DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

ANALISIS PENGARUH JUMLAH ROTOR DAN CELAH UDARA TERHADAP UNJUK KERJA GENERATOR *AXIAL FLUX DOUBLE STATOR* 1 FASA

SKRIPSI

Oleh:

Muhammad Zainuri

NIM. 181910201035

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

ANALISIS PENGARUH JUMLAH ROTOR DAN CELAH UDARA TERHADAP UNJUK KERJA GENERATOR *AXIAL FLUX DOUBLE STATOR* 1 FASA

SKRIPSI

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

Oleh:

Muhammad Zainuri

NIM. 181910201035

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

PERSEMBAHAN

Atas rahmat Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan lancar. Sholawat serta salam senantiasa penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Dengan ketulusan hati skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua yang tersayang, Bapak Misbahul Munir dan Ibunda Huzaimah serta Adik tercinta Siti Nur Halisa yang telah memberikan dukungan serta do'a yang selalu mengiringi disetiap perjuangan penulis sehingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan bapak Ir. Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dengan sabar membimbing dan mengarahkan penulis demi terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M. dan Bapak Ir. H. R. B. Moch Gozali S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun.
4. Bapak Dr. Ir. Azmi Saleh, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis untuk mencapai keberhasilan pada penelitian ini.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

MOTTO

"Abaikan pikiran yang belum terjadi, fokuslah pada hari ini untuk memberikan yang terbaik"

(Merry Riana)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Zainuri

NIM : 181910201035

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Analisis Pengaruh Jumlah Rotor dan Celah Udara Terhadap Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double Stator* 1 Fasa " adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi mana pun dan bukan 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 unsur tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 12 Juli 2022

Yang menyatakan,

Muhammad Zainuri

NIM. 181910201035

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH JUMLAH ROTOR DAN CELAH UDARA TERHADAP UNJUK KERJA GENERATOR *AXIAL FLUX DOUBLE STATOR* 1 FASA

Oleh:
Muhammad Zainuri
NIM. 181910201035

Pembimbing

Dosen pembimbing utama : Ir. Widyono Hadi, M.T.

Dosen pembimbing Anggota : Ir. Widya Cahyadi, S.T., M.T.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Analisis Pengaruh Jumlah Rotor dan Celah Udara Terhadap Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double Stator* 1 Fasa" karya Muhammad Zainuri telah disetujui pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 12 Juli 2022

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,	Anggota I,
Ir. Widyono Hadi, M.T.	Ir. Widya Cahyadi S.T., M.T.
NIP.196104141989021001	NIP. 198511102014041001
Anggota II,	Anggota III,
Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M.	Ir. H. R. B. Moch Gozali S.T., M.T.
NIP.196312011994021002	NIP.196906081999031002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

NIP.197008261997021001

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

RINGKASAN

Analisis Pengaruh Jumlah Rotor dan Celah Udara Terhadap Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double Stator* 1 Fasa; Muhammad Zainuri, 181910201035; 2022; 114 halaman; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pertumbuhan manusia dan kemajuan teknologi meningkatkan kebutuhan energi listrik. Ketidakseimbangan antara ketersediaan energi berbanding terbalik dengan perkembangan teknologi, dan permintaan kebutuhan yang meningkat setiap tahun yang menyebabkan terjadinya krisis cadangan energi. Untuk memenuhi kebutuhan yang meningkat secara berkelanjutan, sangat penting untuk dilakukannya pembaharuan energi dengan mengembangkan sumber daya baru dan berkelanjutan yang bersih dan layak dengan memanfaatkan generator yang dapat mengubah energi mekanik menjadi listrik. Sumber daya baru atau energi terbarukan seperti air, panas bumi, panas matahari dan angin. Kecepatan angin di Indonesia biasanya dari 3,5 m/s menjadi 7 m/s sehingga membutuhkan generator jenis *axial flux permanent magnet* yang dapat bekerja pada putaran rendah. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja dari generator dengan mengetahui pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap nilai frekuensi, tegangan, arus, daya dan torsi pada generator *axial flux double* stator 1 fasa. Jumlah rotor yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2 buah rotor dan 3 buah rotor, 9 buah magnet tiap rotor dengan dua 2 buah stator, 9 kumparan tiap stator dengan celah udara sebesar 7 mm dan 10 mm. pengujian dilakukan pada variasi jumlah rotor dan variasi celah udara dengan kecepatan 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm. Pada pengujian pertama kondisi tanpa beban dengan kecepatan 2000 rpm pada saat konstruksi jumlah rotor 2 buah dengan celah udara 10 mm menghasilkan frekuensi 300,3 Hz dengan nilai fluks magnet sebesar 3,58 x 10^{-6} Wb sedangkan pada saat konstruksi jumlah rotor 3 buah dengan celah udara 7 mm menghasilkan frekuensi 300 Hz dengan nilai fluks magnet sebesar 5,36 x 10^{-6} Wb. Nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah rotor dan semakin kecil celah udara yang digunakan tidak mempengaruhi nilai frekuensi namun mempengaruhi nilai

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

fluks magnet yang semakin besar. Pada pengujian dengan beban LED yang dirangkai secara seri pada kecepatan 2000 rpm dengan konstruksi 2 rotor dan celah udara 10 mm menghasilkan nilai tegangan, arus, daya dan torsi DC sebesar 8,39 V, 0001 mA, 8,39 x 10^{-6} W dan 4,453 x 10^{-5} Nm. Sedangkan pada saat konstruksi 3 rotor dan celah udara 7 mm bernilai 13,13 V, 13,67 mA, 0,179 W dan 0,953 Nm. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan, arus, daya dan torsi yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar pada saat menggunakan jumlah rotor terbanyak dengan celah udara terkecil. Hal itu dipengaruhi oleh adanya perbedaan nilai fluks magnet yang dihasilkan, dimana fluks magnet terbesar terjadi pada saat jumlah rotor terbanyak dengan celah udara terkecil yaitu sebesar 5,36 x 10^{-6} Wb.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

SUMMARY

Analysis of the Effect of Rotor Number and Air Gap on the Performance of Single-Phase Axial Flux Double Stator Generator; Muhammad Zainuri, 181910201035; 2022; 114 pages; Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Human growth and technological advances increase the need for electrical energy. The imbalance between energy availability is inversely proportional to technological developments, and the demand for needs that increase every year which causes a crisis of energy reserves. To meet the continuously increasing demand, it is very important to renew energy by developing new and sustainable sources that are clean and feasible by utilizing generators that can convert mechanical energy into electricity. New resources or renewable energy such as water, geothermal, solar heat and wind. The wind speed in Indonesia is usually from 3.5 m/s to 7 m/s, so it requires a permanent magnet axial flux type generator that can work at low rotations. Therefore, this study aims to improve the performance of the generator by knowing the effect of the number of rotors and air gaps on the frequency, voltage, current, power and torque values in a single-phase double stator axial flux generator. The number of rotors used in this study were 2 rotors and 3 rotors, 9 magnets per rotor with two 2 stators, 9 coils per stator with an air gap of 7 mm and 10 mm. The test was carried out on variations in the number of rotors and variations in air gaps at speeds of 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm and 2000 rpm. In the first test the no-load condition with a speed of 2000 rpm during construction the number of rotors 2 with an air gap of 10 mm produced a frequency of 300.3 Hz with a magnetic flux value of 3.58 x 10^{-6} Wb while during construction the number of rotors was 3 with an air gap of 7 mm produces a frequency of 300 Hz with a magnetic flux value of 5.36 x 10^{-6} Wb. This value indicates that the greater the number of rotors and the smaller the air gap used does not affect the frequency value but affects the magnetic flux value which is getting bigger. In testing with a load of LEDs connected in series at a speed of 2000 rpm with a construction of 2 rotors and

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

an air gap of 10 mm, the DC voltage, current, power and torque values were 8.39 V, 0001 mA, 8.39 x 10^{-6} W and 4.453 x 10^{-5} Nm. Meanwhile, during the construction of 3 rotors and an air gap of 7 mm, the values are 13.13 V, 13.67 mA, 0.179 W and 0.953 Nm. From these data it can be seen that the values of voltage, current, power and torque produced have a greater value when using the largest number of rotors with the smallest air gap. This is influenced by the difference in the value of the resulting magnetic flux, where the largest magnetic flux occurs when the number of rotors is highest with the smallest air gap, which is 5.36 x 10^{-6} Wb.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

PRAKATA

Dengan mengucap rasa syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "**Analisis Pengaruh Jumlah Rotor Dan Celah Udara Terhadap Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double Stator* 1 Fasa"** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah sau syarat dalam penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Dengan segala ketulusan hati, penulis menyampaikan terimakasih yang begitu banyak kepada :

1. Kedua orang tua yang tersayang, Bapak Misbahul Munir dan Ibunda Huzaimah serta Adik tercinta Siti Nur Halisa yang selalu memberikan dukungan serta do'a yang selalu mengiringi disetiap perjuangan penulis dikala sedih maupun senang.
2. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan bapak Ir. Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dengan sabar membimbing dan mengarahkan penulis demi terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M. dan Bapak Ir. H. R. B. Moch Gozali S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun.
4. Bapak Dr. Ir. Azmi Saleh, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis untuk mencapai keberhasilan pada penelitian ini.
6. Keluarga Besar Laboratorium Listrik Dasar Fakultas Teknik serta Lembaga Pengabdian Masyarakat Universitas Jember yang telah menyediakan tempat dalam pembuatan alat pada skripsi ini
7. Keluarga besar Teknik Elektro Unej angkatan 2018 dan almamater tercinta.
8. Reynji Nur Hazanah yang senantiasa menemani dikala penulis terpuruk.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

9. Teman seperjuangan terkhusus Riki, Sholehudin, Almas, Kamalia, Afif, Lista, Erysta, Fitri, Ela dan teman-teman lainya yang selalu memotivasi dan membangkitkan semangat penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
10. Seluruh pihak yang terlibat dan tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan karya tulis ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengaharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai bahan evaluasi untuk kedepannya. Semoga karya tilis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jember, 12 Juli 2022

penulis

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **ii**

HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **iii**

MOTTO ..... **iv**

PERNYATAAN ..... **v**

PENGESAHAN ..... **vii**

RINGKASAN ..... **viii**

SUMMARY ..... **x**

PRAKATA ..... **xii**

DAFTAR ISI ..... **xiv**

DAFTAR GAMBAR ..... **xvii**

DAFTAR TABEL ..... **xix**

BAB 1. PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Batasan Masalah 4

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 5

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA **6**

2.1 Generator 6

2.2 Generator *Axial Flux* 7

2.2.1 Prinsip Kerja Generator *Axial flux* 8

2.2.2 Konstruksi Generator *Axial flux* 10

2.2.3 Tipe-Tipe Generator *Axial flux* 12

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

2.2.4 Rangkaian Ekivalen 14
2.3 Magnet Permanen 16
2.4 *Flux* Magnet 17
2.5 Kawat *Email* 18
2.6 Dioda *Bridge* 19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN 21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 21
3.1.1 Tempat Penelitian 21
3.1.2 Waktu pelaksanaan 21
3.2 Alat dan Bahan 22
3.2.1 Perangkat Keras (*hardware)* 22
3.2.2 Perangkat Lunak (*software*) 23
3.3 Tahapan Penelitian 23
3.4 Blok Diagram Penelitian 28
3.5 Desain Alat 29
3.5.1 Desain konstruksi stator 29
3.5.2 Desain Konstruksi Rotor 30
3.5.3 Desain generator *axial flux double* stator 1 fasa 32
3.6 Metode pengambilan data 34
3.6.1 Pengujian Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa 34
3.6.2 Perhitungan 34
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN 38
4.1 Spesifikasi Perancangan Generator *Axial Flux Double* Stator 38
4.2 Pengujian Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Dengan Variasi Jumlah Rotor Dan Celah Udara 42

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

4.2.1 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 2 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 7 Mm 43

4.2.2 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 7 Mm 47

4.2.3 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 2 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 10 mm 50

4.2.4 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 10 mm 53

4.3 Analisis pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator axial flux double stator 1 fasa 56

4.3.1 Frekuensi gelombang *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara 56

4.3.2 Tegangan *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara ... 57

4.3.3 Arus *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara 65

4.3.4 Daya *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara 67

4.3.5 Torsi *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara 71

BAB 5. PENUTUP 74

5.1 Kesimpulan 74

5.2 Saran 75

DAFTAR PUSTAKA 76

LAMPIRAN 79

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Topologi *axial flux* permanent magnet (AFPM) 7
Gambar 2.2 konstruksi rotor *axial flux* 10
Gambar 2.3 tipe pemasangan magnet permanen (a) *surface-mounted, (b) Embedded* 11
Gambar 2.4 stator tanpa inti besi (*coreless)* 12
Gambar 2.5 Generator *axial flux* sisi tunggal (*single sided)* 12
Gambar 2.6 Generator *axial flux double side*, (a) *double side* stator, (b) *double side* rotor 13
Gambar 2.7 Generator axial flux sisi ganda (double sided) internal stator dengan rotor ganda (a)Tipe kutub searah (N-N), (b) Tipe kutub berlawanan (N-S) 14
Gambar 2.8 konstruksi generator *axial flux* tipe *multidisc*. 14
Gambar 2.9 rangkaian ekivalen generator 15
Gambar 2.10 magnet permanen *Neodymium Iron Boron* 16
Gambar 2.11 kurva magnetisasi magnet permanen 17
Gambar 2.12 *flux* magnet pada suatu bidang 18
Gambar 2.13 Rangkaian dioda bridge 19
Gambar 3.1 Flowchart tahapan penelitian 23
Gambar 3.2 Blok Diagram 26
Gambar 3.3 desain dua demensi (2D) kerangka stator 28
Gambar 3.4 magnet permanen *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) 29
Gambar 3.5 desain dua dimensi (2D) kerangka rotor 29
Gambar 3.6 desain tiga dimensi (3D) kerangka rotor 29
Gambar 3.7 desain generator *axial flux double* stator dan *double* rotor 30
Gambar 3.8 desain generator *axial flux double* stator dan *triple* rotor 31
Gambar 4.1 Generator axial flux double stator 40
Gambar 4.2 Pengukuran densitas *flux* magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB) 40
Gambar 4.3 pengukuran resistansi dan induktansi kumparan dengan LCRmeter .41
Gambar 4.4 Grafik arus output terhadap kecepatan putar rotor Konstruksi 2 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 7 mm 46

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Gambar 4.5 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm 46
Gambar 4.6 Grafik arus output terhadap kecepatan putar rotor Konstruksi 3 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 7 mm 49
Gambar 4.7 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm 50
Gambar 4.8 Grafik arus output terhadap kecepatan putar rotor Konstruksi 2 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 10 mm 52
Gambar 4.9 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm 53
Gambar 4.10 Grafik arus output terhadap kecepatan putar rotor Konstruksi 3 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 10 mm 55
Gambar 4.11 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 3 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 10 mm 56
Gambar 4.12 Grafik frekuensi output terhadap kecepatan putar rotor pada variasi jumlah rotor dan celah udara 57
Gambar 4.13 Grafik tegangan output AC tanpa beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara 58
Gambar 4.14 Grafik tegangan output DC tanpa beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara 58
Gambar 4.15 Grafik tegangan output AC dengan beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara 63
Gambar 4.16 Grafik tegangan output DC dengan beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara 64
Gambar 4.17 Grafik arus output DC generator terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara 66
Gambar 4.18 Grafik daya output pada variasi jumlah rotor dan celah udara 69
Gambar 4.19 Grafik torsi putar generator dengan variasi jumlah rotor dan celah udara 72

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi arus hantar kawat *email* 19
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan penelitian 20
Tabel 4.1 Data Spesifikasi perancangan Generator Axial Flux Double Stator.....39
Tabel 4.2 Spesifikasi Motor DC.....42
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Tanpa Beban Konstruksi 2 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 7 Mm 43
Tabel 4.4 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm.....44
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Tanpa Beban Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 7 Mm 47
Tabel 4.6 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm.....48
Tabel 4.7 Data hasil pengujian tanpa beban konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm.....51
Tabel 4.8 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm.....51
Tabel 4.9 Data hasil pengujian tanpa beban konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm.....53
Tabel 4.10 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm.....54
Tabel 4.11 perhitungan error persen luaran tegangan tanpa beban.....60
Tabel 4.12 perhitungan error persen luaran tegangan dengan beban.....61
Tabel 4.13 arus output pada variasi jumlah rotor dan celah udara.....64
Tabel 4.14 daya output generator dengan variasi jumlah rotor dan celah udara....67
Tabel 4.15 perhitungan *error* persen daya keluaran generator 70
Tabel 4.16 Torsi putar rotor pada variasi jumlah rotor dan celah udara 72

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan manusia dan kemajuan teknologi meningkatkan kebutuhan energi listrik. Ketidakseimbangan antara ketersediaan energi berbanding terbalik dengan perkembangan teknologi dan permintaan kebutuhan yang meningkat setiap tahun yang menyebabkan terjadinya krisis cadangan energi. Konsumsi listrik di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 1.123 kilowatt hour (KWH)/kapita. Pada tahun 2022 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral memperkirakan konsumsi listrik akan meningkat menjadi 1.268 kilowatt hour (KWH)/kapita (ESDM, 2022). Untuk memenuhi kebutuhan yang meningkat secara berkelanjutan, sangat penting untuk dilakukannya pembaharuan energi dengan mengembangkan sumber daya baru dan berkelanjutan yang bersih dan layak (Khikmah, 2020). Dunia memiliki tiga bahaya utama yang membebani kepentingan energi di seluruh dunia, yaitu ketergantungan khusus pada bahan bakar fosil sebagai energi utama yang semakin menipis, banyak negara yang berusaha mengembangkan ekonomi industri dengan demikian memicu meningkatnya kebutuhan akan minyak, sehingga mengakibatkan adanya kontaminasi karbon dari pembakaran bahan bakar fosil yang sangat besar.

Seiring berjalannya waktu, biaya listrik di Indonesia semakin sulit terjangkau bagi kelas pekerja bawah, dari sebagian persoalan di atas, sangat penting untuk menyediakan pembangkit listrik alternatif dengan menggunakan potensi alam seperti air, panas matahari, panas bumi dan angin yang bisa diciptakan di Indonesia. PLTB biasanya menggunakan generator berkecepatan rendah. Dimana, kecepatan angin di Indonesia biasanya dari 3,5 m/s menjadi 7 m/s (Syam et al., 2021). Listrik sendiri dapat dibangkitkan dari energi mekanik dalam suatu sistem produksi energi menjadi energi listrik.

Generator merupakan sebuah alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip dasar dari generator sendiri yaitu berdasarkan hukum Faraday, yang mana hukum Faraday menyatakan bahwa gaya gerak listrik (GGL) induksi akan timbul ketika *flux* magnet yang berubah-ubah memotong kumparan.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Karakteristik generator dibedakan menjadi generator magnet permanen dan generator non-magnet permanen. Perbedaannya terletak pada sifat kemagnetan yang tinggi dan tidak teroksidasi secara efektif pada tipe generator magnet permanen dibanding dengan generator non-magnet permanen (Syafriyudin & Suyanto, 2021). Lalu, berdasarkan arah *flux magnetic* dibedakan menjadi generator *flux radial* dan generator *flux axial.* Pada umumnya, generator yang sering dijual adalah generator high speed, dimana generator jenis ini memerlukan putaran tinggi sehingga membutuhkan energi yang cukup tinggi untuk menciptakan medan magnet agar generator dapat menghasilkan listrik (Azzahra, 2020).

Dengan adanya generator *low speed* dapat mengurangi energi yang dibutuhkan untuk memutarnya. Umumnya, generator *low speed* ini berjenis generator *axial flux*. Generator jenis ini terus dikembangkan dengan berbagai variasi desain untuk mendapatkan tingkat efisiensi yang tinggi sehingga dapat diimplementasikan dengan sumber daya alam yang ada terutama sumber energi baru dan terbarukan (Setia, 2017). Kelebihan dari generator *axial flux* ini memiliki desain yang lebih sederhana sehingga memiliki kutub-kutub magnet yang lebih banyak dan lebih mudah dibuat dibandingkan dengan tipe generator lainnya. Selain itu, generator *axial flux* memiliki konstruksi yang lebih pendek, kompak, strukturnya kuat dan tingkat efisiensi yang tinggi karena tidak timbul rugi-rugi daya pada kumparan rotor (Syafriyudin & Suyanto, 2021).

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai generator *axial flux* antara lain pengaruh jumlah lilitan, pengaruh jumlah kumparan dan desain generator terhadap kinerja generator, salah satunya dilakukan oleh Mehmet Recep dan Mehmet Celebi pada tahun 2017 yang berjudul "*Analysis and Design of An Axial-Flux Coreless Permanent Magnet Synchronous Generator with Single Stators and Double Rotors*". Penelitian ini membahas mengenai desain dan analisis generator *axial flux* menggunakan stator tunggal dan rotor ganda dengan menggunakan 9 kumparan dan 24 magnet untuk menghasilkan tegangan keluaran dengan kecepatan 500 rpm. Selain parameter tersebut celah udara dan jumlah magnet juga merupakan parameter yang dapat mempengaruhi kinerja dari generator *axial flux*. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Qoidatul Khikmah pada tahun 2021 dengan

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

judul" Analisis Pengaruh Air Gap (Celah Udara) Terhadap Unjuk Kerja Generator *Axial flux Double Side* Rotor 1 Fasa Dengan Kutub Berlawanan (N-S)". Penelitian ini menggunakan stator tunggal dan rotor ganda dengan menggunakan 9 kumparan dan 18 magnet. Jenis magnet yang digunakan adalah NdFeB (*Neodymium Iron Boron*). Magnet permanen NdFeB merupakan magnet remanensi medan magnetik yang paling baik. Namun, penelitian ini dilakukan dengan variasi celah udara antara 8 hingga 10 mm.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Syafriyudin dan Suyanto pada tahun 2021 dengan judul "Analisis Perencanaan Jarak Celah Udara Pada Generator Axial". Pada penelitian tersebut menggunakan 12 kumparan dengan 200 lilitan. Magnet pada rotor menggunakan magnet jenis Neodymium Iron Boron dengan kerapatan *flux* magnet 1,2 Tesla. Penelitian tersebut bertujuan untuk merancang agar mendapatkan frekuensi 50 Hz dengan tegangan efektif sebesar 22 Volt. Dengan variasi yang digunakan dimulai dari 1 mm hingga 5 mm.

Penelitian selanjutnya berkaitan dengan generator flux axial milik Mario Sumantri dan Satyo Nuryadi dengan judul "Analisis Pengaruh Variasi Slot Dan *Pole* Terhadap Tegangan Dan Efisiensi Daya Pada Perancangan Generator Magnet Permanen Menggunakan Software Magnet". Pada penelitian tersebut dilakukan dengan memvariasikan antara jumlah *pole* dan jumlah kumparan. Dimana, variasi kumparan yang diuji adalah 8, 10, 12, 16 dan 18 kemudian untuk variasi *pole* yang diuji adalah 4, 8, 12, 16 dan 18. Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan tegangan keluaran yang paling optimal dengan efisiensi yang sebesar mungkin. Namun, penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi untuk mendapatkan keluaran tegangan dan efisiensi menggunakan perangkat lunak magnet infolytica.

Oleh karena itu, penelitian pada tugas akhir ini akan dilakukan dengan memberikan variasi jumlah rotor dan celah udara pada generator flux axial dengan konstruksi stator ganda 1 fasa. Magnet yang akan digunakan menggunakan tipe magnet *Neodymium Iron Boron* dengan magnet yang disusun secara berlawanan (N-S). Adapun hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk untuk memperoleh hasil analisis pengaruh dari jumlah rotor dan perubahan celah udara

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

terhadap unjuk kerja generator *axial flux* dengan parameter tegangan, arus, frekuensi, bentuk gelombang dan daya *output* yang dihasilkan oleh generator.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan kajian empiris, Adapun rumusan masalah yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux* 1 fasa?
2. Bagaimana pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap fluks magnet dan torsi yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan bahasan dari penelitian ini, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan stator ganda dan inti besi pada setiap *coil*.
2. Menggunakan kawat *email* berdiameter 0,4 mm.
3. Menggunakan 9 buah *coil* (kumparan) pada tiap stator dengan masing-masing terdiri dari 300 lilitan.
4. Menggunakan *prime mover* (penggerak) berupa dinamo motor DC.
5. Menggunakan magnet *Neodymium Iron Boron* berbentuk koin dengan diameter 15 mm dan tebal 5 mm.
6. Menggunakan konstruksi kutub magnet berlawanan (N-S) pada rotor.
7. Membandingkan jumlah rotor 2 buah dan 3 buah.
8. Tidak menghitung efisiensi daya generator.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux* 1 fasa.
2. Mengetahui pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap fluks magnet dan torsi yang dihasilkan.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux* 1 fasa.
2. Dapat mengetahui pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap fluks magnet dan torsi yang dihasilkan.
3. Dapat dijadikan sebagai referensi ilmiah untuk penelitian selanjutnya mengenai pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux double stator* 1 fasa.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

Generator adalah mesin listrik yang memanfaatkan prinsip elektromagnetik untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Tempat terjadinya prinsip induksi elektromagnetik ketika medan magnet berubah dengan menggerakkan magnet keluar masuk kumparan. Dalam pengaplikasiannya, generator biasanya dipasangkan dengan motor sebagai energi mekanik yang menggerakkan generator untuk memudahkan pengaturan kecepatan. Selain itu, pemanfaatan energi mekanik pada generator juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan angin yang memutar turbin angin, turbin mesin uap, atau sumber energi mekanik lainnya (Putri, 2019). Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dibagi menjadi dua output: arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC). Generator AC dapat membangkitkan tegangan luaran secara langsung, tetapi generator DC terlebih dahulu harus disearahkan oleh rectifier untuk mengubah tegangan keluaran AC menjadi DC.

Prinsip kerja generator umumnya menggunakan hukum Faraday yang ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1821. Hukum Faraday adalah hukum dasar elektromagnetik yang mengatur pembangkitan gaya gerak listrik (GGL). Ketika suatu kawat penghantar listrik berada di antara medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet pada ujung kawat maka ujung kawat penghantar tersebut timbul gaya gerak listrik (GGL). Hukum Faraday menyatakan bahwa gaya gerak listrik (GGL) terinduksi pada rangkaian tertutup. Dimana, negatif dari jumlah lilitan penghantar dan perubahan *flux* magnetik terhadap waktu di dalam rangkaian akan menghasilkan tegangan induksi. Dengan kata lain, apabila suatu kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka akan terbentuk gaya gerak listrik induksi dalam kawat tersebut. Dengan demikian besarnya gaya gerak listrik induksi bergantung pada perubahan *flux* yang terjadi pada tiap waktu (Khikmah, 2020).

Pada generator, kawat penghantar yang digunakan adalah sebuah kumparan yang terdiri dari beberapa lilitan. Hukum Faraday untuk kawat penghantar yang

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

terdiri dari N lilitan identik dapat dinyatakan menggunakan persamaan sebagai berikut (Harsha et al., 2016).

$$E = -N \frac{\Delta \emptyset}{\Delta t} \quad (2.1)$$

dimana:

E : tegangan induksi generator (V)

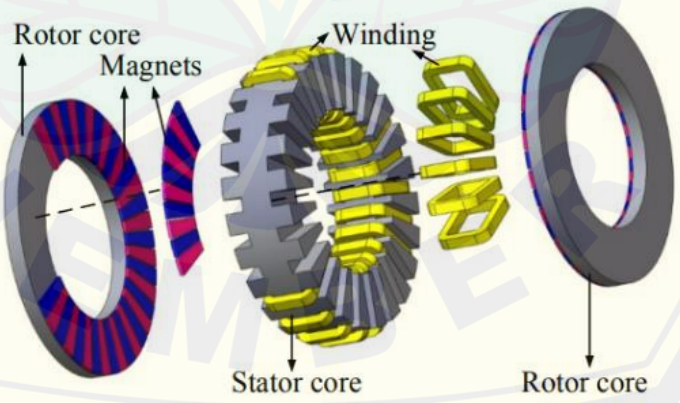
N : jumlah lilitan kumparan

$\Delta\emptyset$: perubahan *flux* magnet (Wb)

Δt : perubahan nilai waktu (s)

2.2 Generator *Axial Flux*

Generator *axial flux* atau lebih dikenal sebagai generator AFPM merupakan sebuah mesin alternatif yang dapat mengkonversi energi mekanik sehingga menghasilkan listrik dengan arah aliran *flux* yang tegak lurus terhadap porosnya. Generator *axial flux* memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan dengan generator tipe radial yaitu memiliki kepadatan torsi yang tinggi, faktor daya tinggi, efisiensi tinggi dan kekompakan struktur (Zou et al., 2015). Generator *type axial* ini dapat didesain dengan berbagai macam variasi jumlah rotor dan stator yang berbeda beda, dapat menggunakan celah udara tunggal maupun banyak sehingga dapat mempermudah dalam penentuan *output* yang diinginkan. Topologi dari *axial flux* dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Topologi *axial flux permanent* magnet (AFPM)

(Sumber: Zou et al., 2015)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

2.2.1 Prinsip Kerja Generator *Axial flux*

Prinsip kerja dari generator *axial flux* adalah ketika terjadi adanya perubahan *flux* magnetik terhadap waktu akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi. Dimana, perubahan *flux* pada generator *axial* adalah berputarnya rotor kemudian akan menginduksi kumparan pada stator dengan arah aliran *flux* yang memotong stator secara *axial* atau vertikal (A. A. Wijaya et al., 2016).

