



**PENGARUH POSISI SUDUT OPTIMUM *REED SWITCH* PADA
MOTOR *BRUSHLESS* DC AXIAL FLUK**

SKRIPSI

Oleh:

Nur Roin Zainal

NIM 151910201120

PROGRAM STUDI STRATA 1 JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**PENGARUH POSISI SUDUT OPTIMUM *REED SWITCH* PADA
MOTOR *BRUSHLESS DC AXIAL FLUX***

SKRIPSI

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

oleh:

**Nur Roin Zainal
NIM 151910201120**

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

PERSEMBAHAN

Perjuangan merupakan pengalaman berharga yang dapat menjadikan kita manusia yang berkualitas.

*Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk ayahanda **Zainal Fatah** (Alm) dan bunda **Amina** serta ke enam saudaraku **Nukman, Novel, Nusaibah, Nuruddin, Nuzul Amina** dan **Amin Jakfar** yang selalu mendukung serta nasihatnya yang menjadi jembatan perjalanan hidupku*

*Dosen Pembimbing Proyek Akhir Bapak **Ir Widyono Hadi, M.T.** dan Bapak **Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.MT** terimakasih atas ketekunan dan kesabarannya dalam membimbing saya;*

*Keluarga Besar **Teknik Elektro**, aku bangga menjadi anak teknik elektro unej. Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan;*

*Teman - teman **ELEKTRO Unej** yang selalu mendukungku selama menjalani masa kuliah, bersama Anda semua merupakan kenangan dan pengalaman yang tak akan pernah terlupakan;*

*Almamater **Fakultas Teknik Universitas Jember**, terimakasih telah mengantarku menuju masa depan.*

MOTTO

“Barang siapa menuntut ilmu, yang seharusnya ia tuntut semata-mata mencari wajah Allah Azza Wa Jalla, namun ternyata ia menuntut ilmu semata-mata mencari keuntungan dunia, maka ia tidak akan mendapatkan aroma wanginya surga pada hari kiamat.”

(Imam Ibnu Majah)

“Sukses adalah ketika orang-orang di dekat kita bahagia dengan keikhlasan yang kita berikan.”

(Nur Roin Zainal)

“Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah.”

(Thomas Alva Edison)

“Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua.”

(Aristoteles)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Roin Zainal

NIM :151910201120

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Posisi Sudut Optimum *Reed Switch* Pada Motor *Brushless DC Axial Flux*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 15 Januari 2018

Yang menyatakan,

Nur Roin Zainal

151910201120

SKRIPSI

**PENGARUH POSISI SUDUT OPTIMUM *REED SWITCH* PADA
MOTOR *BRUSHLESS DC AXIAL FLUX***

oleh

Nur Roin Zainal
NIM 151910201120

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Samsul Bachri M, S.T., M.MT

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Posisi Sudut Optimum *Reed Switch* Pada Motor *Brushless DC Axial Flux*” karya Nur Roin Zainal telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 15 Januari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

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

Samsul Bachri M., ST., MMT.
NIP 19640317 199802 1 001

Anggota II,

Anggota III,

Suprihadi Prasetyono, ST., MT.
NIP 197004041 99601 1 001

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT
NIP 197008261 99702 1 001

Mengesahkan
Dekan,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612161 99503 2 001

Pengaruh Posisi Sudut Optimum *Reed Switch* Pada Motor *Brushless DC Axial Flux*

Nur Roin Zainal

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Motor *brushless DC* (BLDC) merupakan salah satu jenis motor DC yang memiliki magnet permanen di bagian rotor dan kumparan jangkar pada stator. Motor *Brushless DC* ini dirancang dengan konstruksi *double* stator, yakni memiliki empat kutub di bawah rotor dan empat kutub di atas rotor, dimana masing-masing kutub di lilit secara *double* dengan jumlah 400 lilitan dan ukuran kawat email 0,2mm, Sedangkan Perubahan sudut pada reed switch dilakukan untuk mengetahui pengaruh putaran dan kecepatan rotor yang terjadi pada motor *saat reed switch* di pindah dengan posisi sudut yang berbeda yaitu di sebelah kanan kumparan 5°, 15°, 25°, 35° dan di sebelah kiri kumparan 5°, 15°, 25°, 35°, dengan variasi tegangan 5 volt, 10 volt, 15 volt, 20 volt dan 24 volt pada tiap-tiap sudut. Dari hasil penelitian didapatkan kecepatan optimum pada posisi sudut 5° kiri kumparan sebesar 2869 rpm dengan tegangan 24 volt dan arus sebesar 0,68 A. Sedangkan *error percent* terbesar pada posisi sudut *reed switch* 15° dengan tegangan 15 volt sebesar 7,6 % dan tegangan 24 volt sebesar 7,6%. Sedangkan untuk *error percent* terkecil pada posisi sudut *reed switch* 5° dengan tegangan 20 volt sebesar 0,93 %. Perubahan letak *reed switch* berpengaruh pada kecepatan dan putaran. Ketika *reed switch* berada di sebelah kanan kumparan maka rotor akan berputar ke kanan dan sebaliknya ketika *reed switch* berada di sebelah kiri kumparan maka rotor berputar ke kiri.

Kata kunci: Motor, *axial flux*, *reed switch*

Effect of Optimal Angle Position Reed Switch On Brushless Motor DC Axial Flux

Nur Roin Zainal

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

ABSTRACT

Brushless DC motor (BLDC) is one type of DC motor that has a permanent magnet in the rotor and anchor coil on the stator. The Brushless DC motor is designed with a double stator construction, which has four poles under the rotor and four poles above the rotor, where each pole is twisted in double by 400 turns and the wire size of the email is 0.2mm, while the angle change is reed switches are performed to determine the effect of rotation and velocity of the rotor on the motor when the reed switch is moved to a different angle position on the right side of the coil 5 °, 15 °, 25 °, 35 ° and to the left of the coil 5 °, 15 °, 25 °, 35 °, with variation of 5 volt, 10 volt, 15 volt, 20 volt and 24 volts at each angle. From the research results obtained optimum velocity at 5 ° angle position of the left coil of 2869 rpm with a voltage of 24 volts and the current of 0.68 A. While the largest error percent at the position of the corner reed switch 15 ° with a voltage of 15 volts at 7.6% and the voltage 24 volts of 7.6%. As for the smallest error percent at the position of the angle reed switch 5 ° with 20 volt voltage of 0.93%. Reed switch location changes affect speed and rotation. When the reed switch is to the right of the coil the rotor will rotate to the right and vice versa when the reed switch is to the left of the coil then the rotor rotates to the left.

Keywords: Motor, axial flux, reed switch

RINGKASAN

Pengaruh Posisi Sudut Optimum Reed Switch Pada Motor Brushless DC Axial Flux;Nur Roin Zainal, 151910201120; 2018: 61 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Seiring dengan meningkatnya kemajuan dan teknologi sekarang ini, seperti di bidang informasi, dunia usaha, alat transportasi dan sebagainya, maka motor listrik menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kemajuan teknologi tersebut. Motor-motor listrik berkembang untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang. Motor merupakan alat yang dapat berputar jika dialiri dengan listrik. Jenis motor yang sering digunakan adalah motor DC karena mudah dalam pengendalian kecepatan yakni hanya mengatur nilai tegangan atau arus medan saja namun motor DC menggunakan komutator mekanik (sikat) sehingga memiliki keandalan rendah, karena terdapat rugi-rugi sikat dan memerlukan pemeliharaan atau penggantian secara berkala. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan motor Brushless DC yang menggunakan komutasi elektrik sehingga memiliki efisiensi yang tinggi dan waktu operasi yang lama. Dibandingkan dengan motor DC, Kelebihan motor Brushless DC adalah efisiensi lebih tinggi dari pada motor induksi, dimensi lebih kecil dari pada motor arus searah konvensional. Selain itu, dengan tidak adanya sikat, maka perawatan menjadi ringan, hampir tidak ada derau/noise, dan bisa dioperasikan pada lingkungan yang mudah terbakar. Kelebihan lain dibanding mesin induksi adalah tanggapannya lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar.

Pada penelitian ini membuat motor brushless DC dengan konstruksi yang berbeda, yaitu memiliki diameter stator 2 cm serta diameter rotor 9 cm. Pada stator terdapat 8 kumparan, yaitu empat kumparan di bawah rotor dan empat kumparan di atas rotor. Pada masing-masing kumparan memiliki 400 lilitan yang di lilit secara double, sehingga terdapat 3200 lilitan pada motor, dimana kawat email yang dipakai memiliki diameter 0,2 mm dan memiliki tahanan total sebesar

13 Ω . Untuk kutub pada stator dirancang tarik-menarik dengan rotor sehingga akan menyebabkan rotor tersebut berputar. Untuk rotor pada motor terdapat 4 magnet permanen, setiap kutub magnet yang menghadap ke stator stator akan terjadi gaya tarik menarik, sehingga kumparan ketika dialiri arus listrik dapat menyebabkan rotor tersebut berputar. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari motor yang nantinya akan menghasilkan nilai torsi dan kecepatan yang berbeda. Magnet permanen yang dipakai berukuran dengan tinggi 2 mm dan lebar diameter 8 mm. Dalam pengujian ini menggunakan variasi tegangan sebesar 5 volt, 10 volt, 15 volt, 20 volt dan 24 volt.

Pada motor *brushless* DC ini juga terdapat sensor *reed switch* yang berfungsi sebagai pensaklaran untuk memutar rotor. Hal ini dikarenakan ketika sensor tersebut mendapatkan suatu medan magnet maka sensor tersebut akan tersambung, sehingga kumparan akan teraliri arus listrik dan kumparan menghasilkan medan magnet. Pada posisi sensor *reed switch* dirubah dengan sudut yang berbeda-beda, dimana bertujuan untuk mencari kecepatan optimum pada rotor. Adapun posisi sudut *reed switch* yang diujikan pada penelitian ini terdapat dua tempat, yaitu disebelah kanan kumparan dengan sudut sebesar 5°, 15°, 25°, 35° dan sebelah kiri kumparan dengan sudut sebesar 5°, 15°, 25°, 35°.

Dari hasil pegujian didapatkan kecepatan optimum pada posisi sudut 5° kiri kumparan sebesar 2869 rpm dengan tegangan 24 volt dan arus sebesar 0,68 A. Sedangkan *error percent* terbesar pada posisi sudut *reed switch* 15° dengan tegangan 15 volt sebesar 7,6 % dan tegangan 24 volt sebesar 7,6%. Sedangkan untuk *error percent* terkecil pada posisi sudut *reed switch* 5° dengan tegangan 20 volt sebesar 0,93 %. Perubahan letak *reed switch* berpengaruh pada kecepatan dan putaran. Ketika *reed switch* berada di sebelah kanan kumparan maka rotor akan berputar ke kanan dan sebaliknya ketika *reed switch* berada di sebelah kiri kumparan maka rotor berputar ke kiri. Hal ini terjadi karena daya tolak magnet berubah seiring perubahan posisi *reed switch*.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Posisi Sudut Optimum *Reed Switch* Pada Motor *Brushless DC Axial Flux*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

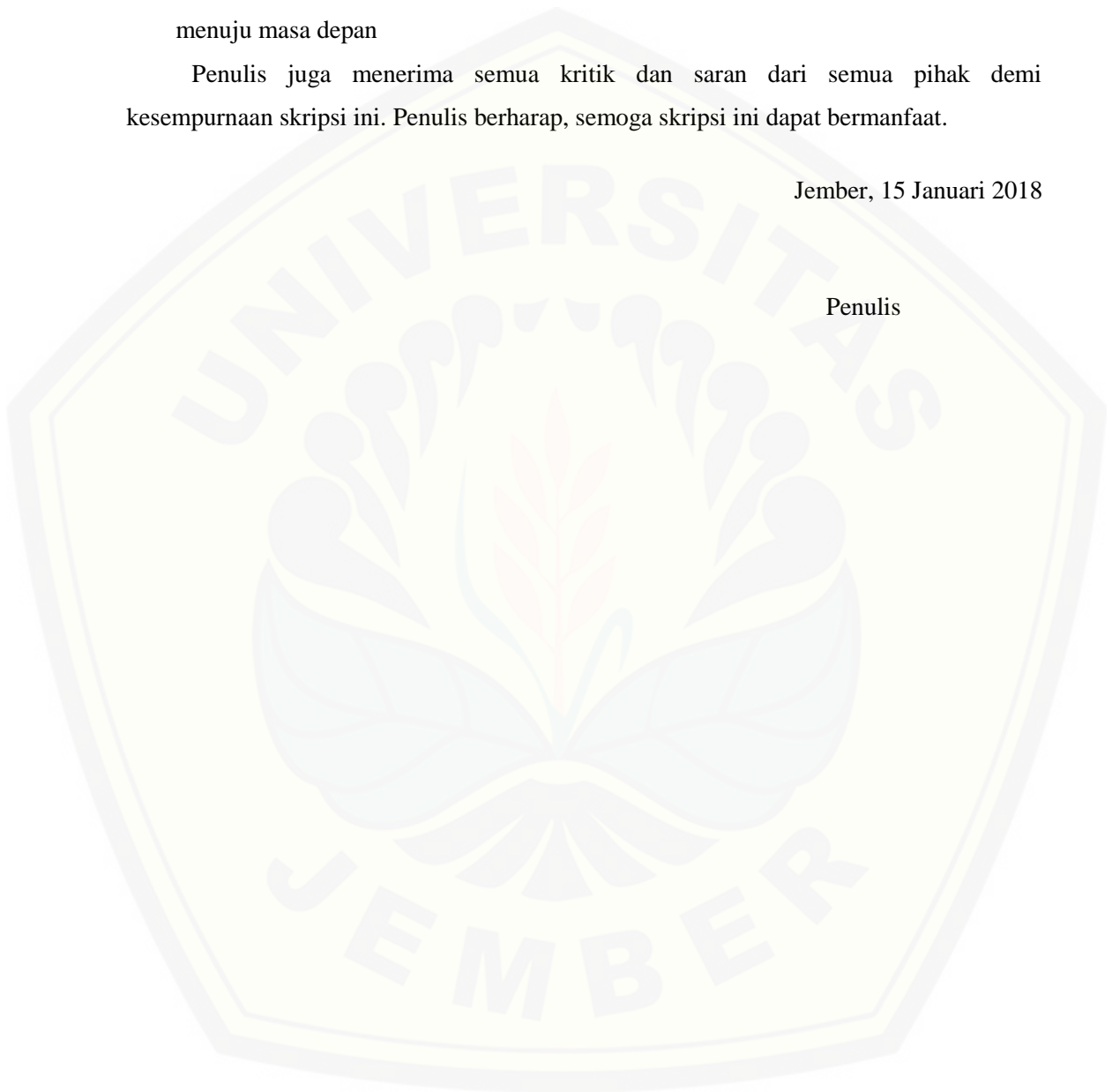
1. Ir. Widiono Hadi, MT. selaku Dosen Pembimbing Utama, Samsul Bachri M., ST., MMT. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Suprihadi Prasetyono, ST., MT. selaku Dosen Penguji I, Dr. Triwahju Hardisnto, ST., MT. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
3. Dr. Triwahju Hardisnto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Catur Suko Sarwono, S.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
5. Ayahanda Zainal Fatah (Alm) dan Ibunda Amina tercinta, yang telah membantu baik moral, material, doa, dan mendidik.
6. Saudara kandungku Nukman, Novel, Nusaibah, Nuruddin, Nuzul Amina dan Amin Jakfar terima kasih atas doa dan dukungan yang telah diberikan kepadaku selama ini;
7. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2012 dan D3_ELEKTRO Unej 2012, aku bangga menjadi angkatan 2012. Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan;
8. Sahabat saya Dian Agus P, Victor Trisula P, Ahmad Sulhan, Ivan, Deni, Febriyanto, Alkusayri dan kontraan al ikhwan yang selalu menemani disaat suka duka menjalani masa-masa kuliah, berkat kalian masa kuliahku menjadi berwarna.
9. Saya ucapkan terima kasih juga kepada Mas Sugi, Ipul, yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini

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

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

Jember, 15 Januari 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii.
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB 2. DASAR TEORI	5
2.1 Motor	5
2.2 Cara Kerja BLDC	8
2.3 Konstruksi	11
2.3.1 Rotor	11
2.3.2 Stator	12
2.4 Kuat Medan Magnet	13

2.5 Kecepatan Motor.....	14
2.6 Solenoida.....	14
2.7 Magnet Permanen.....	16
2.8 Mesin Fluks Aksial	17
2.9 Sensor Magnet (<i>reed switch</i>)	18
2.10 Transistor.....	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Tahapan Penelitian.....	23
3.4 Blok diagram dan perancangan sistem.....	24
3.5 Perancangan Motor BLDC <i>Axial Flux</i>	25
3.6 Perancangan Rotor Motor Listrik BLDC.....	26
3.7 Perancangan Stator Motor Listrik BLDC.....	28
3.8 Perancangan Driver Motor BLDC <i>Axial Flux</i>	29
3.9 Alur Perancangan Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i>	30
BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pengujian Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kanan Kumparan	34
4.2 Pengujian Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kanan Kumparan.....	36
4.3 Pengujian Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kanan Kumparan.....	38
4.4 Pengujian Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 35° Kanan Kumparan.....	40
4.5 Pengujian Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kiri Kumparan	142
4.6 Pengujian Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kiri Kumparan.....	44
4.7 Pengujian Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kiri Kumparan.....	46

4.8 Pengujian Motor <i>Brushless</i> DC <i>Axial Flux</i> pada Posisi Sudut <i>Reed</i> Switch 35° Kiri Kumparan.....	48
4.9 Perhitungan Kerapatan, Torsi dan Kecepatan.....	50
4.10 Pebandingan Data Kecepatan Hasil Pengukuran dan Data Kecepatan Hasil Perhitungan.....	54
BAB 5. PENUTUP.....	58
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kemampuan Hantar Arus Kawat Email Berdasarkan <i>American Wire Gauge</i> (AWG).....	15
Tabel 2.2 Karakteristik <i>Reed Switch</i>	19
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kanan Kumparan	33
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kanan Kumparan	35
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kanan Kumparan	37
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 35° Kanan Kumparan	39
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kiri Kumparan	41
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kiri Kumparan	43
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kiri Kumparan.....	45
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Sudut <i>Reed Switch</i> 35° Kiri Kumparan.....	47
Tabel 4.9 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 5° Kanan Kumparan	49
Tabel 4.10 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 15° Kanan Kumparan	49
Tabel 4.11 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 25° Kanan Kumparan	50
Tabel 4.12 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 35° kanan kumparan	50
Tabel 4.13 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 5° Kiri Kumparan	50

Tabel 4.14 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 15° Kiri Kumparan	51
Tabel 4. 15 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 25° Kiri Kumparan	51
Tabel 4. 16 Data Hasil Perhitungan Kerapatan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan Motor pada Posisi Sudut Reed Switch 35° Kiri Kumparan	52
Tabel 4. 17 Perbandingan Data Kecepatan Hasil Pengukuran dan Data Kecepatan Hasil Perhitungan pada Posisi Sudut Reed Switch Kanan Kumparan .	52
Tabel 4. 18 Perbandingan Data Kecepatan Hasil Pengukuran dan Data Kecepatan Hasil Perhitungan pada Posisi Sudut Reed Switch Kiri Kumparan ..	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi Motor <i>Brushed</i>	6
Gambar 2.2 Konstruksi Motor <i>Brushless</i> dengan Sensor <i>Hall</i>	8
Gambar 2.3 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor	9
Gambar 2.4 Tegangan Stator BLDC	10
Gambar 2.5 Rotor BLDC Motor	11
Gambar 2.6 Stator Motor BLDC	12
Gambar 2.7 Magnet Pada Solenoida Medan	14
Gambar 2.8 Magnet <i>Neodymium</i>	16
Gambar 2.9 Konstruksi Motor <i>Brushless DC Axial Flux</i>	17
Gambar 2.10 <i>Reed Switch</i>	18
Gambar 2.11 <i>Reed Switch</i> and Magnet	18
Gambar 2.12 Grafik Hubungan Tegangan <i>Drop Out</i> dengan Nilai Tarik	19
Gambar 2.13 Grafik Hubungan Frekuensi Kumulatif dengan Tahanan	20
Gambar 2.14 Transistor TIP 41	21
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Blok Diagram System	23
Gambar 3.3 Tampak Atas Perancangan Motor BLDC <i>Axial Flux</i>	25
Gambar 3.4 Tampak Samping Perancangan Motor BLDC <i>Axial Flux</i>	26
Gambar 3.5 Tampak Atas Perancangan Rotor	26
Gambar 3.6 Tampak Samping Perancangan Rotor	27
Gambar 3.7 Tampak Atas Perancangan Stator	28
Gambar 3.8 Tampak Samping Perancangan Stator	28
Gambar 3.9 <i>Driver</i> Motor BLDC <i>Axial Flux</i> Stator	29
Gambar 3.10 Lilitan Kumparan	30
Gambar 3.11 Stator Bagian Bawah	30
Gambar 3.12 Rotor	31

Gambar 3.13 Stator Bagian Atas	31
Gambar 4.1 Tampak Atas Motor <i>Brushless Axial Flux</i>	34
Gambar 4.2 Tampak Samping Motor <i>Brushless Axial Flux</i>	34
Gambar 4.3 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kanan Kumparan	35
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Kecepatan dan Tegangan pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kanan Kumparan	36
Gambar 4.5 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kanan Kumparan	37
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kecepatan dan Tegangan pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kanan Kumparan	38
Gambar 4.7 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kanan Kumparan	39
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kecepatan dan Tegangan pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kanan Kumparan.....	40
Gambar 4.9 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 35° Kanan Kumparan	41
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kecepatan dan Tegangan pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 35° Kanan Kumparan	42
Gambar 4.11 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kiri Kumparan.....	43
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Kecepatan dan Tegangan pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 5° Kiri Kumparan.....	44
Gambar 4.13 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kiri Kumparan	45
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Kecepatan Dan Tegangan Pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 15° Kiri Kumparan	46
Gambar 4.15 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kiri Kumparan	47
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Kecepatan Dan Tegangan Pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 25° Kiri Kumparan	48
Gambar 4.17 Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 35° Kiri Kumparan	49
Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Kecepatan Dan Tegangan Pada Posisi Sudut <i>Reed Switch</i> 35° Kiri Kumparan.....	50

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kemajuan dan teknologi sekarang ini, seperti di bidang informasi, dunia usaha, alat transportasi dan sebagainya, maka motor listrik menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kemajuan teknologi tersebut. Motor-motor listrik berkembang untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang. Motor merupakan alat yang dapat berputar jika dialiri dengan listrik. Jenis motor yang sering digunakan adalah motor DC karena mudah dalam pengendalian kecepatan yakni hanya mengatur nilai tegangan atau arus medan saja namun motor DC menggunakan komutator mekanik (sikat) sehingga memiliki keandalan rendah, karena terdapat rugi-rugi sikat dan memerlukan pemeliharaan atau penggantian secara berkala. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan motor *brushless* DC yang menggunakan komutasi elektrik sehingga memiliki efisiensi yang tinggi dan waktu operasi yang lama.

Motor *brushless* DC (BLDC) merupakan salah satu jenis motor DC yang memiliki magnet permanen di bagian rotor dan kumparan jangkar pada stator. Terdapat dua jenis motor *brushless* DC jika dilihat dari segi arah aliran fluxnya, yaitu *radial flux brushless* DC dan *axial flux brushless* DC (Ghoni, 2015). Secara umum motor Brushless DC terdiri dari dua bagian, yakni, rotor, bagian yang bergerak, yang terbuat dari permanen magnet dan stator, bagian yang tidak bergerak, yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik synchronous AC 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan Brushless DC karena pada implementasinya *brushless* DC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa. Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa pada stator *brushless* DC adalah menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor (Dharmawan, 2009).

Dibandingkan dengan motor DC, Kelebihan motor *brushless* DC adalah efisiensi lebih tinggi dari pada motor induksi, dimensi lebih kecil dari pada motor

arus searah konvensional. Selain itu, dengan tidak adanya sikat, maka perawatan menjadi ringan, hampir tidak ada derau/noise, dan bisa dioperasikan pada lingkungan yang mudah terbakar. Kelebihan lain dibanding mesin induksi adalah tanggapannya lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar (Yulianta, 2015).

Pada penelitian kali ini merancang sebuah motor *brushless* DC dengan menggunakan *double* stator serta perubahan posisi sudut optimal pada reed switch. Motor *brushless* DC dirancang dengan konstruksi yang berbeda, yakni memiliki empat kutub di bawah rotor dan empat kutub di atas rotor, dimana masing-masing kutub di lilit secara *double* dengan jumlah lilitan yang sama. Perbedaan rancang bangun akan mempengaruhi kuat medan pada kutub serta kecepatan pada rotor. Sedangkan Perubahan sudut pada reed switch dilakukan untuk mengetahui pengaruh putaran dan kecepatan rotor yang terjadi pada motor *brushless* DC *axial fluk* saat sensor magnet (*reed switch*) di pindah dengan sudut yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang motor *brushless* DC *axial fluk*?
2. Bagaimana kinerja dari rancangan konstruksi motor *brushless* DC *axial fluk*?
3. Bagaimana pengaruh perubahan posisi sudut optimum *reed switch* pada motor *brushless* DC *axial fluk*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *reed switch* untuk menggerakkan motor.
2. Jumlah lilitan tiap kutub 400 lilitan.
3. Ukuran magnet ditentukan yaitu dengan ukuran 2 mm x 18 mm

4. Menggunakan stator dan rotor berdiameter 2 cm dan 9 cm
5. Menggunakan tegangan kerja 24 Vdc.
6. Menggunakan transistor TIP 41
7. Menggunakan kawat email 0,2 mm.
8. Pengukuran dilakukan sesuai dengan skala laboratorium.
9. Alat yang di buat hanya sebatas penelitian.
10. Penelitian dilakukan tanpa menggunakan beban pada *brushless* DC

1.4 Tujuan

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

1. Untuk merancang motor *brushless* DC *axial fluk*.
2. Mengetahui kinerja dari rancangan konstuksi motor *brushless* DC *axial fluk*.
3. Mengetahui pengaruh perubahan posisi sudut *reed switch* pada motor *brushless* DC *axial fluk*.

1.5 Manfaat

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

1. Memberikan kinerja yang optimum dengan rancangan kontruksi pada motor *brushless* DC *axial fluk*.
2. Mengetahui dampak dari perubahan posisi sudut *reed switch* pada motor *brushless* DC *axial fluk*.

