



**RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA**

**SKRIPSI**

**oleh**

**Aditya Rizky Kurniawan  
NIM 121910201067**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**



**RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA**

**SKRIPSI**

**diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

**oleh**

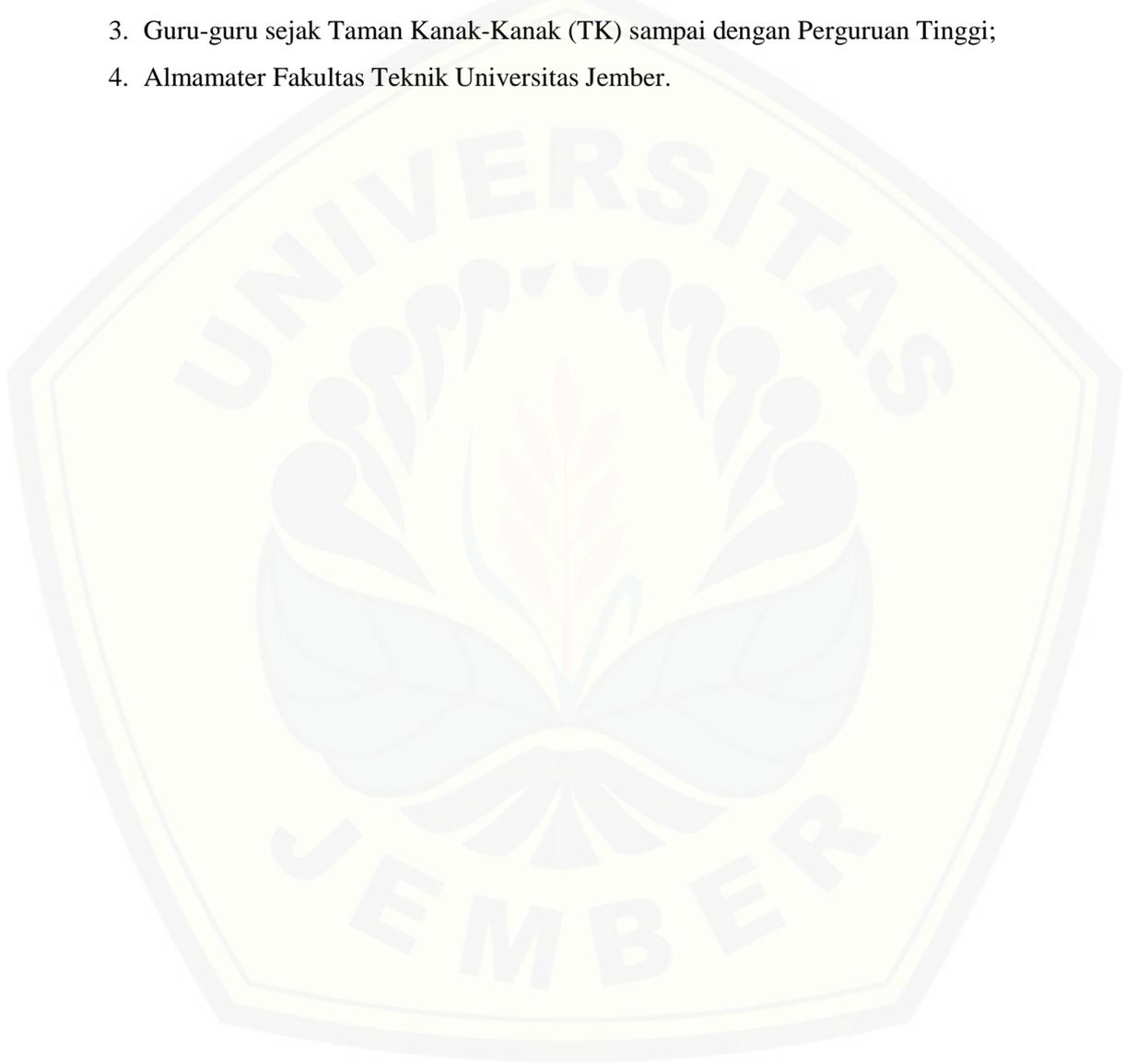
**Aditya Rizky Kurniawan  
NIM 121910201067**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu Nani Sugiarti dan Bapak Sutarman yang tersayang;
2. Adik Bagus Aji Prasetyo dan Bachtyar Rizky Kurniawan yang tersayang;
3. Guru-guru sejak Taman Kanak-Kanak (TK) sampai dengan Perguruan Tinggi;
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.



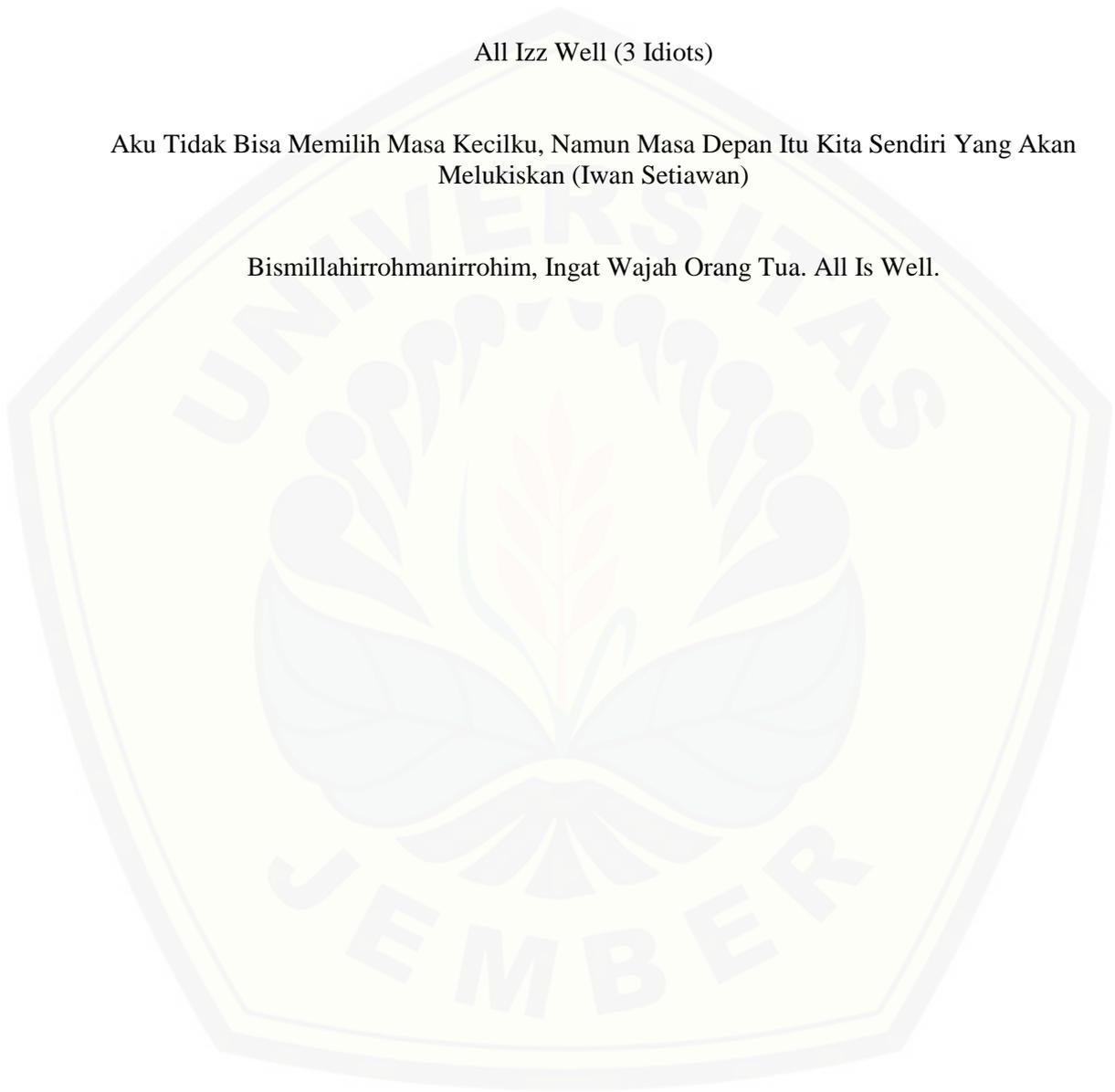
**MOTO**

*Jangan Pernah Mencampakkan Keluarga, Meskipun Kita Sering Dicapkan Oleh Mereka (Dominic Toretto)*

All Izz Well (3 Idiots)

Aku Tidak Bisa Memilih Masa Kecilku, Namun Masa Depan Itu Kita Sendiri Yang Akan Melukiskan (Iwan Setiawan)

Bismillahirrohmanirrohim, Ingat Wajah Orang Tua. All Is Well.



