Dengan Kutub Pada Motor *Brushless Direct Current Axial Flux*. Universitas Jember. Jember
- Shiddiq, A. 2012. Rancang Bangun Prototipe Sistem Aktuator Kendali Sirip Menggunakan *Brushless DC* Motor. Universitas Indonesia : Depok.
- 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.

Xia, Chang-liang.(2012). *Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives And Controls*. China. John Wiley & Sons Singapore.

Zuhal. (1991). *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung : ITB Press.



LAMPIRAN

A. Perhitungan

➤ Lilitan 100 (R = 10,7 Ω)

1. Pengujian Saat Tegangan *Input 6 Volt*

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 10,7 \times 0,24^2 = 0,6163 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1,0,24 \cdot 100}{2,0,013} = 923,076 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 923,076 \times 0,000019625 = 1,81 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 70}{6} = 1400 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{10,7 \times 0,24^2}{1400} = 0,0088 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan
- Error*
- Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1400 - 1392}{1400} \times 100 = 0,571 \%$$

2. Pengujian Saat Tegangan *Input 8 Volt*

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 10,7 \times 0,32^2 = 1,0956 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1.0,32 \cdot 100}{2.0,013} = 1230,769 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1230,769 \times 0,000019625 = 2,41 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 101}{6} = 2020 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{10,7 \times 0,32^2}{2020} = 0,0108 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2020 - 2032}{2020} \times 100 = 0,594\%$$

3. Pengujian Saat Tegangan *Input* 10 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 10,7 \times 0,38^2 = 1,5450 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Madan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1.0,38 \cdot 100}{2.0,013} = 1461,5384 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1461,5384 \times 0,000019625 = 2,86 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 123}{6} = 2460 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{10,7 \times 0,38^2}{2460} = 0,0125 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2460-2446}{2460} \times 100 = 0,56\%$$

4. Pengujian Saat Tegangan *Input* 12 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 10,7 \times 0,44^2 = 2,0715 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,44 \cdot 100}{2 \cdot 0,013} = 1692,307 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1692,307 \times 0,000019625 = 3,32 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 146}{6} = 2920 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{10,7 \times 0,44^2}{2920} = 0,0141 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2920-2943}{2920} \times 100 = 0,787\%$$

5. Pengujian Saat Tegangan *Input* 14 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 10,7 \times 0,51^2 = 2,7830 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,51 \cdot 100}{2 \cdot 0,013} = 1961,538 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1961,538 \times 0,000019625 = 3,84 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 165}{6} = 3300 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{10,7 \times 0,51^2}{3300} = 0,0185 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{3300-3311}{3300} \times 100 = 0,333\%$$

➤ **Lilitan 200 (R = 14,7 Ω)**

1. Pengujian Saat Tegangan *Input* 6 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 14,7 \times 0,19^2 = 0,530 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,19 \cdot 200}{2 \cdot 0,013} = 1461,56 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1461,56 \times 0,000019625 = 2,86 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 53}{6} = 1060 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{14,7 \times 0,19^2}{1060} = 0,0100 \text{ Nm}$$

- g. 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 8 Volt*

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 14,7 \times 0,25^2 = 0,918 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,25 \cdot 200}{2 \cdot 0,013} = 1923,076 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1923,076 \times 0,000019625 = 3,77 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 67}{6} = 1620 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{14,7 \times 0,25^2}{1620} = 0,0113 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1620-1625}{1620} \times 100 = 0,308\%$$

3. Pengujian Saat Tegangan *Input 10 Volt*

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 14,7 \times 0,33^2 = 1,600 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1. 0,33. 200}{2. 0,013} = 2538,46 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 2538,46 \times 0,000019625 = 4,98 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120.108}{6} = 2160 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{14,7 \times 0,33^2}{2160} = 0,0148 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2160 - 2157}{2160} \times 100 = 0,138\%$$

4. Pengujian Saat Tegangan *Input* 12 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 14,7 \times 0,39^2 = 2,235 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1. 0,39. 200}{2. 0,013} = 3000 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 3000 \times 0,000019625 = 5,88 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120. 139}{6} = 2780 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{14,7 \times 0,39^2}{2780} = 0,0160 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2780 - 2787}{2780} \times 100 = 0,251\%$$

5. Pengujian Saat Tegangan *Input* 14 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 14,7 \times 0,44^2 = 2,845 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,44 \cdot 200}{2 \cdot 0,013} = 3384,62 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 3076,923 \times 0,000019625 = 6,64 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 163}{6} = 3260 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{14,7 \times 0,44^2}{3260} = 0,0174 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{3260 - 3236}{3260} \times 100 = 0,736\%$$

➤ Lilitan 300 (R = 24,5 Ω)

1. Pengujian Saat Tegangan *Input* 6 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 24,5 \times 0,16^2 = 0,627 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,16 \cdot 300}{2 \cdot 0,013} = 1846,153 \text{ T}$$

- d. Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi = B \times A = 1846,153 \times 0,000019625 = 3,62 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{24,5 \times 0,16^2}{1000} = 0,0125 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1000 - 1046}{1000} \times 100 = 4,6\%$$

