



**RANCANG BANGUN MESIN *BRUSHLESS DIRECT*
CURRENT MAGNET PERMANEN *AXIAL FLUX* SEBAGAI
GENERATOR ARUS BOLAK – BALIK**

SKRIPSI

Oleh :

Aprilya Pravika Sari

NIM 151910201013

**PROGRAM STUDI STRATA SATU
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**RANCANG BANGUN MESIN *BRUSHLESS DIRECT*
CURRENT MAGNET PERMANEN *AXIAL FLUX* SEBAGAI
GENERATOR ARUS BOLAK – BALIK**

SKRIPSI

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

Oleh :

Aprilya Pravika Sari

NIM 151910201013

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

2019

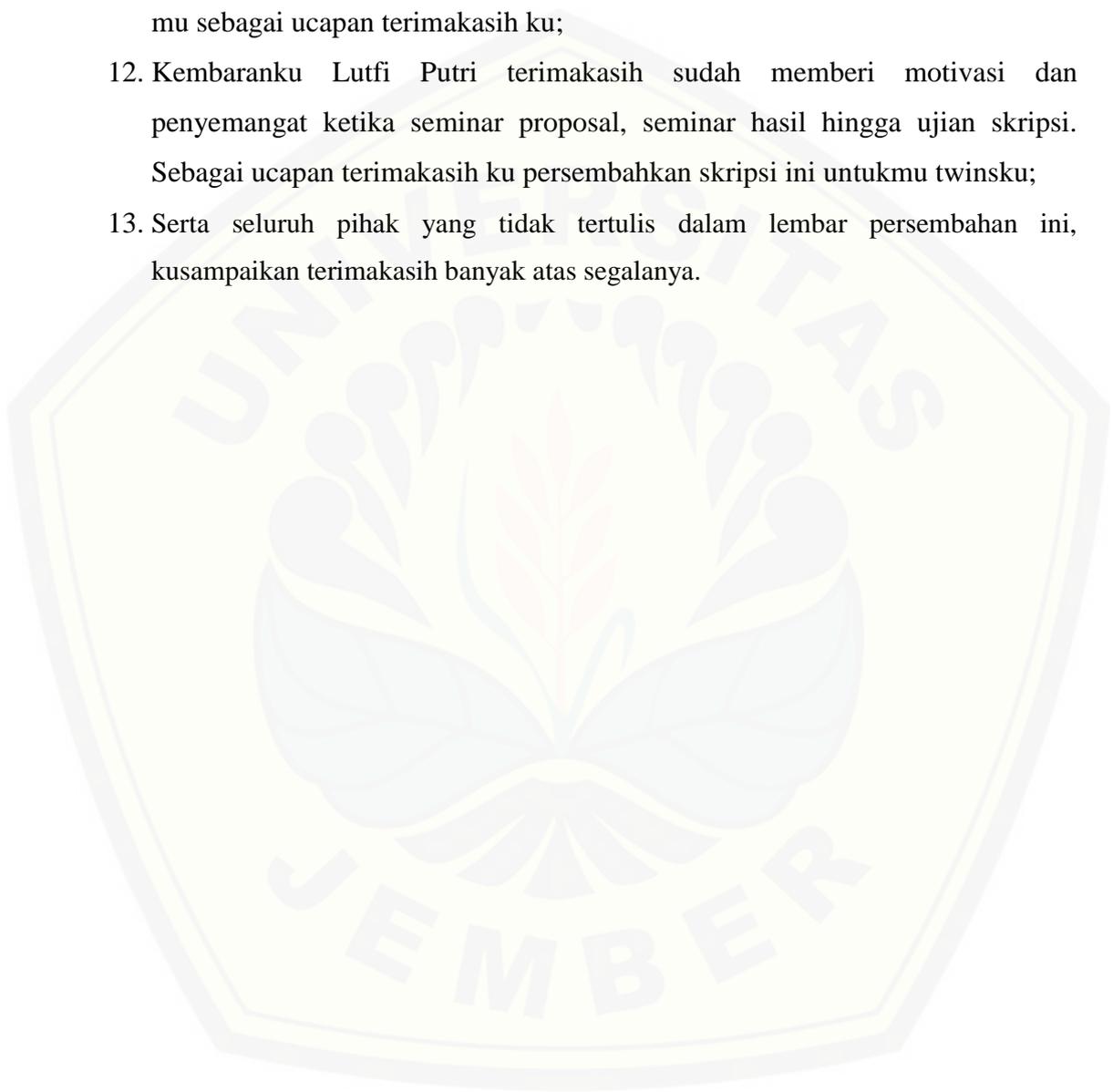
PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT limpahan kasih dan karunia -Mu telah memberikan kekuatan dan kemudahan sehingga skripsi ini bisa terselesaikan. Sholawat dan salam selalu dipanjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Dengan tulus ikhlas dan penuh kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang;
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat;
3. Ibunda Sri Wahyuni dan Ayahanda Eko Suharto tercinta, terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis;
4. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesainya skripsi ini;
5. Bapak Dr. Azmi Saleh ST., MT. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Guru-guruku dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
7. Almamaterku Universitas Jember yang aku cintai dan banggakan;
8. Keluarga UKM Robotika Teknik sebagai wadah saya dalam mencari wawasan tentang dunia *engineering*, serta keluarga dalam mengemban tugas bersama untuk mengharumkan almamater tercinta;
9. Keluarga PASKIBRA tahun 2015 sebagai wadah saya dalam mencari keluarga baru serta mengemban tugas bersama;
10. Bopo Squad : Alysa Karisma dan Ainur Rohmah yang telah menemani selama pembuatan skripsi serta bersedia membantu dalam pengerjaan alat dan dalam

pengambilan data. Ku persembahkan skripsi ini untuk kalian sebagai ucapan terimakasih ku;

11. Kukuh Priambodo yang telah setia membantu, menemani dan mendampingi dalam pengerjaan skripsi ini hingga selesai. Ku persembahkan skripsi ini untuk mu sebagai ucapan terimakasih ku;
12. Kembaranku Lutfi Putri terimakasih sudah memberi motivasi dan penyemangat ketika seminar proposal, seminar hasil hingga ujian skripsi. Sebagai ucapan terimakasih ku persembahkan skripsi ini untukmu twinsku;
13. Serta seluruh pihak yang tidak tertulis dalam lembar persembahan ini, kusampaikan terimakasih banyak atas segalanya.



MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Al - Insiroh : 5)

*“Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak memanfaatkannya menggunakan
untuk memotong, ia akan memotongmu (menggilasmu)”*

(H.R Muslim)

“Life is like riding a bicycle, to keep your balance you must keep moving”

(Albert Einstein)

*“Barangsiapa bertakwa kepada Allah niscaya Dia akan mengadakan baginya
jalan keluar, dan memberinya rezki dari arah yang tiada disangka-sangkanya.*

*Dan barangsiapa yang bertawakkal kepada Allah niscaya Allah akan
mencukupkan (keperluan)nya”*

(Q.S. At-Tholaq : 2-3)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Aprilya Pravika Sari

NIM : 151910201013

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Rancang Bangun Mesin *Brushless Direct Current* Magnet Permanen *Axial Flux* Sebagai Generator Arus Bolak - Balik” 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, 28 Januari 2019

Yang menyatakan,

Aprilya Pravika Sari

NIM 151910201013

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN MESIN *BRUSHLESS DIRECT*
CURRENT MAGNET PERMANEN *AXIAL FLUX* SEBAGAI
GENERATOR ARUS BOLAK – BALIK**

Oleh

Aprilya Pravika Sari

NIM 151910201013

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Widya Cahyadi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Mesin *Brushless Direct Current* Magnet Permanen *Axial Flux* Sebagai Generator Arus Bolak-Balik” karya Aprilya Pravika Sari telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 30 Januari 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

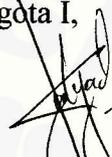
Ketua,



Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP 196104141989021001

Anggota I,



Widya Cahyadi, S.T., M.T.

NIP 198511102014041001

Anggota II,



Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T.

NIP. 197008261997021001

Anggota III,



Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

NIP 197004041996011001

Mengesahkan

Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Rancang Bangun Mesin *Brushless Direct Current Magnet Permanen Axial Flux* Sebagai Generator Arus Bolak – Balik : Aprilya Pravika Sari, 151910201013:2019:65; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Listrik merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan oleh manusia. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai teknologi seperti dari motor listrik. Seiring dengan perkembangan teknologi dan sumber daya manusia penggunaan energi listrik semakin meningkat. Krisis dan kelangkaan energi listrik menjadi salah satu permasalahan serius yang perlu ditangani segera mungkin. Untuk menangani krisis dan kelangkaan energi listrik perlu adanya terobosan baru atau perlu adanya pemanfaatan energi terbarukan sebagai energi alternatif untuk mengganti energi listrik yang semakin krisis. Salah satu energi alternatif yang mudah di buat yaitu energi dengan memanfaatkan gaya magnet sebagai model pembangkit listrik.

Dalam perancangan mesin *brushless direct current axial flux* ini hampir sama dengan penelitian Fitria Rizky Amalia menggunakan stator ganda dengan kutub magnet yang digunakan adalah selatan dan utara. Pada penelitian sebelumnya menggunakan 100 lilitan pada setiap kumparan, pada penelitian ini terdapat 100 lilitan pada mesin BLDC dan 600 lilitan pada generator. dengan menggunakan kawat email diameter 0,3mm. Pada penelitian mengukur pengaruh beban terhadap rpm serta arus saat diberi beban dengan menggunakan *input* tegangan yang bervariasi. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh variasi beban pada mesin BLDC sebagai generator dilakukan pada tegangan 11, 12, 13 dan 14volt dengan menggunakan beban resistor 200, 250, 333,33, 500, dan 1000 Ohm.

Saat menggunakan tegangan input 11 volt dengan beban 200 Ohm tegangan sebesar 4,14 volt, arus sebesar 0,022A dan kecepatan sebesar 1620rpm. Saat beban 250 Ohm tegangan sebesar 4,98volt, arus sebesar 0,0179A dan kecepatan sebesar 1677rpm. Saat menggunakan tegangan 333,33 Ohm diperoleh tegangan sebesar 5,31 volt, arus sebesar 0,0130A dan kecepatan sebesar 1793rpm.

Saat menggunakan beban 500 Ohm diperoleh tegangan sebesar 5,56 volt, arus sebesar 0,0105A dan kecepatan sebesar 1880rpm. Saat menggunakan beban 1000 Ohm tegangan sebesar 6,27volt, arus sebesar 0,0062A dan kecepatan sebesar 1961rpm.

Saat menggunakan tegangan *input* 12 volt dengan beban 200 Ohm tegangan sebesar 5,01volt, arus sebesar 0,0266A dan kecepatan sebesar 1719 rpm. Saat beban 250 Ohm tegangan sebesar 5,8volt, arus sebesar 0,0228A dan kecepatan sebesar 1883rpm. Saat menggunakan tegangan 333,33 Ohm diperoleh tegangan sebesar 6,5volt, arus sebesar 0,0185A dan kecepatan sebesar 1924rpm. Saat menggunakan beban 500 Ohm diperoleh tegangan sebesar 7volt, arus sebesar 0,0136A dan kecepatan sebesar 1946rpm. Saat menggunakan beban 1000 Ohm tegangan sebesar 7,5volt, arus sebesar 0,0074A dan kecepatan sebesar 2118rpm.