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aditya Rizky Kurniawan

NIM : 121910201067

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 06 Juni 2016

Yang menyatakan,

Aditya Rizky Kurniawan

NIM 121910201067

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA**

oleh

Aditya Rizky Kurniawan  
NIM 121910201067

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Bambang Supeno, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa ” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 01 September 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 19610414 198902 1 001

Bambang Supeno, S.T., M.T.  
NIP 19690630 199512 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M.  
NIP 196312011 99402 1 002

H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.  
NIP 19690608 199903 1 002

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik,

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

NIP 19661215 199503 2 001

Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa

**Aditya Rizky Kurniawan**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

**ABSTRAK**

Kebutuhan akan motor yang memiliki efisiensi, torsi maupun kecepatan yang tinggi dan dapat divariasikan serta biaya perawatan yang rendah semakin meningkat. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan akan efisiensi tinggi, torsi yang tinggi, kecepatan yang tinggi serta dapat divariasikan dan biaya perawatan yang rendah maka digunakan motor motor searah tanpa sikat satu fasa, hal ini untuk mengetahui karakteristik motor searah tanpa sikat satu fasa dan membandingkan motor searah tanpa sikat satu fasa menggunakan enam magnet permanen serta lima kumparan yang memiliki ketebalan kawat *email* yang berbeda. Pada pengukuran kecepatan didapatkan kecepatan tertinggi pada motor motor 1 sebesar 2920 Rpm dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatannya 0,0504 T, untuk motor 2 kecepatan tertinggi sebesar 3296 Rpm dengan frekuensi 170 Hz dan kerapatannya sebesar 0,0591 T sedangkan pada motor 3 sebesar 4045 Rpm dengan frekuensi 210 Hz dan kerapatannya sebesar 0,0607 T. Semakin tebal diameter kawat yang digunakan maka semakin besar frekuensi, kecepatan dan kerapatan yang dihasilkan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat *error percent* terbesar pada motor 1 yaitu 4,8 % pada pengujian tegangan 18 volt, *error percent* terbesar pada motor 2 yaitu 6,4 % pada tegangan 18 volt, serta *error percent* terbesar pada motor 3 yaitu sebesar 6,3 % pada tegangan 18 volt.

**Kata kunci:** Motor searah tanpa sikat satu fasa, Kawat *email*

*Design of Sing-phase Motor Brushless Direct Current*

**Aditya Rizky Kurniawan**

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember*

**ABSTRACT**

*The need of engine that has efficiency , torque or the power system that has high speed, it can be varied and the lower cost treatment increases. Hence, in order to fulfill the need of high efficiency, high torque, high speed and it can be varied and also the lower cost treatment so the brushless DC motor (BLDCM) with single-phase BLDC is needed. It aims to know the characteristic of single-phase BLDC and compare to single-phase BLDC using six permanent magnets and five spools that has a wire thickness different email. In the measuring speed, it can be reached the highest speed in the engine as follows: engine 1 as big as 2920 Rpm with frequency 150 Hz and it density 0,0504 T, the highest speed for engine 2 can be reached as big as 0,0591 T meanwhile the highest speed for engine 3 is as big as 4045 Rpm with frequency 210 Hz and it density as big as 0,0607 T. The more thickness of the wire diameter that be used, so the frequency is increasingly bigger, speed and density that is produced. The research shows the biggest error percent for engine 1 is 4,8% in the first strains trial 18 volt, the biggest error percent in engine 2 is 6,4 % in strains 18 volt, and also the biggest error percent in engine 3 is 6,3 % in strains 18 volt.*

**Keywords:** *Motor single-phase Brushless direct current,*

## RINGKASAN

**Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa;** Aditya Rizky Kurniawan, 121910201067; 2016: 59 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Seiring berkembangnya zaman, kebutuhan akan motor yang memiliki efisiensi, torsi maupun kecepatan yang tinggi dan dapat divariasikan serta biaya perawatan yang rendah semakin meningkat. Hanya saja motor yang digunakan secara umum saat ini, yakni motor DC dan motor induksi, belum dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Motor DC memiliki efisiensi yang tinggi karena penggunaan tegangan DC pada rotor untuk menggerakkan motor tersebut. Hanya saja motor DC memiliki biaya perawatan yang tinggi. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan akan efisiensi tinggi, torsi yang tinggi, kecepatan yang tinggi serta dapat divariasikan dan biaya perawatan yang rendah maka digunakan motor *brushless DC motor* (BLDCM). BLDC memiliki stator yang terbuat dari kumparan dan rotor terbuat dari magnet permanen. Motor jenis ini menggunakan sumber tegangan DC sebagai sumber utama. Agar motor BLDC dapat bekerja, diperlukan adanya medan magnet putar stator.

Pada penelitian kali ini dilakukan perancangan *single-phase* BLDC untuk mengetahui karakteristik *single-phase* BLDC dan membandingkan *single-phase* BLDC menggunakan enam magnet permanen serta lima kumparan yang memiliki ketebalan kawat *email* yang berbeda. Rotor pada motor ini menggunakan tipe *in runner*, tipe ini sangat mudah dalam segi mekhanik sedangkan pada stator terdapat sensor *reed switch* (sensor magnet). Sensor ini yang akan menentukan gerak dari rotor tersebut.

Pada pengujian *Single-phase Brushless Direct Current* dengan tegangan nominal 24 volt pada ke 3 motor tersebut. Dari hasil pengujian pada tegangan 24 volt dapat dilihat bahwa motor 1 mengalami drop tegangan sebesar 0,2 volt sedangkan pada motor 2 dan motor 3 tegangan cenderung stabil. Pada motor 1 tegangan pengukuran sebesar 23,8 volt dengan arus 0,31 A menghasilkan

kecepatan 2920 Rpm dengan frekuensi 150 Hz pada osiloskop . Pada motor 2 tegangan pengukuran sebesar 24volt dengan arus 0,26 A menghasilkan kecepatan 3296 Rpm dengan frekuensi 170 Hz pada osiloskop. Pada motor 3 tegangan pengukuran sebesar 24 volt dengan arus 0,17 A menghasilkan kecepatan 4045 Rpm dengan frekuensi 150 Hz pada osiloskop. Untuk kecepatan, frekuensi serta kerapatan nilainya berbanding lurus, semakin besar kerapatan yang di hasilkan maka semakin besar pula frekuensinya sehingga kecepatan akan juga semakin meningkat. Untuk pengujian *Single-phase Brushless Direct Current* dengan tegangan 22 volt pada semua motor dihasilkan pada tegangan 22 volt dapat dilihat bahwa motor 1, motor 2 dan motor 3 mengalami drop tegangan sebesar 0,1 volt. Pada motor 1 tegangan pengukuran sebesar 21,9 volt dengan arus 0,3 A menghasilkan kecepatan 2517 Rpm dengan frekuensi 130 Hz pada osiloskop . Pada motor 2 tegangan pengukuran sebesar 21,9 volt dengan arus 0,26 A menghasilkan kecepatan 3116 Rpm dengan frekuensi 160 Hz pada osiloskop. Pada motor 3 tegangan pengukuran sebesar 21,9 volt dengan arus 0,18 A menghasilkan kecepatan 3833 Rpm dengan frekuensi 200 Hz pada osiloskop.

Pengujian *Single-phase Brushless Direct Current* pada tegangan kerja minimal pada motor didapatkan hasil pengujian pada tegangan minimal pada setiap motort. Pada motor 1 tegangan pengukuran sebesar 12,2 volt dengan arus 0,34 A menghasilkan kecepatan 483 Rpm dengan frekuensi 25 Hz. Pada motor 2 tegangan pengukuran sebesar 9,8 volt dengan arus 0,26 A menghasilkan kecepatan 378 Rpm dengan frekuensi 20 Hz pada osiloskop. Pada motor 3 tegangan pengukuran sebesar 6,8 volt dengan arus 0,22 A menghasilkan kecepatan 286 Rpm dengan frekuensi 15 Hz pada osiloskop. Untuk kerapatan pada motor 1 sebesar 0,037 T, pada motor 2 kerapatannya sebesar 0,031 T dan untuk motor 3 kerapatan pengukuran sebesar 0,028. Semakin besar diameter kawat *email* maka semakin kecil tegangan minimum yang digunakan. Pada pengukuran kecepatan didapatkan kecepatan tertinggi pada motor motor 1 sebesar 2920 Rpm dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatannya 0,0504 T, untuk motor 2 kecepatan tertinggi sebesar 3296 Rpm dengan frekuensi 170 Hz dan kerapatannya sebesar 0,0591 T sedangkan pada mtor 3 sebesar 4045 Rpm dengan frekuensi 210

Hz dan kerapatannya sebesar 0,0607 T. Semakin tebal diameter kawat yang digunakan maka semakin besar frekuensi, kecepatan dan kerapatan yang dihasilkan.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat *error percent* terbesar pada motor 1 yaitu 4,8 % pada pengujian tegangan 18 volt untuk kecepatan, *error percent* terbesar pada motor 2 yaitu 6,4 % pada tegangan 18 volt untuk kecepatan, sedangkan *error percent* terbesar pada motor 3 yaitu sebesar 6,3 % pada tegangan 18 volt untuk kecepatan.



## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Penempatan *Distributed Generation* (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode *Genetic Algorithm* (GA) Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember”. 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. Tuhan Yang Maha ESA, karena dengan hidayah dan karunianya skripsi ini terselesaikan;
2. Ir. Widyono Hadi, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bambang Supeno, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
3. Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Penguji I, H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
4. Samsul Bachri M, S.T., M.M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Agung Prawira N, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
6. Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. selaku Kaprodi S1 selanjutnya yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
7. Ibu Nani Sugiarti dan Bapak Sutarman yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;
8. Teman-teman “NEKAT” Hasbullah dan Doni Kurniawan yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini.
9. Guru besar di Elektro’12 Hasbullah dan Agus Hariana yang telah membantu untuk terselesainya skripsi ini.
10. Teman-teman kontrakan D’Brantas 11 (12 *Engineer*+1 Guru) yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini.