Pada generator *axial flux* menggunakan magnet permanen untuk membangkitkan medan magnet secara konstan. Sehingga, generator dapat menghasilkan medan magnet pada celah udara tanpa perlu eksitasi arus searah (DC). Suatu medan magnet (B) akan memotong bidang datar stator pada luas permukaan magnet (A) untuk menghasilkan *flux* magnet (Φ) dengan persamaan sebagai berikut (Champman, 2005).

$$\Phi = Br \times A \cos \theta \quad (2.2)$$

dimana:

Φ : *flux* medan magnet

Br : medan magnet rotor (T)

A : luas permukaan magnet (m^2)

θ : Sudut antara garis gaya medan magnet dengan garis normal bidang penampang stator

Nilai *flux* maksimum medan magnet yang dapat dihasilkan pada generator dengan bentuk persamaan 2.3 berikut.

$$\Phi_{max} = B_{max} \times A_{magnet} \quad (2.3)$$

dimana:

Φ_{max} : *flux* maksimum medan magnet (Wb)

B_{max} : medan magnet maksimum (T)

A_{magnet} : luas permukaan magnet (m^2)

Nilai kerapatan *flux* magnet dan celah udara juga berpengaruh terhadap performa dari generator dengan bentuk persamaan 2.4 berikut.

$$B_{max} = B_r \times \frac{Im}{Im + \delta} \quad (2.4)$$

dimana:

B_{max} : kerapatan medan magnet maksimum (T)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Br : densitas *flux* magnet (T)

I_m : tinggi magnet (m)

δ : celah udara (m)

Untuk mengetahui luas permukaan magnet (A_{magnet}) dapat diketahui bentuk persamaannya seperti pada persamaan 2.5 berikut.

$A_{magnet} = \pi \text{ x } r^2$ ..... (2.5)

dimana:

A_{magnet} : luas permukaan magnet (m^2)

r : jari-jari magnet (m)

Untuk mengetahui nilai frekuensi yang dapat dihasilkan oleh putaran rotor dari generator dapat diketahui bentuk persamaannya seperti pada persamaan 2.6 berikut.

$f = \frac{n \text{ x } p}{120}$ ..... (2.6)

dimana:

f : frekuensi (Hz)

n : kecepatan putar rotor (rpm)

p : jumlah kutub magnet

Untuk mengetahui besar nilai tegangan induksi yang dapat dihasilkan oleh generator berdasarkan prinsip hukum induksi Faraday dengan bentuk persamaan seperti pada persamaan 2.7 berikut.

$E_A = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \text{ x f x N x } \Phi_{max} \text{ x } \frac{Ns}{Nph}$ ..... (2.7)

dimana:

E_A : tegangan induksi generator (V)

f : frekuensi (Hz)

N : jumlah lilitan kumparan

Φ_{max} : *flux* maksimum medan magnet (Wb)

N_s : jumlah kumparan

N_{ph} : jumlah fasa

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

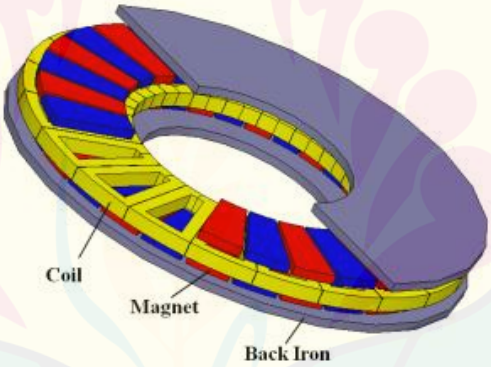
DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

2.2.2 Konstruksi Generator *Axial flux*

Konstruksi generator *axial flux* umumnya terdiri dari rotor dan stator, berikut ini merupakan penjelasan dan fungsi dari bagian-bagian generator:

1. Rotor

Rotor merupakan bagian dari generator yang bergerak atau berputar saat generator menerima energi mekanik dari penggerak. Rotor dijadikan sebagai wadah atau tempat medan magnet seperti jenis *Neodymium* Iron *Boron* (NdFeB). Terdapat beberapa bentuk magnet pada rotor diantaranya silinder, balok, tabung, dll. Rotor diletakkan berhadapan dengan kumparan yang ada pada stator, sehingga ketika rotor berputar akan menghasilkan medan magnet dan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) pada bagian kumparan stator (Fajar, 2017). Konstruksi rotor dapat diamati pada gambar 2.2 konstruksi rotor *axial flux.*

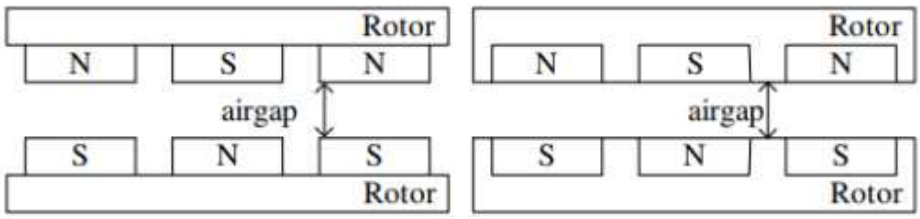


Gambar 2.2 konstruksi rotor *axial flux*
(Sumber: Xia et al., 2010)

Kombinasi pemasangan magnet permanen pada rotor juga dapat mempengaruhi besar kecilnya *flux* magnet yang diterima oleh kumparan, selain itu, banyaknya jumlah kutub magnet juga akan berpengaruh terhadap banyaknya putaran per menit sehingga dapat berpengaruh terhadap besar kecilnya frekuensi yang dihasilkan. Terdapat dua tipe dalam pemasangan atau penyusunan magnet pada generator *axial flux*, yaitu *surface-mounted* dan *embedded*. Pemasangan pada *surface-mounted* yaitu dengan menempelkan magnet di atas permukaan rotor, sedangkan untuk pemasangan *embedded* yaitu magnet berada di dalam rotor sehingga permukaan rotor menjadi rata karena magnet menyatu dengan rotor.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



(a) (b)

Gambar 2.3 tipe pemasangan magnet permanen (a) *surface-mounted, (b) embedded*

(Sumber: Rossouw, 2009)

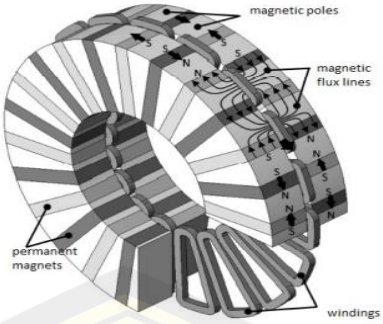
2. Stator

Stator merupakan bagian dari generator yang diam atau statis (tidak berubah). Stator terdiri dari beberapa kumparan kawat konduktor sebagai tempat terbentuknya tegangan induksi yang disebabkan putaran dari rotor sehingga menghasilkan gaya gerak listrik (GGL). Pada generator tipe *axial,* Pada statornya memiliki beberapa variasi diantaranya stator dengan inti besi dan stator tanpa inti besi. Dimana, inti besi pada lilitan stator dapat memaksimalkan induksi magnetik yang menuju kumparan (Jarekson, 2011). Kombinasi rangkaian seri atau paralel pada kumparan stator dapat menentukan penguatan pada tegangan atau arus. Rangkaian seri pada kumparan stator dapat meningkatkan nilai tegangan, Sedangkan rangkaian paralel pada kumparan stator dapat meningkatkan nilai arus (Akbar, 2012).

Pada stator tanpa inti besi ada yang tersusun secara *overlapping* dan *non-overlapping*. Stator yang susunan kumparannya secara *overlapping*, susunan kumparannya berada tumpang tindih dengan kumparan yang lainnya. Sedangkan, stator dengan susunan kumparan secara *non-overlapping*, susunan kumparannya berada sejajar dan berimpit di samping kumparan lainnya. Berikut merupakan gambar 2.4 konstruksi stator tanpa inti besi (*coreless).*

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 2.4 stator tanpa inti besi (*coreless)*

(Sumber: Chirca et al., 2014)

Pada konstruksi generator aksial *flux* dapat dirancang variasi jumlah stator maupun jumlah rotor, sehingga dalam penentuan kebutuhan atau target keluaran yang diinginkan dapat dilakukan dengan banyak variasi sehingga akan mempermudah dalam perencanaan dan pembuatan generator sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

2.2.3 Tipe-Tipe Generator *Axial flux*

Semakin berkembangnya teknologi, saat ini generator *axial flux* terbagi menjadi tiga tipe berdasarkan konstruksinya yaitu sisi tunggal (*single sided*), sisi ganda (*double sided*) dan *multidisc*.

1. Generator *axial flux* sisi tunggal (*single sided)*

Konstruksi dari Generator *axial flux* sisi tunggal merupakan konstruksi yang paling sederhana yang terdiri dari satu buah rotor dan stator. Generator jenis ini hanya dapat menghasilkan nilai tegangan dan torsi yang rendah. Generator jenis ini memiliki beberapa tipe diantaranya *slotted* rotor (stator bersela), *slotless* stator (stator tanpa sela) dan *sailent-pole* stator (stator dengan kutub menonjol). Berikut merupakan gambar 2.5 konstruksi dari generator *axial flux single side.*

Gambar 2.5 Generator *axial flux* sisi tunggal (*single sided)*

(Sumber: Multi et al., 2013)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

2. Generator *axial flux* sisi ganda (*double sided*)

Generator jenis *axial flux* sisi ganda merupakan generator yang memiliki stator ganda atau rotor ganda. Dimana, konstruksi dari generator ini diapit pada kedua sisinya oleh dua stator maupun dua rotor. Generator tipe ini memiliki torsi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan generator *single side*. Berikut merupakan gambar 2.6 konstruksi dari generator *axial flux double side*.

(a) (b)

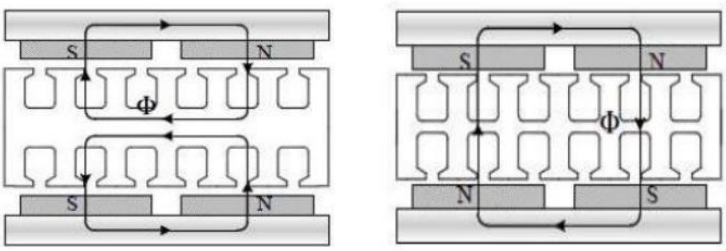
Gambar 2.6 Generator *axial flux double side*, (a) *double side* stator, (b) *double side* rotor

(Sumber: Multi et al., 2013)

Pada Generator *axial flux* sisi ganda (*double sided*) *internal* stator dengan PM rotor ganda terdapat dua tipe berdasarkan arah *flux*nya, yaitu tipe kutub searah (N-N) dan tipe kutub berlawanan (N-S). Pada konfigurasi tipe N-N, kutub N dan N saling berhadapan satu sama lain. Sehingga, ketika didekatkan akan saling tolak menolak dan mengakibatkan arah *flux* magnetik memotong kumparan dari kutub utara (N) melewati air gap lalu ditangkap oleh kutub selatan (S) yang berada di samping kanan dan kiri kutub utara (N) di rotor yang sama. Sedangkan pada konfigurasi tipe N-S, kedua magnet saling Tarik menarik sehingga *flux* magnetik memotong kumparan dari kutub utara (N) melewati *air gap* dan stator lalu ditangkap oleh kutub selatan (S), yang berhadapan dengan kutub utara (N) pada rotor yang berbeda (Akbar, 2012). Berikut merupakan gambar 2.7 konstruksi generator *axial flux double side* berdasarkan arah *flux* nya.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



(a) (b)

Gambar 2.7 Generator *axial flux* sisi ganda (double sided) internal stator dengan rotor ganda (a) Tipe kutub searah (N-N), (b) Tipe kutub berlawanan (N-S)

(Sumber: Prisandi, 2011)

3. Generator *multi disc* (multi *stage*)

Generator *multi disc* merupakan generator yang memiliki konstruksi dengan jumlah stator dan rotor lebih dari dua. Biasanya, generator jenis ini banyak digunakan untuk pembangkit listrik yang lebih besar dengan nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan konstruksi *single side* maupun *double side*. Torsi yang dihasilkan oleh generator tipe ini cenderung lebih besar sehingga memiliki *transfer* panas yang kurang baik. Berikut merupakan gambar 2.8 konstruksi generator *axial flux* tipe *multidisc*.

Gambar 2.8 konstruksi generator *axial flux* tipe *multidisc*.

(Sumber: Multi et al., 2013)

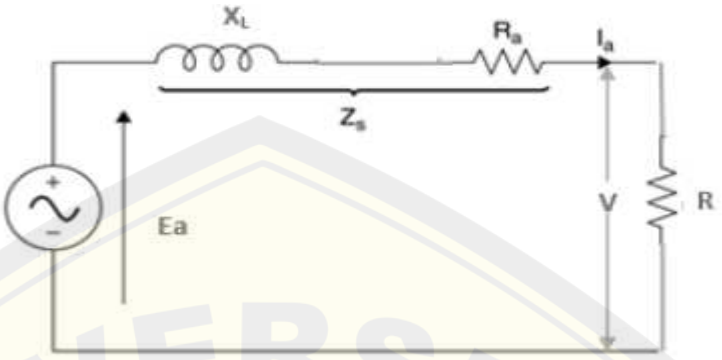
2.2.4 Rangkaian Ekivalen

Tegangan induksi (E_A) timbul akibat adanya gaya gerak listrik (GGL) pada stator saat generator berputar. Tegangan luaran yang dihasilkan biasanya tidak sama dengan tegangan generator pada saat diberi pembebanan, hal tersebut dikenal dengan istilah *drop* tegangan. Tegangan induksi akan sama dengan tegangan keluaran generator jika tidak ada arus yang mengalir pada stator yaitu pada saat

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

kondisi tanpa beban. Dimana semakin kecil *drop* tegangan yang terjadi maka semakin bagus kualitas dari generator tersebut. Berikut ini merupakan gambar 2.9 rangkaian ekivalen generator.



Gambar 2.9 rangkaian ekivalen generator

(Sumber: UTPL dkk., 2011)

Berdasarkan rangkaian tersebut dapat diperoleh hubungan antara tegangan terminal atau tegangan *output* generator dengan tegangan induksi (E_A) dalam persamaan berikut.

$E_A = V + I_A R_A + I_A jX_L$ ..... (2.8)

dimana:

E_A : tegangan efektif induksi (V)

V : tegangan efektif terminal (*output*) generator (V)

I_A : arus pada stator (A)

R_A : resistansi kumparan (Ω)

X_L : reaktansi kumparan (Ω)

Untuk mencari nilai tegangan *output* dapat diperoleh dengan menyederhanakan persamaan (2.8), sehingga menjadi:

$V = E_A - (I_A \times Z)$ ..... (2.9)

Dimana Z merupakan nilai dari impedansi gabungan antara resistansi dan induktansi. Sehingga, pada saat generator dalam kondisi tanpa beban, maka tidak terdapat aliran arus pada stator (I = 0) dan tegangan induksi akan bernilai sama dengan tegangan *output* generator (Ea = V). Untuk mencari nilai dari impedansi gabungan maka dapat dirumuskan menjadi persamaan 2.10 berikut.

$Z = \sqrt{Ra^2 + Xl^2}$ ..... (2.10)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Untuk mencari nilai induktansi (X_L) dapat dirumuskan pada persamaan 2.11 berikut.

$X_L = 2\pi \times f \times L$ .....(2.11)

dimana:

Z : impedansi gabungan (Ω)

L : induktansi (H)

2.3 Magnet Permanen

Magnet permanen merupakan suatu material yang dapat menghasilkan medan magnet oleh struktur dari material itu sendiri. Medan magnet dari magnet permanen merupakan jumlah putaran nuklir dengan adanya elektron yang berputar pada orbit elektron itu sendiri. Salah satu magnet permanen yang memiliki medan magnet yang paling kuat adalah jenis *Neodymium Iron Boron.* Magnet *Neodymium* merupakan magnet yang bermaterial keras dengan *hysteresis loop* yang lebar. Magnet jenis ini mempunyai potensi untuk menyimpan energi magnet dalam jumlah yang sangat besar, dimana lebih baik dari pada magnet samarium cobalt (Mustofa et al., 2014). Pada gambar 2.10 terdapat contoh magnet *Neodymium Iron Boron*.

Gambar 2.10 magnet permanen *Neodymium Iron Boron*
(Sumber: F. D. Wijaya et al., 2014)

Terdapat beberapa jenis magnet permanen yang sering digunakan, yaitu :

1. *Rare Earth Materials*

Contoh dari magnet *Rare Earth Materials* yaitu *Samarium Cobalt* dan *Neodymium*. Magnet jenis *Samarium Cobalt* memiliki kekuatan koersif dan

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

kerapatan *flux* magnet yang tinggi dengan tingkat suhu yang rendah. Sedangkan jenis magnet *Neodymium* merupakan jenis magnet tetap yang paling kuat jika dibandingkan dengan jenis magnet yang lain. Dimana, magnet jenis ini memiliki sifat magnetik yang lebih baik dengan kerapatan *flux* yang lebih tinggi, namun pada suhu kamar.

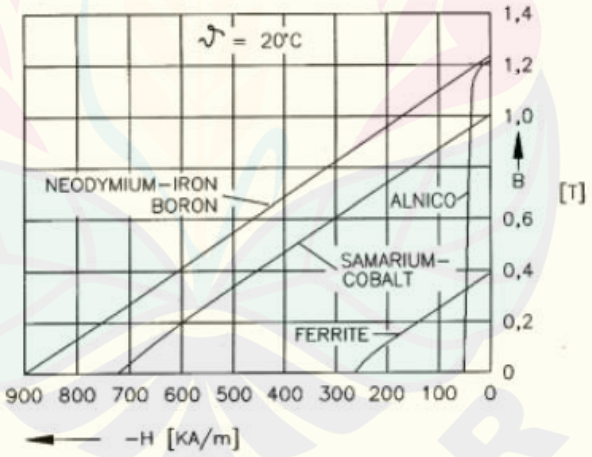
2. *Alnicos* (Al, Ni, Co, Fe)

Alnicos merupakan magnet permanen yang mempunyai kerapatan *flux* magnet yang tinggi dengan suhu rendah. Namun, magnet jenis ini memiliki kekuatan koersif yang cukup rendah dengan kurva magnetisasi non-linier.

3. *Ceramics (Ferrites)*

Ceramics merupakan magnet permanen yang memiliki kekuatan koersif yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis *Alnicos.* Namun, magnet jenis ini memiliki kerapatan *flux* yang lebih rendah dengan kurva magnetisasi linier.

Berikut merupakan gambar 2.11 perbandingan kurva magnetisasi dari jenis magnet permanen.



Gambar 2.11 kurva magnetisasi magnet permanen
(sumber: Gieras et al., 2004)

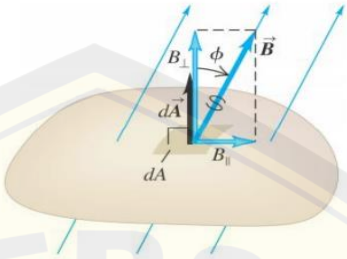
2.4 *Flux* Magnet

Flux magnetic akan terjadi pada saat dua kutub magnet saling berhadapan. Dimana, jika terdapat dua buah magnet saling berhadapan dengan kutub yang sama maka kedua magnet tersebut akan saling tolak-menolak, sedangkan jika kutub

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

magnet yang berhadapan berbeda, maka kedua magnet tersebut akan saling tarik-menarik. Medan magnet merupakan ruangan yang berada disekitar magnet yang memiliki gaya Tarik maupun gaya tolak dengan magnet lain. Berikut merupakan gambar 2.12 *flux* magnet pada suatu bidang magnet.



Gambar 2.12 *flux* magnet pada suatu bidang

(Sumber: Amirov, 2012)

Flux magnet yang melalui permukaan vektor A akan sebanding dengan jumlah garis medan yang melewati permukaan tersebut, dengan bentuk persamaan 2.12 berikut (Walker, 2014).

$\Phi_B = B\ A \cos\theta$ .....(2.12)

dimana:

Φ_B : *flux* medan magnet (Wb)

B : medan magnet (T)

A : luas permukaan magnet (m^2)

θ : sudut antara garis gaya medan magnet dengan garis normal bidang (tegak lurus dengan A)

2.5 Kawat *Email*

Kawat *email* merupakan sebuah konduktor yang terbuat dari bahan tembaga murni dengan dilapisi dengan lumen atau isolator. Kawat *email* sering sekali digunakan sebagai bahan pengantar karena memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, konduktivitas panas yang tinggi, tahan terhadap korosi, ekspansi panas yang cukup tinggi dan mudah untuk disolder.

Pemilihan kawat *email* sebagai penghantar kumparan stator sangat berpengaruh terhadap *output* generator baik dalam segi tegangan, arus maupun daya pada generator. Dipasaran, kawat *email* memiliki beberapa ukuran diameter

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan arus seperti pada tabel 2.1 berikut.

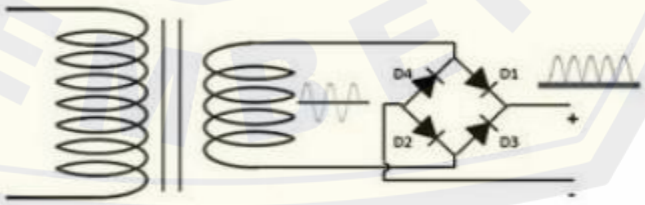
Tabel 2.1 Spesifikasi arus hantar kawat *email*

(Sumber: Mustofa et al., 2014)

No	Diameter kawat (mm)	Kemampuan Hantar Arus (KHA) (Ampere)
1.	0.1	0.016 s/d 0.024
2.	0.2	0.064 s/d 0.094
3.	0.3	0.141 s/d 0.212
4.	0.4	0.251 s/d 0.377
5.	0.5	0.390 s/d 0.588
6.	0.6	0.566 s/d 0.849
7.	0.7	0.770 s/d 1.160
8.	0.8	1.010 s/d 1.510
9.	0.9	1.270 s/d 1.910
10.	1	1.570 s/d 2.360
11.	1.1	3.530 s/d 5.300
12.	1.2	6.280 s/d 9.420

2.6 Dioda *Bridge*

Dioda *bridge* merupakan suatu penyearah yang dapat mengubah listrik AC menjadi listrik DC gelombang penuh (*full wave)*. Pemasangan rangkaian dioda *bridge* terdiri dari empat buah dioda yang tersusun membentuk jembatan. Berikut merupakan gambar 2.13 rangkaian dioda *bridge*.



Gambar 2.13 Rangkaian dioda *bridge*

(Sumber: Dwinata, 2017)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Prinsip kerja dari dioda *bridge* yaitu ketika input menerima tegangan siklus positif maka dioda satu dan dua dalam keadaan aktif, sedangkan dioda tiga dan empat tidak aktif. Sebaliknya, ketika input menerima tegangan siklus negatif maka dioda tiga dan empat dalam keadaan aktif sedangkan dioda satu dan dua dalam keadaan tidak aktif. Dari kedua siklus tersebut akan menghasilkan tegangan DC gelombang penuh (*full wave)*. Pada dioda bridge yang terdiri dari empat buah dioda, dibutuhkan dua dioda untuk disearahkan dengan posisi sebelum atau sesudah beban. Dari dua buah dioda tersebut maka dapat diperoleh persamaan 2.13 berikut untuk mencari tegangan maksimum :

$V_{out} = V_{AC} - (2 \times V_D)$ .....(2.13)

dimana:

V_{out} : tegangan maksimum *output* dioda *bridge* (V)

V_{AC} : tegangan AC (V)

V_D : tegangan *forward* dioda (V)

Untuk menentukan rata-rata tegangan DC yang dapat dihasilkan oleh rangkaian dioda *bridge* dengan persamaan 2.14 berikut:

$V_{DC} = \frac{2\,x\,\mathrm{Vout}}{\pi}$ .....(2.14)

dimana:

V_{DC} : tegangan *output* DC rata-rata (V)

V_{out} : tegangan *output* dioda *bridge* (V)

π : 3,14

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat penelitian yang berjudul "Pengaruh Jumlah Rotor Dan Celah Udara Terhadap Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double Stator* 1 Fasa" dilaksanakan di:

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Laboratorium Listrik Dasar, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Alamat : Jalan Kalimantan No.37, Sumbersari, Jember.

3.1.2 Waktu Pelaksanaan

Waktu Penelitian dilaksanakan selama 4 bulan, yaitu pada bulan Februari 2022 sampai dengan Mei 2022. Adapun jadwal pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan penelitian

no	kegiatan	Bulan															
		Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur dan perumusan masalah																
2	perancangan dan pembuatan alat																
3	pengujian alat dengan variasi jumlah rotor dan celah udara																
4	analisis data hasil pengujian																

Keterangan:

: Kegiatan dilaksanakan

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras (*hardware)* dan perangkat lunak (*software*), antara lain:

3.2.1 Perangkat Keras (*hardware)*

Adapun alat dan bahan berupa perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini, antara lain:

3.2.1.1 Alat

1. Osiloskop Digital (2 Channels)
2. Roll Machine Wire
3. Tachometer
4. Multimeter Digital
5. Teslameter
6. Power supply
7. Motor DC NISCA NC5475C 24V sebagai prime mover
8. NZ-1 Coil Winder Manual Winding Machine (Penggulung kawat *email* manual) Maximum speed 2000 rpm
9. Bor
10. Obeng
11. Tang Kombinasi
12. Tang Potong
13. Solder
14. Capit buaya

3.2.1.2 Bahan

1. Akrilik dengan tebal 5 mm dan 3 mm
2. Magnet Permanen *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) silinder ukuran 15 x 5 mm
3. Kawat *email* diameter 0,4 mm
4. Bearing 625 2RS dengan ukuran 5 mm × 16 mm × 5 mm
5. Spul jahit besi diameter 2 cm dan lebar 1 cm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

6. Baut M6 panjang 30 mm
7. Mur M6 panjang 5 mm
8. Timah
9. Shaft diameter 5 mm
10. LED
11. Project Board
12. dioda

3.2.2 Perangkat Lunak (*software*)

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak yang dapat mempermudah dalam perencanaan, pengujian dan analisis, diantaranya yaitu:

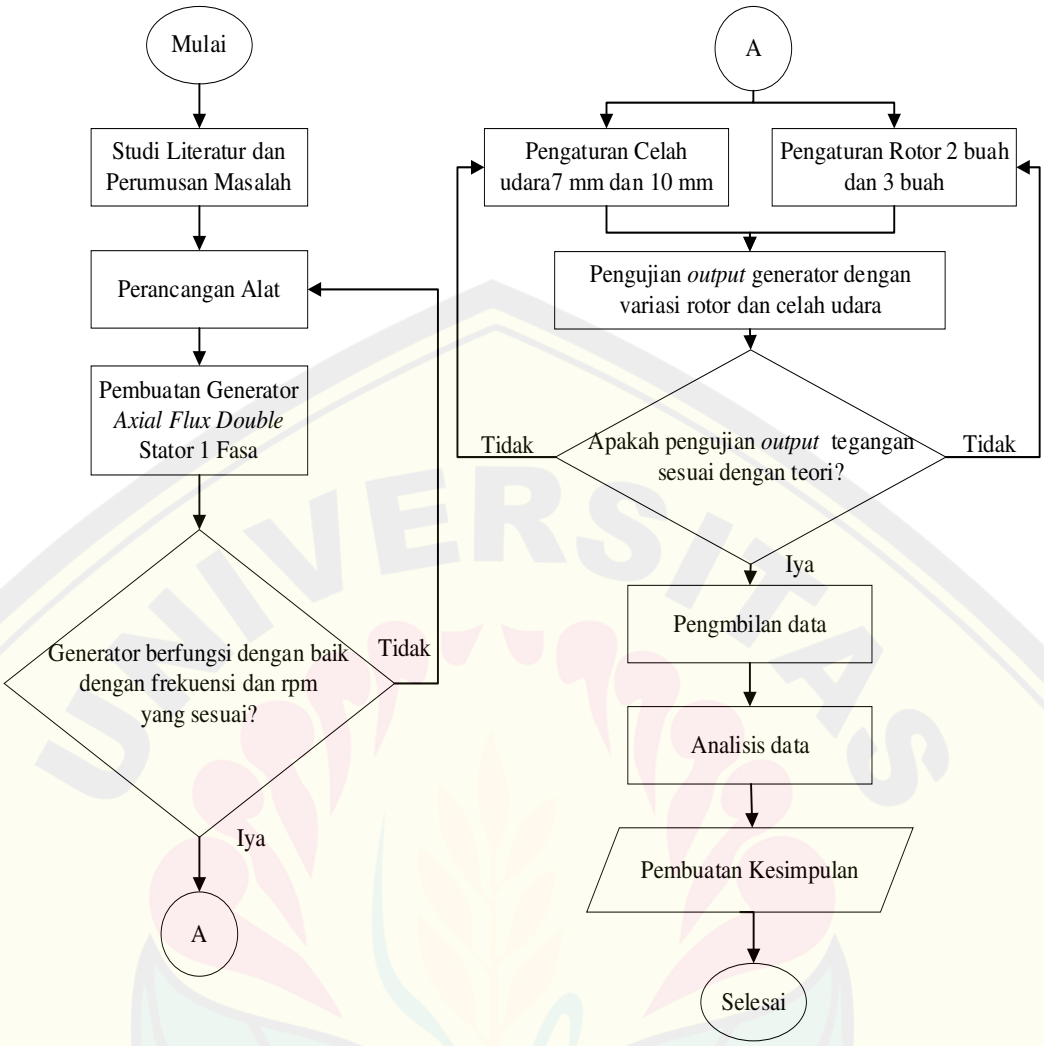
1. Perangkat lunak *Corel Draw* 2021, software ini digunakan untuk perencanaan dan desain bentuk stator serta rotor dalam dua dimensi (2D) agar dapat dibentuk presisi mungkin.
2. SketchUp 2021, digunakan untuk desain konstruksi atau bentuk generator *axial flux* dalam tiga dimensi (3D).
3. Microsoft Excel 2021, yaitu digunakan dalam proses analisis data hasil pengujian berupa pembuatan grafik karakteristik generator *type axial flux.*

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam perancangan generator *axial flux double* stator dengan variasi rotor dan celah udara, tahapan tersebut dijelaskan pada *flowchart* yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut:

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 3.1 *Flowchart* tahapan penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian, perancangan dan pembuatan generator *axial flux double* stator dengan variasi rotor dan celah udara adalah:

1. Studi literatur dan perumusan masalah

Tahapan penelitian pertama yaitu melakukan studi literatur dengan mengumpulkan informasi dari buku, jurnal, artikel, *website* dan sebagainya yang dapat menunjang dalam penelitian dan dapat dikembangkan sehingga mendapatkan hasil penelitian yang lebih maksimal. Berdasarkan studi literatur tersebut maka akan didapatkan rumusan masalah yang nantinya dapat dijadikan sebagai sebuah penelitian.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

2. Perancangan alat

Tahap selanjutnya yaitu perancangan alat yang terdiri dari penentuan konstruksi, spesifikasi generator dan juga jenis fasa yang akan diteliti. Selain itu, juga dilakukan penentuan jumlah dan jenis magnet permanen, jumlah kumparan (*coil*) dan jumlah lilitan tiap kumparan serta jenis kawat dan ukuran kawat *email* yang akan digunakan. Setelah menentukan perancangan konstruksi dan spesifikasi generator yang akan dibuat, selanjutnya membuat desain stator dan rotor dalam bentuk dua dimensi (2D) untuk mempermudah dalam pencetakan alat menggunakan *software corel draw 2021* dan juga membuat desain generator dalam bentuk tiga dimensi menggunakan *software SketchUp* 2021. Berikut merupakan tahap perancangan alat yang akan dibuat:

a. Menentukan besar frekuensi

Dalam menentukan jumlah frekuensi yang dihasilkan oleh generator dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.1 berikut.

$$f = \frac{N \, x \, p}{120} \quad (3.1)$$

dimana:

f : Frekuensi (Hz)

N : Kecepatan putar rotor (rpm)

p : Jumlah pole magnet

kecepatan rotor yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm dengan jumlah kutub magnet sebanyak 9 pasang pada setiap rotornya. Sehingga, semakin besar kecepatan generator yang digunakan akan berpengaruh terhadap nilai frekuensinya.

b. Menentukan *flux* magnet

Dalam menentukan *flux* magnet perlu dilakukan beberapa Langkah diantaranya menentukan terlebih dahulu nilai medan magnet maksimum. Dimana, untuk mendapatkan nilai dari medan magnet dengan mengetahui tinggi medan magnet dan celah udara yang akan digunakan. Celah udara yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 2 variasi celah udara yaitu 7 mm dan 10 mm. kuat medan magnet dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

$B_{max} = B_r \times \frac{Im}{Im + \delta}$ .....(3.2)

dimana:

B_{max} :kerapatan *flux* magnet maksimum (T)

B_r : Densitas *flux* magnet (T)

l_m : Tinggi magnet (m)

δ : Lebar celah udara (m)

Untuk mencari nilai densitas magnet (Br) dapat dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan Gaussmeter. Dimana, lebar magnet yang digunakan sebesar 0,015 m dengan tinggi magnet 0,005 m. sedangkan untuk mencari luas magnet dapat menggunakan persamaan berikut.