2. Pengujian Saat Tegangan *Input* 8 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 24,5 \times 0,22^2 = 1,185 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,22 \cdot 300}{2 \cdot 0,013} = 2538,461 \text{ T}$$

- d. Perhitungan *Flux* Magnet

$$\Phi = B \times A = 2538,461 \times 0,000019625 = 4,98 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 78}{6} = 1560 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{24,5 \times 0,22^2}{1560} = 0,0152 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{1560 - 1527}{1560} \times 100 = 2,115\%$$

3. Pengujian Saat Tegangan *Input 10 Volt*

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 24,5 \times 0,26^2 = 1,656 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,26 \cdot 300}{2 \cdot 0,013} = 3000 \text{ T}$$

- d. Perhitungan *Flux* Magnet

$$\Phi = B \times A = 3000 \times 0,000019625 = 5,88 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 104}{6} = 2080 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{24,5 \times 0,26^2}{2080} = 0,0159 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2080 - 2056}{2080} \times 100 = 1,153\%$$

4. Pengujian Saat Tegangan *Input 12 Volt*

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 24,5 \times 0,31^2 = 2,354 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,31 \cdot 300}{2 \cdot 0,013} = 3576,923 \text{ T}$$

- d. Perhitungan *Flux* Magnet

$$\Phi = B \times A = 3576,923 \times 0,000019625 = 7,01 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 133}{6} = 2660 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{24,5 \times 0,31^2}{2660} = 0,0177 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{2660 - 2620}{2660} \times 100 = 1,503\%$$

5. Pengujian Saat Tegangan *Input* 14 Volt

- a. Perhitungan Daya Pada Motor

$$P = R \times I_a^2 = 24,5 \times 0,34^2 = 2,832 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan Luas Penampang

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

- c. Perhitungan Kuat Medan

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_a \cdot N}{2\ell} = \frac{1 \cdot 0,34 \cdot 300}{2 \cdot 0,013} = 3923,076 \text{ T}$$

- d. Perhitungan *Flux* Magnet

$$\Phi = B \times A = 3923,076 \times 0,000019625 = 7,69 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

- e. Perhitungan Kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 157}{6} = 3140 \text{ rpm}$$

- f. Perhitungan Torsi

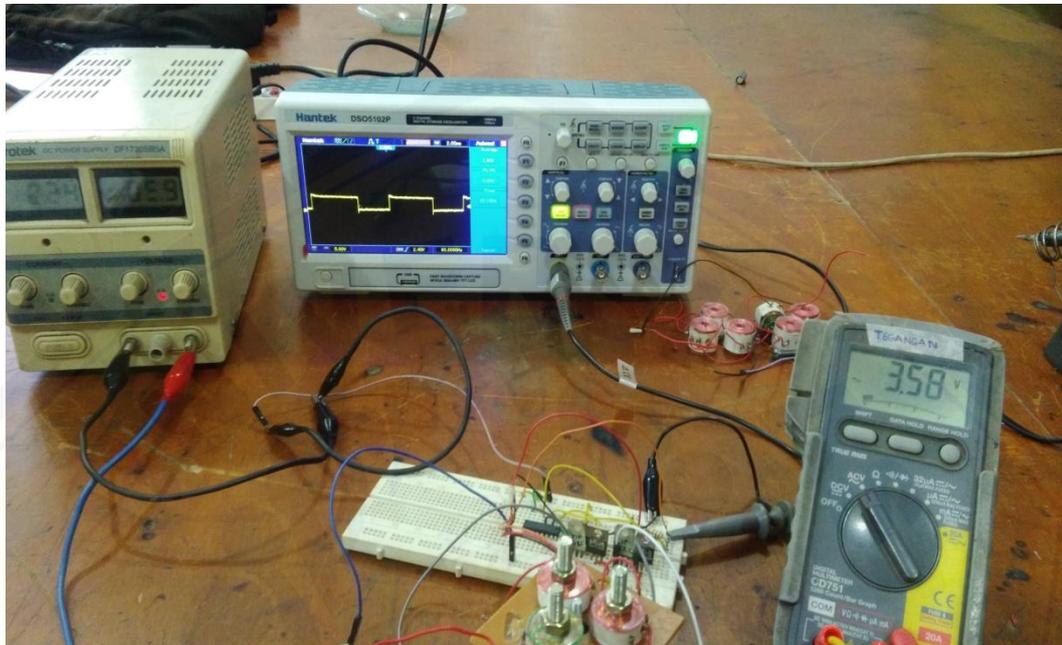
$$T = \frac{120}{p} \times \frac{R \times I_a^2}{N_s} = \frac{120}{6} \times \frac{24,5 \times 0,34^2}{3140} = 0,0180 \text{ Nm}$$