11. Teman-teman Elektro'12 (SATE'UJ) yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini.
12. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro (HME), terima kasih telah memberikan proses dan pembelajaran.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, 27 Agustus 2016

Penulis



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN SAMPUL.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>v</b>
<b>PENGESAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>x</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 Manfaat .....</b>	<b>3</b>
<b>1.6 Sistematika Pembahasan .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. LANDASAN TEORI .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Motor .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Jenis-Jenis Motor .....	5
<b>2.2 Kuat Medan Magnet .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 EMF .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Kecepatan Motor .....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Solenoida .....</b>	<b>11</b>

2.6 Magnet Permanen .....	13
2.7 Transistor .....	13
2.8 Sensor Magnet ( <i>reed switch</i> ) .....	18
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	20
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.3 Tahapan Penelitian.....	21
3.4 Blok diagram dan perancangan sistem .....	23
3.5 Perancangan model <i>single-phase</i> BLDC .....	23
3.6 Perancangan Rotor motor listrik BLDC.....	24
3.7 Perancangan stator motor listrik BLDC.....	25
3.8 Perancangan <i>Driver Single-phase</i> BLDC .....	26
<b>BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Pengujian <i>Single-phase</i> BLDC pada Tegangan 24 volt .....	29
4.1.1 Pengujian <i>Single-phase</i> BLDC pada Tegangan 22 volt.....	30
4.1.2 Pengujian <i>Single-phase</i> BLDC pada Tegangan 20 volt.....	32
4.1.3 Pengujian <i>Single-phase</i> BLDC pada Tegangan 18 volt.....	33
4.1.4 Pengujian <i>Single-phase</i> BLDC pada Tegangan 16 volt.....	34
4.1.5 Pengujian <i>Single-phase</i> BLDC pada tegangan kerja minimal pada motor .....	36
4.2 Perhitungan Kecepatan dan Kerapatan Medan Magnet .....	36
4.3 Perbandingan Data Kecepatan Hasil Pengukuran dan Data Kecepatan Hasil Perhitungan.....	38
4.4 Perbandingan Data Kerapatan Medan Magnet Hasil Pengukuran dengan Data Kerapatan Medan Magnet dengan Hasil Perhitungan .....	40
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>42</b>
5.1 Kesimpulan .....	42
5.2 Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>44</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>45</b>

DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1 Kemampuan Hantar Arus Kawat Email berdasarkan American wire gauge ( AWG ).....</b>	<b>13</b>
<b>Tabel 4.1 Hasil Pengukuran pada tegangan 24 volt .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabel 4.2 Hasil Pengukuran pada tegangan 22 volt .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabel 4.3 Hasil Pengukuran pada tegangan 20 volt .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabel 4.4 Hasil Pengukuran pada tegangan 18 volt .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabel 4.5 Hasil Pengukuran pada tegangan 16 volt .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabel 4.6 Hasil Pengukuran pada tegangan 16 volt .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabel 4.7 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet dan Kecepatan Motor.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabel 4.8 Perbandingan Data Kecepatan Hasil Pengukuran dan Data Kecepatan Hasil Perhitungan .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabel 4.9 Perbandingan Data Kerapatan Medan Magnet Hasil Pengukuran dan Data Kerapatan Medan Magnet Hasil Perhitungan .....</b>	<b>40</b>

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi Motor Brushed.....	6
Gambar 2.2 Konstruksi Motor Brushless dengan Sensor Hall .....	9
Gambar 2.3 Medan magnet pada solenoida .....	12
Gambar 2.4 Transistor .....	14
Gambar 2.5 Transistor NPN .....	15
Gambar 2.6 Transistor PNP.....	16
Gambar 2.7 Transistor JFET .....	17
Gambar 2.8 Transistor MOSFET .....	18
Gambar 2.9 Sensor <i>reed switch</i> .....	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	21
Gambar 3.2. Blok Diagram Sistem.....	23
Gambar 3.3 Model Stator dan Rotor .....	24
Gambar 3.4 Kutub pada kumparan.....	26
Gambar 3.5 Driver Single-phase BLDC .....	26
Gambar 4.1 <i>Single-phase</i> BLDC.....	29
Grafik 4.1 Grafik Hubungan Kecepatan dengan kerapatan pada Tegangan 24 volt .....	30
Grafik 4.2 Grafik Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan pada Tegangan 22 volt .....	31
Grafik 4.3 Grafik Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan pada Tegangan 20 volt .....	32
Grafik 4.4 Grafik Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan pada Tegangan 18 volt .....	34
Grafik 4.5 Grafik Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan pada Tegangan 16 volt .....	35

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman, kebutuhan akan motor yang memiliki efisiensi, torsi maupun kecepatan yang tinggi dan dapat divariasikan serta biaya perawatan yang rendah semakin meningkat. Hanya saja motor yang digunakan secara umum saat ini, yakni motor DC dan motor induksi, belum dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Motor DC memiliki efisiensi yang tinggi karena penggunaan tegangan DC pada rotor untuk menggerakkan motor tersebut. Hanya saja motor DC memiliki biaya perawatan yang tinggi. Hal ini muncul akibat digunakannya *brush* dalam komutasi motor DC. *Brush* pada motor DC ini cepat rusak karena pada saat motor berputar akan timbul *arching* pada *brush* akibat komutasi. Sedangkan untuk motor induksi memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan motor DC. Hal ini terjadi karena motor induksi tidak menggunakan *brush* untuk menunjang komutasi. Namun motor induksi memiliki efisiensi yang lebih rendah dibanding motor DC dan cepat panas. ( Abe Dharmawan, 2009 )

Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan akan efisiensi tinggi, torsi yang tinggi, kecepatan yang tinggi serta dapat divariasikan dan biaya perawatan yang rendah maka digunakan motor *brushless DC motor* (BLDCM). BLDC memiliki stator yang terbuat dari kumparan dan rotor terbuat dari magnet permanen. Motor jenis ini menggunakan sumber tegangan DC sebagai sumber utama. Agar motor BLDC dapat bekerja, diperlukan adanya medan magnet putar stator.

Pada penelitian kali ini dilakukan perancangan motor searah tanpa sikat satu fasa (*single-phase* BLDC) untuk mengetahui karakteristik *single-phase* BLDC dan membandingkan *single-phase* BLDC menggunakan enam magnet permanen serta lima kumparan yang memiliki ketebalan kawat *email* yang berbeda. Rotor pada motor ini menggunakan tipe *in runner*, tipe ini sangat mudah dalam segi

mekanik sedangkan pada stator terdapat sensor *reed switch* (sensor magnet). Sensor ini yang akan menentukan gerak dari rotor tersebut. Apabila ada magnet yang mendekat, maka bilah kontak didalam *reed switch* akan berhubungan ( *on* ). Namun apabila magnet menjauh dari *reed switch*, maka bilah kontak akan lepas (*off*) dan arus tidak mengalir serta posisi sensor ini juga sangat menentukan untuk kecepatan motor.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan sebelumnya, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat motor searah tanpa sikat satu fasa.
2. Bagaimana karakteristik kecepatan, frekuensi dan kerapatan dari rancang bangun motor searah tanpa sikat satu fasa.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian pada skripsi ini tidak menyimpang dari permasalahan yang ada, maka diperlukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *reed switch* (sensor magnet) untuk menggerakkan motor.
2. Pengujian hanya pada tebal kawat *email*, frekuensi, kecepatan.
3. *Gab* antara stator dan rotor diabaikan.
4. Ukuran magnet ditentukan yaitu dengan ukuran 2cm x 0,5cm x 0,5cm.
5. Menggunakan stator dan rotor berdiameter 4,5 cm dan 2,5 cm.
6. Menggunakan tegangan kerja 24 Vdc.

### 1.4 Tujuan

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

1. Untuk merancang bangun motor searah tanpa sikat satu fasa.
2. Menganalisa kinerja dari motor searah tanpa sikat satu fasa.
3. Menganalisa pengaruh tebal kawat *email* terhadap kecepatan motor.

### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendukung pengembangan ilmu pengetahuan tentang motor searah tanpa sikat satu fasa
2. Motor searah tanpa sikat satu fasa dapat menjadi sebuah konsep terobosan baru sebagai penelitian selanjutnya.

### 1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi adalah sebagai berikut:

#### BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

#### BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan teori yang menguraikan pendapat atau hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

#### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang di gunakan untuk menyelesaikan skripsi.

#### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisis hasil penelitian.

#### BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

## BAB 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Motor

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, memutar impeller pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Prinsip kerja pada motor listrik, yaitu tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa: kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak - menolak dan kutub - kutub tidak senama akan tarik menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap. ( Tri Sutrisno, 2012 ).

Motor listrik pada dasarnya memiliki mekanisme kerja untuk keseluruhan dari jenis motor secara umum, yaitu :

1. 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.
2. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torsi untuk memutar kumparan.
3. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Dalam memahami sebuah motor listrik, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok:

1. Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsi nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.
2. Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
3. Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

### 2.1.1 Jenis-Jenis Motor

#### a. Motor AC

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "*stator*" dan "*rotor*". *Stator* merupakan komponen listrik statis. *Rotor* merupakan komponen listrik yang berputar. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi dayanya.

