



**RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA  
(BLDC) KONTRUKSI *AXIAL FLUX (PANCAKE)* DENGAN CELAH  
UDARA TUNGGAL**

**SKRIPSI**

Oleh

**Septian Dwi Atmaja**

**NIM 131910201001**

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



**RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA  
(BLDC) KONTRUKSI *AXIAL FLUX (PANCAKE)* DENGAN CELAH  
UDARA TUNGGAL**

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

Oleh

**Septian Dwi Atmaja**

**NIM 131910201001**

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

## PERSEMBAHAN

Dengan ini saya persembahkan skripsi kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Suatmadji dan Ibu Endang Martiwi serta kakakku Naomi Setyowati atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
3. Guru – guru mulai TK Pertiwi 1, SD Negeri 1 Jabon, SMP Negeri 1 Sooko, SMK Negeri 1 Bangsal dan dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember. Terima kasih untuk ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
4. Penguni kost-Assofwah dan teman- teman kontrakan POJOK, yang selalu membantu dan menyemangati saya setiap hari.
5. Rekan-rekan satu DPU dan DPA yang selalu menemani saya berjuang mulai awal pengerjaan skripsi hingga selesai.
6. Keluarga Intel 2013 yang selalu membantu, menyemangati dan selalu mendampingi saya selama pengerjaan skripsi ini.
7. Almamater Teknik Elektro Universitas Jember.

**MOTTO**

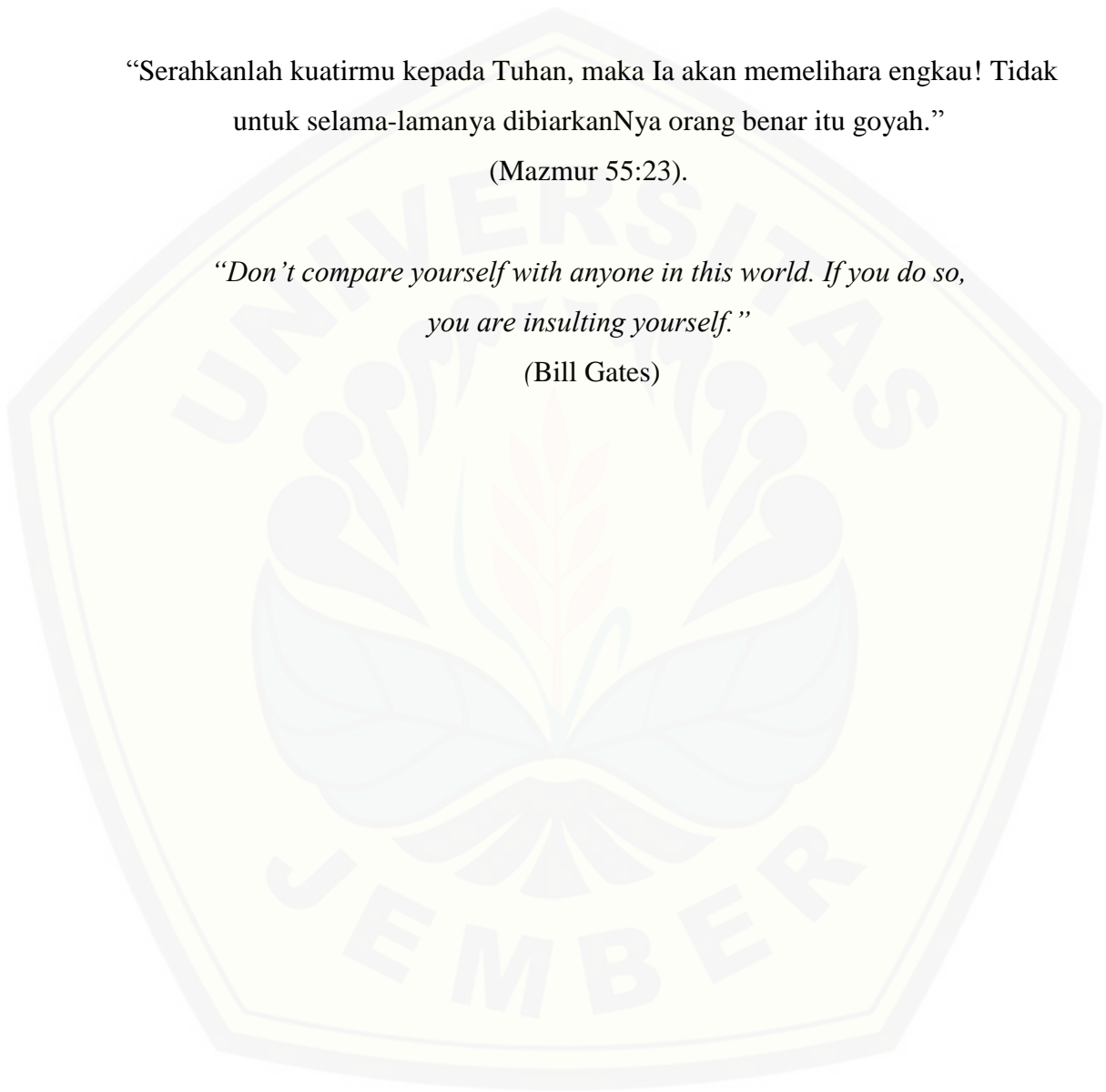
“Kesuksesan tidak pernah final, kegagalan tidak pernah fatal, keberanian yang utama.”

“Serahkanlah kuatirmu kepada Tuhan, maka Ia akan memelihara engkau! Tidak untuk selama-lamanya dibiarkannya orang benar itu goyah.”

(Mazmur 55:23).

*“Don’t compare yourself with anyone in this world. If you do so, you are insulting yourself.”*

(Bill Gates)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Septian Dwi Atmaja

NIM : 131910201001

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa (BLDC) Kontruksi *Axial Flux (Pancake)* Dengan Celah Udara Tunggal” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 11 Januari 2018

Yang menyatakan,

Septian Dwi Atmaja

NIM 131910201001

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA  
(BLDC) KONTRUKSI *AXIAL FLUX* (*PANCAKE*) DENGAN CELAH  
UDARA TUNGGAL**

Oleh

Septian Dwi Atmaja

NIM 131910201001

Pembimbing

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

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa (BLDC) Kontruksi *Axial Flux (Pancake)* Dengan Celah Udara Tunggal” karya Septian Dwi Atmaja telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 11 Januari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 196104141989021001

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.  
NIP 196403171998021001

Anggota II,

Anggota III,

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

H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.  
NIP 196906081999031002

Mengesahkan  
Dekan,

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



## RINGKASAN

**Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa (BLDC) Kontruksi Axial Flux (Pancake) Dengan Celah Udara Tunggal:** Septian Dwi Atmaja , 131910201001: 2018: 132 halaman: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada zaman *modern* ini, kemajuan teknologi baik dalam industri kecil sampai industri besar sekalipun bahkan dalam berbagai peralatan rumah tangga semua peralatan didalamnya tidak terlepas dengan sebuah motor. Motor itu sendiri merupakan sebuah alat yang mampu berputar jika diberi energi listrik sebagai *input*. Atau secara umum motor yaitu perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor sendiri dalam pembagiannya terbagi menjadi dua yaitu motor AC dan motor DC. Akan tetapi dalam kehidupan sehari-hari motor yang paling sering digunakan dalam masyarakat yaitu motor DC. Karena motor DC memiliki kelebihan yaitu mudah dalam pengendalian terutama pengendalian kecepatannya yaitu dengan cara mengatur tegangan dan arus yang masuk kedalam motor tersebut. Selain memiliki kelebihan mudah dalam pengendalian kecepatan, motor DC ini memiliki kelemahan yakni motor DC masih menggunakan *comutator* atau cincin untuk dapat berputar sehingga terdapat rugi-rugi gesekan sikat dan ketidak efisienan karena *comutator* akan mengalami penipisan setiap kali motor digunakan. Dan harus mengganti sikat arang atau melapisinya lagi ketika cincin atau *comutator* tersebut habis agar motor dapat berputar kembali.

Dalam perancangan motor BLDC dengan kontruksi (*Pancake*) yaitu kumparan terletak pada bagian bawah sebanyak 12 coil dan rotor yang terdiri dari magnet neodmium sebanyak 12. Dalam perancangan ini kumparan dipasang secara seri. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh dari diameter kawat terhadap kecepatan perancangan ini menggunakan 2 diameter kawat berbeda yaitu 0,2 mm untuk motor 1 dan 0,4 mm untuk motor 2. Pengujian dilakukan pada tegangan 6,



8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 dan 24 volt selanjutnya dilakukan mengukur arus dan kecepatan masing masing motor dengan diameter kawat yang berbeda.

Sedangkan untuk mengetahui pengaruh jumlah kutub pada motor BLDC dilakukan pengurangan kumparan yang semula berjumlah 12 dikurangi menjadi 6 kumparan dan 4 kumparan dengan jumlah magnet neodymium mengikuti banyak kumparan yang ada pada motor. Pengujian dilakukan pada tegangan 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 dan 24 volt selanjutnya dilakukan mengukur arus dan kecepatan motor.

Dari Pengujian untuk mengetahui pengaruh kediameteran diameter kawat email terhadap kecepatan untuk motor 1 dengan diameter kawat 0,2 mm pada tegangan 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 dan 24 volt diperoleh arus tiap tegangan pengujian sebesar 0,03 A, 0,04 A, 0,04 A, 0,05 A, 0,05 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A, 0,10 A sedangkan untuk kecepatan motor 1 dihasilkan 451, 579,715,970,1029,1326,1539,1712,1870,1994 sedangkan untuk motor 2 dengan diameter kawat email 0,4 mm diperoleh arus 0,5 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A, 0,10 A, 0,11 A, 0,14 A, 0,19 A sedangkan untuk kecepatan motor 2 dengan diameter kawat 0,4 mm dihasilkan 745, 1031, 1367, 1726, 2014, 2243, 2533, 2738, 2820, 2831.

Untuk pengujian mengetahui pengaruh banyak kutub pada motor BLDC terhadap kecepatan dilakukan pengujian yang sama yaitu pada tegangan 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 dan 24 volt yang membedakan hanya jumlah kutub . untuk motor dengan 12 kutub diperoleh arus 0,5 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A, 0,10 A, 0,11 A, 0,14 A, 0,19 A sedangkan untuk kecepatan motor dengan 12 kutub dihasilkan 745, 1031, 1367, 1726, 2014, 2243, 2533, 2738, 2820, 2831. Sedangkan untuk motor dengan 6 kutub diperoleh arus 0,04 A, 0,04 A, 0,05 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A , 0,10 A sedangkan untuk kecepatan motor dengan 6 kutub dihasilkan 1054, 1438,1755, 2028, 2242, 2465, 2691,2837, 3008, 3168. Sedangkan untuk motor dengan 4 kutub diperoleh arus 0,04 A, 0,04 A, 0,05 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A , 0,10 A sedangkan untuk kecepatan motor dengan 4 kutub dihasilkan 948, 1274,1635, 1893, 2089, 2089, 2285, 2443, 2595, 2734, 2861.

Dari penelitian ini pengaruh diameter kawat sangat berpengaruh pada kecepatan yang dihasilkan dari penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin besar diameter kawat yang digunakan maka semakin besar juga kecepatan yang mampu dihasilkan oleh motor seperti motor dengan diameter kawat 0,4 mm mampu mencapai kecepatan 2831. Untuk pengaruh jumlah kutub pada motor dapat dilihat bahwa proses *switching* pada motor BLDC sangat berpengaruh pada kecepatan yang dihasilkan oleh motor. Motor dengan 6 kutub memiliki kecepatan paling tinggi yaitu 3168 dari pada motor dengan 12 kutub atau 4 kutub. Motor dengan 12 kutub memiliki jarak antar magnet yang terlalu dekat oleh sebab itu *switching* yang dihasilkan terlalu cepat sehingga motor tidak berada di kecepatan maksimalnya sedangkan motor dengan 4 kutub memiliki jarak antar magnet terlalu jauh sehingga proses *switching* yang dihasilkan terlalu lambat sehingga motor juga tidak berada pada kecepatan maksimalnya. Motor *axial fluks* celah udara tunggal pada penelitian ini motor dengan menggunakan jumlah kutub 6 menjadi motor dengan kecepatan yang paling bagus karena motor dengan jumlah kutub 6 memiliki *switching* yang paling tepat dan efektif sehingga dihasilkan kecepatan yang paling tinggi.

## SUMMARY

**Design Of Single-Phase Motor Without Brushless Single-Phase (BLDC) Axial Flux (Pancake) Construction With Single Air Gap** : Septian Dwi Atmaja, 131910201001: 2018: 132 pages: Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In modern times, technological advances in both small to large industry even though they are in different household appliances all equipment therein is inseparable with a motor. The motor itself is a tool that is capable of turning electrical energy if given as input. Or in General Motors are electromagnetic devices namely that transforms electrical energy into mechanical energy. The motor itself in the Division is divided into two AC motors and DC motors. But in everyday life the motor used most often in society, namely the DC motor. Because the DC motor has advantages i.e. easily in control of this peggendalian that is primarily by way of regulating voltage and current to the motor. In addition to having the advantages of easy in the control of DC motor speed, it has drawbacks i.e. DC motors still use comutator or ring to be spun so that there is a loss-loss of friction and inefficiencies due to brush comutator will experiencing thinning each time the motor is used. And must replace the charcoal brush or layer it again when the ring or the comutator depleted so that the motor can spin back.

In the design of BLDC motor with interior decoration namely (*Pancake*) coil situated at the bottom of the coil and as many as 12 rotor consisting of as many as 12 neodymium magnet. In this design the coil mounted in series. Whereas to know the influence of the thickness of the wire against the speed of the design uses 2 different wire thickness i.e. 0,2 mm for motor 1 and 0,4 mm for motor 2. Testing done on the voltage 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 and 24 volt current measuring is done next and the speed of each motor with a thick wire that is different.