- g. Perhitungan *Error* Persen

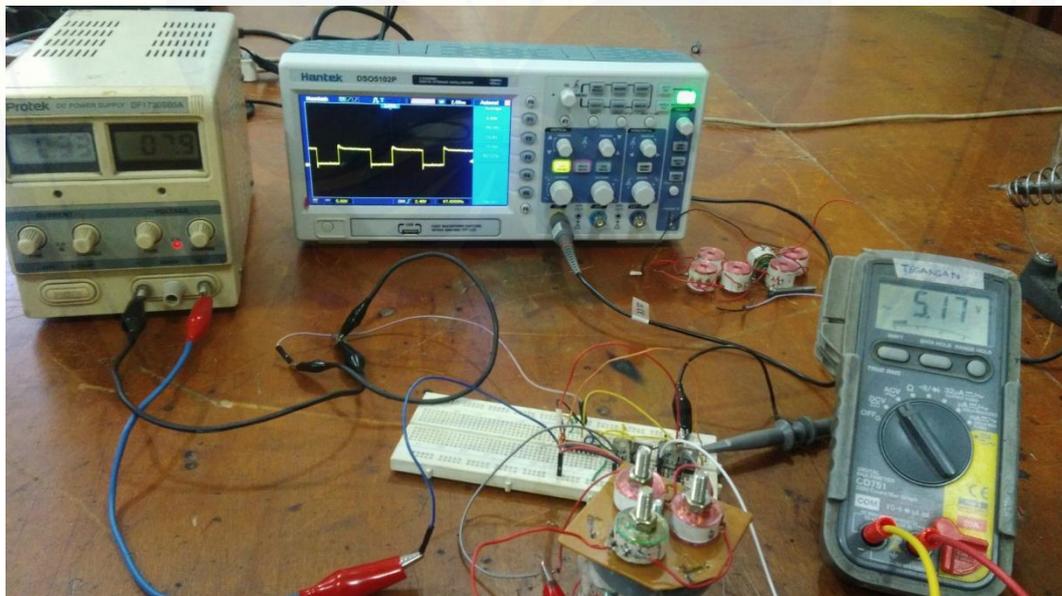
$$E\% = \frac{H_t - H_p}{H_t} \times 100 = \frac{3140 - 3135}{3140} \times 100 = 0,159\%$$