#### b. Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC memiliki 3 bagian atau komponen utama untuk dapat berputar sebagai berikut:

1. Kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi ruang terbuka diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor

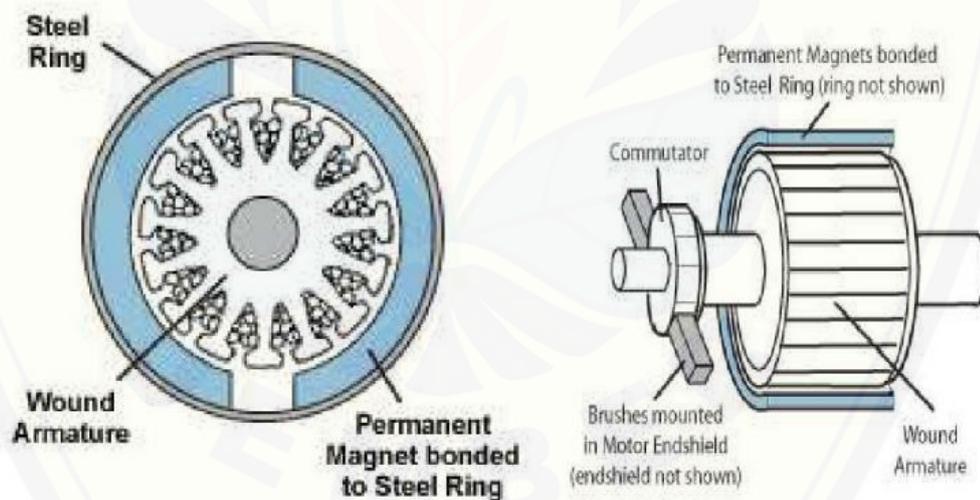
yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet.

2. *Current Elektromagnet* atau Dinamo. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi.
3. *Commutator*. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk transmisi arus antara dinamo dan sumber daya

Secara umum motor DC dibagi atas 2 macam, yaitu :

c. *Brushed Motor*

Motor DC dengan sikat yang berfungsi sebagai pengubah arus pada kumparan sedemikian rupa sehingga arah putaran motor akan selalu sama



Gambar 2.1 Konstruksi Motor Brushed

Sumber: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushedmotors.html> .

#### d. *Brushless Motor*

Motor DC tanpa sikat (*brush*) menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun membalik arah putarannya untuk menggerakkan motor, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya halus. ( Tri Sutrisno, 2012 ).

BLDC motor atau dapat disebut juga dengan BLAC motor merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa. Perbedaan pemberian nama ini terjadi karena BLDC memiliki BEMF berbentuk *trapezoid* sedangkan BLAC memiliki BEMF berbentuk sinusoidal. Walaupun demikian keduanya memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode *six-step* maupun metode PWM. Dibandingkan dengan motor DC jenis lainnya, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya *brush*. Dibandingkan dengan motor induksi, BLDC memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena *rotor* dan torsi awal yang, karena *rotor* terbuat dari magnet permanen. Walaupun memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor jenis lain, metode pengendalian motor BLDC jauh lebih rumit untuk kecepatan dan torsi yang konstan, karena tidak adanya *brush* yang menunjang proses komutasi dan harga untuk motor BLDC jauh lebih mahal.

Secara umum motor BLDC terdiri dari dua bagian, *rotor* bagian yang bergerak, yang terbuat dari permanen magnet dan *stator*, bagian yang tidak bergerak, yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan BLDC karena pada implementasinya BLDC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa. Tujuan daripemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC adalah menciptakan medan magnet putar *stator* untuk menarik magnet *rotor*.

Oleh karena tidak adanya *brush* pada motor BLDC, untuk menentukan *timing* komutasi yang tepat pada motor ini sehingga didapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan 3 buah sensor *Hall* dan atau *encoder*. Pada sensor *Hall*, *timing* komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet *rotor* dengan menggunakan 3 buah sensor *hall* untuk mendapatkan 6

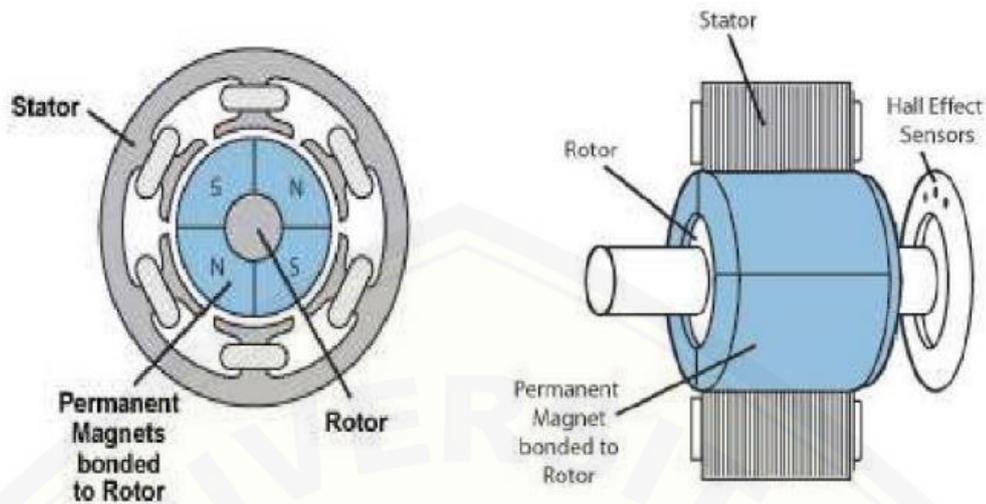
kombinasi *timing* yang berbeda, sedangkan pada *encoder*, *timing* ditentukan dengan cara menghitung jumlah *pole* (kutub) yang ada pada *encoder*.

Pada umumnya *encoder* lebih banyak digunakan pada motor BLDC komersial karena *encoder* cenderung mampu menentukan *timing* komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor *hall*. Hal ini terjadi karena pada *encoder*, kode komutasi telah ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyak *pole* dari motor dan kode inilah yang digunakan untuk menentukan *timing* komutasi. Namun karena kode komutasi *encoder* ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyak *pole* motor, suatu *encoder* untuk suatu motor tidak dapat digunakan untuk motor dengan jumlah *pole* yang berbeda. Hal ini berbeda dengan sensor *hall*. Apabila terjadi perubahan *pole* rotor pada motor, posisi sensor *hall* dapat diubah dengan mudah. Hanya saja kelemahan dari sensor *hall* adalah posisi sensor *hall* tidak tepat akan terjadi kesalahan dalam penentuan *timing* komutasi atau bahkan tidak didapatkan 6 kombinasi *timing* yang berbeda.

Beberapa keuntungan *brushless* DC motor dengan motor DC dibandingkan dengan motor DC biasa, adalah:

1. Lebih tahan lama, karena tidak memerlukan perawatan terhadap sikatnya.
2. Memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.
3. Torsi awal yang tinggi.
4. Kecepatan yang tinggi, tergantung pada kekuatan medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang dibangkitkan dari kendali penggerakannya.

Walaupun *brushless* DC motor memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan motor DC biasa, pengendalian *brushless* DC motor lebih rumit untuk mengatur kecepatan dan torsi motor. Harga *brushless* DC motor juga cukup mahal jika dibandingkan dengan motor DC biasa. (Dharmawan, Abe.2009).



Gambar 2.2 Konstruksi Motor Brushless dengan Sensor Hall

Sumber: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushedmotors.html>.

## 2.2 Kuat Medan Magnet

Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul Kuat medan Magnet (H):

$$H = \frac{\mu Nl}{2i} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana N merupakan jumlah lilitan, i merupakan arus, l merupakan panjang lilitan dan  $\mu$  merupakan permeabilitas bahan. Karena arus yang diberikan berupa arus AC fasa, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah – ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi tersebut dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terjadinya medan putar magnet dengan kecepatan.

Secara umum *brushless* Motor dibagi menjadi 2, yaitu *Sensored* dan *Sensorless*. *Sensored, brushless* motor jenis ini dilengkapi dengan *encoder* dan 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. Motor jenis ini memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dan lebih halus pergerakannya dibanding dengan motor *brushless sensorless*. *Sensorless, brushless* motor jenis ini tidak dilengkapi dengan *encoder* dan atau *hall effect* sensor, sehingga untuk mengetahui pergerakan dari motor jenis ini bias dilakukan dengan cara mendeteksi dari BEMF dan *zero-crossing*.

### 2.3 EMF

Adapun yang menjadi dasar perbedaan kedua jenis belitan tersebut terletak pada hubungan antara *koil* dan belitan stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (*Electro Motive Force*) atau gaya gerak listrik yang berbeda. EMF balik atau gaya gerak listrik balik itu sendiri adalah tegangan balikyang dihasilkan oleh belitan motor BLDC ketika motor BLDC tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang dibangkitkan. Besarnya EMF balik dipengaruhi oleh kecepatan sudut putaran motor ( $\omega$ ), medan magnet yang dihasilkan rotor (B), dan banyaknya lilitan pada belitan stator (N) sehingga besarnya EMF balik dapat dihitung dengan persamaan :

$$V = i R + EMF \dots\dots\dots( 2.2 )$$

$$EMF \text{ balik} = B.N.l.r. \omega \dots\dots\dots( 2.3 )$$

Dimana :

B = Kerapatan medan magnet yang dihasilkan rotor (Tesla)

N = Banyaknya lilitan pada belitan stator per phasa

l = Panjangnya batang rotor (m)

r = Jari-jari dalam motor (m)

$\omega$  = Kecepatan sudut putaran motor (rad) (dimana  $\omega = 2\pi f$ )

Ketika motor BLDC sudah dibuat pada jumlah lilitan stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan maka semakin besar pula EMF balik yang dihasilkan oleh motor. Perubahan besarnya EMF balik

ini mempengaruhi torsi motor brushless DC, apabila kecepatan motor yang dihasilkan melebihi kecepatan rata-rata, maka akan mengakibatkan EMF balik yang dihasilkan oleh motor lebih besar daripada tegangan potensial pada belitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan turun.