Whereas to know the influence of the number of poles on the motor spindle-reduction done BLDC originally numbering 12 reduced to 6 coils and 4

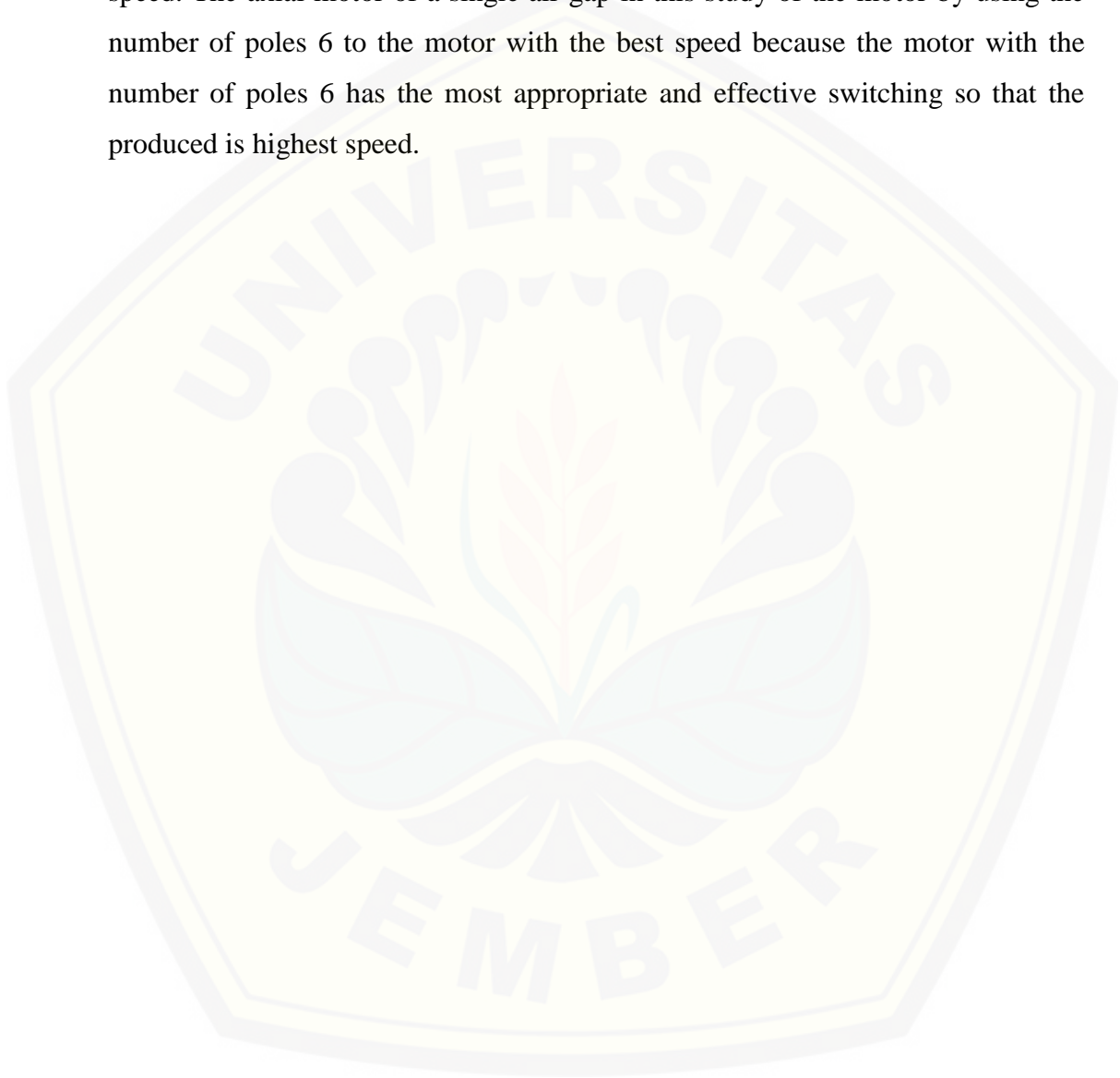
coil neodymium magnet with the number of follow many coils in the motor. Testing done on the voltage 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 and 24 volt current measuring is done next and the speed of the motor

From testing to find out the influence of the thickness of the wire diameter email against speed for motor 1 with thick wire 0,2 mm voltage 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 and 24 volt current is obtained every teganagan testing of 0,04 A, 0,03 A, 0,05 A, 0,04 A , 0,05 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A, 0,10 A while for motor speed 1 generated 451, 579, 715, 970, 1029, 1326, 1539, 1712, 1870, 1994 while for motor 2 with thick wire 0.4 mm email retrieved current 0,5 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,09 A, 0,08 A, 0,10 A, 0,11 A, 0,14 A, 0,19 A while for speed motor 2 wire diameter 0,4 mm generated 745, 1031, 1367, 1726, 2014, 2243, 2533, 2738, 2820, 2831.

For testing know how many pole BLDC motor at speed towards the same test that is performed on the voltage 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 and 24 volt that distinguishes only the number of poles. for motors with 12 poles retrieved current 0,5 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A, 0,10 A, 0,11 A, 0,14 A,, 0,19 A. while for speed motor with 12 pole produced 745, 1031, 1367, 1726, 2014, 2243, 2533, 2738, 2820, 2831. As for the motor with 6 poles gained current 0,04 A, 0,04 A 0,05 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A, 0,10 A. while for speed motor with 6 poles produced 1054, 1438.1755, 2028, 2242, 2465, 2691.2837, 3008, 3168. As for the motor with 4 poles gained current 0,04 A, 0,04 A, 0,05 A, 0,06 A, 0,06 A, 0,07 A, 0,07 A, 0,08 A, 0,09 A, 0,10 A. while for speed motor with 4 poles generated 948, 1274.1635, 1893, 2089, 2089, 2285, 2443, 2595, 2734, 2861.

From this research the effect of wire diameter is very influential on the speed resulting from this study can be seen that the larger diameter of the wire diguanakan then the greater the speed that can be generated by the motor such as motor with diamaeter wire 0.4 mm can reach speed 2831. For influence the number of poles on the motor can be seen that the switching process on the BLDC motor is very influential on the speed generated by the motor. Motor with 6 poles have the highest speed of 3168 from the motor with 12 poles or 4 poles. Motor

with 12 poles have the distance between the magnet that is too close therefore the switching is generated too fast so that the motor is not at maximum speed while the motor with 4 poles have the distance between the magnets too far so that the resulting switching process is too slow so that the motor is also not on maximum speed. The axial motor of a single air gap in this study of the motor by using the number of poles 6 to the motor with the best speed because the motor with the number of poles 6 has the most appropriate and effective switching so that the produced is highest speed.





## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa (BLDC) Kontruksi *Axial Flux (Pancake)* Dengan Celah Udara Tunggal”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Suprihadi prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen penguji utama dan Bapak H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantupenulisan skripsi secara administratif.
6. Kedua orang tua tercinta, Bapak Suatmadji dan Ibu Endang Martiwi serta kakakku Naomi Setyowati dan Slamet Mudjiadi atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
7. Kepada teman-teman seperjuangan se-DPU Kusyairi, Heristo, Lutfi yasid yang selalu saling mendukung satu sama lain dalam penyusunan skripsi.

8. Rekan satu perjuangan penelitian Ginanjar Ni'matullah, Edi Trikurniawan, Dimas Suryo, Intho Nurshauma, Nanda yang menjadi teman dalam mengerjakan alat penelitian dan penyusunan skripsi.
9. Teman-teman kontrakan POJOK Muhammad Faisal Ali, Teo Aska Prabawa, Mohamad Choirul Anwar, Ahmad Iqbal Nasrudin, Budi Santoso, Andika Wahyu P, Achmad Fitoyo dan M. Nuri Bachrudin yang selama 4 tahun telah saling membantu satu sama lain.
10. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2013 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.
11. Serta seluruh pihak yang telah membantu dalam mengerjakan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demikesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 11 Januari 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING .....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
SUMMARY .....	x
PRAKATA.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Sistematika Penulisan.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Pengertian Motor.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Jenis-Jenis Motor Berdasarkan <i>supply</i> .....	5
2.1.2 Bagian-bagian Motor BLDC .....	8
2.1.3 Lilitan Pada Motor BLDC.....	8
<b>2.2 Kuat Medan Magnet .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 EMF (<i>Electro Motive Force</i>).....</b>	<b>11</b>

2.3.1 Karakteristik Kecepatan Torsi beban Motor .....	12
<b>2.4 Kecepatan Motor .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Solenoida.....</b>	<b>14</b>
<b>2.6 Magnet Permanen.....</b>	<b>16</b>
<b>2.7 Tansistor .....</b>	<b>16</b>
2.7.1 Fungsi dan Kegunaan Transistor .....	16
2.7.2 Jenis Jenis Transistor .....	17
<b>2.8 Sensor <i>Hall Effect</i>.....</b>	<b>19</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Perencanaan Jadwal Penelitian.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Tahapan Penelitian.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5 Blok Diagram dan perancangan Sistem .....</b>	<b>26</b>
<b>3.6 Perancangan BLDC <i>Single-Phase Axial Fluks (Pancake)</i>.....</b>	<b>27</b>
<b>3.7 Perancangan Rotor Motor BLDC .....</b>	<b>28</b>
<b>3.8 Perancangan Stator Motor BLDC .....</b>	<b>28</b>
<b>3.9 Perancangan Driver BLDC <i>Single-Phase Axial Fluks</i> .....</b>	<b>29</b>
<b>3.10 Pengujian BLDC <i>Single-Phase Axial Fluks (Pancake)</i>.....</b>	<b>30</b>
3.10.1 Pengukuran Tahanan Pada Stator.....	30
3.10.2 Memberikan Sumber Pada Motor .....	30
3.10.3 Perhitungan Pada Motor BLDC <i>Single Phase Axial Fluks</i> .....	30
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Analisis Data Pengujian .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Pengujian Motor BLDC Satu Fasa Kontruksi <i>Axial Fluks 12</i></b>	
<b>Kutub .....</b>	<b>35</b>
4.2.1 Perbandingan Kecepatan Motor <i>Axial Fluks 12</i> Kutub.....	43
4.2.2 Perhitungan Pada Motor <i>Axial Fluks</i> .....	44
4.2.3 Perbandingan Pengujian dan Perhitungan Motor <i>Axial Fluks</i>	
Dengan 12 Kutub .....	51
<b>4.3 Analisa Pengaruh Jumlah Kutub pada Motor <i>Axial Fluks</i> .....</b>	<b>52</b>

4.3.1 Hasil Pengujian Kecepatan Motor <i>Axial Fluks</i> 6 Kutub .....	52
4.3.2 Perhitungan Pada Motor <i>Axial Fluks</i> Dengan 6 Kutub.....	59
4.3.3 Perbandingan Pengujian Dan Perhitungan <i>Motor Axial Fluks</i> Dengan 6 Kutub .....	65
4.3.4 Pengujian Kecepatan Motor <i>Axial Fluks</i> 4 Kutub.....	66
4.3.5 Perhitungan Pada Motor <i>Axial Fluks</i> Dengan 4 Kutub .....	73
4.3.6 Perbandingan Pengujian Dan <i>Perhitungan</i> Motor <i>Axial Fluks</i> Dengan 4 Kutub .....	80
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	<b>83</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	<b>83</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>84</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>85</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>87</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Kemampuan Hantar Arus Kawat Email bedarsarkan <i>American wire</i> .....	15
2.2 Data Spesifikasi Sensor Hall 3144.....	21
2.3 Spesifikasi Maksimum Hall 3144.....	21
2.4 Perencanaan Jadwal Penelitian .....	22
4.1 Hasil Pengujian Motor 1 Dengan Diameter Kawat 0,2 mm .....	35
4.2 Hasil Pengujian Motor 2 Dengan Diameter Kawat 0,4 mm .....	38
4.3 Perbandingan Kecepatan Pada Kedua Motor axial fluk .....	41
4.4 Perhitungan Motor 1 dengan 12 kutub Axial Fluks .....	45
4.5 Perhitungan Motor 2 <i>Axial Fluks</i> 12 kutub .....	48
4.6 Perbandingan Perhitungan <i>Error</i> Persen Kecepatan Motor .....	51
4.7 Hasil Pengujian Motor 1 Dengan Jumlah Kutub 6 .....	53
4.8 Hasil Pengujian Motor 2 Dengan Jumlah Kutub 6 .....	55
4.9 Perbandingan Pengujian Motor Dengan Jumlah Kutub 6.....	58
4.10 Hasil Perhitungan Motor 1 dengan Jumlah Kutub 6.....	59
4.11 Hasil Perhitungan Motor 2 dengan Jumlah Kutub 6.....	62
4.12 Perbandingan Perhitungan <i>Error</i> Persen Kecepatan Motor 6 Kutub.....	65
4.13 Hasil pengujian Motor 1 dengan Jumlah 4 Kutub .....	67
4.14 Hasil pengujian Motor 2 dengan Jumlah 4 Kutub .....	70
4.15 Perbandingan Kecepatan Kedua Motor Dengan Jumlah 4 Kutub .....	72
4.16 Hasil Perhitungan Kecepatan Motor 1 Dengan Jumlah 4 Kutub .....	74
4.17 Hasil Perhitungan Kecepatan Motor 2 Dengan Jumlah 4 Kutub .....	77
4.18 Perbandingan Perhitungan <i>Error</i> Persen Kecepatan Motor 4 Kutub.....	80

**DAFTAR GAMBAR**

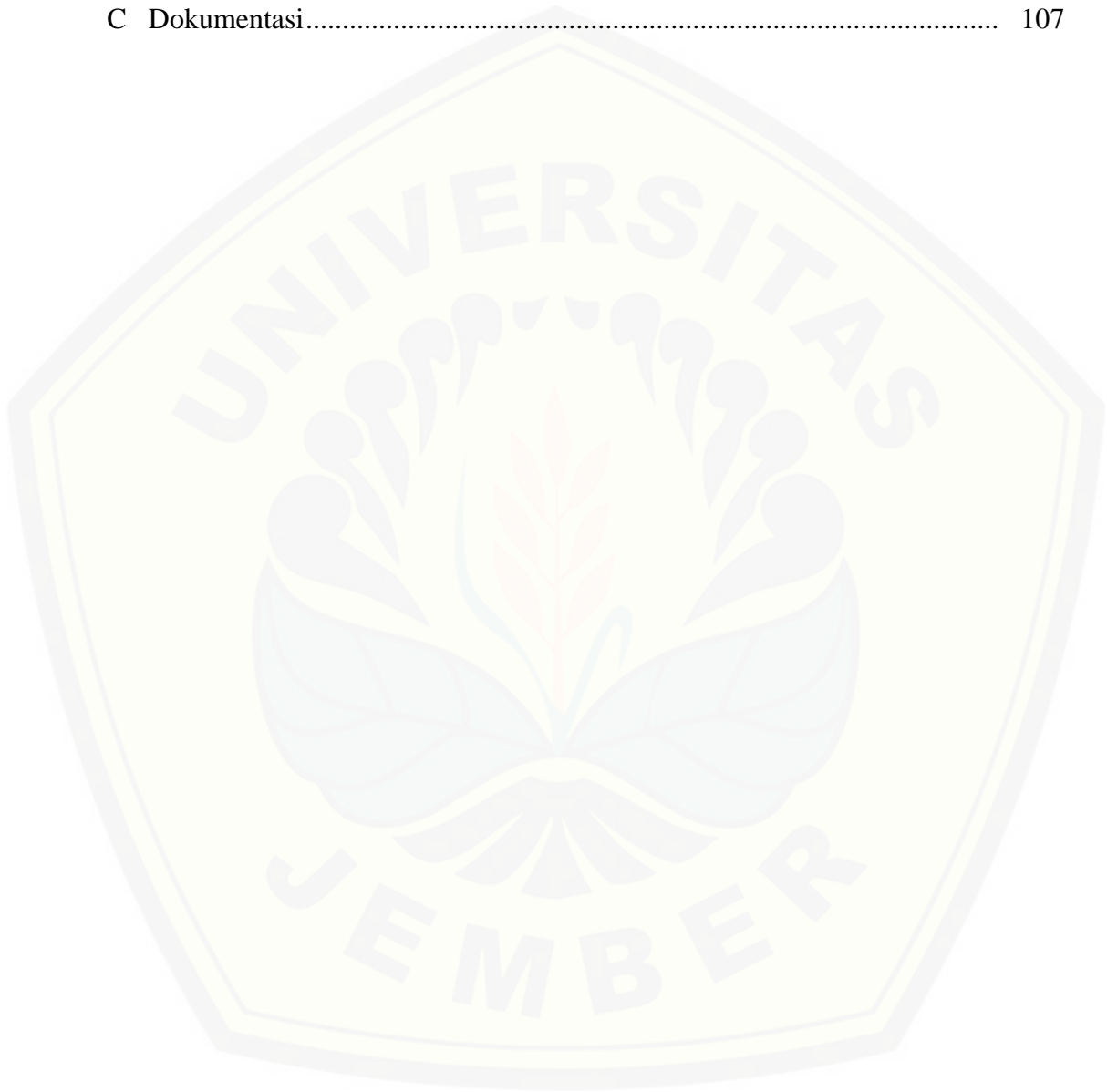
	Halaman
2.1 Konstruksi Silindris.....	7
2.2 Konstruksi <i>Axial Fluks (Pancake)</i> .....	8
2.3 Arah Lilitan Stator.....	9
2.4 Macam Lilitan .....	9
2.5 Model Maxwell 3D dari motor .....	9
2.6 Desain <i>Air Gap</i> .....	10
2.7 EMF Pada Konduktor .....	11
2.8 Kurva Waktu-Kecepatan Dari Beban Traksi .....	13
2.9 Medan Magnet Pada Solenoida.....	14
2.10 Penentuan Kutub Utara Dengan Aturan Tangan Kanan .....	15
2.11 Transistor .....	16
2.12 Transistor NPN.....	17
2.13 Transistor PN .....	18
2.14 bentuk dan struktur UJT.....	18
2.15 <i>Field Effect</i> Transistor (JFET) .....	19
2.16 Transistor Mosfet .....	19
2.17 Model Penggabungan Dengan Rotor .....	20
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	25
3.2 Blok Diagram dan Perancangan Sistem.....	26
3.3 Model Kontruksi <i>Axial Fluks (Pancake)</i> .....	27
3.4 Kutub Utara Dengan Aturan Tangan Kanan.....	29
3.5 Driver BLDC <i>single-phase</i> dengan sensor <i>hall</i> 3144 .....	29
4.1 Motor BLDC Satu Fasa Kontruksi <i>Axial Fluks (Pancake)</i> Dengan Celah Udara Tunggal .....	34
4.2 Stator Pada Motor 1 Dan Motor 2 Dengan 12 Kutub .....	35
4.3 Grafik Kecepatan Motor 1 Pada Tegangan 6 Sampai 24 Volt Dengan 12 Kutub dan Kawat 0,2 mm .....	38