$A_{magnet} = \pi \times r^2$ .....(3.3)

dimana:

A_{magn}: luasan medan magnet (m2)

r : jari-jari magnet (m)

π : 3.14

Magnet yang digunakan pada penelitian ini menggunakan magnet dengan jari-jari 0,0075 m sehingga didapatkan luas magnet sebesar 0,000176625m$^{2.}$ Setelah mengetahui nilai medan magnet dan luas magnet, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan *flux* magnet dengan menggunakan persamaan berikut.

$\Phi_{max} = B_{max} \times A_{magnet}$.....(3.4)

dimana:

Φ_{max} : *flux* maksimum magnet (Wb)

A_{magn}: luasan medan magnet (m^2)

B_{max} : kerapatan medan magnet maksimum (T)

3. Pembuatan generator *Axial flux* Double Stator 1 Fasa

Setelah mendesain generator, maka selanjutnya desain 2D tersebut digunakan untuk mencetak rotor dan stator dengan bahan konstruksi menggunakan akrilik. Pada rotor diberi magnet pada setiap lubang yang telah dicetak sedangkan pada stator dipasang kumparan (*coil*) dengan bantuan mur dan baut sebagai penahan. Kumparan dibuat dengan menggulung kawat *email* menggunakan alat

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

penggulung sesuai dengan jumlah lilitan yang akan digunakan. Setelah rotor dan stator terbentuk, maka dilakukan penggabungan antar keduanya sesuai dengan konstruksi yang akan dibuat pada penelitian ini.

4. Pengujian *output* generator

Pada tahap ini *output* generator yang diinginkan diharapkan menghasilkan tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan kecepatan putar rotor yang ditentukan. Generator dikatakan bekerja dengan baik apabila *output* frekuensi yang dihasilkan oleh generator sesuai dengan input kecepatan rotor yang diberikan sehingga dapat dikatakan bahwa *output* generator telah sesuai dengan parameter yang mempengaruhi berdasarkan teori matematis dengan perhitungan.

5. Pengujian performa generator *Axial flux Double* Stator 1 Fasa dengan variasi rotor dan celah udara

Pada tahap ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi rotor dan celah udara terhadap tegangan, arus, frekuensi dan daya *output* generator. Pada penelitian ini variasi rotor yang akan diuji yaitu 2 buah, dan 3 buah dengan variasi celah udara sebesar 7 mm dan 10 mm. penggunaan variasi rotor dan variasi celah udara diharapkan dapat mengetahui performa dari generator *axial flux.*

Pengujian dengan variasi rotor dan variasi celah udara dilakukan dengan dua kondisi yaitu tanpa beban dan menggunakan beban LED yang dihubungkan hubungan seri sesuai dengan *output* generator yang dihasilkan. Dimana sebelum dihubungkan dengan beban pada *output* generator dihubungkan dengan *rectifier* sehingga tegangan yang dihasilkan menjadi tegangan DC. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat *drop* tegangan yang dihasilkan oleh *generator axial flux.* Pada pengujian ini menggunakan beberapa alat ukur seperti teslameter untuk mengukur besarnya nilai densitas magnet, tachometer untuk mengukur kecepatan putar rotor, multimeter untuk mengukur tegangan dan arus *output* generator *axial flux* dan osiloskop untuk mengetahui nilai frekuensi dan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh generator *axial flux*.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

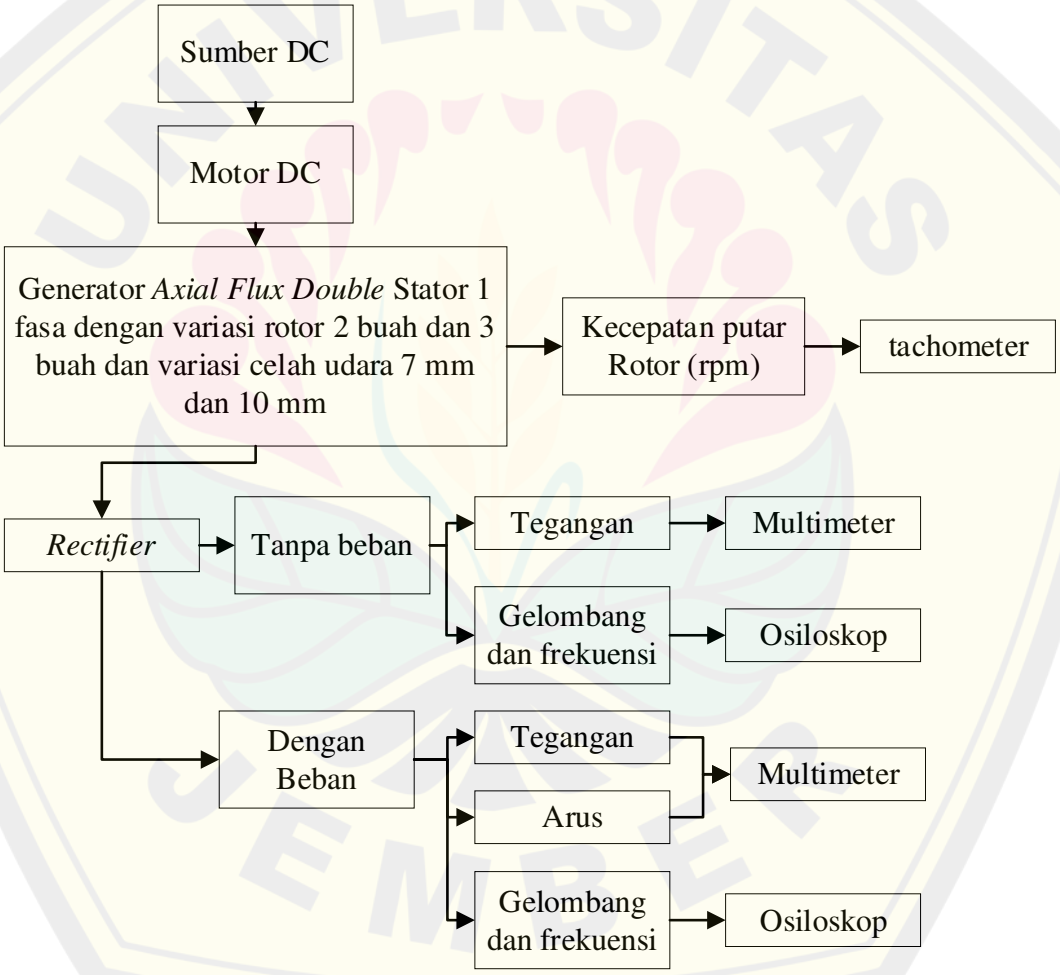
6. Analisis data

Analisis data ini bertujuan untuk mengetahui performa generator 1 fasa *axial flux double* stator dengan variasi rotor dan celah udara pada kondisi tanpa beban dan dengan beban LED.

7. Pembuatan Kesimpulan

Pada tahap ini merupakan tahap terakhir yaitu pembuatan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Pada tahap ini juga dapat memberikan saran untuk perbaikan dan pengembangan pada penelitian selanjutnya.

3.4 Blok Diagram Penelitian



Gambar 3.2 Blok Diagram

Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada gambar 3.2 Blok Diagram. Energi yang digunakan untuk memutar motor DC menggunakan bantuan

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

power supply sebagai sumber DC nya. Dari putaran motor DC tersebut yang digunakan untuk memutar rotor dari generator *axial flux double* stator 1 fasa. Dimana, pada pengujian ini menggunakan dua konstruksi yaitu dengan variasi rotor 2 buah dan 3 buah yang dikombinasikan dengan variasi celah udara 7 mm dan 10 mm. selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan putar rotor generator dalam satuan radian per menit (rpm) dengan menggunakan tachometer. Pada pengujian tanpa beban hanya dapat dilakukan pengukuran tegangan, frekuensi dan bentuk gelombang dengan menggunakan multimeter dan osiloskop. Pada pengujian yang kedua yaitu dengan menggunakan beban, pengujian beban menggunakan LED dengan spesifikasi tegangan 3 V kemudian dilanjutkan dengan pengukuran arus, tegangan dan frekuensi dengan menggunakan multimeter dan osiloskop. Beban yang digunakan pada penelitian ini dengan dihubungkan hubungan seri sesuai dengan tegangan *output* generator yang dihasilkan,

Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa kecepatan putar rotor dimulai dari 500 rpm hingga 2000 rpm. Adapun parameter ideal yang ingin dicapai dari pengujian ini adalah frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan kecepatan putar rotor, adanya perbedaan tegangan karena variasi rotor dan variasi celah udara. Kedua, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator ketika diberi beban sesuai dengan perhitungan matematis dimana berdasarkan teori dari persamaan rangkaian ekivalen generator, *drop* tegangan yang dihasilkan memiliki persentase *error* (E%) tidak lebih dari 20 % karena jika melebihi maka alat tersebut tidak memenuhi standar atau dapat dikatakan masih perlu perbaikan.

3.5 Desain Alat

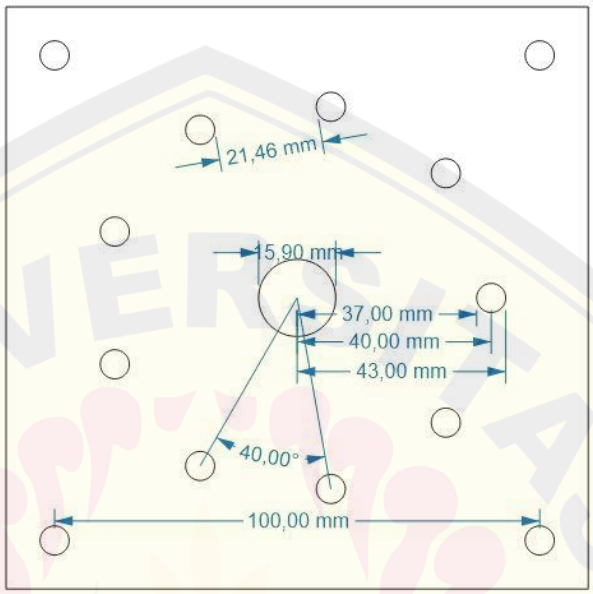
3.5.1 Desain konstruksi stator

Pada generator 1 fasa *axial flux double stator* yang akan dibuat, menggunakan dua buah *side* stator yang terdiri dari 9 buah kumparan (*coil*) yang duhubungkan secara seri dengan jumlah lilitan sebanyak 300 dengan kawat *email* berdiameter 0,4 mm dan dililitkan pada *spull* jahit dengan diameter 2 cm dengan tinggi 1 cm.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Spull jahit yang telah dililit dengan kawat *email* kemudian diletakkan pada permukaan akrilik sebagai kerangka stator dengan tebal 5 mm menggunakan mur dan baut sebagai penahan kumparan (*coil*). Bentuk desain akrilik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 desain dua dimensi (2D) kerangka stator

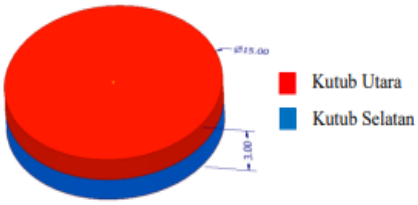
Jumlah kumparan (*coil*) yang digunakan sebanyak 9 buah yang disusun secara melingkar pada bagian *stator*, sehingga setiap kumparan (*coil*) memiliki jarak sudut sebesar 40°. Dengan demikian, generator *axial flux double* stator 1 fasa ini memungkinkan untuk digunakan sebagai generator 3 fasa dengan masing-masing fasa memiliki 3 buah kumparan (*coil*) yang memiliki beda fase sebesar 120° sehingga memiliki 4 buah *output* dari generator tersebut.

3.5.2 Desain Konstruksi Rotor

Pada generator 1 fasa *axial flux double* stator, rotor yang digunakan menggunakan divariasikan dengan setiap rotor terdiri dari 9 buah magnet permanen *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) silinder ber diameter 15 mm dengan tebal 5 mm. bentuk magnet *Neodymium* dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.

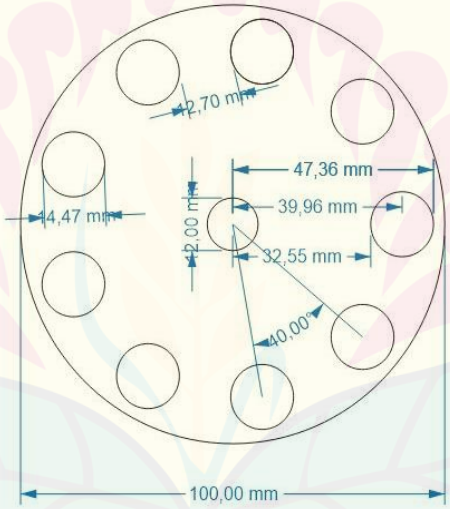
DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

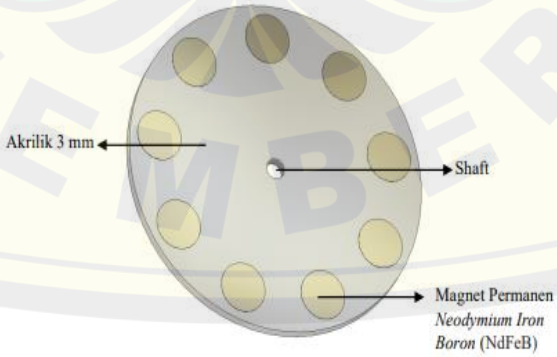


Gambar 3.4 magnet permanen *Neodymium Iron Boron* (NdFeB)

Magnet permanen *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) diletakkan pada sebuah kerangka rotor secara melingkar dengan sudut setiap magnet sebesar 40° dengan magnet permanen yang lain. Kemudian, titik tengah magnet pada rotor disejajarkan dengan titik tengah kumparan pada stator agar memaksimalkan medan magnet. Bentuk desain rotor dalam bentuk dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) dapat dilihat pada gambar 3.5 dan 3.6 berikut.



Gambar 3.5 desain dua dimensi (2D) kerangka rotor



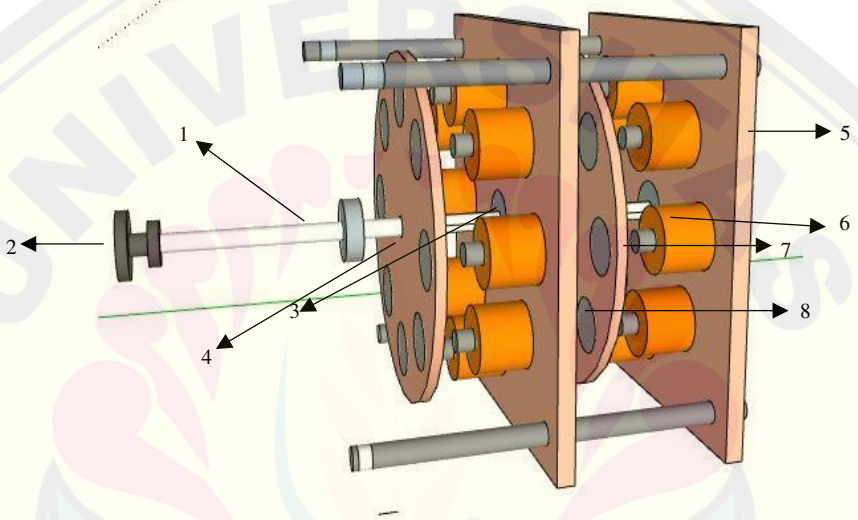
Gambar 3.6 desain tiga dimensi (3D) kerangka rotor

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

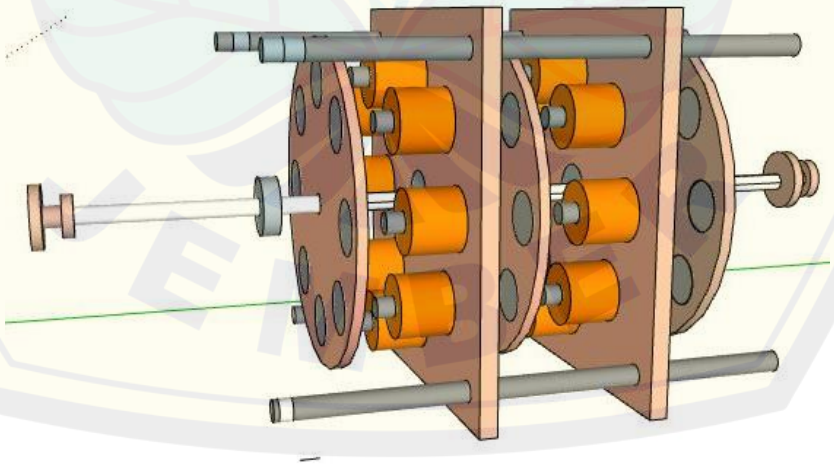
DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

3.5.3 Desain generator *axial flux double* stator 1 fasa

Berdasarkan desain stator dan rotor yang telah dilakukan, maka stator dan rotor akan digabungkan membentuk sebuah generator *axial flux* double stator dengan variasi rotor sehingga terdapat 2 konstruksi pada penelitian ini. Pada setiap konstruksi diberikan penambahan rotor 2 buah dan 3 buah. Berikut merupakan gambar desain tiga dimensi (3D) dari generator *axial flux* double stator dengan variasi rotor yang akan dibuat.



Gambar 3.7 desain generator *axial flux double* stator dan *double* rotor



Gambar 3.8 desain generator *axial flux double* stator dan *triple* rotor

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Pada gambar gambar 3. 7 merupakan komponen penyusun dari generator *axial flux double* 1 fasa. Berikut merupakan keterangan dari komponen yang digunakan:

1. *Shaft*

Shaft merupakan bagian yang paling penting sebagai penopang rotor yang berputar dengan Panjang 10 cm dan diameter 5 mm menyesuaikan dengan diameter lingkar *bearing*.

2. *Pulley*

Pulley merupakan bagian yang digunakan sebagai penghubung antara motor DC sebagai *prime mover* ke generator menggunakan sebuah *belt* jenis GT2 *timing* 400 mm yang disesuaikan dengan *timing pulley* 2GT 15 *teeth bore* 5 mm.

3. *Bearing*

Bearing merupakan bagian yang digunakan untuk menjaga poros bisa berputar melewati stator. Bearing yang digunakan memiliki diameter luar 16 mm dan diameter dalam 5 mm.

4. Inti besi

Inti besi digunakan sebagai penahan sekaligus sebagai penghantar *flux* magnet pada setiap kumparan. Induksi yang dihasilkan pada inti kumparan akan menghasilkan arah kutub pada kumparan. Dimana, kutub utara kumparan akan berhadapan dengan kutub selatan magnet begitupun sebaliknya.

5. Stator

Stator pada penelitian ini menggunakan 9 buah kumparan pada tiap statornya yang dihubungkan secara seri sehingga dihasilkan dua terminal *output* yaitu fasa dan netral

6. Kumparan (*coil*)

Kumparan berisi gulungan kawat *email* berdiameter 0,4 mm sebanyak 300 lilitan. Kawat email dililitkan pada sebuah *spull* jahit dengan diameter 2 cm dan tebal 1 cm.

7. Rotor

Rotor pada generator *axial flux* 1 fasa menggunakan magnet *Neodymium.* Magnet dipasang pada permukaan rotor sehingga magnet menyatu dengan

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

permukaan magnet. Pada penelitian ini rotor dijadikan variasi sehingga rotor yang digunakan berbeda beda.

8. Celah udara

Celah udara merupakan jarak antara magnet pada rotor dengan kumparan (*coil*) pada stator. Dimana, celah udara yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 7 mm dan 10 mm.

3.6 Metode pengambilan data

3.6.1 Pengujian Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa

Pada penelitian ini, dilakukan pengumpulan data dengan menguji generator *axial flux double* stator 1 fasa dengan variasi rotor 2 buah dan 3 buah dan variasi celah udara 7 mm dan 10 mm. dari kedua parameter tersebut akan dilakukan pengujian dengan dua kondisi diantaranya, sebagai berikut.

1. Pengujian tanpa beban

Pada pengujian tanpa beban dilakukan dengan variasi rotor 2 buah dan 3 buah yang divariasikan dengan celah udara 7 mm dan 10 mm. Dimana, pada pengujian ini digunakan untuk mengetahui pengaruh banyaknya rotor dan celah udara terhadap *output* tegangan, frekuensi, dan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh generator. Kemudian pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa kecepatan tertentu yaitu kecepatan 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm.

2. Pengujian dengan beban

Pengujian yang kedua yaitu dengan menggunakan beban LED yang dikombinasikan hubungan seri sesuai dengan tegangan *output* dari setiap jenis konstruksi generator *axial flux double* stator 1 fasa yang dihasilkan. Dengan pengujian ini, akan didapatkan nilai tegangan, arus, frekuensi, daya dan torsi pada variasi rotor dan variasi celah udara yang telah ditentukan.

3.6.2 Perhitungan

1. *Flux* magnet tiap rotor

Untuk mengetahui *flux* magnet tiap rotor yang dihasilkan oleh generator dapat menggunakan persamaan 3.5 berikut.

$\Phi_{max/rotor} = \Phi_{max} \times N_{magnet}$ ..... (3.5)

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

dimana:

$\Phi_{max/rotor}$: *flux* maksimum magnet tiap rotor (Wb)

Φ_{max} : *flux* maksimum magnet (Wb)

N_{magnet} : jumlah magnet

2. Tegangan Keluaran Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa

Adanya perpotongan garis gaya medan magnet dengan bidang normal kumparan akibat perubahan sudut Ketika berputarnya rotor sehingga menimbulkan tegangan induksi, dapat dirumuskan pada persamaan 3.6 berikut:

$$E_a = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot N \cdot \Phi \max \cdot \frac{Ns}{Nph} \quad (3.6)$$

dimana:

Ea : tegangan efektif induksi generator (V)

f : frekuensi (Hz)

N : jumlah lilitan

Φ_{max} : *flux* maksimum magnet (Wb)

N_s : jumlah kumparan

N_{ph} : jumlah fasa

Berdasarkan rangkaian ekivalen generator pada saat generator dihubungkan dengan beban, dimana tegangan efektif keluaran generator *axial flux* satu fasa dipengaruhi oleh arus, resistansi dan reaktansi induktif stator pada persamaan 3.7 berikut:

$$V = E_a - I.\ Z \quad (3.7)$$

Dimana:

V : tegangan efektif *output* generator (V)

Ea : tegangan efektif induksi generator (V)

I : arus (A)

Z : impedansi (Ω)

Nilai impedansi didapatkan dengan menggunakan rumus hubungan antara resistansi dan induktansi relatif pada persamaan 3.8 dan 3.9 berikut:

$$Z = \sqrt{R^2 + Xl^2} \quad (3.8)$$

$$X_l = 2\pi.\ f.\ L \quad (3.9)$$

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

dimana:

Z : impedansi (Ω)

R : resistansi (Ω)

XL : reaktansi induktif (Ω)

L : induktansi (H)

3. Daya Keluaran AC Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa

Besarnya daya keluaran AC yang dihasilkan oleh generator *axial flux double* stator 1 fasa dapat diperoleh dari persamaan 3.10 berikut:

$P_{AC} = V_{AC}.I_{AC}$ ..... (3.10)

dimana:

P_{AC} : daya *output* AC generator (W)

V_{AC} : tegangan *output* AC (V)

I_{AC} : arus *output* AC (A)

4. Tegangan Maksimum Keluaran Dioda *Full Bridge Rectifier*

Besarnya tegangan maksimum yang dihasilkan dioda dapat diperoleh pada persamaan 3.11 berikut:

$Vm_{out} = vm_{AC} - (2 \times V_D)$ ..... (3.11)

Dimana:

Vm_{out}: Tegangan maksimum *output* full bridge rectifier (V)

Vm_{Ac} : Tegangan maksimum AC (V)

V_D : Tegangan *forward* dioda (V)

5. Tegangan DC *Output* Rata-Rata Dioda

Tegangan DC rata-rata yang dihasilkan dari dioda *full bridge rectifier* dapat diperoleh dari persamaan 3.12 berikut:

$V_{avg} = \frac{2Vmout}{\pi}$ ..... (3.12)

dimana:

V_{avg} : Tegangan *output* rata-rata tanpa filter (V)

V_{mout} : Tegangan maksimum *output* full bridge rectifier (V)

π : 3.14

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

6. Torsi Putar Rotor

Besar torsi putar rotor yang dihasilkan pada generator dapat diperoleh dari hubungan daya dan kecepatan putar rotor pada persamaan 3.13 berikut:

$$\tau = \frac{P}{2\pi\frac{n}{60}} \quad (3.13)$$

dimana :

τ : Torsi (Nm)

P : Daya *output* generator (W)

n : Kecepatan putar (rpm)

7. *Error* persen

Perhitungan *error* persen diperlukan untuk mengetahui keakuratan data yang diambil (diukur) dengan hasil perhitungan. Perhitungan *error* persen dapat dirumuskan pada persamaan 3.14 berikut:

$$Error\ Percent = \left|\frac{data\ teori - data\ ukur}{data\ teori}\right| \times 100\% \quad (3.14)$$

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dibahas mengenai hasil perancangan dan pengujian mengenai pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux double* stator 1 fasa menggunakan magnet *neodymium iron boron* (NdFeB) silinder dengan kutub berlawanan. Dimana, pengujian dilakukan dengan memberikan variasi jumlah rotor sebanyak 2 buah dan 3 buah dengan variasi celah udara sebesar 7 mm dan 10 mm. pada generator *axial flux* ini terdiri dari 2 buah cakram stator dengan jumlah rotor yang bervariasi, Adapun jumlah kumparan yang digunakan pada masing-masing stator sebanyak 9 buah, sehingga jumlah kumparan total sebanyak 18 buah dengan jumlah lilitan di setiap kumparan sebanyak 300 lilitan. Adapun pembahasan pada bab ini berfokus pada analisis pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux double* stator berupa tegangan, arus, daya dan torsi serta hubungan antara jumlah rotor dan celah udara terhadap *flux* yang dihasilkan. Adapun pengujian yang akan dilakukan dalam dua kondisi yaitu pada saat generator tanpa beban dan pada saat generator berbeban LED. Pada saat kondisi tanpa beban parameter yang akan dicari yaitu berupa tegangan AC dan Tegangan DC, kemudian pada saat kondisi dengan beban LED keluaran dari generator dihubungkan dengan *rectifier* sehingga keluaran dari dioda menjadi tegangan DC, dimana parameter yang akan dicari pada kondisi dengan beban yaitu tegangan AC, tegangan DC, arus AC, arus DC, daya dan torsi yang dihasilkan generator.