#### 2.4 Kecepatan Motor

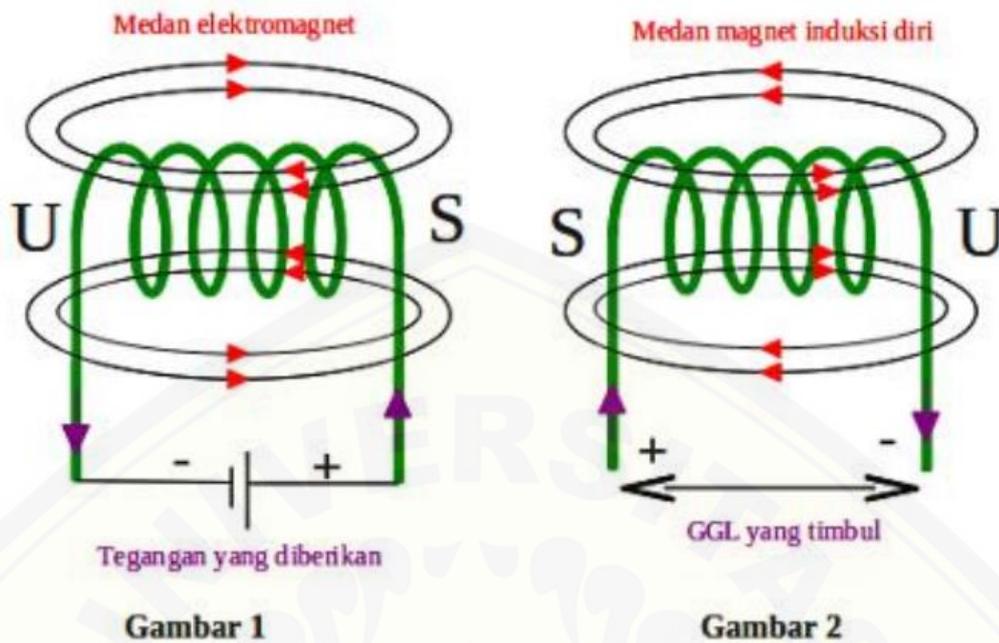
Rotor merupakan bagian penting juga pada motor yang berfungsi untuk menggerakkan atau membuat motor berputar. Perputaran tersebut terjadi akibat adanya gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh stator. Untuk mengetahui putaran pada motor, bisa menggunakan persamaan berikut ini.

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana  $f$  merupakan frekuensi tegangan *input* dinyatakan dalam Hz persatuam detik, sedangkan untuk  $p$  sendiri merupakan jumlah kutub (*pole*) pada rotor.

#### 2.5 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 pada Gambar 2.6 berada di ujung kanan.



Gambar 2.3 Medan magnet pada solenoida

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.

Tabel 2.1 Kemampuan Hantar Arus Kawat Email bedasarkan American wire gauge ( AWG )

No	Diameter Kawat (mm)	Kemampuan Hantar Arus (khA) (Ampere)
1.	0,1	0,016 s/d 0,024
2.	0,2	0,064 s/d 0,094
3.	0,3	0,141 s/d 0,212
4.	0,4	0,251 s/d 0,377
5.	0,5	0,390 s/d 0,588
6.	0,6	0,566 s/d 0,849
7.	0,7	0,770 s/d 1,160
8.	0,8	1,010 s/d 1,510
9.	0,9	1,270 s/d 1,910
10.	1,0	1,570 s/d 2,360
11.	1,5	3,530 s/d 5,300
12.	2,0	6,280 s/d 9,420

Sumber : Mustofa, 2010

## 2.6 Magnet Permanen

Magnet atau sering dikenal dengan nama “Besi Berani” ini sering kita lihat pada komponen elektronika khususnya pada speaker. Jika Anda membongkar alat-alat elektronika misalnya radio, maka pada speakernya akan terdapat sebuah magnet yang berbentuk silinder dengan ukuran yang menyesuaikan dengan ukuran speaker itu sendiri. Ada dua jenis magnet yaitu magnet permanen dan magnet sementara. Magnet permanen merupakan sebuah magnet yang memiliki sifat kemagnetan bisa sampai beberapa tahun, misalnya magnet batang yang terdapat pada speaker. Sedangkan magnet sementara merupakan suatu magnet yang memiliki sifat kemagnetan yang bisa bertahan hanya sementara saja, misalnya magnet yang terbuat dari listrik.

## 2.7 Transistor

Komponen elektronika semikonduktor yang memiliki 3 kaki elektroda, yaitu Basis (Dasar), Kolektor (Pengumpul) dan Emitor (Pemancar). Transistor sebenarnya berasal dari kata “transfer” yang berarti pemindahan dan “resistor”

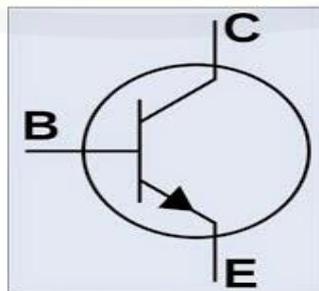


Terdapat dua macam jenis dasar dari transistor, yaitu:

1. Bipolar junction transistor (BJT)

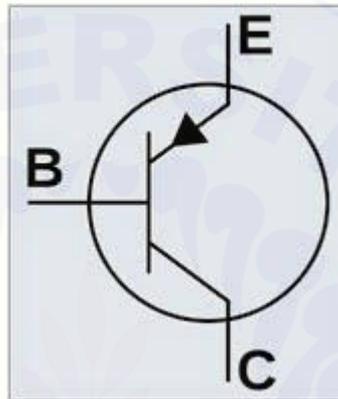
Bipolar junction transistor (BJT) adalah jenis transistor yang memiliki tiga kaki, yaitu (Basis, Kolektor, dan Emitor) dan di pisah menjadi dua arah aliran, positif dan negatif. Aliran positif dan negatif diantara Basis dan Emitor terdapat tegangan dari 0v sampai 6v tergantung pada besar tegangan sumber yang dipakai. Dan besar tegangan tersebut merupakan parameter utama transistor tipe BJT. Tidak seperti *Field Effect transistor* (FET), arus yang dialirkan hanya terdapat pada satu jenis pembawaan (Elektron atau Holes). Di BJT, arus dialirkan dari dua tipe pembawaan (Elektron dan Holes), hal tersebut yang dinamakan dengan Bipolar. Ada dua jenis tipe transistor BJT, yaitu tipe PNP dan NPN. Dimana NPN, terdapat dua daerah negatif yang dipisah dengan satu daerah positif. Dan PNP, terdapat dua daerah positif yang dipisah dengan daerah negatif.

Pada transistor jenis NPN terdapat arah arus aliran yang berbeda dengan transistor jenis PNP, dimana NPN mengalir arus dari kolektor ke emitor. Dan pada NPN, untuk mengalirkan arus tersebut dibutuhkan sambungan ke sumber positif (+) pada kaki basis. Cara kerja NPN adalah ketika tegangan yang mengenai kaki basis, hingga dititik saturasi, maka akan menginduksi arus dari kaki kolektor ke emitor. Dan transistor akan berlogika 1 (aktif). Dan apabila arus yang melalui basis berkurang, maka arus yang mengalir pada kolektor ke emitor akan berkurang, hingga titik cutoff. Penurunan ini sangatlah cepat karena perbandingan penguatan yang terjadi antara basis dan kolektor melebihi 200 kali.



Gambar 2.5 Transistor NPN

Pada PNP, terjadi hal sebaliknya ketika arus mengalir pada kaki basis, maka transistor berlogika 0 (off). Arus akan mengalir apabila kaki basis diberi sambungan ke ground (-) hal ini akan menginduksi arus pada kaki emitor ke kolektor, hal yang berbeda dengan NPN, yaitu arus mengalir pada kolektor ke emitor. Penggunaan transistor jenis ini mulai jarang digunakan. Dibanding dengan NPN, transistor jenis PNP mulai sulit ditemukan dipasaran



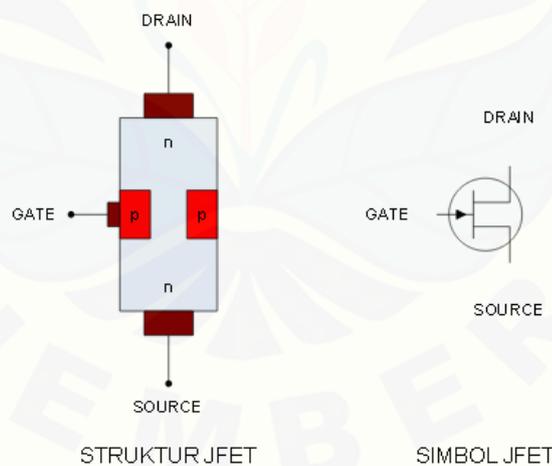
Gambar 2.6 Transistor PNP

## 2. Field Effect Transistor (FET)

*Field Effect Transistor* adalah jenis transistor yang dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal untuk mengontrol komponen yang lain. Komponen Transistor efek medan (*field-effect transistor* = FET) mempunyai fungsi yang hampir sama dengan transistor bipolar. Meskipun demikian antara FET dan transistor bipolar terdapat beberapa perbedaan yang mendasar. Perbedaan utama antara kedua jenis transistor tersebut adalah bahwa dalam transistor bipolar arus output ( $I_c$ ) dikendalikan oleh arus input ( $I_b$ ). Sedangkan dalam FET arus output ( $I_D$ ) dikendalikan oleh tegangan input ( $V_{gs}$ ), karena arus input adalah nol. Sehingga resistansi input FET sangat besar, dalam orde puluhan megaohm. Transistor efek medan mempunyai keunggulan lebih stabil terhadap temperatur dan konstruksinya lebih kecil serta pembuatannya lebih mudah dari transistor bipolar, sehingga amat bermanfaat untuk pembuatan keping rangkaian terpadu. FET bekerja atas aliran pembawa mayoritas saja, sehingga FET cenderung membangkitkan

noise (desah) lebih kecil dari pada transistor bipolar. Namun umumnya transistor bipolar lebih peka terhadap input, atau dengan kata lain penguatannya lebih besar. Disamping itu transistor bipolar mempunyai linieritas yang lebih baik dan respon frekuensi yang lebih lebar. Jenis dari transistor FET itu sendiri adalah JFET dan MOFET.