Saat menggunakan tegangan *input* 13 volt dengan beban 200 Ohm tegangan sebesar 5,76volt, arus sebesar 0,0292A dan kecepatan sebesar 1975 rpm. Saat beban 250 Ohm tegangan sebesar 6,13volt, arus sebesar 0,0233A dan kecepatan sebesar 2018rpm. Saat menggunakan tegangan 333,33 Ohm diperoleh tegangan sebesar 6,67volt, arus sebesar 0,0187A dan kecepatan sebesar 2018rpm. Saat menggunakan beban 500 Ohm diperoleh tegangan sebesar 7,01volt, arus sebesar 0,014A dan kecepatan sebesar 2045rpm. Saat menggunakan beban 1000 Ohm tegangan sebesar 8,28volt, arus sebesar 0,0078A dan kecepatan sebesar 2160rpm.

Saat menggunakan tegangan *input* 14 volt dengan beban 200 Ohm tegangan sebesar 7,22olt, arus sebesar 0,037A dan kecepatan sebesar 2100rpm. Saat beban 250 Ohm tegangan sebesar 8volt, arus sebesar 0,032A dan kecepatan sebesar 2263rpm. Saat menggunakan tegangan 333,33 Ohm diperoleh tegangan sebesar 8,55volt, arus sebesar 0,026A dan kecepatan sebesar 2329rpm. Saat menggunakan beban 500 Ohm diperoleh tegangan sebesar 9,2volt, arus sebesar 0,018A dan kecepatan sebesar 2369rpm. Saat menggunakan beban 1000 Ohm tegangan sebesar 9,98volt, arus sebesar 0,0009A dan kecepatan sebesar 2443rpm.

Dari penelitian ini pengaruh variasi beban sangat berpengaruh pada tegangan, arus dan kecepatan yang dihasilkan dari penelitian ini dapat diketahui

semakin besar beban yang digunakan maka kecepatan akan semakin besar begitu pula dengan tegangan, akan tetapi arus semakin kecil.



SUMMARY

Design of Machines Brushless Direct Current Permanent Magnets Axial Flux As Alternating Current Generators: Aprilya Pravika Sari, 151910201013: 2019: 65 pages; Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Electricity is the most widely used energy source by humans. Electrical energy can be produced from various technologies such as electric motors. Along with the development of technology and human resources the use of electrical energy is increasing. The crisis and scarcity of electricity is one of the serious problems that need to be addressed as soon as possible. To deal with the crisis and scarcity of electricity, there needs to be a new breakthrough or the need for the use of renewable energy as alternative energy to replace electricity that is increasingly in crisis. One alternative energy that is easy to make is energy by utilizing magnetic force as a model of electricity generation.

In designing this machine brushless direct current axial flux similar to Fitria's research, Rizky Amalia uses a double stator with the magnetic poles used are south and north. In the previous study using 100 turns on each coil, in this study there were 100 turns on the BLDC machine and 600 turns on the generator. by using an e-wire diameter of 0.3 mm. In the study measuring the effect of load on rpm and current when given a load using input voltage that varies. Whereas to find out the effect of load variations on a BLDC machine as a generator it is carried out at 11, 12, 13 and 14 volt voltages using load resistors 200, 250, 333.33, 500, and 1000 Ohms.

When using an 11 volt input voltage with a 200 Ohm load the voltage is 4.14 volts, the current is 0.022 A and the speed is 1620 rpm. When the load is 250 Ohm the voltage is 4.98 volts, the current is 0.0179A and the speed is 1677 rpm. When using a 333.33 Ohm voltage, a voltage of 5.31 volts is obtained, the current is 0.0130A and the speed is 1793 rpm. When using a 500 Ohm load a voltage of 5.56 volts is obtained, the current is 0.0105 A and the speed is 1880 rpm. When

using a 1000 Ohm load the voltage is 6.27volt, the current is 0.0062A and the speed is 1961rpm.

When using a input 12 voltvoltage with a 200 Ohm load the voltage is 5.01volt, the current is 0.0266A and the speed is 1719 rpm. When the load is 250 Ohm the voltage is 5.8volt, the current is 0.0228A and the speed is 1883rpm. When using a 333.33 Ohm voltage, a voltage of 6.5volt is obtained, the current is 0.0185A and the speed is 1924rpm. When using a 500 Ohm load a voltage of 7volts is obtained, the current is 0.0136A and the speed is 1946rpm. When using a 1000 Ohm load the voltage is 7.5volt, the current is 0.0074A and the speed is 2118rpm.

When using a input 13 voltage with a load of 200 Ohm the voltage is 5.76volt, the current is 0.0292A and the speed is 1975 rpm. When the load is 250 Ohm the voltage is 6.13volt, the current is 0.0233A and the speed is 2018rpm. When using a 333.33 Ohm voltage, a voltage of 6.67volt is obtained, the current is 0.0187A and the speed is 2018rpm. When using a 500 Ohm load the voltage is 7.01volt, the current is 0.014A and the speed is 2045rpm. When using a 1000 Ohm load the voltage is 8.28volt, the current is 0.0078A and the speed is 2160rpm.

When using a input 14 voltvoltage with a 200 Ohm load the voltage is 7.22olt, the current is 0.037A and the speed is 2100rpm. When the load is 250 Ohm the voltage is 8volt, the current is 0.032A and the speed is 2263rpm. When using a 333.33 Ohm voltage obtained a voltage of 8.55volt, the current is 0.026A and a speed of 2329rpm. When using a 500 Ohm load a voltage of 9.2volt is obtained, the current is 0.018A and the speed is 2369rpm. When using a 1000 Ohm load the voltage is 9.98volt, the current is 0,0009 A and the speed is 2443 rpm.

From this study the influence of load variation is very influential on the voltage, current and speed generated from this study. It can be seen that the greater the load used, the greater the speed as well as the voltage, but the current gets smaller.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan skripsi yang berjudul **”Rancang Bangun Mesin *Brushless Direct Current Magnet Permanen Axial Flux* Sebagai Generator Arus Bolak - Balik”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril ataupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Bambang Srikaloko S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan fikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesainya skripsi ini;
4. Bapak Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini;
5. Bapak Dr. Azmi Saleh ST., MT. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Kedua orang tua saya Ibunda Sri Wahyuni dan Ayahanda Eko Suharto tercinta, terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan saya;

7. Keluarga UKM Robotika Teknik Universitas Jember sebagai wadah saya dalam mencari wawasan tentang dunia *engineering*, serta keluarga dalam mengemban tugas bersama untuk mengharumkan almamater tercinta;
8. Keluarga PASKIBRA tahun 2015 sebagai wadah saya dalam mencari keluarga baru serta mengemban tugas bersama;
9. Laboratorium Listrik Dasar Universitas Jember, yang telah meminjamkan *power supply* dalam proses pengujian alat hingga pengambilan data;
10. Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Jember, yang telah meminjamkan tachometer dalam proses pengujian alat hingga pengambilan data;
11. Fitria Rizky Amalia yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran dalam membantu proses penyusunan skripsi;
12. Anak buah pak Widyono : Ainur Rohmah dan Alysa Karisma yang telah membantu dalam pengerjaan alat serta membantu dalam proses pengambilan data;
13. Sahabat-sahabatku Fardilla Indah Safitri, Umi Azizah, Ainur Rohmah, Alysa Karisma, Firda Aulia, Ani Rohani, Sita Agustina, Novita Murti, Indah Rochmawati, Viola, Salwa Assyifaul, Wardatul Ma'rufah yang selalu mendoakan, memberi semangat serta memberi motivasi;
14. Kukuh Priambodo yang selalu memberikan motivasi dan semangat, serta bersedia meluangkan waktunya dalam membantu penyusunan skripsi;
15. Kosan Mastrip 1 no 63 : Lutfi Putri, Asarini Endarwani, Anggeraeni Puspa yang selalu menemani dalam suka maupun duka;
16. Muhammad Reqzy yang telah bersedia membantu dalam pembuatan kumparan;
17. Indra Setiawan yang telah membantu dalam pembuatan desain alat;
18. Turasno, Dimas Suryo dan Adi Hastama yang telah membantu dalam pembuatan driver;
19. Ciwi-ciwi Teknik Elektro 2015 Universitas Jember yang selalu memberikan semangat;

20. KKN 211 : Rochmatul Nuryu Khasanah, Oza Sastya Putri Maharani, Haniatun Nafiah, Ilma Eka dan Ana Septianadi F, Hilda, Nur Cahyati, Nur Huda, Firman Dananjaya yang selalu memberi motivasi dan semangat;
21. Teman seperjuangan dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu namanya yang telah membantu dalam segala hal.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 25 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSAKA	5
2.1 Motor <i>Brushless Direct Current</i>	5
2.2 Prinsip Kerja Motor <i>Brushless Direct Current</i>	6
2.3 Kecepatan Motor	7
2.4 EMF (<i>Electromotive Force</i>)	7
2.5 Magnet Permanen	8
2.6 <i>Hall Effect</i>	9
2.7 Kuat Medan	9
2.8 Generator	10
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	11
3.2 Perencanaan Jadwal Penelitian	11

3.3 Alat dan Bahan	12
3.4 Tahap Penelitian	13
3.5 Blok Diagram dan Perancangan Sistem	14
3.6 Desain Alat	15
3.7 Alur Perancangan Alat	16
3.8 Pengujian Alat	17
BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Analisa Data Pengujian Mesin <i>Brushless Direct Current</i> Magnet Permanen <i>Axial Flux</i> sebagai Generator Arus Bolak-Balik	21
4.2 Pengujian Mesin <i>Brushless Direct Current</i> Magnet Permanen <i>Axial Flux</i> Sebagai Generator Arus Bolak-Balik	22
4.3 Perbandingan Tegangan Pengukuran dan Perhitungan Pada Mesin <i>Brushless Direct Current</i> Magnet Permanen <i>Axial Flux</i> Sebagai Generator Arus Bolak-Balik	30
4.4 Perbandingan Kecepatan Pengukuran Dan Perhitungan Pada Mesin <i>Brushless Direct Current</i> Magnet Permanen <i>Axial Flux</i> Sebagai Generator Arus Bolak-Balik	32
4.5 Perhitungan Pada Mesin <i>Brushless Direct Current</i> Magnet Permanen <i>Axial Flux</i> Sebagai Generator Arus Bolak-Balik	33
BAB 5. PENUTUP	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kontruksi Motor BLDC	5
Gambar 2.2 Rotor Motor BLDC	6
Gambar 2.3 Magnet <i>Neodymium</i>	9
Gambar 2.4 <i>Hall Effect</i>	10
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i>	13
Gambar 3.2 Blok Diagram	14
Gambar 3.3 Stator Tampak Atas dan Bawah	15
Gambar 3.4 Stator Tampak Samping	15
Gambar 3.5 Rotor Tampak Atas	16
Gambar 3.6 Rancang Keseluruhan dari Stator dan Rotor	16
Gambar 4.1 Mesin <i>Brushless Direct Current</i> Magnet Permanen <i>Axial Flux</i> Sebagai Generator Arus Bolak-Balik	20
Gambar 4.2 Rotor Dengan 6 Magnet Permanen	21
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Variasi Beban Terhadap Kecepatan	28
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Variasi Beban Terhadap Tegangan	29
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Variasi Beban Terhadap Arus	30