B. Dokumentasi

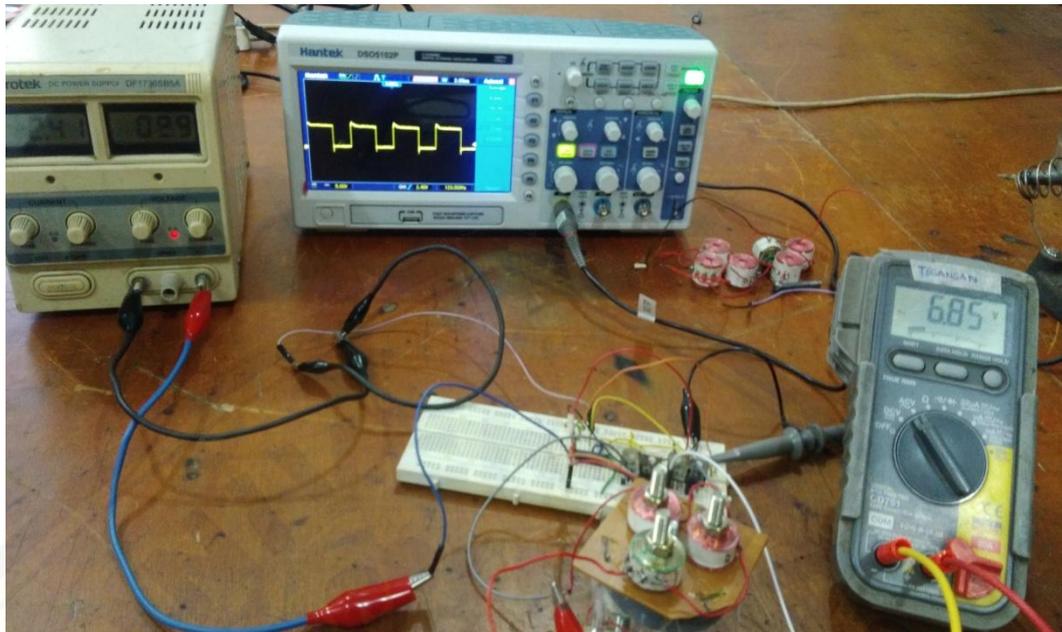
➤ Lilitan 100



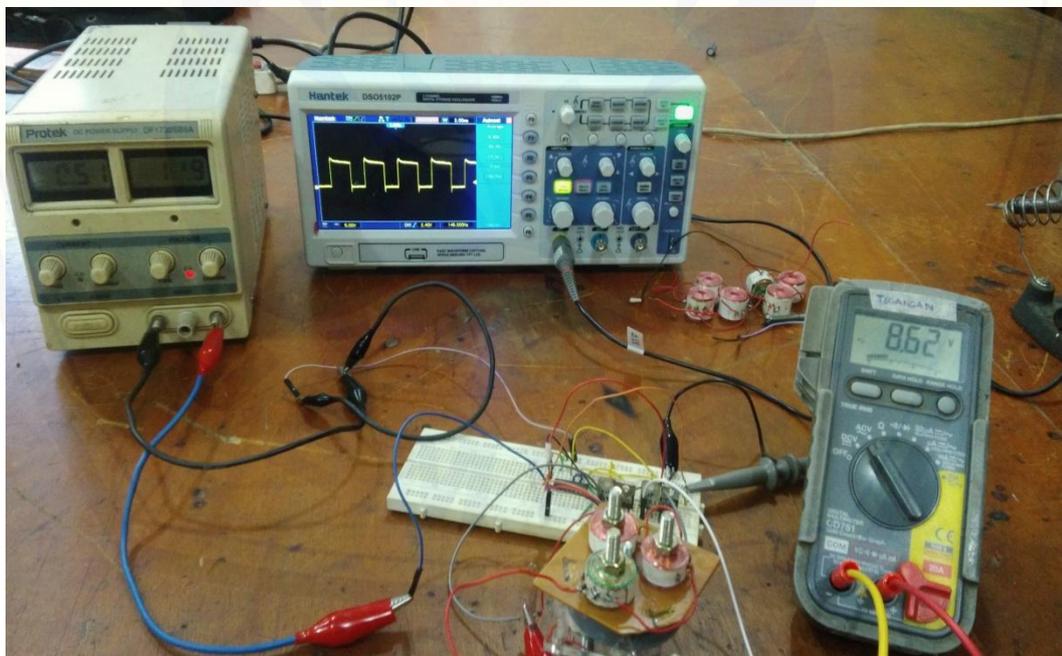
Gambar 1. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 6 Volt Dengan 100 Lilitan



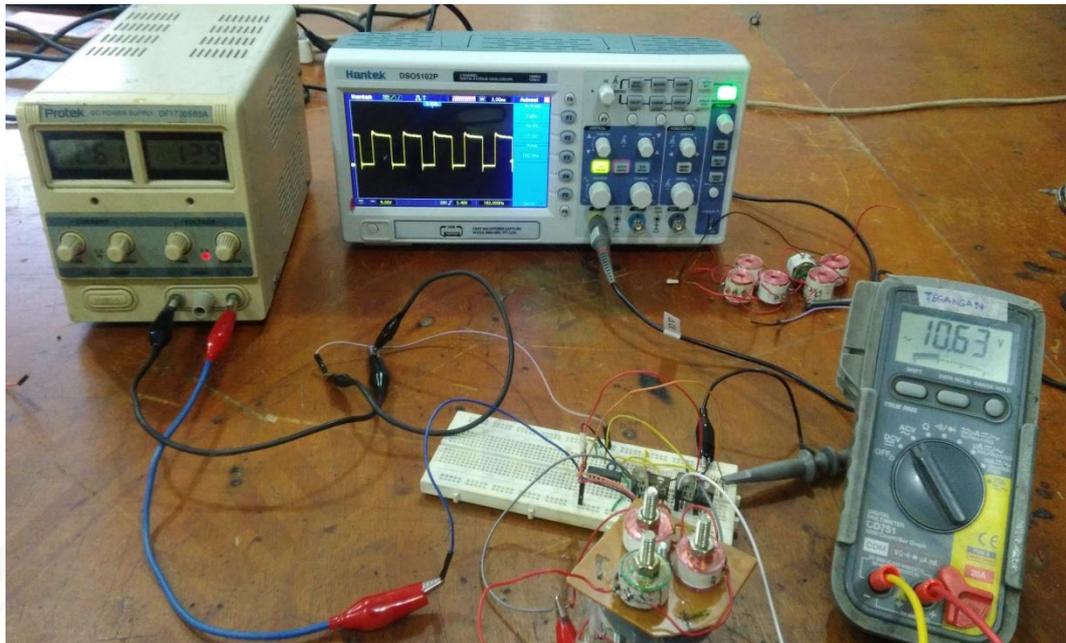
Gambar 2. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 8 Volt Dengan 100 Lilitan



Gambar 3. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 10 Volt Dengan 100 Lilitan