JFET terdiri atas kanal-P dan Kanal N. JFET adalah komponen tiga terminal dimana salah satu terminal dapat mengontrol arus antara dua terminal lainnya. JFET terdiri atas dua jenis, yakni kanal-N dan kanal-P, sebagaimana transistor terdapat jenis NPN dan PNP. Pada umumnya penjelasan tentang JFET adalah kanal-N, karena kanal-P adalah kebalikannya. JFET terdiri dari suatu *channel* (saluran) yang terbuat dari sekeping semikonduktor (misalnya tipe N). pada saluran ini ditempelkan dua bagian yang terbuat dari semikonduktor jenis yang berbeda (misalnya tipe P). bagian ini disebut *Gate*. Dan pada bagian lain, ujung bawah disebut *source* sedangkan ujung atas disebut *drain*.



Gambar 2.7 Transistor JFET

MOSFET (*Metal Oxide Semikonduktor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silicon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silicon digunakan sebagai landasan (substrat)

dari penguras (drain), dan sumber (source), dan gerbang (gate). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan diatas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (Bipolar Junction Transistor) yaitu menghasilkan daya rendah.

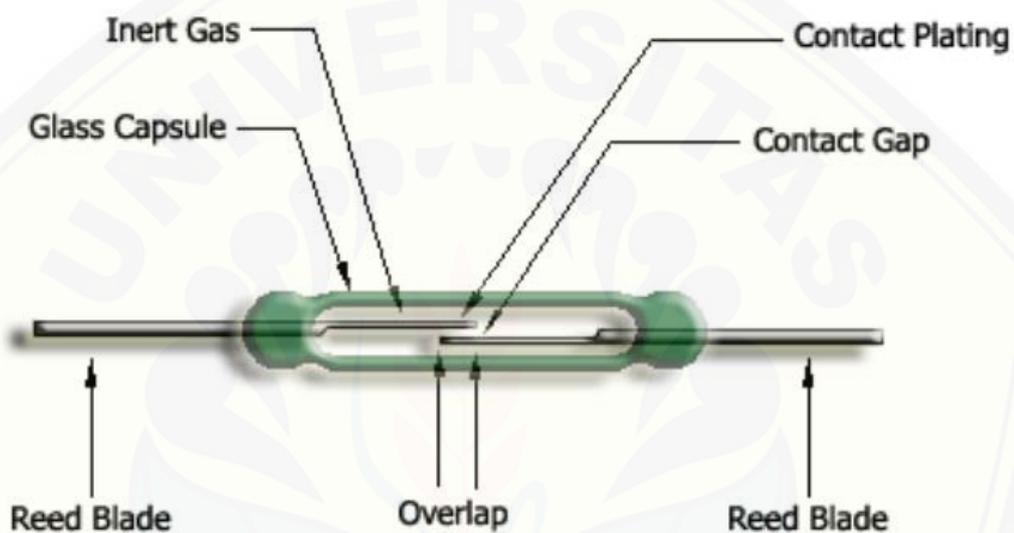


Gambar 2.8 Transistor MOSFET

### 2.8 Sensor Magnet (*reed switch*)

Sensor magnet disebut juga relai buluh adalah alat yang akan terpengaruh medan magnet dan akan memberikan perubahan kondisi pada keluaran, seperti layaknya saklar dua kondisi (*on/off*) yang digerakkan oleh adanya medan magnet disekitarnya. Biasanya sensor ini dikemas dalam bentuk kemasan yang hampa dan bebas dari debu, kelembapan, asap maupun uap. Reed Switch adalah salah satu jenis sensor yang sering juga digunakan pada mesin-mesin industri seperti halnya sensor *photo* dan *proximity* sensor, namun reed mempunyai cara kerja yang berbeda dan unik dan juga mempunyai bentuk yang cukup kecil namun rentan terhadap benturan.

Jika pada *reed switch* didekati medan magnet maka hambatan kontak *reed switch* akan menghubungkan. Hal ini menyebabkan arus negatif masuk ke kaki transistor, maka transistor tidak akan mengantar arus. Pada saat *reed switch* dijauhkan dari medan magnet maka kontak *reed switch* akan membuka, maka arus listrik positif akan masuk ke kaki basis. Transistor akan mengalirkan arus negative.



Gambar 2.9 Sensor *reed switch*

Cara kerja rangkaian *reed switch* adalah harus didekati oleh magnet, sehingga kontak *reed switch* akan menutup. Dengan menutupnya kontak, maka arus yang masuk ke kaki gate SCR adalah *negative* dan SCR tidak bekerja. Jika magnet dijauhkan dari *reed switch*, maka kontak *reed switch* akan membuka hal ini menyebabkan arus positif masuk ke kaki SCR, maka SCR akan bekerja terus meskipun magnet didekatkan kembali ke *reed switch*.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik  
Alamat : Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111  
Waktu : Juni 2016 - Agustus 2016

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

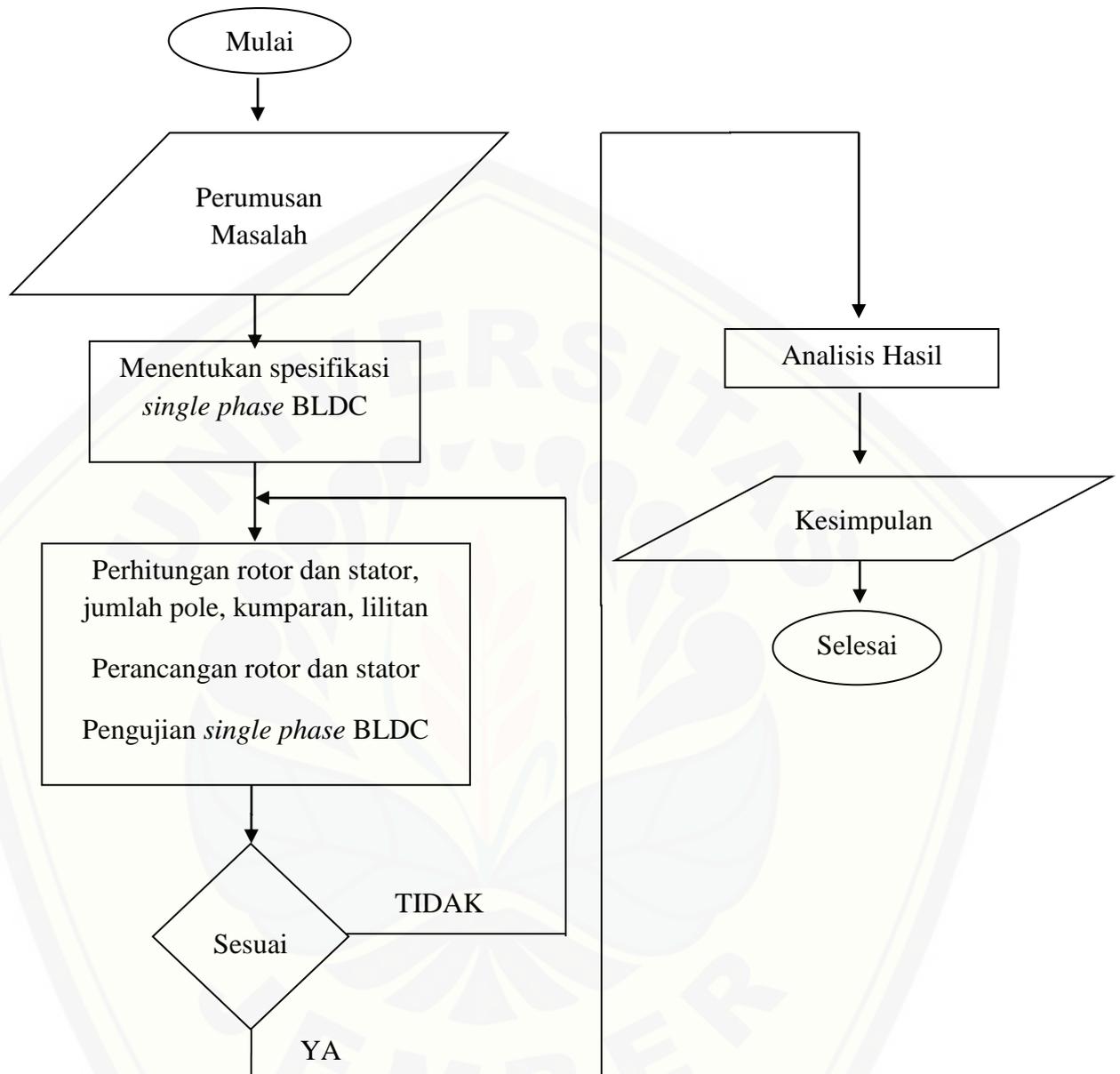
Alat

1. Avometer.
2. Tachometer.

Bahan

1. Transistor.
2. Kawat *email*.
3. Sensor magnet.
4. Magnet permanen.

### 3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian perancangan dan pembuatan motor *single-phase* BLDC:

1. Studi literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik komponen, prinsip kerja serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Menentukan spesifikasi *Single-phase* BLDC

Menentukan spesifikasi motor dengan menggunakan diameter stator 4,5 cm dan rotor 2,5 cm serta memiliki 6 magnet permanen pada rotor.