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian	12
Tabel 3.2 Data Percobaan Pengujian Beban Resistor	18
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tegangan <i>Input</i> 11 Volt	22
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan <i>Input</i> 12 Volt	24
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan <i>Input</i> 13 Volt.....	25
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tegangan <i>Input</i> 14 Volt.....	27
Tabel 4.5 Perbandingan Tegangan Pada Pengukuran dan Perhitungan	31
Tabel 4.6 Perbandingan Kecepatan Pengukuran dan Perhitungan	32
Tabel 4.7 Perhitungan Dengan Tegangan <i>Input</i> 11 Volt	34
Tabel 4.8 Perhitungan Dengan Tegangan <i>Input</i> 12 Volt	35
Tabel 4.9 Perhitungan Dengan Tegangan <i>Input</i> 13 Volt.....	36
Tabel 4.10 Perhitungan Dengan Tegangan <i>Input</i> 14 Volt	36

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan oleh manusia. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai teknologi seperti dari motor listrik. Seiring dengan perkembangan teknologi dan sumber daya manusia penggunaan energi listrik semakin meningkat. Di era yang semakin maju banyak masyarakat menggunakan peralatan elektronik untuk mempermudah pekerjaan atau untuk menghemat waktu. Setiap tahunnya kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat sedangkan bahan yang digunakan untuk memproduksi energi listrik semakin menipis. Saat ini di Indonesia energi minyak bumi semakin menurun dalam produksinya. Kondisi ini membuat produksi lebih kecil dari kebutuhan, sehingga memaksa harus mengimpornya sejak 2008. Kemudian diikuti dengan energi gas. Banyak pihak memperkirakan Indonesia menjadi importir gas mulai 2020. Pemenuhan energi listrik di Indonesia pun menjadi topik hangat untuk dibicarakan. Peringatan kritis tentang krisis listrik di Indonesia sudah dikumandangkan dengan perhitungan-perhitungan yang cermat (Sumber: Wicaksono, P. E., 2016).

Krisis dan kelangkaan energi listrik menjadi salah satu permasalahan serius yang perlu ditangani segera mungkin. Untuk menangani krisis dan kelangkaan energi listrik perlu adanya terobosan baru atau perlu adanya pemanfaatan energi terbarukan sebagai energi alternatif untuk mengganti energi listrik yang semakin krisis. Dengan adanya energi terbarukan diharapkan dapat mengurangi krisis energi. Di Indonesia masih banyak potensi energi terbarukan diantaranya adalah air, angin, matahari, panas bumi, ombak, magnet dsb. Potensialnya mudah ditemukan di alam. Gaya magnet adalah energi yang tercipta tanpa efek pencemaran lingkungan, namun pemanfaatannya untuk pembangkit listrik masih kurang maksimal. Salah satu energi alternatif yang mudah di buat yaitu energi dengan memanfaatkan gaya magnet sebagai model pembangkit listrik. (Wibowo P. S. U., 2015).

Generator listrik adalah sebuah alat yang dapat merubah energi mekanik (energi gerak) menjadi energi listrik. Berdasarkan jenis magnetnya generator terbagi menjadi dua yaitu generator magnet permanen dan generator non-magnet permanen. Perbedaan dari kedua magnet ini yaitu, pada magnet permanen memiliki sifat kemagnetan tinggi dan tidak teroksidasi di udara sedangkan non magnet permanen sangat mudah teroksidasi di udara. Berdasarkan arah fluks magnetik generator magnet permanen terdiri dari dua jenis yaitu radial dan axial. Generator magnet permanen tipe *axial* posisi rotor dan statornya tegak lurus terhadap porosnya.

Pada penelitian ini akan mencoba merancang sebuah alat yang mampu menghasilkan energi listrik. Pada penelitian ini menggunakan motor *brushless direct current* yang akan dirancang sebagai generator. Prinsip kerja dari alat ini yaitu ketika kumparan primer dialiri arus bolak-balik, maka akan menimbulkan medan magnet disekitar kumparan tersebut. Kuat medan yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang mengalir pada kumparan primer. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Medan magnet yang ada disekitar kumparan primer akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) pada kumparan sekunder, sehingga terjadinya pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder.

Pada penelitian motor *brushless direct current axial flux* ini hampir sama dengan penelitian Fitria Rizky Amalia menggunakan stator ganda dengan kutub magnet yang digunakan adalah selatan dan utara (dimana magnet tersebut berada di tengah rotor) dan menggunakan sensor *hall effect*. Pada penelitian sebelumnya menggunakan 100 lilitan pada setiap kumparan, pada penelitian ini akan memodifikasi jumlah lilitan yang ada pada setiap kumparan. Setiap kumparan terdapat 100 lilitan pada mesin BLDC dan 600 lilitan pada generator. dengan menggunakan kawat email diameter 0,3mm. Pada bagian rotor terdapat 6 buah magnet *neodymium*, dengan diameter rotor sebesar 4,5cm. Pada penelitian mengukur pengaruh beban terhadap rpm serta arus saat diberi beban dengan menggunakan *input* tegangan yang bervariasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan permasalahan yang akan diselesaikan dalam proposal ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang mesin BLDC dapat digunakan sebagai generator arus bolak-balik ?
2. Bagaimana pengaruh variasi beban pada generator terhadap rpm dan arus keluaran ?
3. Bagaimana efisiensi yang dihasilkan pada generator ?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Jumlah lilitan pada kumparan adalah 100 lilitan untuk mesin BLDC, dan 600 lilitan untuk generator.
2. Menggunakan kawat *email* 0,3mm
3. Menggunakan tegangan kerja 11 sampai 14 volt.
4. Magnet *neodymium* yang digunakan ditentukan dengan diameter 10mm dan tebal 2mm.
5. Menggunakan stator ganda atas dan bawah, setiap stator terdiri atas 3 kumparan.
6. Diameter rotor 4,5cm.
7. Menggunakan beban resistor.
8. Tidak membahas gap.
9. Kecepatan 2000rpm.

1.4 Tujuan

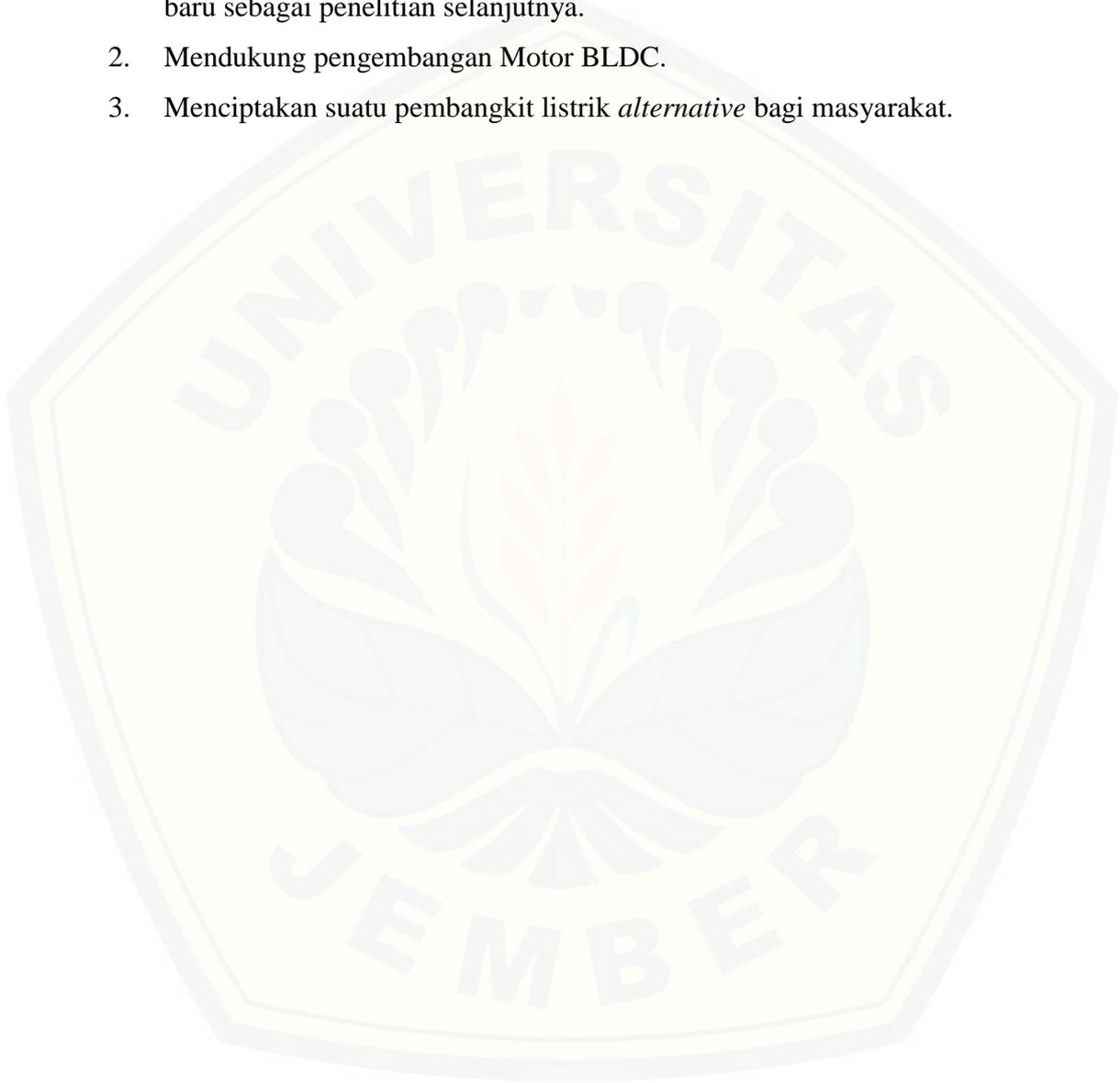
Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui perancangan mesin BLDC sebagai generator.
2. Untuk mengetahui tegangan maksimum yang dihasilkan oleh generator.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat tercapai, dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin BLDC sebagai generator arus bolak balik dapat dijadikan terobosan baru sebagai penelitian selanjutnya.
2. Mendukung pengembangan Motor BLDC.
3. Menciptakan suatu pembangkit listrik *alternative* bagi masyarakat.

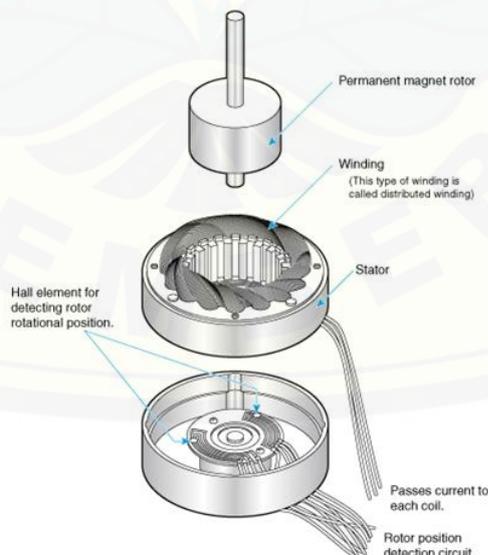


BAB 2. TINJAUAN PUSAKA

Pada bab ini dijelaskan beberapa bagian yang menjadi dasar dalam penelitian rancang bangun mesin *brushless direct current* sebagai generator arus bolak balik . Hal pertama yang menjadi bahasan pada bab ini yaitu deskripsi tentang motor *brushless direct current*.