4.1 Spesifikasi Perancangan Generator *Axial Flux Double* Stator

Pada perancangan generator *axial flux double* stator 1 fasa sebagaimana telah dijelaskan pada sub bab 3.5 mengenai desain dan perancangan generator *axial flux double* stator 1 fasa dimana bagian-bagian penting generator terdiri dari stator dan rotor serta bagian pendukung lainnya, dimana diketahui spesifikasi generator yang akan dibuat pada tabel 4.1 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

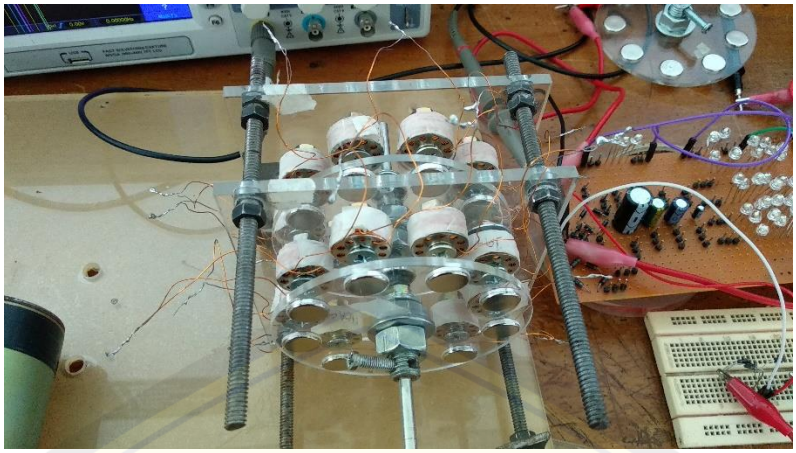
Tabel 4.1 Data Spesifikasi perancangan Generator *Axial Flux Double* Stator

Parameter	**Simbol**	**Nilai**
Jumlah fasa	Nph	1 fasa
Densitas *flux* magnet	B_r	0,0027 T
Dimensi magnet	r	7.5 mm
	t	5 mm
Diameter rotor	D	10 cm
Jumlah stator		2 stator
Jumlah rotor		2 dan 3 rotor
Jumlah kumparan	Ns	9 kumparan
Jumlah lilitan per kumparan	N	300 lilitan
Radius luar magnet	r_i	4,73 cm
Radius dalam magnet	r_0	3,25 cm
Jarak antar magnet	T_f	1,27 cm
Jumlah magnet	Nm	9 magnet
Ukuran stator	p	12 cm
	l	12 cm
Inti besi		Ya
Diameter kawat email		0,4 mm
Resistansi Kumparan	Ra	36,1 Ω
Induktansi Kumparan	Xa	24,9 mH

Pada perancangan generator *axial flux double* stator menggunakan kawat email dengan diameter 0,4 mm. dimana pada masing-masing stator terdiri dari 9 kumparan yang dihubungkan secara seri untuk memaksimalkan tegangan keluaran generator, pada rotor terdiri dari 9 buah kutub magnet permanen dengan jenis *Neodymium Iron boron* (NdFeB) dengan susunan kutub berlawanan (N-S). pada stator menggunakan inti besi untuk memaksimalkan *flux* magnet yang berasal dari putaran rotor. Konstruksi generator *axial flux double* stator dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.

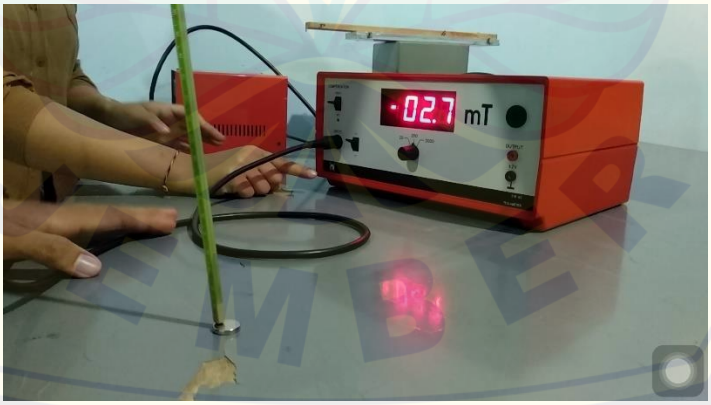
DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 4.1 Generator *axial flux double* stator

Desain yang digunakan pada rotor yaitu *embedded* dimana magnet berada di dalam rotor sehingga permukaan rotor menjadi rata karena magnet menyatu dengan rotor. Dengan menggunakan tipe magnet permanen maka untuk membangkitkan medan magnet tidak memerlukan arus eksitasi DC. Untuk mengetahui kuat medan magnet yang dihasilkan magnet *Neodymium Iron Boron Magnet* (NdFeB) diperlukan pengukuran densitas *flux* magnet terlebih dahulu dengan menggunakan alat gauss meter yang diukur pada lab fakultas MIPA Universitas Jember. Berdasarkan pengukuran didapatkan densitas *flux* magnet *Neodymium Iron Boron Magnet* (NdFeB) tipe N52 dengan diameter 15 mm dan tebal 5mm sebesar 2,7 mT. dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



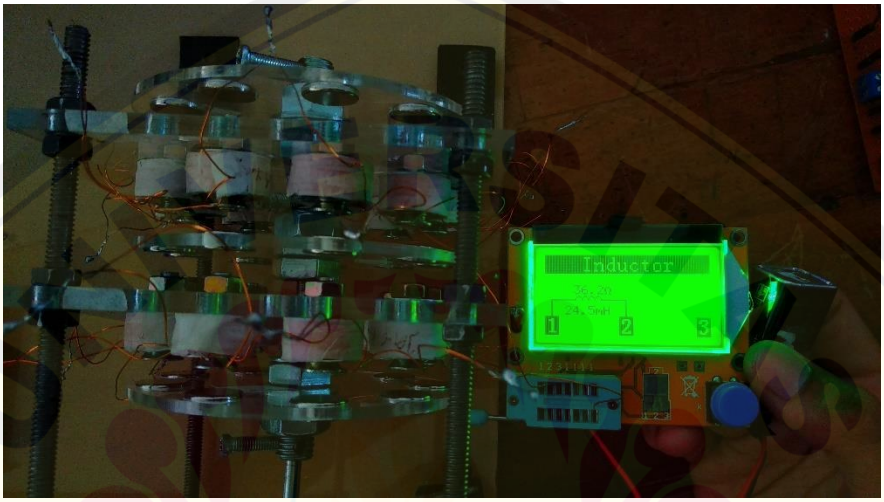
Gambar 4.2 Pengukuran densitas *flux* magnet *Neodymium Iron Boron* (NdFeB)

Pada saat pengujian menggunakan beban, diperlukan adanya pengukuran terhadap resistansi dan induktansi kumparan. Dimana setiap jenis, Panjang dan luas

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

penampang kawat email akan mempengaruhi nilai dari resistansi dan induktansi kumparan dari generator *axial flux*. Kawat email yang digunakan berdiameter 0,4 mm dengan jumlah lilitan tiap kumparan sebanyak 300 lilitan, sehingga didapatkan nilai resistansi kumparan (Ra) sebesar 36,2 Ω dan nilai induktansi rekatif kumparan (Xa) sebesar 24,5 mH dengan menggunakan alat ukur LCR meter, dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 pengukuran resistansi dan induktansi kumparan dengan LCRmeter

Setelah menentukan nilai densitas *flux* magnet, resistansi dan induktansi kumparan, maka dapat menentukan nilai dari *flux* maksimum magnet dengan menggunakan persamaan 3.4 dengan variasi jumlah rotor dan celah udara didapatkan *flux* maksimum magnet pada celah udara 7 mm sebesar 1,98703 x 10^{-7} Wb dan pada celah udara 10 mm sebesar 1,58963 x 10^{-7} Wb. Dalam melakukan pengujian pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux double* stator 1 fasa, dimana generator dihubungkan pada sebuah *prime mover* berupa motor DC untuk menghasilkan kecepatan putar yang ditentukan dengan bantuan *power supply* sebagai pengatur tegangan input motor DC kemudian untuk menghubungkan motor DC dengan generator dengan menggunakan bantuan *vanbelt.* Spesifikasi motor DC yang digunakan pada table 4.2 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 4.2 Spesifikasi Motor DC

Parameter	Simbol
Jenis motor	Motor DC
Tipe motor	Tipe NISCA NC5475C
Tegangan	24V DC
RPM (tanpa beban)	3600 rpm
Panjang Motor	75 mm
Diameter Motor	50 mm
Diameter Shaft	5 mm

Generator *axial flux* yang sudah dirancang akan dikopel dengan motor dc dengan kecepatan maksimal sebesar 3600 rpm. Dimana pada pengujian yang akan dilakukan menggunakan variasi kecepatan 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm untuk mengetahui pengaruh dari jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux double* stator 1 fasa.

4.2 Pengujian Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Dengan Variasi Jumlah Rotor Dan Celah Udara

Pengujian untuk mengetahui pengaruh dari jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux double* stator 1 fasa dilakukan dengan variasi jumlah rotor sebanyak dua buah dan tiga buah rotor kemudian variasi celah udara 7 mm dan 10 mm. Dimana, pada setiap variasi tersebut generator diuji dengan beberapa kondisi yaitu pada saat kondisi tanpa beban dan dengan kondisi berbeban. Pada saat kondisi tanpa beban, diberikan beberapa kecepatan putar rotor sebesar 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm untuk mengetahui nilai frekuensi dan tegangan (Voc) yang dihasilkan oleh generator pada saat tanpa beban dengan memvariasikan jumlah rotor dan celah udara pada saat pengujian. Kemudian pada saat kondisi berbeban diberikan kecepatan yang sama yaitu sebesar 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm, generator akan dihubungkan dengan *rectifier* dan kemudian dihubungkan dengan beban berupa LED yang dirangkai secara seri untuk mengetahui nilai tegangan AC (V_{AC}), tegangan DC (V_{DC}), arus AC (I_{AC}), arus DC(I_{DC}). Dengan adanya nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

maka akan dapat dihitung nilai dari daya dan torsi yang dihasilkan oleh generator *axial flux double* stator 1 fasa.

4.2.1 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 2 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 7 Mm

Pengujian menggunakan konstruksi 2 buah rotor dan 2 buah stator dengan celah udara sebesar 7 mm dilakukan dengan dua kondisi yaitu pada kondisi tanpa beban dan dengan kondisi berbeban untuk mengetahui nilai tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Pada saat tanpa beban, generator hanya dihubungkan dengan dioda untuk mengetahui nilai tegangan AC dan tegangan DC yang dihasilkan. Data hasil pengujian pada saat tanpa beban dengan konstruksi 2 rotor dan celah udara 7 mm dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Tanpa Beban Konstruksi 2 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 7 Mm

kecepatan (rpm)	**$V_{OC\ AC}$ (V)**	**$V_{OC\ DC}$ (V)**	**Frekuensi (Hz)**
500	3,277	2,01	75,47
1000	6,33	4,8	150,1
1500	9,22	7,61	225,7
2000	11,76	11,17	300,3

Berdasarkan tabel data hasil pengujian diatas, dapat diketahui bahwa frekuensi yang dihasilkan generator mengalami mengalami kenaikan sebanding dengan besarnya kenaikan kecepatan putar rotor. Dimana frekuensi terendah yaitu 75,47 Hz dihasilkan pada saat kecepatan rendah 500 rpm dan frekuensi tertinggi yaitu 300,3 Hz dihasilkan pada saat kecepatan putar rotor tertinggi 2000 rpm. Sehingga dapat dirumuskan bahwa semakin besar kecepatan putar rotor semakin besar juga nilai frekuensi yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2.6).

Pada saat kondisi tanpa beban, tegangan luaran yang dihasilkan oleh generator sama dengan tegangan induksi yang dibangkitkan generator (E_a). Hal ini disebabkan karena generator *axial flux double* stator dalam keadaan rangkaian terbuka (*open circuit),* sehingga tidak ada arus yang mengalir dan tidak adanya rugi-

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

rugi kumparan yang dibangkitkan maka tidak terjadi *drop* tegangan pada tegangan induksi generator. Nilai tegangan keluaran AC ($V_{OC\ AC}$) tertinggi terjadi pada saat kecepatan 2000 rpm sebesar 11,76 Volt dan Nilai tegangan keluaran DC ($V_{OC\ DC}$) tertinggi terjadi pada saat kecepatan 2000 rpm sebesar 11,17 Volt seiring dengan semakin besarnya frekuensi yang dihasilkan generator.

Pengujian kedua pada saat kondisi berbeban. Dimana, pada pengujian yang dilakukan menggunakan kecepatan yang sama pada saat pengujian tanpa beban yaitu 500 rpm hingga 2000 rpm. Adapun beban yang digunakan pada pengujian adalah beban LED berwarna putih dengan tegangan 3 V yang dihubungkan secara seri. Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm

kecepatan (rpm)	**V_{AC} (V)**	**V_{DC} (V)**	**I_{AC} (A)**	**I_{DC} (mA)**	**Frekuensi (Hz)**
500	3,235	2,01	0,001	0,001	75,07
1000	6,24	4,76	0,002	0,001	150,6
1500	9,15	7,52	0,002	0,001	225,2
2000	11,48	10,77	1,22	1,24	300,3

Berdasarkan tabel data hasil pengujian pada kondisi dengan beban LED yang terhubung seri, dapat diketahui bahwa frekuensi yang dihasilkan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan dari kecepatan putar rotor. Kemudian, didapatkan luaran tegangan AC dan DC mengalami kenaikan seiring dengan semakin besarnya kecepatan putar rotor yang diberikan, dimana pada saat kecepatan putar 500 rpm menghasilkan tegangan AC (V_{AC}) sebesar 3,235 V dan tegangan DC (V_{DC}) sebesar 2,01 V jika dibandingkan dengan kecepatan putar 2000 rpm menghasilkan tegangan AC (V_{AC}) sebesar 11, 48 V dan tegangan DC (V_{DC}) sebesar 10,77 V.

Pada proses penyearahan tegangan AC menjadi tegangan DC gelombang penuh dengan menggunakan *full bridge rectifier.* Dimana, pada saat terjadi siklus

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

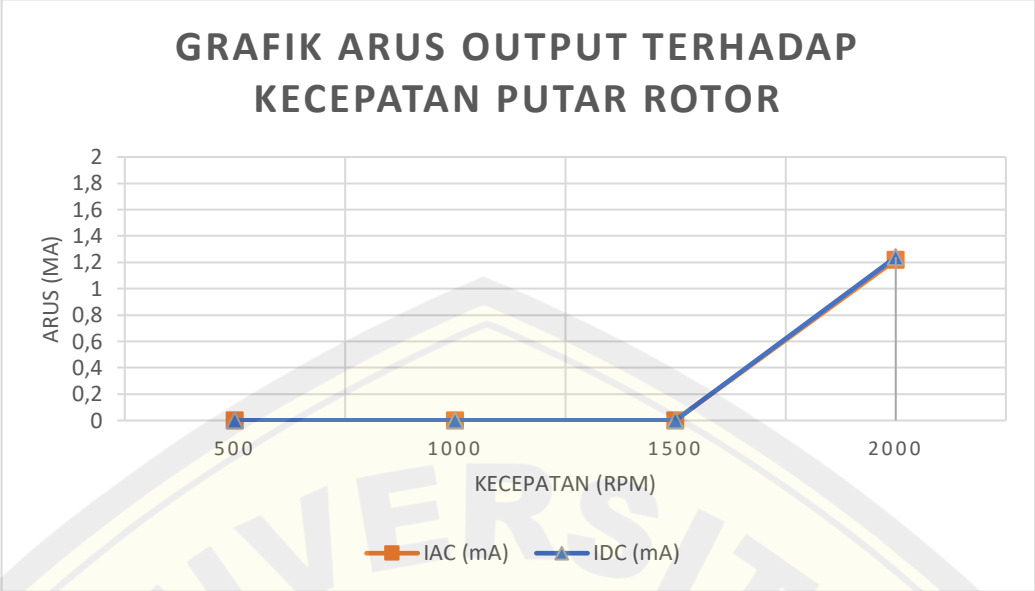
positif maupun negatif terdapat dua dioda pada *rectifier* tersebut mengalami bias maju, sehingga tegangan maksimum luaran AC yang dihasilkan oleh generator *axial flux* akan dikurangi dengan tegangan kerja dari dua dioda tersebut untuk mengetahui tegangan maksimum yang dihasilkan. Oleh karena itu, luaran tegangan DC yang dihasilkan oleh generator akan lebih kecil dibanding dengan luaran tegangan AC generator.

Pada kecepatan yang sama pada saat kondisi tanpa beban memiliki luaran tegangan AC dan DC yang lebih besar dibanding pada saat kondisi dengan beban yaitu pada kecepatan putar rotor 2000 rpm tanpa beban menghasilkan tegangan AC (V_{AC}) sebesar 11,76 V sedangkan pada saat kondisi dengan beban menghasilkan tegangan AC (V_{AC}) sebesar 11, 48 V. Dimana, kondisi tersebut disebut dengan *drop* tegangan, terjadinya *drop* tegangan tersebut dapat diakibatkan adanya rugi-rugi kumparan stator yang dibangkitkan adanya arus yang mengalir pada kumparan pada saat terminal luaran generator terhubung dengan beban LED. Dimana, semakin besar arus yang dibangkitkan, maka semakin besar juga terjadinya *drop* tegangan, pada saat kecepatan putar rotor 500 rpm arus AC (I_{AC}) yang terukur sebesar 0,001 mA dan arus DC (I_{DC}) yang terukur sebesar 0,001 mA terjadi *drop* tegangan sebesar 0,042 V, sedangkan pada saat kecepatan putar rotor 2000 rpm arus AC (I_{AC}) yang terukur sebesar 1,22 mA dan arus DC (I_{DC}) yang terukur sebesar 1,24 mA terjadi *drop* tegangan sebesar 0,28 V.

Pada kecepatan 500 rpm hingga 1500 rpm arus yang terukur sebesar 0,001 mA. Dimana, arus yang terukur sangat kecil atau dapat dikatakan bahwa tidak ada arus yang mengalir dan pada kecepatan putar 2000 rpm arus AC yang terukur sebesar 1,22 mA dan arus DC yang terukur sebesar 1,24 sehingga beban lampu LED menyala redup. Sebagaimana disajikan pada grafik gambar 4.4 berikut.

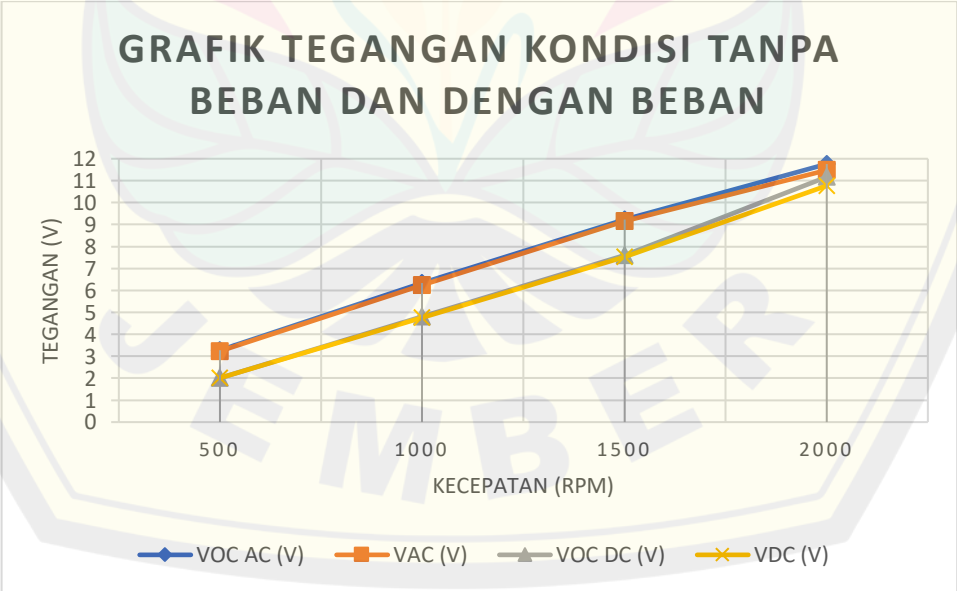
DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 4.4 Grafik arus *output* terhadap kecepatan putar rotor Konstruksi 2 Rotor 2 Stator Dan Celah Udara 7 mm

Dengan semakin besarnya kecepatan putar rotor yang diberikan akan dapat memenuhi tegangan *forward* LED sebesar 2,2 V pada satu beban. Dimana, pada saat tegangan keluaran generator memenuhi tegangan *forward* dari LED maka beban LED akan menyala sehingga arus dapat mengalir menuju beban.



Gambar 4.5 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa, pada saat kecepatan putar 500 rpm hingga 1500 rpm *drop* tegangan atau penurunan tegangan yang terjadi sangat dibanding pada saat kecepatan 2000 rpm yang memiliki *drop* tegangan yang lebih tinggi yaitu sebesar 0,28 V. Kemudian, terjadi perbedaan tegangan antara tegangan keluaran generator dengan Tegangan keluaran *rectifier* seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan keluaran *rectifier* diperoleh dari pengurangan tegangan AC dengan tegangan kerja dari dua dioda. Selain itu, tegangan hasil keluaran generator memiliki kenaikan seiring dengan semakin besar kecepatan putar rotor yang diberikan sesuai dengan persamaan tegangan (3.6) dimana tegangan dipengaruhi oleh besarnya kecepatan putar rotor yang diberikan.

4.2.2 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 7 Mm

Pengujian dilakukan dengan konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara sebesar 7 mm, sebagaimana pada pengujian sebelumnya dilakukan dalam dua kondisi yaitu pada kondisi tanpa beban dan dengan beban. Pengujian ini dilakukan dengan merubah konstruksi dari rotor yang awalnya terdapat 2 rotor sedangkan pada pengujian ini menggunakan 3 buah rotor. Data hasil pengujian pada saat tanpa beban disajikan pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Tanpa Beban Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 7 Mm

kecepatan (rpm)	**$V_{OC\ AC}$ (V)**	**$V_{OC\ DC}$ (V)**	**Frekuensi (Hz)**
500	4,86	3,42	75,18
1000	9,3	7,71	150,3
1500	13,13	11,68	225,2
2000	16,79	14,76	300,3

Berdasarkan data hasil pengujian, tegangan keluaran rangkaian terbuka (*open circuit*) yang dihasilkan baik AC maupun DC semakin besar seiring dengan semakin besarnya kecepatan putar rotor yang diberikan dan juga semakin besarnya

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

kecepatan putar rotor yang diberikan menghasilkan frekuensi yang semakin besar juga.

Pada pengujian diatas diketahui pada saat kecepatan putar rotor 500 rpm menghasilkan tegangan tanpa beban AC sebesar 4,86 V dan tegangan tanpa beban DC sebesar 3,42 V dengan frekuensi yang dihasilkan sebesar 75,18 Hz. Sehingga, untuk mendapatkan nilai frekuensi seperti pada industri sekitar 50 Hz hingga 60 Hz dapat dengan menggunakan kecepatan putar rotor sebesar 332,53 rpm hingga 400 rpm. Dimana, dengan konstruksi pemasangan kutub magnet yang searah maka dengan kecepatan kecil dapat menghasilkan frekuensi sebesar 50 Hz hingga 60 Hz yang dapat mempengaruhi besarnya torsi yang dihasilkan berdasarkan persamaan (3.13).

Pengujian yang kedua pada saat kondisi dengan beban dengan memberikan beban LED sebanyak 5 buah dengan tegangan sebesar 3 V pada setiap LED. Dengan kecepatan putar rotor yang sama pada pengujian sebelumnya yaitu dengan kecepatan 500 rpm hingga 2000 rpm. Data hasil pengujian kondisi dengan beban pada konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm disajikan pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm

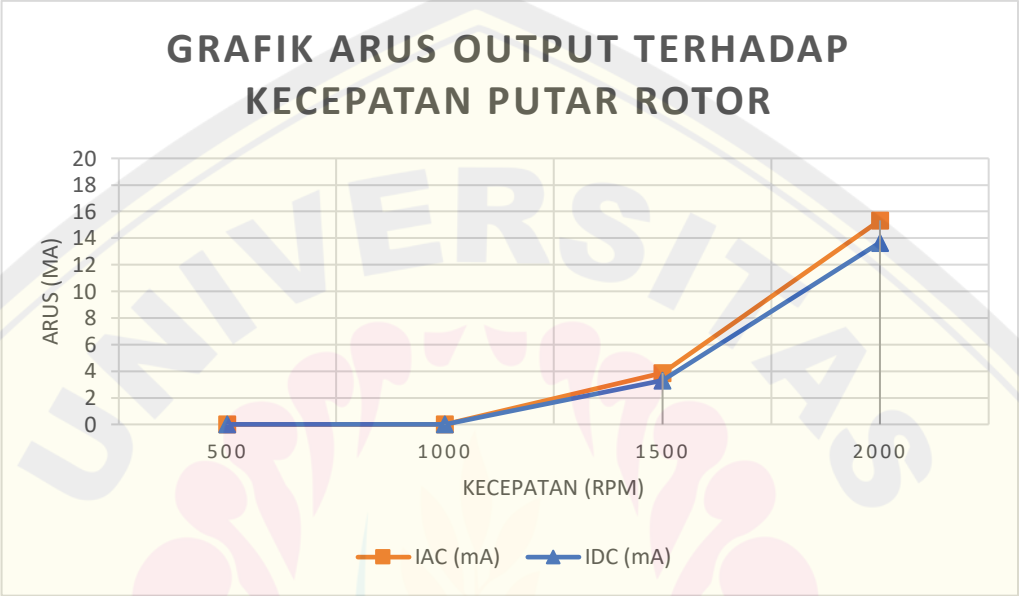
kecepatan (rpm)	**V_{AC} (V)**	**V_{DC} (V)**	**I_{AC} (mA)**	**I_{DC} (mA)**	**Frekuensi (Hz)**
500	4,78	3,41	0,001	0,001	75,87
1000	8,55	7,49	0,002	0,001	150,3
1500	12,55	11,64	3,86	3,32	225,2
2000	15,49	13,13	15,34	13,67	300,3

Berdasarkan pengujian diatas, dapat diketahui bahwa pada saat kecepatan putar rotor 500 rpm menghasilkan teganagn luaran AC sebesar 4,78 V dengan arus yang terukur sebesar 0,001 mA dimana mengalami *drop* tegangan sebesar 0,042 V dibanding dengan kecepatan putar rotor 2000 rpm menghasilkan tegangan luaran AC sebesar 15,49 V dengan arus yang terukur 15,34 mA dimana mengalami *drop*

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

tegangan sebesar 1,3 V. sehingga dapat dikatakan bahwa *drop* tegangan dipengaruhi oleh arus yang mengalir sehingga mengakibatkan adanya rugi-rugi kumparan yang terjadi pada saat rotor berputar, untuk mengetahui besarnya arus yang mengalir terhadap kecepatan putar rotor disajikan pada grafik gambar 4.6 berikut.



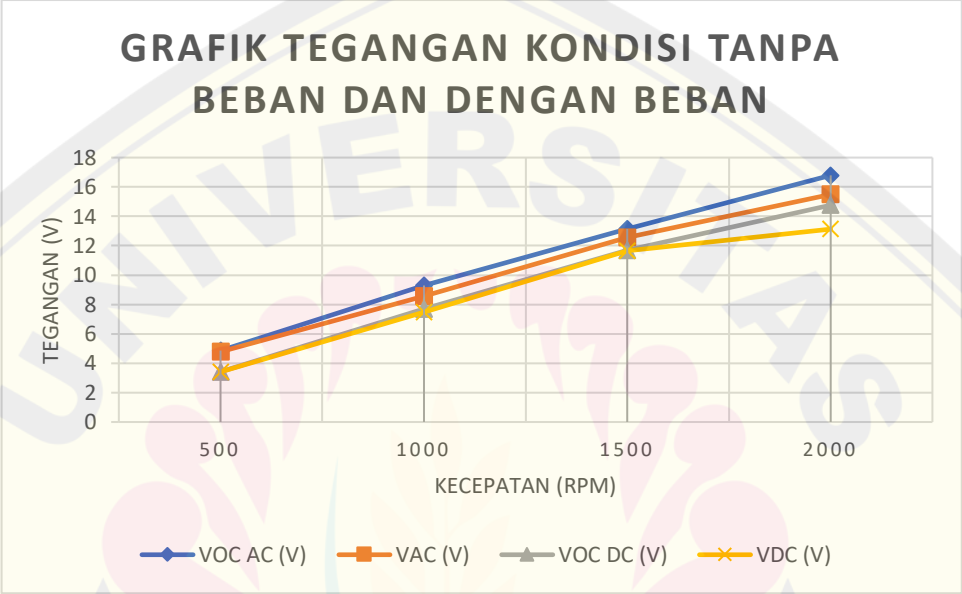
Gambar 4.6 Grafik arus *output* terhadap kecepatan putar rotor
Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 7 mm

Pada pengujian pada saat kondisi tanpa beban tidak terdapat arus yang mengalir karena pada generator dalam keadaan rangkaian terbuka (*open circuit*). Sebagaimana pada pengujian sebelumnya arus yang mengalir memiliki kenaikan pada saat tegangan keluaran generator memenuhi tegangan dari *forward* LED sehingga pada saat kecepatan 500 rpm dan 1000 rpm tegangan luaran yang dihasilkan oleh generator masih belum memenuhi tegangan *forward* LED sehingga arus yang dihasilkan sangat kecil atau bisa dikatakan tidak ada arus yang mengalir pada suatu rangkaian. Sedangkan. Pada saat kecepatan 1500 rpm dan 2000 rpm menghasilkan arus AC sebesar 3,86 mA dan 15,34 A sedangkan pada arus DC menghasilkan arus sebesar 3,32 mA dan 13, 67 mA dimana memiliki perbedaan yang sangat kecil atau dapat dikatakan tidak ada perbedaan antara arus AC maupun DC. Dimana, semakin besarnya arus keluaran generator maka akan semakin besar

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

juga rugi-rugi tegangan yang dihasilkan dari perkalian antara arus dan impedansi kumparan stator. Dengan semakin besar rugi-rugi tegangan yang dibangkitkan akan berpengaruh terhadap *drop* tegangan yang semakin besar dengan adanya pengurangan antara tegangan keluaran generator dengan rugi-rugi tegangan yang dibangkitkan, disajikan data mengenai *drop* tegangan pada konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm pada grafik gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 7 mm

4.2.3 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 2 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 10 mm

Pada pengujian generator *axial flux* ini menggunakan konstruksi yang sama yaitu 2 rotor dan 2 stator dengan celah udara yang berbeda yaitu sebesar 10 mm. Pengujian dilakukan dengan kecepatan putar rotor yang sama seperti pengujian sebelumnya. Dimana, pada pengujian kali ini untuk mengetahui pengaruh dari variasi celah udara terhadap unjuk kerja generator. Data hasil pengujian pada saat kondisi tanpa beban disajikan pada tabel 4.7 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 4.7 Data hasil pengujian tanpa beban konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm

kecepatan (rpm)	$V_{OC\ AC}$ (V)	$V_{OC\ DC}$ (V)	Frekuensi (Hz)
500	2,46	1,43	75,87
1000	4,72	3,641	150,3
1500	6,83	5,83	225,2
2000	8,81	8,44	300,3

Berdasarkan tabel pengujian diatas, diketahui bahwa dengan celah udara yang lebih lebar menghasilkan luaran tegangan dan frekuensi yang semakin besar sebanding dengan kenaikan dari kecepatan putar rotor yang diberikan. Namun, pada konstruksi yang sama dan dengan celah udara yang lebih lebar luaran tegangan yang dihasilkan oleh generator lebih kecil. Dimana, pada kecepatan yang sama yaitu 2000 rpm pada celah udara 10 mm menghasilkan luar tegangan AC ($V_{OC\ AC}$) sebesar 8,81 V dibanding pada saat celah udara 7 mm menghasilkan luar tegangan AC ($V_{OC\ AC}$) sebesar 11,76 V.