3. Perhitungan rotor dan stator

Tahap ketiga adalah menghitung kecepatan motor, diameter kawat dan jumlah lilitan.

4. Perancangan Motor dan Stator

Setelah melakukan perhitungan kita dapat menentukan ukuran dari rotor dan stator pada *single-phase* BLDC.

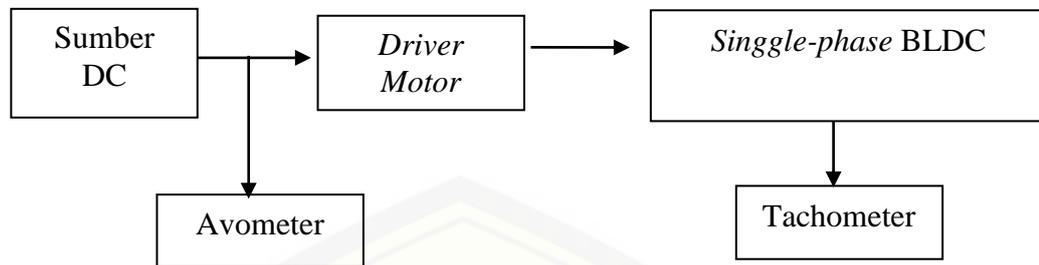
5. Pengujian *single-phase* BLDC

Setelah melakukan tahap perancangan kita dapat menguji performa dari ketiga motor tersebut dan mendapatkan data yang akan di capai.

6. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap akhir ini, hasil pengambilan data dan analisa dimasukkan ke pembahasan. Kemudian, dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat dan memberikan saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kekurangan yang ada, kemungkinan pengembangan, serta penyempurnaan alat pada penelitian selanjutnya.

### 3.4 Blok diagram dan perancangan sistem

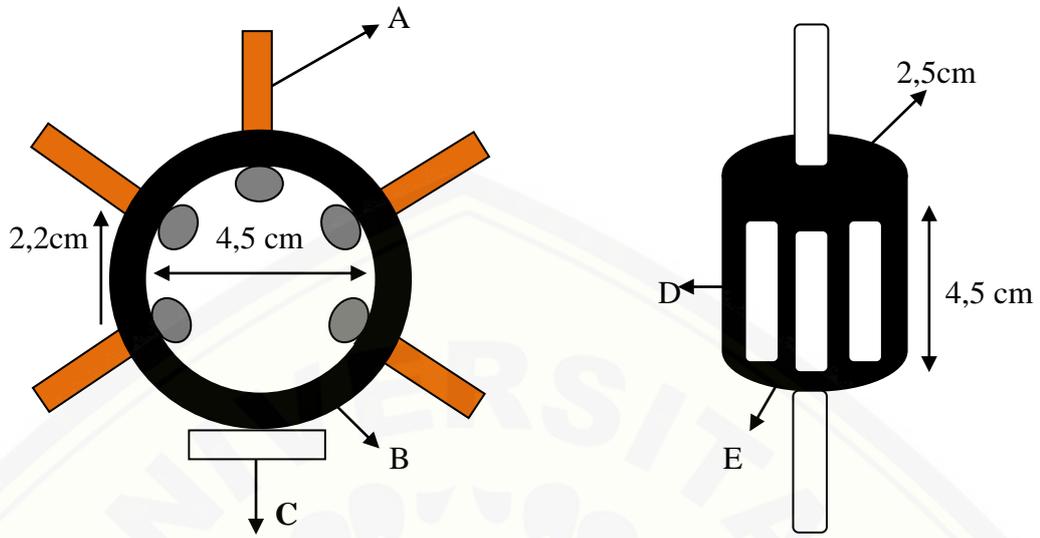


Gambar 3.2. Blok Diagram Sistem

Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram diatas. Sumber DC yang digunakan berasal dari *power supply*. Sumber DC tersebut digunakan sebagai suplay tegangan pada motor. Pada motor BLDC satu fasa ini enam magnet permanen yang diletakkan pada rotor motor tersebut. Untuk stator pada motor ini dirancang dengan menggunakan lima *coil* serta terdapat sensor magnet (*reed switch*). Pengujian pada motor ini untuk memperoleh karakteristik kerapatan, kecepatan, arus, tegangan dan frekuensi dengan menggunakan alat ukur. Data yang akan diambil menggunakan beberapa parameter yang selanjutnya akan dianalisa dari hasil tersebut.

### 3.5 Perancangan model *single-phase* BLDC

Pada perancangan motor listrik BLDC ini meliputi komponen utama dari motor listrik yakni perancangan stator dan perancangan rotor. BLDC yang dirancang dengan menggunakan tegangan 24 Vdc, magnet Neodymium dan penentuan bentuk rotor yang ditentukan dari besarnya diameter kawat lilitan pada tiap-tiap kumparan yang terpasang pada stator. Dengan spesifikasi motor yang mempunyai 6 pole, diameter rotor dan stator masing – masing 2,5 cm dan 4,5 cm serta jarak antar *coil* 2,2 cm. Untuk baut yang akan digunakan sebagai tempat dari lilitan berukuran panjang 2 cm dan berdiameter 0,5 cm, sehingga hanya digunakan 600 lilitan untuk setiap kumparannya. Sedangkan untuk rotornya digunakan 6 magnet karena dimensi untuk magnetnya sendiri memiliki lebar 0,5 cm sehingga pada dimensi rotor harus menyesuaikan dari lebar magnet yang akan digunakan



Gambar 3.3 Model Stator dan Rotor

Keterangan :

A : Kumbaran

B : Stator

C : *Reed switch*

D : Magnet *Neodymium*

E : Stator

### 3.6 Perancangan Rotor motor listrik BLDC

#### a. Menghitung Kecepatan dan Kerapatan

Untuk mendapatkan kecepatan maupun kerapatan harus mengetahui frekuensi yang dihasilkan motor tersebut dengan menggunakan osioskop. Setelah mendapatkan frekuensi, substitusikan ke persamaan ( 2.3 ). Untuk nilai EMF sendiri didapatkan dari persamaan ( 2.2 ) dan juga disubstitusikan ke persamaan (2.3). Sehingga di dapatkan rumus kerapatan sebagai berikut.

$$B = \frac{V - iR}{Nlr2\pi f} \dots\dots\dots ( 3.1 )$$

Sedangkan untuk mencari nilai kecepatan dapat menggunakan rumus sebagai berikut

$$n = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

$n$  = kecepatan ( Rpm )

$f$  = Frekuensi ( Hz )

$p$  = Jumlah pole

b. Menentukan magnet yang digunakan

Pada penelitian kali ini untuk menyesuaikan dengan ukuran rotor yang akan digunakan magnet yang digunakan haruslah mempunyai spesifikasi panjang 200 mm, lebar 50 mm dan tebal 50 mm. Jenis magnet yang sesuai dengan spesifikasi tersebut adalah Neodymium batang N52 yang mempunyai kerapatan fluks 0,018 Tesla. (  $B$  ). Untuk menentukan besar fluks magnet tersebut dapat menggunakan rumus :

$$\phi = B \times A \dots\dots\dots(3.3)$$

keterangan :

$\phi$  = Fluks magnet ( Wb )

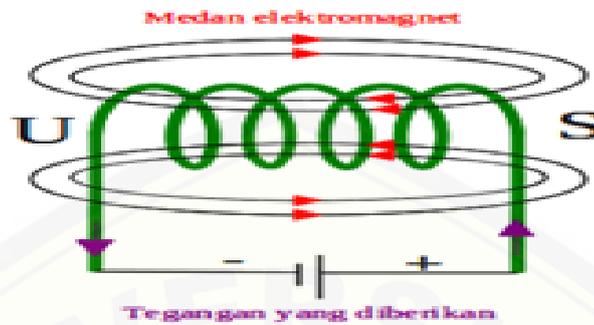
$B$  = Kerapatan fluks ( T )

$A$  = Luas penampang magnet (  $m^2$  )

### 3.7 Perancangan stator motor listrik BLDC

Pada perancangan stator ini sangat perlu diperhatikan karena untuk menjalankan motor tersebut dibutuhkan gaya tolak menolak antara stator dan magnet pada rotor. Kutub selatan magnet pada rotor menghadap stator sehingga dibutuhkan kutub selatan stator menghadap rotor. Hal tersebut dapat di ciptakan menggunakan teori solenoida. Kumputan yang akan digunakan pada penelitian kali ini memiliki tebal kawat 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm. Perbedaan tebal kawat

tersebut dapat mempengaruhi dari kerapatan magnet dan akan berpengaruh terhadap kecepatan motor tersebut.