2.1 Motor *Brushless Direct Current*

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah alternatif pengganti motor DC. Motor ini adalah salah satu jenis motor yang popularitasnya mulai naik. Seiring berkembangnya teknologi *power semiconductor*, *adjustable speed drives* dan magnet permanen, motor BLDC semakin mudah diproduksi dan dikendalikan. Motor BLDC cocok digunakan pada aplikasi yang membutuhkan efisiensi tinggi, handal dan rentang kecepatan yang lebar. 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 (P. Yedamale, 2003).

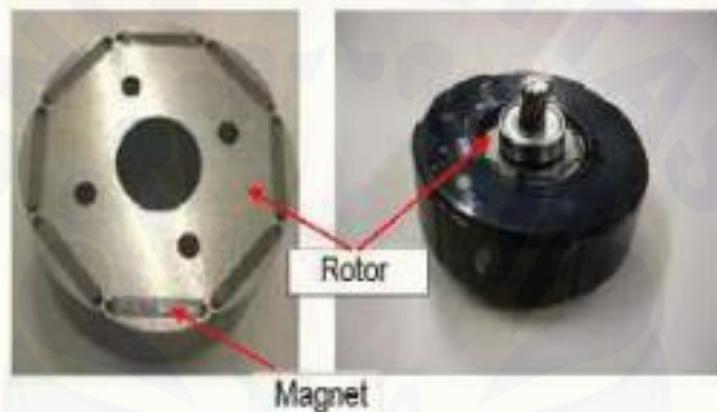


Gambar 2.1 Kontruksi Motor BLDC
(Sumber : Irawan Eko Prabowo, 2016)

Komponen utama yang ada pada motor *brushless direct current* adalah sebagai berikut :

a. Rotor

Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana rotor pada motor brushless dc berbeda dengan rotor pada motor dc konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berbeda diantara brushless (sikat) yang terhubung pada motor. Rotor dibuat dari magnet permanen dan didesain dari dua sampai delapan magnet berkutub utara (N) atau berkutub selatan (S).



Gambar 2.2 Rotor Motor BLDC
(Sumber : Nanang Masudi, 2014)

b. Stator

Stator adalah bagian pada motor yang diam atau statis dan berfungsi sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar.

2.2 Prinsip Kerja Motor *Brushless Direct Current*

Cara kerja pada motor BLDC yaitu magnet yang berada pada poros motor akan tertarik dan terdorong oleh gaya elektromagnetik yang diatur oleh *driver* pada motor BLDC. Hal ini membedakan motor BLDC dengan motor DC yang menggunakan sikat mekanis yang berada pada komutator untuk mengatur waktu dan memberikan medan magnet pada lilitan. Motor BLDC ini juga berbeda

dengan motor AC yang pada umumnya menggunakan siklus tenaga sendiri untuk mengatur waktu dan memberi daya pada lilitan. BLDC dapat memberikan rasio daya dan beban yang lebih tinggi secara signifikan dan memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan motor tanpa sikat tradisional.

Motor BLDC memiliki controller berfungsi untuk mengatur arus yang masuk pada kumparan stator sehingga dapat menimbulkan medan elektromagnetik yang sesuai untuk memutar rotor. Hal inilah yang menjadi pembeda dengan motor DC konvensional, dan menggantikan kerja komutasi mekanisnya. (Irawan Eko Prabowo, 2016).

2.3 Kecepatan Motor

Rotor merupakan bagian pada motor yang dapat berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator. Untuk mengetahui putaran pada motor, bisa menggunakan persamaan berikut ini.

$$N_r = \frac{120 \times f}{p} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

p = Jumlah kutub (*pole*)

f = frekuensi (Hz)

Gaya gerak listrik induksi merupakan beda potensial yang timbul pada ujung-ujung kumparan karena pengaruh induksi elektromagnetik. Dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$E_a = V + (I \times R) \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

E_a = Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi (*Volt*)

I = Arus (A)

R = Resistansi (Ohm)

2.4 EMF (*Electromotive Force*)

EMF balik atau gaya gerak listrik balik itu sendiri adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh belitan motor BLDC ketika motor BLDC berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang

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

Ketika jumlah lilitan pada stator telah ditentukan dan besarnya medan magnet yang dihasilkan dibuat konstan yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Besarnya EMF balik dapat mempengaruhi nilai torsi pada motor BLDC, apabila kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada belitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan menurun dan torsi juga akan menurun (Ginjar N, 2018).

2.5 Magnet Permanen

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 2.3 Magnet *Neodymium* Koin

Sumber : <http://www.tokomagnetmustang.com/product.html>, diakses 23

Oktober 2018

2.6 Hall Effect Sensor

Hall effect sensor adalah sensor yang aktif ketika adanya medan magnet pada sensor. Sinyal masukan dari *hall effect* sensor adalah fungsi kepadatan medan magnet di sekitar perangkat. Ketika kerapatan fluks magnetik di sekitar sensor melebihi ambang batas yang ditentukan sebelumnya, sensor akan mendeteksi dan menghasilkan tegangan *output* atau tegangan hall.

Sensor *hall effect* pada alat ini bekerja ketika kutub utara sensor *hall effect* bertemu dengan magnet yang berkutub utara maka kumparan akan bersifat positif sehingga menghasilkan tegangan yang berbentuk sinyal kotak. Dan ketika kutub utara sensor *hall effect* bertemu dengan magnet yang berkutub selatan maka kumparan akan bersifat negatif sehingga tidak menghasilkan tegangan (Fitria Rizky Amalia, 2018).



Gambar 2.4 Hall Effect Sensor

Sumber : <https://www.sparkfun.com/products/9312>, diakses 23 Oktober 2018

2.7 Kuat Medan

Motor akan bekerja apabila kumparan pada stator diberi sumber tegangan, sehingga menimbulkan kuat medan magnet. Kuat medan magnet terjadi diakibatkan adanya arus yang mengalir pada belitan stator.

Induktor yang diberi tambahan inti apabila dialiri arus listrik dapat menghasilkan medan magnet yang lebih besar dibanding induktor yang hanya memiliki inti udara. (Salomo, Erwin, & Ningsih, S.)

2.8 Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang dapat merubah energi mekanik (energi gerak) menjadi energi listrik. Berdasarkan jenis magnetnya generator terbagi menjadi dua yaitu generator magnet permanen dan generator non-magnet permanen. Perbedaan dari kedua magnet ini yaitu, pada magnet permanen memiliki sifat kemagnetan tinggi dan tidak teroksidasi di udara sedangkan non magnet permanen sangat mudah teroksidasi di udara. Berdasarkan arah fluks magnetik generator magnet permanen terdiri dari dua jenis yaitu *radial* dan *axial*. Generator magnet permanen tipe *axial* posisi rotor dan statornya tegak lurus terhadap porosnya.

Motor dapat diubah menjadi generator, pemikiran ini didasarkan pada konsep generator (pembangkit GGL induksi, hukum faraday) hanya saja kemagnetan yang ada dalam rotor sangat kecil dibandingkan dengan generator pada umumnya, karena merupakan magnet sisa (*remanensi*). Cara kerja generator arus bolak-balik adalah kumparan yang diletakkan dalam medan magnetik diputar sehingga terjadinya GGL Induksi mengalami perubahan jumlah garis gaya magnetik. Akibatnya, terjadi GGL Induksi yang mampu menghasilkan arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan berupa arus bolak-balik karena setiap karbon akan mendapatkan polaritas GGL Induksi yang berubah-ubah (kutub positif dan kutub negatif secara bergantian).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pembahasan pada bab metode penelitian ini dijelaskan beberapa hal pokok yaitu tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, tahap penelitian, perancangan alat, blok sistem dan diagram alir (*flowchart*), perancangan desain alat, serta langkah-langkah dalam pengambilan data dan manajemen penelitian di lapangan, dalam penelitian ini akan membuat mesin BLDC yang akan digunakan sebagai generator arus bolak-balik.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat Penelitian

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

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik

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

b. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama 4 bulan. Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2018 sampai Desember 2018.

3.2 Perencanaan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		September				Oktober				November				Desember			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan																
2	Studi Literatur																
3	Perancangan Alat																
5	Pembuatan																

	Alat	
6	Pengambilan Data	
7	Analisa Data	
8	Kesimpulan	
9	Penulisan Laporan	

Keterangan :



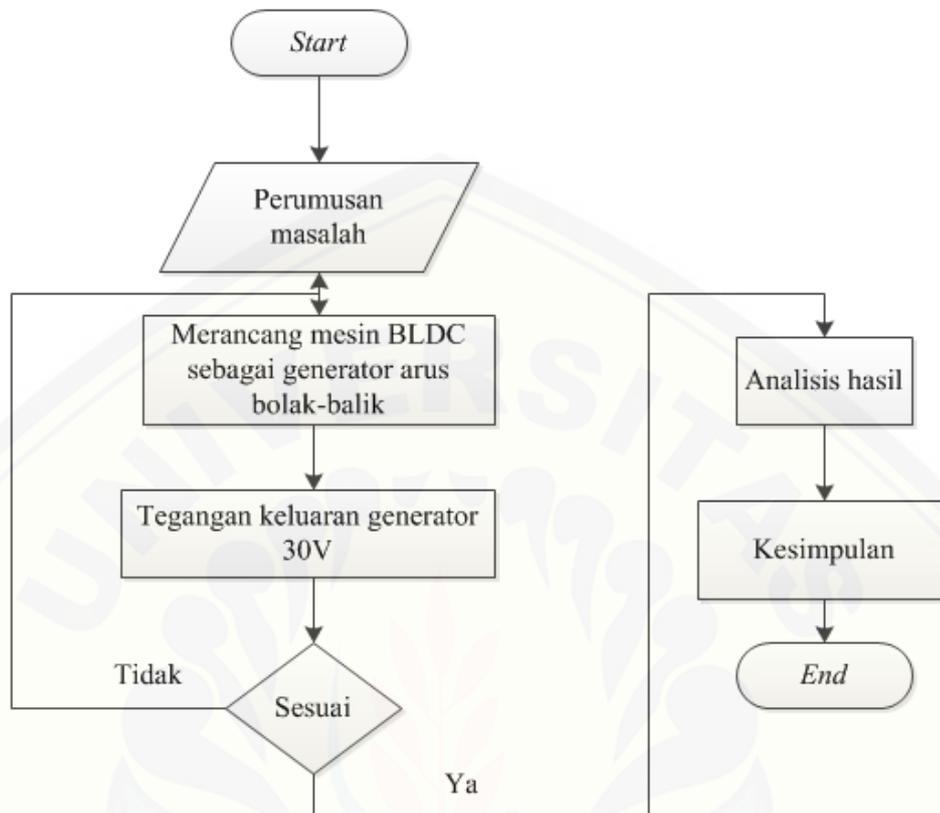
= Kegiatan dilaksanakan

3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini, antara lain sebagai berikut :

1. Avometer
2. Tachometer
3. *Power Supply*
4. Kawat *email* 0,3 mm
5. Sensor Hall
6. Magnet Permanen (Magnet *Neodymium*)
7. *Oscilloscope*

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart*

Tahapan yang dilakukan pada penelitian perancangan dan pembuatan alat mesin BLDC sebagai generator arus bolak-balik adalah sebagai berikut :

a. Studi literatur

Tahap awal dari penelitian ini yaitu mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik komponen, prinsip kerja serta teori yang menunjang lainnya. Dengan adanya hasilnya penelitian dari sebelumnya diharapkan bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

b. Menentukan spesifikasi mesin BLDC

Menentukan spesifikasi mesin dengan menggunakan stator ganda yang di setiap statornya memiliki 3 kumparan di atas dan 3 kumparan di bawah dengan diameter 2 cm dan rotor dibuat berbentuk lingkaran

diameternya adalah 4.5 cm dan di bawahnya terdapat magnet *neodymium* (sehingga terdapat 6 magnet permanen).

c. Perhitungan rotor dan stator

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

d. Perancangan mesin BLDC dan generator

Setelah melakukan perhitungan kita dapat melakukan perancangan mesin BLDC dan generator yang akan dibuat.