Pengujian yang kedua pada saat kondisi dengan beban LED sebanyak 5 buah yang dirangkai secara seri. Pengujian dilakukan dengan kecepatan yang sama pada saat generator belum terhubung dengan beban, sehingga pada saat rotor diputar dapat menghasilkan luaran tegangan, arus dan frekuensi. Data pengujian disajikan pada tabel 4.8 berikut.

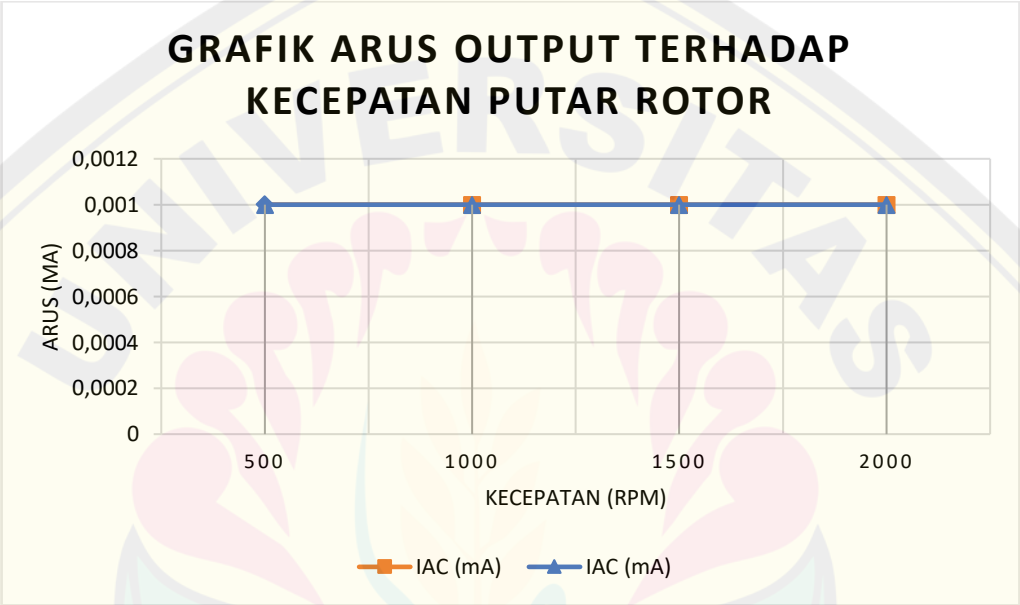
Tabel 4.8 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm

kecepatan (rpm)	V_{AC} (V)	V_{DC} (V)	I_{AC} (mA)	I_{DC} (mA)	Frekuensi (Hz)
500	2,407	1,41	0,001	0,001	75,3
1000	4,65	3,61	0,001	0,001	150,6
1500	6,77	5,77	0,001	0,001	225,7
2000	8,81	8,39	0,001	0,001	300,3

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Berdasarkan data hasil pengujian pada saat kondisi dengan beban pada konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm dihasilkan tegangan yang lebih kecil dibanding pada saat kondisi tanpa beban. Namun, arus yang dihasilkan pada kecepatan 500 rpm hingga 2000 rpm memiliki nilai yang relatif kecil sebesar 0,001 mA atau bisa dikatakan tidak ada arus yang mengalir, untuk mengetahui besarnya perbedaan arus yang mengalir pada tiap kecepatan yang diberikan dapat dilihat pada grafik gambar 4.8 berikut.

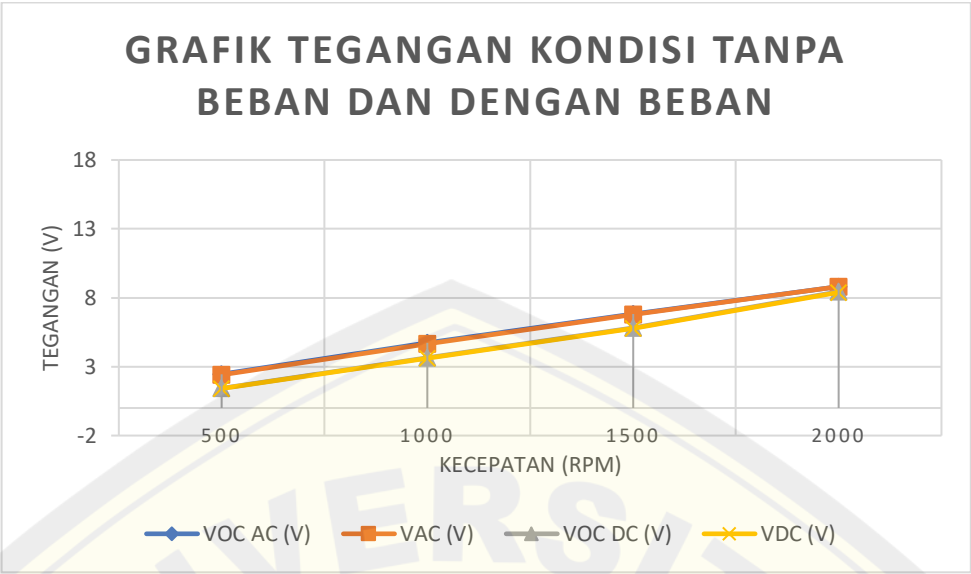


Gambar 4.8 Grafik arus *output* terhadap kecepatan putar rotor
Konstruksi 2 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 10 mm

Penurunan tegangan atau *drop* tegangan sendiri dipengaruhi oleh arus yang mengalir yang mengakibatkan adanya rugi-rugi kumparan pada generator *axial flux*. Sehingga, Ketika arus yang dihasilkan sangat kecil seperti pada tabel 4.7 dimana arus yang dihasilkan sebesar 0,001 mA maka semakin kecil arus yang dihasilkan oleh generator atau bisa dikatakan ketika tidak ada arus yang mengalir akan sebanding dengan *drop* tegangan yang semakin kecil juga. Penurunan tegangan pada saat kondisi dengan beban dapat dilihat pada grafik gambar 4.9 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 4.9 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 2 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm

4.2.4 Pengujian Unjuk Kerja Generator *Axial Flux Double* Stator 1 Fasa Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 10 mm

Pada pengujian ini menggunakan konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm, pada pengujian yang sama terdapat dua kondisi yaitu pada saat tanpa beban dan dengan beban. Data hasil pengujian unjuk kerja generator *axial flux 1 fasa* kondisi tanpa beban disajikan pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Data hasil pengujian tanpa beban konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm

kecepatan (rpm)	$V_{OC\ AC}$ (V)	$V_{OC\ DC}$ (V)	Frekuensi (Hz)
500	3,543	2,53	75,47
1000	6,62	6,29	150,8
1500	9,51	8,96	225,2
2000	12,35	11,72	301,2

Sebagaimana pengujian pada kondisi tanpa beban luaran tegangan yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dengan celah udara yang sama yaitu sebesar 10 mm namun dengan konstruksi yang berbeda, pengujian pada saat

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

menggunakan konstruksi 3 rotor 2 stator menghasilkan luaran tegangan *open circuit* AC sebesar 12, 35 V dan luaran tegangan *open circuit* DC sebesar 11,72 V dibanding pada saat pengujian sebelumnya dengan konstruksi 2 rotor 2 stator menghasilkan luaran tegangan *open circuit* AC sebesar 8,81 dan luaran tegangan *open circuit* DC sebesar 8,44 V.

Pengujian yang kedua yaitu pada saat kondisi dengan beban LED sehingga terdapat aliran arus yang mengalir dari generator karena dalam kondisi rangkaian tertutup (*close circuit*). Data hasil pengujian pada kondisi dengan beban LED disajikan pada tabel 4.10 berikut.

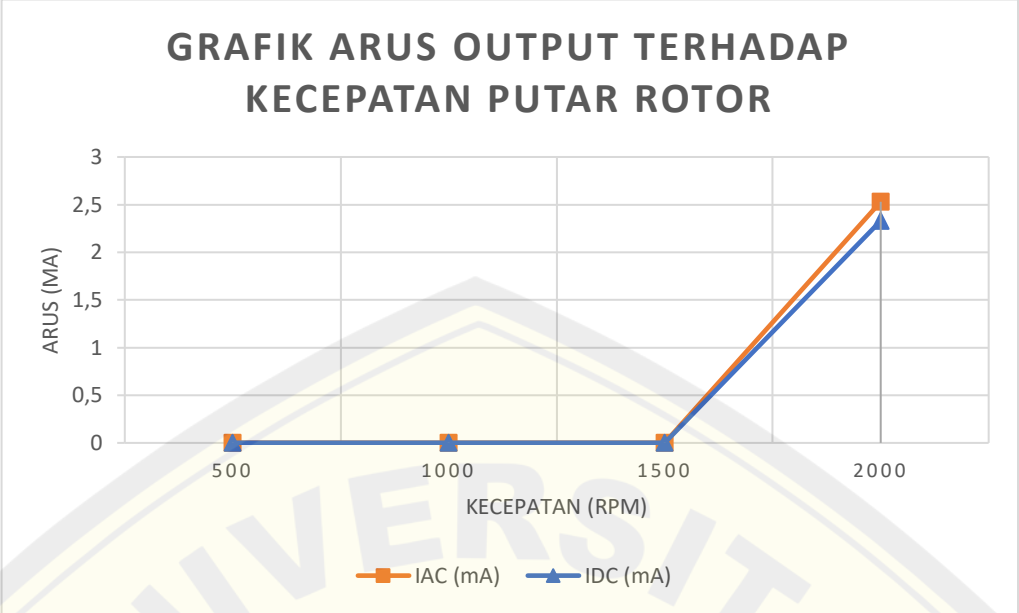
Tabel 4.10 Data hasil pengujian dengan beban konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm

kecepatan (rpm)	**VAC (V)**	**VDC (V)**	**IAC (mA)**	**IDC (mA)**	**Frekuensi (Hz)**
500	3,492	2,5	0,001	0,001	75,3
1000	6,61	5,69	0,001	0,001	150,6
1500	9,39	8,77	0,002	0,001	225,2
2000	12,23	11,31	2,53	2,33	300,3

Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diketahui bahwa nilai arus yang tertinggi terjadi pada saat kecepatan putar rotor 2000 rpm. Hal ini, dikarenakan luaran tegangan generator sudah memenuhi tegangan *forward* LED sebesar 2,2 V pada setiap LED sehingga beban LED menyala. Adapun frekuensi yang dihasilkan pada saat kondisi dengan beban tidak jauh beda dengan frekuensi yang dihasilkan pada saat kondisi tanpa beban. Rugi-rugi kumparan dapat dibangkitkan Ketika terdapat arus listrik yang mengalir sehingga akan berpengaruh terhadap *drop* tegangan, untuk mengetahui seberapa besar arus yang dihasilkan pada saat konstruksi 3 rotor 2 stator dapat dilihat pada grafik gambar 4.10 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

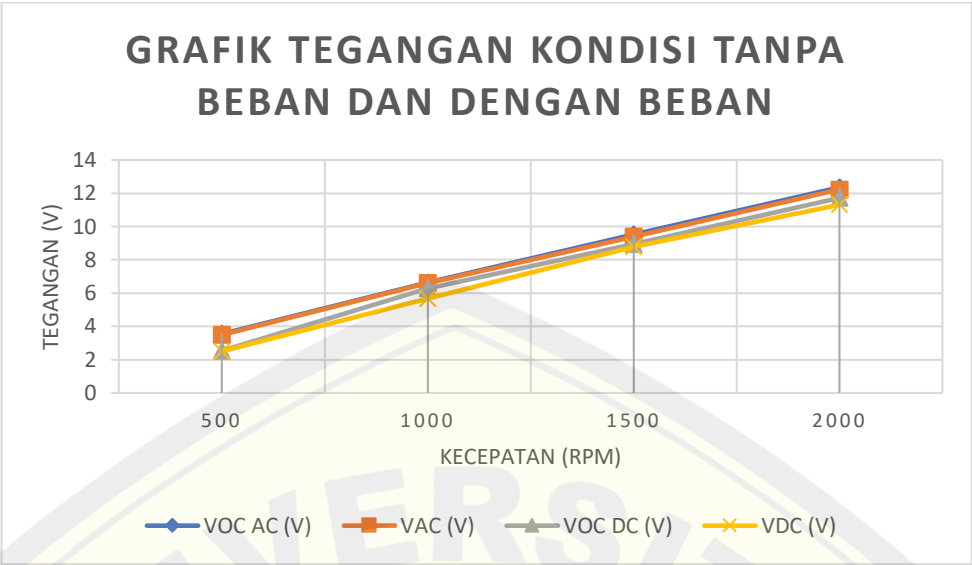


Gambar 4.10 Grafik arus *output* terhadap kecepatan putar rotor Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 10 mm

Arus yang dihasilkan pada saat kecepatan 500 rpm hingga 1000 rpm sebesar 0,001 mA sampai 0,002 mA sehingga dapat dikatakan bahwa arus yang mengalir sangat kecil dan pada kecepatan 2000 rpm beban LED menyala dengan arus AC yang dihasilkan sebesar 2,53 mA dan arus DC sebesar 2,33 mA. Dimana, semakin besar arus yang dihasilkan maka akan berpengaruh terhadap *drop* tegangan yang semakin besar juga. Adapun besarnya *drop* tegangan yang terjadi pada saat konstruksi 3 rotor 2 stator dan celah udara 10 mm dapat dilihat pada grafik gambar 4.11 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 4.11 Grafik tegangan kondisi tanpa beban dan dengan beban Konstruksi 3 Rotor 2 Stator dan Celah Udara 10 mm

4.3 Analisis pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator axial flux double stator 1 fasa

Pengujian generator *axial flux double* stator 1 fasa dilakukan dengan variasi jumlah rotor 2 rotor dan 3 rotor dengan celah udara 7 mm dan 10 mm untuk mengetahui karakteristik dari generator seperti frekuensi, tegangan, arus, daya dan torsi untuk unjuk kerja generator *axial flux*. Berdasarkan data yang telah disajikan pada tabel 4.3 hingga 4.19 akan disajikan analisis pengaruh jumlah rotor dan celah udara terhadap unjuk kerja generator *axial flux double* stator untuk masing-masing parameter berikut.

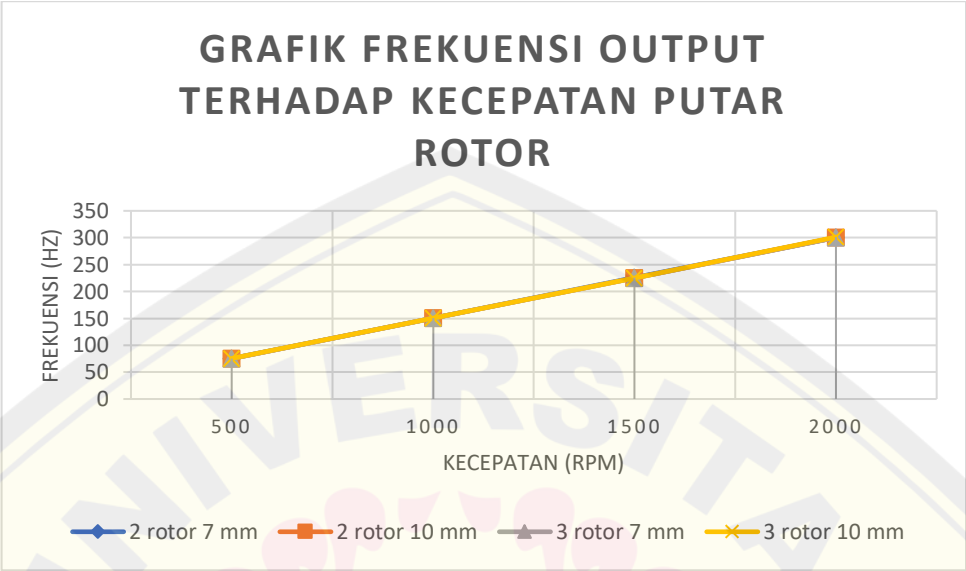
4.3.1 Frekuensi gelombang *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara

Berdasarkan tabel data hasil pengujian sebelumnya yaitu tabel 4.3 hingga 4.10, dimana pada saat kecepatan putar rotor sebesar 500 rpm menghasilkan luaran frekuensi generator sebesar 75 Hz, sedangkan pada saat kecepatan putar rotor sebesar 2000 rpm menghasilkan luaran frekuensi sebesar 300 Hz. Dari data tersebut dapat dinyatakan bahwa nilai frekuensi *output* generator sebanding dengan kenaikan kecepatan putar rotor sehingga semakin besar kecepatan putar rotor yang

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

diberikan maka semakin besar juga frekuensi *output* yang dihasilkan, sebagaimana yang disajikan pada grafik gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Grafik frekuensi *output* terhadap kecepatan putar rotor pada variasi jumlah rotor dan celah udara

Berdasarkan grafik gambar diatas, frekuensi mengalami kenaikan terhadap kecepatan putar rotor. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa jumlah rotor dan celah udara tidak mempengaruhi besar frekuensi keluaran generator. Dimana, pada data tersebut membuktikan persamaan (2.6) bahwa yang mempengaruhi frekuensi yaitu pemasangan kutub magnet, jumlah kutub magnet dan kecepatan putar rotor. Oleh karena itu, karena pada setiap variasi jumlah rotor dan celah udara menggunakan kecepatan dan jumlah kutub yang sama maka frekuensi luaran yang dihasilkan generator memiliki nilai yang hampir sama satu sama lain sesuai dengan perhitungan frekuensi dimana pada kecepatan putar rotor 500 rpm dapat dirumuskan menjadi f = $\frac{500\ x\ 18}{120}$. Sehingga menghasilkan frekuensi sebesar 75 Hz.

4.3.2 Tegangan *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara

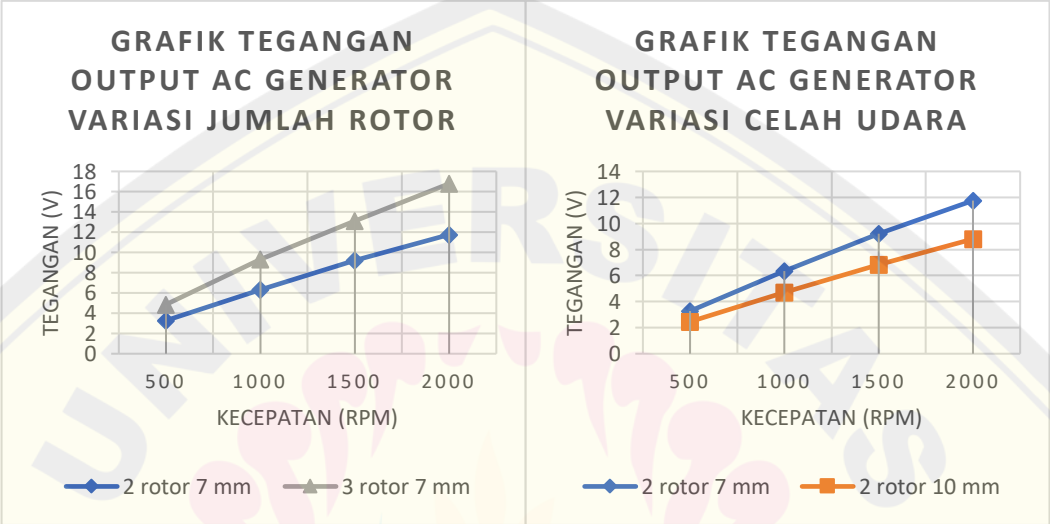
4.3.2.1 Tegangan *output* generator kondisi tanpa beban

berdasarkan pengujian dengan variasi jumlah rotor dan celah udara sehingga terdapat 4 jenis kondisi pada saat tanpa beban atau rangkaian terbuka yaitu tabel

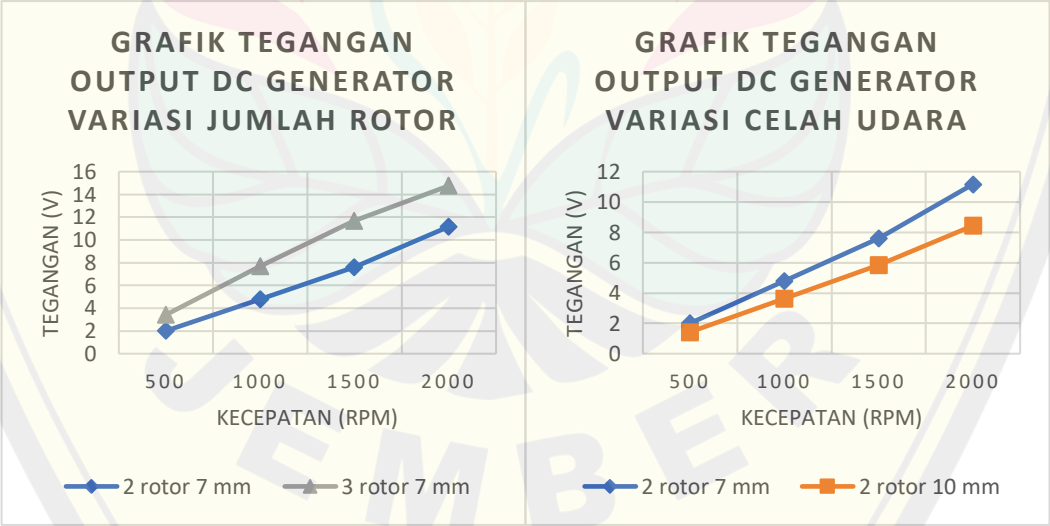
DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

4.3 untuk 2 rotor dengan celah udara 7 mm, tabel 4.5 untuk 3 rotor dengan celah udara 7 mm, tabel 4. 7 untuk 2 rotor dengan celah udara 10 mm dan tabel 4.9 untuk 3 rotor dengan celah udara 10 mm. data tegangan output AC dan DC generator dengan variasi jumlah rotor dan celah udara disajikan pada grafik gambar 4.13 dan 4.14 berikut.



Gambar 4.13 Grafik tegangan *output* AC tanpa beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara



Gambar 4.14 Grafik tegangan *output* DC tanpa beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa tegangan *open circuit* atau rangkaian terbuka yang dihasilkan oleh generator mengalami kenaikan linier

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

terhadap kecepatan putar rotor. Dimana, semakin besar kecepatan putar rotor yang diberikan maka semakin besar juga luaran tegangan yang dihasilkan. Kemudian, diketahui pada variasi celah udara yang diberikan sebesar 7 mm dan 10 mm pada konstruksi yang sama yaitu dengan 2 rotor menghasilkan luaran tegangan yang lebih besar pada saat celah udara yang kecil yaitu 7 mm dengan kecepatan 3000 rpm menghasilkan luaran tegangan AC sebesar 11,76 V dan luaran tegangan DC sebesar 11,17 V dibandingkan pada saat celah udara 10 mm menghasilkan luaran tegangan AC sebesar 8,81 V dan luaran tegangan DC sebesar 8,44 V. Sehingga, semakin kecil atau rapat celah udara yang digunakan, maka semakin besar luaran tegangan yang dihasilkan generator.

Pengaruh celah udara terhadap luaran tegangan (Voc) disebabkan oleh semakin dekatnya magnet rotor terhadap inti besi pada stator, sehingga besar medan magnet yang diterima oleh kumparan stator semakin besar. Medan magnet yang dihasilkan akan berpengaruh terhadap *flux* magnet yang dihasilkan seperti pada persamaan (2.12). Dimana, sesuai hukum Faraday yang menyatakan bahwa besar tegangan yang dihasilkan generator sebanding dengan perubahan *flux* magnet terhadap waktu.

Pada grafik diatas, pada saat celah udara yang sama yaitu 7 mm dengan konstruksi yang berbeda yaitu dengan variasi jumlah rotor sebanyak 2 rotor dan 3 rotor. Dimana, pada saat menggunakan 2 rotor menghasilkan luaran tegangan AC tanpa beban sebesar 11,76 V dan luaran tegangan DC sebesar 11,17 V sedangkan pada saat menggunakan 3 rotor menghasilkan luaran tegangan AC tanpa beban sebesar 16,79 V dan luara tegangan DC sebesar 14,76 V. Sehingga, berdasarkan data tersebut semakin banyak jumlah rotor yang digunakan, maka semakin besar juga luaran tegangan yang dihasilkan. Dimana, luaran tegangan juga di pengaruhi oleh *flux* magnet tiap rotor sehingga semakin banyaknya rotor yang digunakan maka kerapatan magnet yang dihasilkan semakin dekat dan akan berpengaruh terhadap luaran yang semakin besar juga seperti pada persamaan (3.5).

Selain hasil pengukuran, terdapat juga data hasil perhitungan sesuai dengan persamaan (2.7) untuk mengetahui keakuratan dari hasil pengukuran yang diperoleh, data hasil perhitungan disajikan pada tabel 4.11 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 4.11 perhitungan *error* persen luaran tegangan tanpa beban

celah udara	jumlah rotor	kecepatan (rpm)	V_{OAC} ukur (V)	V_{OAC} hitung (V)	*Error* (%)	V_{ODC} ukur (V)	V_{ODC} hitung (V)	*Error* (%)
7 mm	2 rotor	500	3,277	3,22	1,9	2,01	2	0,25
		1000	6,33	6,43	1,58	4,8	4,9	2,07
		1500	9,22	9,65	4,43	7,61	7,8	2,41
		2000	11,76	12,9	8,58	11,17	10,7	4,44
	3 rotor	500	4,86	4,82	0,75	3,42	3,45	0,96
		1000	9,3	9,65	3,6	7,71	7,8	1,13
		1500	13,13	14,5	9,27	11,68	12,1	3,82
		2000	16,79	19,3	13	14,76	16,5	10,5
10 mm	2 rotor	500	2,46	2,57	4,38	1,43	1,43	0,31
		1000	4,72	5,15	8,26	3,641	3,74	2,72
		1500	6,83	7,72	11,5	5,83	6,06	3,8
		2000	8,81	10,3	14,4	8,44	8,38	0,74
	3 rotor	500	3,543	3,86	8,19	2,53	2,58	2,1
		1000	6,62	7,72	14,2	6,29	6,06	3,79
		1500	9,51	11,6	17,9	8,96	9,54	6,04
		2000	12,35	15,4	20	11,72	13	9,93

Pada tabel data hasil perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa celah udara dan jumlah rotor berpengaruh terhadap nilai *flux* magnet yang dihasilkan. Berdasarkan persamaan (2.12), besarnya nilai *flux* magnet sebanding dengan nilai dari kerapatan medan magnet (B_{max}) yang diterima oleh kumparan. Dimana, kerapatan medan magnet berbanding terbalik dengan celah udara yang digunakan berdasarkan persamaan (3.2). Sehingga pada saat konstruksi 2 rotor dan celah udara 7 mm diperoleh nilai kerapatan medan magnet (B_{max}) sebesar 1,125 mT karena menggunakan 2 rotor yang tiap rotornya sebanyak 9 buah sehingga total magnet yang digunakan sebanyak 18 maka diperoleh nilai *flux* magnet (φ_{max}) sebesar 3,5767 x 10^{-6} Wb. Pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm nilai

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

kerapatan medan magnet yang diperoleh memiliki nilai yang sama karena celah udara yang digunakan sama yaitu 7 mm sebesar 1,125 mT dengan jumlah rotor yang digunakan sebanyak 3 buah maka total jumlah magnet yang digunakan sebanyak 27 buah maka nilai *flux* magnet (φ_{max}) yang diperoleh sebesar 5,3649 x 10^{-6} Wb. Pada saat konstruksi 2 rotor dengan celah udara 10 mm nilai kerapatan medan magnet (B_{max}) yang diperoleh sebesar 0,9 mT dengan nilai *flux* magnet (φ_{max}) yang diperoleh sebesar 2,8613 x 10^{-6} Wb. Sedangkan pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 10 mm nilai kerapatan medan magnet (B_{max}) yang diperoleh sebesar 0,9 mT dengan nilai *flux* magnet (φ_{max}) yang diperoleh sebesar 4,2919 x $10^{-}6$ Wb dengan persamaan $\varphi_{max/rotor} = \varphi_{max}$ x N_{magnet}.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, ketika data hasil percobaan dibandingkan dengan data hasil perhitungan dimana pada saat konstruksi 2 rotor dengan celah udara 7 mm pada saat kecepatan 500 rpm, pada tegangan DC mengalami *error* tegangan sebesar 0,25 %, pada saat kecepatan dinaikkan menjadi 1000 rpm, pada tegangan DC mengalami *error* tegangan sebesar 2,07 %, pada saat kecepatan dinaikkan menjadi 1500 rpm, pada tegangan DC mengalami *error* tegangan sebesar 2,41 %, kemudian pada saat kecepatan dinaikkan menjadi 2000 rpm, pada tegangan DC mengalami *error* tegangan sebesar 4,44 %. Dimana, dari data tersebut dapat dianalisis bahwa *error* tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan putar rotor, yang mana semakin besar kecepatan putar rotor yang diberikan maka semakin besar juga *error* tegangan yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terjadi akibat adanya rugi-rugi lain misalnya rugi-rugi gesekan pada saat kecepatan putar rotor dinaikkan, kemudian rugi inti besi dimana medan magnet yang menembus luas permukaan pada saat kecepatan dinaikkan dapat berkurang dan juga rugi-rugi lain yang tidak dapat dihitung.