1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi adalah sebagi berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

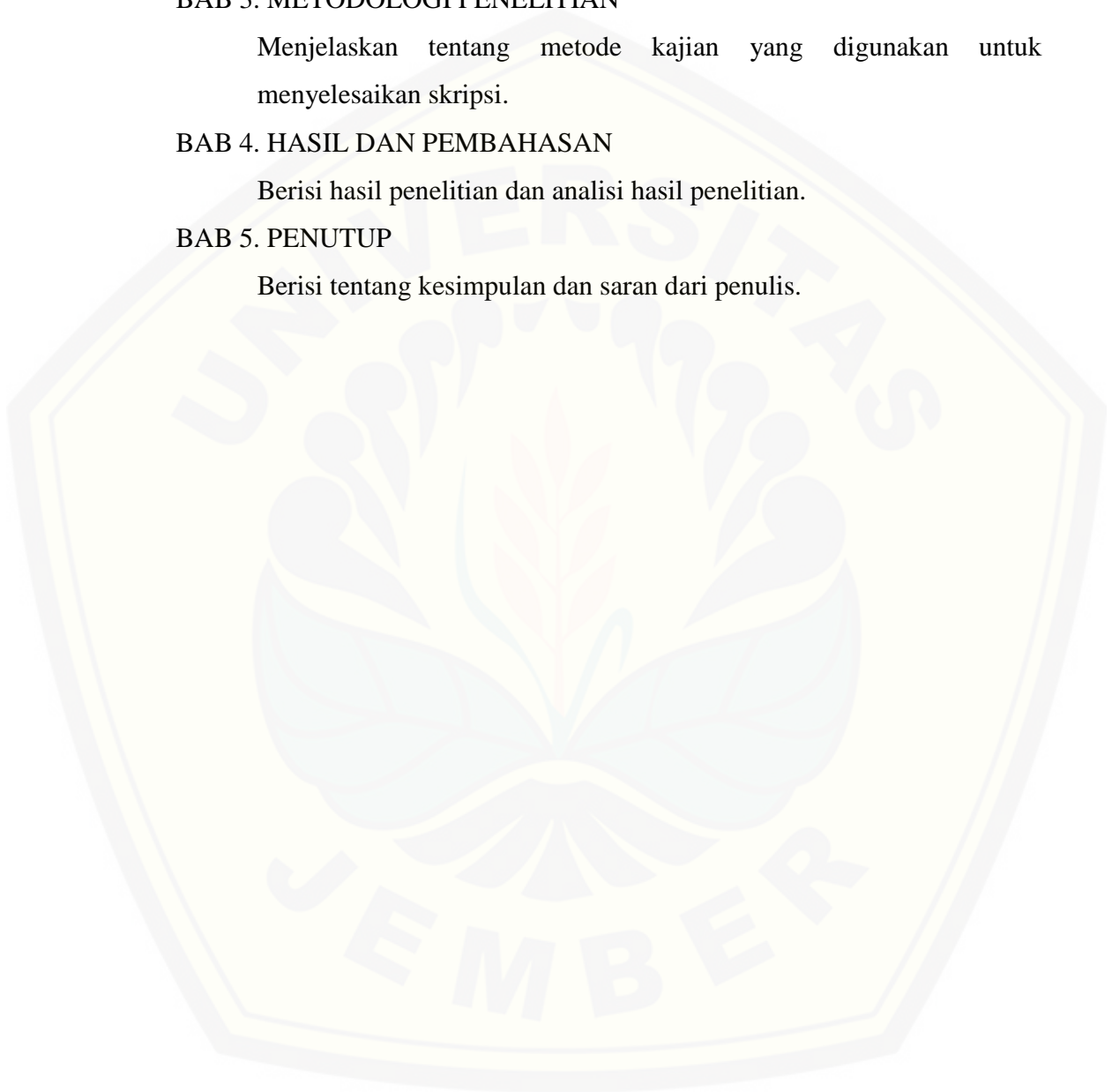
Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisi hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.



BAB 2. DASAR TEORI

2.1 Motor

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

Jenis-jenis motor menurut Sutrisno (2012) adalah sebagai berikut:

a. Motor AC

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor". Stator merupakan komponen listrik statis. Rotor merupakan komponen listrik yang berputar.

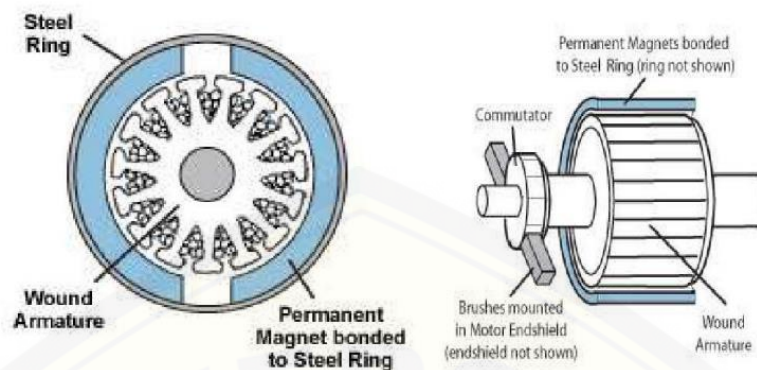
b. Motor DC

Motor arus searah (Direct Current), menggunakan arus langsung yang tidak langsung/direct-unidirectional. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Secara umum motor DC dibagi atas 2 macam, yaitu :

c. Brushed Motor

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



Gambar 2.1 Konstruksi motor brushed

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

d. Brushless Motor

Sutrisno, (2012) mengemukakan bahwa motor DC tanpa sikat (brush) menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun membalik arah putarannya untuk menggerakkan motor, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya halus. BLDC motor atau dapat disebut juga dengan BLAC motor merupakan motor listrik synchronous AC 3 fasa. Perbedaan pemberian nama ini terjadi karena BLDC memiliki BEMF berbentuk trapezoid sedangkan BLAC memiliki BEMF berbentuk sinusoidal. Walaupun demikian keduanya memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode six-step maupun metode PWM. Dibandingkan dengan motor DC jenis lainnya, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya brush. Dibandingkan dengan motor induksi, BLDC memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena rotor dan torsi awal yang, karena rotor terbuat dari magnet permanen. Walaupun memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor jenis lain, metode pengendalian motor BLDC jauh lebih rumit untuk kecepatan dan torsi yang konstan, karena tidak adanya brush yang menunjang proses komutasi dan harga untuk motor BLDC jauh lebih mahal.

Secara umum motor BLDC terdiri dari dua bagian, rotor bagian yang bergerak, yang terbuat dari permanen magnet dan stator, bagian yang tidak

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

Oleh karena tidak adanya brush pada motor BLDC, untuk menentukan timing komutasi yang tepat pada motor ini sehingga didapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan 3 buah sensor Hall dan atau encoder. Pada sensor Hall, timing komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor dengan menggunakan 3 buah sensor hall untuk mendapatkan 6 kombinasi timing yang berbeda, sedangkan pada encoder, timing ditentukan dengan cara menghitung jumlah pole (kutub) yang ada pada encoder.

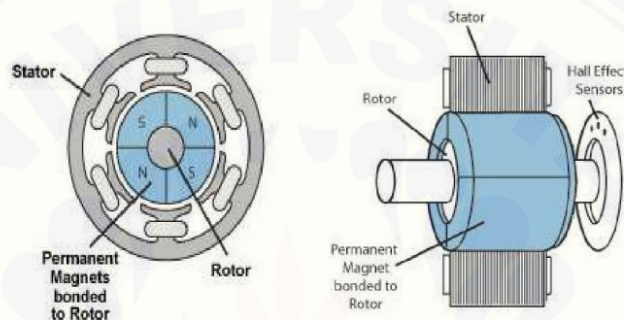
Pada umumnya encoder lebih banyak digunakan pada motor BLDC komersial karena encoder cenderung mampu menentukan timing komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor hall. Hal ini terjadi karena pada encoder, kode komutasi telah ditetapkan secara fixed berdasarkan banyak pole dari motor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

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

1. Lebih tahan lama, karena tidak memerlukan perawatan terhadap sikatnya.
2. Memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.
3. Torsi awal yang tinggi.

4. Kecepatan yang tinggi, tergantung pada kekuatan medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang dibangkitkan dari kendali penggeraknya.

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



Gambar 2.2 Konstruksi motor *brushless* dengan sensor *hall*
(Sumber: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC-brushless-brushedmotors.html>)

2.2 Cara Kerja BLDC

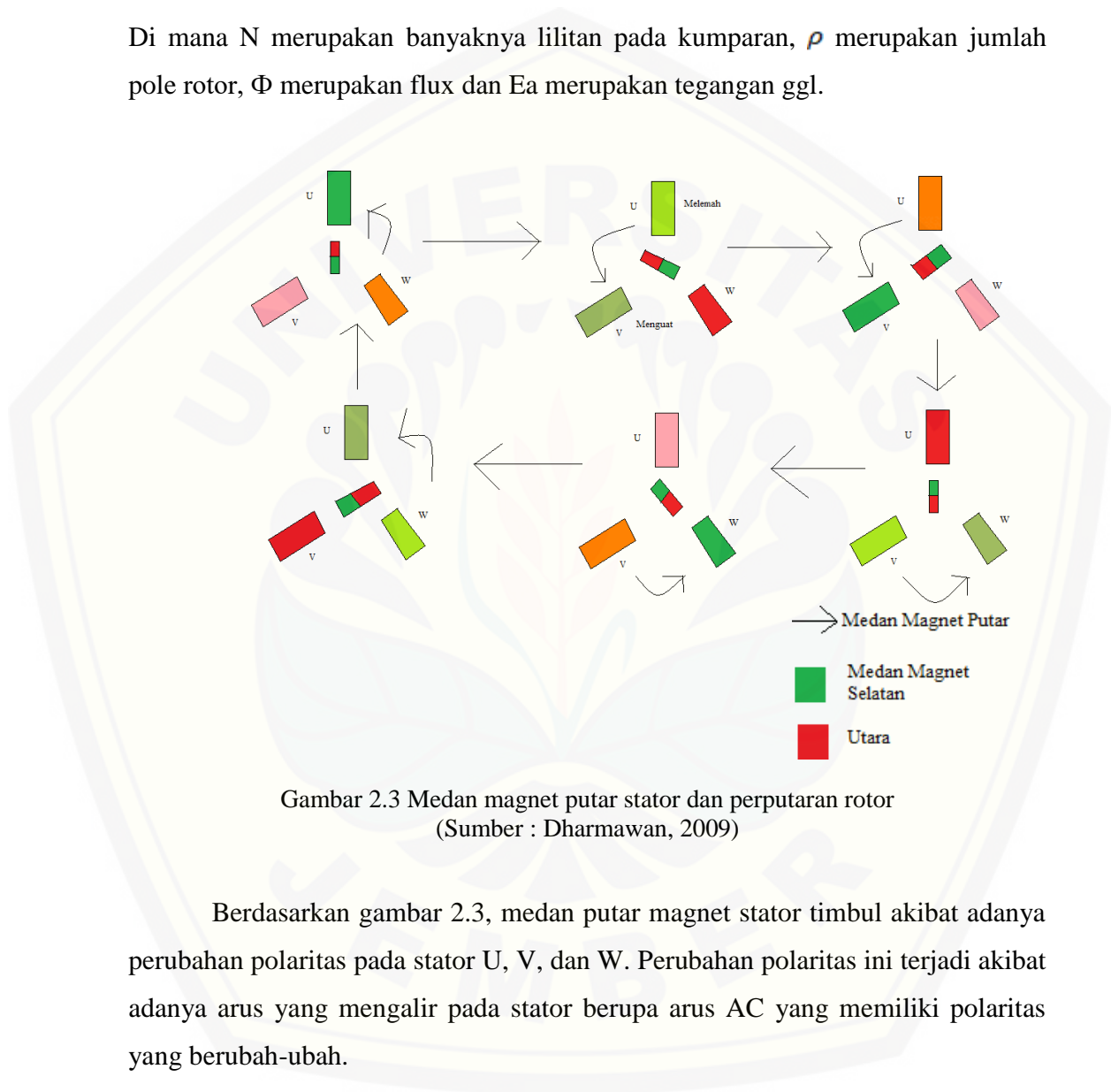
Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet (B):

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

Di mana Φ merupakan fluks dan A merupakan luas penampang. Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan (N_r):

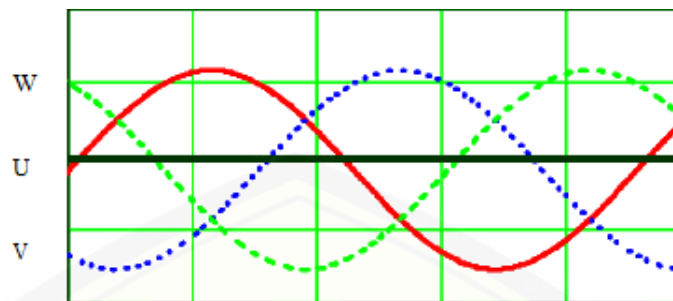
$$N_r = \frac{120}{2\pi p N} \times \frac{E_a}{\Phi} \quad (2.2)$$

Di mana N merupakan banyaknya lilitan pada kumparan, p merupakan jumlah pole rotor, Φ merupakan flux dan E_a merupakan tegangan ggl.



Gambar 2.3 Medan magnet putar stator dan perputaran rotor
(Sumber : Dharmawan, 2009)

Berdasarkan gambar 2.3, medan putar magnet stator timbul akibat adanya perubahan polaritas pada stator U, V, dan W. Perubahan polaritas ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir pada stator berupa arus AC yang memiliki polaritas yang berubah-ubah.



Gambar 2.4 Tegangan stator BLDC
(Sumber : Dharmawan, 2009)

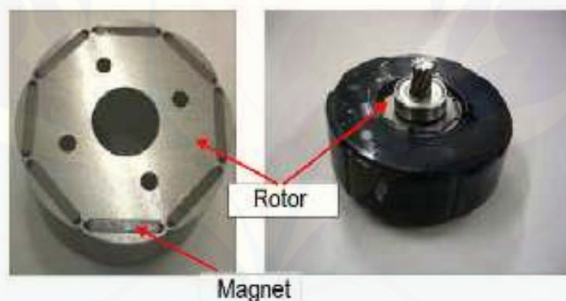
Berdasarkan gambar 2.4, ketika stator U diberikan tegangan negatif maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negatif sedangkan V dan W yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan berputar mendekati medan magnet stator U, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator V dan W. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan AC sinusoidal, medan magnet stator U, V, dan W akan berubah – ubah polaritas dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal AC. Ketika U dan V memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan W memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negatif akan berputar menuju medan magnet stator W dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negatif dan U serta W memiliki medan magnet positif, bagian positif magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negatif akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada BLDC dapat berputar (Dharmawan, 2009).

2.3 Konstruksi

Setiap motor BLDC memiliki dua bagian utama, rotor (bagian berputar) dan stator (bagian stasioner). Bagian penting lainnya dari motor adalah gulungan stator dan magnet rotor.

2.3.1 Rotor

Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor DC brushless bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada diantara brushes (sikat) yang terhubung pada dua buah motor hingga delapan pasang kutub magnet permanen berbentuk persegi panjang yang saling direkatkan menggunakan semacam “epoxy” dan tidak ada brushes-nya (Masudi, 2014).



Gambar 2.5 Rotor BLDC motor
(Sumber : Masudi, 2014)

Rotor dibuat dari magnet tetap dan dapat desain dari dua sampai delapan kutub Magnet Utara(N) atau Selatan(S). Material magnetis yang bagus sangat diperlukan untuk mendapatkan kerapatan medan magnet yang bagus pula. Biasanya magnet ferrit yang dipakai untuk membuat magnet tetap. Tetapi dewasa ini dengan kemajuan teknologi, campuran logam sudah kurang populer untuk digunakan. Benar sekali magnet Ferrit lebih murah, tetapi material ini mempunyai kekurangan yaitu flux density yang rendah untuk ukuran volume material yang diperlukan untuk membentuk rotor.