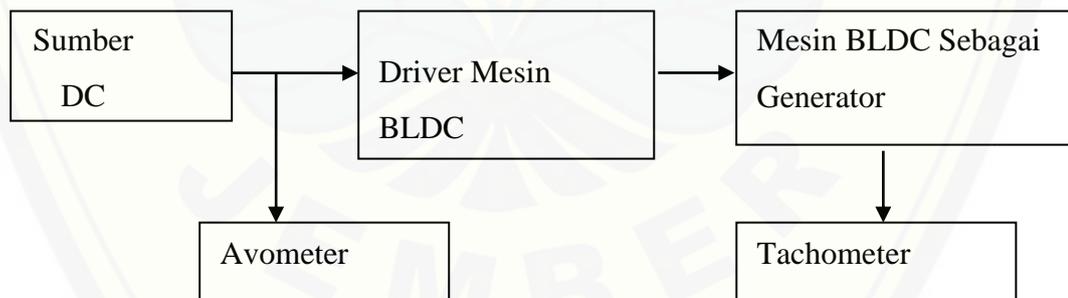
e. Pengujian terhadap tegangan keluaran generator

Setelah melakukan tahap perancangan kita dapat menguji performa dari generator tersebut dan mendapatkan data yang akan dicapai.

f. Penarikan kesimpulan

Pada tahap akhir, hasil pengambilan data dan analisa dimasukkan ke pembahasan. Kemudian, dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat dan memberikan saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kekurangan yang ada.

3.5 Blok Diagram dan Perancangan Sistem

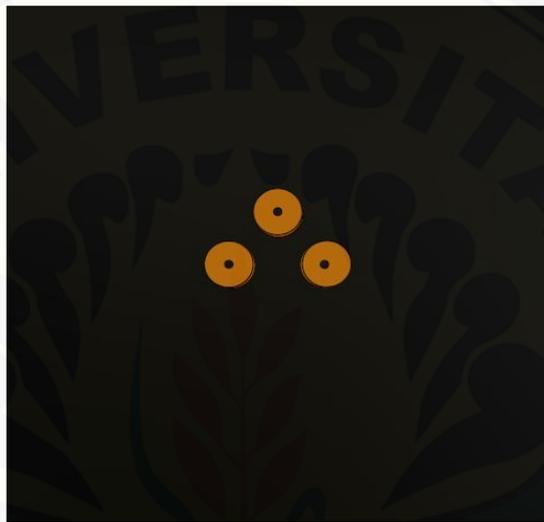


Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

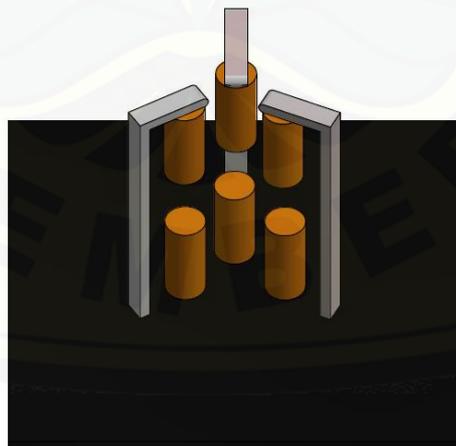
Prinsip kerja dari penelitian ini digambarkan pada blok diagram diatas. Sumber DC yang digunakan berasal dari *power supply*, sumber DC tersebut digunakan sebagai *supply* tegangan pada mesin BLDC. Pada mesin BLDC sebagai generator ini menggunakan magnet permanen *neodymium* sebanyak 6 magnet yang diletakan pada rotor mesin BLDC. Stator yang digunakan pada

mesin BLDC dirancang gandang yaitu stator bagian bawah dan atas, setiap stator terdapat 3 kumpara dengan 100 lilitan pada mesin BLDC dan pada bagian generator terdapat 600 lilitan. Pengujian ini untuk memperoleh karakteristik pengaruh beban terhadap arus, tegangan dan kecepatan. Data yang akan diambil menggunakan beberapa parameter yang selanjutnya akan dianalisa.

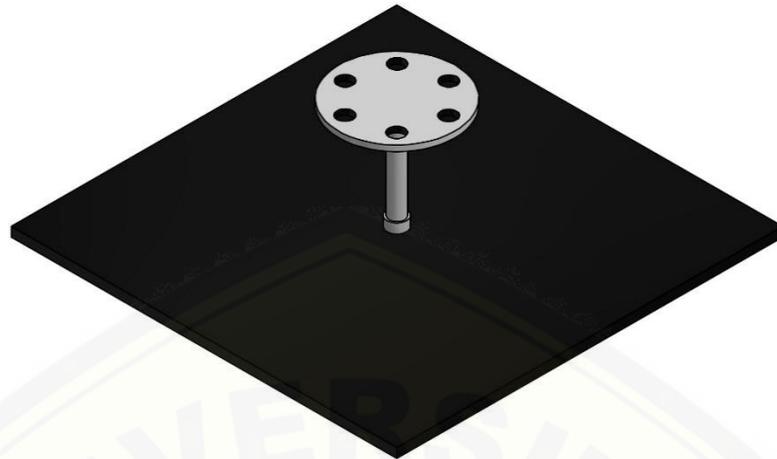
3.6 Desain Alat



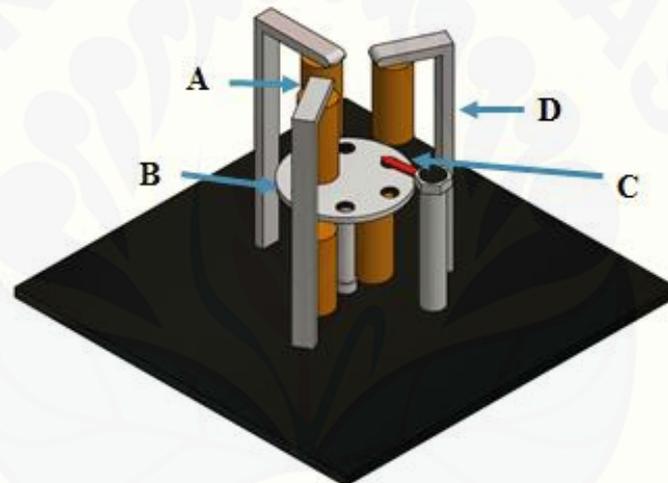
Gambar 3.3 Stator Tampak Atas dan Tampak Bawah



Gambar 3.4 Stator Tampak Samping



Gambar 3.5 Rotor Tampak Atas



Gambar 3.6 Rancang Keseluruhan dari Stator dan Rotor

Keterangan :

A : Stator dengan 100 lilitan pada mesin BLDC dan 600 lilitan pada generator

B : Rotor dengan diameter 4,5cm

C : *Hall Effect* Sensor

D : Baut

3.7 Alur Perancangan Alat

Berikut adalah alur dalam pembuatan alat adalah sebagai berikut :

- a. Pembuatan lilitan pada stator

Pembuatan lilitan pada stator digunakan kawat email dengan diameter 0,3mm. Pada mesin BLDC terdapat 100 lilitan sedangkan pada genartor terdapat 600 lilitan.

b. Pemasangan stator bagian atas

Pada penelitian ini menggunakan stator ganda yaitu stator bawah dan stator atas. Pada stator bagian atas terdapat 3 kumparan dimana setiap kumparan dihubungkan seri dengan kumparan lain. Dengan diamter *coil* 1cm dan panjang *coil* 2cm.

c. Pemasangan rotor

Rotor yang digunakan pada penilitian ini dengan diamter 4,5cm. Pada pemasangan rotor dirancang *axial flux*, dimana rotor berbentuk lingkaran dibawah lingkaran terdapat magnet *neodymium* sebanyak 6 magnet dengan diamter magnet 10mm dengan ketebalan 2mm.

d. Pemasangan stator bagian bawah

Pada penelitian ini menggunakan stator ganda yaitu stator bawah dan stator atas. Stator yang digunakan pada bagian bawah dibutuhkan 3 kumparan dan pada bagian atas juga 3 kumparan, dimana tiap kumparan terhubung seri dengan kumparan lain. Jadi, jumlah kumparan yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 6 kumparan.

3.8 Pengujian Mesin BLDC Sebagai Generator

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi *input* pada meisn yang berbeda-beda serta diberikan beban, pengujiannya menggunakan beban berupa resistor.

3.8.1 Pengujian Sistem

Tabel 3.2 Data Percobaan Pengujian Beban Resistor

<i>Power Supply</i>	Tegangan Driver	Arus Driver	Tegangan Generator	Arus Generator	Kecepatan
11 Volt	-	-	-	-	-
12Volt	-	-	-	-	-

13 Volt	-	-	-	-	-
14 Volt	-	-	-	-	-

3.8.2 Pengujian dengan Perhitungan

Untuk mendapatkan kecepatan mesin yang sedang berputar dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Nr = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

Nr = Kecepatan mesin (rpm)

P = Jumlah kutub

f = frekuensi (Hz)

Untuk mendapatkan daya *out* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{out} = I^2 \times R \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan :

I = Arus (*Ampere*)

R = Resistansi (Ohm)

Untuk mendapatkan nilai efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan :

P_{out} = Daya yang dihasilkan generator (Watt)

P_{in} = Daya yang masuk pada motor (Watt)

BAB 5. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian mesin *brushless direct current* magnet permanen *axial flux* sebagai generator bolak-balik dapat diambil kesimpulan dan saran yang dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

5.1 Kesimpulan

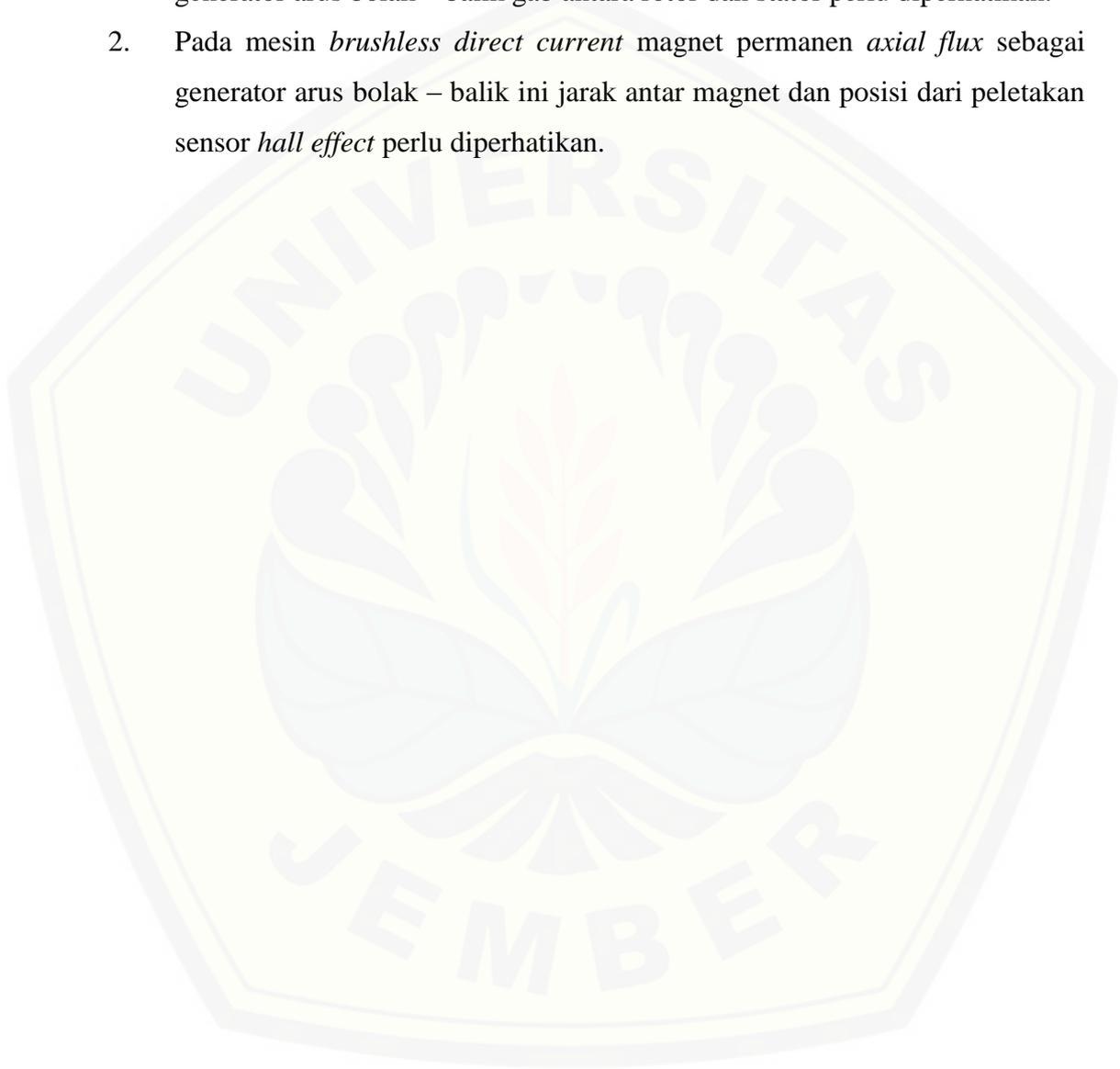
Setelah melakukan pengujian dan disertai analisis data hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perancangan mesin *brushless direct current axial flux* magnet permanen sebagai generator arus bolak-balik menggunakan 100 lilitan pada mesin *brushless direct current* sedangkan pada generator digunakan 600 lilitan. Menggunakan stator ganda, stator bagian atas terdapat 3 kumparan dan bagian bawah 3 kumparan. Magnet *neodymium* yang digunakan berukuran 10x2mm dengan kutub magnet utara dan selatan. Rotor berdiameter 4,5cm dibagian tengah rotor terdapat 6 magnet.
2. Pengaruh variasi beban terhadap arus, tegangan dan kecepatan pada generator. Saat menggunakan kecepatan sebesar 2100 dengan tegangan *input* 14 volt diperoleh tegangan 7,22 volt dan arus sebesar 0,037A dengan menggunakan beban 200Ohm. Saat menggunakan tegangan *input* 12volt dengan kecepatan 2100 diperoleh tegangan sebesar 7,5volt, arus 0,0074A dengan beban 1000Ohm. Kecepatan yang digunakan konstan dengan beban yang digunakan semakin besar hal ini berpengaruh terhadap arus yang dihasilkan. Arus yang dihasilkan semakin kecil hal ini dikarenakan arus berbanding terbalik dengan resistansi yang digunakan.
3. Pada percobaan untuk mengetahui daya yang dihasilkan pada generator saat menggunakan tegangan *input* sebesar 14volt diperoleh daya sebesar 0,2738 watt dengan menggunakan beban sebesar 200 ohm, dan saat menggunakan beban 1000 ohm diperoleh daya sebesar 0,0857 watt. Daya yang dihasilkan semakin kecil hal ini dikarenakan daya berbanding lurus dengan arus, jika arus yang dihasilkan kecil maka daya yang dihasilkan juga kecil.

5.2 Saran

Setelah melakukan pengujian dan disertai analisis data hasil penelitian, adapun saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Pada mesin *brushless direct current* magnet permanen *axial flux* sebagai generator arus bolak – balik gab antara rotor dan stator perlu diperhatikan.
2. Pada mesin *brushless direct current* magnet permanen *axial flux* sebagai generator arus bolak – balik ini jarak antar magnet dan posisi dari peletakan sensor *hall effect* perlu diperhatikan.



DAFTAR PUSTAKA

- Abe, Dharmawan. 2009. *Pengendalian Motor Brushless DC Dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan Atmega 16*. Jurusan Teknik Elektro Depok, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Digibay. 2013. [Online] Available at: <https://www.sparkfun.com/products/9312> [Diakses 23 Oktober 2018].
- Kurniawan, A. R. (2016). *Rancang Bangun Motor Searah Tanpa Sikat Satu Fasa*. Universitas Jember : Jember.
- N. Ginanjar. 2018. *Analisis Kuat Medan Magnet, Rpm dan Arus Bedini SSG Pada Perubahan Jumlah Lilitan dan Variasi Beban*. Skripsi. Jember : Universitas Jember.
- N. Masudi. 2014. *Design Of BLDC Motor Controller For Increasing The Output Performance (Output Power) From Electric Bike*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).
- Teknik, Mustang. Toko Magnet Mustang. [Online] Available at: <http://www.tokomagnetmustang.com/product.html>, [Diakses 23 Oktober 2018]
- P. Yedamale. 2003. *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals*. Microchip Technology.
- Prabowo, Irawan Eko. 2016. *Konstruksi Motor BLDC*. [Online] Available at: <https://onexperience.wordpress.com/2016/09/04/blog-post-title-2/> [Diakses 6 September 2018].

Amalia, Rizki Fitria. 2018. *Rancang Bangun Kutub Magnet Dengan Axial Flux Untuk Perbaikan Kinerja Motor Brushless Direct Current*. Skripsi. Jember : Universitas Jember.

Salomo, Erwin, & Ningsih, S. *Pengaruh Inti Koil Terhadap Tegangan Induktor Dan Resistor*. Jurusan Fisika - Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, 467-475.

Wibowo, P. S. U. 2015. *Rancang Bangun Bedini SSG Dengan Pengatur Putaran Berbasis Digital*. Skripsi. Jember : Universitas Jember.

Wicaksono, P. E., 2016. Liputan 6. [Online] Available at: <http://bisnis.liputan6.com/read/2664571/mantan-bospertamina-krisis-energi-sudah-di-ambang-mata> [Diakses 6 September 2018].

LAMPIRAN 1
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER

Perhitungan pada tegangan 11 Volt

❖ **Menggunakan beban 200 Ω**

➤ Perhitungan E_a ($R = 36,7 \Omega$)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 4,14 \text{ Volt} + (0,0226 \times 36,7) \\ &= 4,97 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,97 - 4,14}{4,97} \right| \times 100\% \\ &= 16,7\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 81}{6} \\ &= 1620 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1620 - 1620}{1620} \right| \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0226^2 \times 200 \\ &= 0,1023 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1023}{1,568} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 6,52\%$$

❖ **Menggunakan beban 250 Ω**

➤ Perhitungan E_a ($R = 36,7 \Omega$)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 4,98 + (0,0179 \times 250) \\ &= 5,63 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,63 - 4,98}{5,63} \right| \times 100\% \\ &= 11,65\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 85}{6} \\ &= 1700 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1700 - 1667}{1700} \right| \times 100\% \\ &= 1,35\% \end{aligned}$$

➤ Perhitugan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0179^2 \times 250 \\ &= 0,0810 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0810}{1,568} \times 100\% \\ &= 5,10\% \end{aligned}$$

❖ Menggunakan beban 333.33 Ω ➤ Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 4,14 + \\ &= 5,78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,78 - 5,31}{5,78} \right| \times 100\% \\ &= 8,26\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 91}{6} \\ &= 1820 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1820 - 1793}{1820} \right| \times 100\% \\ &= 1,48\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,01304^2 \times 333.33 \\ &= 0,056 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,056}{1,568} \times 100\% \\ &= 3,61\% \end{aligned}$$

❖ Menggunakan beban 500 Ω

➤ Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 5,31 + (0,0105 \times 500) \\ &= 5,78 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,94 - 5,56}{5,94} \right| \times 100\% \\ &= 6,5\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 95}{6} \\ &= 1900 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1900 - 1880}{1900} \right| \times 100\% \\ &= 1,05\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,01054^2 \times 500 \\ &= 0,055 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,055}{1,568} \times 100\% \\ &= 3,54\% \end{aligned}$$

❖ Menggunakan beban 1000 Ω

➤ Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 6,27 + (0,00628 \times 36,7) \\ &= 6,50 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{6,50 - 6,27}{6,50} \right| \times 100\% \\ &= 3,51 \% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 99}{6} \\ &= 1980 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1980 - 1961}{1980} \right| \times 100\% \\ &= 0,95\% \end{aligned}$$

➤ Perhitugan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,00628^2 \times 1000 \\ &= 0,0394 \text{ watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,039}{1,568} \times 100\% \\ &= 2,51\% \end{aligned}$$

Perhitungan pada tegangan 12 Volt❖ Menggunakan beban 200 Ω ➤ Perhitungan E_a ($R = 36,7 \Omega$)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 5,01 + (0,0266 \times 36,7) \\ &= 5,98 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,98 - 5,01}{5,98} \right| \times 100\% \\ &= 16,32\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 86}{6} \\ &= 1720 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1720 - 1719}{1720} \right| \times 100\% \\ &= 0,058\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,02663^2 \times 200 \\ &= 0,1418 \text{ watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1418}{2,33} \times 100\% \\ &= 6,08\% \end{aligned}$$

❖ Menggunakan beban 250 Ω

➤ Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 5,8 + (0,0228 \times 36,7) \\ &= 6,63 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{6,63 - 5,8}{6,63} \right| \times 100\% \\ &= 12,63\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 92}{6} \\ &= 1840 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1840 - 1833}{1840} \right| \times 100\% \\ &= 0,38\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,022^2 \times 250 \\ &= 0,1303 \text{ watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1303}{2,33} \times 100\% \\ &= 5,58\% \end{aligned}$$

❖ **Menggunakan beban 333.33 Ω**

➤ Perhitungan E_a ($R = 36.7 \Omega$)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 6,5 + (0,0185 \times 36,7) \\ &= 7,18 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{7,18 - 6,5}{7,18} \right| \times 100\% \\ &= 9,48\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 96}{6} \\ &= 1920 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1920 - 1924}{1920} \right| \times 100\% \\ &= 0,20\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0185^2 \times 333,33 \\ &= 0,1147 \text{ watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1147}{2,33} \times 100\% \\ &= 4,91\% \end{aligned}$$

❖ **Menggunakan beban 500 Ω**

➤ Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 7 + (0,0136 \times 36,7) \\ &= 7,50 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{7,50 - 7}{7,50} \right| \times 100\% \\ &= 6,68\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 99}{6} \\ &= 1980 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1980 - 1946}{1980} \right| \times 100\% \\ &= 1,71\% \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0136^2 \times 500 \\ &= 0,0934 \text{ watt} \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0934}{2,33} \times 100\% \\ &= 4,00\% \end{aligned}$$