4.3.2.2 Tegangan *output* generator kondisi dengan beban

Pada saat pengujian dengan kondisi dengan beban 5 buah LED yang dirangkai secara seri, dimana setelah dilakukanya pengukuran kemudian juga dilakukan perhitungan untuk mengetahui keakuratan dari hasil pengukuran. Berikut

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

data perbandingan antara pengukuran dengan perhitungan untuk mengetahui *error* tegangan yang dihasilkan disajikan pada tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 perhitungan *error* persen luaran tegangan dengan beban

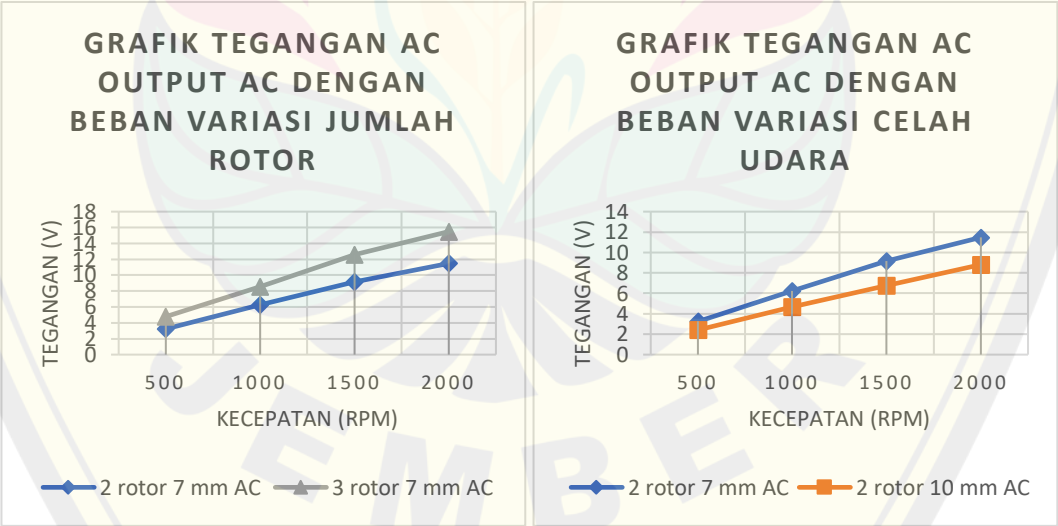
celah udara	jumlah rotor	kecepatan (rpm)	V_{AC} ukur (V)	V_{AC} hitung (V)	*Error* (%)	V_{DC} ukur (V)	V_{DC} hitung (V)	*Error* (%)
7 mm	2 rotor	500	3,235	3,215	0,599	2,01	2,004	0,253
		1000	6,24	6,431	2,976	4,76	4,901	2,888
		1500	9,15	9,647	5,154	7,52	7,798	3,567
		2000	11,48	12,79	10,25	10,77	10,63	1,311
	3 rotor	500	4,78	4,823	0,904	3,41	3,453	1,252
		1000	8,55	9,647	11,37	7,49	7,798	3,953
		1500	12,55	14,27	12,1	11,64	11,96	2,750
		2000	15,49	18,39	15,79	13,13	15,67	16,25
10 mm	2 rotor	500	2,407	2,572	6,436	1,41	1,425	1,093
		1000	4,65	5,145	9,624	3,61	3,742	3,551
		1500	6,77	7,717	12,28	5,77	6,060	4,789
		2000	8,81	10,29	14,38	8,39	8,377	0,148
	3 rotor	500	3,492	3,858	9,507	2,5	2,584	3,260
		1000	6,61	7,717	14,35	5,69	6,060	6,109
		1500	9,39	11,57	18,88	8,77	9,536	8,035
		2000	12,23	15,287	19,99	11,31	12,87	12,18

Berdasarkan tabel data diatas, dapat diketahui bahwa pada saat kondisi dengan beban LED luaran tegangan yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dibanding pada saat luaran tegangan pada kondisi tanpa beban. Pada kecepatan putar yang sama yaitu 2000 rpm, dimana semakin besar celah udara maka luaran tegangan yang dihasilkan generator semakin kecil. Dimana pada saat konstruksi 2 rotor dengan celah udara 10 mm menghasilkan luaran AC sebesar 8,81 V sedangkan pada saat konstruksi 2 rotor dengan celah udara 7 mm menghasilkan luaran tegangan AC sebesar 11,48 V. sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

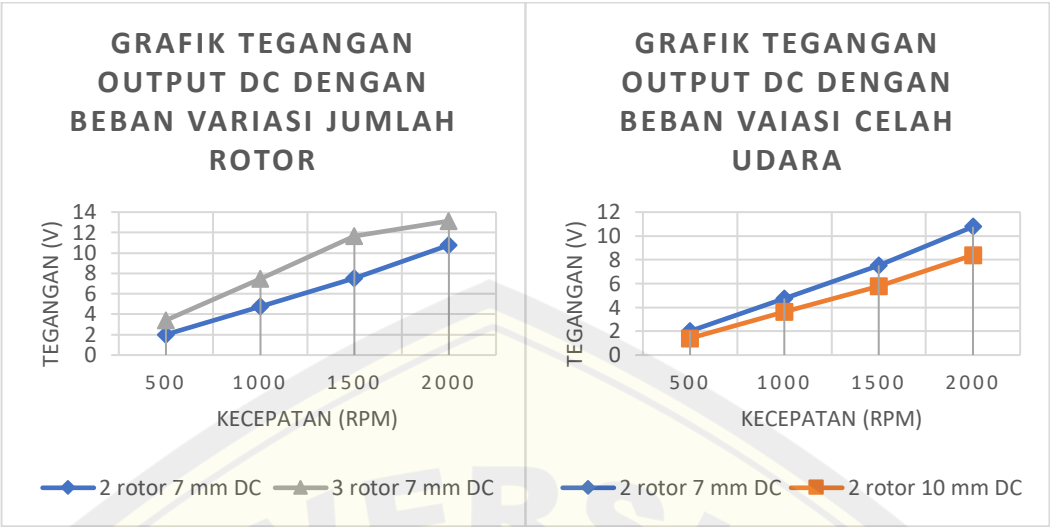
perbedaan tersebut terjadi karena adanya perbedaan kerapatan medan *flux* dan *flux* magnet yang diterima oleh kumparan yang dihasilkan pada setiap celah udara yang berbeda dimana dengan semakin dekatnya magnet pada rotor dengan inti besi pada kumparan stator akan menyebabkan medan magnet yang dihasilkan akan semakin besar akibat gaya tarik menarik antar magnet yang semakin kuat. Kemudian, pada saat celah udara yang sama yaitu sebesar 7 mm dengan konstruksi yang berbeda yaitu dengan konstruksi 2 rotor menghasilkan luaran tegangan AC sebesar 11,48 V sedangkan pada saat menggunakan konstruksi 3 rotor menghasilkan tegangan keluaran sebesar 15,49 V. Sehingga, dapat dianalisis bahwa dengan semakin banyak jumlah rotor yang digunakan akan sebanding dengan kenaikan luaran tegangan yang dihasilkan, hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan *flux* magnet tiap rotor yang dihasilkan dengan semakin besarnya gaya tarik menarik antar magnet. Analisis tersebut dapat digambarkan pada grafik gambar 4.15 dan 4.16. Kemudian *error* tegangan Dc yang dihasilkan semakin besar seiring dengan kenaikan kecepatan putar rotor yang diberikan, dimana semakin besar kecepatan putar rotor yang diberikan maka semakin besar juga *error* tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4.15 Grafik tegangan *output* AC dengan beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 4.16 Grafik tegangan *output* DC dengan beban terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara

Pada pengujian luaran tegangan generator pada kondisi dengan beban juga memiliki nilai *error* persen yang mengalami kenaikan sebanding dengan kecepatan putar rotor dan celah udara yang diberikan dimana pada saat kecepatan 500 rpm pada celah udara 7 mm dengan konstruksi 2 rotor memiliki *error* tegangan sebesar 0,599 % dibanding pada saat kecepatan 2000 rpm menghasilkan *error* tegangan sebesar 10,25 %. Sehingga dapat dianalisis bahwa semakin besar kecepatan putar rotor yang digunakan maka semakin besar juga *error* tegangan yang dihasilkan. Dimana, *error* tegangan juga dipengaruhi oleh besarnya celah udara dimana pada kecepatan 2000 rpm dengan konstruksi yang sama yaitu 2 rotor dan celah udara 7 mm menghasilkan *error* tegangan sebesar 10,25 % dibanding pada saat celah udara 10 mm menghasilkan *error* tegangan sebesar 14,38 %. Kemudian jumlah rotor juga berpengaruh terhadap besarnya nilai *error* seperti pada saat celah udara yang sama yaitu pada saat 7 mm dengan konstruksi 2 rotor dengan kecepatan putar 2000 rpm menghasilkan *error* tegangan sebesar 10,25 dibanding pada saat menggunakan konstruksi 3 rotor menghasilkan *error* tegangan sebesar 15,79 %. Sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya bahwa *error* tegangan dapat disebabkan oleh rugi-rugi lain yang tidak dapat diperhitungkan serta kurangnya ketelitian dalam pembacaan alat (*human error*) dan toleransi alat ukur juga sangat berpengaruh terhadap *error* persen yang dihasilkan.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

4.3.3 Arus *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara

Arus yang dihasilkan pada setiap variasi jumlah rotor dan celah udara memiliki nilai yang berbeda, bergantung pada luaran tegangan dari generator dan banyak beban yang digunakan. Beban yang digunakan pada pengujian ini yaitu sebanyak 5 buah LED yang dirangkai secara seri dengan tegangan 3 V pada setiap LED nya. Berikut perbandingan data arus *output* yang terukur pada masing-masing variasi jumlah rotor dan celah udara disajikan pada tabel 4.13 berikut

Tabel 4.13 arus *output* pada variasi jumlah rotor dan celah udara

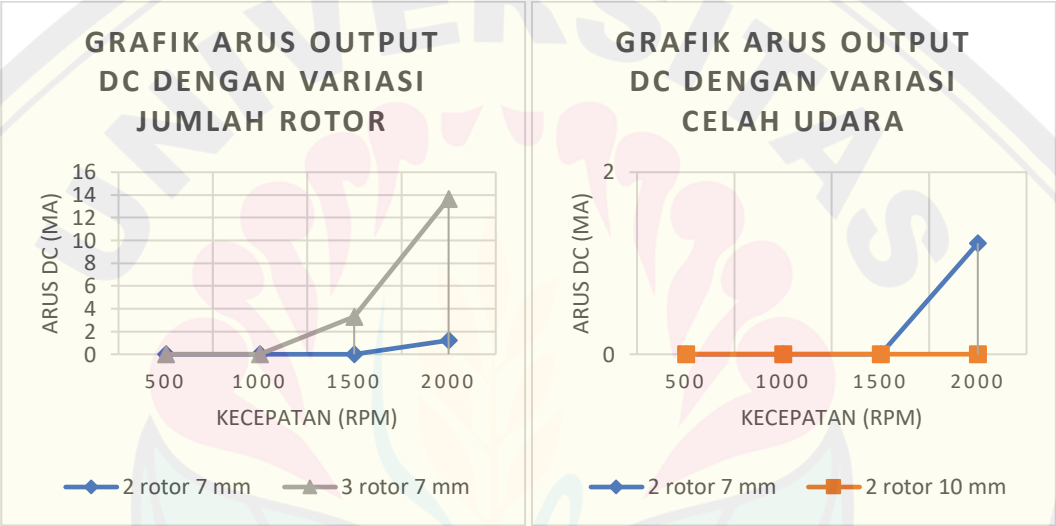
celah udara	jumlah rotor	kecepatan (rpm)	Arus AC (mA)	Arus DC (mA)
7 mm	2 rotor	500	0,001	0,001
		1000	0,001	0,001
		1500	0,001	0,001
		2000	1,24	1,22
	3 rotor	500	0,001	0,001
		1000	0,002	0,001
		1500	3,86	3,32
		2000	15,34	13,67
10 mm	2 rotor	500	0,001	0,001
		1000	0,001	0,001
		1500	0,001	0,001
		2000	0,001	0,001
	3 rotor	500	0,001	0,001
		1000	0,001	0,001
		1500	0,002	0,001
		2000	2,53	2,33

Berdasarkan data tabel arus tersebut dapat dianalisis bahwa semakin banyak jumlah rotor yang digunakan pada generator, maka arus *output* yang mengalir pada beban akan semakin besar. Dimana, pada saat kecepatan putar rotor dengan celah udara yang sama yaitu 10 mm dengan konstruksi 2 rotor menghasilkan arus *output* sebesar 0,001 mA sedangkan pada saat menggunakan konstruksi 3 rotor menghasilkan arus *output* sebesar 2,33 mA. Kemudian semakin besar celah udara yang digunakan pada generator, maka arus *output* generator yang mengalir pada

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

beban akan semakin kecil, dimana pada saat konstruksi 2 rotor dengan kecepatan 2000 rpm dan celah udara yang digunakan sebesar 7 mm menghasilkan arus *output* sebesar 1,22 mA sedangkan pada saat celah udara 10 mm dengan konstruksi dan celah udara yang sama menghasilkan arus *output* sebesar 0,001 mA. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa arus akan mengalir ketika luaran tegangan yang dihasilkan memenuhi tegangan *forward* dari beban LED. Sehingga semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh generator maka akan sebanding dengan nilai arus yang semakin besar juga. Data arus *output* DC pada setiap variasi jumlah rotor dan celah udara dapat dilihat pada grafik gambar 4.17 berikut



Gambar 4.17 Grafik arus *output* DC generator terhadap kecepatan putar rotor dengan variasi jumlah rotor dan celah udara

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa jumlah rotor dan celah udara sangat berpengaruh terhadap arus *output* yang dihasilkan. Dimana, kenaikan arus tertinggi terjadi pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm mulai mengalami kenaikan arus *output* terjadi pada saat kecepatan putar rotor diatas 1000 rpm, pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 10 mm mulai mengalami kenaikan arus *output* pada saat kecepatan putar rotor diatas 1500 rpm, pada saat konstruksi 2 rotor dan celah udara 7 mm mulai mengalami kenaikan arus *output* pada saat kecepatan putar rotor 1500 rpm, sedangkan pada saat konstruksi 2 rotor dengan celah udara 10 mm arus yang terukur konstan yaitu sebesar 0,001 mA,

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

dimana arus yang terukur sangat kecil dan bisa dikatakan tidak ada arus yang mengalir pada beban. Hal ini karena tegangan keluaran generator masih belum mencukupi tegangan *forward bias* dari LED sehingga akan menyebabkan arus tidak mengalir pada beban.

Pada konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm menghasilkan arus terbesar, sehingga akan mengalami *drop* tegangan yang semakin besar jika dibanding pada saat konstruksi 2 rotor dengan celah udara 10 mm yang memiliki nilai arus terkecil. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya pada persamaan (2.9) bahwa drop tegangan dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada kumparan stator sehingga membangkitkan rugi-rugi kumparan yang terjadi seperti impedansi pada stator. Dimana, impedansi pada stator terdiri dari resistansi kumparan dan reaktansi induktif. Sehingga dapat dianalisis bahwa semakin besar arus yang mengalir menuju beban maka semakin besar juga pengurangan tegangan (*drop* tegangan) yang terjadi.

Kemudian untuk mengetahui besarnya *drop* tegangan yang dihasilkan pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm pada saat kecepatan putar rotor sebesar 2000 rpm, dimana berdasarkan hasil perhitungan dapat menggunakan persamaan V = Ea – I.Z dimana pada saat konstruksi tersebut menghasilkan arus sebesar 13, 67 mA sehingga *drop* tegangan yang dihasilkan sebesar 1,63 V.

4.3.4 Daya *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara

Daya *output* pada pengujian ini diperoleh dari hasil pengukuran dan diperoleh dari hasil perhitungan dari hasil kali antara tegangan *output* generator dengan arus *output* pada saat generator terbebani sebagaimana pada persamaan (3.10) mengenai perhitungan daya *output*. Berikut disajikan data hasil perhitungan daya *output* pada saat variasi jumlah rotor sebanyak 2 buah rotor dan 3 buah rotor dengan celah udara sebesar 7 mm dan 10 mm pada tabel 4.14 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 4.14 daya *output* generator dengan variasi jumlah rotor dan celah udara

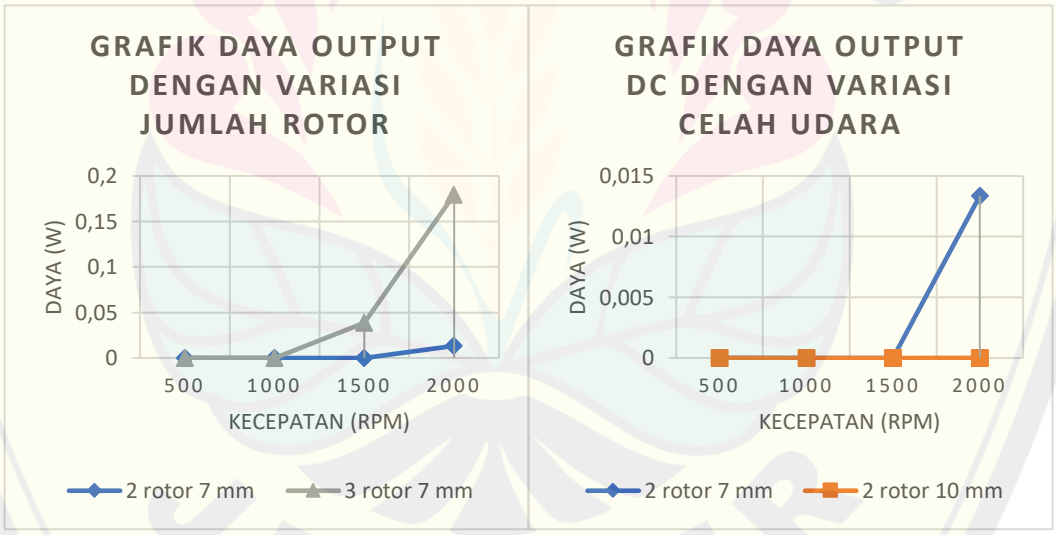
celah udara	jumlah rotor	kecepatan (rpm)	Daya AC (W)	Daya DC (W)
7 mm	2 rotor	500	$3,235 \times 10^{-6}$	$2,01 \times 10^{-6}$
		1000	$1,248 \times 10^{-5}$	$4,76 \times 10^{-6}$
		1500	$1,83 \times 10^{-5}$	$7,52 \times 10^{-6}$
		2000	$14,01 \times 10^{-3}$	$13,36 \times 10^{-3}$
	3 rotor	500	$4,78 \times 10^{-6}$	$3,41 \times 10^{-6}$
		1000	$1,71 \times 10^{-6}$	$7,49 \times 10^{-6}$
		1500	$48,443 \times 10^{-3}$	$38,65 \times 10^{-3}$
		2000	0,238	0,179
10 mm	2 rotor	500	$2,407 \times 10^{-6}$	$1,41 \times 10^{-6}$
		1000	$4,65 \times 10^{-6}$	$3,61 \times 10^{-6}$
		1500	$6,77 \times 10^{-6}$	$5,77 \times 10^{-6}$
		2000	$8,81 \times 10^{-6}$	$8,39 \times 10^{-6}$
	3 rotor	500	$3,492 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-6}$
		1000	$6,61 \times 10^{-6}$	$5,69 \times 10^{-6}$
		1500	$1,878 \times 10^{-5}$	$8,77 \times 10^{-6}$
		2000	$30,942 \times 10^{-3}$	$26,35 \times 10^{-3}$

Berdasarkan tabel data daya *output* yang dihasilkan oleh generator bergantung pada besarnya nilai tegangan dan arus yang dihasilkan, dimana semakin besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator, maka akan sebanding dengan semakin besarnya daya yang dihasilkan, yang mana nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator dipengaruhi oleh jumlah rotor dan celah udara yang digunakan seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa semakin banyak jumlah rotor dan semakin rapat celah udara yang digunakan maka nilai tegangan dan arus yang dihasilkan akan semakin besar juga sehingga akan berpengaruh pada nilai daya yang semakin besar juga seperti pada saat kecepatan 2000 rpm dengan menggunakan konstruksi 2 rotor dan celah udara 7 mm menghasilkan daya *output* AC sebesar $14,01 \times 10^{-3}$ W dan daya *output* DC sebesar $13,36 \times 10^{-3}$ W, pada saat

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm menghasilkan daya *output* AC sebesar 0,238 W dan daya *output* DC sebesar 0,179 W, pada saat menggunakan konstruksi 2 rotor dengan celah udara 10 mm menghasilkan daya *output* AC sebesar 8,81 x 10^{-6} W dan daya *output* DC sebesar 8,39 x 10^{-6} W, sedangkan pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 10 mm menghasilkan daya *output* AC sebesar 30,942 x 10^{-3} W dan daya *output* DC sebesar 26,35 x 10^{-3} W . sehingga, dapat di analisis bahwa daya terbesar terjadi pada saat jumlah rotor terbanyak dan celah udara terkecil yaitu pada saat konstruksi rotor sebanyak 3 rotor dan celah udara 7 mm. Kemudian, selain karena pengaruh tegangan dan arus besarnya daya juga dipengaruhi oleh besarnya beban yang digunakan, dimana semakin besar beban yang digunakan maka semakin besar pula daya yang dihasilkan namun diperlukan tegangan yang besar juga agar dapat memenuhi tegangan *forward bias* dari beban LED yang digunakan. Berikut data perbedaan daya *output* pada variasi jumlah rotor dan celah udara dapat dilihat pada grafik gambar 4.18 berikut



Gambar 4.18 Grafik daya *output* pada variasi jumlah rotor dan celah udara

Setelah dilakukannya pengujian daya *output* keluaran generator, juga dilakukan perhitungan daya untuk mengetahui tingkat keakuratan dari data yang telah diukur. Berikut *error* persen daya disajikan pada tabel 4. 15 berikut.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 4.15 perhitungan *error* persen daya keluaran generator

celah udara	jumlah rotor	kecepatan (rpm)	Daya ukur (W)	Daya Hitung (W)	E (%)
7 mm	2 rotor	500	$2{,}01 \times 10^{-6}$	2×10^{-6}	0,25
		1000	$4{,}76 \times 10^{-6}$	$4{,}9 \times 10^{-6}$	2,89
		1500	$7{,}52 \times 10^{-6}$	$7{,}8 \times 10^{-6}$	3,57
		2000	0,0134	0,01318	1,32
	3 rotor	500	$3{,}41 \times 10^{-6}$	$3{,}5 \times 10^{-6}$	1,25
		1000	$7{,}49 \times 10^{-6}$	$7{,}8 \times 10^{-6}$	3,95
		1500	0,0386	0,03973	2,74
		2000	0,179	0,214	16,21
10 mm	2 rotor	500	$1{,}41 \times 10^{-6}$	$1{,}4 \times 10^{-6}$	1,09
		1000	$3{,}61 \times 10^{-6}$	$3{,}7 \times 10^{-6}$	3,55
		1500	$5{,}77 \times 10^{-6}$	$6{,}1 \times 10^{-6}$	4,79
		2000	$8{,}39 \times 10^{-6}$	$8{,}4 \times 10^{-6}$	0,15
	3 rotor	500	$2{,}5 \times 10^{-6}$	$2{,}6 \times 10^{-6}$	3,26
		1000	$5{,}69 \times 10^{-6}$	$6{,}1 \times 10^{-6}$	6,11
		1500	$8{,}77 \times 10^{-6}$	$9{,}5 \times 10^{-6}$	8,04
		2000	0,026	0,03	12,17

Berdasarkan data tabel pengujian *error* persen daya, dapat dilihat bahwa error terbesar terjadi pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm sebesar 16,21 %. Dimana, data *error* tersebut masih berada dibawah standar *maximum error* yaitu sebesar 20 %, sehingga dapat dikatakan bahwa generator masih dalam kondisi baik dan masih layak. Dimana semakin kecil *error* yang dihasilkan maka akan sesuai dengan persamaan (3.10) bahwa daya dipengaruhi oleh tegangan *output* generator dan arus yang mengalir pada beban, sehingga semakin besar tegangan dan arus yang dihasilkan maka daya yang dihasilkan juga semakin besar.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

4.3.5 Torsi *output* generator variasi jumlah rotor dan celah udara

torsi yang dihasilkan pada pengujian ini diperoleh dari hasil perhitungan, sebagaimana pada persamaan (3.13), torsi putar rotor tidak diperoleh dari hasil pengukuran karena terbatasnya alat yang digunakan untuk mengukur besarnya suatu torsi pada suatu generator. Berikut data perhitungan torsi putar rotor pada variasi jumlah rotor dan celah udara disajikan pada tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16 Torsi putar rotor pada variasi jumlah rotor dan celah udara

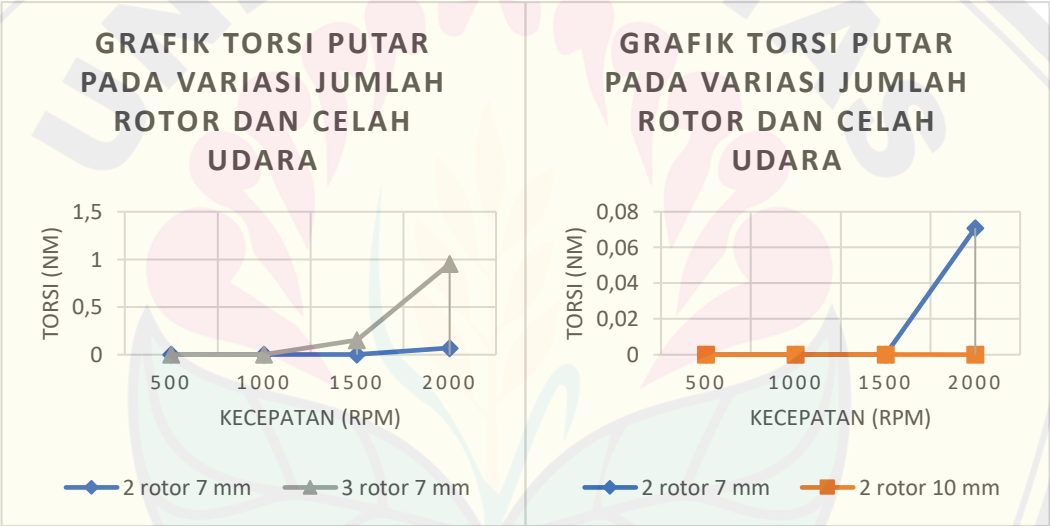
celah udara	jumlah rotor	kecepatan (rpm)	Torsi AC (Nm)	Torsi DC (Nm)
7 mm	2 rotor	500	$4,293 \times 10^{-6}$	$2,667 \times 10^{-6}$
		1000	$3,312 \times 10^{-5}$	$1,263 \times 10^{-5}$
		1500	$7,285 \times 10^{-5}$	$2,994 \times 10^{-5}$
		2000	0,0743397	0,070885
	3 rotor	500	$6,343 \times 10^{-6}$	$4,525 \times 10^{-6}$
		1000	$2,269 \times 10^{-5}$	$1,988 \times 10^{-5}$
		1500	0,193	0,154
		2000	1,2612346	0,953
10 mm	2 rotor	500	$3,194 \times 10^{-6}$	$1,871 \times 10^{-6}$
		1000	$1,234 \times 10^{-5}$	$9,581 \times 10^{-6}$
		1500	$2,695 \times 10^{-5}$	$2,297 \times 10^{-5}$
		2000	$4,676 \times 10^{-5}$	$4,453 \times 10^{-5}$
	3 rotor	500	$4,634 \times 10^{-6}$	$3,317 \times 10^{-6}$
		1000	$1,754 \times 10^{-5}$	$1,51 \times 10^{-5}$
		1500	$7,476 \times 10^{-5}$	$3,491 \times 10^{-5}$
		2000	0,164	0,140

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa dengan adanya luaran tegangan dan arus yang semakin besar pada saat jumlah rotor yang banyak dan celah udara yang kecil dapat menghasilkan luaran daya yang besar. Dimana, berdasarkan persamaan (3.13) bahwa torsi dipengaruhi oleh luaran daya generator

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

dan kecepatan putar yang digunakan, pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm menghasilkan daya terbesar pada kecepatan 2000 rpm sehingga menghasilkan torsi putar sebesar 0,154 Nm dibanding pada saat konstruksi 2 rotor dengan celah udara 10 mm menghasilkan daya terkecil pada kecepatan 2000 rpm sehingga menghasilkan torsi putar sebesar 4,453 x 10^{-5} Nm. Sehingga, dapat dianalisis bahwa semakin banyak jumlah rotor dan semakin kecil celah udara yang digunakan maka akan dapat menghasilkan luaran daya yang besar sehingga menghasilkan torsi putar yang semakin besar. Dimana, besarnya luaran daya generator sebanding dengan besarnya torsi yang dihasilkan berdasarkan persamaan torsi sebelumnya. Berikut data grafik torsi yang dihasilkan dapat dilihat pada grafik gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19 Grafik torsi putar generator dengan variasi jumlah rotor dan celah udara

berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa pada konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm menghasilkan torsi putar terbesar daripada konstruksi dan celah udara yang lain. Sehingga, torsi putar dapat menjadi pertimbangan dalam merancang generator. Dimana, semakin banyaknya jumlah rotor dan semakin kecilnya celah udara yang digunakan dapat menghasilkan torsi yang semakin besar. Namun torsi berbanding terbalik dengan kecepatan putar rotor sehingga semakin besar kecepatan putar rotor yang digunakan maka akan semakin kecil torsi yang

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

dihasilkan, dengan semakin besarnya torsi yang dihasilkan dapat menyebabkan rotor pada generator menjadi sulit untuk berputar jika penggerak generator tidak mampu untuk memberikan kecepatan putar rotor yang sebanding dengan torsi yang dihasilkan.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

BAB 5. PENUTUP

Berdasarkan analisis data hasil pengujian unjuk kerja generator *axial flux double* stator 1 fasa dengan variasi jumlah rotor 2 dan 3 rotor dengan variasi celah udara 7 mm dan 10 mm yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran untuk penelitian lebih lanjut antara lain sebagai berikut.