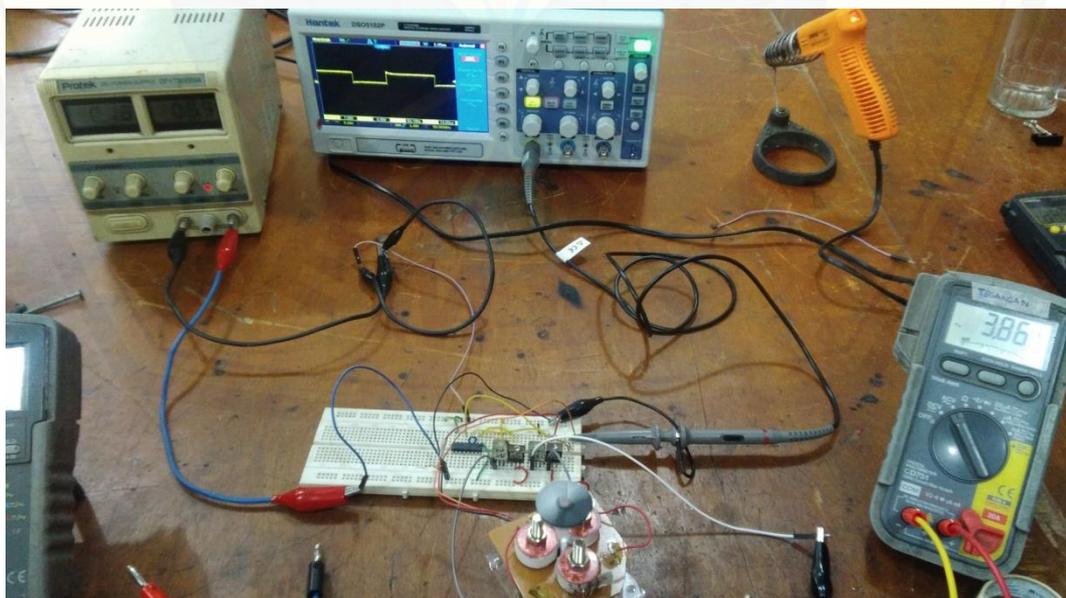


Gambar 4. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 12 Volt Dengan 100 Lilitan

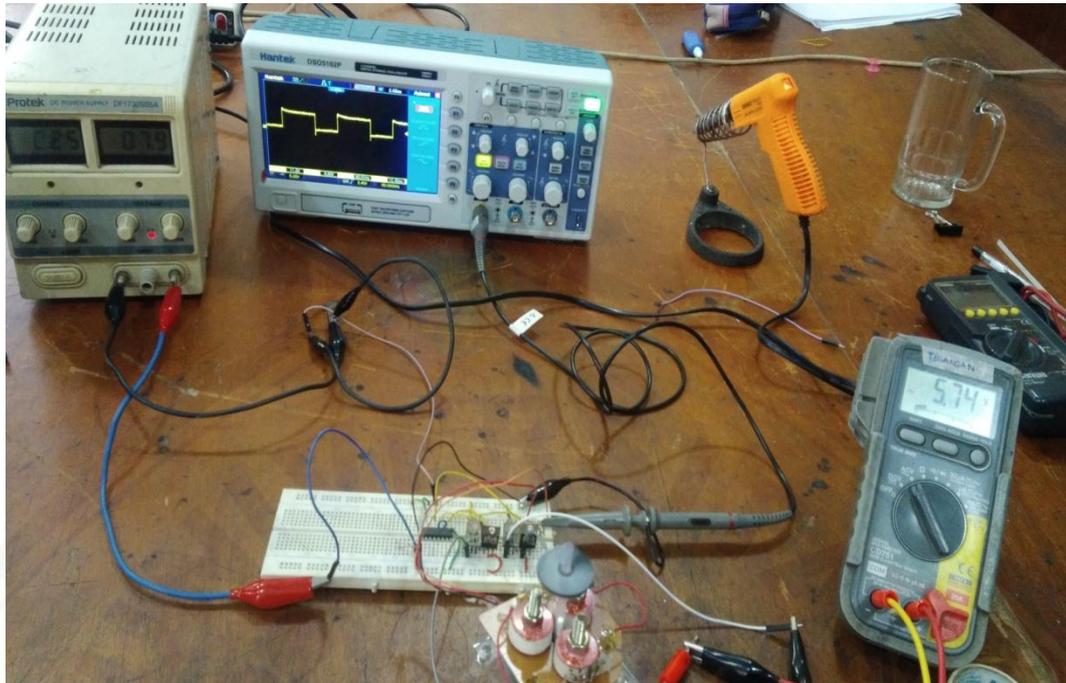


Gambar 5. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 14 Volt Dengan 100 Lilitan

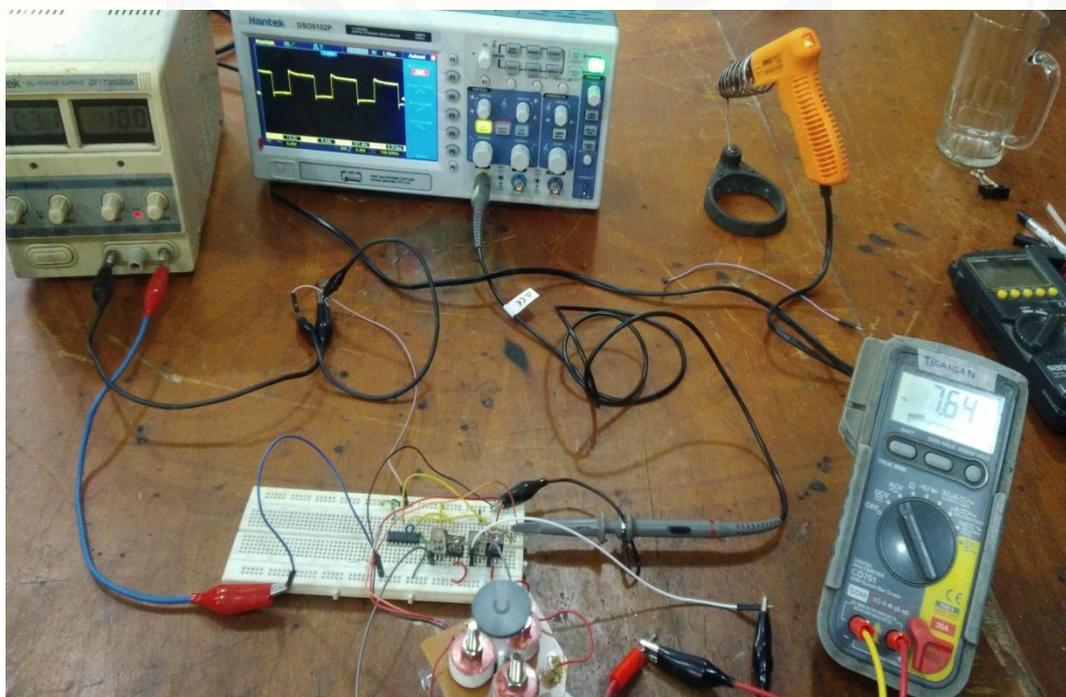
➤ Lilitan 200



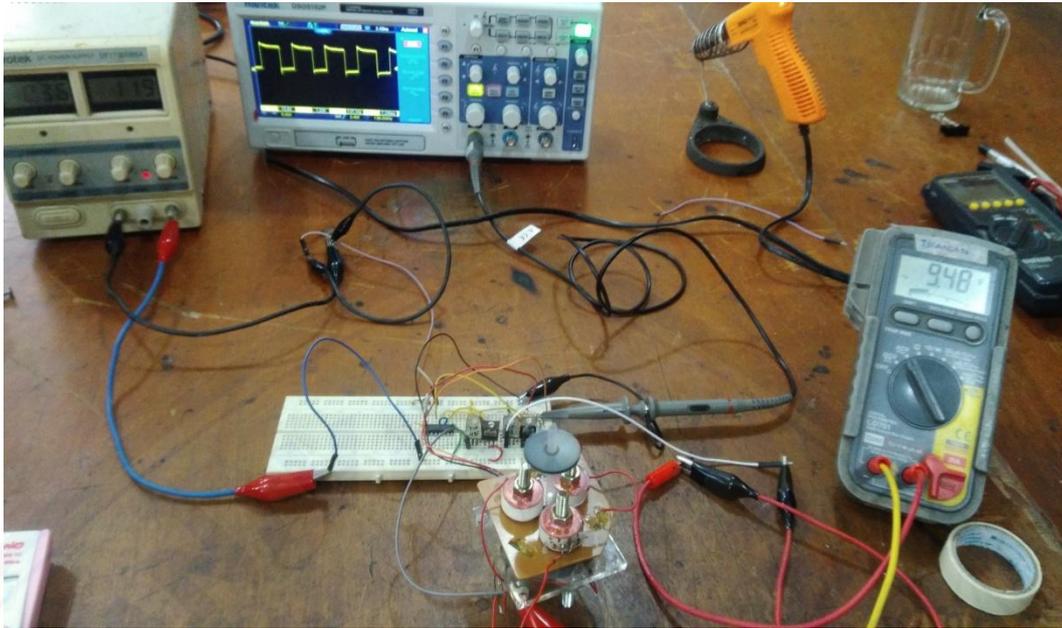
Gambar 6. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 6 Volt Dengan 200 Lilitan



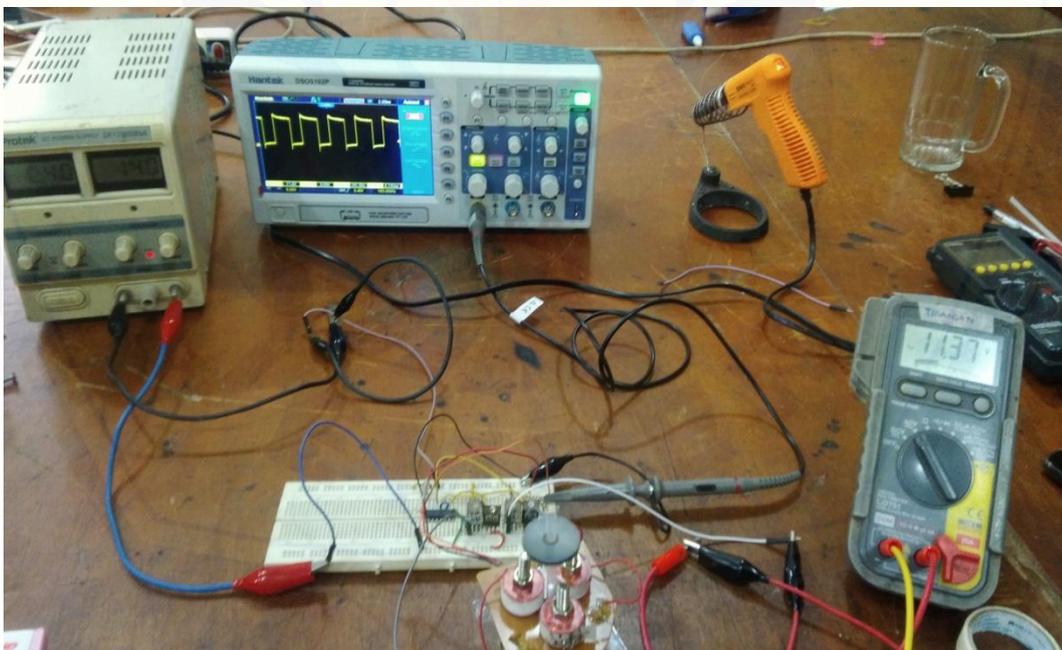
Gambar 7. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 8 Volt Dengan 200 Lilita



Gambar 8. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 10 Volt Dengan 200 Lilitan



Gambar 9. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 12 Volt Dengan 200 Lilitan

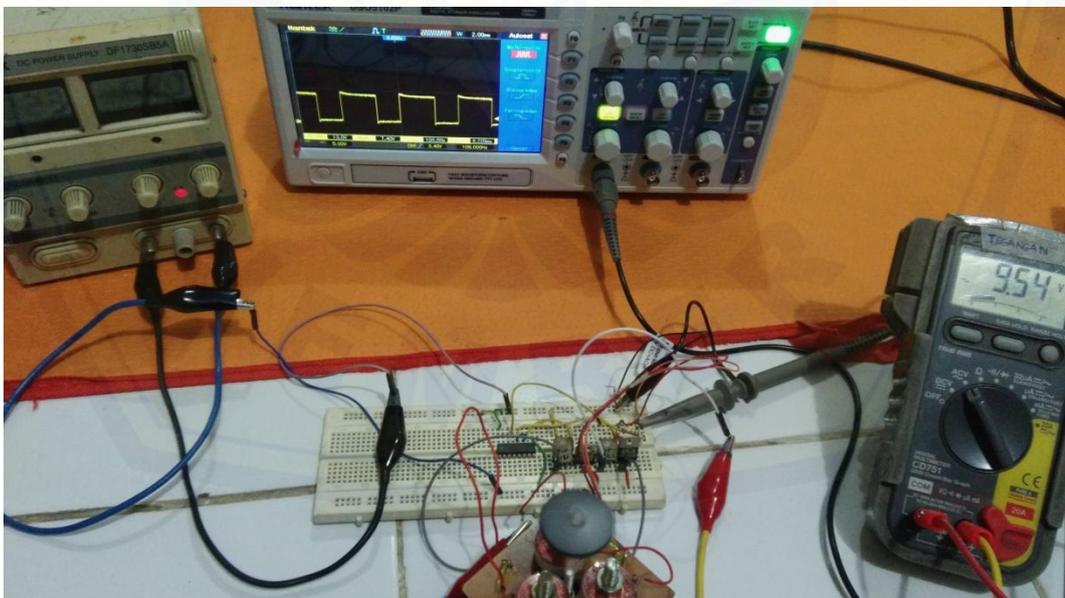


Gambar 10. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 14 Volt Dengan 200 Lilitan