4.4	Grafik Kecepatan Motor 2 Pada Tegangan 6 Sampai 24 Volt Dengan 12 Kutub dan Kawat 0,4 mm .....	40
4.5	Grafik Perbandingan Pengujian Kecepatan Motor BLDC <i>Axial Fluks</i> Dengan 12 Kutub .....	42
4.6	Grafik Torsi Motor 1 Degan 12 Kutub Motor BLDC <i>Axial Fluks</i> .....	47
4.7	Grafik Torsi Motor 2 Degan 12 Kutub Motor BLDC <i>Axial Fluks</i> .....	50
4.8	Motor 1 dan Motor 2 Dengan 6 Kutub.....	52
4.9	Grafik Kecepatan Motor 1 Dengan 6 Kutub .....	55
4.10	Grafik Kecepatan Motor 2 dengan 6 Kutub.....	57
4.11	Grafik Perbandingan Kecepatan Motor dengan 6 Kutub.....	58
4.12	Grafik Torsi Motor 1 dengan 6 Kutub .....	61
4.13	Grafik Torsi Motor 2 dengan 6 Kutub .....	64
4.14	Motor 1 dan Motor 2 Dengan 4 Kutub.....	66
4.15	Grafik Kecepatan Motor 1 dengan 4 Kutub.....	70
4.16	Grafik Kecepatan Motor 2 dengan 4 Kutub.....	72
4.17	Grafik perbandingan Kecepatan kedua Motor dengan 4 Kutub.....	74
4.18	Grafik Torsi Motor 1 Dengan 4 Kutub .....	76
4.19	Grafik Torsi Motor 2 Dengan 4 Kutub .....	79



**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A Perhitungan .....	87
C Dokumentasi.....	107





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Pada zaman *modern* ini, kemajuan teknologi baik dalam industri kecil sampai industri besar sekalipun bahkan dalam berbagai peralatan rumah tangga semua peralatan didalamnya tidak terlepas dengan sebuah motor. Motor itu sendiri merupakan sebuah alat yang mampu berputar jika diberi energi listrik sebagai *input*. Atau secara umum motor yaitu perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor sendiri dalam pembagiannya terbagi menjadi dua yaitu motor AC dan motor DC. Akan tetapi dalam kehidupan sehari-hari motor yang paling sering digunakan dalam masyarakat yaitu motor DC. Karena motor DC memiliki kelebihan yaitu mudah dalam pengendalian terutama pengendalian kecepatannya yaitu dengan cara mengatur tegangan dan arus yang masuk kedalam motor tersebut. Selain memiliki kelebihan mudah dalam pengendalian kecepatan, motor DC ini memiliki kelemahan yakni motor DC masih menggunakan *comutator* atau cincin untuk dapat berputar sehingga terdapat rugi-rugi gesekan sikat dan ketidak efisienan karena *comutator* akan mengalami penipisan setiap kali motor digunakan. Dan harus mengganti sikat arang atau melapisinya lagi ketika cincin atau *comutator* tersebut habis agar motor dapat berputar kembali. Sehingga motor DC bersikat (*Brushed DC motor*) bisa dikatakan memiliki tinggat biaya yang mahal perwaktu pemakaian karena harus mengganti sikat arang atau biasa di sebut *comutator* tersebut tiap mengalami aus pada sikat arang.

Dengan berbagai kelemahan yang ada dalam motor DC bersikat (*Brushed DC motor*) dan untuk memenuhi kebutuhan motor dengan efisiensi tinggi, kecepatan tinggi dan perawatan yang relatif lebih rendah maka motor DC *Brushless* (BLDC) menjadi pilihan yang paling efektif dalam segi efisiensi tingkat tinggi. *Brushless DC* (BLDC) adalah motor magnet permanen akan tetapi proses *comutator* dan sikat digantikan oleh *solid state switch*. Pada *Controller Brushless DC Motor* (BLDC) tiga fasa berperan sangat penting atau sebagai penunjang utama beroperasinya motor DC *Brushless* karena motor ini

membutuhkan suatu *trigger* pulsa ke bagian elektromagnetik (stator) dari motor DC *Brushless* sebagai pengaturan besarnya arus yang mengalir sehingga motor dapat berputar dan diatur secara akurat. (Indradewa, 2013). Pengoptimalan bentuk stator telah digunakan untuk mengurangi torsi cogging motor BLDC fase tunggal dengan mengadopsi gap udara asimetris untuk membuatnya dimulai sendiri. Sebagai hasil perancangan yang optimal, torsi cogging model yang dioptimalkan berkurang lebih dari 35,6% dan 8,6% dibandingkan model awal dan PA. (Park, 2015)

Motor yang dikembangkan dapat dinilai sebagai operasi pengalih tunggal dan dengan operasi H-jembatan. Dengan satu tombol Operasi ini memberikan efisiensi 90%. Dalam pengembangan motor BLDC, magnet strip ferit memiliki kerapatan fluks maksimum 0,3 T telah digunakan. Daya / torsi motor dapat ditingkatkan dengan menggunakan magnet Alnico dan NdFeB. (Tiwari, 2013). Sedangkan ketika menggunakan sensor reed switch pada penelitian sebelumnya di jelaskan, *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. (Kurniawan, 2016).

Berangkat dari ini peneliti akan merancang motor *BLDC single phase* dengan kontruksi (*Pancake*) yaitu stator terletak pada bagian bawah dan rotor di bagian atas dan untuk mengetahui karakteristik BLDC *single phase* kontruksi (*Pancake*) dan membandingkan dengan diameter kawat email yang berbeda 0,2 mm dan 0,4 mm. Pada perancangan kali ini peneliti menggunakan 12 *coil* sebagai stator dan 12 magnet *neodymium* sebagai rotor dan juga menggunakan sensor *hall efect* sebagai pengendali (*trigger*) *Brushless* DC motor itu sendiri. Sehingga ketika sensor *Hall* mendeteksi adanya magnet didepannya maka sensor akan mengaktifkan (*on*) transistor, kemudian akan diteruskan ke kumparan medan secara sekuensial. Diharapkan dengan pemodelan kontruksi *axial flux* atau (*Pancake*) dengan 12 *coil* sebagai stator dan 12 magnet *neodymium* serta sensor *hall* sebagai pengendali (*trigger*) pada BLCD *single phase* sehingga dapat

meningkatkan efisiensi pada motor BLDC *single phase* dan mendapatkan efisiensi dan akurasi yang lebih tinggi.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Dari permasalahan diatas maka dapat disusun beberapa rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian ini yang meliputi:

1. Bagaimana perancangan motor BLDC *single-phase* kontruksi *axial flux* (*Pancake*) menggunakan sensor *hall efect* ?
2. Bagaimana pengaruh diameter kawat email terhadap kecepatan yang dihasilkan dari perancangan motor BLDC *single phase* kontruksi *axial flux* (*Pancake*)?
3. Bagaimana pengaruh banyaknya kutub pada rpm motor BLDC *single-phase* kontruksi *axial flux* (*Pancake*)?

## 1.3 BATASAN MASALAH

Untuk memfokuskan bahasan pada penelitian ini, maka dibuatlah batasan masalah agar pembahasan tidak meluas yang meliputi:

1. Menggunakan sensor *hall efect* sebagai pengendali atau proses pengindraan (*switching*).
2. Magnet yang digunakan yakni *neodymium* silinder 1 X 3 cm.
3. Magnet permanent dan *coil* yang digunakan dalam kontruksi *Brushless* DC motor berjumlah 12 buah.
4. *Gab* antara stator dan rotor diabaikan.
5. Jarak antar maget pada rotor diabaikan.
6. Diameter stator dan rotor besarnya sama.
7. Menggunakan stator dan rotor berdiameter 14,5 cm.
8. Pengujian motor dilakukan tanpa beban.
9. Pengujian hanya pada tegangan, kecepatan, arus, rpm, kerapatan fluks magnet, perhitungan torsi dan pengaruh banyak kutub terhadap kecepatan motor.
10. Nilai kerapatan fluks yang digunakan yaitu pengukuran.
11. Menggunakan tegangan kerja pengujian maksimal 24 Vdc.

#### 1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti dalam melakukan penelitian ini adalah:

1. Untuk merancang bangun BLDC *single-phase* konstruksi *axial flux (Pancake)* menggunakan sensor *hall efect*.
2. Mengetahui pengaruh diameter kawat email terhadap kecepatan motor BLDC *single phase* konstruksi *axial flux (Pancake)*.
3. Mengetahui pengaruh banyaknya kutub pada rpm motor BLDC *single-phase* konstruksi *axial flux (Pancake)*.

#### 1.5 MANFAAT PENELITIAN

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

1. Dapat mendukung ilmu pengetahuan tentang *Brushless DC* motor *single phase*.
2. Motor BLDC *single-phase* konstruksi *axial flux (Pancake)* dapat menjadi sebuah konsep terobosan baru sebagai penelitian selanjutnya.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Motor

Motor dapat diartikan yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Aplikasi motor listrik banyak kita temui dimana diantaranya peralatan rumah tangga, mobil, dan peralatan industri.

#### 2.1.1 Jenis Jenis Motor Berdasarkan *Supply*

Motor listrik itu sendiri terbagi menjadi dua kelompok yaitu motor AC dan motor DC. Dari kedua jenis motor tersebut baik motor AC dan motor DC sebenarnya sama akan tetapi yang membedakan yaitu pasokan *supply* yang digunakan ketika motor itu beroperasi. (Zekavat, 2013)

##### a. Motor AC

Motor AC adalah motor membutuhkan sumber AC sebagai input dan mengkonversi ke gerak rotasi, konversi energi listrik menjadi energi mekanik. Motor AC sendiri terbagi menjadi dua yaitu :

1. Motor *Synchronous*
2. Motor Induksi

Yang membedakan motor AC dan DC yang lain yaitu kecepatan motor DC dikendalikan oleh tegangan, sedangkan kecepatan motor AC dikendalikan dari frekuensi sumber.

##### b. Motor DC

Motor arus searah (DC) adalah mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik yang berupa putaran.

Dalam perkembangannya motor DC terbagi menjadi dua yaitu :

##### 1. *Brushed* Motor

*Brushed* Motor adalah motor listrik internal yang dirancang untuk dijalankan dari sumber arus searah. Motor jenis ini adalah motor yang memiliki komutator atau sikat sehingga motor dapat berputar. Motor ini termasuk motor yang konvensional. Adapun komponen yang ada pada *brushed* motor yaitu :



a. Stator

Stator adalah komponen yang statis dalam motor. Kebanyakan motor listrik memakai stator silinder yang memiliki kutub magnet, baik dibentuk oleh magnet permanen (PM) atau gulungan medan gulungan medan diterapkan pada slot memotong dalam permukaan struktur stator.

b. Rotor

Komponen yang berputar dari motor. Hal ini terletak di dalam stator dan pada dasarnya adalah silinder besi dilaminasi dipasang pada poros. Slot dipotong memanjang pada permukaan rotor untuk mengakomodasi konduktor angker. merupakan salah satu lingkaran berliku rotor.

c. Gulungan

Terdapat dua jenis gulungan yaitu lapangan dan angker. Kedua jenis membawa DCs. Gulungan medan *set up* medan magnet stator, sedangkan angker berliku melakukan hal yang sama untuk rotor.

d. Komutator

Sebuah komutator membalikkan arah arus di setiap konduktor melalui angker saat lewat dari satu kutub ke yang lain dan membantu untuk mengembangkan torsi searah terus menerus.

2. Brushless Motor

Motor BLDC adalah motor sinkron magnet permanen yang dirancang untuk memiliki emf trapesium belakang. (Bashir & S., 2016). BLDC motor atau dapat juga disebut 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. Dari kedua nama baik itu BLDC atau BLAC memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode *six-step* maupun metode PWM.

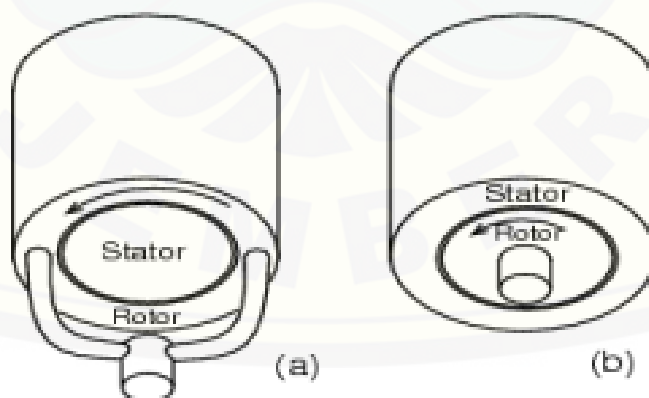
Dibandingkan dengan motor DC konvensional, motor BLDC memiliki kelebihan antara lain, karakteristik kecepatan dan torsi yang lebih baik, tanggapan dinamis yang tinggi, efisiensi tinggi, tahan lama dan rendahnya tingkat *noise*

dibanding dengan motor induksi dan motor dc konvensional. Keunggulan yang ada pada motor ini membuat motor ini banyak digunakan untuk penggerak mobil listrik, karena ukuran motor ini adalah juga kecil sehingga bisa mengurangi ruang dan berat mobil. (Purwadi, 2013).

Berdasarkan konstruksinya motor BLDC itu sendiri terdiri dari dua yaitu bentuk silindris seperti yang ada pada gambar 6.4 atau (*Pancake*) seperti yang ada pada gambar 6.4, sedangkan untuk tipe rotor BLDC memiliki dua tipe yaitu *in runner* dan *out runner*. Akan tetapi dari 2 tipe konstruksi tersebut yang paling sering digunakan yaitu konstruksi silindris tipe rotor *out runner*. Terdapat dua jenis motor

BLDC jika dilihat dari segi arah aliran *flux*-nya, yaitu radial *flux* BLDC dan *Axial flux* BLDC. (Ghoni, 2015).

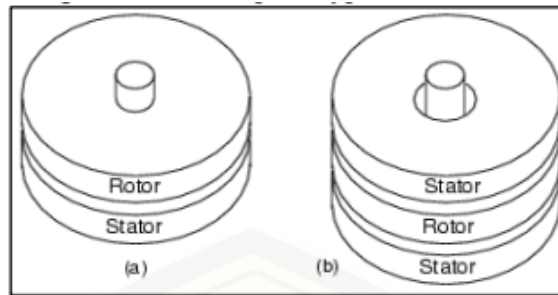
Dari konstruksi yang ada memiliki beberapa kelebihan dan kekurangannya untuk silindris memiliki bentuk yang terlihat pendek dan diameter. Oleh karena itu arah medan magnetik radial terhadap sumbu putarnya. Sedangkan untuk konstruksi (*Pancake*) (*Axial Flux*) yang memiliki celah udara tunggal memiliki torsi yang lebih rendah seperti pada gambar 2.2 a, jika dibandingkan dengan torsi yang memiliki tipe celah udara ganda yaitu seperti pada gambar 2.2 b.



Gambar 2.1 Konstruksi Silindris (a) *Outside Rotor* (b) *Inside Rotor*

sumber : (Antono, 2012)





Gambar 2.2 Konstruksi *Axial Flux (Pancake)*: (a) Celah Udara Tunggal, (b) Celah Udara Ganda

Sumber : (Sheikh, 2016)

### 2.1.2 Bagian-bagian Motor BLDC

#### a. Stator

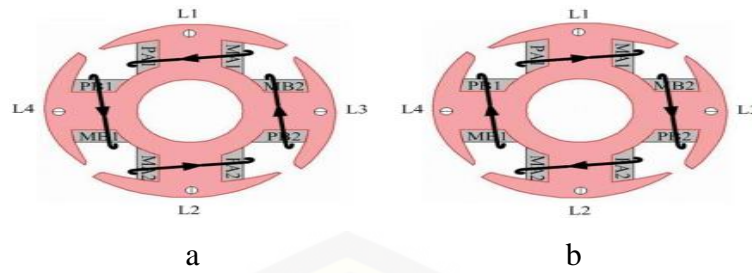
Dasar sebuah stator tiga fasa motor DC *brushless* memiliki tiga gulungan. Kebanyakan motor DC *brushless* jumlah kumparan direplikasi untuk memiliki riak torsi yang lebih kecil. (Antono, 2012). Stator pada BLDC baik itu satu fasa atau tiga fasa memiliki fungsi yang sama yaitu memberikan fluks atau medan magnetik. Yang membedakan hanyalah konfigurasi lilitan pada statornya saja.

#### b. Rotor

Jumlah kutub magnet di rotor juga mempengaruhi ukuran langkah dan riak torsi dari motor. Jumlah kutub yang banyak akan memberikan gerakan presisi dan riak torsi yang kecil. (Antono, 2012). Pada motor BLDC baik itu satu fasa ataupun tiga fasa kebanyakan menggunakan tipe magnet permanen yang kuat. Magnet yang sering digunakan pada rotor BLDC yaitu tipe neodinium NdFeB.

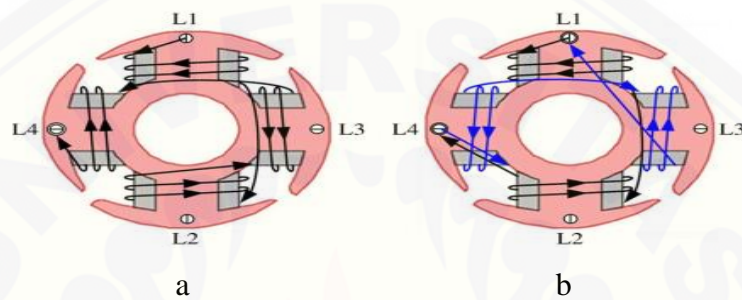
### 2.1.3 Lilitan Pada Motor BLDC

Lilitan pada motor BLDC memiliki beberapa aturan atau jenis bisa digunakan yaitu lilitan seri dan lilitan paralel. Sedangkan untuk arah lilitan juga terbagi menjadi dua yaitu lilitan yang searah dengan jarum jam (*clockwise*) atau berlawanan dengan jarum jam (*counterclockwise*).



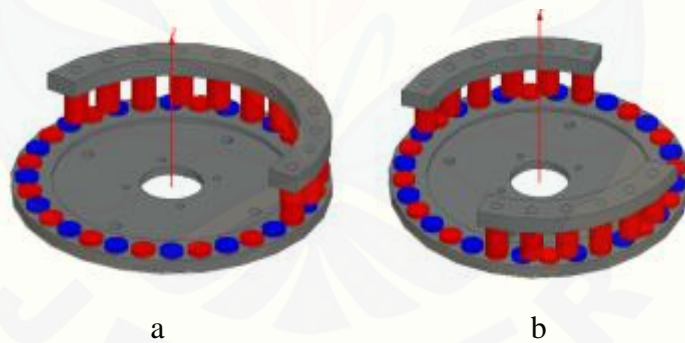
Gambar 2.3 Arah Lilitan Stator (a) *Counter Clockwise*. (b) *Clockwise*

Sumber : (Chen Y. T., 2013)



Gambar 2.4 Macam Lilitan (a) Lilitan Seri (b) Lilitan Paralel

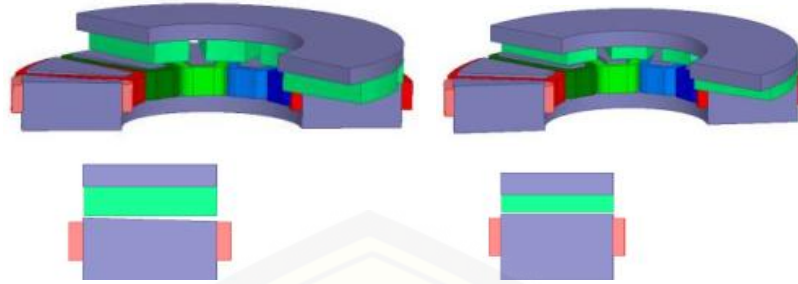
Sumber : (Chen Y. T., 2013)



Gambar 2.5 Model Maxwell 3D dari motor

(a) Motor dengan satu segmen stator (b) Motor dengan dua segmen stator

Sumber : (Chen C. , 2012)



Gambar 2.6 Desain *Air Gap* (a) Desain dengan *variable air gap* berkompensasi,  
(b) Desain orisinil motor tanpa variasi

Sumber : (Ghoni, 2015)

Dengan variabel air gap kejenuhan kerapatan *flux* pada bagian tengah dan jari-jari inti stator diuraikan sehingga kerapatan *flux* yang dihasilkan oleh stator menjadi lebih rata pada seluruh permukaannya. Dengan kerapatan *flux* yang lebih merata membuat torsi yang dihasilkan motor menjadi lebih efisien dan bernilai lebih besar bila dibandingkan dengan torsi dari desain orisinil tanpa ada modifikasi variabel air gap. (Ghoni, 2015).

## 2.2 Kuat Medan Magnet

Motor BLDC agar dapat bekerja harus ada kuat medan magnet yang bekerja atau timbul dalam motor. Kuat medan magnet tersebut dipengaruhi oleh banyak serta panjang lilitan, arus yang mengalir dan yang terakhir yaitu permeabilitas bahan. kuat medan dapat di hitung dengan menggunakan rumus yaitu :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot N}{2L} \text{ (wb/m}^2\text{) } \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

B = Kuat Medan Magnetik (T)

L = Panjang Solenoida (m)

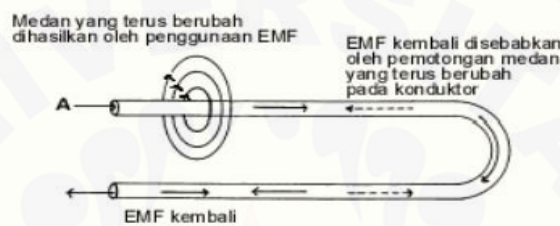
I = Kuat Arus Listrik (A)

N = Jumlah Lilitan Solenoida

$\mu$  = Permeabilitas Bahan ( $4\pi \times 10^{-7}$  dalam satuan standard )

**2.3 EMF (*Electro Motive Force*)**

EMF (*Electro Motive Force*) disebut juga gaya gerak listrik yang berbeda. EMF induksi ditimbulkan karena adanya gaya yang dihasilkan oleh konduktor yang melawan gaya yang diberikan kepada konduktor tersebut. Teorinya adalah jika sebuah konduktor listrik memotong garis medan magnet maka akan timbul gaya gerak listrik pada konduktor tersebut. Pada Gambar 2.7 menunjukkan gaya elektromotif yang bekerja pada konduktor. Jika tidak elektromotif, tidak akan terjadi pergerakan pada konduktor (Indradewa, 2013).



Gambar 2.7 EMF Pada Konduktor

Sumber : (Indradewa, 2013)

Yang menjadi dasar perbedaan kedua jenis belitan stator tersebut terletak pada hubungan antara koil dan belitan stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (*Electro Motive Force*) balik yang berbeda. Sedangkan EMF balik itu sendiri ialah tegangan balik yang dihasilkan belitan motor BLDC tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan sumber yang dibangkitkan.

Besarnya nilai EMF balik itu sendiri sangat dipengaruhi oleh tegangan sumber yang diberikan ( $v$ ), arus yang mengalir pada motor ketika motor bekerja ( $I$ ), dan resistansi motor ( $r$ ). Maka besarnya nilai EMF balik dapat di hitung melalui persamaan :

$$E_a = V - I.R \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

- $E_a$  = Tegangan Emf Ggl (Volt)
- $V$  = Tegangan Sumber (Volt)
- $I$  = Arus (Ampere)
- $R$  = Resistansi (Ohm)

Perubahan besarnya EMF balik ini sangat mempengaruhi torsi pada motor BLDC, jika kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada belitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan turun dan torsi pun akan ikut turun. (Hadi, 2016)

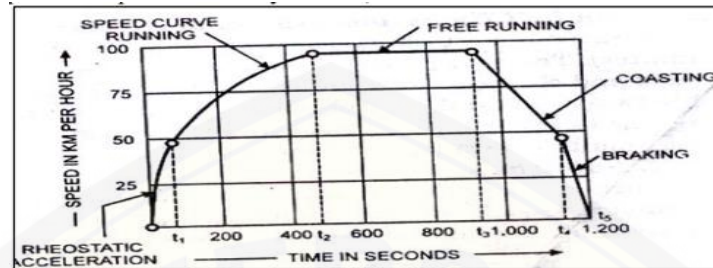
### 2.3.1 Karakteristik Kecepatan Torsi beban Motor

Karakteristik torsi kecepatan motor diberikan oleh relasi  $\omega = f(T_L)$ . Ini didefinisikan sebagai hubungan antara kecepatan di mana ia dioperasikan dan torsi beban. Karakteristik torsi kecepatan dari berbagai jenis beban dibagi kedalam 5 kategori berikut. (Sheikh, 2016)

1. Beban dengan torsi konstan pada semua kecepatan: Pada beban semacam ini menawarkan torsi pasif ke motor yang pada dasarnya tidak tergantung pada kecepatan. Contoh beban semacam itu adalah gesekan kering, derek pada saat mengangkat, derek kerekan, pompa piston beroperasi melawan kepala tekanan konstan dan konveyor.
- 2) Beban dengan karakteristik naik linier: Pada jenis beban, torsi beban  $T_L$  meningkat dalam proporsi langsung terhadap kecepatan.
- 3) Beban dengan karakteristik non linier naik (Parabola): Pada jenis beban ini, torsi beban  $T_L$  sebanding dengan kuadrat kecepatan. Windage torsi adalah komponen yang mendominasi dari beban ini. Contoh yang berbeda adalah Fan, Blower, pompa sentrifugal, baling-baling di kapal laut atau pesawat terbang, roda air, dll.
- 4) Beban dengan karakteristik *non-linear* jatuh (hiperbolik): pada beban seperti itu, torsi  $T_L$  berbanding terbalik dengan kecepatan sementara daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan unit yang diberikan tetap tidak berubah. Beberapa jenis mesin bubut, mesin bor, mesin penggilingan dan mesin pemotong logam lainnya, *coil* ers pabrik baja termasuk kategori ini.
- 5) Beban traksi: Ini adalah beban torsi tinggi yang dapat bervariasi terus menerus tergantung pada kecepatan, waktu dan jalur atau Posisi kendaraan saat bergerak. Stiker dan torsi windage memainkan peran mendominasi saat memulai dan berlari Kondisi masing-masing. Kinerja selama akselerasi, free-



running, costing dan perlambatan sangat penting dalam hal ini Jenis beban (Gambar 2.15). Contoh yang populer adalah: traksi kereta api, kendaraan listrik dll.



Gambar 2.8 Kurva waktu-kecepatan dari beban traksi.

Sumber : (Sheikh, 2016)

### 2.4 Kecepatan Motor

Motor BLDC merupakan salah satu jenis motor sinkron. Karena jenis motor sinkron maka medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar di frekuensi yang sama. (Indradewa, 2013).

Pada motor BLDC tidak mengalami Slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor jenis ini mempunyai permanen magnet pada bagian "rotor" sedangkan elektromagnet pada bagian "stator"-nya. Kecepatan pada motor BLDC bergantung pada (a) frekuensi tegangan dan (b) jumlah kutub dalam mesin, dengan kata lain kecepatan motor independen selama beban dalam kemampuan motor. Jadi Perputaran pada rotor BLDC tersebut terjadi akibat adanya gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh stator, atau dapat dirumuskan sebagai :

Pada kenyataannya terdapat dua hal yang dapat mempengaruhi nilai torsi (T) dan kecepatan ( $n_r$ ) dari motor dc jenis penguat terpisah, yaitu tegangan ( $E_a$ ) dan fluks medan ( $\Phi$ ). Hal ini dapat dilihat persamaan di bawah: (Hadi, 2016)

$$\Phi = B A \quad \text{Weber} \dots\dots\dots 2.3$$

$$V = I.R + E_a \dots\dots\dots 2.4$$

$$E_a = V - I.R \dots\dots\dots 2.5$$

$$n_r = \left( \frac{120}{2\pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) = C \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \dots\dots\dots 2.6$$

Dengan C adalah :

$$C = \left( \frac{120}{2\pi p N} \right) \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

$E_a$  = Tegangan EMF (gaya gerak listrik) Volt

$B$  = kerapatan fluks (T)

$p$  = Jumlah kutub

$\Phi$  = *Flux* per kutub (Weber/kutub)

$n_r$  = putaran (rpm)

$N$  = Jumlah lilitan

$A$  = Luas penampang

$V$  = Tegangan Sumber

$I$  = Arus

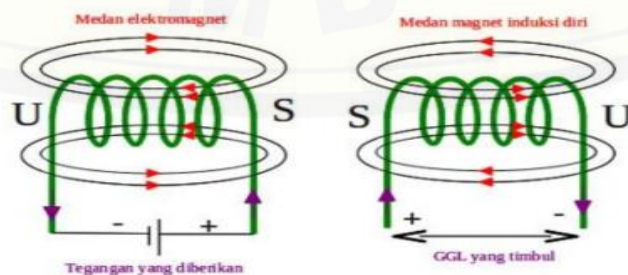
$R$  = Resistansi

$C$  = Konstanta

## 2.5 Solenoida

Solenoida merupakan sebuah kumparan kawat yang terdiri dari beberapa lilitan (*loop*). Saat arus listrik mengalir solenoida tersebut akan memiliki sifat medan magnet. (Kurniawan, 2016)

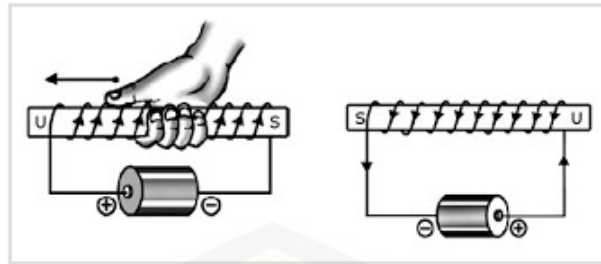
Sifat medan magnet atau kutub magnet yang dihasilkan oleh solenoida tersebut bergantung pada arah lilitan dan arah arus yang lewat pada kawat penghantar tersebut. Pada stator BLDC terbuat dari solenoid yang terhubung dengan sumber dc. Sehingga konduktor di dalam solenoid berubah menjadi magnet sehingga timbul gaya elektromagnetik.



Gambar 2.9 Medan Magnet Pada Solenoida.

Sumber : (Kurniawan, 2016)





Gambar 2.10 Penentuan Kutub Utara Dengan Aturan Tangan Kanan.

Sumber : (Dwianto, 2012)

Besar medan magnet yang dihasilkan pada solenoida sangat bergantung pada arus yang mengalir pada solenoida tersebut. Semakin kecil arus yang masuk ke kawat email maka semakin kecil pula medan yang akan dihasilkan solenoid atau stator tersebut. Sedangkan semakin besar arus yang masuk maka semakin besar juga kuat medan magnet yang dihasilkan. apabila kumparan – kumparan solenoida berjarak sangat dekat, medan di dalam pada dasarnya akan parallel dengan sumbu kecuali di bagian ujung – ujungnya. kemampuan hantar arus kawat email sangat beragam bergantung dari diameter dari kawat tersebut. Semakin besar diameter kawat maka semakin besar juga kemampuan kuat hantar arusnya.

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

No	Diameter Kawat (mm)	Kemampuan Hantar Arus (kA) (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 : (Kurniawan, 2016)



### 2.7.2 Jenis - Jenis Transistor

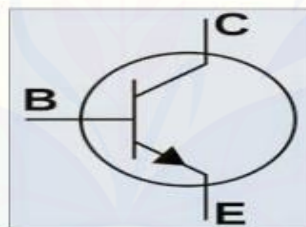
Transistor yang dijual dipasaran ada beberapa kategori, yaitu seperti berdasarkan polaritasnya, Tipenya, Bahannya, Kemasannya, dan sebagainya.

#### A. Berdasarkan Polaritasnya.

Transistor berdasarkan polaritasnya dapat dibagi menjadi dua yaitu tipe NPN dan PNP :

##### 1) Transistor NPN (Negatif-Positif-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. Prinsip kerja dari transistor NPN adalah: arus akan mengalir dari kolektor ke emitor jika basisnya dihubungkan ke *ground* (negatif). Arus yang mengalir dari basis harus lebih kecil dari pada arus yang mengalir dari kolektor ke emitor, oleh sebab itu maka ada baiknya jika pada pin basis dipasang sebuah resistor.

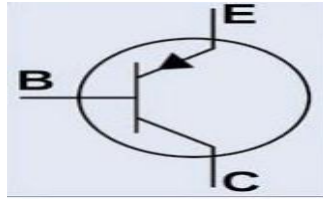


Gambar 2.12 Transistor NPN.

Sumber : (Kurniawan, 2016)

##### 2) Transistor PNP (Positif-Negatif-Positif)

Transistor PNP adalah arus akan mengalir dari emitter menuju ke kolektor jika pada pin basis dihubungkan ke sumber tegangan ( diberi logika 1). Arus yang mengalir ke basis harus lebih kecil daripada arus yang mengalir dari emitor ke kolektor, oleh sebab itu maka ada baiknya jika pada pin basis dipasang sebuah resistor.



Gambar 2.13 Transistor PNP.

Sumber : (Kurniawan, 2016)

B. Berdasarkan Tipenya

1) Uni Junktion Transistor (UJT)

Uni Junktion Transistor atau biasa disingkat UJT adalah transistor yang mempunyai satu kaki emitor dan dua basis. Kegunaan transistor ini adalah terutama untuk *switch* elektronis. Ada Dua jenis UJT ialah UJT Kanal N dan UJT Kanal P.

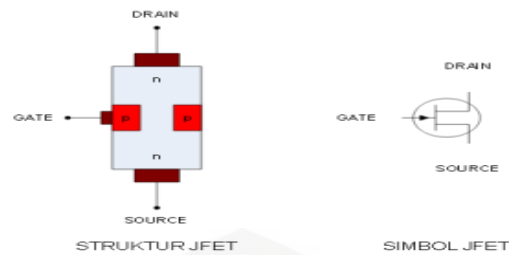


Gambar 2.14 Bentuk Dan Struktur UJT

Sumber : teknikelektronika.com

2) Field Effect Transistor (FET)

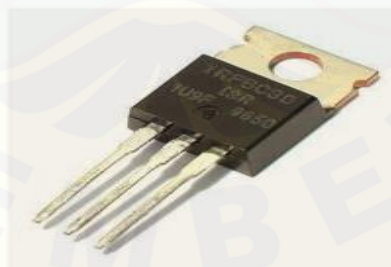
Beberapa Kelebihan FET dibandingkan dengan transistor biasa ialah antara lain penguatannya atau yang besar, serta desah yang rendah. Karena harga FET yang lebih tinggi dari transistor, maka hanya digunakan pada bagian-bagian yang memang memerlukan. Bentuk fisik FET ada berbagai macam yang mirip dengan transistor. Jenis FET ada dua yaitu Kanal N dan Kanal P dan Jenis dari transistor FET itu sendiri adalah JFET dan MOFET.

Gambar 2.15 *Field Effect* Transistor (JFET)

Sumber : (Kurniawan, 2016)

### 3) MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor FET*)

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor FET*) adalah suatu jenis FET yang mempunyai satu *Drain*, satu *Source* dan satu atau dua *Gate*. MOSFET mempunyai input *impedance* yang sangat tinggi. Mengingat harga yang cukup tinggi, maka MOSFET hanya digunakan pada bagian bagian yang benar-benar memerlukannya. Seperti halnya pada FET, terdapat dua macam MOSFET ialah Kanal P dan Kanal N. MOSFET (*Metal oxide FET*) memiliki *drain*, *source* dan *gate*. Namun perbedaannya *gate* terisolasi oleh suatu bahan *oksida*. *Gate* sendiri terbuat dari bahan metal seperti aluminium. Oleh karena itulah transistor ini dinamakan *metal-oxide*. Karena *gate* yang terisolasi, sering jenis transistor ini disebut juga IGFET yaitu *insulated-gate FET*.



Gambar 2.16 Transistor Mosfet

Sumber : (Kurniawan, 2016)

## 2.8 Sensor Hall Effect

Sensor *hall* merupakan sensor yang berada pada motor *brushless* DC yang berfungsi untuk memberikan *feedback* (umpan balik) pada rangkaian kontrol yang bersifat elektronik yang akan mengendalikan perubahan komutasi pada



motor *brushless* DC. Hal tersebut dikarenakan motor *brushless* DC bagian stator harus diberikan sinyal secara berurutan sesuai perubahan komutasi. Sensor *hall* sendiri bekerja dengan mendeteksi medan magnet yang ada di salah satu sisinya, jadi ketika medan magnet mempengaruhi sensor maka arus yang mengalir akan berbelok mendekati/menjauhi sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet.



Gambar 2.17 Model Penggabungan Dengan Rotor

Sumber : (Tiwari, 2013)

Tidak seperti motor DC brushed komutasi dari motor DC *brushless* diatur secara elektronik agar motor dapat berputar, stator harus di-*energize* secara berurutan dan teratur. Sensor *hall* inilah yang berperan dalam mendeteksi pada bagian rotor mana yang ter-*energize* oleh fluks magnet sehingga proses komutasinya yang berbeda (enam step komutasi) dapat dilakukan oleh stator dengan tepat karena sensor *hall* ini dipasang pada stator. *Hall* sensor ini ditempatkan 120 derajat pada jarak antar kutub stator, hal ini bertujuan agar deteksi terhadap *vector* fluks stator yang dihasilkan akurat setiap perpindahan komutasi, arus yang mengalir tetap terjaga konstan pada setiap *phasa*. (Indradewa, 2013).

Biasanya, sensor ini terintegrasi dengan inti loka atau magnet permanen yang mengelilingi konduktor yang akan diukur. Seringkali, sensor *Hall* digabungkan dengan sirkuit yang memungkinkan perangkat berfungsi dalam mode digital (*on / off*), dan dapat disebut saklar dalam konfigurasi ini. Umumnya terlihat pada aplikasi industri seperti silinder pneumatik yang digambarkan, juga digunakan pada peralatan konsumen; Misalnya beberapa printer komputer menggunakannya



untuk mendeteksi kertas yang hilang dan penutup yang terbuka. Bila diperlukan keandalan yang tinggi, keduanya digunakan pada keyboard.

Tabel 2.2 Data Spesifikasi Sensor *Hall* 3144

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Limits			
			Min.	Typ.	Max.	Units
Supply Voltage	$V_{CC}$	Operating	4.5	—	24	V
Output Saturation Voltage	$V_{OUT(SAT)}$	$I_{OUT} = 20 \text{ mA}$ , $B > B_{OP}$	—	175	400	mV
Output Leakage Current	$I_{OFF}$	$V_{OUT} = 24 \text{ V}$ , $B < B_{RP}$	—	<1.0	10	$\mu\text{A}$
Supply Current	$I_{CC}$	$B < B_{RP}$ (Output OFF)	—	4.4	9.0	mA
Output Rise Time	$t_r$	$R_L = 820 \Omega$ , $C_L = 20 \text{ pF}$	—	0.04	2.0	$\mu\text{s}$
Output Fall Time	$t_f$	$R_L = 820 \Omega$ , $C_L = 20 \text{ pF}$	—	0.18	2.0	$\mu\text{s}$

Sumber : Sensing and Productivity Solutions, 2014

Tabel 2.3 Spesifikasi Kemagnetan *Hall* 3144

Characteristic	Part Numbers*											
	A3141-			A3142-			A3143-			A3144-		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
$B_{OP}$ at $T_A = 25^\circ\text{C}$	50	100	160	130	180	230	220	280	340	70	—	350
over operating temp. range	30	100	175	115	180	245	205	280	355	35	—	450
$B_{RP}$ at $T_A = 25^\circ\text{C}$	10	45	130	75	125	175	165	225	285	50	—	330
over operating temp. range	10	45	145	60	125	190	150	225	300	25	—	430
$B_{hys}$ at $T_A = 25^\circ\text{C}$	20	55	80	30	55	80	30	55	80	20	55	—
over operating temp. range	20	55	80	30	55	80	30	55	80	20	55	—

Sumber : Sensing and Productivity Solutions, 2014

**BAB 3. METODE PENELITIAN**

**3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

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

Tempat : Laboratorium Sistem Tenaga

Alamat : Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111

Waktu : MEI 2017 - JULI 2017

**3.2 Perencanaan Jadwal Penelitian**

Tabel 7.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan														
		MEI				JUNI				JULI						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
1	Persiapan	■	■	■	■											
2	Studi Literatur		■	■	■	■										
3	Perancangan alat			■	■	■	■	■	■							
4	Melakukan pengujian						■	■	■	■	■	■	■			
5	Analisa data											■	■			
6	Pengambilan kesimpulan												■	■	■	■

**3.3 Alat dan Bahan**

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

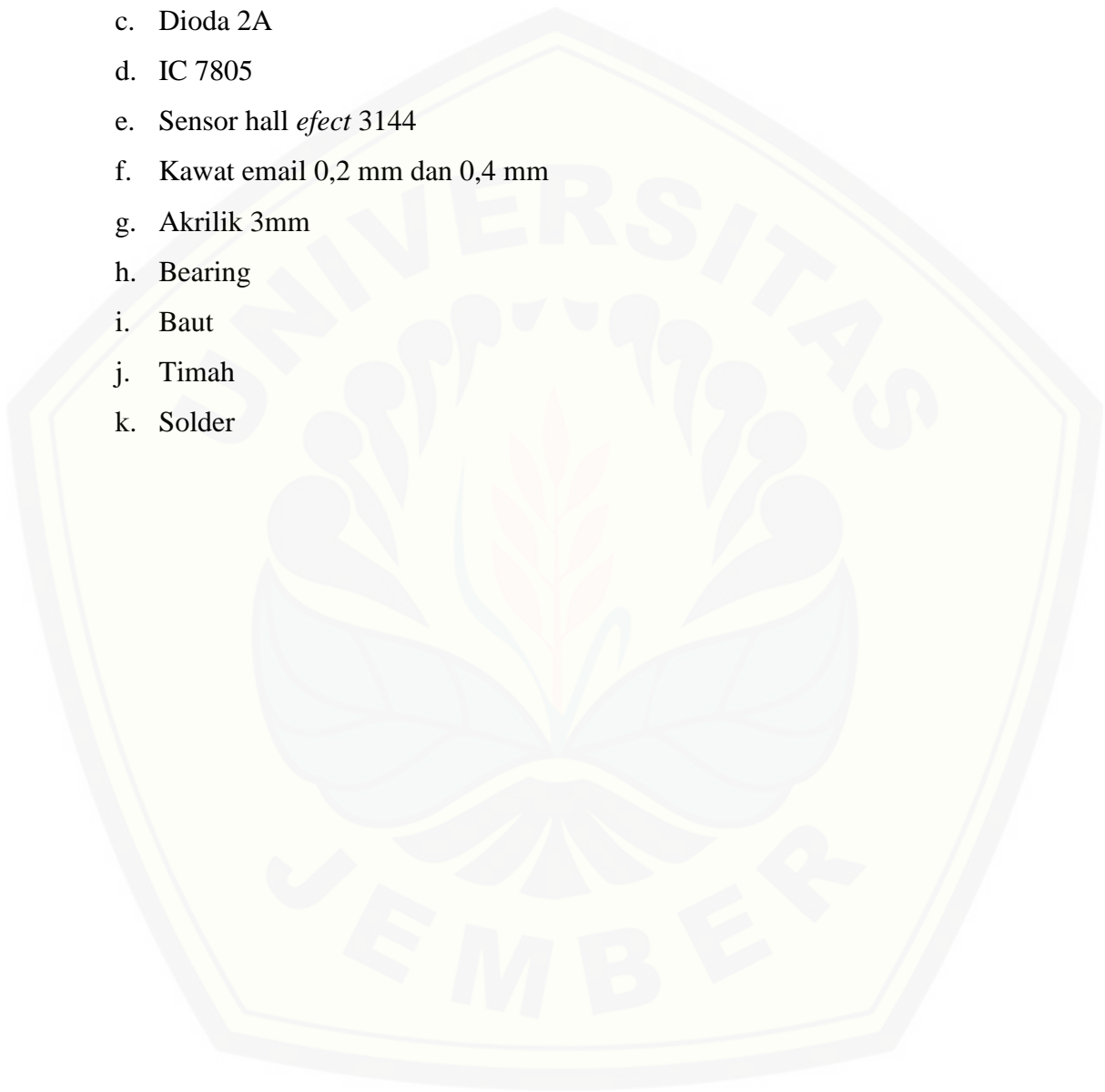
Alat

- a. Avometer.
- b. Tachometer.

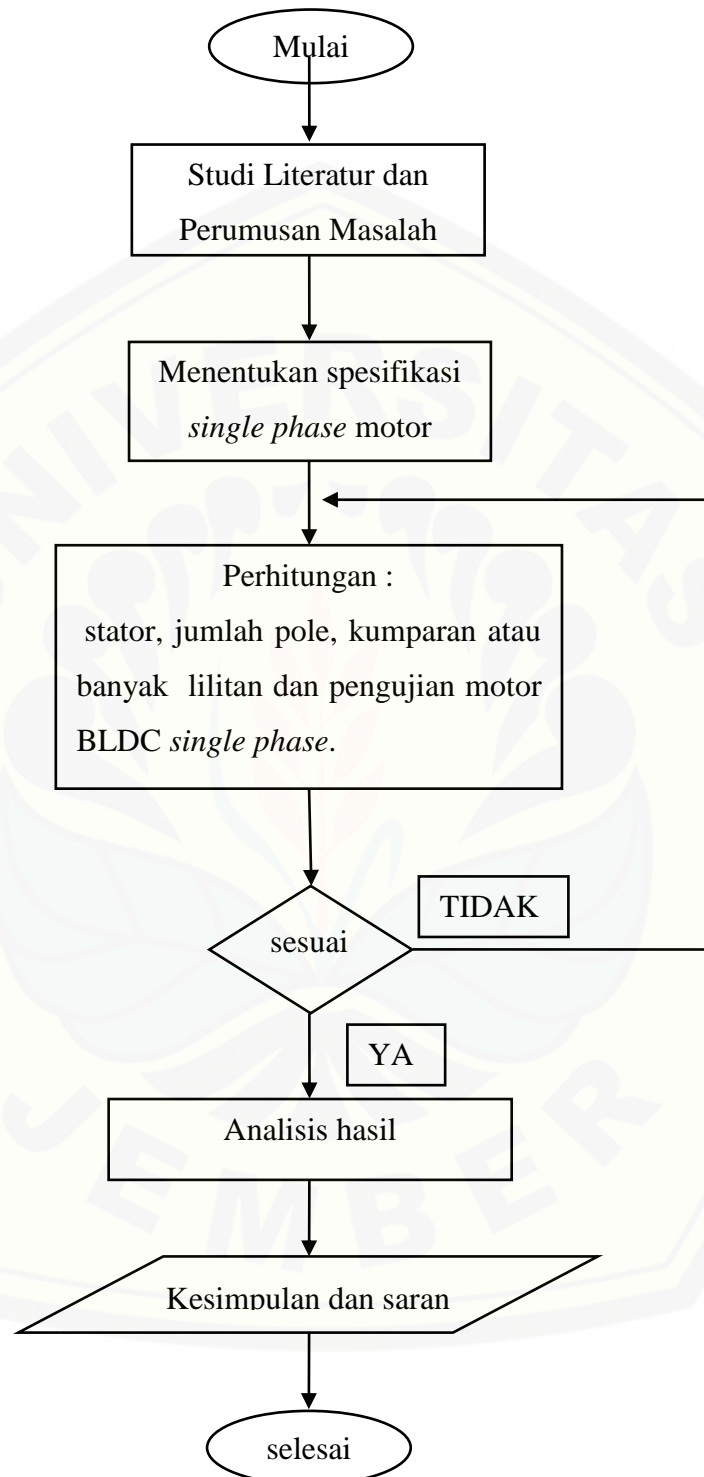
c. Gauss meter.

Bahan :

- a. Magnet neodymium dimensi 1 x 0,3 cm (0,10 T)
- b. Transistor TIP42.
- c. Dioda 2A
- d. IC 7805
- e. Sensor hall *efect* 3144
- f. Kawat email 0,2 mm dan 0,4 mm
- g. Akrilik 3mm
- h. Bearing
- i. Baut
- j. Timah
- k. Solder



### 3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian perancangan dan pembuatan motor *BLDC single-phase* konstruksi *axial flux (Pancake)* menggunakan sensor *hall effect*

:

1. Studi literatur

Tahap ini merupakan tahapan untuk mencari sumber informasi terkait penelitian yang akan dilakukan, dengan informasi yang didapat maka akan menjadi acuan untuk mencapai hasil penelitian.

2. Menentukan spesifikasi *BLDC single-phase* konstruksi *axial flux (Pancake)*

Menentukan spesifikasi motor sesuai dengan diameter stator dan rotor serta memiliki 12 magnet permanet pada rotor dan 12 stator . Sedangkan diameter stator dan rotor yaitu 10,3 cm.

3. Perhitungan rotor dan stator.

Pada tahap ini dilakukan perhitungan kecepatan motor, diameter kawat dan jumlah lilitan.

4. Perancangan motor dan stator.

Pada tahap keempat ini setelah melakukan perhitungan kita dapat menentukan ukuran dari rotor dan stator pada *single-phase* motor BLDC.

5. Pengujian motor BLDC *single-phase* konstruksi *axial flux (Pancake)*

Tahap kelima adalah pengujian alat yang telah dibuat dengan menggunakan AVO meter untuk mengukur tegangan dan arus, *fluks* meter untuk mengukur kerapatan magnet, *tachometer* untuk mengukur kecepatan dan menghitung torsi motor serta menambah jumlah magnet permanen secara bertahap untuk mengetahui pengaruh pada kecepatan motor tersebut.

6. Analisa data dan pembuatan laporan

Setelah tahap pengujian dilakukan dan didapatkan data, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis terhadap data yang telah didapat. Analisis tersebut berfungsi untuk mengetahui berapa besar pengaruh tegangan dan diameter kawat email yang diberikan terhadap kecepatan dan kuat medan magnet yang dihasilkan pada kumparan serta pada saat motor *starting* dan berputar.



### 7. Penarikan Kesimpulan dan saran.

Setelah Analisa data dan pembuatan laporan dilakukan 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.

### 3.5 Blok Diagram dan Perancangan Sistem

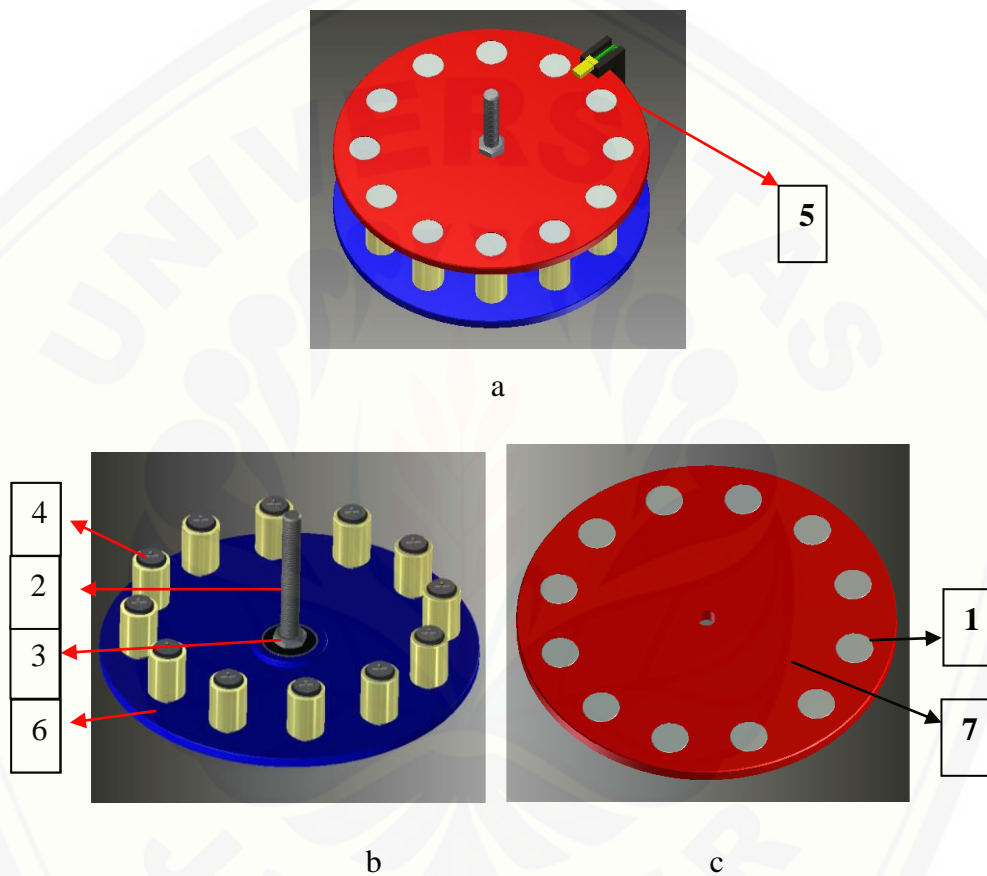


Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Pada gambar 7.2 menunjukkan diagram blok sistem kerja dari motor BLDC *single-phase* kontruksi *axial flux* (*Pancake*). Sumber yang digunakan pada motor BLDC *single-phase* kontruksi *axial flux* (*Pancake*) menggunakan sumber DC yang berasal dari *power supply*. Pada motor BLDC *single-phase* kontruksi *axial flux* (*Pancake*) menggunakan magnet permanen berjumlah 12 buah dengan 12 kumparan (*stator*). Pada kumparan (*stator*) ditaruh pada sisi bawah rotor, hal ini diharapkan motor yang dihasilkan dapat berputar dengan kecepatan yang tinggi dan memiliki efisiensi yang tinggi sesuai yang diharapkan. Berputarnya rotor sangatlah bergantung pada sensor *hall* yang di taruh pada motor Sensor *hall* inilah yang berperan dalam mendeteksi pada bagian rotor mana yang ter-*energize* oleh fluks magnet. Pengujian pada motor ini untuk memperoleh karakteristik tegangan, kecepatan, arus dan *fluks* magnet dan juga torsi dengan menggunakan alat ukur AVO meter, *tacho* meter dan juga *fluks* meter serta keakuratan dari sensor *hall* dalam menentukan rotor mana yang ter-*energize* dari pada sensor *reedswitch*. Karena keakuratan dan penentuan *energize* pada motor BLDC sangatlah penting.

### 3.6 Perancangan BLDC *Single-Phase Axial Flux*

Pada *single-phase* motor BLDC menggunakan dua belas magnet permanen. Ke dua belas magnet permanen dengan memanfaatkan kutub utara menghadap pada stator. BLDC yang dirancang dapat bergerak karena adanya sensor *hall effect* yaitu yang di letakkan pada bagian bawah dari rotor. sensor *hall* akan mendeteksi medan



Gambar 3.3 Model konstruksi *axial flux (Pancake)* (a) Penggabungan  
(b) Stator (c) Rotor

Keterangan :

- 1 : Magnet neodmium 1 x 0,3 cm (jarak pusat antar rotor 2,3 cm)
- 2 : Poros ( baut diameter 0,5 cm panjang 4,5cm )
- 3 : bering ( diameter 1,5 cm tinggi 5 cm)
- 4 : Stator atau kumparan ( jarak pusat antar stator 2,3 cm )
- 5 : Sensor *Hall* 3144

6 & 7 : Akrilik 3 mm

### 3.7 Perancangan Rotor Motor BLDC

#### a. Perhitungan Kecepatan dan Kerapatan BLDC.

Pada motor BLDC untuk mencari kecepatan yang dihasilkan dan kerapatan harus terlebih dahulu mengetahui frekuensi yang dihasilkan oleh motor.

Untuk mencari kecepatan dapat digunakan rumus :

$$V = I.R + E_a \dots\dots\dots 3.1$$

$$E_a = V - I.R \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana :  $E_a$  = Tegangan Emf (Gaya Gerak Listrik) (Volt)

$V$  = Tegangan *Supply* (Volt)

$I_a$  = Arus Motor (A)

$R$  = Resistansi Stator (Ohm)

$$n_r = \left( \frac{120}{2\pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) = C \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :  $n_r$  = Kecepatan Motor (Rpm)

$p$  = Jumlah Kutub

$N$  = Banyak Lilitan

$E_a$  = Ggl Induksi (volt)

$\Phi$  = Fluks (Wb)

#### b. Penentuan Magnet Pada Rotor.

Pada penentuan magnet yang akan digunakan pada penelitian kali ini sangat penting, karena sangat mempengaruhi kinerja dari motor yang akan di rancang. Pada penelitian kali ini magnet yang digunakan yaitu *neodymium* berbentuk bulat dan yang memiliki diameter yang sama dengan Solenoid pada stator. Sehingga untuk menentukan nilai *fluks* magnet yang nantinya akan dihasilkan yaitu :

$$\Phi = B \times A \dots\dots\dots 3.4$$

Keterangan:

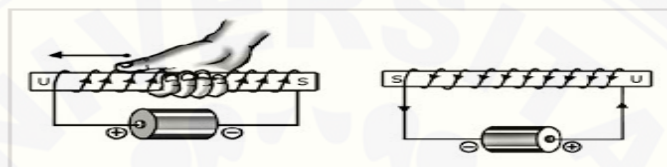
$\Phi$  : Fluks Magnet (Wb)

$B$  : Kerapatan Fluks (T)

$A$  : Luas Penampang Magnet ( $m^2$ )

### 3.8 Perancangan Stator Motor BLDC

pada penelitian ini stator pada motor BLDC menggunakan solenoid atau magnet buatan. Stator pada penelitian ini menggunakan kawat tembaga dengan diameter 0,2 mm dan 0,4 mm dan setiap 1 *coil* memiliki jumlah lilitan 600. Sehingga total dari lilitan pada penelitian ini sebanyak 7200 lilitan karena terdapat 12 *coil* . Perbedaan kawat akan mempengaruhi nilai kerapatan fluks magnet sehingga perbedaan diameter kawat akan mempengaruhi kecepatan yang dihasilkan oleh motor tersebut.



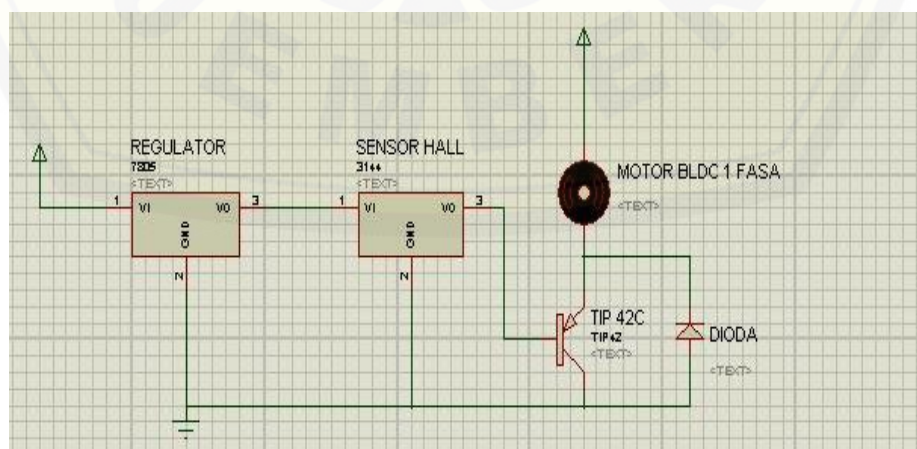
Gambar 3.4 Kutub Utara Dengan Aturan Tangan Kanan

Sumber : (Dwianto, 2012)

Pada gambar 3.4 kutub utara pada kaidah tangan kanan menunjukkan kutub utara. Pada penelitian dan pembuatan stator ini memakai kutub utara sebagai gaya tolak rotor nantinya. Lilitan yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu berlawanan dengan jarum jam (*counterclockwise*) dengan lilitan seri .

### 3.9 Perancangan Driver BLDC *Single-Phase Axial Flux*

Pada driver BLDC *single-phase* konstruksi (*Pancake*) menggunakan komponen utama sensor *hall effect* dan transistor TIP41.



Gambar 3.5 Driver BLDC *single-phase* dengan sensor *hall effect*

Keterangan :

A = Sensor *hall effect* 3144

B = Resistor 10K

C = Resistor 330 Ohm

D = Transistor TIP42

E = Motor BLDC *single-phase*

Pada rangkaian driver diatas sensor *hall* yang mendapatkan *input* tegangan sebesar 5V sedangkan sumber yang di berikan pada motor sampai tegangan 24V. Prinsip kerja driver tersebut yaitu ketika sensor *hall* dalam keadaan *high* pada kaki *output* sensor *hall* akan meneruskan arus atau memberikan sinyal pada kaki basis transistor TPI42 sehingga transistor akan *close* dan motor akan mendapatkan *ground* dan berputar . Dan apabila ketika sensor *hall effect* dalam keadaan *low* maka tegangan yang diberikan akan berada di titik jenuh di kaki *collector* sampai basis transistor mendapatkan signal atau arus di kaki basisnya. Proses *switching* tersebut terus berulang sehingga motor akan terus berputar.

### **3.10 Pengujian BLDC Single-Phase Axial Flux (Pancake)**

#### **3.10.1 Pengukuran Tahanan Pada Stator**

Pengukuran tahanan pada stator dilakukan ketika motor tidak bekerja atau dalam kedaan mati. Cara melakukan pengukuran tahanan dengan avo meter yaitu kutub positif dan negatif motor dihubungkan ke motor ke avo meter, sehingga nilai tahanan stator dapat diketahui. Tahanan yang diukur pada penelitian kali ini dilakukan pada kawat email 0,2 mm dengan 4 kutub, 6 kutub dan 12 kutub dan juga pada kawat email diameter 0,4 mm di 4 kutub, 6 kutub dan 12 kutub.

#### **3.10.2 Memberikan Sumber Pada Motor**

Pemberian sumber pada motor BLDC *single phase axial flux* dilakukan pada range tegangan 6V sampai dengan 24V. Pemberian tegangan pada motor BLDC *axial flux* dilakukan dengan menggunakan *power supply* dc.

#### **3.10.3 Perhitungan pada Perancangan Motor BLDC Single Phase Axial Flux**

a) Kerapatan Fluks Stator Motor BLDC *Single Phase Axial Flux*



Untuk mendapatkan nilai Kerapatan Fluks Stator yang dihasilkan dari motor BLDC ketika bekerja dapat diketahui

$$\phi = B \times A \dots\dots\dots 3.5$$

Dimana :  $\phi$  = Fluks Magnet (Wb)

B = Kerapatan fluks (T)

A = Luas Penampang Magnet (m<sup>2</sup>)

Menghitung nilai Ea pada motor BLDC *Single Phase Axial Flux* untuk mendapatkan nilai Ea pada motor BLDC *Single Phase Axial Flux* dihitung menggunakan rumus :

$$E_a = V - I_a \cdot R \dots\dots\dots 3.6$$

Dimana :  $E_a$  = Tegangan Emf (Gaya Gerak Listrik) (Volt)

V = Tegangan *Supply* (Volt)

$I_a$  = Arus Motor (A)

R = Resistansi Stator (Ohm)

b) Kecepatan yang dihasilkan motor BLDC *Single Phase Axial Flux*

Untuk mendapatkan kecepatan motor BLDC ketika berputar dengan menggunakan nilai emf dapat menggunakan persamaan :

$$n_r = \left( \frac{120}{2\pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) = C \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \dots\dots\dots 3.7$$

Dimana :  $n_r$  = Kecepatan Motor (Rpm)

p = Jumlah Kutub

N = Banyak Lilitan

$E_a$  = Ggl Induksi (volt)

$\phi$  = Fluks (Wb)

c) Daya motor BLDC *Single Phase Axial Flux*

Untuk mendapatkan daya motor BLDC dengan menggunakan nilai emf dapat menggunakan persamaan :

$$P = E_a \times I_a \dots\dots\dots 3.8$$

Dimana : P = Daya Motor (Watt)

$E_a$  = Ggl Induksi (volt)

$I_a$  = Arus Motor (A)

d) Torsi motor BLDC *Single Phase Axial Flux*

Untuk mendapatkan torsi motor BLDC *Single Phase Axial Flux* dapat diketahui melalui persamaan :

$$T = \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \dots \dots \dots 3.9$$

Dimana :  $T$  = Torsi Motor (N-m)

$p$  = Jumlah Kutub

$n_r$  = Kecepatan Motor (rpm)

$E_a$  = Ggl Induksi (volt)

$I_a$  = Arus (A)

e) Mengitung nilai *error* persen

Untuk mendapatkan nilai perbandingan data kecepatan motor BLDC *Single Phase Axial Flux* antara pengukuran dan hasil perhitungan. Akan dibandingkan untuk mendapatkan nilai *error percent*.

$$Error\ percent = \left| \frac{Data\ Perhitungan - Data\ Pengukuran \times 100\%}{Data\ Perhitungan} \right|$$

## BAB 5 PENUTUP

Dari hasil pengujian pada motor searah tanpa sikat satu fasa (BLDC) kontruksi *axial fluks* dengan celah udara tunggal maka dapat disimpulkan dan saran yang dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya diantaranya yaitu sebagai berikut.

### 5.1 Kesimpulan

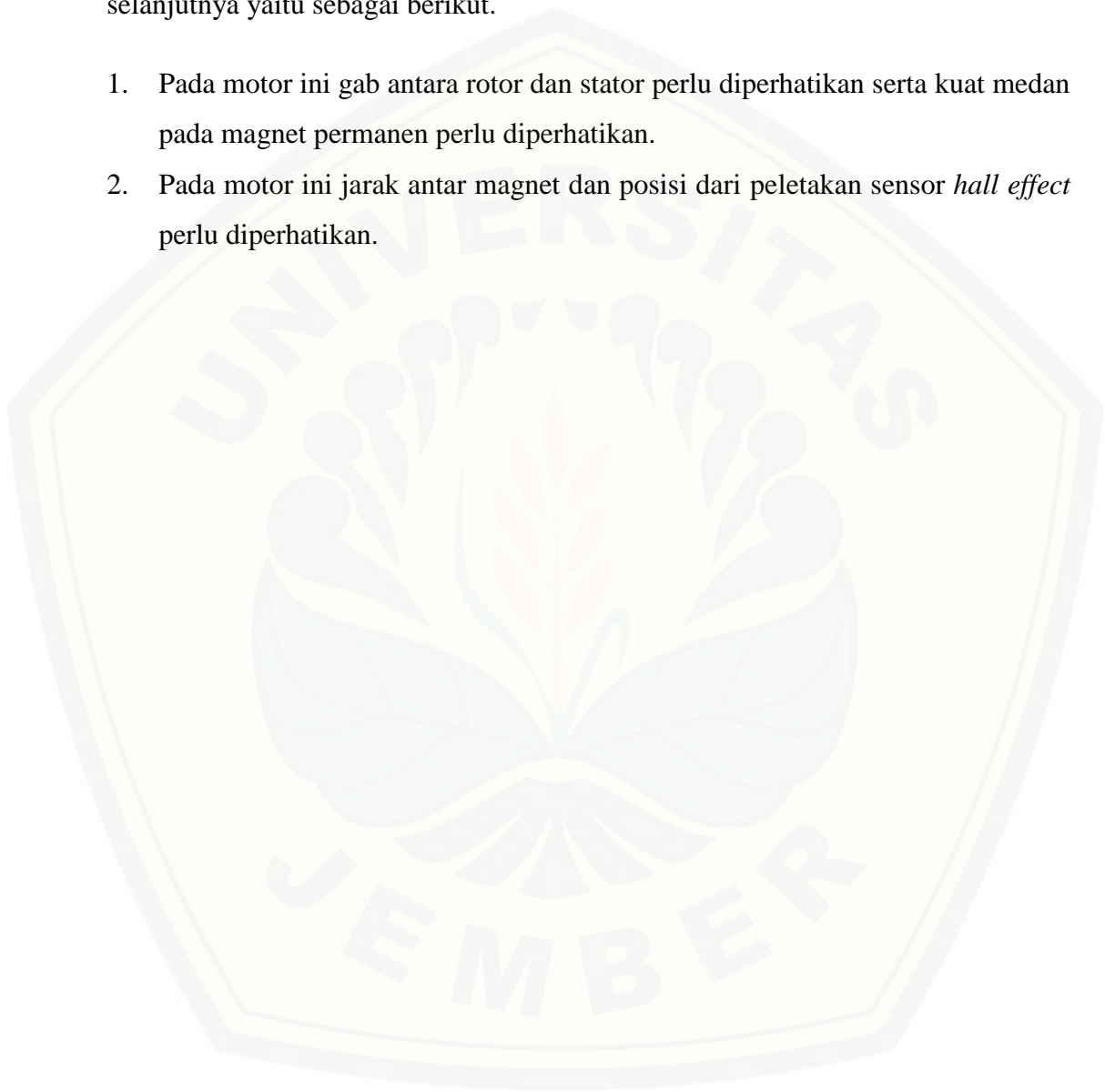
Dari percobaan yang sudah dilakukan pada motor searah tanpa sikat satu fasa kontruksi *axial fluks* dengan celah udara tunggal dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam perancangan motor BLDC satu fasa dengan kontruksi *axial fluks* dengan menggunakan sensor *hall* memiliki *switching* yang akurat karena sensor *hall* hanya membaca kutub sesuai dengan yang ditentukan.
2. Pada pengujian pengaruh diameter kawat terhadap kecepatan memiliki hubungan yang berbanding lurus. Semakin besar diameter kawat maka semakin besar juga kecepatan motor, ini dikarenakan arus yang masuk lebih besar karena semakin besar diameter kawat maka semakin kecil resistansinya. Terbukti untuk motor 1 diameter kawat 0,2 mm dengan memiliki arus 0,07 A dengan kecepatan 1994 sedangkan motor 2 dengan diameter kawat 0,4 memiliki arus 0,19 A dengan kecepatan sebesar 3168
3. Pada percobaan untuk mengetahui pengaruh jumlah kutub terhadap kecepatan motor dihasilkan motor dengan jumlah kutub 12 kutub memiliki kecepatan 2831, motor dengan 6 kutub memiliki kecepatan 3168 sedangkan untuk 4 kutub memiliki kecepatan 2861. Motor dengan jumlah kutub 6 menjadi posisi atau jarak antar magnet yang paling baik dan paling tepat dalam proses *switching* yang dilakukan oleh sensor *hall*.

## 5.2 Saran

Pada motor searah tanpa sikat satu fasa (BLDC) konstruksi *axial fluks* dengan celah udara tunggal ini terdapat saran untuk dilanjutkan penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Pada motor ini gab antara rotor dan stator perlu diperhatikan serta kuat medan pada magnet permanen perlu diperhatikan.
2. Pada motor ini jarak antar magnet dan posisi dari peletakan sensor *hall effect* perlu diperhatikan.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Antono, D. (2012). MOTOR DC BRUSHLESS TIGA FASA-SATU KUTUB. *ORBITH* , 32-37.()
- Chen, C. (2012). Analysis of Single Side Axial *Flux* Brushless DC Motor With Two Different Stator Geometries. *IEEE* .()
- Chen, Y. T. (2013). A Driver for the Single-Phase Brushless DC Fan Motor With Hybrid Winding Structure. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS* .
- Dwianto, A. (2012, agustus 13). *kemagnetan*. Dipetik April 26, 2017, dari indonesia cerdas: <http://www.indonesiacerdas.web.id/2012/08/kemagnetan.html>
- Ghoni, A. A. (2015). Desain dan Analisis Variabel Air Gap pada Motor Axial *Flux* Brushless DC Berbasis 3D Finite Element Method Untuk Aplikasi Kendaraan Listrik. *JURNAL TEKNIK ITS* .
- Hadi, W. (2016). Rancang Bangun Motor BLDC Dengan Rotor Berbentuk Piringan. *PROSIDING (SISTEM)* .
- Inradewa, E. (2013). Brushless Motor DC. *Jurnal Elektromagnetika* .
- Kurniawan, A. R. (2016). RANCANG BANGUN MOTOR SEARAH TANPA SIKAT SATU FASA (DESIGN OF MOTOR SINGLE-PHASE BRUSHLESS DIRECT CURRENT ). *BERKALA SAINSTEK* .
- Park, Y. U. (2015). Cogging Torque Reduction of Single-Phase Brushless DC Motor With a Tapered Air-Gap Using Optimizing Notch Size and Position. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS* .
- Purwadi, A. (2013). Testing Performance of 10 kW BLDC Motor and LiFePO4 Battery on ITB-1 Electric Car Prototype. *ScienceDirect* .
- Sheikh, M. B. (2016). Brushless DC Motor Design for Electric Traction System. *Journal for Research* .
- Tiwari, A. (2013). Single Switch Topology in Electronic Commutation of BLDC Motor. *Annual IEEE India Conference (INDICON)* .



Zekavat, S. R. (2013). *Electrical Engineering Concepts and Applications*.  
Amerika Serikat: 557-599.