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan setelah pengujian dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada variasi jumlah rotor dan celah udara yang diberikan pada generator *axial flux double* stator 1 fasa dengan kutub magnet berlawanan tidak berpengaruh terhadap besarnya frekuensi *output* yang dihasilkan oleh generator. Sebagaimana pada gambar 4.12 grafik frekuensi gelombang *output* pada saat kecepatan 2000 rpm menghasilkan frekuensi *output* AC yang sama yaitu sebesar 300 Hz dan frekuensi *output* DC sebesar 600 Hz. Dimana, berdasarkan data tersebut bahwa frekuensi *output* tidak dipengaruhi oleh jumlah rotor dan celah udara namun dipengaruhi oleh kecepatan putar rotor, dan banyaknya *pole* yang digunakan. Kemudian, pada variasi jumlah rotor dan celah udara yang digunakan diperoleh semakin banyak jumlah rotor dan semakin kecil celah udara yang digunakan maka menghasilkan daya *output* yang semakin besar juga hal ini dipengaruhi oleh tegangan dan arus yang dihasilkan, seperti pada saat konstruksi 3 rotor dan celah udara 7 mm menghasilkan daya *output* AC sebesar 0,238 W dengan tegangan AC sebesar 16,79 V dan arus 15,34 mA. Dimana dengan adanya penambahan jumlah rotor dan pengurangan celah udara dapat menghasilkan daya *output* yang lebih besar.
2. Pada variasi jumlah rotor dan celah udara dengan semakin banyaknya rotor dan semakin kecilnya celah udara yang digunakan akan menghasilkan daya luaran yang semakin besar juga karena dipengaruhi oleh nilai tegangan *output* dan arus *output* yang dihasilkan, dimana nilai dari tegangan *output* yang

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

dihasilkan dipengaruhi oleh fluks magnet, yang mana fluks magnet terbesar terjadi pada saat jumlah rotor terbanyak dan celah udara terkecil yaitu sebesar 5,3649 Wb. Sehingga nilai torsi yang dihasilkan akan semakin besar juga, sebagaimana pada pengujian pada saat jumlah rotor terbanyak dan celah udara terkecil yaitu pada saat konstruksi 3 rotor dengan celah udara 7 mm diperoleh torsi putar sebesar 0,953 Nm. Sedangkan pada saat konstruksi terkecil dan celah udara terbesar diperoleh nilai torsi putar sebesar 4,453 x 10^{-5} Nm. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak jumlah rotor dan semakin kecil celah udara yang digunakan maka semakin besar gaya putar (torsi) yang dihasilkan, dimana besarnya torsi sebanding dengan besarnya daya yang dihasilkan oleh generator dan berbanding terbalik dengan kecepatan putar yang digunakan.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya antara lain:

1. Dalam perancangan jumlah rotor dan celah udara selain memperhatikan besar nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator juga harus mempertimbangkan kemampuan dari penggerak generator untuk memenuhi besarnya torsi pada rotor.
2. Dalam penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode regresi linier untuk membandingkan hasil pengujian dengan hasil perhitungan.
3. Dalam penelitian selanjutnya dapat mengetahui efisiensi generator yang dihasilkan.
4. Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan mengenai jumlah rotor dan celah udara yang ideal untuk memaksimalkan parameter pengujian seperti tegangan, arus, daya dan torsi yang dihasilkan.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, M. (2012). *Rancang Bangun Generator Turbin Angin Axial Tiga Fasa Untuk Kecepatan Angin Rendah*. 66.

Azzahra, A. (2020). *Rancang bangun prototipe generator axial flux tiga fasa dengan magnet permanen neodymium(NdFeB) stator ganda untuk pengisian battery 12 volt*. Teknik Elektro, Universitas Jember.

Champman, S. J. (2005). Electric Machinery Fundamentals. In *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.* (5th ed.). Mc Graw Hill Cpmanies.

Chirca, M., Breban, S., Oprea, C. A., & Radulescu, M. M. (2014). Analysis of innovative design variations for double-sided coreless-stator axial-flux permanent-magnet generators in micro-wind power applications. *Proceedings - 2014 International Conference on Electrical Machines, ICEM 2014*, 385–389. https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2014.6960209

Fajar, A. (2017). *RANCANG BANGUN GENERATOR SINKRON AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET 1500 WATT*.

Gieras, J. F., Wang, R.-J., & Kamper, M. J. (2004). *Axial flux permanent magnet brushless machines*. Kluwer Academic.

Harsha, N. R. S., Prakash, A., & Kothari, D. P. (2016). The foundations of electric circuit theory. *The Foundations of Electric Circuit Theory*, 1–206. https://doi.org/10.1088/978-0-7503-1266-0

Jarekson, R. (2011). *Studi Jarak Antar Rotor Magnet Permanen Pada Generator Sinkron Magnet Permanen Flux Aksial Tanpa Inti Stator*.

Khikmah, Q. (2020). *ANALISIS PENGARUH AIR GAP (CELAH UDARA)*

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

TERHADAP UNJUK KERJA GENERATOR AXIAL FLUX DOUBLE SIDE ROTOR 1 FASA DENGAN KUTUB BERLAWANAN (N-S).

Multi, A., Garniwa, I., & Sudibyo, U. B. (2013). Determining the Air Gap Length of an Axial Flux Wound Rotor Synchronous Generator. *MAKARA Journal of Technology Series*, *17*(2), 87–93. https://doi.org/10.7454/mst.v17i2.1952

Mustofa, Notosudjono, D., & Suhendi, D. (2014). *PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN GENERATOR MAGNET PERMANEN DENGAN MOTOR DC SEBAGAI PRIME MOVER*.

Minaz, M. R., & Çelebi, M. (2017). Analysis and Design of an Axial-Flux Coreless Permanent Magnet Synchronous Generator with Single Stators and Double Rotors. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, *4*(1), 7–11.

Prisandi, C. H. (2011). *STUDI DESAIN GENERATOR SINKRON MAGNET PERMANEN FLUX AKSIAL TANPA INTI STATOR Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS INDONESIA*. Teknik Elektro, Universitas Indonesia.

Rossouw, F. G. (2009). Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator System for Direct Battery Charging Applications. *Africa*, *March*, 140.

Setia, P. (2017). 3a.Puja-Setia_-Jurnal-Skripsi. *RANCANG BANGUN MINI GENERATOR FLUX AKSIAL 1 FASA PUTARAN RENDAH MENGGUNAKAN NEODYMIUM MAGNET (NdFeB) BERBASIS MULTI CAKRAM*.

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Syafriyudin, & Suyanto, M. (2021). Analisis Perencanaan Jarak Celah Udara Pada Generator Axial. *Journal of Eectrical Power Control and Automation*, *4*(1), 22–28. https://doi.org/10.33087

Syam, S., Kurniati, S., & Artikel, I. (2021). RANCANG BANGUN GENERATOR AKSIAL DENGAN MENGGUNAKAN MAGNET PERMANEN NdFeB PERSEGI PANJANG. *Jurnal Media Elektro*, *X*(2), 57–64.

Wijaya, A. A., Syahrial, & Waluyo. (2016). Perancangan Generator Magnet Permanen dengan Arah *Flux* Aksial untuk Aplikasi Pembangkit Listrik. *Reks Elkomika*, *4*(2), 93–108.

Wijaya, F. D., W, Y. S., & Nugroho, R. A. (2014). Perancangan Generator Magnet Permanen *Flux* Aksial Putaran Rendah. *Annual Engineering Seminar 2014*, B21–B26.

Xia, B., Jin, M. J., Shen, J. X., & Zhang, A. G. (2010). Design and analysis of an air-cored axial flux permanent magnet generator for small wind power application. *2010 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, ICSET 2010*. https://doi.org/10.1109/ICSET.2010.5684427

Zou, T., Qu, R., Li, J., & Li, D. (2015). Analysis and design of a dual-rotor axial-flux vernier permanent magnet machine. *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2015*, 3906–3913. https://doi.org/10.1109/ECCE.2015.7310212

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

LAMPIRAN

A. Perhitungan

1. Perhitungan Data Hasil Pengujian 2 Rotor Dan Celah Udara 7 Mm

Perhitungan Kerapatan *Flux* Magnet

$B_{max} = B_r \frac{lm}{lm + \delta}$

$= 0{,}0027 \frac{0{,}005}{0{,}005 + 0{,}007}$

$= 0{,}001125$ T

Perhitungan Luasan Medan Magnet

$A_{magnet} = \pi\, r_{magnet}^2$

$= 3{,}14 \times 0{,}075^2$

$= 1{,}76625 \times 10^{-4}\ m^2$

Perhitungan *Flux* Maksimum Magnet

$\Phi_{maxmagn} = A_{magnet}\, B_{max}$

$= 1{,}76625 \times 10^{-4} \times 0{,}001125$

$= 1{,}98703 \times 10^{-7}$ Wb

$\Phi_{maxmagn}$ 2 rotor $= \Phi_{maxmagn} \times N_{manget}$

$= 1{,}98703 \times 10^{-7} \times 18$

$= 3{,}5767 \times 10^{-6}$ Wb

1) Perhitungan Data Hasil Pengujian Tanpa Beban kecepatan 500 rpm

a) Perhitungan Frekuensi Kecepatan 500 Rpm

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

$= \frac{500.18}{120}$

$= 75$ Hz

b) Perhitungan Tegangan Hasil Luaran AC

$Ea = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times f \times N \times \Phi_{maxmagn}$ 2 rotor $\times \frac{Ns}{Nph}$

$= \frac{2.3{,}14}{\sqrt{2}} \times 75 \times 300 \times 3{,}5767 \times 10^{-6} \times \frac{18}{1}$

$= 3{,}216$ V

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

c) Perhitungan Eror Persen Tegangan AC

$$Error\ Percent = \left|\frac{data\ teori - data\ ukur}{data\ teori}\right| \text{ X } 100\%$$

$$= \left|\frac{3{,}216 - 3{,}277}{3{,}216}\right| \text{ X } 100\%$$

$$= 1{,}90\ \%$$

d) Perhitungan Vm

$$Vm = V_{hasil\ Ukur} \text{ X } \sqrt{2}$$

$$= 3{,}277 \text{ X } \sqrt{2}$$

$$= 4{,}5478 \text{ V}$$

e) Perhitungan Vm Output

$$Vm_{out} = Vm - (2x\ V_{dioda})$$

$$= 4{,}5478 - (2 \text{ X } 0{,}7)$$

$$= 3{,}1478 \text{ V}$$

f) Perhitungan Tegangan Luaran Rectifier

$$V_{rectifier} = \frac{2\ x\ Vmout}{\pi}$$

$$= \frac{2\ x\ 3{,}1478}{3{,}14}$$

$$= 2{,}0045 \text{ V}$$

g) Perhitungan Eror Persen Tegangan DC

$$Error\ Percent = \left|\frac{data\ teori - data\ ukur}{data\ teori}\right| \text{ x } 100\%$$

$$= \left|\frac{2{,}0045 - 2{,}01}{2{,}0045}\right| \text{ x } 100\%$$

$$= 0{,}25\ \%$$

2) Perhitungan Data Hasil Pengujian Dengan Beban Led 5 Buah Terhubung Seri Dengan Kecepatan 500 Rpm

a) Perhitungan Impedansi

$$X_L = 2\pi \text{ x f x L}$$

$$= 2.3{,}14 \text{ x } 75 \text{ x } 0{,}0249$$

$$= 11{,}727\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$$

$$= \sqrt{36{,}1^2 + 11{,}727^2}$$

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

= 37,957 Ω

b) Perhitungan Tegangan Luaran AC Dengan Beban

V = Ea – I x Z

= 3,2158 – 10^{-6} x 37,957

= 3,2157 V

c) Perhitungan Eror Persen Tegangan AC dengan beban

$$Error\ Percent = \left|\frac{data\ teori - data\ ukur}{data\ teori}\right| \text{ X } 100\%$$

$$= \left|\frac{3{,}2157 - 3{,}235}{3{,}2157}\right| \text{ X } 100\%$$

= 0,59 %

d) Perhitungan Daya Luaran AC

P_{AC} = V_{AC} x I_{AC}

= 3,235 x 0,000001

= 3,235 x 10^{-6} W

e) Perhitungan Daya Luaran DC

P_{DC} = V_{DC} x I_{DC}

= 2,01 x 0,000001

= 2,01 x 10^{-6} W

f) Perhitungan Torsi AC

$$T = \frac{Pac}{2\ x\ \pi\ x\ \frac{n}{60}}$$

$$= \frac{3{,}235 \text{ x } 10{-}6}{2\ x\ 3{,}14\ x\ \frac{500}{60}}$$

= 4,293 x 10^{-6} Nm

g) Perhitungan Torsi DC

$$T = \frac{Pdc}{2\ x\ \pi\ x\ \frac{n}{60}}$$

$$= \frac{2{,}01 \text{ x } 10{-}6}{2\ x\ 3{,}14\ x\ \frac{500}{60}}$$

= 2,667 x 10^{-6} Nm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 1. Perhitungan Pengujian Tegangan Tanpa Beban

RPM	Vac (V)								Vdc (V)							
	2 rotor 7 mm	E (%)	2 rotor 10 mm	E (%)	3 rotor 7 mm	E (%)	3 rotor 10 mm	E (%)	2 rotor 7 mm	E (%)	2 rotor 10 mm	E (%)	3 rotor 7 mm	E (%)	3 rotor 10 mm	E (%)
500	3,22	1,9	2,57	4,37	4,82	0,75	3,86	8,18	2	0,25	1,43	0,3	3,45	0,96	2,58	2,1
1000	6,43	1,57	5,15	8,26	9,65	3,6	7,72	14,2	4,9	2,07	3,74	2,72	7,79	1,13	6,06	3,79
1500	9,65	4,42	7,72	11,5	14,47	9,26	11,58	17,9	7,79	2,41	6,06	3,8	12,14	3,81	9,54	6,04
2000	12,9	8,57	10,29	14,38	19,29	12,98	15,44	20	10,7	4,44	8,38	0,74	16,49	10,48	13	9,93

Tabel 2. Perhitungan Pengujian Frekuensi

RPM	Fac (Hz)							
	2 rotor 7 mm	E (%)	2 rotor 10 mm	E (%)	3 rotor 7 mm	E (%)	3 rotor 10 mm	E (%)
500	75	0,62	75	0,24	75	0,62	3,86	0,62
1000	150	0,06	150	0,2	150	0,22	7,72	0,53
1500	225	0,31	225	0,08	225	0,08	11,58	0,04
2000	300	0,1	300	0,1	300	0,1	15,44	0,4

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 3. Perhitungan Pengujian Fluks Magnet

	Fluks Magnet			
RPM	2 rotor 7 mm (Wb)	2 rotor 10 mm (Wb)	3 rotor 7 mm (Wb)	3 rotor 10 mm (Wb)
500	3,58E-06	2,86E-06	5,36E-06	4,29E-06
1000	3,58E-06	2,86E-06	5,36E-06	4,29E-06
1500	3,58E-06	2,86E-06	5,36E-06	4,29E-06
2000	3,58E-06	2,86E-06	5,36E-06	4,29E-06

Tabel 4. Perhitungan Pengujian Impedansi

RPM	**2 rotor 7 mm**		**2 rotor 10 mm**		**3 rotor 7 mm**		**3 rotor 10 mm**	
	Xl (Ω)	Z (Ω)	X (Ω)	Z (Ω)	XL (Ω)	Z (Ω)	XL (Ω)	Z (Ω)
500	11,73	37,96	11,73	38	11,73	38	11,7	38
1000	23,46	43,05	23,46	43,1	23,46	43,1	23,5	43,1
1500	35,18	50,41	35,18	50,4	35,18	50,4	35,2	50,4
2000	46,91	59,19	46,91	59,2	46,91	59,2	46,9	59,2

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

Tabel 5. Perhitungan Pengujian Tegangan Dengam Beban

RPM	Vac (V)								Vdc (V)							
	2 rotor 7 mm	E (%)	2 rotor 10 mm	E (%)	3 rotor 7 mm	E (%)	3 rotor 10 mm	E (%)	2 rotor 7 mm	E (%)	2 rotor 10 mm	E (%)	3 rotor 7 mm	E (%)	3 rotor 10 mm	E (%)
500	3,22	0,60	2,57	6,44	4,82	0,90	3,86	9,51	2,00	0,25	1,43	1,09	3,45	1,25	2,58	3,26
1000	6,43	2,98	5,15	9,62	9,65	11,37	7,72	14,35	4,90	2,89	3,74	3,55	7,80	3,95	6,06	6,11
1500	9,65	5,15	7,72	12,28	14,28	12,09	11,58	18,89	7,80	3,57	6,06	4,79	11,97	2,74	9,54	8,04
2000	12,79	10,25	10,29	14,39	18,39	15,75	15,29	19,99	10,63	1,32	8,38	0,15	15,67	16,21	12,88	12,17

Tabel 6. Perhitungan Pengujian Daya

RPM	Pdc (W)							
	2 rotor 7 mm	E (%)	2 rotor 10 mm	E (%)	3 rotor 7 mm	E (%)	3 rotor 10 mm	E (%)
500	2E-06	0,253	1E-06	1,094	3E-06	0,253	3E-06	3,26
1000	5E-06	2,888	4E-06	3,551	8E-06	2,888	6E-06	6,11
1500	8E-06	3,568	6E-06	4,79	0,04	3,568	1E-05	8,04
2000	0,013	1,318	8E-06	0,148	0,214	1,318	0,03	12,2

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

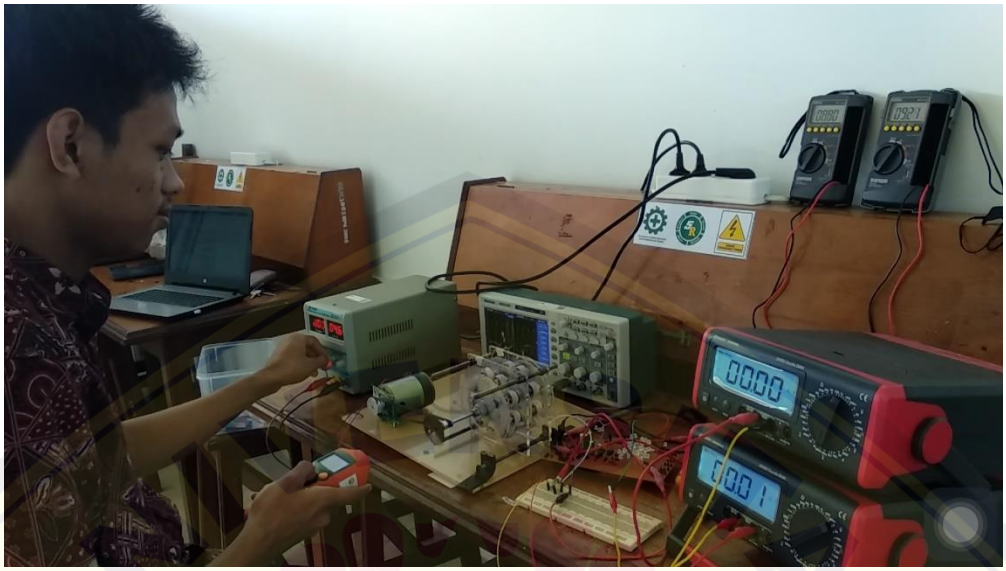
Tabel 7. Pengujian Arus dan Torsi

RPM	2 rotor 7 mm		2 rotor 10 mm		3 rotor 7 mm		3 rotor 10 mm	
	arus (mA)	Torsi (Nm)	arus (mA)	Torsi (Nm)	arus (mA)	Torsi (Nm)	arus (mA)	Torsi (Nm)
500	1,0E-03	4,3E-06	1,0E-03	3,2E-06	1,0E-03	6,3E-06	1,0E-03	4,6E-06
1000	1,0E-03	3,3E-05	1,0E-03	1,2E-05	1,0E-03	2,3E-05	1,0E-03	1,8E-05
1500	1,0E-03	7,3E-05	1,0E-03	2,7E-05	3,32	1,9E-01	1,0E-03	7,5E-05
2000	1,22	7,4E-02	1,0E-03	4,7E-05	13,67	1,3	2,33	1,6E-01

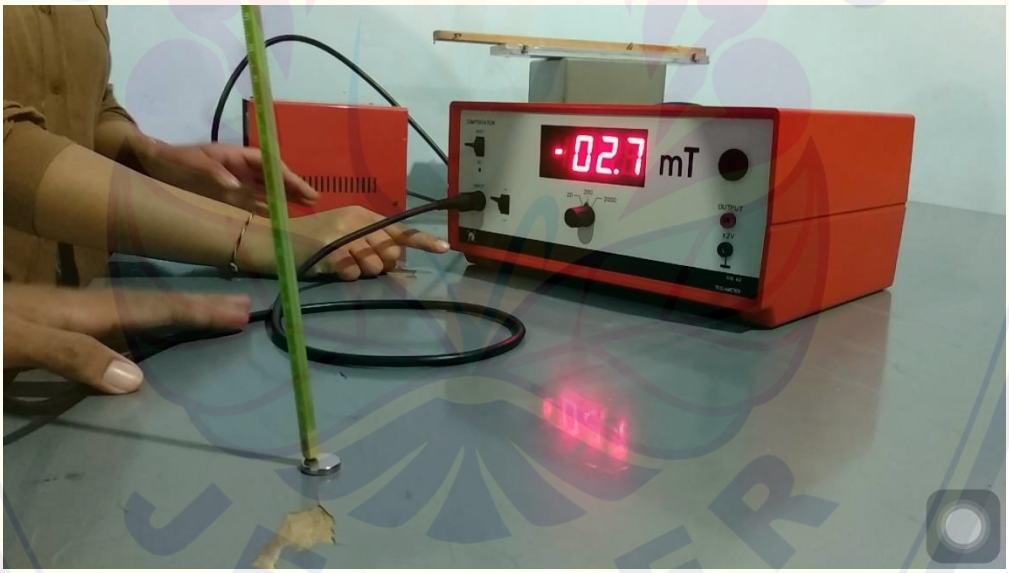
DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

B. Dokumentasi



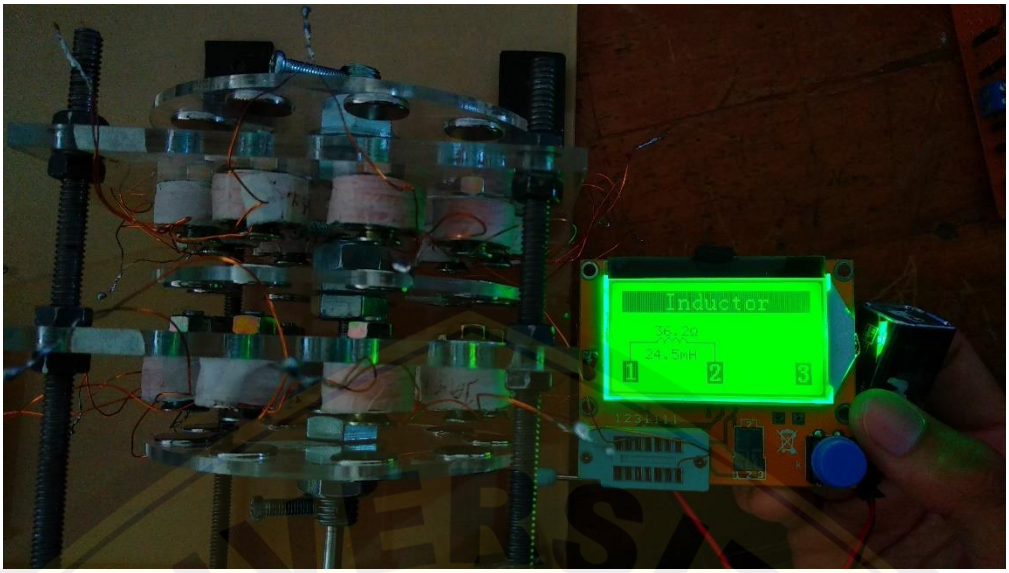
Gambar 1. Pengujian generator *axial flux double* stator dengan variasi jumlah rotor dan celah udara



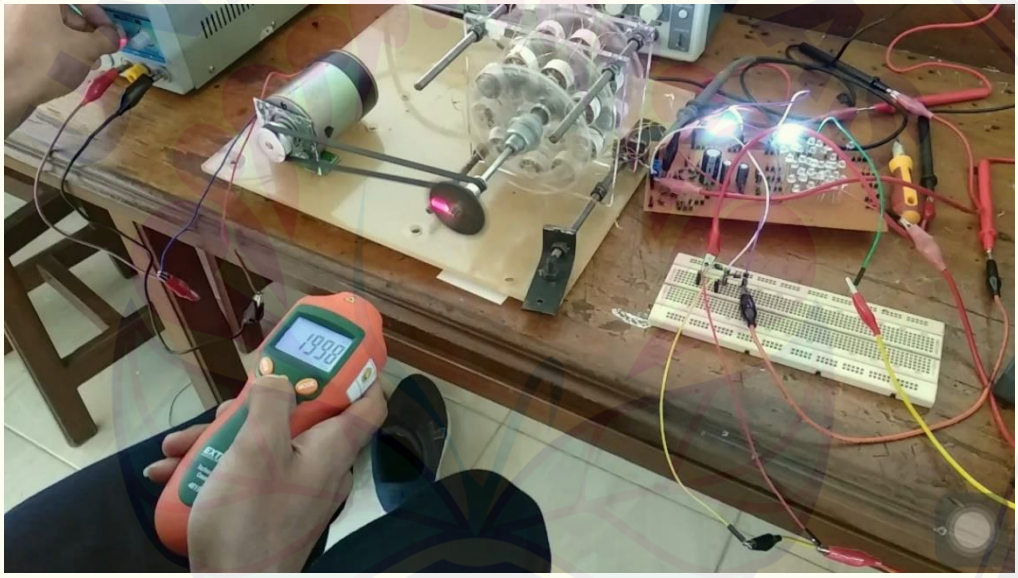
Gambar 2. Pengukuran densitas *flux* magnet

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



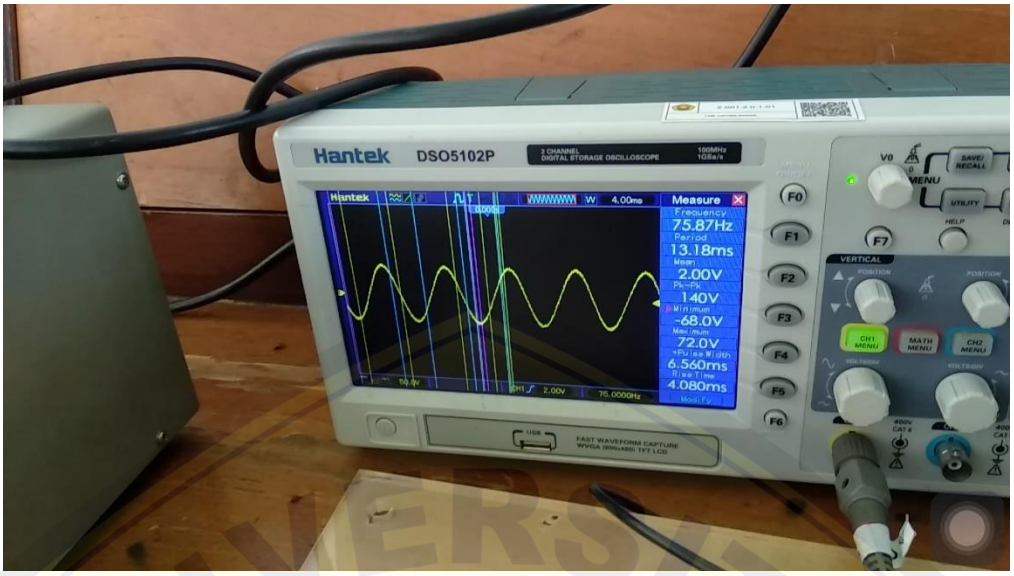
Gambar 3. Pengukuran resistansi dan induktansi kumparan