❖ **Menggunakan beban 1000 Ω**

➤ Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 7,5 + (0,0074 \times 36,7) \\ &= 7,77 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{7,77 - 7,5}{7,77} \right| \times 100\% \\ &= 3,36\% \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 105}{6} \\ &= 2100 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{2100 - 2118}{2100} \right| \times 100\% \\ &= 0,85\% \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0074^2 \times 1000 \\ &= 0,055 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,055}{2,33} \times 100\% \\ &= 2,386\% \end{aligned}$$

Perhitungan pada tegangan 13 Volt

- ❖ Menggunakan beban 200 Ω
- Perhitungan E_a ($R = 36,7 \Omega$)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 5,76 + (0,0292 \times 36,7) \\ &= 6,83 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{6,83 - 5,76}{6,83} \right| \times 100\% \\ &= 16,32\% \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 98}{6} \\ &= 1960 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1960 - 1975}{1960} \right| \times 100\% \\ &= 0,76\% \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,02922 \times 200 \\ &= 0,1707 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1707}{2,87} \times 100\% \\ &= 5,94\% \end{aligned}$$

❖ **Menggunakan beban 250 Ω**

- Perhitungan E_a ($R = 36,7 \Omega$)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 6,13 + (0,0233 \times 36,7) \\ &= 6,98 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{6,98 - 6,13}{6,98} \right| \times 100\% \\ &= 12,27\% \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 102}{6} \\ &= 2040 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{2040 - 2018}{2040} \right| \times 100\% \\ &= 1,07\% \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0233^2 \times 250 \\ &= 0,1365 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1365}{2,87} \times 100\% \\ &= 4,75\% \end{aligned}$$

❖ **Menggunakan beban 333.33 Ω**

- Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 6,67 + (0,087 \times 36,7) \\ &= 7,35 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{7,35 - 6,67}{7,35} \right| \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 9,48\%$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 103}{6} \\ &= 2060 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

➤ *Error* Persen = $\left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{2060 - 2028}{2060} \right| \times 100\% \\ &= 1,53\% \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0872 \times 333,33 \\ &= 0,1176 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1176}{2,87} \times 100\% \\ &= 4,09\% \end{aligned}$$

- ❖ **Menggunakan beban 500 Ω**

- Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 7,01 + (0,0142 \times 36,7) \\ &= 7,52 \text{ volt} \end{aligned}$$

➤ *Error* Persen = $\left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{7,52 - 7,01}{7,52} \right| \times 100\% \\ &= 6,68\% \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 104}{6} \\ &= 2080 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

- $Error \text{ Persen} = \left| \frac{Kecepatan \text{ Hitung} - Kecepatan \text{ Ukur}}{Tegangan \text{ Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{2080 - 2045}{2080} \right| \times 100\% \\ &= 1,68\% \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,014^2 \times 500 \\ &= 0,098 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,098}{2,87} \times 100\% \\ &= 3,41\% \end{aligned}$$

- ❖ **Menggunakan beban 1000 Ω**

- Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 8,28 + (0,078 \times 36,7) \\ &= 8,56 \text{ Volt} \end{aligned}$$

- $Error \text{ Persen} = \left| \frac{Tegangan \text{ Hitung} - Tegangan \text{ Ukur}}{Tegangan \text{ Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{8,56 - 8,28}{8,56} \right| \times 100\% \\ &= 3,52\% \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 108}{6} \\ &= 2160 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

- $Error$ Persen = $\left| \frac{Kecepatan \text{ Hitung} - Kecepatan \text{ Ukur}}{Kecepatan \text{ Hitung}} \right| \times 100\%$

$$= \left| \frac{2160 - 2170}{2160} \right| \times 100\%$$

$$= 0,46\%$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0078^2 \times 1000 \\ &= 0,061 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,061}{2,87} \times 100\% \\ &= 2,15\% \end{aligned}$$

Perhitungan pada tegangan 14 Volt

- ❖ Menggunakan beban 200 Ω

- Perhitungan E_a ($R = 36,7 \Omega$)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 7,22 + (0,037 \times 36,7) \\ &= 8,57 \text{ Volt} \end{aligned}$$

- $Error$ Persen = $\left| \frac{Tegangan \text{ Hitung} - Tegangan \text{ Ukur}}{Tegangan \text{ Hitung}} \right| \times 100\%$

$$= \left| \frac{8,57 - 7,22}{8,57} \right| \times 100\%$$

$$= 15,69\%$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned}
 Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\
 &= \frac{120 \times 109}{6} \\
 &= 2180 \text{ Rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{2180 - 2100}{2180} \right| \times 100\% \\
 &= 3,66\%
 \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 \times R \\
 &= 0,0037^2 \times 200 \\
 &= 0,2738 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,2738}{3,78} \times 100\% \\
 &= 7,24\%
 \end{aligned}$$

- ❖ **Menggunakan beban 250 Ω**

- Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned}
 E_a &= V + (I_a \times R) \\
 &= 8 + (0,032 \times 36,7) \\
 &= 9,17 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{9,17 - 8}{9,17} \right| \times 100\% \\
 &= 12,17\%
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 114}{6} \\ &= 2280 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

➤ *Error Persen* = $\left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{2280 - 2263}{2280} \right| \times 100\% \\ &= 0,74\% \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0322 \times 250 \\ &= 0,256 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,256}{3,78} \times 100\% \\ &= 6,77\% \end{aligned}$$

- ❖ **Menggunakan beban 333.33 Ω**

- Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 8,55 + (0,026 \times 36,7) \\ &= 9,50 \text{ Volt} \end{aligned}$$

➤ *Error Persen* = $\left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{9,50 - 8,55}{9,50} \right| \times 100\% \\ &= 9,36\% \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned} Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 118}{6} \\ &= 2360 \text{Rpm} \end{aligned}$$

- $Error \text{ Persen} = \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{2360 - 2329}{2360} \right| \times 100\% \\ &= 1,31\% \end{aligned}$$

- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,0262 \times 333,33 \\ &= 0,02253 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,12253}{3,78} \times 100\% \\ &= 5,96\% \end{aligned}$$

- ❖ **Menggunakan beban 500 Ω**

- Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned} E_a &= V + (I_a \times R) \\ &= 9,2 + (0,0185 \times 36,7) \\ &= 9,88 \text{ volt} \end{aligned}$$

- $Error \text{ Persen} = \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \left| \frac{9,88 - 9,2}{9,88} \right| \times 100\% \\ &= 6,82\% \end{aligned}$$

- Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$\begin{aligned}
 Nr &= \frac{120 \times f}{p} \\
 &= \frac{120 \times 121}{6} \\
 &= 2420 \text{ Rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Kecepatan Hitung}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{2420 - 2369}{2420} \right| \times 100\% \\
 &= 2,10\%
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 \times R \\
 &= 0,0185^2 \times 500 \\
 &= 0,1716 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

➤ Efisiensi

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,1716}{3,78} \times 100\% \\
 &= 4,54\%
 \end{aligned}$$

❖ Menggunakan beban 1000 Ω

➤ Perhitungan Ea (R = 36.7 Ω)

$$\begin{aligned}
 E_a &= V + (I_a \times R) \\
 &= 9,98 + (0,0092 \times 36,7) \\
 &= 10,31 \text{ volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Tegangan Hitung} - \text{Tegangan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{10,31 - 9,98}{10,31} \right| \times 100\% \\
 &= 3,36\%
 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kecepatan (Nr)

$$Nr = \frac{120 \times f}{p}$$

$$= \frac{120 \times 123}{6}$$

$$= 2460 \text{ Rpm}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Error Persen} &= \left| \frac{\text{Kecepatan Hitung} - \text{Kecepatan Ukur}}{\text{Tegangan Hitung}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{2460 - 2443}{4.97} \right| \times 100\% \\ &= 0,69\% \end{aligned}$$

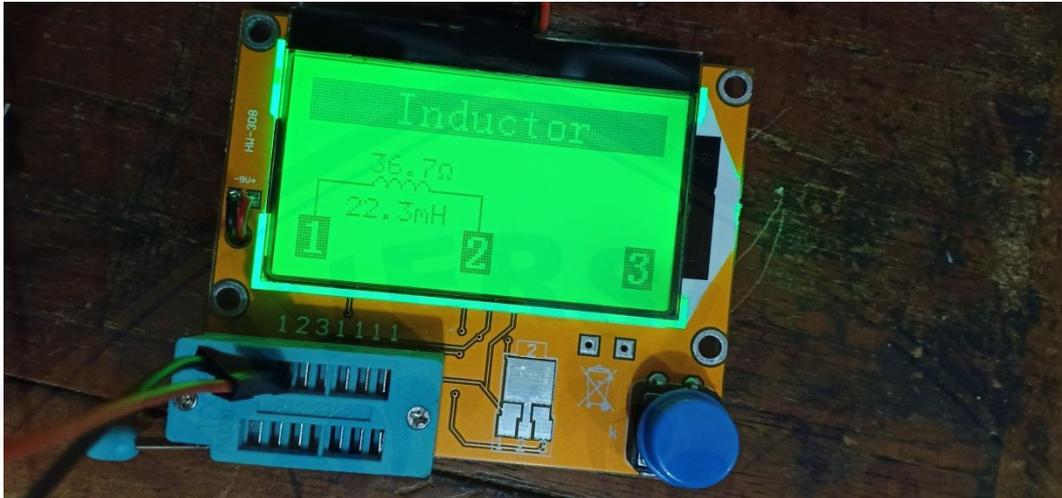
- Perhitungan daya (Watt)

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R \\ &= 0,00926^2 \times 1000 \\ &= 0,0085 \text{ watt} \end{aligned}$$

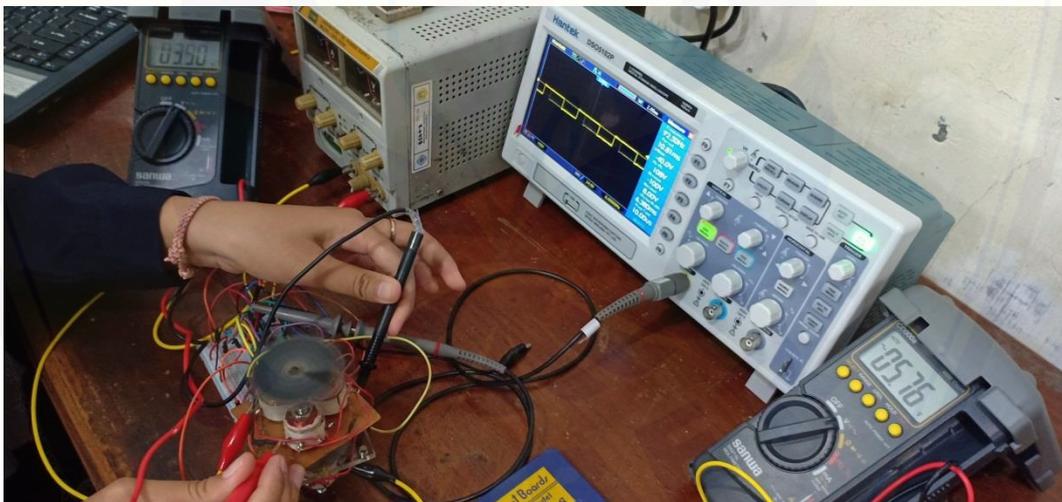
- Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0085}{3,78} \times 100\% \\ &= 2,28\% \end{aligned}$$