2.3.2 Stator

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



Gambar 2.6 Stator motor BLDC
(Sumber : Masudi, 2014)

Lilitan stator pada motor DC brushless terdiri dari dua jenis, yaitu lilitan stator jenis trapezoidal dan jenis sinusoidal. Yang menjadi dasar perbedaan kedua jenis lilitan stator tersebut terletak pada hubungan antara koil dan lilitan stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (Electro Motive Force) balik yang berbeda. EMF balik sendiri adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh lilitan motor BLDC ketika motor BLDC tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang dibangkitkan. Ketika motor BLDC sudah dibuat, jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF balik ini mempengaruhi torsi motor BLDC, apabila kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada lilitan stator sehingga arus yang mengalir

pada stator akan turun dan torsi pun akan ikut turun. Karena berbanding lurus dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi torsi maka kenaikan dan penurunan arus sangat berpengaruh pada besarnya torsi yang dihasilkan motor BLDC (Masudi, 2014).

2.4 Kuat Medan Magnet

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

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (2.3)$$

Dimana Φ merupakan fluk dan A merupakan luas penampang. Karena arus yang diberikan berupa arus AC fasa, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah – ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi tersebut dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terjadinya medan putar magnet dengan kecepatan.

Secara umum brushless Motor dibagi menjadi 2, yaitu Sensored dan Sensorless Sensored, brushless motor jenis ini dilengkapi dengan encoder dan atau hall effect sensor yang berfungsi sebagai detektor pada medan magnet, hall effect sensor akan menghasilkan sebuah tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. Motor jenis ini memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dan lebih halus pergerakannya dibanding dengan motor brushless sensorless. Sensorless, brushless motor jenis ini tidak dilengkapi dengan encoder dan atau hall effect sensor, sehingga untuk mengetahui pergerakan dari motor jenis ini bias dilakukan dengan cara mendeteksi dari BEMF dan zero-crossing (Kurniawan, 2016).

2.5 Kecepatan Motor

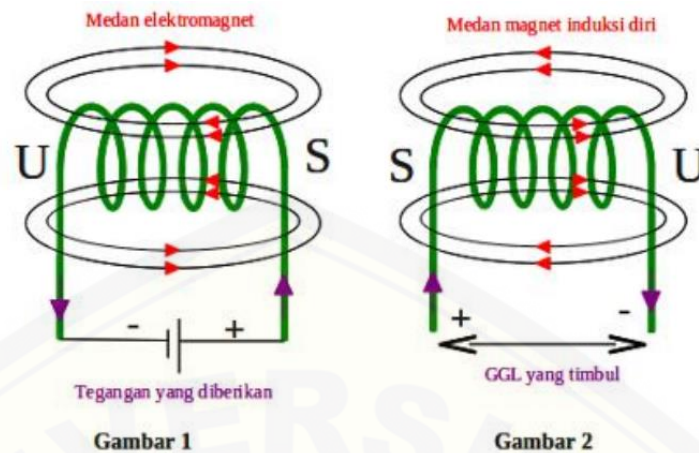
Rotor merupakan bagian penting juga pada motor yang berfungsi untuk menggerakkan atau membuat motor berputar. Perputaran tersebut terjadi akibat adanya gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh stator. Untuk mengetahui putaran pada motor, bisa menggunakan persamaan berikut ini.

$$N_r = \frac{120}{2\pi p N} \times \frac{E_a}{\Phi} \quad (2.4)$$

Di mana N merupakan banyaknya lilitan pada kumparan, p merupakan jumlah pole rotor, Φ merupakan flux dan E_a merupakan tegangan ggl. (Kurniawan, 2016).

2.6 Solenoida

Kurniawan, (2016) mengemukakan solenoida merupakan sebuah kumparan kawat yang terdiri dari beberapa lilitan (loop). Saat arus listrik mengalir solenoida, solenoida tersebut akan memiliki sifat medan magnet. Posisi dari kutub-kutub medan magnet pada solenoida dipengaruhi oleh arah arus di tiap lilitan tersebut. Karena garis-garis medan magnet akan meninggalkan kutub utara magnet, maka kutub utara solenoida pada Gambar 2.7 berada di ujung kanan.



Gambar 2.7 Magnet pada solenoida medan
(Sumber : Kurniawan, 2016)

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

$$R_{solenoida} = \frac{I_b}{I_c} \quad (2.5)$$

dimana:

- $R_{solenoida}$ = Tahanan pada solenoida
- I_b = Arus pada input kumparan
- I_c = Arus pada input reed switch

Pada pengukuran ini di lakukan untuk mengetahui nilai dari tahanan solenoida. Tahanan solenoida di ukur pada input kontrol dimana terdapat dua input yaitu input kumparan dan input reed switch.

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:Mustofa, 2010)

Dari tabel 2.1 dapat diketahui nilai hantar arus dimana semua kawat memiliki nilai hantar arus yang berbeda. Perbedaan arus yang dihasilkan oleh setiap kawat akan mempengaruhi nilai arus, tahanan pada kumparan serta kuat medan magnet.

2.7 Magnet Permanen

Magnet atau sering dikenal dengan nama “Besi Berani” ini sering kita lihat pada komponen elektronika khususnya pada speaker. Jika Anda membongkar alat-alat elektronika misalnya radio, maka pada speakernya akan terdapat sebuah magnet yang berbentuk silinder dengan ukuran yang menyesuaikan dengan ukuran speaker itu sendiri. Ada dua jenis magnet yaitu magnet permanen dan magnet sementara. Magnet permanen merupakan sebuah magnet yang memiliki sifat kemagnetan bisa sampai beberapa tahun, misalnya magnet batang yang terdapat pada speaker. Sedangkan magnet sementara merupakan suatu magnet yang memiliki sifat kemagnetan yang bisa bertahan hanya sementara saja, misalnya magnet yang terbuat dari listrik (Kurniawan, 2016).



Gambar 2.8 Magnet neodymium

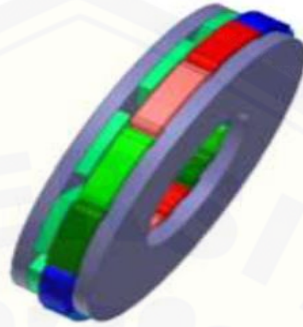
(Sumber : <https://www.google.co.id/search/gambar+magnet+neodymium>)

2.8 Mesin Fluks Aksial

Menurut motor geometri ada dua jenis motor DC tanpa sikat, fluks radial dan fluks aksial. Di radial fluks motor, medan magnet mendistribusikan dalam arah radial melintasi celah udara antara rotor dan stator. Dalam kebanyakan fluks radial motor, rotor muncul di dalam stator dan kadang kala stator muncul di dalam rotor, tapi rotor dan stator selalu ko-sentris. Pada motor fluks aksial medan magnet didistribusikan di arah sumbu antara rotor dan stator. (Wathage, 2012)

Mesin fluks aksial merupakan salah satu tipe alternatif selain mesin silinder fluks radial. Mesin jenis ini memiliki konstruksi yang kompak, berbentuk piringan, dan kerapatan daya yang besar. Mesin jenis ini cocok untuk berbagai keperluan, seperti: pompa, kontrol katup, kipas, peralatan mesin, robot, dan peralatan industri. Mesin-mesin jenis ini banyak digunakan untuk penggunaan servo torsi rendah dan aplikasi pengaturan kecepatan. Mesin ini disebut juga mesin tipe piringan, dengan desain satu lapis atau dua lapis, dengan atau tanpa slot jangkar, dengan rotor internal atau eksternal. Untuk mesin dengan daya rendah biasanya diberi slot kumparan dan permukaan magnet permanen. Saat daya keluaran dari mesin fluks aksial ini meningkat, maka kontak permukaan antara rotor dengan poros akan semakin dekat. Hal ini mengakibatkan pentingnya dalam hal desain dan menyatukan rotor dengan poros agar menghindari kerusakan. Dalam beberapa hal, rotor diberi tambahan komponen transmisi daya untuk

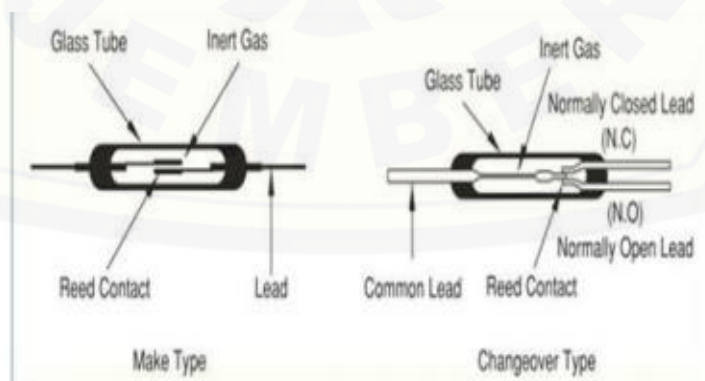
mengoptimalkan volume, massa, transfer daya dan waktu perakitan. Untuk penggunaan mesin listrik hal ini mengakibatkan peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya. Kebanyakan aplikasi dari mesin fluks aksial ini adalah untuk motor DC tanpa sikat (Jati, 2013).



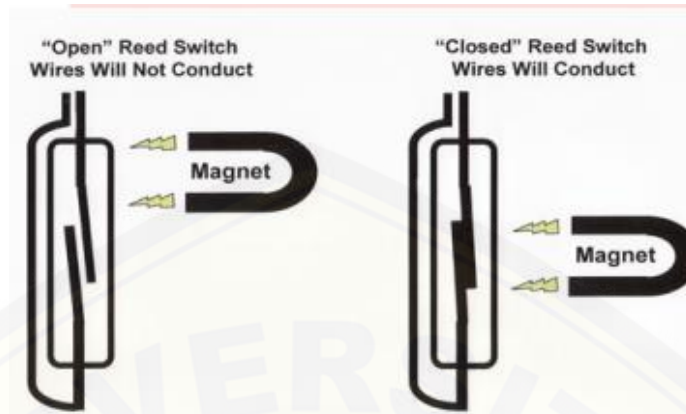
Gambar 2.9 Konstruksi motor brushless DC axial flux
(Sumber : Ghoni, 2015)

2.9 Sensor Magnet (reed switch)

Reed Switch merupakan salah satu jenis sensor yang terbilang sangat sederhana. Reed switch hanya terdiri dari dua buah plat yang saling berdekatan. Reed Switch adalah sensor yang berfungsi juga sebagai saklar yang aktif atau terhubung apabila di area jangkauannya terdapat medan magnet. Medan magnet yang cukup kuat jika melalui area sekitar reed switch, maka dua buah plat yang saling berdekatan tadi akan terhubung sehingga akan memberikan rangkaian tertutup bagi rangkaian yang dipasangkannya.



Gambar 2.10 Reed switch
(Sumber : Yando, tanpa tahun).



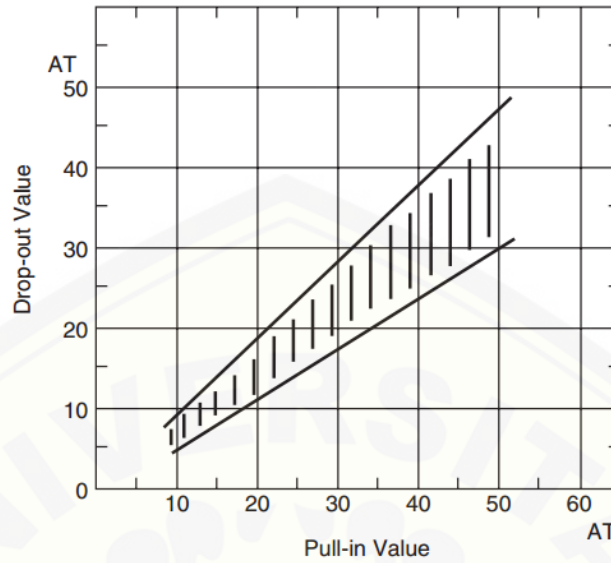
Gambar 2.11 Reed switch and magnet
(Sumber : Yando, tanpa tahun)

Reed switch menawarkan keuntungan dari ukuran yang ringkas, waktu respon yang cepat, biaya rendah. Aplikasi umum dari reed switch berada di reed relay, sensor otomotif, sistem keamanan, robotika, dan mainan (Yando, 2015).