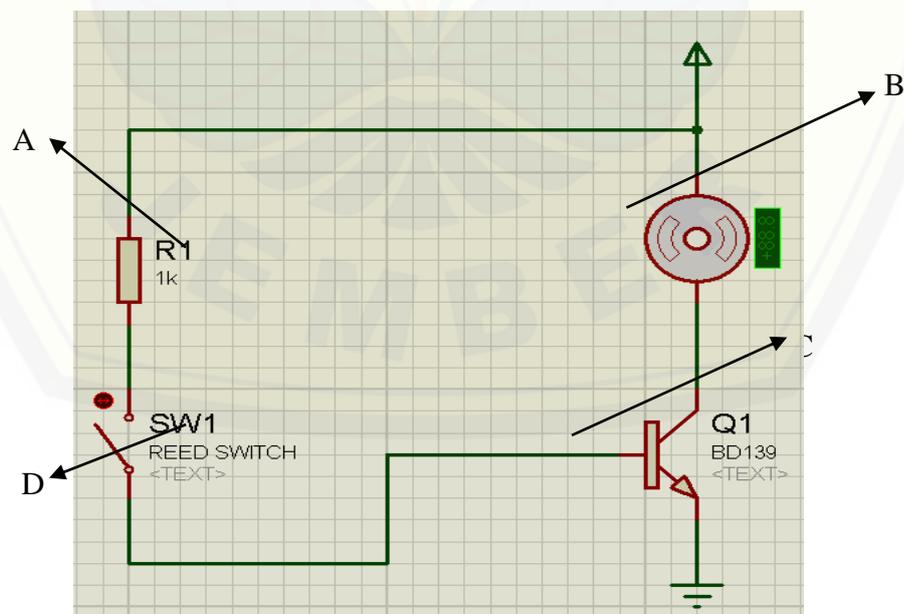


Gambar 3.4 Kutub pada kumparan

Gambar 3.4 merupakan posisi kutub magnet yang dihasilkan kumparan apabila kumparan diberi tegangan sama seperti gambar tersebut. Sehingga posisi selatan pada kumparan harus menghadap pada rotor untuk menciptakan gaya tolak menolak agar motor dapat bergerak.

### 3.8 Perancangan *Driver Single-phase BLDC*

Pada *driver single-phase BLDC* menggunakan sebuah transistor dan komponen lainnya.



Gambar 3.5 Driver Single-phase BLDC

Keterangan :

A = Resistor.

B = *Single-phase* BLDC.

C = Transistor TIP 41.

D = Sensor Magnet ( *reed switch* ).

Pada rangkaian diatas menggunakan resitor 1 k $\Omega$  serta menggunakan tegangan kerja 24 vdc. Kaki basis transistor dihubungkan pada *reed switch*, hal ini dikarenakan *reed switch* akan melakukan *switching* apabila terkena medan magnet dari rotor sehingga transistor dalam kondisi jenuh pada hal ini *colector* dan *emitor* terhubung sehingga menyebabkan arus mengalir dari *colector* menuju *emitor* atau *ground* dan akan menghasilkan medan magnet selatan pada kumparan. Akan terjadi gaya tolak menolak antara kumparan dan magnet sehingga motor tersebut berputar.

## BAB 5. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian maka dapat diambil kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya.

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian rancang bangun motor searah tanpa sikat satu fasa, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada pengukuran kecepatan didapatkan kecepatan tertinggi pada motor motor 1 sebesar 2920 Rpm dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatannya 0,0504 T, untuk motor 2 kecepatan tertinggi sebesar 3296 Rpm dengan frekuensi 170 Hz dan kerapatannya sebesar 0,0591 T sedangkan pada motor 3 sebesar 4045 Rpm dengan frekuensi 210 Hz dan kerapatannya sebesar 0,0607 T. Semakin tebal diameter kawat yang digunakan maka semakin besar frekuensi, kecepatan dan kerapatan yang dihasilkan hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8 dan 4.9.
2. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat *error percent* terbesar pada motor 1 yaitu 4,8 % pada pengujian tegangan 18 volt untuk kecepatan, *error percent* terbesar pada motor 2 yaitu 6,4 % pada tegangan 18 volt untuk kecepatan, sedangkan *error percent* terbesar pada motor 3 yaitu sebesar 6,3 % pada tegangan 18 volt untuk kecepatan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.8, *error percent* pada penelitian ini disebabkan segi mekanik dalam hal ini *Gab* antara stator dan rotor sangat berpengaruh terhadap kecepatan, posisi dari sensor *reed switch* juga mempengaruhi kinerja dari motor tersebut.

## 5.2 Saran

Hal-hal yang dapat disarankan untuk kegiatan penelitian berikutnya yang berhubungan dengan *single-phase motor brushless direct current* adalah sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan dalam pembuatan *single-phase motor brushless direct current* terutama *gab* antara rotor dan stator serta kuat medan magnet pada magnet yang digunakan.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dalam membuat perancangan *single-phase motor brushless direct current* menggunakan kontrol untuk sensor *reed switch* agar dapat menghasilkan kecepatan maksimal.

**DAFTAR PUSTAKA**

Asy'ari H., Jatmiko, dan Febrianto A., 2013. *Desain Generator Magnet Permanen Satu Fasa Tipe Axial* . Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dharmawan, Abe. 2009. Pengendalian Motor Brushless DC Dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan ATMEGA 16. Skripsi Universitas Indonesia Jakarta

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, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol: 5, No: 5.

Goga Cvetkovski, Lidija Petkovska, Paul Lefley, Saed Ahmed. *Particle Swarm Design Optimisation of Single Phase Permanent Magnet Brushless DC Motor*. Ss. Cyril and Methodius University, University of Leicester.

Tri Sutrisno, Himawan; Borian, Pinto. 2012. Kursi Roda Elektrik. Skripsi S1. Fakultas Ilmu Komputer. Universitas Bina Nusantara, Jakarta.

Young-Un Park, Ji-young So, Dong-Hwa Chung, Ju-Hee Cho, Kyung-il Woo, Young-Min You and Dae-Kyong Kim. *Optimal Design of Single-Phase Brushless DC Motor for Reducing Cogging Torque*. Suncheon National University, Koorean Electronics Technology Institute (KETI), Pukyong National University, LG Electronics.

<http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushedmotors.html> .

<http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushedmotors.html>.

LAMPIRAN

- **Perhitungan nilai kerapatan medan magnet pada motor 1**

$$B = \frac{V - iR}{Nlr2\pi f}$$

$$B = \frac{23,8 - 0,31 \times 40}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 150}$$

$$= 0,0504 \text{ T (pengujian 24 volt)}$$

$$B = \frac{21,9 - 0,3 \times 40}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 130}$$

$$= 0,0505 \text{ T (pengujian 22 volt)}$$

$$B = \frac{19,9 - 0,29 \times 40}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 110}$$

$$= 0,0494 \text{ T (pengujian 20 volt)}$$

$$B = \frac{17,9 - 0,31 \times 40}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 75}$$

$$= 0,0486 \text{ T (pengujian 18 volt)}$$

$$B = \frac{15,9 - 0,28 \times 40}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 70}$$

$$= 0,0445 \text{ T (pengujian 16 volt)}$$

$$B = \frac{12,2 - 0,34 \times 40}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 25}$$

$$= 0,037 \text{ T (pengujian tegangan minimum)}$$

- **Perhitungan nilai kerapatan medan magnet pada motor 2**

$$B = \frac{V - iR}{Nlr2\pi f}$$

$$B = \frac{24 - 0,26 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 170}$$

$$= 0,0591 \text{ T (pengujian 24 volt)}$$

$$B = \frac{21,9 - 0,26 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 160}$$

= 0,0541 T (pengujian 22 volt )

$$B = \frac{19,9 - 0,26 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 140}$$

= 0,0528 T (pengujian 20 volt )

$$B = \frac{17,9 - 0,26 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 120}$$

= 0,05 T (pengujian 18 volt )

$$B = \frac{15,9 - 0,24 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 110}$$

= 0,0492 T (pengujian 16 volt )

$$B = \frac{9,8 - 0,26 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 20}$$

= 0,031 T (pengujian tegangan minimum )

- **Perhitungan nilai kerapatan medan magnet pada motor 3**

$$B = \frac{V - iR}{Nlr2\pi f}$$

$$B = \frac{24 - 0,17 \times 28}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 210}$$

= 0,0607 T (pengujian 24 volt )

$$B = \frac{21,9 - 0,18 \times 28}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 200}$$

= 0,056 T (pengujian 22 volt )

$$B = \frac{19,9 - 0,18 \times 28}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 170}$$

= 0,054 T (pengujian 20 volt )

$$B = \frac{17,9 - 0,21 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 150}$$

= 0,0531 T (pengujian 18 volt )

$$B = \frac{15,9 - 0,22 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 125}$$

= 0,0516 T (pengujian 16 volt )

$$B = \frac{6,8 - 0,22 \times 34}{600 \times 0,02 \times 0,02 \times 2 \times 3,14 \times 15}$$

= 0,028 T (pengujian tegangan minimum )

- **Perhitungan nilai kecepatan pada motor 1**

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$n = \frac{120 \times 150}{6} = 3000 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 130}{6} = 2600 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 110}{6} = 2200 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 75}{6} = 1500 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 75}{6} = 1400 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 25}{6} = 500 \text{ Rpm}$$

- **Perhitungan nilai kecepatan pada motor 2**

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$n = \frac{120 \times 170}{6} = 3400 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 160}{6} = 3200 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 140}{6} = 2800 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 120}{6} = 2400 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 110}{6} = 2200 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 20}{6} = 400 \text{ Rpm}$$

- **Perhitungan nilai kecepatan pada motor 3**

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$n = \frac{120 \times 210}{6} = 4200 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 200}{6} = 4000 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 170}{6} = 3400 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 150}{6} = 3000 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 70}{6} = 2500 \text{ Rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 15}{6} = 300 \text{ Rpm}$$