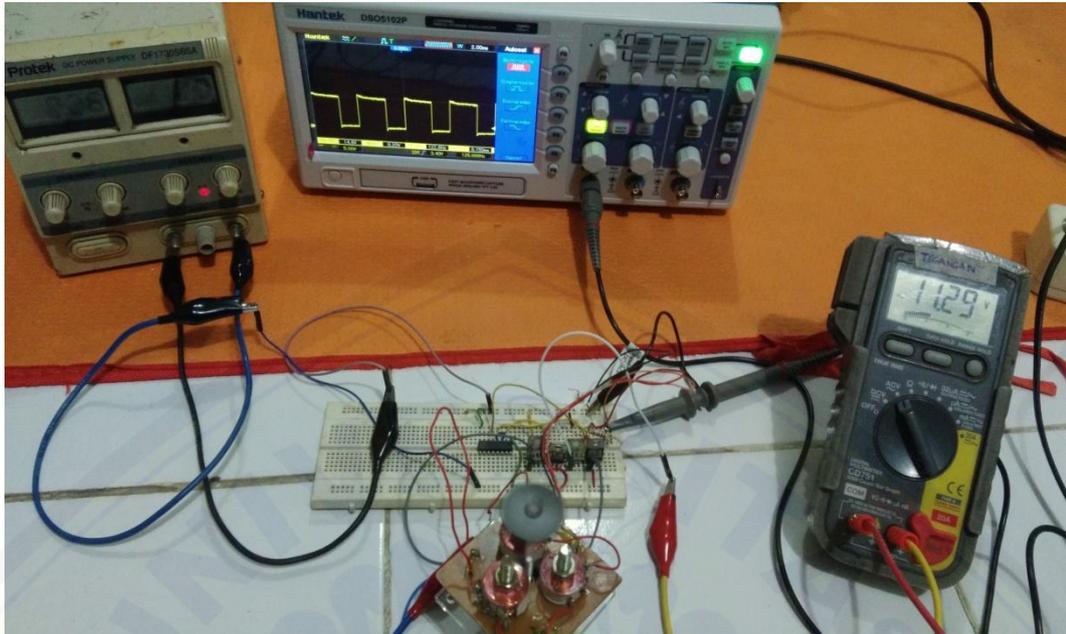
➤ Lilitan 300



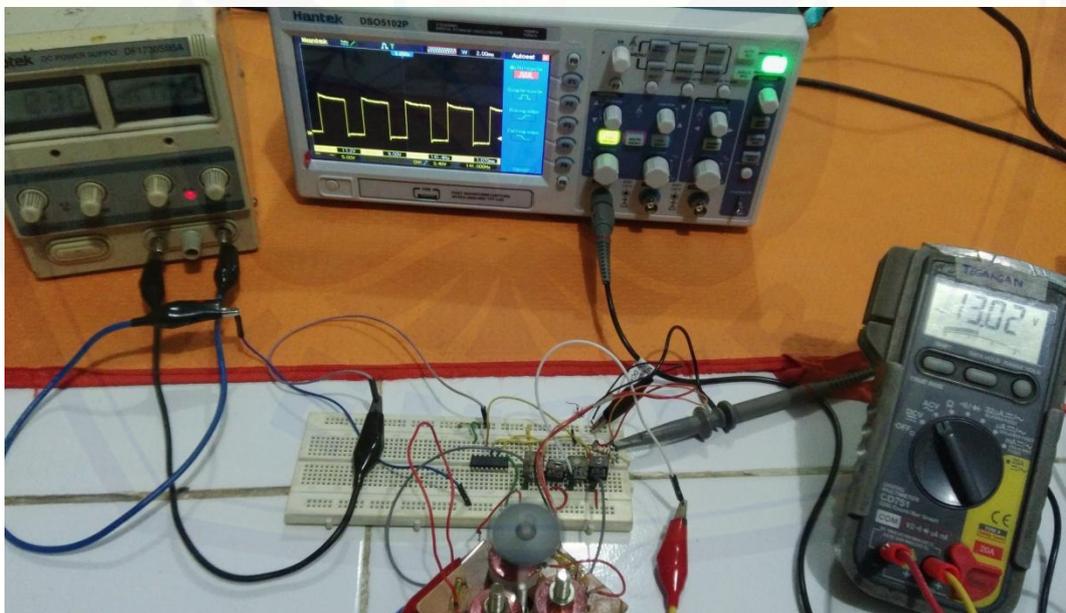
Gambar 11. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 6 Volt Dengan 300 Lilitan



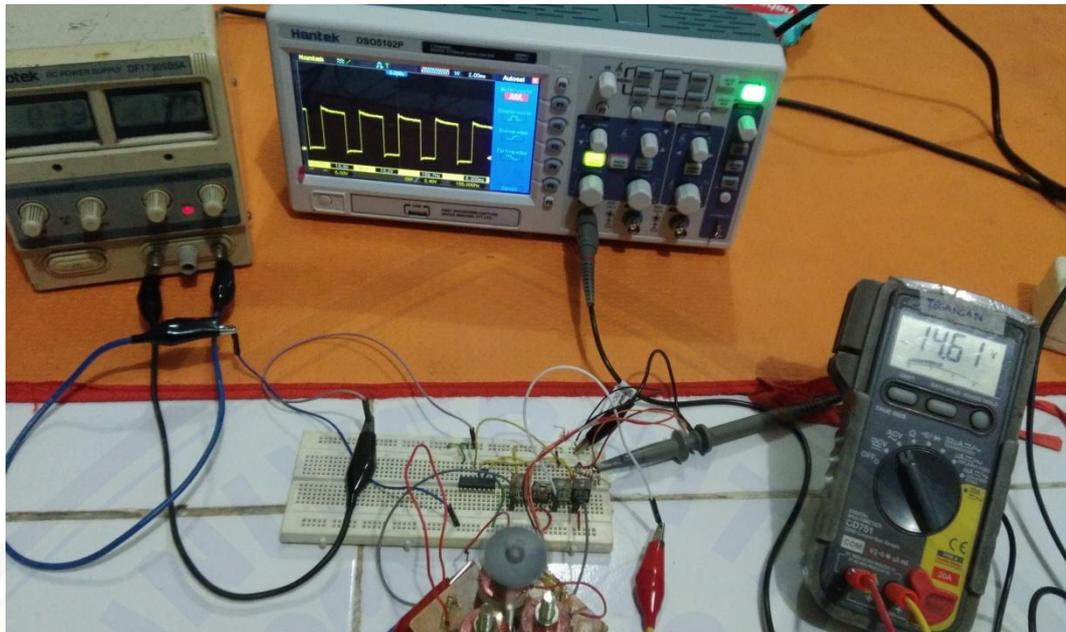
Gambar 12. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 8 Volt Dengan 300 Lilitan



Gambar 13. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 10 Volt Dengan 300 Lilitan



Gambar 14. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 12 Volt Dengan 300 Lilitan



Gambar 15. Pengukuran Tegangan *Output*, Arus dan Frekuensi Pada Tegangan *Input* 14 Volt Dengan 300 Lilitan