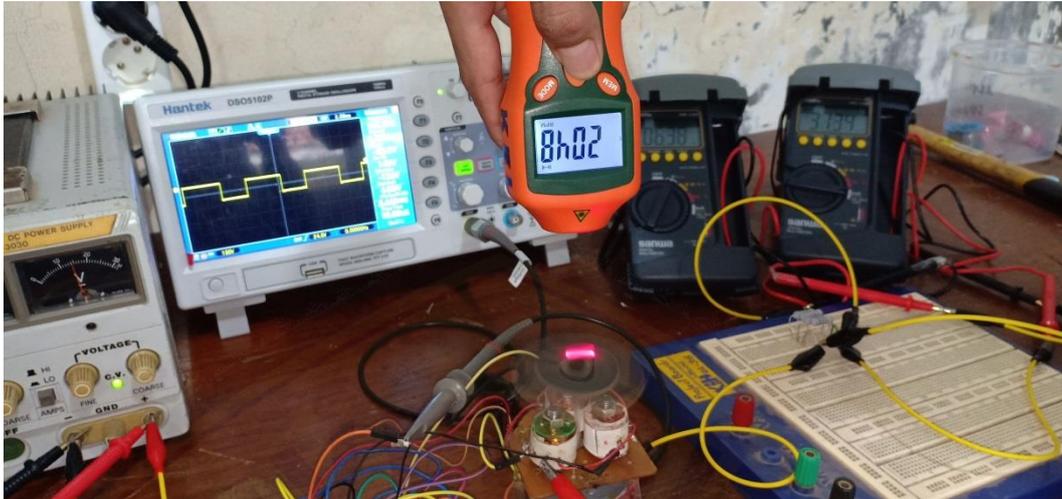
LAMPIRAN 2
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER



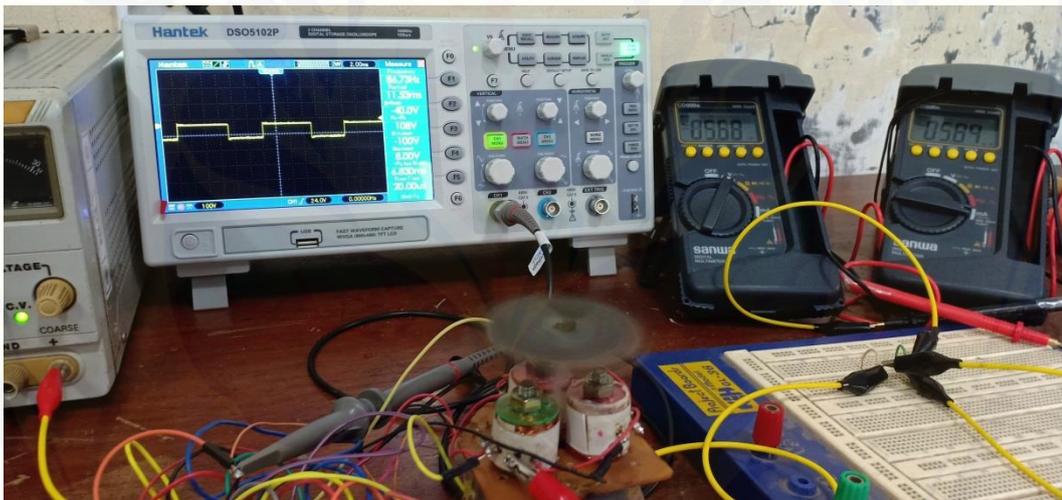
Gambar 1. Pengukuran Resistansi Menggunakan RCL meter



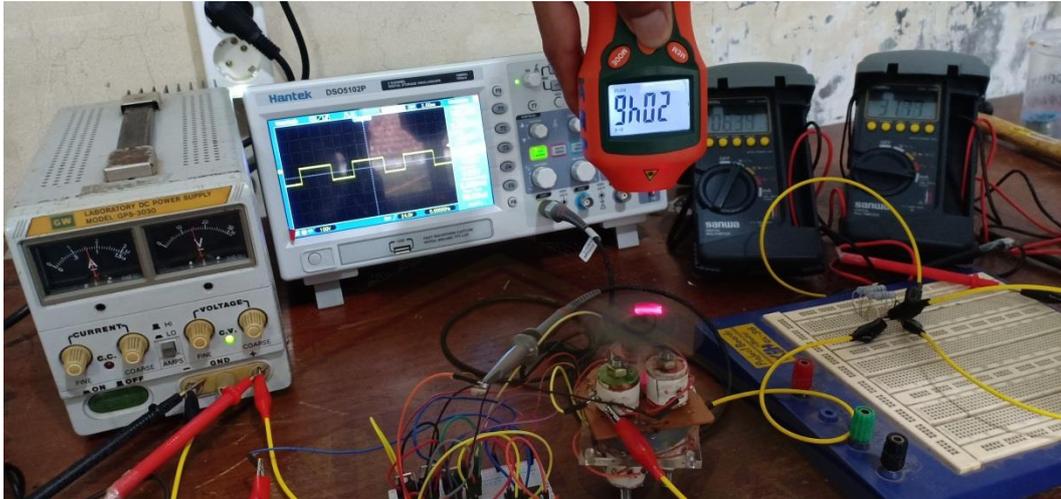
Gambar 2. Pengukuran Tegangan pada Mesin BLD Menggunakan
Multimeter



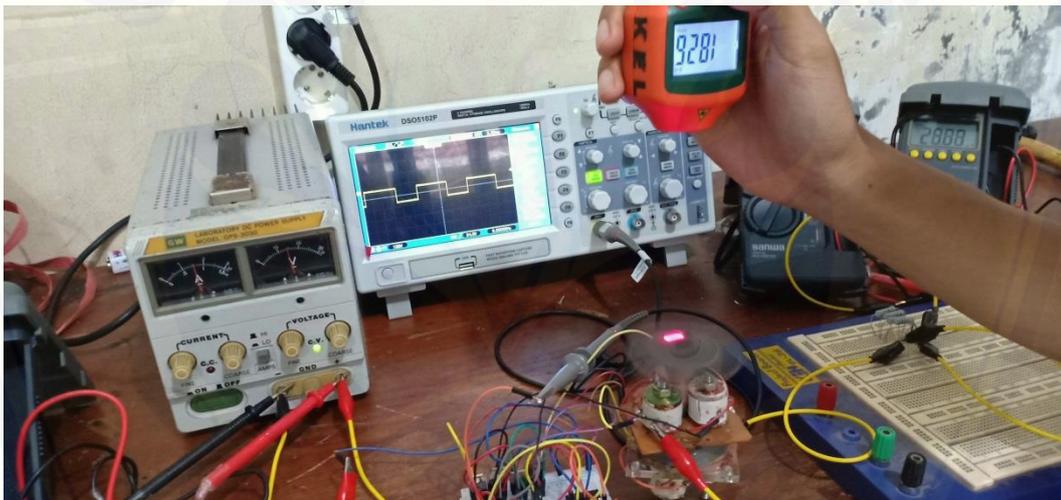
Gambar 3. Pengujian Mesin BLDC sebagai Generator Tegangan 14Volt Menggunakan Multimeter dan Tachometer



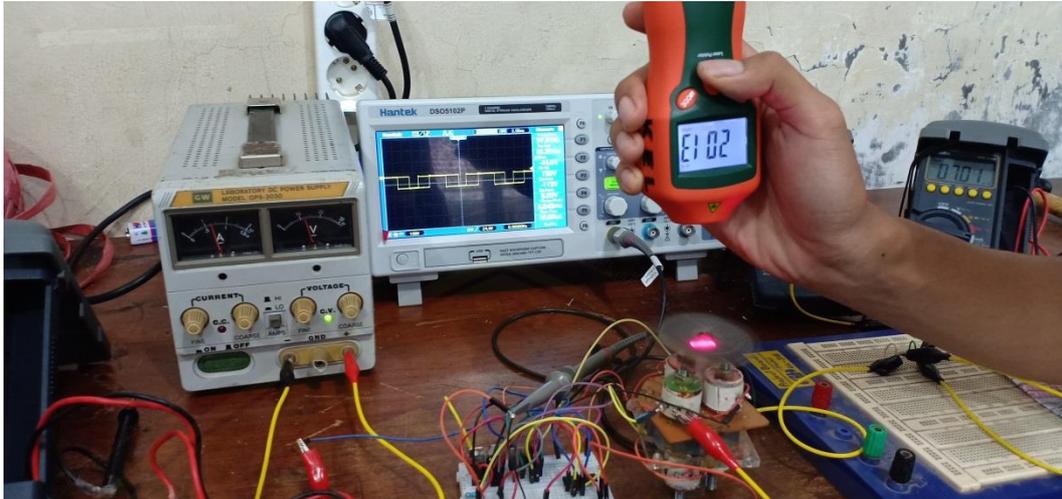
Gambar 4. Pengukuran Frekuensi Menggunakan *Oscilloscope*



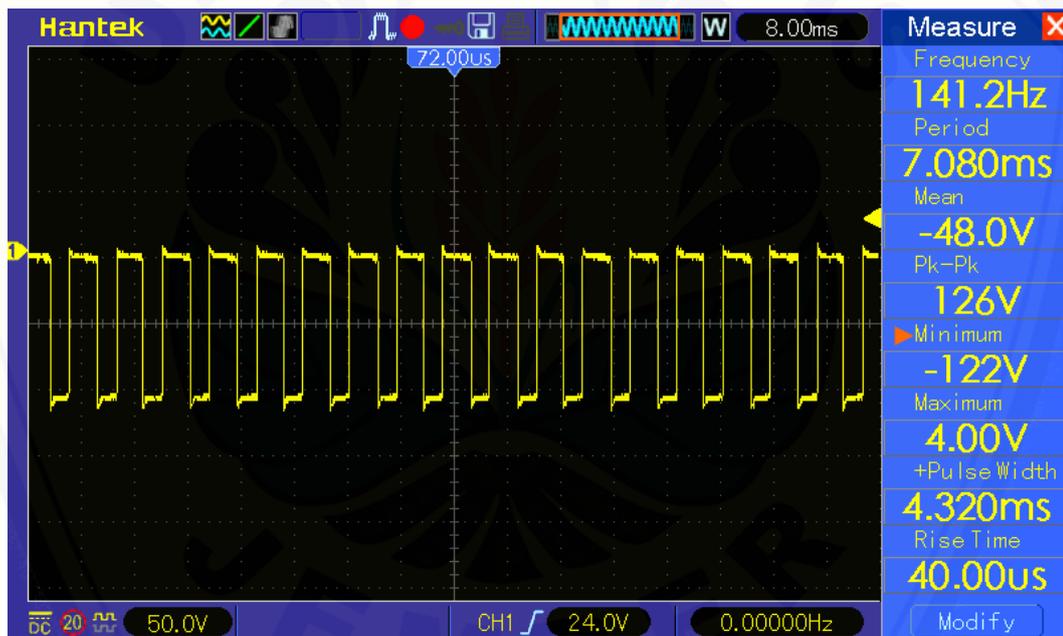
Gambar 5. Pengujian Mesin BLDC sebagai Generator Tegangan 13Volt Menggunakan Multimeter dan Tachometer



Gambar 6. Pengujian Mesin BLDC sebagai Generator Tegangan 12Volt Menggunakan Multimeter dan Tachometer



Gambar 7. Pengujian Mesin BLDC sebagai Generator Tegangan 11 Volt
Menggunakan Multimeter dan Tachometer



Gambar 8. Tampilan Frekuensi *Oscilloscope*