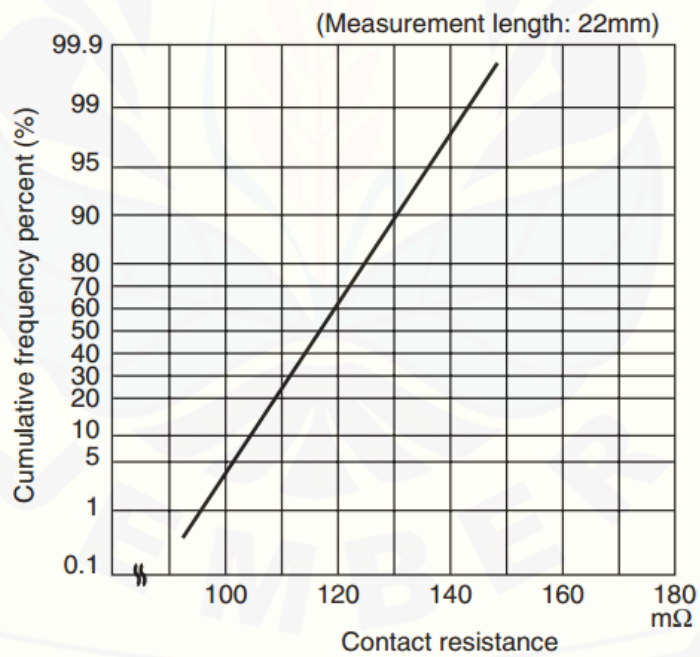
Tabel 2.2 Karakteristik reed swicth

Parameter	Rated value	Unit
Pull-in Value (PI)	10~40	AT
Drop-out Value (DO)	5min	AT
Contact resistance (CR)	200max	mΩ
Breakdown voltage	150min	VDC
Insulation resistance	10 ⁹ min	Ω
Electrostatic capacitance	0.4max	pF
Contact rating	1.0	VA
Maximum switching voltage	24 ($\frac{DC}{AC}$)	V
Maximum switching current	0.1	A
Maximum carry current	0.3	A

(Sumber : Reed swicth ORD213 super ultraminiatur)



Gambar 2.12 Grafik hubungan tegangan *drop out* dengan nilai tarik
(Sumber : Reed switch ORD213 super ultraminiatur)

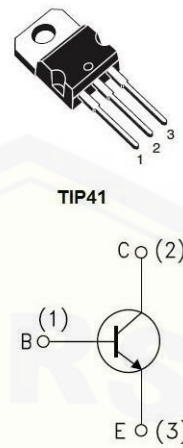


Gambar 2.13 Grafik hubungan frekuensi komulatif dengan tahanan
(Sumber : Reed switch ORD213 super ultraminiatur)

Dari gambar 2.12 dan 2.13 dapat diketahui bahwa tegangan drop out berbanding lurus dengan nilai tarik. Pada nilai Tarik (PI) sebesar 10-40 AT, untuk nilai drop out (DO) sebesar 5 AT. Sedangkan tahanan akan berbanding lurus dengan frekuensi komulatis. Pada nilai tahanan sebesar 200 m Ω dengan tegangan rusak sebesar 150 vdc. Pada tegangan maksimum 24 volt dan arus maksimum sebesar 0,1 A. Nilai

2.10 Transistor

Transistor adalah komponen elektronika semikonduktor yang memiliki 3 kaki elektroda, yaitu Basis (Dasar), Kolektor (Pengumpul) dan Emitor (Pemancar). Komponen ini berfungsi sebagai penguat, pemutus dan penyambung (switching), stabilitasi tegangan, modulasi sinyal dan masih banyak lagi fungsi lainnya. Selain itu, transistor juga dapat digunakan sebagai kran listrik sehingga dapat mengalirkan listrik dengan sangat akurat dan sumber listriknya. Transistor sebenarnya berasal dari kata “transfer” yang berarti pemindahan dan “resistor” yang berarti penghambat. Dari kedua kata tersebut dapat kita simpulkan, pengertian transistor adalah pemindahan atau peralihan bahan setengah penghantar menjadi suhu tertentu. Transistor pertama kali ditemukan pada tahun 1948 oleh William Shockley, John Barden dan W.H, Brattain. Tetapi, komponen ini mulai digunakan pada tahun 1958. Jenis Transistor terbagi menjadi 2, yaitu transistor tipe P-N-P dan transistor N-P-N.



Gambar 2.14 Transistor TIP 41

(Sumber : https://www.google.co.id/search_gambar_transistor_tip_41)

Cara Kerja Transistor hampir sama dengan resistor yang mempunyai tipe dasar modern. Tipe dasar modern terbagi menjadi 2, yaitu Bipolar Junction Transistor atau biasa di singkat BJT dan Field Effect Transistor atau FET. BJT dapat bekerja berdasarkan arus inputnya, sedangkan FET bekerja berdasarkan tegangan inputnya (Budiono, 2006)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

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

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik
Alamat : Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111
Waktu : Oktober 2017 - November 2017

3.2 Alat dan Bahan

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

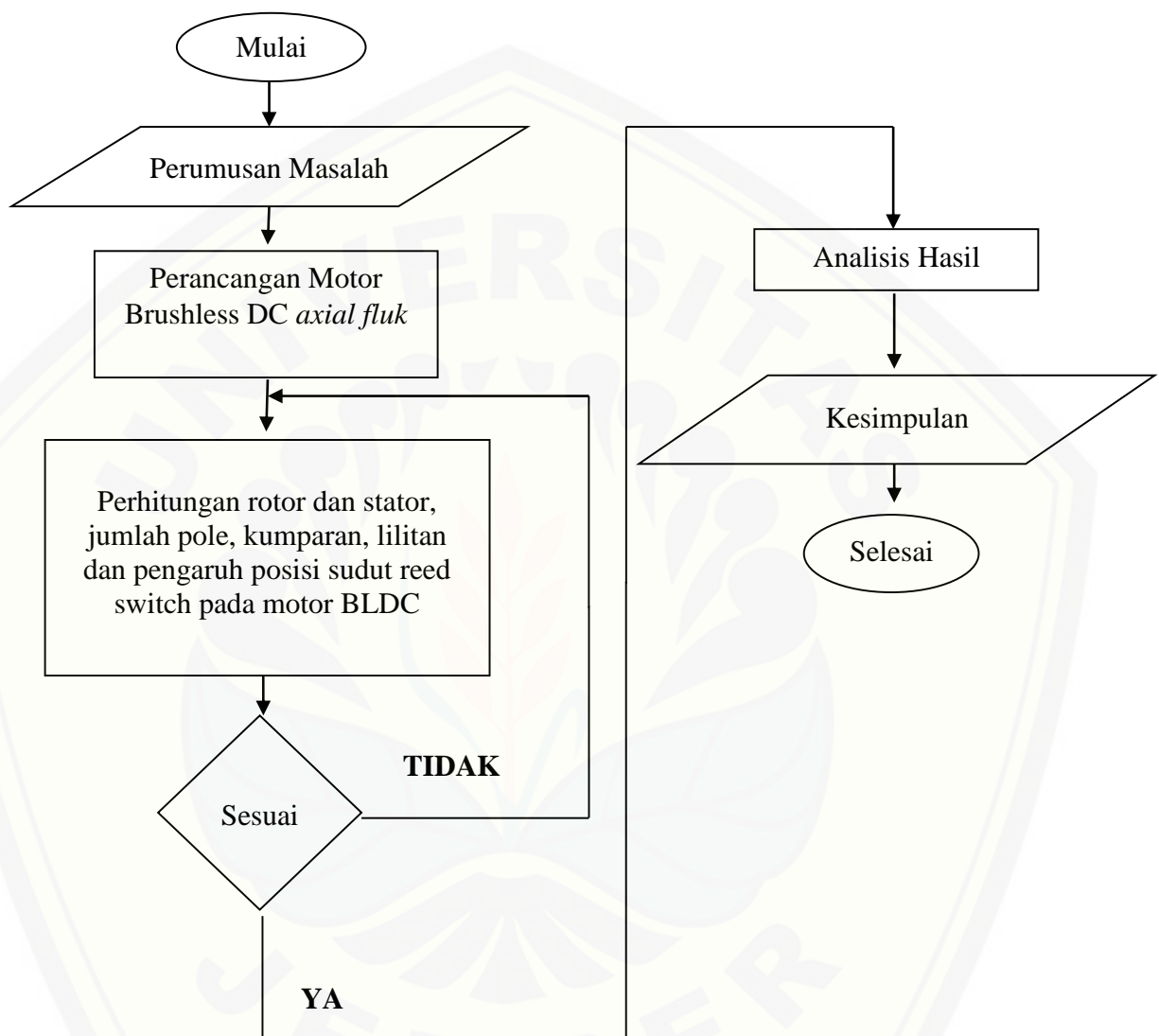
Alat

- a. Avometer.
- b. Tachometer.
- c. Gauss meter.
- d. Power supply

Bahan

- a. Transistor.
- b. Kawat email.
- c. Sensor magnet.
- d. Magnet permanen.
- e. Isolasi
- f. Akrlit
- g. Transistor TIP 41

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian perancangan dan pembuatan motor BLDC *axial fluk*:

1. Studi literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik komponen, prinsip kerja serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan

dengan literatur yang di dapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Menentukan spesifikasi motor *BLDC axial fluk*

Menentukan spesifikasi motor dengan menggunakan diameter stator 2 cm dan rotor 9 mm serta memiliki 4 magnet permanen yang diapit oleh delapan kumparan yaitu 4 dibawah magnet permanen dam 4 di atas magnet permanen.

3. Perhitungan rotor dan stator

Tahap ketiga adalah menghitung kecepatan motor, diameter kawat, jumlah lilitan, tegangan sebagai input, tahanan pada kumparan serta arus yang akan di hasilkan pada kumparan.

4. Perancangan rotor dan stator

Setelah melakukan perhitungan kita dapat menentukan ukuran dari rotor dan stator pada motor *BLDC axial fluk*.

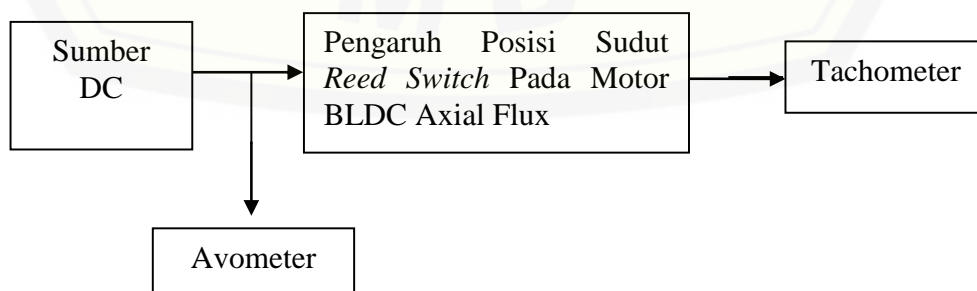
5. Pengujian motor *BLDC axial fluk*

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

6. Penarikan Kesimpulan

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

3.4 Blok diagram dan perancangan sistem

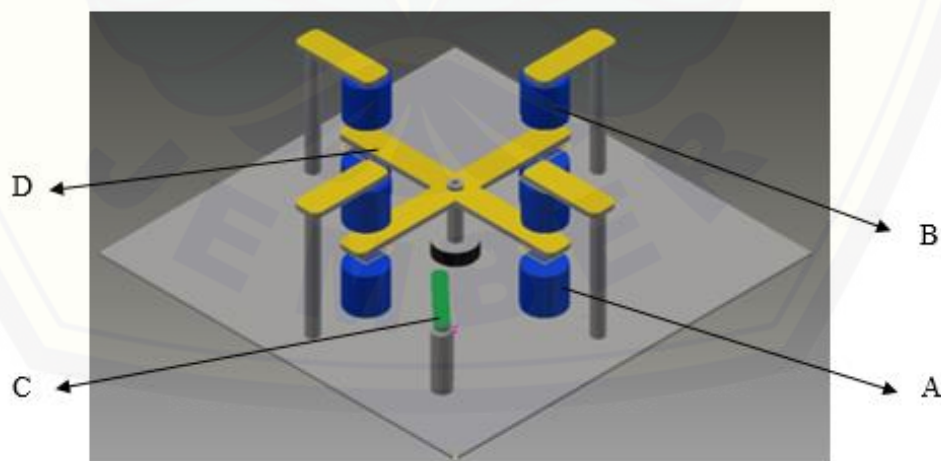


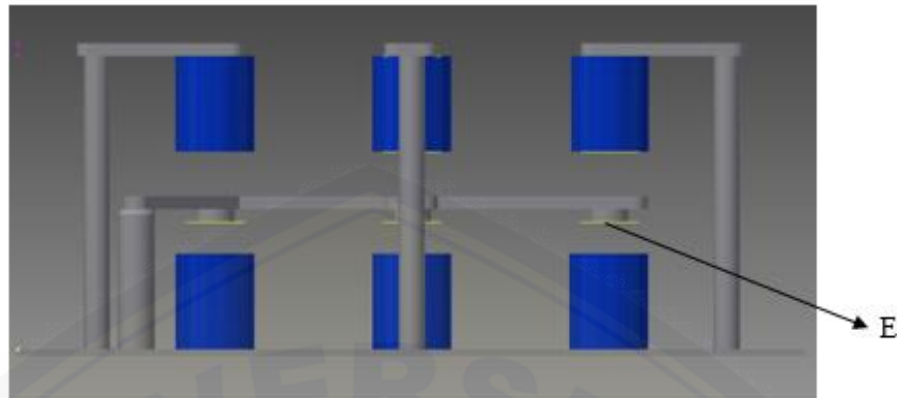
Gambar 3.2. Blok diagram sistem

Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram diatas. Sumber DC yang digunakan berasal dari *power supply* yaitu dari tegangan 0 volt sampai 24 volt. Sumber DC tersebut digunakan sebagai suplay tegangan pada motor. Pada motor BLDC *axial flux* ini empat magnet permanen yang diletakkan pada rotor motor tersebut. Untuk stator pada motor ini dirancang dengan menggunakan delapan coil yaitu empat *coil* di bawah magnet dan empat coil di atas magnet serta terdapat sensor magnet (*reed switch*). Pengujian pada motor ini untuk memperoleh karakteristik kerapatan, kecepatan dan arus serta fluk medan maget dengan menggunakan alat ukur avometer, tachometer dan gaussmeter.

3.5 Perancangan Motor BLDC Axial Flux

Pada perancangan motor listrik BLDC ini meliputi komponen utama dari motor listrik yakni perancangan stator dan perancangan rotor. BLDC yang dirancang dengan menggunakan tegangan 24 Vdc, magnet *Neodymium* atau magnet permanen sebagai rotor dan penentuan bentuk stator yang ditentukan oleh banyaknya lilitan.

Gambar 3.3 Tampak atas perancangan motor BLDC *axial flux*



Gambar 3.4 Tampak samping perancangan motor BLDC *axial flux*

Keterangan :

- A : Kumparan bawah
- B : Kumparan atas
- C : Sensor magnet (*Reed switch*)
- D : Baling-baling rotor
- E : Magnet *Neodymium*

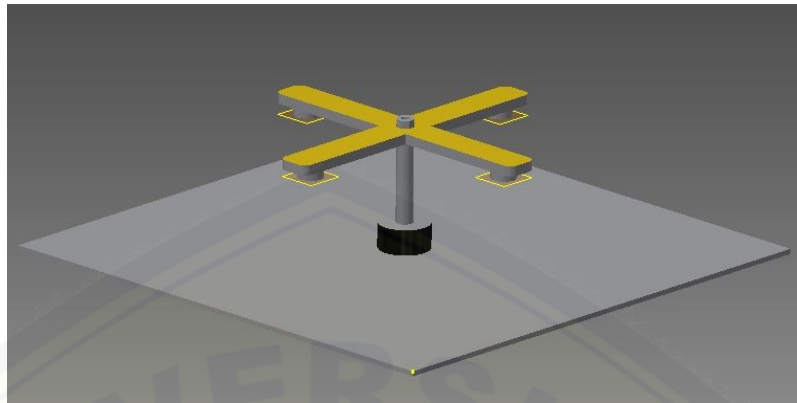
3.6 Perancangan Rotor Motor Listrik BLDC

a. Perancangan Rotor

Pada perancangan rotor motor BLDC sendiri terdapat 4 baling-baling, klaker sebagai pemutar rotor dan 4 magnet Neodymium yang terdapat pada setiap baling-baling.



Gambar 3.5 Tampak atas perancangan rotor



Gambar 3.6 Tampak samping perancangan rotor

b. Menghitung Kecepatan dan Kerapatan

Untuk mendapatkan kecepatan maupun kerapatan harus mengetahui nilai fluks terlebih dahulu dengan cara pengukuran pada medan magnet kumparan. Sehingga di dapatkan rumus kerapatan sebagai berikut.

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (3.1)$$

Sedangkan untuk mencari nilai kecepatan dapat menggunakan rumus sebagai berikut

$$Nr = \frac{120}{2\pi p N} \times \frac{Ea}{\Phi} \quad (3.2)$$

Keterangan :

Nr = kecepatan (Rpm)

N = Banyaknya lilitan

p = Jumlah pole

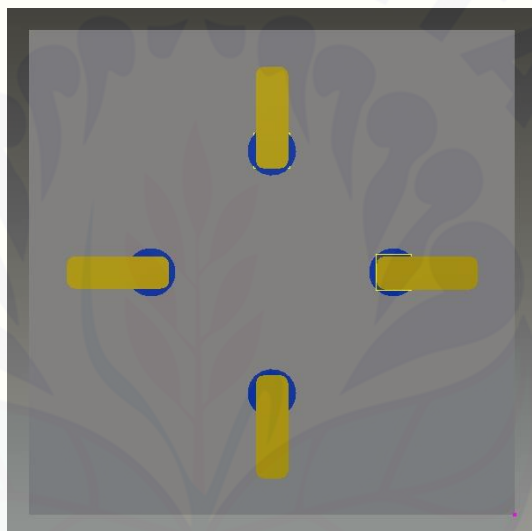
Ea = Tegangan GGL (volt)

c. Menentukan magnet yang digunakan

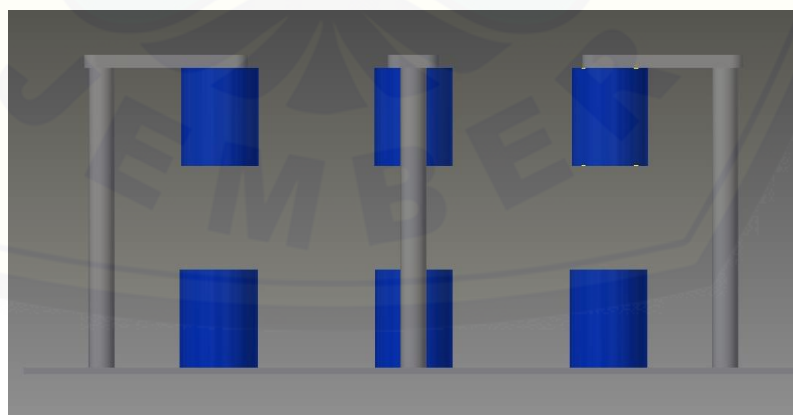
Pada penelitian kali ini untuk menyesuaikan dengan ukuran rotor yang akan digunakan yaitu memiliki lebar 2mm x 8mm. Magnet *neodymium* ini memiliki nilai kerapatan sebesar 0,10 μ T.

3.7 Perancangan Stator Motor Listrik BLDC

Pada perancangan stator ini sangat perlu diperhatikan karena untuk menjalankan motor tersebut dibutuhkan gaya tolak menolak antara stator dan magnet permanen pada rotor. Kutub selatan pada kumparan bawah menghadap ke atas dan sebaliknya kutub utara pada kumparan atas menghadap kebawah. Hal tersebut dapat di ciptakan menggunakan teori solenoida. Kumparan yang akan digunakan pada penelitian kali ini memiliki tebal kawat 0.2 mm pada seluruh kumparan dengan 400 lilitan *double*.



Gambar 3.7 Tampak atas perancangan stator

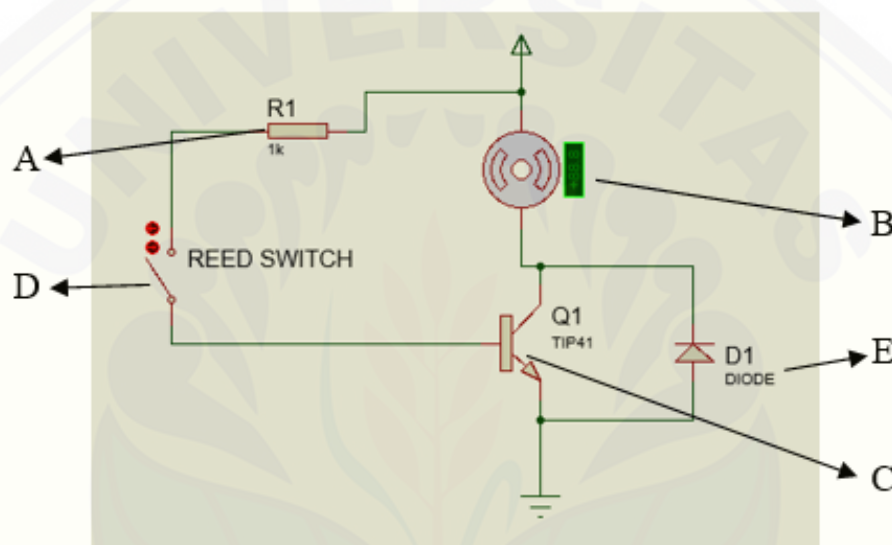


Gambar 3.8 Tampak samping perancangan stator

Pada Gambar 3.7 Tampak atas perancangan stator dan Gambar 3.8 Tampak samping perancangan stator merupakan posisi kutub kumparan yang dihasilkan apabila kumparan diberi tegangan *power supply*.

3.8 Perancangan Driver Motor BLDC Axial Fluk

Pada driver motor BLDC axial fluks menggunakan sebuah transistor dan komponen lainnya.



Gambar 3.9 Driver motor BLDC axial fluks

Keterangan :

A = Resistor.

B = Motor BLDC *axial fluks*.

C = Transistor TIP41.

D = Sensor Magnet (*reed switch*).

E = Dioda

Pada rangkaian diatas menggunakan resitor 1 k Ω serta menggunakan tegangan kerja 24 vdc. Kaki basis transistor dihubungkan pada reed switch, hal ini dikarenakan *reed switch* akan melakukan *switching* apabila terkena medan magnet dari rotor sehingga transistor dalam kondisi jenuh pada hal ini colector dan emitor terhubung sehingga menyebabkan arus mengalir dari colector menuju emitor atau

ground dan akan menghasilkan medan magnet selatan pada kumparan. Akan terjadi gaya tolak menolak antara kumparan dan magnet sehingga motor tersebut berputar.

3.9 Alur Perancangan Motor *Brushless DC Axial Flux*

Pada perancangan motor *Brushless DC axial flux* terdapat tahapan yang dilakukan.

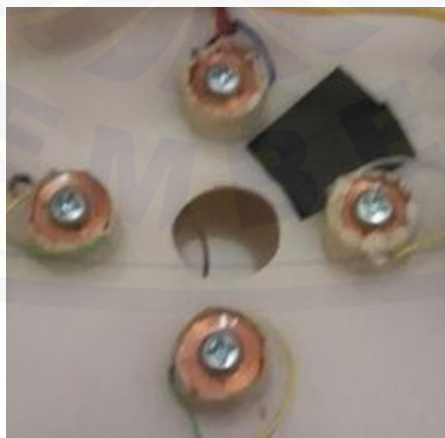
3.9.1 Pembuatan lilitan pada tiap stator



Gambar 3.10 Lilitan stator

Pada pembuatan lilitan ini dilakukan sebanyak 8 kali sesuai kebutuhan kumparan yang diinginkan. Untuk jumlah lilitan sebanyak 400 lilitan, dimana di lilit secara *double* dengan ukuran kawat email 0,2 mm.

3.9.2 Pemasangan stator bagian bawah



Gambar 3.11 Stator bagian bawah

Pada pemasangan stator bagian bawah di butuhkan 4 kumparan, dimana tiap kumparan terhubung seri dengan kumpatan lain. Sedangkan kutubnya sendiri di atur pada bagian bawah kumparan kutub selatan dan bagian atas kumparan kutub utara.

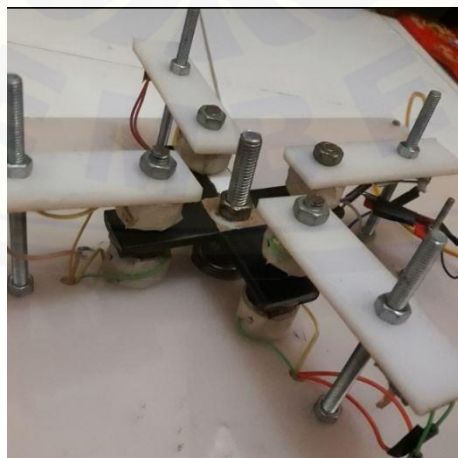
3.9.3 Pemasangan rotor



Gambar 3.12 Rotor

Pada pemasangan rotor di rancang sesuai gambar 3.12 dimana terdapat 4 baling-baling dan magnet neodmium yang di pasang di bagian bawah rotor. Semua baling-balik diberi tanda hitam dan hanya satu diberi tanda putih, hal tersebut dilakukan supaya terdeteksi oleh tachometer.

3.9.4. Pemasangan stator bagian atas



Gambar 3.12 Stator bagian atas

Pada pemasangan stator bagian atas di butuhkan 4 kumparan, dimana tiap kumparan terhubung seri dengan kumpatan lain. Sedangkan kutubnya sendiri di atur pada bagian bawah kumparan kutub selatan dan bagian atas kumparan kutub utara.



BAB 5. PENUTUP

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

5.1 Kesimpulan

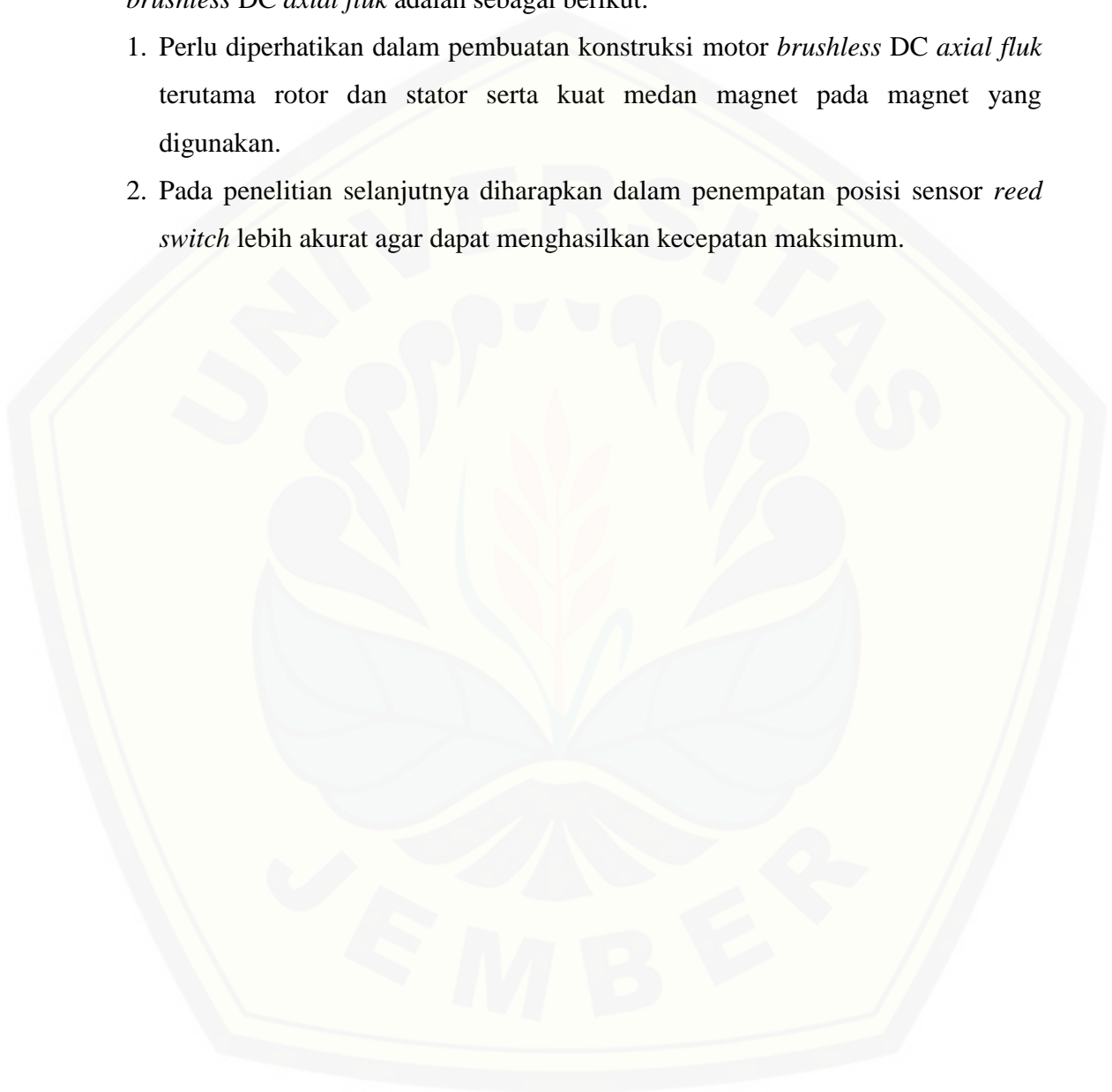
Kesimpulan dari hasil penelitian pengaruh posisi sudut maksimum *reed switch* pada motor *brushless DC axial fluk*, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada pengukuran didapatkan kecepatan optimum pada posisi sudut 5° kiri kumparan sebesar 2869 rpm dengan tegangan 24 volt dan arus sebesar 0,68 A, sedangkan perubahan letak *reed switch* berpengaruh pada kecepatan dan putaran. Ketika *reed switch* berada di sebelah kanan kumparan maka rotor akan berputar ke kanan dan sebaliknya ketika *reed switch* berada di sebelah kiri kumparan maka rotor berputar ke kiri. Hal ini terjadi karena daya tolak magnet berubah seiring perubahan posisi *reed switch*.
2. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat *error percent* terbesar pada didapatkan *error percent* terbesar saat pengujian posisi sudut *reed switch* 15° dengan menggunakan tegangan 15 volt sebesar 7,6 % dan tegangan 24 volt sebesar 7,6%. Sedangkan untuk *error percent* terkecil saat pengujian posisi sudut *reed switch* 5° dengan tegangan 20 volt sebesar 0,93 %. *Error percent* terjadi dikarenakan beberapa faktor, terutama dalam segi mekanis penempatan posisi *reed switch* kurang akurat dan dalam hal penggunaan alat ukur juga berpengaruh terhadap *error percent* yang didapat.
3. Pada hasil perhitungan torsi, medan magnet dan kecepatan yang diperoleh yaitu semakin besar tegangan masukan maka semakin besar pula torsi, medan magnet dan kecepatan. Sebaliknya semakin kecil tegangan masukan maka semakin kecil pula torsi, medan magnet dan kecepatan. Sedangkan torsi tertinggi pada tegangan 24 volt dengan sudut 35° kanan kumparan sebesar 0,203 N.m, untuk medan magnet tertinggi pada tegangan 24 volt dengan sudut 35° kiri kumparan sebesar 1,121 tesla, untuk kecepatan tertinggi pada tegangan 24 volt dengan sudut 5° kiri kumparan sebesar 2880 rpm.

5.2 Saran

Hal-hal yang dapat disarankan untuk kegiatan penelitian berikutnya yang berhubungan dengan pengaruh posisi sudut maksimum *reed switch* pada motor *brushless DC axial fluk* adalah sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan dalam pembuatan konstruksi motor *brushless DC axial fluk* terutama rotor dan stator serta kuat medan magnet pada magnet yang digunakan.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dalam penempatan posisi sensor *reed switch* lebih akurat agar dapat menghasilkan kecepatan maksimum.



DAFTAR PUSTAKA

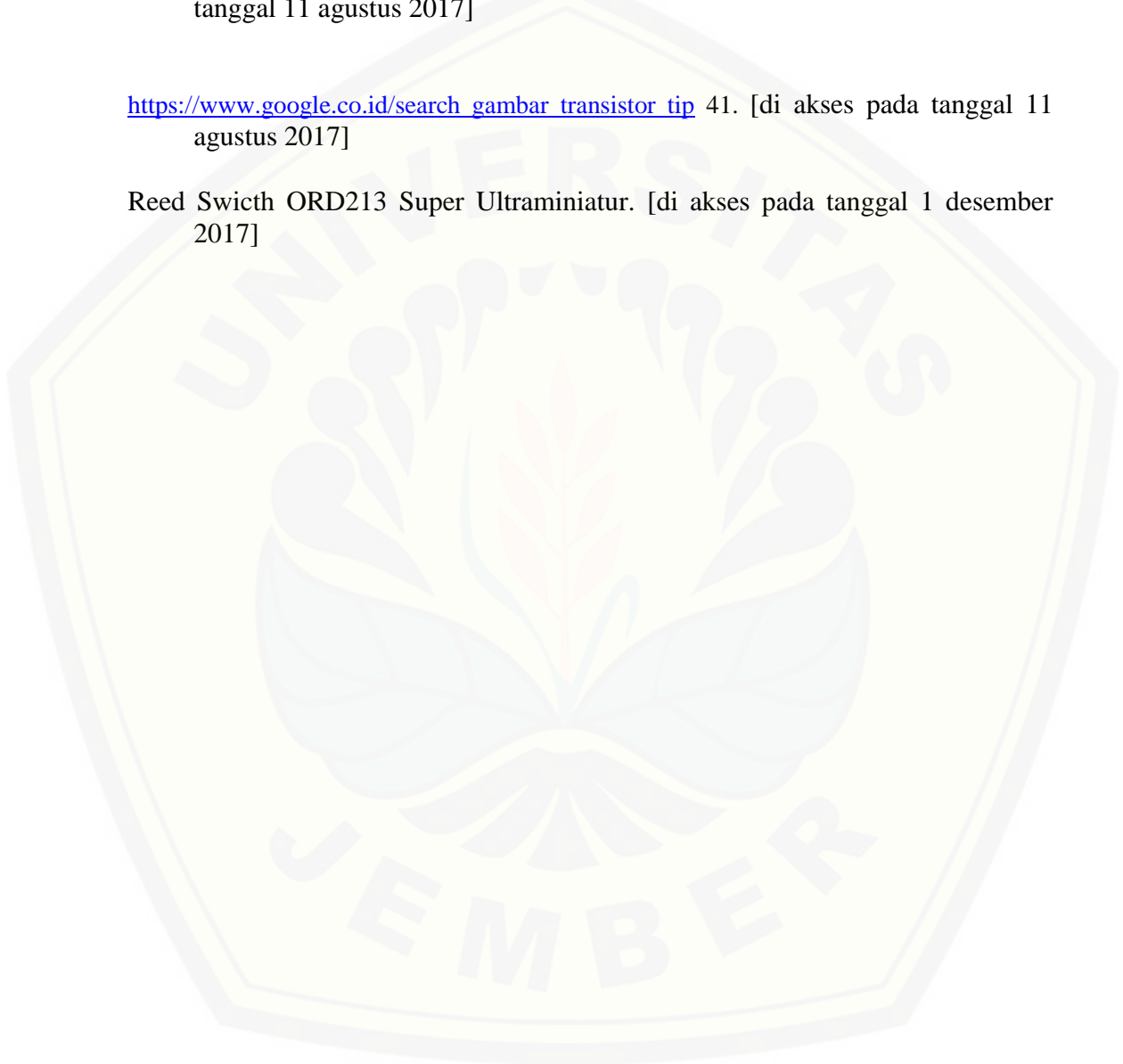
- Yulianta Dwi, dkk. (2015). Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Metode Logika Fuzzy. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada.
- Jati., Dimas Waluyo, Tejo Sukmadi dan Karnoto. 2013. Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Dharmawan, Abe. 2009. Pengendali Motor DC Brushless dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan ATmega 16. Universitas Indonesia.
- Ghoni, Achmad Abdul. 2015. Desain dan Analisis Variabel Air Gap pada Motor Axial Flux Brushless DC Berbasis 3D Finite Element Method Untuk Aplikasi Kenaraan Moor Listrik. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Masudi, Nanang. 2014. Desain Controller Motor BLDC untuk Meningkatkan Performa (Daya Output) Sepeda Motor Listrik. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Tri Sutrisno, Himawan; Borian, Pinto. 2012. Kursi Roda Elektrik. Skripsi S1. Fakultas Ilmu Komputer. Jakarta. Universitas Bina Nusantara
- Mismail Budiono. 2006. Dasar Teknik Elektro. Malang: Bayumedia Publishing
- Wathage, S.C. 2012. Analysis of Single Side Axial Flux Brushless DC Motor With Different Number of Stator Electromagnetic Poles. Tennessee, USA. Department of Engineering Tecnology Middle Tennessee State University Murfreesboro. IEEE
- Yando, Tomy Okta Syafri. 2015. Perancangan Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Security Key Dan Sensor Kecepatan. Bandung. Universitas Telkom

http://www.orientalmotor.com/technology/articles/AC_brushless_brushed_motors.html. [di akses pada tanggal 10 agustus 2017]

<https://www.google.co.id/search/gambar+magnet+neodymium>. [di akses pada tanggal 11 agustus 2017]

<https://www.google.co.id/search/gambar+transistor+tip+41>. [di akses pada tanggal 11 agustus 2017]

Reed Swich ORD213 Super Ultraminiatur. [di akses pada tanggal 1 desember 2017]



LAMPIRAN

Perhitungan

Rumus GGL

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

Rumus Daya pada motor

$$P = E_a \times I$$

Rumus Torsi Pada Motor

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{E_a I_a}{N_r}$$

Rumus Luas Penampang

$$A = \pi r^2$$

Rumus fluk

$$\Phi = B \times A$$

Rumus Kuat Medan Magnet

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

Rumus Kecepatan Rotor

$$N_r = \frac{120}{2\pi p N} \times \frac{E_a}{\Phi}$$

Rumus Error Persen

$$E\% = \frac{\text{Hasil Teori} - \text{Hasil Perhitungan}}{\text{Hasil Teori}} \times 100$$

Perhitungan sudut 5° kanan kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$E_a = 5 - (0,15 \times 13) = 3,05 \text{ volt}$$

$$P = 3,05 \times 0,15 = 0,457 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{3,05 \times 0,15}{418,5} = 0,016 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,384 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,02 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000302}{0,0000785} = 0,384 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{3,05}{3,05 \times 10^{-5}} = 450 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{450 - 418,5}{450} \times 100 = 7\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,27 \times 13) = 6,49 \text{ volt}$$

$$P = 6,49 \times 0,27 = 1,732 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{6,49 \times 0,27}{1114} = 0,023 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,394 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,10 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000310}{0,0000785} = 0,394 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{6,49}{3,10 \times 10^{-5}} = 1150 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1150 - 1114}{1150} \times 100 = 3,1\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,40 \times 13) = 9,8 \text{ volt}$$

$$P = 9,8 \times 0,40 = 3,92 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{9,8 \times 0,40}{1761} = 0,033 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,402 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,16 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000316}{0,0000785} = 0,402 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{9,8}{3,16 \times 10^{-5}} = 1850 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1850 - 1761}{1850} \times 100 = 4,8\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,54 \times 13) = 12,98 \text{ volt}$$

$$P = 12,98 \times 0,54 = 7,009 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,98 \times 0,54}{2220} = 0,047 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,402 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,36 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000336}{0,0000785} = 0,428 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,96}{3,36 \times 10^{-5}} = 2300 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{2300 - 2220}{2300} \times 100 = 3,4 \%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,63 \times 13) = 15,81 \text{ volt}$$

$$P = 15,81 \times 0,63 = 9,960 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{15,81 \times 0,63}{2817} = 0,053 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,430 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,38 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000338}{0,0000785} = 0,430 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{15,81}{3,38 \times 10^{-5}} = 2860 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{2860 - 2817}{2860} \times 100 = 1,5 \%$$

Perhitungan sudut 15° kanan kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$Ea = 5 - (0,14 \times 13) = 3,18 \text{ volt}$$

$$P = 3,18 \times 0,14 = 0,445 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{3,18 \times 0,14}{476,2} = 0,014 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,424 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,33 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000337}{0,0000785} = 0,424 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{3,18}{3,33 \times 10^{-5}} = 490 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{490 - 476,2}{490} \times 100 = 2,8\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,30 \times 13) = 6,1 \text{ volt}$$

$$P = 6,1 \times 0,30 = 1,83 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{6,1 \times 0,30}{990} = 0,027 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,430 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,38 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000338}{0,0000785} = 0,430 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{6,1}{3,38 \times 10^{-5}} = 1050 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1050 - 990}{1050} \times 100 = 5,7\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,42 \times 13) = 9,54 \text{ volt}$$

$$P = 9,54 \times 0,42 = 4,006 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{9,54 \times 0,42}{1594} = 0,037 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,439 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,45 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000345}{0,0000785} = 0,439 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{9,54}{3,45 \times 10^{-5}} = 1650 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1650 - 1594}{1650} \times 100 = 3,3\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,54 \times 13) = 12,98 \text{ volt}$$

$$P = 12,98 \times 0,54 = 7,0092 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,98 \times 0,54}{1920} = 0,054 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,464 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,65 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000316}{0,0000785} = 0,464 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,98}{3,65 \times 10^{-5}} = 2100 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{2100 - 2002}{2100} \times 100 = 4,6 \%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,64 \times 13) = 15,68 \text{ volt}$$

$$P = 15,68 \times 0,64 = 10,0352 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{15,68 \times 0,64}{2274} = 0,066 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,517 \times 7,85 \times 10^{-5} = 4,06 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000406}{0,0000785} = 0,517 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{15,68}{4,06 \times 10^{-5}} = 2300 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{2300 - 2274}{2300} \times 100 = 1,1 \%$$

Perhitungan sudut 25° kanan kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$Ea = 5 - (0,13 \times 13) = 3,31 \text{ volt}$$

$$P = 3,31 \times 0,13 = 0,4303 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{3,31 \times 0,13}{342,5} = 0,018 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,584 \times 7,85 \times 10^{-5} = 4,59 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000534}{0,0000785} = 0,584 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{3,31}{4,59 \times 10^{-5}} = 370 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{370 - 342,5}{370} \times 100 = 3,3\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,29 \times 13) = 6,23 \text{ volt}$$

$$P = 6,23 \times 0,29 = 1,8067 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{6,23 \times 0,29}{780,5} = 0,034 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,591 \times 7,85 \times 10^{-5} = 4,64 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000464}{0,0000785} = 0,591 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{6,23}{4,64 \times 10^{-5}} = 800 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{800 - 780,5}{800} \times 100 = 2,4\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,42 \times 13) = 9,54 \text{ volt}$$

$$P = 9,54 \times 0,42 = 4,0068 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{9,54 \times 0,42}{1103} = 0,054 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,630 \times 7,85 \times 10^{-5} = 4,95 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000495}{0,0000785} = 0,630 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{9,54}{4,95 \times 10^{-5}} = 1150 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1150 - 1103}{1150} \times 100 = 4\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,55 \times 13) = 12,85 \text{ volt}$$

$$P = 12,85 \times 0,55 = 7,0675 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,85 \times 0,55}{1380} = 0,076 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,696 \times 7,85 \times 10^{-5} = 5,47 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000547}{0,0000785} = 0,696 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,85}{5,47 \times 10^{-5}} = 1400 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1400 - 1380}{1400} \times 100 = 1,4\%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,64 \times 13) = 15,68 \text{ volt}$$

$$P = 15,68 \times 0,64 = 10,0352 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{15,68 \times 0,64}{1570} = 0,095 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,735 \times 7,85 \times 10^{-5} = 5,77 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000577}{0,0000785} = 0,735 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{15,68}{5,77 \times 10^{-5}} = 1620 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1620 - 1570}{1620} \times 100 = 3,08\%$$

Perhitungan sudut 35° kanan kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$Ea = 5 - (0,19 \times 13) = 2,53 \text{ volt}$$

$$P = 2,53 \times 0,19 = 0,4807 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{2,53 \times 0,19}{200,8} = 0,035 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,835 \times 7,85 \times 10^{-5} = 6,56 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000656}{0,0000785} = 0,835 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{2,53}{6,56 \times 10^{-5}} = 230 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{230 - 200,8}{230} \times 100 = 1,2\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,37 \times 13) = 5,19 \text{ volt}$$

$$P = 5,19 \times 0,37 = 1,9203 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{5,19 \times 0,37}{427,6} = 0,067 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,857 \times 7,85 \times 10^{-5} = 6,73 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000673}{0,0000785} = 0,857 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{5,19}{6,73 \times 10^{-5}} = 460 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{460 - 427,6}{460} \times 100 = 7\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,56 \times 13) = 7,72 \text{ volt}$$

$$P = 7,72 \times 0,56 = 4,3232 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{7,72 \times 0,56}{609,3} = 0,106 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,931 \times 7,85 \times 10^{-5} = 7,31 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000731}{0,0000785} = 0,931 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{7,72}{7,31 \times 10^{-5}} = 630 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{630 - 609,3}{630} \times 100 = 3,2\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,75 \times 13) = 10,25 \text{ volt}$$

$$P = 10,25 \times 0,75 = 7,6875 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{10,25 \times 0,75}{738,7} = 0,156 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1,038 \times 7,85 \times 10^{-5} = 8,15 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000815}{0,0000785} = 1,038 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{10,25}{8,15 \times 10^{-5}} = 750 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{750 - 738,7}{750} \times 100 = 1,5\%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,90 \times 13) = 12,3 \text{ volt}$$

$$P = 12,3 \times 0,90 = 11,07 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,3 \times 0,90}{816,2} = 0,203 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1,099 \times 7,85 \times 10^{-5} = 8,63 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000863}{0,0000785} = 1,099 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,3}{8,63 \times 10^{-5}} = 850 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{850 - 816,2}{850} \times 100 = 3,9 \%$$

Perhitungan sudut 5° kiri kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$Ea = 5 - (0,16 \times 13) = 2,92 \text{ volt}$$

$$P = 2,92 \times 0,16 = 0,4672 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{2,92 \times 0,16}{407,2} = 0,017 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,369 \times 7,85 \times 10^{-5} = 2,90 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000290}{0,0000785} = 0,389 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{2,92}{2,90 \times 10^{-5}} = 440 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{450 - 407,2}{440} \times 100 = 7,4\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,30 \times 13) = 6,1 \text{ volt}$$

$$P = 6,1 \times 0,30 = 1,83 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{6,1 \times 0,30}{1125} = 0,0244 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,373 \times 7,85 \times 10^{-5} = 2,93 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000293}{0,0000785} = 0,373 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{6,1}{2,93 \times 10^{-5}} = 1170 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1170 - 1125}{1170} \times 100 = 3,8\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,43 \times 13) = 9,41 \text{ volt}$$

$$P = 9,41 \times 0,43 = 4,0463 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{9,41 \times 0,43}{1897} = 0,031 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,375 \times 7,85 \times 10^{-5} = 2,95 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000295}{0,0000785} = 0,375 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{9,41}{2,95 \times 10^{-5}} = 1900 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1900 - 1897}{1900} \times 100 = 0,15\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,58 \times 13) = 12,46 \text{ volt}$$

$$P = 12,46 \times 0,58 = 7,2268 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,46 \times 0,58}{2427} = 0,044 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,385 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,03 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000303}{0,0000785} = 0,385 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,46}{3,03 \times 10^{-5}} = 2450 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{2450 - 2427}{2450} \times 100 = 0,93 \%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,68 \times 13) = 15,16 \text{ volt}$$

$$P = 15,16 \times 0,68 = 10,3088 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{15,16 \times 0,68}{2869} = 0,053 \text{ N.m}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{15,16}{3,12 \times 10^{-5}} = 2880 \text{ rpm}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,397 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,12 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000312}{0,0000785} = 0,397 \text{ Tesla}$$

$$E\% = \frac{2900 - 2869}{2900} \times 100 = 1,06 \%$$

Perhitungan sudut 15° kiri kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$Ea = 5 - (0,15 \times 13) = 3,05 \text{ volt}$$

$$P = 3,05 \times 0,15 = 0,4725 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{3,05 \times 0,15}{441,9} = 0,015 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,438 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,44 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000344}{0,0000785} = 0,438 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{3,05}{3,44 \times 10^{-5}} = 470 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{470 - 441,9}{470} \times 100 = 1,8\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,29 \times 13) = 6,23 \text{ volt}$$

$$P = 6,23 \times 0,29 = 1,832 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{6,23 \times 0,29}{1071} = 0,025 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,440 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,46 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000346}{0,0000785} = 0,440 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{6,23}{3,46 \times 10^{-5}} = 1100 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1100 - 1071}{1100} \times 100 = 2,6\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,41 \times 13) = 9,67 \text{ volt}$$

$$P = 9,67 \times 0,41 = 3,9647 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{9,67 \times 0,41}{1432} = 0,041 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,473 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,72 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000372}{0,0000785} = 0,473 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{9,67}{3,72 \times 10^{-5}} = 1550 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1550 - 1432}{1550} \times 100 = 7,6\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,55 \times 13) = 12,85 \text{ volt}$$

$$P = 12,85 \times 0,55 = 7,067 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,85 \times 0,55}{2002} = 0,052 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,492 \times 7,85 \times 10^{-5} = 3,87 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000387}{0,0000785} = 0,492 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,85}{3,87 \times 10^{-5}} = 2100 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{2100 - 2002}{2100} \times 100 = 4,6\%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,64 \times 13) = 15,68 \text{ volt}$$

$$P = 15,68 \times 0,64 = 10,0352 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{15,68 \times 0,64}{2125} = 0,070 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,517 \times 7,85 \times 10^{-5} = 4,06 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000406}{0,0000785} = 0,517 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{15,68}{4,06 \times 10^{-5}} = 2300 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{2300 - 2125}{2300} \times 100 = 7,6 \%$$

Perhitungan sudut 25° kiri kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$Ea = 5 - (0,17 \times 13) = 2,79 \text{ volt}$$

$$P = 2,79 \times 0,17 = 0,4743 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{2,79 \times 0,17}{361,4} = 0,019 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,543 \times 7,85 \times 10^{-5} = 4,27 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000427}{0,0000785} = 0,543 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{2,79}{4,27 \times 10^{-5}} = 390 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{390 - 361,4}{390} \times 100 = 7,3\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,31 \times 13) = 5,97 \text{ volt}$$

$$P = 5,97 \times 0,31 = 1,8507 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{5,97 \times 0,31}{774,1} = 0,035 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,566 \times 7,85 \times 10^{-5} = 4,45 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000445}{0,0000785} = 0,566 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{5,97}{4,45 \times 10^{-5}} = 800 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{800 - 774,1}{800} \times 100 = 3,2\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,44 \times 13) = 9,28 \text{ volt}$$

$$P = 9,28 \times 0,44 = 4,0832 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{9,28 \times 0,44}{1090} = 0,056 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,640 \times 7,85 \times 10^{-5} = 5,03 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000503}{0,0000785} = 0,640 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{9,28}{5,03 \times 10^{-5}} = 1100 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1100 - 1090}{1100} \times 100 = 0,9\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,55 \times 13) = 12,85 \text{ volt}$$

$$P = 12,85 \times 0,55 = 7,0675 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,85 \times 0,55}{1349} = 0,078 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,696 \times 7,85 \times 10^{-5} = 5,47 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000547}{0,0000785} = 0,696 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,85}{5,47 \times 10^{-5}} = 1400 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1400 - 1349}{1400} \times 100 = 3,6\%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,65 \times 13) = 15,55 \text{ volt}$$

$$P = 15,55 \times 0,65 = 10,1075 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{15,55 \times 0,65}{1524} = 0,099 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,738 \times 7,85 \times 10^{-5} = 7,80 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000580}{0,0000785} = 0,738 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{15,55}{7,80 \times 10^{-5}} = 1600 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{1600 - 1524}{1600} \times 100 = 5,8\%$$

Perhitungan sudut 35° kiri kumparan

1. Pada tegangan 5 volt

$$Ea = 5 - (0,21 \times 13) = 2,27 \text{ volt}$$

$$P = 2,27 \times 0,21 = 0,4767 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{2,27 \times 0,21}{223,3} = 0,032 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,771 \times 7,85 \times 10^{-5} = 6,06 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000606}{0,0000785} = 0,771 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{2,27}{6,06 \times 10^{-5}} = 250 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{250 - 223,3}{250} \times 100 = 1,06\%$$

2. Pada tegangan 10 volt

$$Ea = 10 - (0,39 \times 13) = 4,93 \text{ volt}$$

$$P = 4,93 \times 0,39 = 1,9227 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{4,93 \times 0,39}{434,7} = 0,066 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,797 \times 7,85 \times 10^{-5} = 6,26 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000626}{0,0000785} = 0,797 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{4,93}{6,26 \times 10^{-5}} = 470 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{470 - 434,7}{470} \times 100 = 7,5\%$$

3. Pada tegangan 15 volt

$$Ea = 15 - (0,57 \times 13) = 7,59 \text{ volt}$$

$$P = 7,59 \times 0,57 = 4,3263 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{7,59 \times 0,57}{597,1} = 0,112 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,929 \times 7,85 \times 10^{-5} = 7,30 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000730}{0,0000785} = 0,929 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{7,59}{7,30 \times 10^{-5}} = 620 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{620 - 597,1}{620} \times 100 = 3,6\%$$

4. Pada tegangan 20 volt

$$Ea = 20 - (0,74 \times 13) = 10,38 \text{ volt}$$

$$P = 10,38 \times 0,74 = 7,6812 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{10,38 \times 0,74}{740,5} = 0,155 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1,038 \times 7,85 \times 10^{-5} = 8,15 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000815}{0,0000785} = 1,038 \text{ Tesla}$$

$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{10,38}{8,15 \times 10^{-5}} = 760 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{760 - 740,5}{760} \times 100 = 2,5\%$$

5. Pada tegangan 24 volt

$$Ea = 24 - (0,87 \times 13) = 12,69 \text{ volt}$$

$$P = 12,69 \times 0,87 = 11,0403 \text{ Watt}$$

$$T = \frac{120}{8} \times \frac{12,69 \times 0,87}{828,9} = 0,199 \text{ N.m}$$

$$A = 3,14 \times (0,005)^2 = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

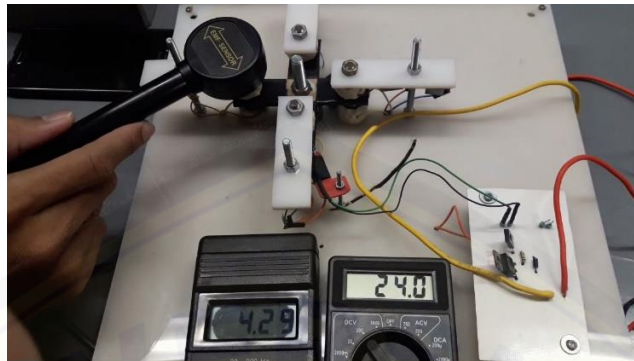
$$\Phi = 1,121 \times 7,85 \times 10^{-5} = 8,80 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

$$B = \frac{0,0000880}{0,0000785} = 1,121 \text{ Tesla}$$

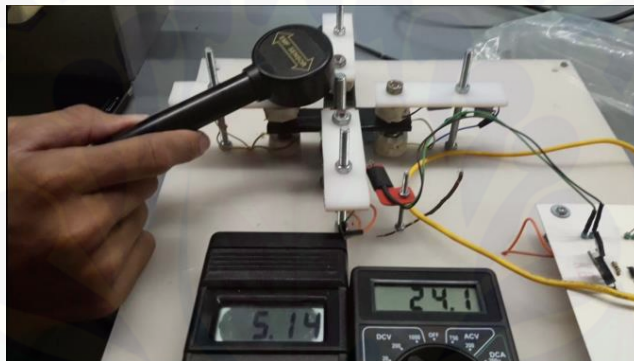
$$Nr = \frac{120}{2 \times 3,14 \times 8 \times 400} \times \frac{12,69}{8,80 \times 10^{-5}} = 860 \text{ rpm}$$

$$E\% = \frac{860 - 828,9}{860} \times 100 = 3,6 \%$$

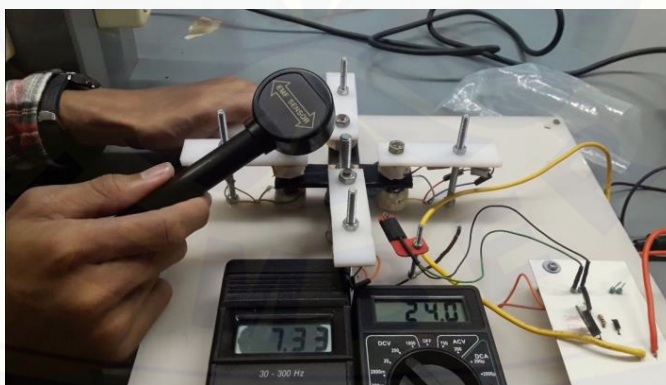
LAMPIRAN



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 5° kanan kumparan



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 15° kanan kumparan



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 25° kanan kumparan



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 35° kanan kumparan



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 5° kiri kumparan



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 15° kiri kumparan



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 25° kiri kumparan



Gambar pengukuran medan magnet tegangan 24 volt pada posisi sudut *reed switch* 35° kiri kumparan