**LAMPIRAN 1**  
**TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER**

**1. Perhitungan pada Motor 1**

**a) Motor 1 diameter kawat 0,2 mm 12 kutub**

❖ Pengujian pada tegangan 10 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 4,1 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\begin{aligned}\phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 4,1 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 2,08 \times 10^{-5} \text{ Wb}\end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 77,3 \Omega$ )

$$\begin{aligned}E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 10 - (0,05 \times 77,3) \\ &= 6,135 \text{ V}\end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned}N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 12 \times 600} \right) \left( \frac{6,135}{2,08 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 784\end{aligned}$$

➤ Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{12} \right) \left( \frac{6,135 \times 0,05}{784} \right) \\ &= 0,0043 \text{ Nm}\end{aligned}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned}P &= E_a \times I_a \\ &= 6,135 \times 0,05 \\ &= 0,3068 \text{ Watt}\end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{784 - 715}{784} \right| \times 100 \\ &= 8,8 \% \end{aligned}$$

- ❖ Pengujian pada tegangan 18 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 4,2 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\begin{aligned} \Phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 4,2 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 2,08 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 77,3 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 18 - (0,07 \times 77,3) \\ &= 12,589 \text{ V} \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 12 \times 600} \right) \left( \frac{12,589}{2,08 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 1579 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{12} \right) \left( \frac{12,589 \times 0,07}{1539} \right) \\ &= 0,0057 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$P = E_a \times I_a$$

$$= 12,589 \times 0,07$$

$$= 0,8812 \text{ Watt}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\text{Error percent} = \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100$$

$$= \left| \frac{1579 - 1539}{1579} \right| \times 100$$

$$= 2,5 \%$$

- ❖ Pengujian pada tegangan 24 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 4,5 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\Phi = B \times A$$

$$= B \times (\pi \times r^2)$$

$$= 4,5 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5}$$

$$= 2,27 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 77,3 \Omega$ )

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

$$= 24 - (0,10 \times 77,3)$$

$$= 16,270 \text{ V}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$N_r = \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right)$$

$$= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 12 \times 600} \right) \left( \frac{16,270}{2,27 \times 10^{-5}} \right)$$

$$= 1900$$

- Perhitungan Torsi

$$T = \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right)$$

$$= \left( \frac{120}{12} \right) \left( \frac{16,270 \times 0,10}{1994} \right)$$

$$= 0,0082 \text{ Nm}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= 16,270 \times 0,10 \\ &= 1,6270 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{1900 - 1994}{1900} \right| \times 100 \\ &= 4,9 \% \end{aligned}$$

**b) Motor 1 diameter kawat 0,2 mm 6 kutub**

❖ Pengujian pada tegangan 10 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 8,1 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\begin{aligned} \Phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 8,1 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 4,09 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 38,1 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 10 - (0,03 \times 38,1) \\ &= 8,857 \text{ V} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 6 \times 600} \right) \left( \frac{8,857}{4,09 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 1150 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Torsi

$$T = \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right)$$

$$= \left( \frac{120}{6} \right) \left( \frac{8,857 \times 0,03}{1138} \right)$$

$$= 0,00467 \text{ Nm}$$

➤ Perhitungan Daya

$$P = E_a \times I_a$$

$$= 8,857 \times 0,03$$

$$= 0,2657 \text{ Watt}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\text{Error percent} = \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100$$

$$= \left| \frac{1150 - 1138}{1150} \right| \times 100$$

$$= 1,0 \%$$

❖ Pengujian pada tegangan 18 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 8,9 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\Phi = B \times A$$

$$= B \times (\pi \times r^2)$$

$$= 8,9 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5}$$

$$= 4,50 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 38,1 \Omega$ )

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

$$= 18 - (0,05 \times 38,1)$$

$$= 16,095 \text{ V}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$N_r = \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right)$$

$$= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 6 \times 600} \right) \left( \frac{16,095}{4,50 \times 10^{-5}} \right)$$

$$= 1900$$



➤ Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{6} \right) \left( \frac{16,095 \times 0,05}{1960} \right) \\ &= 0,00821 \text{ Nm} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= 16,095 \times 0,05 \\ &= 0,8048 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{1900 - 1960}{1900} \right| \times 100 \\ &= 3,2 \% \end{aligned}$$

❖ Pengujian pada tegangan 24 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 9,3 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\begin{aligned} \Phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 9,3 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 4,69 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 38,1 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 24 - (0,06 \times 38,1) \\ &= 21,714 \text{ V} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 6 \times 600} \right) \left( \frac{21,714}{4,69 \times 10^{-5}} \right) \end{aligned}$$

$$= 2456$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{6} \right) \left( \frac{21,714 \times 0,06}{2435} \right) \\ &= 0,0107 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= 21,714 \times 0,06 \\ &= 1,3028 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{2456 - 2435}{2456} \right| \times 100 \\ &= 0,9 \% \end{aligned}$$

### c) Motor 1 diameter kawat 0,2 mm 4 kutub

- ❖ Pengujian pada tegangan 10 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 1,26 \text{ T}$ )

$$\begin{aligned} \phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 1,26 \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 6,33 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 26 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 10 - (0,03 \times 26) \\ &= 9,220 \text{ V} \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned}
 N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 4 \times 600} \right) \left( \frac{9,220}{6,33 \times 10^{-5}} \right) \\
 &= 1160
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}
 T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{4} \right) \left( \frac{9,220 \times 0,03}{1069} \right) \\
 &= 0,0078 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned}
 P &= E_a \times I_a \\
 &= 9,220 \times 0,03 \\
 &= 0,2766 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\
 &= \left| \frac{1160 - 1069}{1160} \right| \times 100 \\
 &= 7,8 \%
 \end{aligned}$$

❖ Pengujian pada tegangan 18 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 1,39 \text{ T}$ )

$$\begin{aligned}
 \phi &= B \times A \\
 &= B \times (\pi \times r^2) \\
 &= 1,39 \times 5,02 \times 10^{-5} \\
 &= 6,97 \times 10^{-5} \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 26 \Omega$ )

$$\begin{aligned}
 E_a &= V - (I_a \times R) \\
 &= 18 - (0,05 \times 26)
 \end{aligned}$$

$$= 16,700 \text{ V}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 4 \times 600} \right) \left( \frac{16,700}{6,97 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 1908 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{4} \right) \left( \frac{16,700 \times 0,05}{1864} \right) \\ &= 0,0134 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= 16,700 \times 0,05 \\ &= 0,8350 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{1864 - 1907}{1864} \right| \times 100 \\ &= 2,3 \% \end{aligned}$$

- ❖ Pengujian pada tegangan 24 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 1,48 \text{ T}$ )

$$\begin{aligned} \phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 1,48 \times 25,02 \times 10^{-5} \\ &= 7,42 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 26 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 24 - (0,07 \times 26) \\ &= 22,180 \text{ V} \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 4 \times 600} \right) \left( \frac{22,180}{7,42 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 2380 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{4} \right) \left( \frac{22,180 \times 0,07}{2322} \right) \\ &= 0,0201 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= 22,180 \times 0,07 \\ &= 1,5526 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{2380 - 2322}{2380} \right| \times 100 \\ &= 2,4 \% \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan pada Motor 2

### a) Motor 2 diameter kawat 0,4 mm 12 kutub

- ❖ Pengujian pada tegangan 10 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 2,8 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\phi = B \times A$$

$$\begin{aligned}
 &= B \times (\pi \times r^2) \\
 &= 2,8 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\
 &= 1,42 \times 10^{-5} \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 36 \Omega$ )

$$\begin{aligned}
 E_a &= V - (I_a \times R) \\
 &= 10 - (0,06 \times 36) \\
 &= 7,480 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned}
 N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 12 \times 600} \right) \left( \frac{7,840}{1,42 \times 10^{-5} \text{ Wb}} \right) \\
 &= 1476
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}
 T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{12} \right) \left( \frac{7,840 \times 0,06}{1367} \right) \\
 &= 0,0034 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$\begin{aligned}
 P &= E_a \times I_a \\
 &= 7,480 \times 0,06 \\
 &= 0,4704 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\
 &= \left| \frac{1470 - 1367}{1470} \right| \times 100 \\
 &= 7,0 \%
 \end{aligned}$$

- ❖ Pengujian pada tegangan 18 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 3,0 \times 10^{-1} \text{ T}$ )



$$\begin{aligned}
 \phi &= B \times A \\
 &= B \times (\pi \times r^2) \\
 &= 2,89 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\
 &= 1,53 \times 10^{-5} \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 36 \Omega$ )

$$\begin{aligned}
 E_a &= V - (I_a \times R) \\
 &= 18 - (0,10 \times 36) \\
 &= 14,400 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned}
 N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 12 \times 600} \right) \left( \frac{14,400}{1,53 \times 10^{-5} \text{ Wb}} \right) \\
 &= 2500
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}
 T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{12} \right) \left( \frac{14,40 \times 0,10}{2533} \right) \\
 &= 0,0057 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$\begin{aligned}
 P &= E_a \times I_a \\
 &= 14,400 \times 0,10 \\
 &= 1,4400 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\
 &= \left| \frac{2500 - 2533}{2500} \right| \times 100 \\
 &= 1,3 \%
 \end{aligned}$$

## ❖ Pengujian pada tegangan 24 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 3,2 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\begin{aligned}\phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 3,2 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 1,60 \times 10^{-5} \text{ Wb}\end{aligned}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 36 \Omega$ )

$$\begin{aligned}E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 24 - (0,19 \times 36) \\ &= 17,160 \text{ V}\end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned}N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 12 \times 600} \right) \left( \frac{17,160}{1,60 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 2846\end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{12} \right) \left( \frac{17,160 \times 0,19}{2831} \right) \\ &= 0,01152 \text{ Nm}\end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$\begin{aligned}P &= E_a \times I_a \\ &= 17,160 \times 0,19 \\ &= 3,2604 \text{ Watt}\end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned}Error \text{ percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{2846 - 2831}{2846} \right| \times 100\end{aligned}$$

$$= 0,5 \%$$

**b) Motor 2 diameter kawat 0,4 mm 6 kutub**

❖ Pengujian pada tegangan 10 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 5,3 \times 10^{-1}$  T)

$$\begin{aligned}\phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 5,3 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 2,66 \times 10^{-5} \text{ Wb}\end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 17,9 \Omega$ )

$$\begin{aligned}E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 10 - (0,05 \times 17,9) \\ &= 9,105 \text{ V}\end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned}N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 6 \times 600} \right) \left( \frac{9,105}{2,66 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 1818\end{aligned}$$

➤ Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{6} \right) \left( \frac{9,105 \times 0,05}{1755} \right) \\ &= 0,00519 \text{ Nm}\end{aligned}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned}P &= E_a \times I_a \\ &= 9,105 \times 0,05 \\ &= 0,4553 \text{ Watt}\end{aligned}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\text{Error percent} = \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100$$

$$= \left| \frac{1818 - 1755}{1818} \right| \times 100$$

$$= 3,5 \%$$

❖ Pengujian pada tegangan 18 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 6,5 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\begin{aligned} \Phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 6,5 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 3,26 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 17,9 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 18 - (0,07 \times 17,9) \\ &= 16,747 \text{ V} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 6 \times 600} \right) \left( \frac{16,747}{3,26 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 2726 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{6} \right) \left( \frac{16,747 \times 0,07}{2691} \right) \\ &= 0,00871 \text{ Nm} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= 16,747 \times 0,07 \\ &= 1,1723 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\
 &= \left| \frac{2726 - 2691}{2726} \right| \times 100 \\
 &= 1,3 \%
 \end{aligned}$$

❖ Pengujian pada tegangan 24 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 7,3 \times 10^{-1} \text{ T}$ )

$$\begin{aligned}
 \Phi &= B \times A \\
 &= B \times (\pi \times r^2) \\
 &= 7,3 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\
 &= 3,68 \times 10^{-5} \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 17,9 \Omega$ )

$$\begin{aligned}
 E_a &= V - (I_a \times R) \\
 &= 24 - (0,10 \times 17,9) \\
 &= 22,210 \text{ V}
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned}
 N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 6 \times 600} \right) \left( \frac{22,210}{3,68 \times 10^{-5}} \right) \\
 &= 2726
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}
 T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\
 &= \left( \frac{120}{6} \right) \left( \frac{22,210 \times 0,10}{3168} \right) \\
 &= 0,0140 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned}
 P &= E_a \times I_a \\
 &= 22,21 \times 0,10 \\
 &= 2,2210 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{3202 - 3168}{3202} \right| \times 100 \\ &= 1,1 \% \end{aligned}$$

### c) Motor 2 Diameter Kawat 0,4 Mm 4 Kutub

- ❖ Pengujian pada tegangan 10 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 8,8 \times 10^{-1}$  T)

$$\begin{aligned} \Phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 8,8 \times 10^{-1} \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 4,43 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 12,1 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 10 - (0,05 \times 12,1) \\ &= 9,395 \text{ V} \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\Phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 4 \times 600} \right) \left( \frac{9,395}{4,43 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 1689 \end{aligned}$$

- Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} T &= \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right) \\ &= \left( \frac{120}{4} \right) \left( \frac{9,395 \times 0,05}{1635} \right) \\ &= 0,0086 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Perhitungan Daya

$$P = E_a \times I_a$$



$$= 9,395 \times 0,05$$

$$= 0,4598 \text{ Watt}$$

- Perhitungan error persen kecepatan

$$\text{Error percent} = \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100$$

$$= \left| \frac{1689 - 1635}{1689} \right| \times 100$$

$$= 3,2 \%$$

- ❖ Pengujian pada tegangan 18 volt

- Perhitungan fluks ( $B = 1,1 \text{ T}$ )

$$\phi = B \times A$$

$$= B \times (\pi \times r^2)$$

$$= 1,1 \times 5,02 \times 10^{-5}$$

$$= 5,50 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

- Perhitungan  $E_a$  ( $R = 12,1 \Omega$ )

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

$$= 18 - (0,07 \times 12,1)$$

$$= 17,153 \text{ V}$$

- Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$N_r = \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right)$$

$$= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 4 \times 600} \right) \left( \frac{17,153}{5,50 \times 10^{-5}} \right)$$

$$= 2482$$

- Perhitungan Torsi

$$T = \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right)$$

$$= \left( \frac{120}{4} \right) \left( \frac{17,153 \times 0,07}{2443} \right)$$

$$= 0,01474 \text{ Nm}$$

➤ Perhitungan Daya

$$\begin{aligned} P &= E_a \times I_a \\ &= 17,153 \times 0,08 \\ &= 1,2007 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Error percent} &= \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{2482 - 2443}{2482} \right| \times 100 \\ &= 1,6 \% \end{aligned}$$

❖ Pengujian pada tegangan 24 volt

➤ Perhitungan fluks ( $B = 1,3 \text{ T}$ )

$$\begin{aligned} \phi &= B \times A \\ &= B \times (\pi \times r^2) \\ &= 1,3 \times 5,02 \times 10^{-5} \\ &= 6,28 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan  $E_a$  ( $R = 12,1 \Omega$ )

$$\begin{aligned} E_a &= V - (I_a \times R) \\ &= 24 - (0,10 \times 12,1) \\ &= 22,790 \text{ V} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan ( $N_r$ )

$$\begin{aligned} N_r &= \left( \frac{120}{2 \pi p N} \right) \left( \frac{E_a}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{120}{2 \times 3,14 \times 4 \times 600} \right) \left( \frac{22,790}{6,28 \times 10^{-5}} \right) \\ &= 2888 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Torsi

$$T = \left( \frac{120}{p} \right) \left( \frac{E_a I_a}{n_r} \right)$$

$$= \left( \frac{120}{4} \right) \left( \frac{22,790 \times 0,10}{2861} \right)$$
$$= 0,0239 \text{ Nm}$$

➤ Perhitungan Daya

$$P = E_a \times I_a$$
$$= 22,790 \times 0,10$$
$$= 2,2790 \text{ Watt}$$

➤ Perhitungan error persen kecepatan

$$\text{Error percent} = \left| \frac{\text{Data Perhitungan} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data Perhitungan}} \right| \times 100$$
$$= \left| \frac{2888 - 2861}{2888} \right| \times 100 = 0,9 \%$$

**LAMPIRAN 2**  
**TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER**



Gambar 1. Pengukuran Resistansi Motor 2 Dengan 6 Kutub Multimeter



Gambar 2. Pengukuran Resistansi Motor 1 Dengan 6 Kutub Multimeter



Gambar 3. Pengujian Motor 1 Dengan 12 Kutub Tegangan 6 V Menggunakan Multimeter Dan Tachometer



Gambar 4. Pengujian Motor 1 Dengan 12 Kutub Tegangan 24 V Menggunakan Multimeter Dan Tachometer





Gambar 5. Pengujian Motor 2 Dengan 12 Kutub Tegangan 6 V Menggunakan Multimeter Dan Tachometer



Gambar 6. Pengujian Motor 2 Dengan 12 Kutub Tegangan 24 V Menggunakan Multimeter Dan Tachometer



Gambar 7. Pengujian Motor 1 Dengan 6 Kutub Tegangan 18 V Menggunakan Multimeter Dan Tachometer



Gambar 8. Pengujian Motor 1 Dengan 6 Kutub Tegangan 24 V Menggunakan Multimeter Dan Tachometer