Gambar 4. Pengujian kecepatan putar rotor dengan tachometer

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

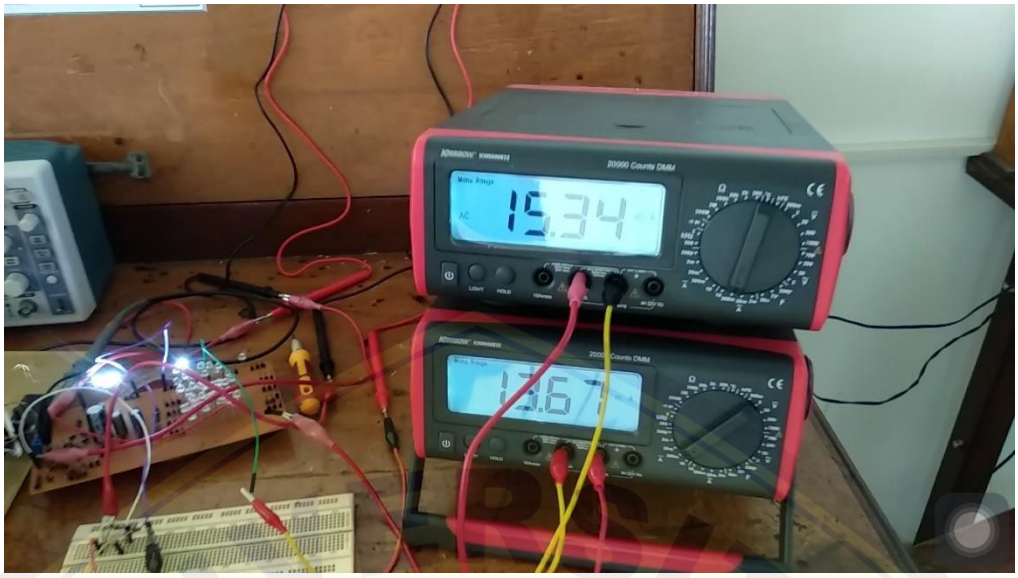


Gambar 5. Pengujian gelombang dan frekuensi output generator dengan osiloskop

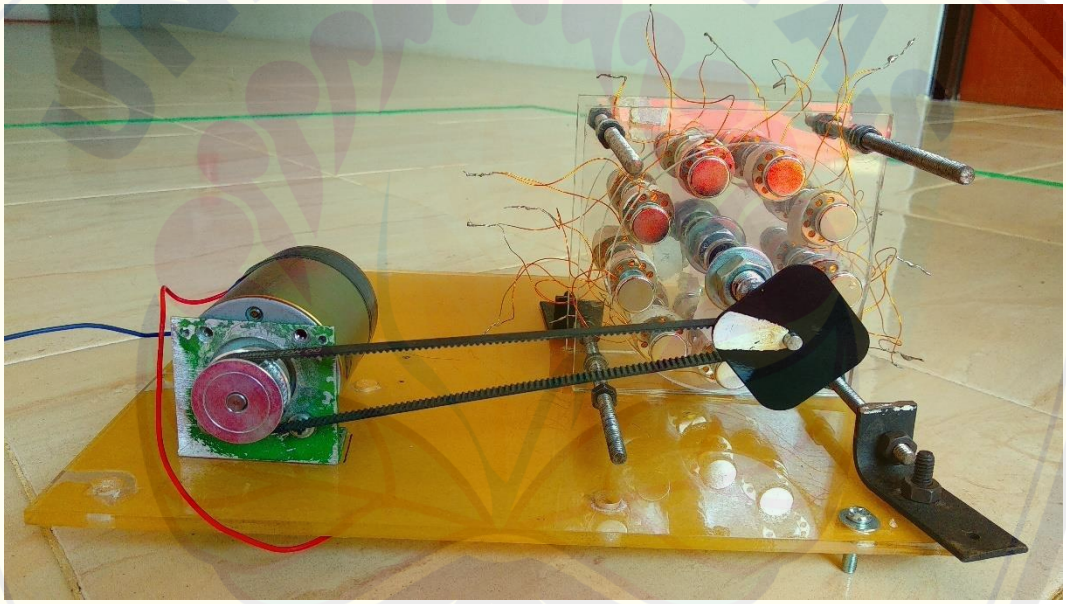
Gambar 6. Pengujian tegangan hasil luaran generator

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



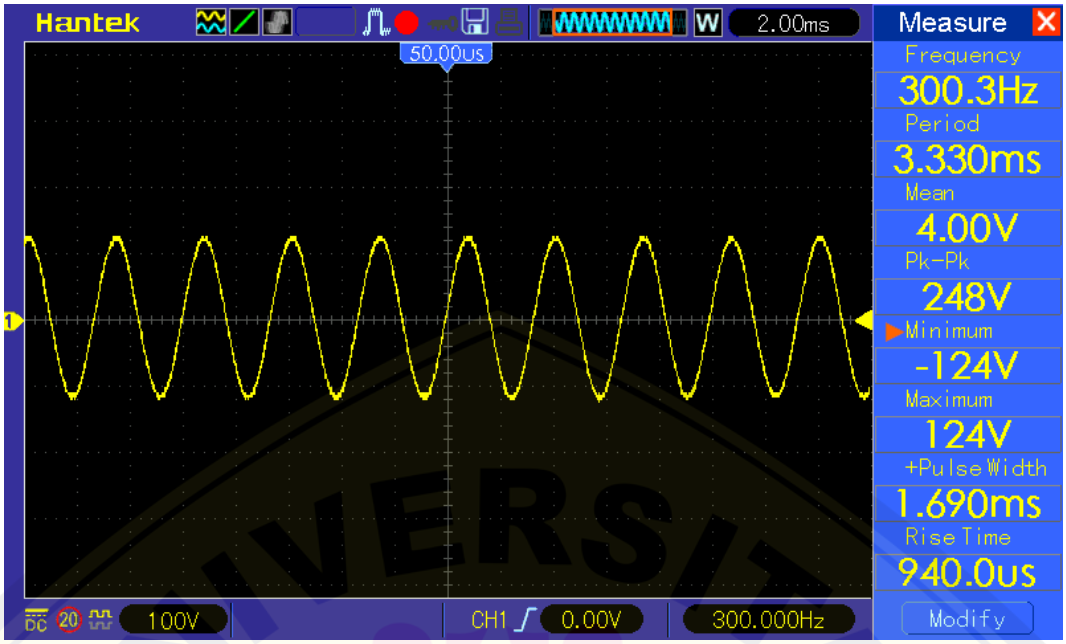
Gambar 7. Pengujian arus luaran generator dengan beban LED



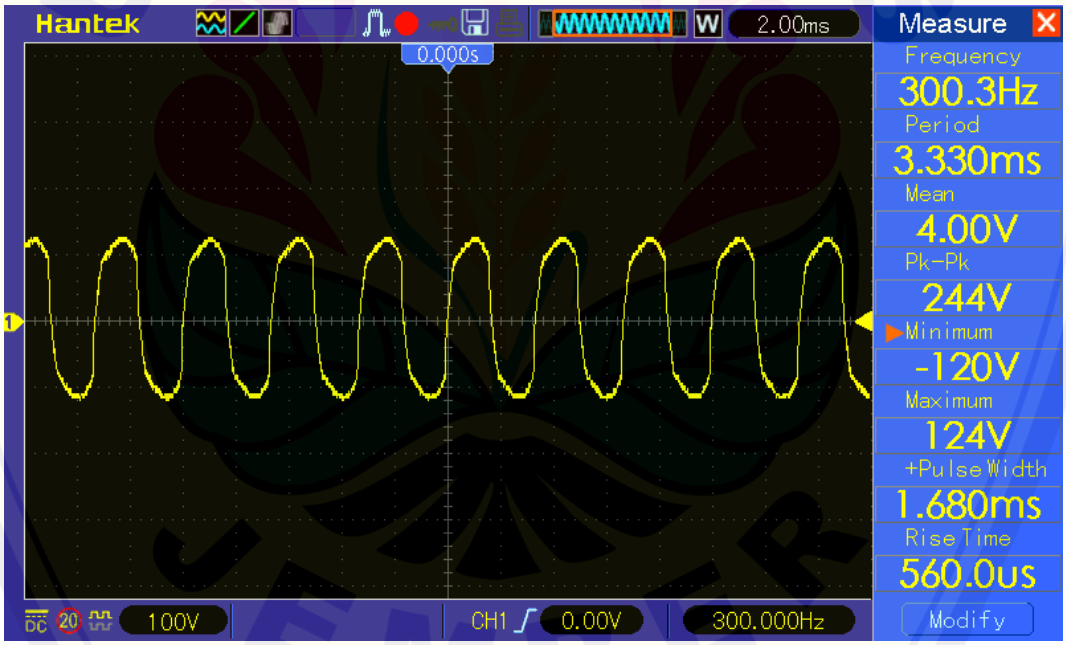
Gambar 8. Generator *axial flux double* stator dengan variasi jumlah rotor dan celah udara

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



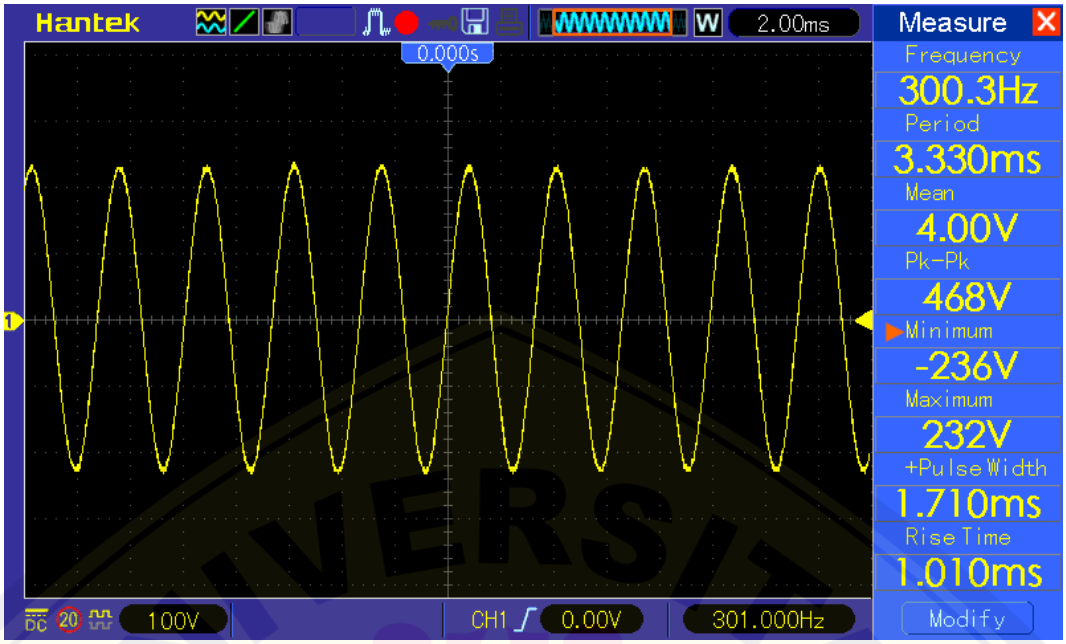
Gambar 9. Gelombang luaran generator tanpa beban konstruksi 2 rotor 2 stator celah udara 7 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm



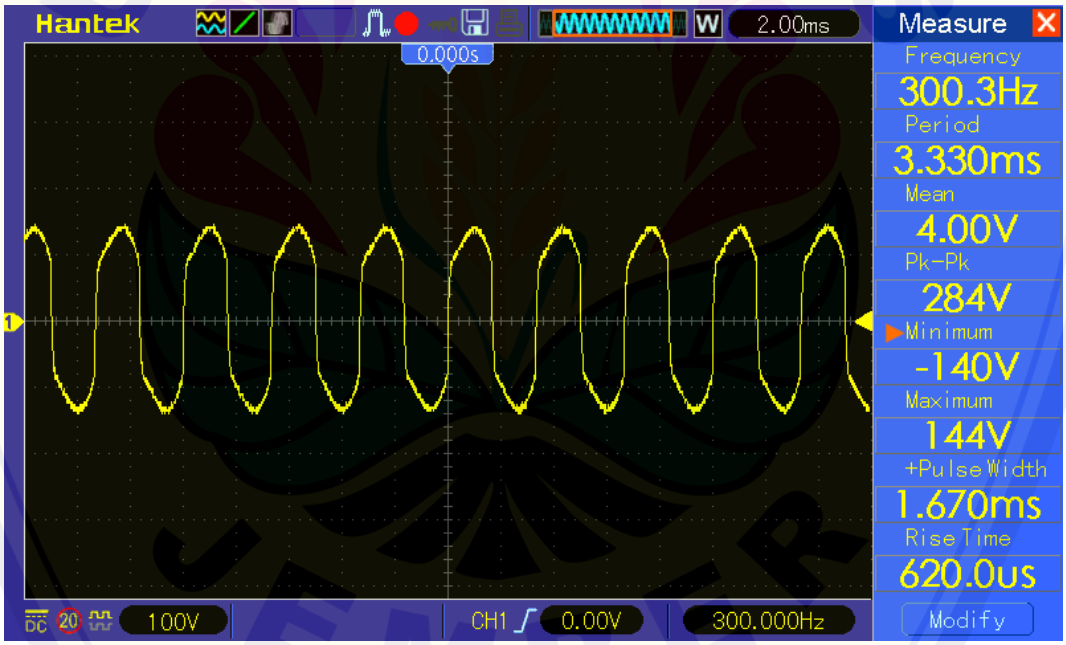
Gambar 10. Gelombang luaran generator dengan beban konstruksi 2 rotor 2 stator celah udara 7 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



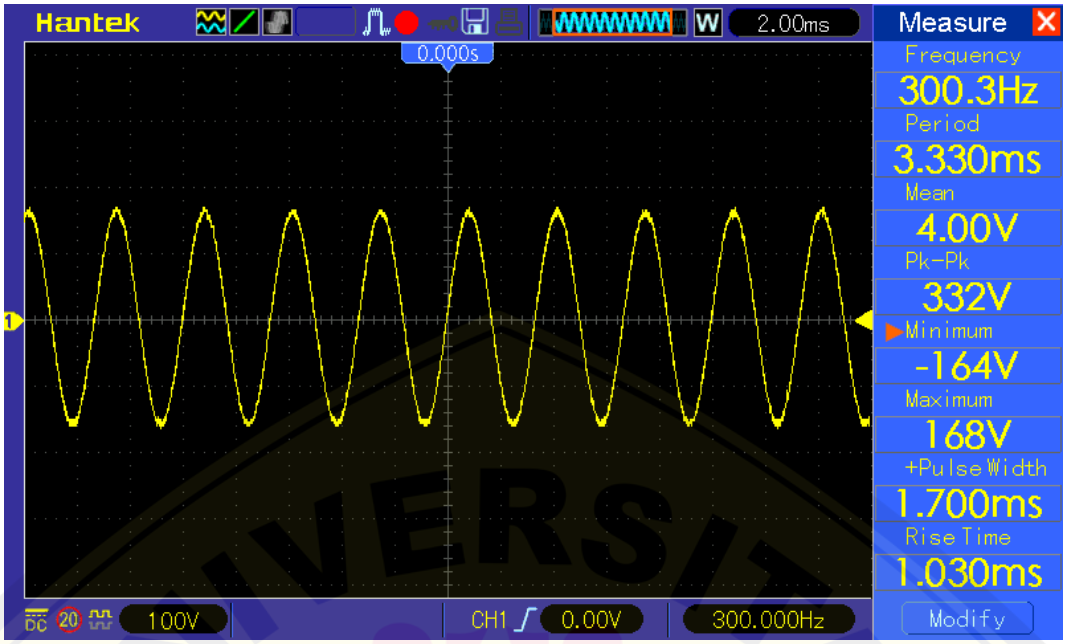
Gambar 11. Gelombang luaran generator tanpa beban konstruksi 3 rotor 2 stator celah udara 7 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm



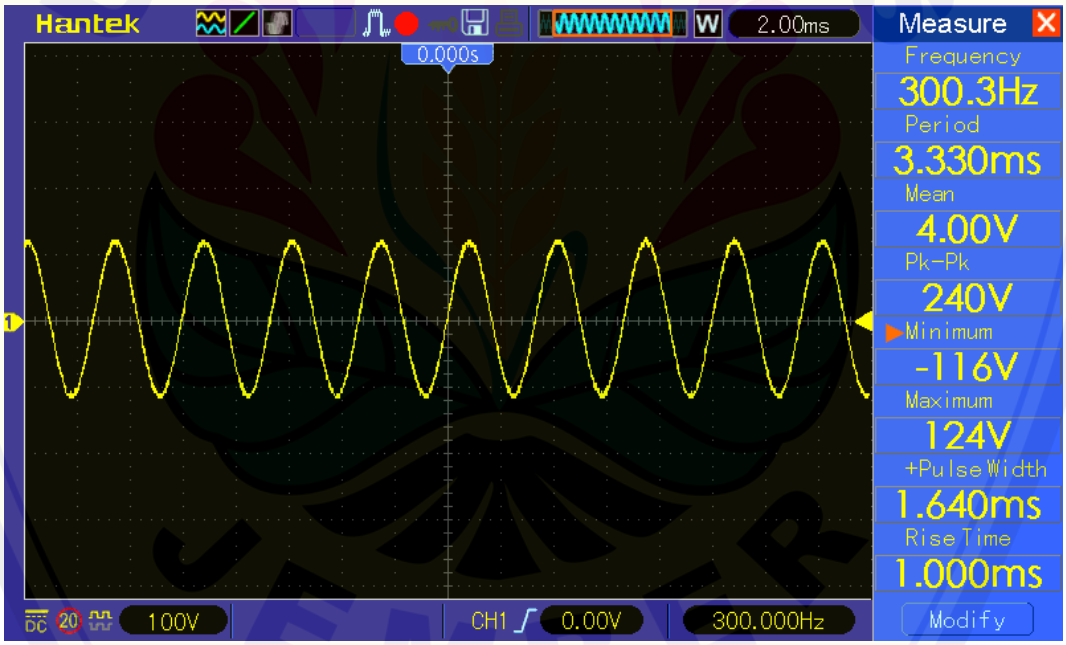
Gambar 12. Gelombang luaran generator dengan beban konstruksi 3 rotor 2 stator celah udara 7 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



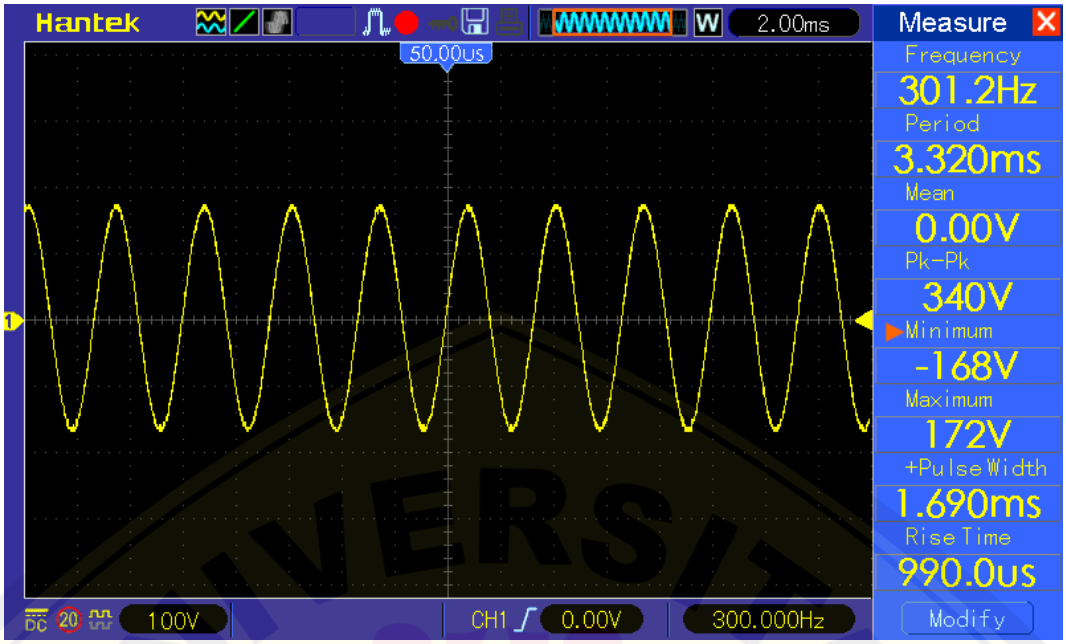
Gambar 13. Gelombang luaran generator tanpa beban konstruksi 2 rotor 2 stator celah udara 10 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm



Gambar 14. Gelombang luaran generator dengan beban konstruksi 2 rotor 2 stator celah udara 10 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

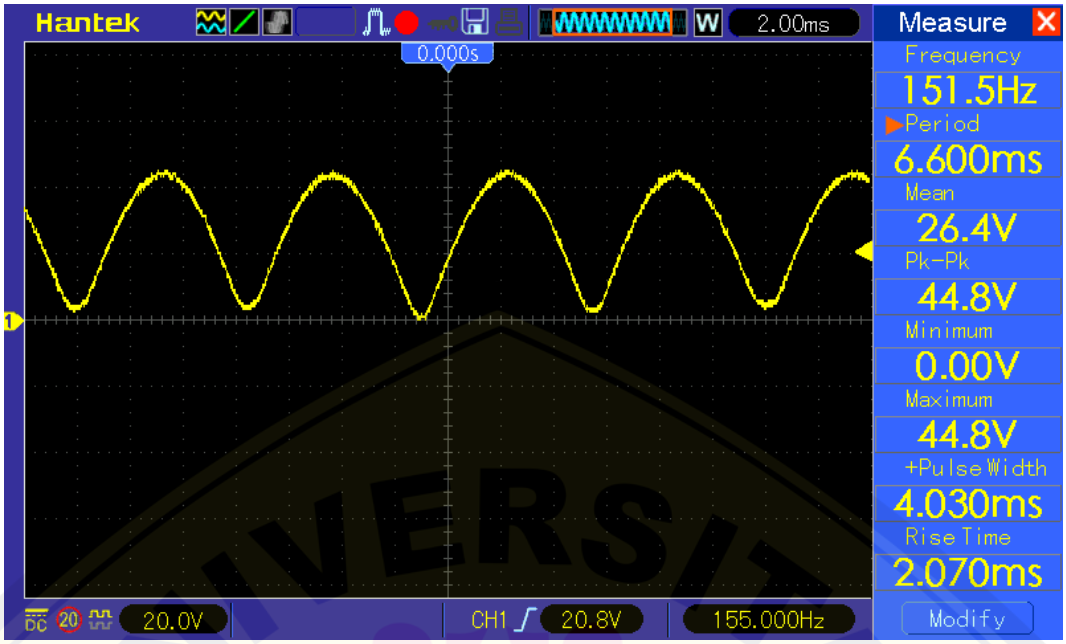


Gambar 15. Gelombang luaran generator tanpa beban konstruksi 3 rotor 2 stator celah udara 10 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm

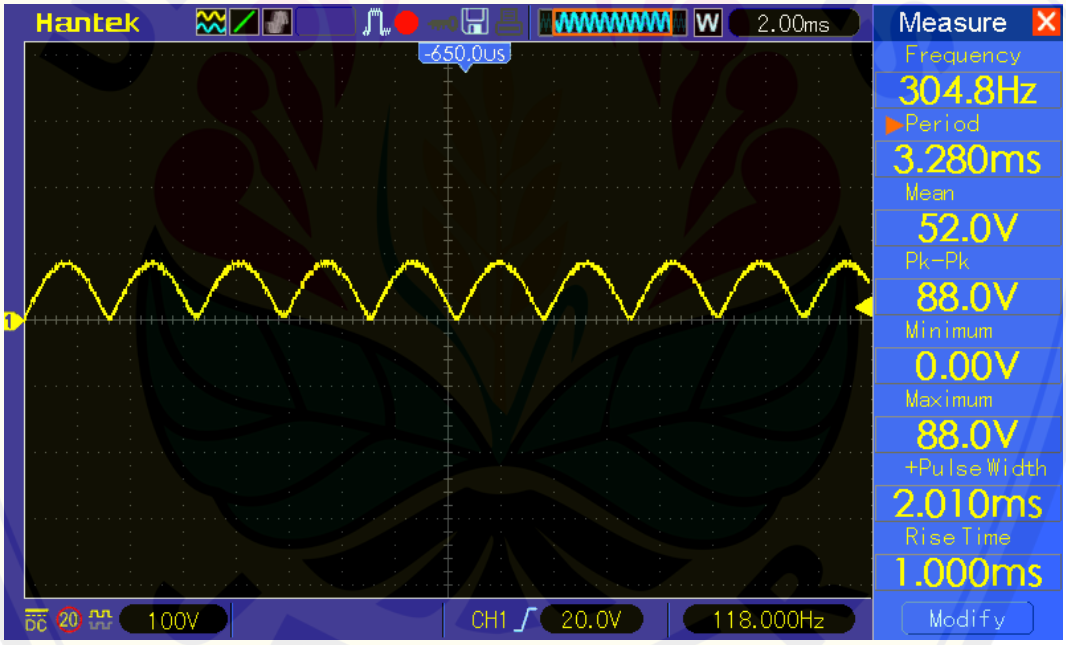
Gambar 16. Gelombang luaran generator dengan beban konstruksi 3 rotor 2 stator celah udara 10 mm saat kecepatan putar rotor 2000 rpm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



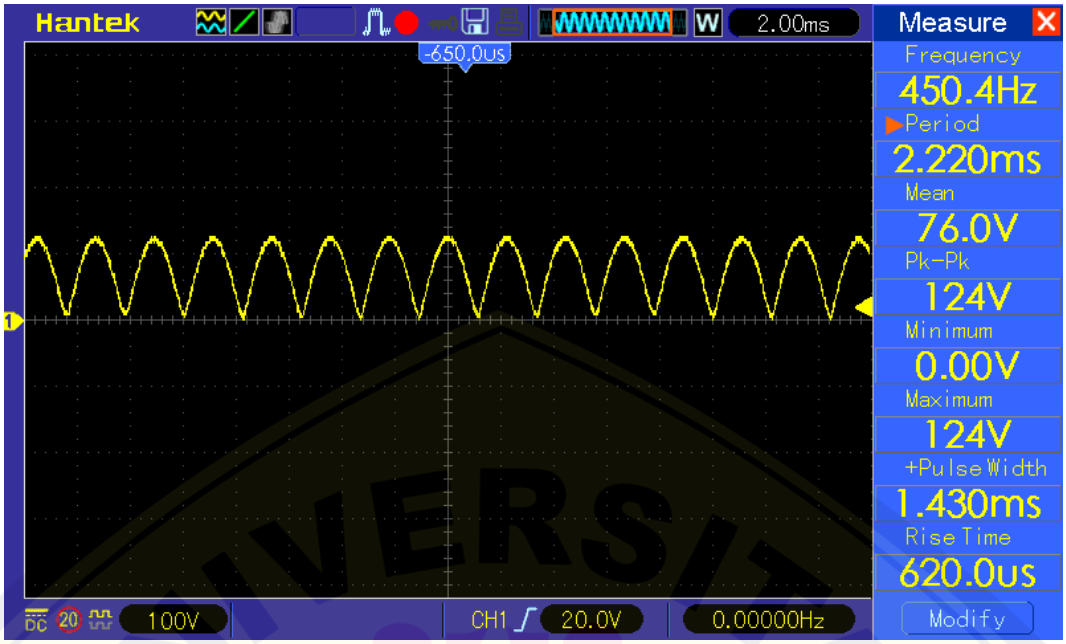
Gambar 17. Gelombang luaran *rectifier* dengan kecepatan 500 rpm



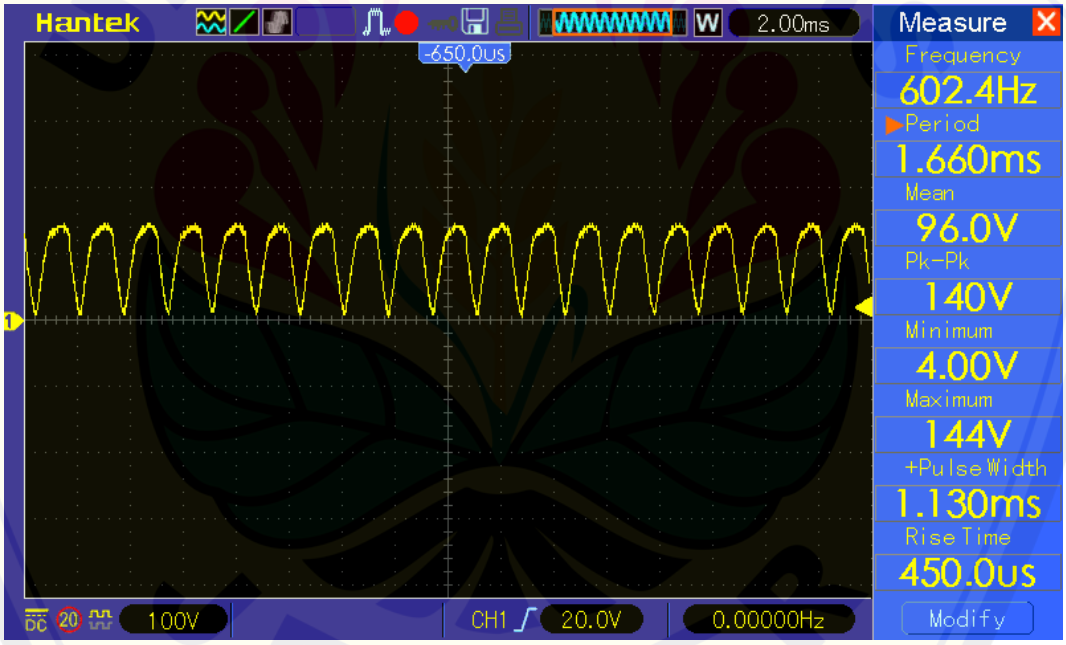
Gambar 18. Gelombang luaran *rectifier* dengan kecepatan 1000 rpm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER



Gambar 19. Gelombang luaran *rectifier* dengan kecepatan 1500 rpm



Gambar 20. Gelombang luaran *rectifier* dengan kecepatan 2000 rpm

DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER