



**ANALISIS PERBEDAAN PEMASANGAN POLARITAS
MAGNET PERMANEN TERHADAP PERFORMA
GENERATOR 1 FASA AKSIAL FLUKS
MULTICAKRAM**

SKRIPSI

Oleh:

Riki Candra Kirana

181910201042

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

2022



**ANALISIS PERBEDAAN PEMASANGAN POLARITAS
MAGNET PERMANEN TERHADAP PERFORMA
GENERATOR 1 FASA AKSIAL FLUKS
MULTICAKRAM**

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:

Riki Candra Kirana

181910201042

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala nikmat, karunia dan hidayah-Nya yang telah memberikan kemudahan bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Sholawat serta salam juga selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW. Dengan segala kerendahan hati, penulis persembahkan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Syaiful Bahri dan Ibu Sari Wati yang telah membesarkan, mendoakan sekaligus mendidik saya menjadi sosok seperti saat ini serta adik perempuan saya Ica Sania Mirzah;
2. Dosen pembimbing, Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan bapak Ali Rizal Chaidir, S.T., M.T. yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama pengerjaan skripsi ini;
3. Dosen penguji, bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. dan bapak Dr. Ir. Satryo Budi Utomo S.T., M.T. yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis.
4. Bapak Dr. 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 selama masa perkuliahan.

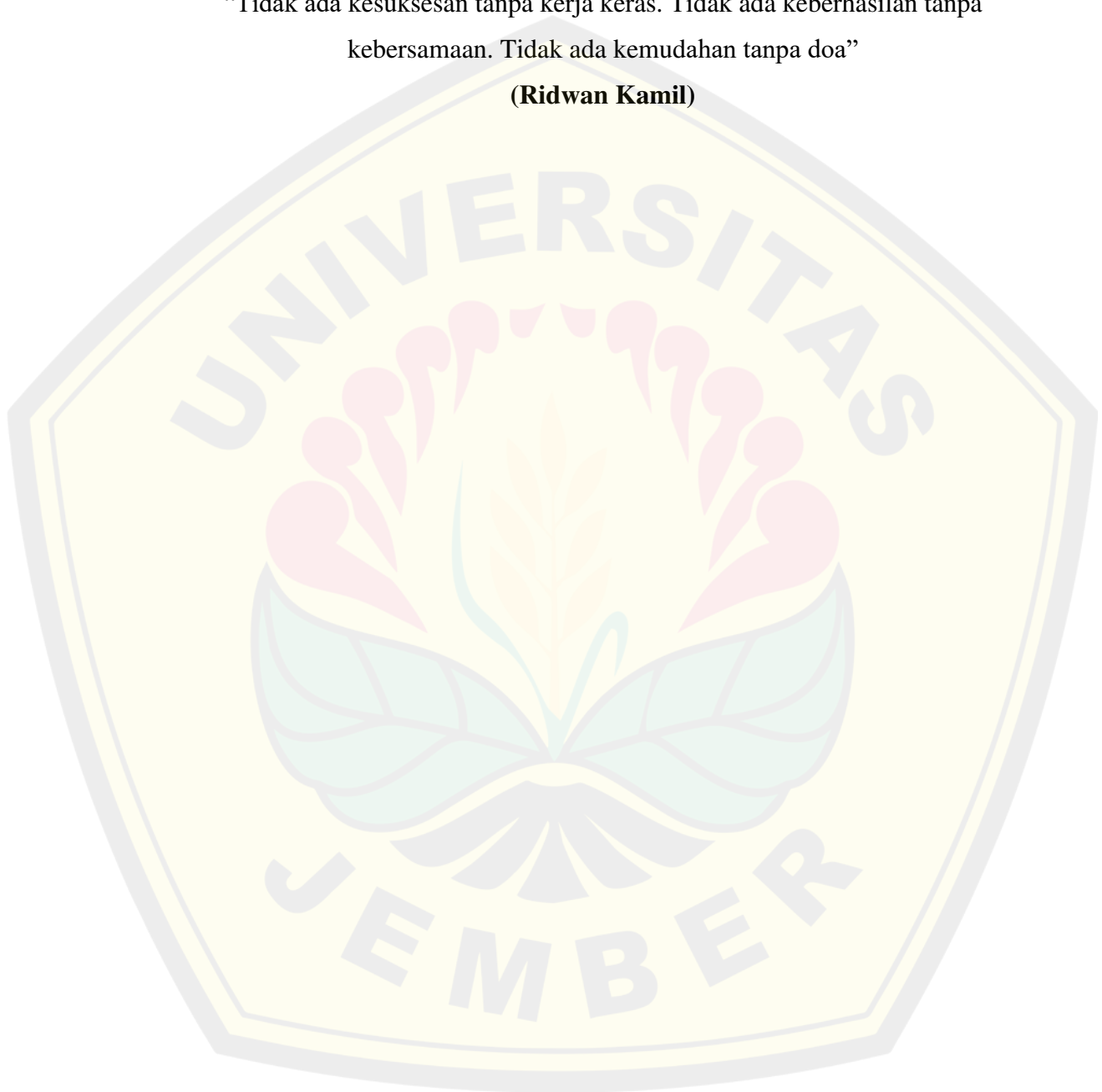
MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah Ayat 286)

“Tidak ada kesuksesan tanpa kerja keras. Tidak ada keberhasilan tanpa kebersamaan. Tidak ada kemudahan tanpa doa”

(Ridwan Kamil)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riki Candra Kirana

NIM : 181910201042

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Perbedaan Pemasangan Polaritas Magnet Permanen Terhadap Performa Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram” 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,

Riki Candra Kirana

NIM. 181910201042

SKRIPSI

**ANALISIS PERBEDAAN PEMASANGAN POLARITAS MAGNET
PERMANEN TERHADAP PERFORMA GENERATOR 1 FASA
AKSIAL FLUKS MULTICAKRAM**

Oleh:

Riki Candra Kirana

181910201042

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ali Rizal Chaidir, S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Analisis Perbedaan Pemasangan Polaritas Magnet Permanen Terhadap Performa Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram” karya Riki Candra Kirana telah disetujui pada:

Hari : Senin

Tanggal : 12 Juli 2022

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,

Anggota I,

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP.196104141989021001

Anggota II,

Ali Rizal Chaidir, S.T., M.T.

NIP.760015754

Anggota III,

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

NIP.197008261997021001

Dr. Ir. Satryo Budi Utomo S.T., M.T.

NIP.198501262008011002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

NIP.197008261997021001

RINGKASAN

Analisis Perbedaan Pemasangan Polaritas Magnet Permanen Terhadap Performa Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram; Riki Candra Kirana, 181910201042; 2022; 78 halaman; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pertumbuhan manusia dan perkembangan teknologi yang meningkat, menyebabkan kebutuhan energi juga semakin meningkat salah satunya adalah energi listrik. Apabila hal ini dibiarkan terus menerus maka akan menyebabkan terjadinya krisis energi, untuk mengatasi hal tersebut maka perlu adanya pengembangan energi yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui yaitu energi baru dan terbarukan seperti energi air, angin, gelombang laut dan lain sebagainya. Energi gerak yang dihasilkan oleh energi terbarukan dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh peletakan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) terhadap nilai frekuensi, fluks magnet, tegangan, arus dan daya pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram. Kontruksi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 3 buah stator dan 2 rotor, 8 kumparan tiap stator dan 8 kutub magnet tiap rotor. Pengujian generator 1 fasa aksial fluks multicakram dilakukan pada dua kondisi yaitu tanpa beban dan berbeban. Setiap pengujian dilakukan pada masing-masing pemasangan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) dengan kecepatan putar rotor 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm. Pada pengujian pertama 1000 rpm tanpa beban diperoleh nilai frekuensi dan fluks magnet tipe (U-S) sebesar 66,83 Hz dan $1,28267 \times 10^{-5}$ Wb, sedangkan pada tipe (U-U) sebesar 133,5 Hz dan $1,85048 \times 10^{-6}$ Wb. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tipe U-S menghasilkan nilai frekuensi yang lebih kecil dan nilai fluks magnet yang lebih besar. Nilai frekuensi akan mempengaruhi nilai fluks magnet, dimana semakin besar nilai frekuensi maka nilai fluks magnet akan semakin kecil. Pada pengujian berbeban kecepatan 1000 rpm dengan nilai tegangan, arus dan daya DC pada beban 1 tipe U-S sebesar 23,13 volt, 16,46 mA dan 0,38 W. Sedangkan pada tipe U-U bernilai 6,18 volt, 0,0005 mA dan $3,1 \times 10^{-6}$ W. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator tipe (U-S)

bernilai lebih besar dibandingkan dengan tipe (U-U), hal ini dikarenakan nilai frekuensi yang dihasilkan lebih kecil dan fluks magnet yang lebih besar.



SUMMARY

Analysis Differences Instalation Of Permanen Magnet Polarity To The Performance Of Generator 1 Phase Axial Fluks Multicakram; Riki Candra Kirana, 181910201042; 2022; 78 pages; Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Human growth and technological developments are increasing, causing the need for energy to increase one of which is electrical energy. If this is allowed to continue it will cause an energy crisis, to overcome this is necessary to develop environmentally renewable energy, namely new and renewable energy such as water energy, wind, ocean waves, and so on. The motion energy produced by renewable energy can be used as electrical energy with the help of a generator. The purpose of this study was to determine the effect of placing unidirectional (U-U) and opposite (U-S) magnetic poles on the value of frequency, magnetic flux, voltage, current, and power on a single-phase axial flux generator. The construction used in this study is 3 stators and 2 rotors, 8 coils per stator, and 8 magnetic poles per rotor. Testing of a single-phase axial flux multi-disc generator was carried out in two conditions, namely no-load and loaded. Each test was carried out on each installation of unidirectional (U-U) and opposite (U-S) magnetic poles with rotor rotational speeds of 1000 rpm, 1250 rpm, and 1500 rpm. In the first test of 1000 rpm without load, the frequency and magnetic flux of type (U-S) were 66.83 Hz and $1,28267 \times 10^{-5}$ Wb, while in type (U-U) it was 133.5 Hz and $1,85048 \times 10^{-6}$ Wb. This value indicates that the U-S type produces a smaller frequency value and a larger magnetic flux value. The frequency value will affect the magnetic flux value, where the greater the frequency value, the smaller the magnetic flux value. In the test with a speed load of 1000 rpm with the value of voltage, current, and DC power at load 1 type U-S of 23.13 volts, 16.46 mA, and 0.38 W. While the U-U type is worth 6.18 volts, 0.0005 mA and $3,1 \times 10^{-6}$ W. From these data, it can be seen that the value of the voltage, current, and power generated by the generator type (U-S) is greater than the type (U-U), this is because the frequency value generated is higher. smaller and the magnetic flux larger.

PRAKATA

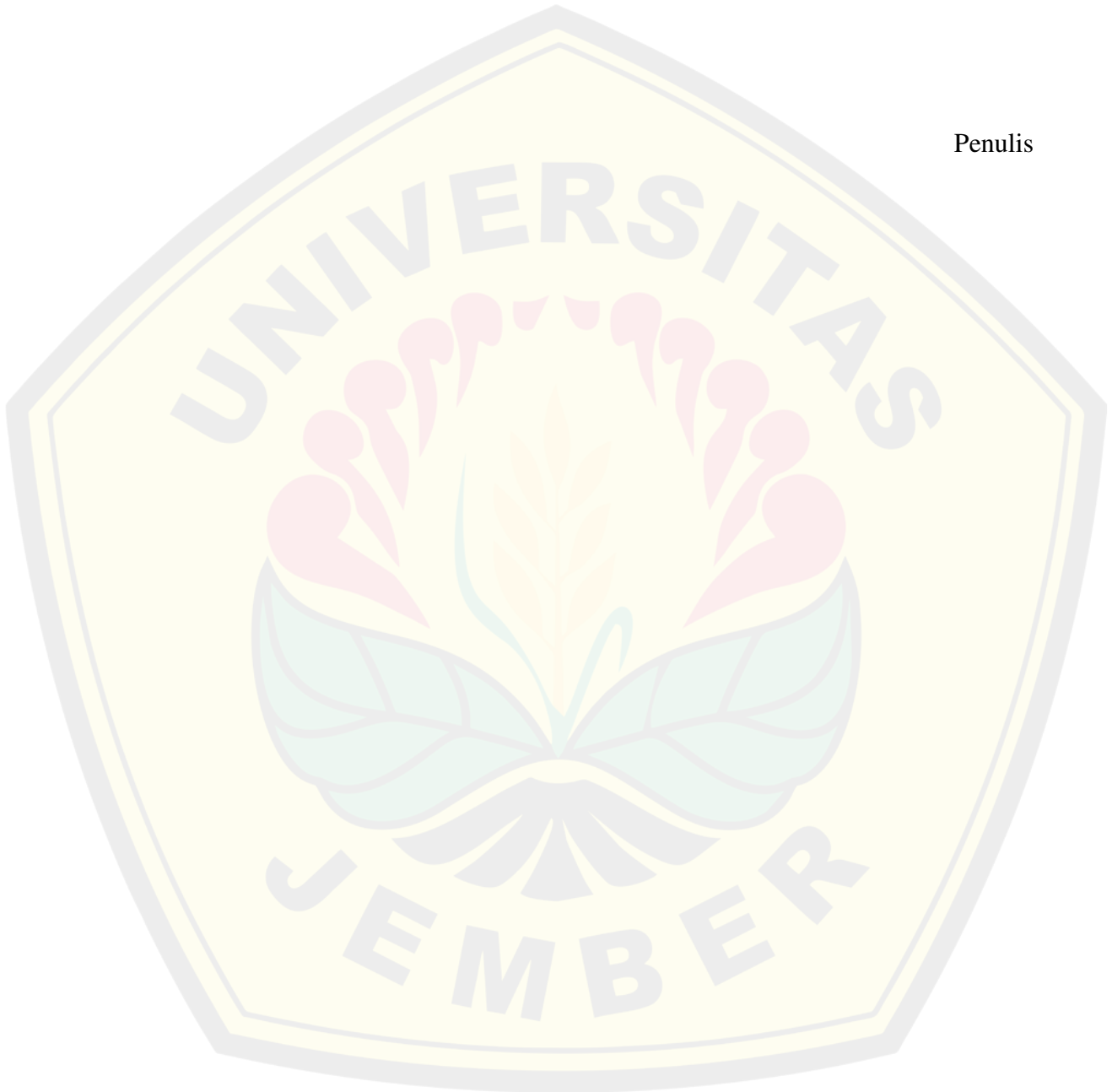
Puji syukur saya ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala nikmat, karunia dan hidayah-Nya yang telah memberikan kemudahan bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Sholawat serta salam juga selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang;
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat;
3. Kedua orang tua saya, Bapak Syaiful Bahri dan Ibu Sari Wati yang telah membesarkan, mendoakan sekaligus mendidik saya menjadi sosok seperti saat ini serta adik perempuan saya Ica Sania Mirzah;
4. Dosen pembimbing saya, Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan bapak Ali Rizal Chaidir, S.T., M.T. yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama pengerjaan skripsi ini;
5. Dosen penguji saya, bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. dan bapak Dr. Ir. Satryo Budi Utomo S.T., M.T.;
6. Seluruh guru TK Nusa Indah, SDN Glagah II, SMPN 2 Pakuniran, SMA Negeri 1 Paiton dan Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember atas ilmu yang telah diberikan kepada saya selama ini;
7. Keluarga Besar Laboratorium Listrik Dasar Fakultas Teknik serta Lembaga Pengabdian Masyarakat Universitas Jember yang telah menyediakan tempat dalam pembuatan alat pada skripsi ini;
8. Keluarga besar Teknik Elektro Unej angkatan 2018 dan almamater tercinta;
9. Teman seperjuangan Riski, Alfasindo, Afif, Lista, Erista, Sholehudin, Zainuri, Kamalia, Almas, Rozan dan teman-teman lainnya yang selalu memotivasi penulis untuk mengerjakan skripsi ini;
10. Para alumni Qoidatul Khikmah dan Pandu Pratama Putra yang telah memberikan motivasi, ide dan diskusi yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini;
11. Sahabat-sahabat saya Fitrah, Evi, Ica, Hudi, Gilang, Restu, Jordan, Fuji dan Indah;
12. Seluruh pihak yang terlibat dan tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

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

Jember, 12 Juli 2022

Penulis



DAFTAR ISI

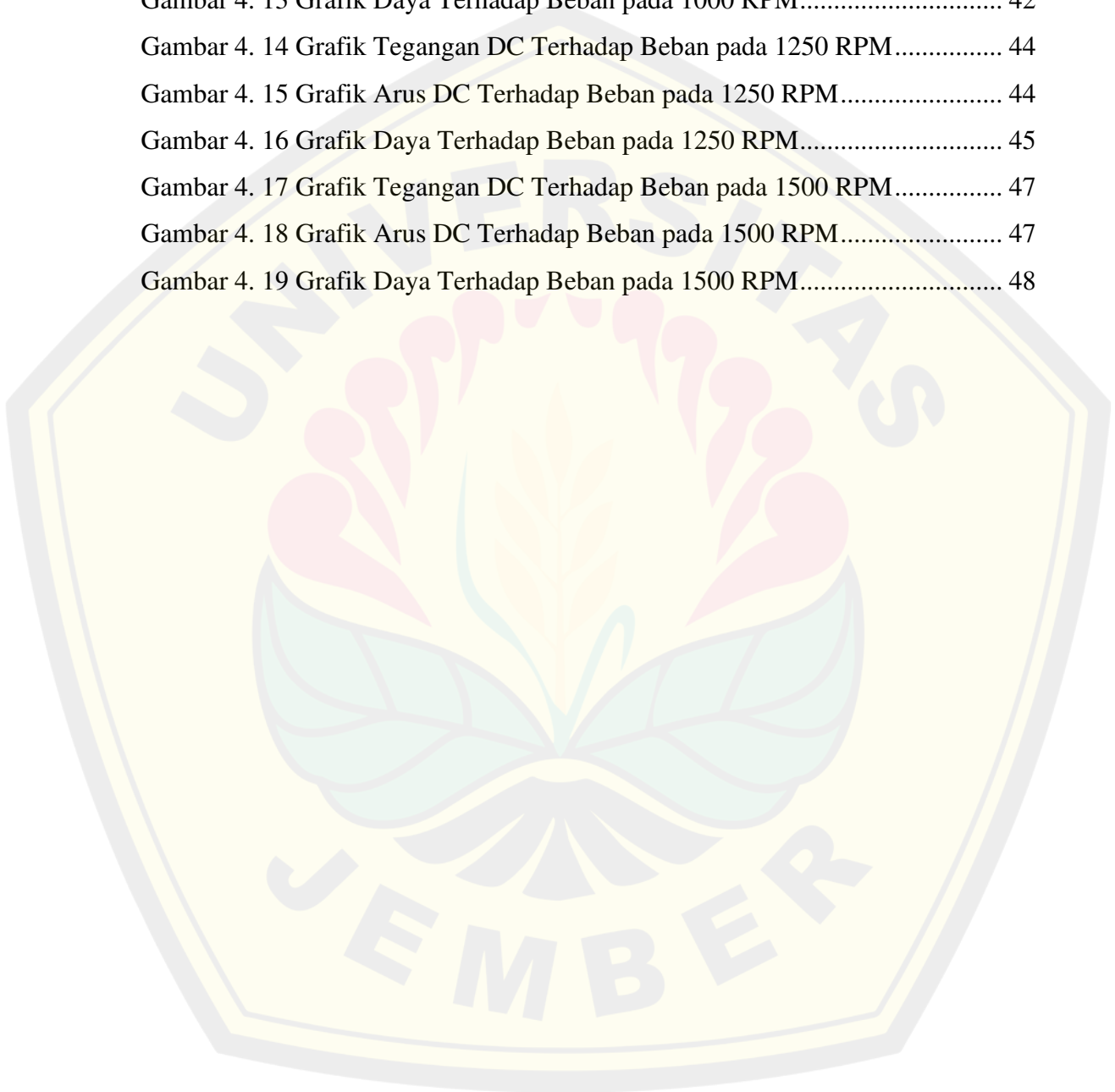
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Generator	6
2.2 Generator Axial Fluks	7
2.2.1 Prinsip Kerja Generator Aksial Fluks.....	7
2.2.2 Kontruksi Generator Axial Flux	9
2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Generator	11
2.3 Magnet Permanen.....	15
2.4 Kawat Email	17
2.5 Dioda <i>Bridge</i> (Penyearah)	18
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	20

3.1.1 Tempat Penelitian	20
3.1.2 Waktu Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan	21
3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan	22
3.3 Tahapan Penelitian	22
3.4 Blok Diagram Penelitian	25
3.5 Desain Alat	26
3.5.1 Desain Kontruksi Stator.....	26
3.5.2 Desain Kontruksi Rotor	26
3.5.3 Desain Kontruksi Generator Multicakram.....	28
3.6 Metode Pengambilan Data	29
3.6.1 Pengujian Alat	29
3.6.2 Perhitungan Generator 1 fasa Aksial Fluks Multicakram.....	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Spesifikasi Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram	31
4.2 Pengujian Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram.....	34
4.2.1 Pengujian Generator Tanpa Beban	34
4.2.2 Pengujian Generator dengan Menggunakan Beban.....	39
BAB 5. PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

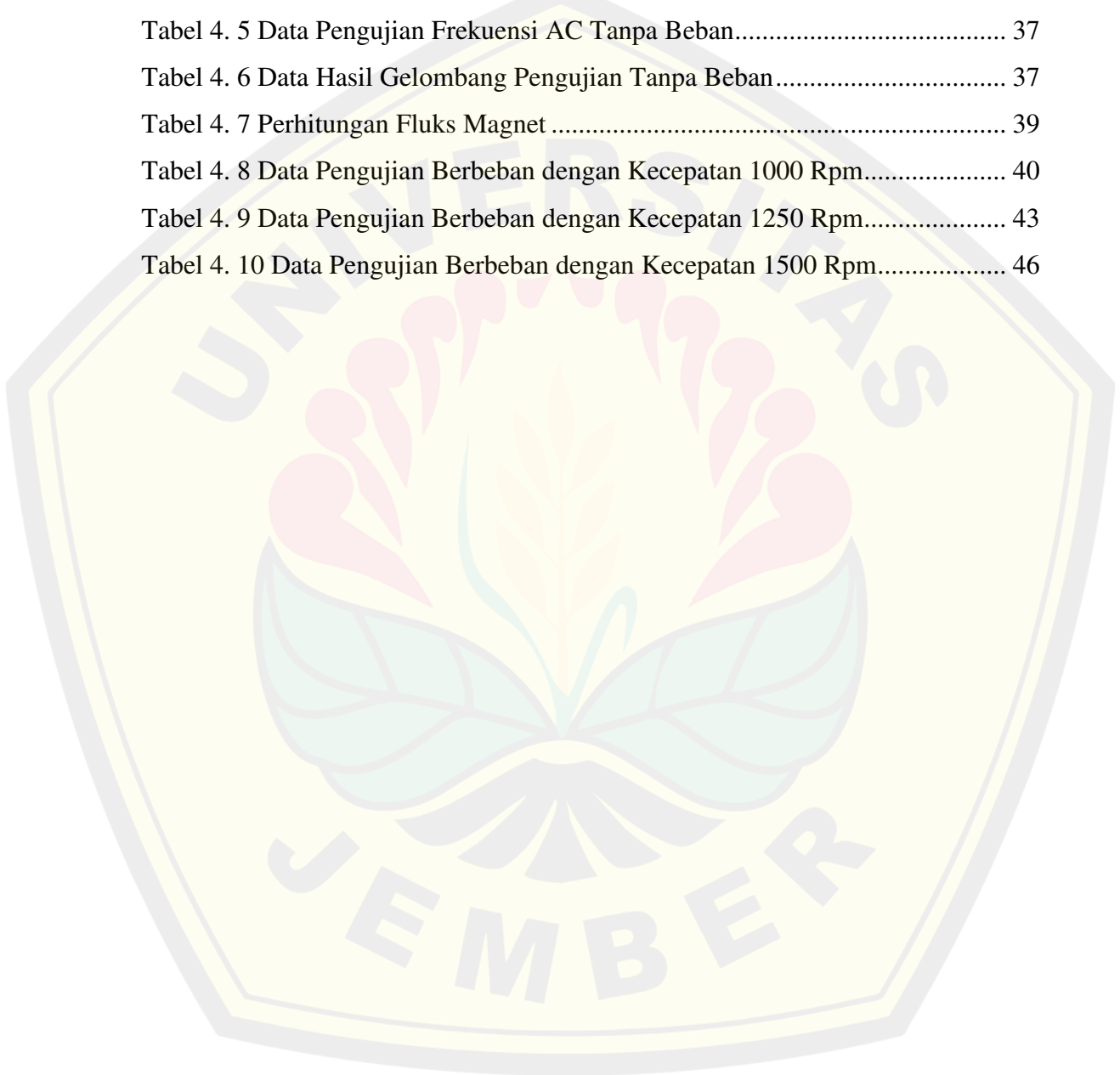
Gambar 2. 1 Topologi Aksial Fluks Magnet Permanen.....	7
Gambar 2. 2 Kontruksi Rotor Aksial Fluks	10
Gambar 2. 3 Tipe Pemasangan Magnet(a) Surface-mounted PM, (b) Embedded PM.....	10
Gambar 2. 4 Kontruksi Stator Aksial Fluks	11
Gambar 2. 5 Kontruksi Umum Generator Aksial Fluks	11
Gambar 2. 6 Rangkaian Ekuivalen Generator.....	12
Gambar 2. 7 Kontruksi Generator Jenis Single Side.....	13
Gambar 2. 8 Kontruksi Jenis Double Sided Internal Stator	14
Gambar 2. 9 Kontruksi Generator Jenis Double Sided Internal Rotor	14
Gambar 2. 10 Kontruksi Generator Double Sided Internal Stator Berdasarkan Arah Fluksnya (a) Kutub N-N (searah), (b) Kutub N-S (berlawanan arah).....	14
Gambar 2. 11 Kontruksi Generator Multidisc.....	15
Gambar 2. 12 Magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB).....	16
Gambar 2. 13 Perbandingan Kurva Demagnetisasi Magnet Permanen	17
Gambar 2. 14 Rangkaian Dioda Bridge	18
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Blok Diagram	25
Gambar 3. 3 Desain 2D Kerangka Stator.....	26
Gambar 3. 4 Desain Magnet Permanen NdFeB	27
Gambar 3. 5 Desain 2D Kerangka Rotor	27
Gambar 3. 6 Desain Pemasangan Magnet Tipe U-U atau S-S.....	27
Gambar 3. 7 Desain Pemasangan Magnet Tipe U-S.....	28
Gambar 3. 8 Desain 3D Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram.....	28
Gambar 4. 1 Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram.....	31
Gambar 4. 2 Pengukuran Resistansi dan Induktansi Kumparan	32
Gambar 4. 3 Grafik Tegangan Terhadap Kecepatan Putar Rotor Tanpa Beban...	36
Gambar 4. 4 Gelombang Tipe U-S 1000 rpm	37
Gambar 4. 5 Gelombang Tipe U-U 1000 rpm	37
Gambar 4. 6 Gelombang Tipe U-S 1250 rpm	38
Gambar 4. 7 Gelombang Tipe U-U 1250 rpm	38

Gambar 4. 8 Gelombang Tipe U-S 1500 rpm	38
Gambar 4. 9 Gelombang Tipe U-U 1500 rpm	38
Gambar 4. 10 Grafik Frekuensi Generator Terhadap Kecepatan Putar Tanpa Beban.....	38
Gambar 4. 11 Grafik Tegangan DC Terhadap Beban pada 1000 RPM.....	41
Gambar 4. 12 Grafik Arus DC Terhadap Beban pada 1000 RPM.....	41
Gambar 4. 13 Grafik Daya Terhadap Beban pada 1000 RPM.....	42
Gambar 4. 14 Grafik Tegangan DC Terhadap Beban pada 1250 RPM.....	44
Gambar 4. 15 Grafik Arus DC Terhadap Beban pada 1250 RPM.....	44
Gambar 4. 16 Grafik Daya Terhadap Beban pada 1250 RPM.....	45
Gambar 4. 17 Grafik Tegangan DC Terhadap Beban pada 1500 RPM.....	47
Gambar 4. 18 Grafik Arus DC Terhadap Beban pada 1500 RPM.....	47
Gambar 4. 19 Grafik Daya Terhadap Beban pada 1500 RPM.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arus Hantar Kawat Email	17
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian	20
Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Generator Multicakram.....	32
Tabel 4. 2 Data Spesifikasi Motor DC	34
Tabel 4. 3 Data Pengujian Tegangan AC Tanpa Beban.....	35
Tabel 4. 4 Data Pengujian Tegangan DC Tanpa Beban.....	35
Tabel 4. 5 Data Pengujian Frekuensi AC Tanpa Beban.....	37
Tabel 4. 6 Data Hasil Gelombang Pengujian Tanpa Beban.....	37
Tabel 4. 7 Perhitungan Fluks Magnet	39
Tabel 4. 8 Data Pengujian Berbeban dengan Kecepatan 1000 Rpm.....	40
Tabel 4. 9 Data Pengujian Berbeban dengan Kecepatan 1250 Rpm.....	43
Tabel 4. 10 Data Pengujian Berbeban dengan Kecepatan 1500 Rpm.....	46



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan manusia dan perkembangan teknologi yang meningkat, menyebabkan kebutuhan energi juga semakin meningkat. Pesatnya perkembangan teknologi dan industri yang ada menyebabkan kebutuhan serta ketersediaan cadangan energi semakin menipis, terutama energi fosil. Bahan bakar minyak bumi atau energi fosil merupakan sumber energi utama disegala sektor dan tergolong tidak dapat diperbarui, salah satu contohnya adalah dibidang kelistrikan. Energi listrik merupakan faktor pendukung untuk perkembangan pembangunan, industri, pelayanan publik dan lain-lain. Apabila hal ini dibiarkan terus menerus maka akan menyebabkan terjadinya krisis energi, untuk mengatasi hal tersebut maka perlu adanya pengembangan energi yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui yaitu energi baru dan terbarukan seperti energi air, angin, matahari, panas bumi, gelombang laut dan lain sebagainya.

Energi terbarukan tidak serta-merta bisa langsung digunakan, melainkan perlu adanya pengolahan hingga menjadi energi listrik. Gerak yang dihasilkan oleh energi terbarukan dapat dimanfaatkan dengan cara mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik dengan menggunakan generator. Prinsip kerja generator yaitu menggunakan hukum Faraday yang menyatakan bahwa magnet yang bergerak pada suatu kumparan akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) induksi yang akan menyebabkan adanya perubahan fluk gaya magnet.

Pemanfaatan energi terbarukan seperti tenaga air dan angin pada pembangkit listrik skala kecil hanya bisa menghasilkan energi mekanik berupa putaran rendah (*low speed*), salah satu contoh generator yang dapat bekerja pada putaran rendah adalah generator AFPM atau *Axial Flux Permanent Magnet*. Generator jenis ini memiliki kontruksi yang lebih sederhana, mudah untuk dibuat, biaya pembuatan yang relatif rendah dan diameter rotor dapat ditentukan sesuai dengan frekuensi dan daya pada putaran tertentu (Khikmah, 2020). Umumnya sebagian besar generator yang tersedia dipasaran adalah generator jenis *high speed*, dimana generator jenis ini membutuhkan energi dan putaran yang tinggi untuk menciptakan medan magnetnya (Mustofa et al., 2014). Sulitnya menemukan

generator *low speed* dipasaran membuat generator jenis ini terus dikembangkan baik dari segi *design*, bentuk, efisiensi dan pemanfaatannya.

Beberapa penelitian tentang generator *Axial Flux Permanent Magnet* telah dilakukan baik membahas tentang rancang bangun generator, pengaruh jumlah kutub magnet, jenis magnet yang digunakan, jumlah kumparan, jumlah lilitan dan parameter lain yang dapat mempengaruhi performa generator. Salah satu penelitian dilakukan oleh Ainur Rohmah Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Jember pada tahun 2019 tentang “Rancang Bangun Generator AC kontruksi *Axial Flux* Satu Fasa Menggunakan Magnet Neodymium (NdFeB) Silinder dengan Kutub Berlawanan (U-S)”, dengan kontruksi stator ganda, rotor tunggal dan menggunakan inti besi pada setiap kumparannya. Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan kutub berlawanan arah (U-S) terhadap performa generator dengan stator ganda. Diperoleh analisa bahwa semakin besar beban yang diberikan, maka nilai arus dan kecepatan akan semakin besar (Rohmah, 2019). Pada pengujian tegangan *output* konstan sebesar 23 volt dan menggunakan beban 400 Ω diperoleh nilai arus sebesar 0,0575 A dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,32 watt. Pengujian tersebut merupakan pengujian dengan nilai efisiensi tertinggi sebesar 2,20%.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Alysa Karisma Addina Putri tahun 2019 dengan judul “Rancang bangun Generator *Axial Flux* Satu Fasa Menggunakan *Neodymium Iron Boron* Magnet (NdFeB) Silinder Dengan Kutub Searah (U-U)”. Kontruksi pada penelitian Alysa dan Ainur Rohmah ini hampir sama, akan tetapi ukuran dan pemasangan arah kutub magnet yang digunakan berbeda. Ukuran magnet pada penelitian Ainur Rohmah berdiameter 10 mm dan tebal 3 mm dengan kutub berlawanan arah (U-S), sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Alysa Karisma Addina Putri berdiameter 12 mm dan tebal 3 mm dengan kutub searah (U-U). Pada penelitian ini diperoleh analisa bahwa semakin banyak beban (nilai resistansi berkurang) maka daya dan efisiensi akan semakin besar dengan tegangan *output* konstan.

Penelitian yang sering dilakukan umumnya menganalisa performa generator baik menggunakan kutub searah maupun berlawanan arah. Salah satu contohnya yaitu penelitian Ainur Rohmah dengan menggunakan kutub berlawan

(U-S) dan Alysa menggunakan kutub searah (U-U), akan tetapi kedua penelitian ini memiliki ukuran magnet dan pengujian alat yang berbeda. Pada penelitian Ainur Rohmah pengujian alat dilakukan pada saat tegangan *output* generator 18 volt, 20 volt dan 23 volt dengan parameter yang dicari adalah frekuensi, daya, tegangan *output*, dan efisiensi. Sedangkan pada penelitian Alysa pengujian alat dilakukan pada saat kondisi tegangan *output* generator 4,5 volt, 6 volt dan 8 volt dengan parameter yang dicari adalah frekuensi, tegangan *output*, daya *input*, daya *output* dan efisiensi generator. Dari kedua kondisi pengujian tersebut maka tidak bisa dibandingkan antara pengaruh pemasangan kutub magnet dikarenakan ukuran magnet dan parameter yang diujikan tidak sama.

Oleh karena itu, topik yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu tentang analisis perbedaan pemasangan polaritas magnet permanen terhadap performa generator 1 fasa aksial fluks multicakram. Kontruksi generator yang akan digunakan yaitu dua rotor dan tiga stator dengan dua kondisi pengujian, pemilihan kontruksi multicakram ini dikarenakan dapat menghasilkan output yang lebih besar dibandingkan dengan kontruksi lainnya. Pengujian pertama yaitu kutub magnet disusun searah (U-U) dan pengujian kedua kutub magnet disusun berlawanan arah (U-S). Tujuan akhir pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh pemasangan polaritas magnet terhadap performa generator dengan parameter yang dianalisa adalah frekuensi, nilai fluks magnet, tegangan, arus dan daya pada saat berbeban dan tidak berbeban dengan kecepatan putar rotor sebesar 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi titik fokus pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh peletakan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) terhadap nilai frekuensi dan fluks magnet pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram ?
2. Bagaimana pengaruh peletakan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) terhadap nilai tegangan, arus dan daya pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, dalam penelitian ini penulis memberikan batasan masalah diantaranya:

1. Menggunakan motor DC sebagai penggerak (*prime mover*).
2. Nilai fluks magnet diperoleh dari kombinasi antara hasil pengukuran dan perhitungan.
3. Menggunakan kecepatan putar rotor sebesar 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh peletakan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) terhadap nilai frekuensi dan fluks magnet pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram.
2. Mengetahui pengaruh peletakan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) terhadap nilai tegangan, arus dan daya pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Dapat mengetahui pengaruh peletakan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) terhadap nilai frekuensi dan fluks magnet pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram.
2. Dapat mengetahui pengaruh peletakan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) terhadap nilai tegangan, arus dan daya pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram.
3. Dengan dilakukannya penelitian tentang analisis performa generator aksial fluks multicakram terhadap perbedaan pemasangan polaritas magnet permanen ini, dapat dijadikan sebagai media pembelajaran dan referensi ilmiah yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, sistematika penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. BAB 1. PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat penelitian dan sistematika dari penelitian yang telah dibuat.

b. BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang dasar teori yang berkaitan dengan topik penelitian.

c. BAB 3. METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam melakukan kajian dan penelitian.

d. BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil dari penelitian yang berisikan data dan analisa data.

e. BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

Generator merupakan suatu mesin listrik yang berfungsi untuk mengkonversi energi meknik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Dalam penerapannya, generator membutuhkan energi mekanik untuk menggerakkan bagian rotornya. Energi mekanik tersebut dapat diperoleh dari motor yang digunakan sebagai *prime over*, selain itu energi mekanik yang bisa digunakan dapat diperoleh dari tenaga air, angin, dan lain-lain. Berdasarkan jenis *output* yang dihasilkan, generator dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu generator yang *output*-nya berupa listrik AC atau bisa disebut dengan energi alternator dan generator yang *output*-nya berupa listrik DC atau bisa disebut dengan generator dinamo (Azzahra, 2020).

Prinsip kerja dari generator yaitu mengacu pada hukum Faraday yang ditemukan oleh Michael Faraday tahun 1821. Hukum Faraday merupakan hukum elektromagnetik yang dapat memprediksi terbentuknya gaya gerak listrik (GGL) ketika kawat penghantar listrik atau kumparan berada diantara medan magnet. Dalam percobaannya Michael Faraday menemukan bahwa pada aliran muatan listrik dapat diinduksi dengan menggerakkan konduktor listrik seperti kawat yang bermuatan listrik pada suatu medan magnet atau sebaliknya. Gerakan ini dapat menciptakan beda potensial atau perbedaan tegangan antara kedua ujung kawat yang dapat menyebabkan mengalirnya muatan listrik sehingga menghasilkan arus listrik (Putri, 2019). Besarnya nilai GGL bergantung pada perubahan laju fluks dan jumlah lilitan, hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$E = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan keterangan :

E = Tegangan induksi (Volt)

N = Jumlah lilitan penghantar

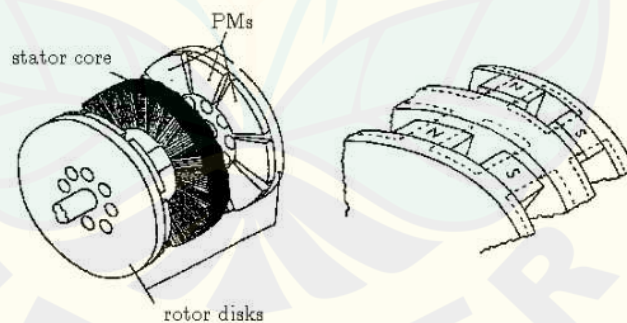
$\Delta\phi$ = Perubahan fluks magnet (Wb)

Δt = Perubahan nilai waktu (Sekon)

2.2 Generator Axial Fluks

Generator *axial flux permanent magnet* atau yang bisa disebut dengan generator AFPM merupakan sebuah mesin alternatif yang dapat menghasilkan listrik dengan arah aliran fluks yang tegak lurus terhadap porosnya. Generator jenis ini menggunakan magnet permanen pada konstruksi rotornya untuk menghasilkan medan magnet, magnet tersebut biasanya diletakkan pada penampang agar tahan terhadap getaran yang timbul saat generator dioperasikan. Luas permukaan magnet permanen berbanding lurus dengan fluks magnet yang dihasilkan. Artinya semakin besar luas permukaan magnet yang digunakan, maka nilai fluks magnet juga akan semakin besar. Fluks magnet tersebut akan menembus kumparan pada stator, sehingga akan menghasilkan gaya gerak listrik. Pada bagian stator generator aksial fluks dapat ditemukan berbagai macam variasi diantaranya yaitu stator dengan menggunakan inti besi yang berbentuk torus, stator tanpa inti besi dan variasi jumlah lilitan yang tentunya akan berpengaruh terhadap nilai fluks yang dihasilkan (Piggott, 2003).

Kelebihan dari generator aksial fluks yaitu memiliki konstruksi yang rapi dan densitas daya yang tinggi. Tipe aksial ini dapat didesain dengan konstruksi rotor dan stator yang berbeda-beda, dapat menggunakan celah udara tunggal maupun banyak, serta dapat menggunakan inti atau tidak. Topologi dari generator aksial fluks dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Topologi Aksial Fluks Magnet Permanen
(Eindhoven & Version, 2019)

2.2.1 Prinsip Kerja Generator Aksial Fluks

Prinsip kerja dari generator aksial fluks tidak jauh berbeda dengan generator konvensional pada umumnya, tegangan yang dihasilkan generator disebabkan karena adanya gaya gerak listrik (GGL) akibat dari adanya perubahan fluks magnet

terhadap waktu. Apabila rotor diputar, maka akan menghasilkan medan magnet dan akan menginduksi kumparan pada stator dengan arah fluks magnet yang memotong stator secara vertikal atau aksial.

Suatu medan magnet (B) akan memotong bidang stator pada luas permukaan magnet (A) untuk menghasilkan fluks magnet (Φ), pernyataan tersebut dapat dijabarkan pada persamaan 2.2 sebagai berikut (Chapman, 2005):

$$\Phi = B \times A \cos \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan keterangan :

Φ = Fluks medan magnet (Wb)

B = Medan magnet (T)

A = Luas permukaan Magnet (m²)

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

Nilai fluks maksimum medan magnet dapat dihasilkan oleh generator dengan bentuk persamaan seperti 2.3 sebagai berikut :

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

Dengan keterangan :

Φ_{\max} = Fluks maksimum medan magnet (Wb)

B_{\max} = Medan magnet maksimum (T)

A_{magnet} = Luas permukaan magnet (m²)

Nilai kerapatan medan magnet juga berpengaruh terhadap performa generator, persamaan kerapatan medan magnet terhadap celah udara pada rotor dan stator dapat diketahui dari persamaan 2.4 berikut :

$$B_{\max} = B_r \times \frac{l_m}{l_m \times \delta} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan keterangan :

B_r = Densitas fluks magnet (T)

l_m = Tinggi magnet (m)

δ = Lebar celah udara (m)

Sedangkan luas permukaan magnet (A_{magnet}) dapat diketahui bentuk persamaannya seperti pada persamaan 2.5 berikut :

$$A_{\text{magnet}} = \pi \times r^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan keterangan :

A_{magnet} = Luas permukaan magnet (m^2)

r = Jari-jari magnet (m)

π = 3,14

Untuk mengetahui nilai frekuensi yang dapat dihasilkan oleh generator dapat dihitung menggunakan persamaan seperti 2.6 berikut :

$$f = \frac{n \times p}{120} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan keterangan :

f = Frekuensi (Hz)

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

p = Jumlah kutub magnet

Pada generator aksial fluks untuk mencari besar nilai tegangan induksi yang disebabkan oleh adanya gaya gerak listrik dapat diketahui dari persamaan 2.7 berikut :

$$E_A = 4,44 \times f \times N \times \Phi_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{\text{ph}}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan keterangan :

E_A = Tegangan induksi generator (V)

f = Frekuensi (Hz)

N = Jumlah lilitan satu kumparan

Φ_{max} = Fluks maksimum medan magnet (Wb)

N_s = Jumlah kumparan

N_{ph} = Jumlah fasa

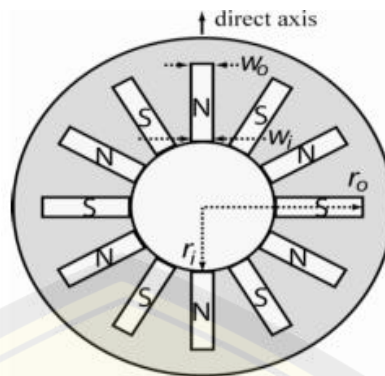
2.2.2 Kontruksi Generator Axial Flux

Kontruksi generator aksial fluks umumnya terdiri dari rotor dan stator, berikut ini merupakan penjelasan dari fungsi bagian-bagian generator :

a. Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar saat generator menerima energi mekanik dari *primeover*(penggerak). Pada bagian rotor terdapat magnet yang digunakan sebagai sumber medan magnet, sehingga generator aksial fluks tidak memerlukan eksitasi arus DC sebagai pembangkit dari medan magnet. Terdapat

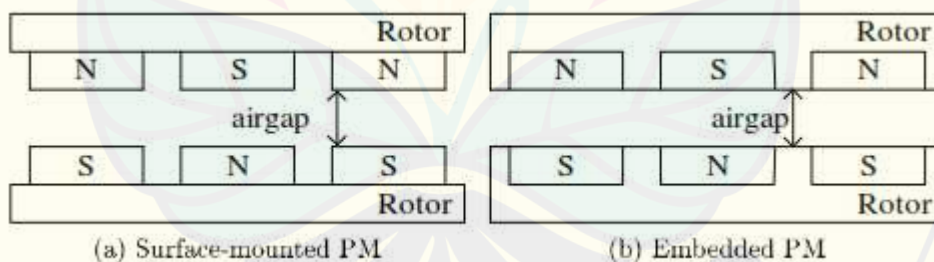
beberapa bentuk magnet pada rotor diantaranya silinder, balok, dll. Berikut ini merupakan gambar 2.2 konstruksi dari rotor aksial fluks.



Gambar 2. 2 Kontruksi Rotor Aksial Fluks

(Fajar, 2017)

Kombinasi dalam penyusunan magnet pada rotor dapat mempengaruhi besar nilai fluks magnet yang akan diterima oleh kumparan dan mempengaruhi jumlah putaran yang dihasilkan pada setiap menitnya. Penyusunan atau pemasangan magnet pada rotor terbagi menjadi dua tipe diantaranya yaitu *embedded* dan *surface-mounted*. *Embedded* merupakan tipe pemasangan magnet yang berada didalam rotor, sedangkan *surface-mounted* merupakan tipe pemasangan magnet yang menempel diatas permukaan rotor. Kedua tipe pemasangan magnet pada rotor dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



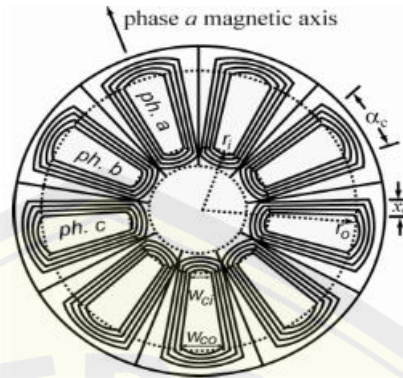
Gambar 2. 3 Tipe Pemasangan Magnet (a) Surface-mounted PM, (b) Embedded PM

(Rossouw, 2009)

b. Stator

Stator merupakan bagian dari generator yang diam atau tidak bergerak. Kontruksi stator terdiri dari beberapa kumparan kawat sebagai tempat terbentuknya tegangan yang disebabkan oleh gaya gerak listrik. Pada generator axial flux terdapat beberapa jenis diantaranya yaitu stator dengan menggunakan inti besi dan stator

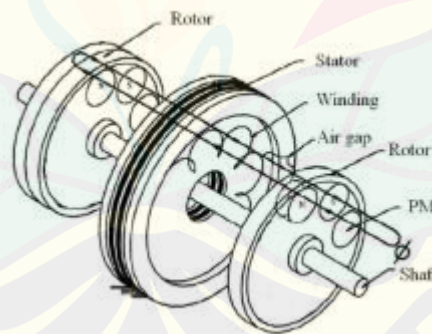
tanpa inti besi. Jumlah lilitan pada stator dapat mempengaruhi besarnya arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh generator. Berikut ini merupakan gambar 2.4 dari konstruksi stator.



Gambar 2. 4 Kontruksi Stator Aksial Fluks

(Fajar, 2017)

Pada konstruksi generator aksial fluks dapat dirancang variasi jumlah stator maupun jumlah rotor, hal tersebut sesuai dengan kebutuhan atau target keluaran yang ingin digunakan. Salah satu contohnya adalah generator dengan konstruksi stator dan rotor tunggal serta generator dengan konstruksi multicakram (jumlah stator dan rotor lebih dari satu). Berikut ini merupakan gambar 2.5 konstruksi generator aksial fluks yang terdiri dari rotor dan stator pada umumnya.



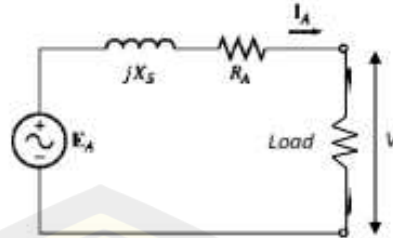
Gambar 2. 5 Kontruksi Umum Generator Aksial Fluks

(Prisandi, 2011)

2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Generator

Tegangan induksi timbul karena adanya gaya gerak listrik pada stator saat generator beroperasi, tegangan ini biasanya bernilai tidak sama dengan tegangan *output* yang dihasilkan generator. Hal tersebut dikenal dengan istilah drop tegangan. Tegangan induksi akan bernilai sama dengan tegangan *output* generator

apabila dioperasikan tanpa adanya beban, sehingga tidak ada arus yang mengalir pada kumparan stator. Berikut ini merupakan gambar rangkaian ekuivalen ketika generator dihubungkan dengan beban.



Gambar 2. 6 Rangkaian Ekuivalen Generator
(Chapman, 2005)

Dari gambar 2.6 rangkaian tersebut dapat diperoleh suatu persamaan tegangan induksi sebagai berikut.

$$E_A = V + I_A R_A + I_A jX_L \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan keterangan :

- E_A = Tegangan induksi (V)
- V = Tegangan *output* generator (V)
- I_A = Arus pada kumparan (A)
- R_A = Resistansi kumparan (Ω)
- jX_L = Reaktansi induktif (Ω)

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

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

Dimana Z merupakan nilai dari impedansi gandingan antara resistansi dan induktansi yang dapat dirumuskan seperti persamaan 2.10 berikut:

$$Z = \sqrt{R_A^2 + X_L^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Bentuk persamaan pada 2.10 untuk mencari nilai induktansi (X_L) dapat dirumuskan dengan :

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

Dengan keterangan :

- Z = Impedansi gabungan (Ω)
- L = Induktansi (H)

Sedangkan apabila generator dalam kondisi tidak berbeban maka tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan stator artinya nilai arus bernilai nol dan nilai tegangan akan bernilai sama dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator ($E_A = V$). Sedangkan, apabila generator dalam kondisi berbeban dapat menggunakan persamaan 2.9.

2.2.1 Jenis-Jenis Generator Aksial Fluks

Berdasarkan konstruksinya, generator aksial fluks terbagi menjadi tiga jenis diantaranya sebagai berikut :

a. Generator *single sided* (sisi tunggal)

Generator *single sided* merupakan konstruksi generator yang paling sederhana, dimana hanya terdiri dari satu buah stator dan rotor. Konstruksi generator ini hanya dapat menghasilkan nilai 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 ini merupakan gambar 2.7 konstruksi dari generator jenis *single side*.

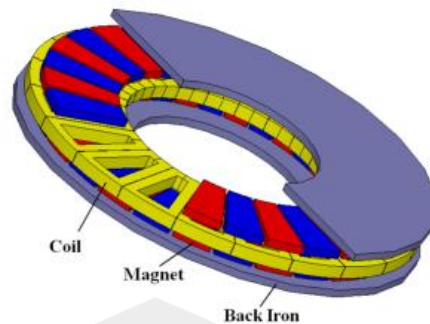


Gambar 2. 7 Kontruksi Generator Jenis Single Side

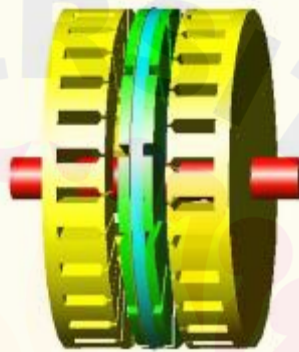
(Chen et al., 2004)

b. Generator *double sided* (sisi ganda)

Generator *double sided* merupakan generator yang memiliki konstruksi stator dan rotor ganda. Pada stator ganda, konstruksi generator terdiri dari dua buah stator yang mengapit satu buah rotor atau bisa disebut dengan aksial fluks internal rotor. Sedangkan, konstruksi pada rotor ganda terdiri dari dua buah rotor yang mengapit satu buah stator atau bisa disebut dengan aksial fluks internal stator. Berikut ini merupakan gambar 2.8 dan 2.9 konstruksi dari generator jenis *double sided* baik internal rotor maupun internal stator.

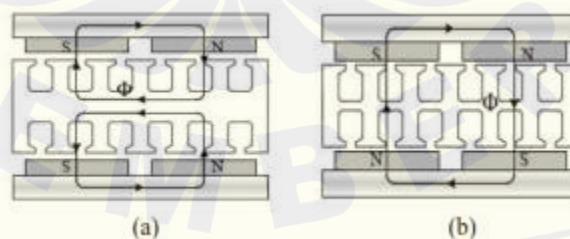


Gambar 2. 8 Kontruksi Jenis Double Sided Internal Stator
(Xia et al., 2010)



Gambar 2. 9 Kontruksi Generator Jenis Double Sided Internal Rotor
(Chen et al., 2004)

Generator dengan kontruksi *double sided* internal stator dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan arah fluks yang dihasilkan, tipe pertama yaitu dengan menggunakan kutub searah (N-N) dan tipe kedua yaitu menggunakan kutub berlawanan arah (N-S). Berikut merupakan gambar 2.10 kontruksi generator *double sided* internal stator berdasarkan arah fluksnya.



Gambar 2. 10 Kontruksi Generator Double Sided Internal Stator Berdasarkan Arah Fluksnya (a) Kutub N-N (searah), (b) Kutub N-S (berlawanan arah)
(Prisandi, 2011)

c. Generator *multidisc* (multi stage)

Generator *multidisc* merupakan generator yang memiliki konstruksi jumlah stator dan rotor yang banyak. Generator tipe ini memiliki stator dan rotor lebih dari dua dan sering digunakan untuk pembangkit tenaga listrik yang lebih besar. Nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator tipe ini lebih besar dibandingkan dengan konstruksi *single sided* dan *double sided*. Berikut ini merupakan gambar 2.11 konstruksi generator *multidisc*.



Gambar 2. 11 Kontruksi Generator Multidisc

(Yu Ta Tu & Show Jong Yeh, 2004)

2.3 Magnet Permanen

Magnet permanen merupakan suatu material yang tidak memiliki kumparan penguat dan tidak dapat menghasilkan daya disipasi elektrik. Salah satu contoh jenis magnet permanen yang memiliki sifat medan magnet cukup kuat adalah jenis *Neodymium* (NdFeB). Magnet *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) adalah magnet yang memiliki material keras dengan menggunakan bahan feromagnetik dan memiliki *hysteresis loop* yang lebar. Jarak *hysteresis loop* akan mempengaruhi induksi dari luar terhadap magnet permanen (Gieras et al., 2004). Berikut merupakan gambar 2.12 dari magnet permanen *Neodymium Iron Boron* (NdFeB).



Gambar 2. 12 Magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB)
(Wijaya et al., 2014)

Terdapat 3 jenis magnet yang sering digunakan untuk motor listrik, diantaranya yaitu :

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

Alnicos merupakan magnet permanen yang mempunyai kerapatan fluks magnet yang tinggi dengan suhu rendah. Akan tetapi, magnet jenis ini memiliki kekuatan koersif yang cukup rendah dan menunjukkan kurva demagnetisasi yang non-linier. Koersif merupakan kuat medan magnetik yang diperlukan untuk mengurangi terjadinya induksi hingga mencapai titik nol dari nilai tertentu.

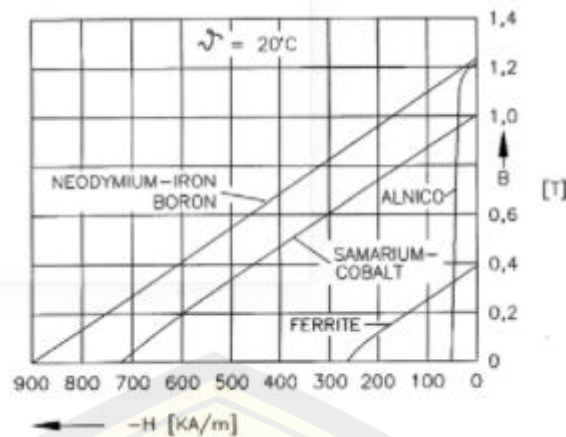
2. *Ceramics (Ferrites)*

Ceramics merupakan magnet permanen yang memiliki kekuatan koersif lebih tinggi dibandingkan dengan jenis *Alnicos*. Akan tetapi, magnet jenis ini memiliki kerapatan fluks magnet yang lebih rendah. Contoh magnet *Ceramics* yaitu *Strontium Ferrites* dan *Barium Ferrites*.

3. *Rare Eart Materials*

Contoh dari magnet *Rare Eart Materials* yaitu *Samarium Cobalt* dan *Neodymium*. Magnet jenis *Samarium Cobalt* memiliki kekuatan koersif dan kerapatan fluks magnet yang tinggi serta menunjukkan kurva demagnetisasi yang linier dengan suhu yang rendah. Sedangkan jenis magnet *Neodymium* memiliki sifat magnet yang lebih baik dibandingkan dengan magnet *Samarium Cobalt*.

Berikut merupakan gambar 2.13 perbandingan kurva demagnetisasi yang ditunjukkan dari ketiga magnet yang sudah dijelaskan :



Gambar 2. 13 Perbandingan Kurva Demagnetisasi Magnet Permanen
(Gieras et al., 2004)

2.4 Kawat Email

Kawat email merupakan sebuah konduktor yang terbuat dari bahan tembaga murni dan dilapisi dengan lumen sebagai isolator. Kawat email sering digunakan sebagai bahan penghantar karena memiliki kelebihan yaitu memiliki konduktivitas listrik tinggi, tahan korosi, konduktivitas dan ekspansi panas yang cukup tinggi. Pemilihan kawat email sebagai penghantar pada kumparan stator sangat berpengaruh terhadap keluaran yang diinginkan baik karakteristik tegangan, arus dan daya pada generator. Berikut ini merupakan tabel 2.1 beberapa ukuran diameter kawat email yang ada dipasaran beserta kemampuan hantarnya.

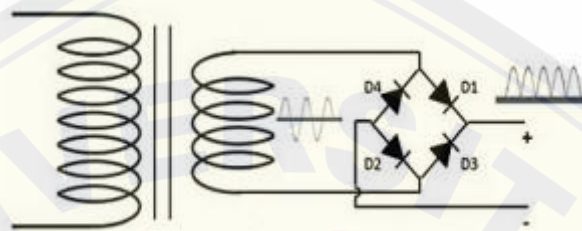
Tabel 2. 1 Spesifikasi Arus Hantar Kawat Email
(Mustofa et al., 2014)

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.	1.0	1.570 s/d 2.360
11	1.5	3.530 s/d 5.300
12.	2.0	6.280 s/d 9.420

2.5 Dioda *Bridge* (Penyearah)

Dioda *bridge* merupakan suatu penyearah yang dapat mengubah listrik AC menjadi listrik DC gelombang penuh. Pada rangkaian dioda *bridge* terdiri dari empat buah dioda yang tersusun seperti pada gambar 2.14 berikut.



Gambar 2. 14 Rangkaian Dioda Bridge
(Dwinanta, 2017)

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 maka akan menghasilkan tegangan DC gelombang penuh(Pratama, 2020).

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 nilai tegangan maksimum dari persamaan 2.12 berikut:

$$V_m = V_{ac \text{ ukur}} \times \sqrt{2} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dan untuk mencari nilai tegangan *output* setelah dioda terukur maka dapat menggunakan persamaan berikut :

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

Dengan keterangan :

$$V_m = \text{Tegangan maksimum output dioda bridge (V)}$$

V_{out} = Tegangan *output* dioda *bridge* (V)

V_{AC} = Tegangan AC (V)

V_D = Tegangan *forward* dioda (V)

Untuk nilai rata-rata tegangan DC yang dapat dihasilkan oleh rangkaian dioda *bridge*, maka dapat dilihat pada persamaan 2.13 berikut :

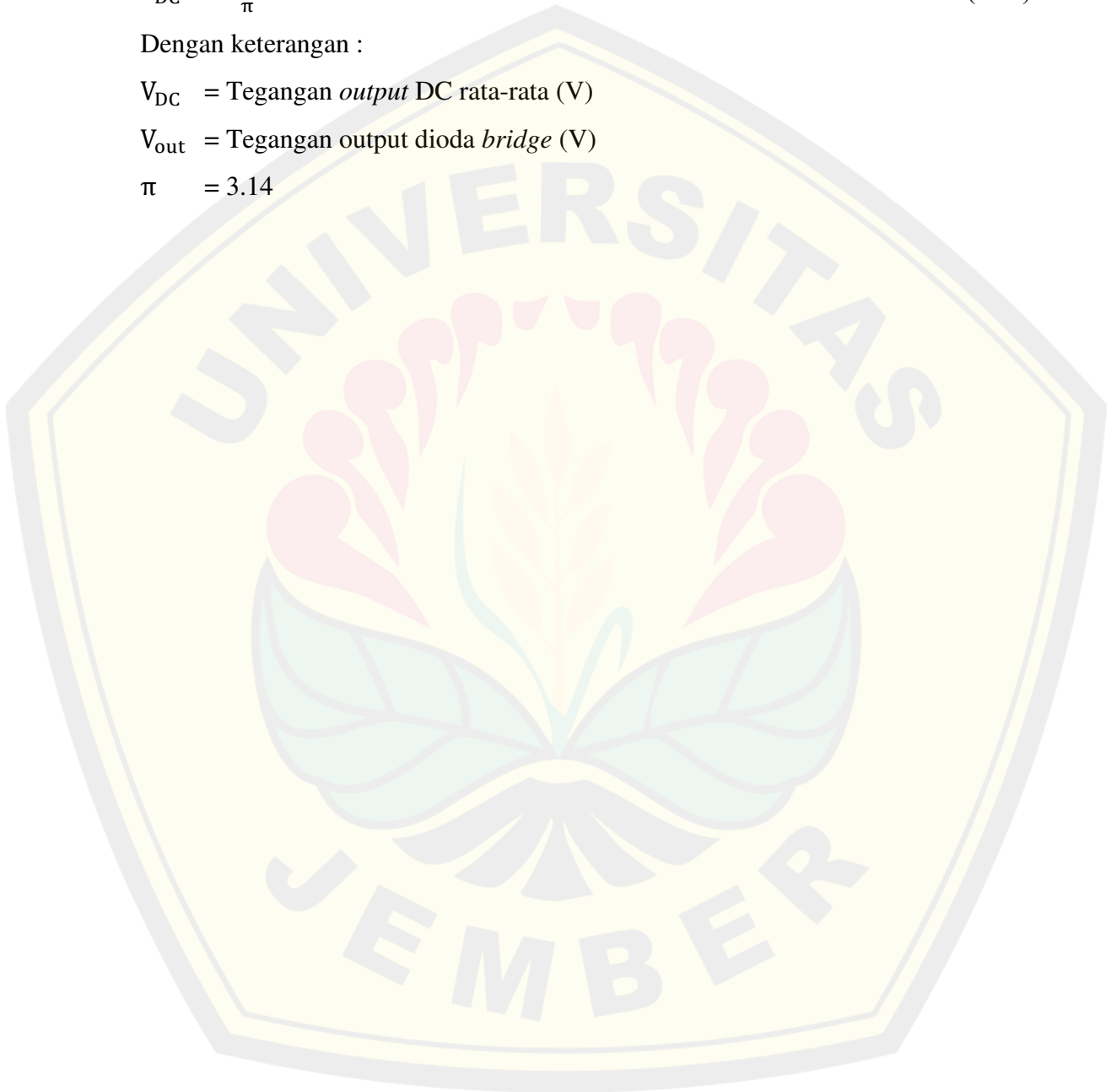
$$V_{DC} = \frac{2 \times V_{out}}{\pi} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan keterangan :

V_{DC} = Tegangan *output* DC rata-rata (V)

V_{out} = Tegangan *output* dioda *bridge* (V)

π = 3.14



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat penelitian yang berjudul “Analisis Perbedaan Pemasangan Polaritas Magnet Permanen Terhadap Performa Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram” ini dilaksanakan di:

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

Alamat : Jl. Kalimantan No.37, Sumbersari , Kabupaten Jember, Jawa Timur (68121)

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan kurang lebih selama lima bulan, dengan jangka waktu penelitian dimulai pada bulan Januari 2021 hingga bulan Mei 2022.

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan				
		1	2	3	4	5
1.	Studi Literatur dan Perumusan Masalah	■	■	■		
2.	Perancangan dan Pembuatan Alat		■	■		
3.	Pengujian Alat dengan Perbedaan Pemasangan Polaritas Magnet Permanen			■	■	
4.	Analisis Data				■	
5.	Penulisan Laporan		■	■	■	■

Keterangan:

■ : Pelaksanaan kegiatan

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan untuk menunjang penelitian ini terdiri dari:

a.) Perangkat Lunak

Penggunaan perangkat lunak pada penelitian ini bertujuan untuk mempermudah dalam perancangan dan pembuatan alat, perangkat lunak yang digunakan antara lain:

1. *Corel Drow 2018*, perangkat lunak ini digunakan untuk membuat perancangan desain stator dan rotor dalam dua dimensi agar dapat dibentuk dengan sepresisi mungkin.
2. Skecap, digunakan untuk membuat perancangan konstruksi generator dalam bentuk tiga dimensi.
3. *Microsoft Excel 2010*, digunakan untuk proses pengolahan data dalam bentuk grafik karakteristik generator multicakram.

b.) Perangkat Keras

Berikut ini merupakan beberapa perangkat keras yang digunakan dalam pembuatan alat ini, antara lain:

1. *Roll Machine Wire*
2. Tang Potong
3. Solder
4. Obeng
5. Bor
6. Motor DC
7. Multimeter
8. Tachometer
9. Osiloskop

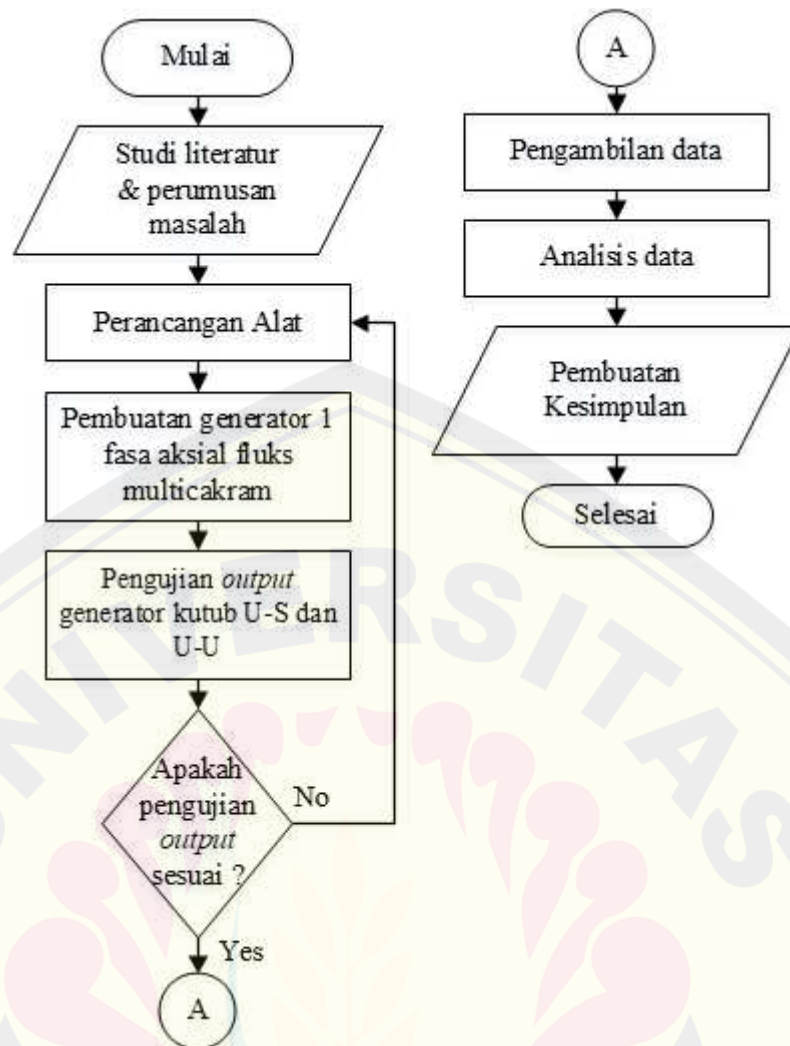
3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam pembuatan alat ini sebagai berikut :

1. Kawat *email* 0,4 mm
2. Magnet silinder *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) 15 × 3 mm
3. Akrilik dengan tebal 3 mm dan 5 mm
4. *Bearing* 625 2RS dengan ukuran 5 mm × 16 mm × 5 mm
5. Spul jahit besi diameter 2 cm dan tinggi 1 cm
6. *As shaft* diameter 5 mm
7. Belt
8. Pulley
9. Dioda
10. Baut
11. Mur
12. Timah

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam perancangan generator axial fluks multicakram, tahapan tersebut telah dijelaskan pada *flowchart* yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

1. Studi literatur dan perumusan masalah

Tahap penelitian pertama yaitu melakukan studi literatur dengan mengumpulkan informasi dari beberapa sumber seperti jurnal, buku, artikel dan lain-lain sebagai referensi untuk menunjang penelitian. Dari beberapa literatur yang ada selanjutnya akan dilakukan perumusan masalah yang nantinya akan dijadikan sebuah penelitian.

2. Perancangan alat

Tahap selanjutnya yaitu perancangan alat yang terdiri dari penentuan jenis fasa, tipe konstruksi alat dan spesifikasi dari generator yang akan dibuat. Selain itu, pada tahap ini juga dilakukan penentuan jumlah kumparan (*coil*), lilitan, magnet permanen, celah udara dan jenis kawat email. Setelah menentukan perancangan

kontruksi, selanjutnya membuat desain stator dan rotor dalam bentuk dua dimensi dan membuat desain generator dalam bentuk tiga dimensi.

3. Pembuatan generator 1 fasa aksial fluks multicakram

Kontruksi generator yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu mengguna akrilik, oleh karena itu langkah pertama dalam proses pembuatan yaitu mencetak akrilik sesuai dengan bentuk desain dua dimensi dari rotor dan stator. Pembuatan rotor yaitu dengan cara memasang magnet permanen pada pola akrilik yang sudah terbentuk. Sedangkan pembuatan stator dengan cara memasang kumparan (*coil*) dengan bantuan mur dan baut pada akrilik. Kumparan dibuat dengan cara menggulung kawat email menggunakan alat penggulung sesuai dengan jumlah lilitan yang telah ditentukan. Setelah rotor dan stator terbentuk, selanjutnya dilakukan penggabungan dengan memperhatikan celah udara yang telah ditentukan.

4. Pengujian *output* generator

Sebelum melakukan pengambilan data, maka dilakukan pengujian *output* generator dengan parameter yang dicari berupa nilai fluks, tegangan dan frekuensi. Nilai fluks yang dicari diperoleh dari kombinasi antara hasil pengukuran dan perhitungan. Pada pengujian ini dilakukan dalam dua kondisi yaitu pada saat pemasangan kutub searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S). Tujuan dilakukan pengujian ini yaitu untuk mengetahui apakah generator bekerja dengan baik dan sesuai dengan perhitungan teoritis atau tidak. Apabila tidak sesuai maka harus dilakukan perancangan ulang generator.

5. Pengambilan data

Pada pengambilan data ini dilakukan dengan dua pengujian untuk mengetahui performa generator. Pengujian pertama yaitu tanpa beban, sedangkan pengujian kedua dengan menggunakan beban LED yang dibuat empat variasi dengan kecepatan putar rotor sebesar 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm. Parameter yang dicari pada pengambilan data ini meliputi tegangan, arus, dan frekuensi pada *output* generator saat pemasangan kutub magnet berlawanan arah dan searah.

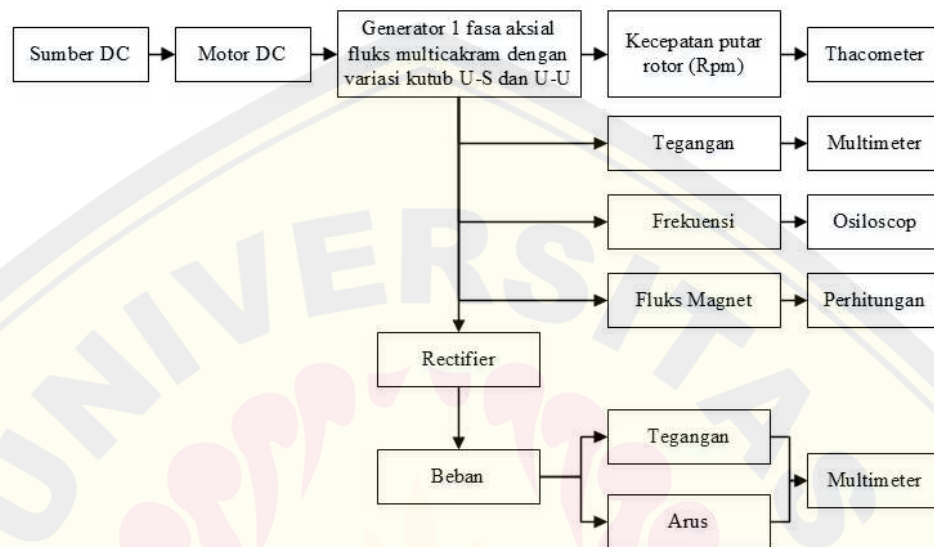
6. Analisis data

Analisis data ini bertujuan untuk mengetahui performa generator 1 fasa aksial fluks multicakram setelah dilakukannya pengujian dan pengambilan data dengan kutub magnet permanen searah dan berlawanan arah.

7. Pembuatan Kesimpulan

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

3.4 Blok Diagram Penelitian



Gambar 3. 2 Blok Diagram

Blok Diagram yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 merupakan prinsip kerja dari penelitian yang akan dilakukan. Energi gerak yang digunakan berasal dari motor DC dengan bantuan *power supply* untuk menggerakkan rotor pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram. Dari konstruksi generator kemudian dilakukan pengukuran kecepatan putar rotor menggunakan thacometer dalam satuan rpm (radian per menit) pada variasi pemasangan kutub searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S). Pengujian dilakukan dengan dua kondisi yaitu tanpa beban dan dengan menggunakan beban. Pada pengujian tanpa beban hanya dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi serta perhitungan fluks magnet. Pada pengujian kedua yaitu dengan menggunakan beban, sebelum memasuki beban generator dihubungkan terlebih dahulu dengan *rectifier* untuk memperoleh tegangan DC dan dilanjutkan dengan pengukuran arus dan tegangan. Pada pengujian ini variasi beban terdiri dari 4 buah paralel LED yang setiap paralelnya terdapat 9 LED yang disusun secara seri.

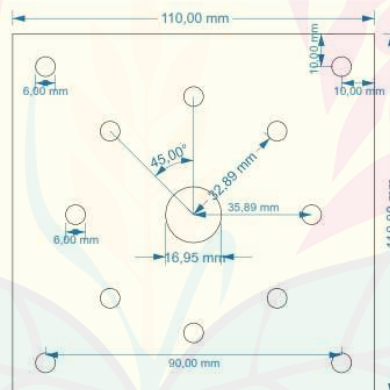
Setiap pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan variasi kecepatan putar rotor sebesar 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm. Pengukuran arus dan tegangan pada penelitian ini menggunakan multimeter sehingga dari parameter yang dihasilkan akan diketahui nilai daya dengan menggunakan perhitungan teoritis.

3.5 Desain Alat

3.5.1 Desain Kontruksi Stator

Pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram ini memiliki tiga buah kontruksi stator dengan jumlah total kumparan sebanyak 24. Setiap stator terdiri dari delapan buah kumparan yang dihubungkan secara seri dengan jumlah lilitan sebanyak 302. Kawat *email* yang digunakan berdiameter 0,4 mm dan dililitkan pada spul jahit dengan diameter 2 cm dengan tinggi sebesar 1 cm.

Spull yang telah dililit kawat *email* kemudian diletakkan pada permukaan akrilik yang memiliki tebal 5 mm dengan menggunakan mur dan baut. Bentuk desain akrilik yang digunakan seperti pada gambar 3.3 berikut.

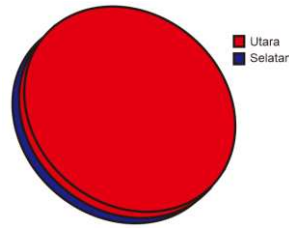


Gambar 3. 3 Desain 2D Kerangka Stator

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa setiap kumparan atau *coil* memiliki jarak dengan sudut sebesar 45° .

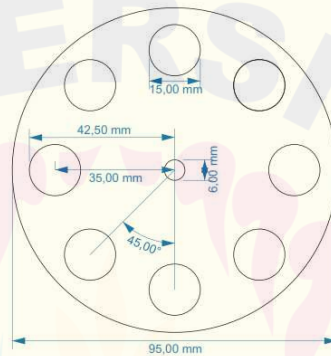
3.5.2 Desain Kontruksi Rotor

Pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram ini terdiri dari 2 buah rotor dengan masing-masing terdapat 8 buah magnet permanen. Jenis magnet yang digunakan yaitu *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) bentuk silinder dengan diameter sebesar 15 mm dan tebal 3 mm. Bentuk kontruksi dari magnet permanen yang digunakan seperti pada gambar 3.4 berikut.



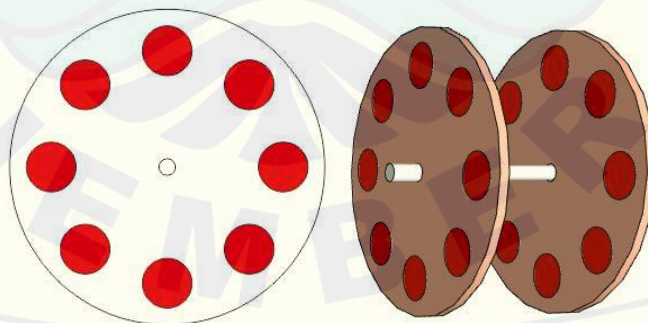
Gambar 3. 4 Desain Magnet Permanen NdFeB

Magnet permanen diletakkan pada kerangka akrilik yang memiliki ketebalan 3 mm dan pemasangannya sejajar dengan kumparan yang terdapat pada stator. Berikut ini merupakan gambar 3.5 dua dimensi dan tiga dimensi dari bentuk akrilik yang digunakan.

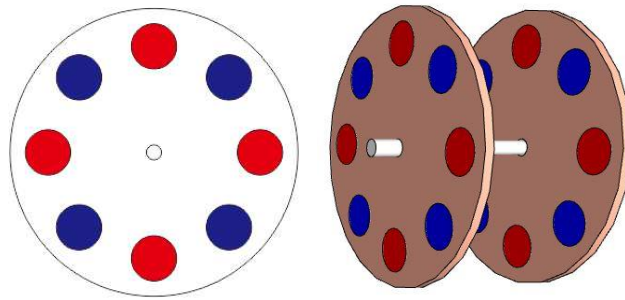


Gambar 3. 5 Desain 2D Kerangka Rotor

Pada penelitian ini terdapat dua variasi pemasangan magnet pada rotor. Kontruksi pertama magnet disusun secara U-U-U-U atau S-S-S-S (searah) dan kontruksi kedua disusun secara U-S-U-S (berlawanan arah). Kedua kontruksi pemasangan rotor dapat ditunjukkan pada gambar 3.6 dan 3.7 sebagai berikut.



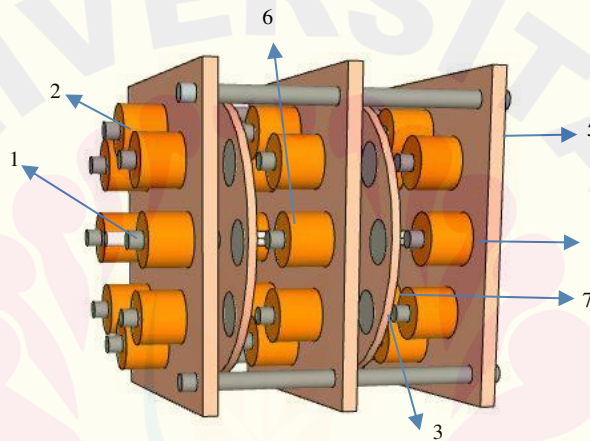
Gambar 3. 6 Desain Pemasangan Magnet Tipe U-U atau S-S



Gambar 3. 7 Desain Pemasangan Magnet Tipe U-S

3.5.3 Desain Kontruksi Generator Multicakram

Pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram ini terdiri dari dua buah rotor dan tiga stator. Berikut merupakan gambar tiga dimensi dari generator yang akan dibuat.



Gambar 3. 8 Desain 3D Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram

Pada gambar 3.8 merupakan komponen penyusun dari generator satu fasa aksial fluks multicakram. Berikut merupakan keterangan dari komponen yang digunakan:

1. *Shaft*
2. Inti Besi
3. Magnet
4. *Coil* (Kumparan)
5. Stator
6. *Bearing*
7. Rotor

3.6 Metode Pengambilan Data

3.6.1 Pengujian Alat

Pengujian yang dilakukan yaitu untuk mengetahui performa dari generator 1 fasa aksial fluks dengan parameter pemasangan polaritas magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S). Dari kedua parameter tersebut akan dilakukan pengujian dengan 2 kondisi diantaranya tanpa beban dan berbeban. Pada pengujian tanpa beban parameter yang dicari yaitu nilai tegangan, frekuensi dan perhitungan fluks magnet. Sedangkan untuk pengujian berbeban parameter yang dicari meliputi tegangan, arus dan daya baik listrik AC maupun DC. Setiap pengujian dilakukan pada kecepatan putar 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm.

3.6.2 Perhitungan Generator 1 fasa Aksial Fluks Multicakram

Dalam penelitian ini juga dilakukan beberapa perhitungan untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran, diantaranya sebagai berikut :

1. Frekuensi *Output* Generator

Nilai frekuensi suatu generator dipengaruhi oleh kecepatan putar dan jumlah kutub yang terdapat pada generator. Untuk mengetahui nilai frekuensi yang dapat dihasilkan oleh generator dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6.

2. Fluks Magnet

Untuk menentukan nilai fluks magnet maksimum pada generator, maka dapat menggunakan persamaan 3.1 berikut :

$$\Phi_{\max} = \frac{E_{a \text{ ukur}}}{4,44 \times f_{\text{ukur}} \times N \times \frac{N_s}{N_{ph}}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan keterangan :

- Φ_{\max} = Fluks maksimum medan magnet (Wb)
- $E_{a \text{ ukur}}$ = Tegangan induksi generator ukur (V)
- f_{ukur} = Frekuensi ukur (Hz)
- N = Jumlah lilitan satu kumparan
- N_s = Jumlah kumparan
- N_{ph} = Jumlah fasa

3. Tegangan *Output* Generator AC

Pada generator aksial fluks untuk mencari besar nilai tegangan induksi yang disebabkan oleh adanya gaya gerak listrik dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.7. Sedangkan untuk mencari nilai tegangan generator saat berbeban dapat menggunakan persamaan 2.9.

4. Daya *Output* Generator

Nilai daya *output* generator dapat diperoleh dengan mengalikan nilai tegangan dan arus *output*, pernyataan tersebut dapat dirumuskan dengan persamaan 3.7 dibawah ini.

$$P = V \times I \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

P = Daya *output* generator (W)

V = Tegangan *output* generator (V)

I = Arus *output* generator (A)

5. Menghitung Tegangan *Output* DC

Nilai tegangan *output* DC juga dipengaruhi oleh tegangan kerja *rectifier* sehingga akan terjadi drop tegangan antara tegangan AC dengan tegangan DC. Persamaan untuk menentukan tegangan DC dapat menggunakan persamaan 2.12 2.13 dan 2.14.

6. *Error* Persen

Perhitungan *error* persen hanya dilakukan pada parameter tegangan untuk mengetahui nilai keakuratan dari data hasil pengukuran dengan perhitungan. Rumus yang digunakan untuk mencari nilai *error* persen sebagai berikut :

$$\text{Error Persen} = \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini akan membahas terkait perancangan serta pengujian generator 1 fasa aksial fluks multicakram, dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan pemasangan polaritas magnet permanen terhadap performa generator. Pada penelitian ini terdapat dua kondisi pemasangan kutub magnet, yaitu polaritas dengan tipe pemasangan serah (U-U) dan tipe pemasangan berlawanan arah (U-S) seperti pada gambar (3.6) dan (3.7). Penelitian ini berfokus pada pengaruh peletakan kutub terhadap nilai frekuensi, fluks magnet, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh generator melalui beberapa pengujian.

Generator 1 fasa aksial fluks multicakram ini dilakukan 2 pengujian yaitu tidak berbeban dan berbeban, kecepatan putar rotor yang digunakan yaitu sebesar 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm dengan masing-masing pengujian dilakukan pada tipe pemasangan magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S). Pada pengujian tidak berbeban dilakukan pada luaran AC generator dan luaran rangkaian *rectifier*, sedangkan pada pengujian berbeban dilakukan pada luaran AC generator dan luaran beban setelah *rectifier* dengan susunan jenis beban variasi rangkaian LED.

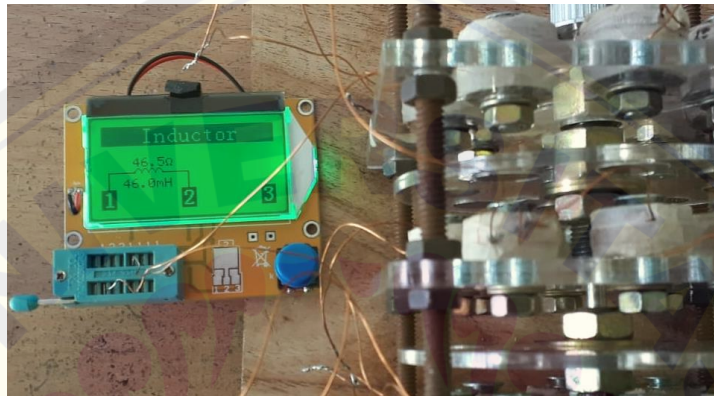
4.1 Spesifikasi Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram

Proses perancangan dan pembuatan prototipe generator 1 fasa aksial fluks multicakram ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Jember. Generator yang telah dibuat memiliki konstruksi 3 stator dan 2 rotor, berikut merupakan gambar dari generator 1 fasa aksial fluks multicakram menggunakan magnet *Neodymium Iron Boron* (NdFeB).



Gambar 4. 1 Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram

Pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram ini dilakukan pengukuran resistansi dan induktansi pada kumparan menggunakan LCRmeter. Pengukuran ini dilakukan karena pada setiap ukuran baik panjang maupun luas penampang kawat memiliki nilai yang berbeda-beda. Dengan menggunakan kawat email yang berdiameter 0,4 mm diperoleh nilai resistansi kumparan (R) sebesar $46,5 \Omega$ dan nilai induktansi kumparan (X_l) sebesar 46 mH. Berikut merupakan gambar dari pengukuran resistansi dan induktansi pada generator 1 fasa aksial fluks multicakram.



Gambar 4. 2 Pengukuran Resistansi dan Induktansi Kumparan

Berdasarkan perancangan dan sub bab 3.5 mengenai desain dari generator 1 fasa aksial fluks multicakram, maka dapat diketahui spesifikasi generator seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Generator Multicakram

Parameter	Simbol	Nilai
Jumlah fasa	N_{ph}	1 fasa
Jumlah stator		3 stator
Jumlah rotor		2 rotor
Jumlah kumparan	N_s	24 kumparan
Jumlah lilitan	N	302 lilitan
Diameter kawat email		0,4 mm
Ukuran stator	P	11 mm
	L	11 mm
Ukuran rotor	D	95 mm
Jumlah magnet	P	16 pole

Ukuran magnet	R	7,5 mm
	T	3 mm
Air gap	Δ	7 mm
Resistansi Kumparan	R	46,5 Ω
Induktansi Kumparan	Xl	46 mH

Dalam tabel 4.1 diatas, generator 1 fasa aksial fluks multicakram yang dibuat memiliki kontruksi 3 buah stator dan 2 buah rotor. Setiap stator terdiri dari 8 buah kumparan sehingga jumlah keseluruhan sebanyak 24 kumparan dengan masing-masing lilitan sebanyak 302 lilitan dan menggunakan kawat email berdiameter 0,4 mm. Pada bagian rotor jumlah magnet sebanyak 8 kutub sehingga dengan menggunakan 2 rotor jumlah keseluruhan sebanyak 16 pasang. Jenis magnet permanen yang digunakan yaitu *Neodymium iron Boron* (NdFeB) dengan ukuran 15×3 mm, serta celah udara antar rotor dan stator yaitu berjarak 7 mm. Generator yang dibuat memiliki dua tipe pemasangan kutub magnet, yaitu tipe pemasangan searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S).

Stator yang dibuat memiliki bentuk persegi dengan ukuran 11×11 mm yang terbuat dari akrilik dengan tebal 5 mm. Pada bagian stator ini terdapat lilitan kawat email yang dililitkan pada spul jahit yang terbuat dari besi kemudian diletakkan pada akrilik dengan bantuan mur dan baut. Setiap kumparan pada stator dihubungkan secara seri dengan jarak antar kumparan sebesar 45° dari titik tengah atau poros stator. Pada tipe pemasangan kutub magnet U-U dan U-S ini memiliki arah lilitan kumparan yang berbeda. Dimana pada tipe U-U memiliki arah lilitan searah jarum jam, sedangkan tipe U-S memiliki arah lilitan searah dan berlawanan arah jarum jam yang disusun secara selang-seling.

Bagain rotor terdapat magnet permanen yang diletakkan pada kerangka akrilik dengan desain seperti pada gambar (3.5). Pada penelitian ini terdapat perbedaan pemasangan kutub magnet dengan tujuan akan dilakukan analisis terkait pengaruh pemasangan magnet terhadap performa *output* generator.

Setelah pembuatan kerangka stator dan rotor, maka dilakukan perakitan dimana kedua kerangka tersebut dihubungkan dengan *saft* besi yang berdiameter 0,5 cm dengan panjang 20 cm. Karena jumlah kutub magnet dan kumparan pada

rotor dan stator bernilai sama, maka kedua bagian tersebut disusun secara sejajar sehingga letak magnet dan kumparan akan lurus. Pada bagaian *shaft* dipasang *pulley* dengan tipe GT2 15 *Teeth* 6mm yang nantinya sebagai tempat pijakan *belt* saat dihubungkan dengan motor DC. Bagian motor DC juga dipasang *pulley* tipe GT2 40 *Teeth* 6mm dan terdapat *belt* penghubung tipe GT2 *timing belt* dengan lebar 6mm. Motor DC yang digunakan sebagai *prime over* memiliki spesifikasi seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 2 Data Spesifikasi Motor DC

Model	Parameter
Type	DC Motor NISCA NC5475C
Volt	24 Volt
Kecepatan putar max	3600 rpm
Diameter	5,4 cm
Diameter shaft	0,5 cm
Panjang	7,5 cm

4.2 Pengujian Generator 1 Fasa Aksial Fluks Multicakram

Pengujian generator 1 fasa aksial fluks multicakram dilakukan pada dua kondisi yaitu tanpa beban dan berbeban. Setiap pengujian dilakukan pada masing-masing pemasangan kutub magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S) dengan kecepatan putar rotor 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm. Pemberian variasi kecepatan ini bertujuan untuk memastikan apakah dengan kecepatan yang berbeda generator akan tetap menghasilkan karakteristik *output* yang sama atau tidak.

4.2.1 Pengujian Generator Tanpa Beban

Pada pengujian tanpa beban dilakukan pengukuran pada luaran AC dan DC dengan menggunakan multimeter serta pengukuran frekuensi pada luaran AC menggunakan osiloskop. Setelah memperoleh nilai tegangan dan frekuensi, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai fluks maksimum magnet dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.8). Percobaan ini dilakukan pada setiap tipe pemasangan magnet searah (U-U) dan berlawanan arah (U-S). Berikut merupakan tabel hasil pengujian dan perhitungan tegangan AC generator tanpa beban.

Tabel 4. 3 Data Pengujian Tegangan AC Tanpa Beban

Rpm	Tipe U-S			Tipe U-U		
	V _{ac} ukur (V)	V _{ac} hitung (V)	Error %	V _{ac} ukur (V)	V _{ac} hitung (V)	Error %
1000	27,59	27,52	0,26	7,95	7,94	0,12
1250	34,32	34,35	0,09	10,02	10,05	0,34
1500	39,96	39,76	0,50	11,93	11,91	0,20

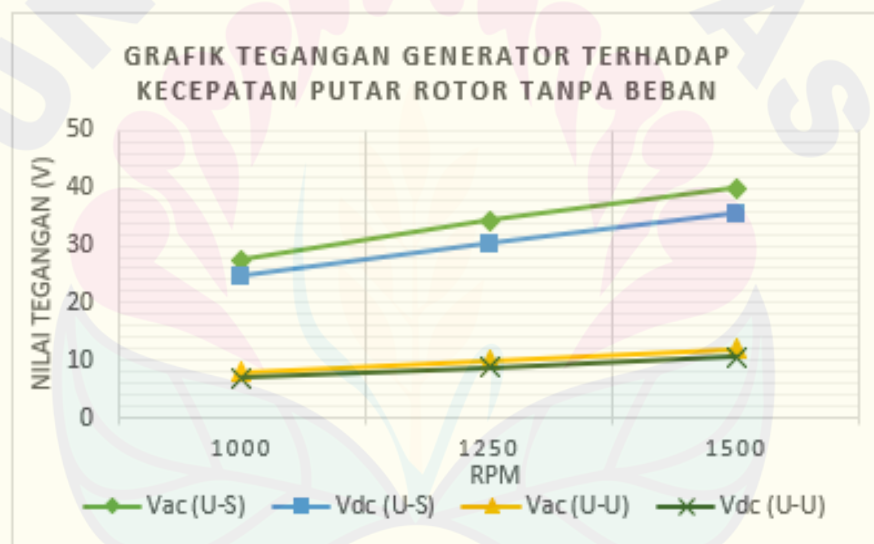
Berdasarkan tabel 4.3 dapat diketahui bahwa saat kecepatan putar rotor 1000 rpm nilai tegangan V_{ac} ukur tipe U-S yang dihasilkan sebesar 27,59 volt dan V_{ac} ukur tipe U-U sebesar 7,95 volt. Sedangkan pada kecepatan putar rotor 1500 rpm nilai tegangan V_{ac} ukur tipe U-S sebesar 39,96 volt dan V_{ac} ukur tipe U-U sebesar 11,93 volt. Dari data tersebut dapat dianalisa bahwa semakin besar kecepatan putar rotor maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Perbedaan nilai tegangan yang cukup besar antara tipe pemasangan magnet U-S dan tipe U-U ini dikarenakan nilai frekuensi dan fluks magnet maksimum yang dihasilkan berbeda. Dimana pada tipe U-S nilai frekuensi yang dihasilkan lebih kecil dan nilai fluks magnet maksimum lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U. Nilai frekuensi dan fluks magnet maksimum ini dapat dilihat pada tabel 4.5 dan 4.7. Berdasarkan persamaan (2.7) tegangan output tanpa beban, maka hasil pengujian telah sesuai sehingga menghasilkan eror persen yang cukup kecil berkisar 0,10% hingga 0,50%.

Pengujian tanpa beban ini juga dilengkapi dengan *rectifier* untuk menyearahkan tegangan AC menjadi DC dengan menggunakan dioda *bridge*. Berikut merupakan tabel hasil pengujian dan perhitungan tegangan DC generator tanpa beban.

Tabel 4. 4 Data Pengujian Tegangan DC Tanpa Beban

Rpm	Tipe U-S			Tipe U-U		
	V _{dc} ukur (V)	V _{dc} hitung (V)	Error %	V _{dc} ukur (V)	V _{dc} hitung (V)	Error %
1000	24,70	24,85	0,61	6,92	7,16	3,37
1250	30,27	30,91	2,08	8,76	9,03	2,94
1500	35,57	35,99	1,18	10,52	10,75	2,11

Berdasarkan tabel 4.4 diatas dapat diketahui bahwa saat kecepatan putar rotor 1000 rpm nilai tegangan V_{dc} ukur tipe U-S yang dihasilkan sebesar 24,70 volt dan V_{dc} ukur tipe U-U sebesar 6,92 volt. Sedangkan pada kecepatan putar rotor 1500 rpm nilai tegangan V_{dc} ukur tipe U-S sebesar 35,57 volt dan V_{dc} ukur tipe U-U sebesar 10,52 volt. Nilai karakteristik tegangan DC yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan tegangan AC, dimana semakin besar kecepatan putar rotor maka nilai tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Pada proses penyearah tegangan AC menjadi tegangan DC terjadi penurunan atau drop tegangan, hal ini dikarenakan terdapat 2 buah dioda pada *rectifier/diode bridge* yang mengalami bias maju sehingga nilai tegangan AC generator akan dikurangi dengan nilai tegangan kerja 2 buah dioda untuk menghasilkan tegangan maksimum. Karakteristik tegangan antara tipe pemasangan magnet U-S dan tipe U-U dapat disajikan pada grafik berikut.



Gambar 4. 3 Grafik Tegangan Terhadap Kecepatan Putar Rotor Tanpa Beban

Dari gambar grafik 4.3 diatas dapat diketahui bahwa semakin besar nilai kecepatan putar rotor maka semakin besar nilai tegangan yang dihasilkan. Selain itu terdapat drop tegangan antara tegangan AC dan Tegangan DC, hal ini dikarenakan terdapat penambahan *rectifier* sehingga tegangan AC yang dihasilkan akan dikurangi dengan tegangan kerja *rectifier* untuk menghasilkan tegangan maksimum.

Pengujian frekuensi generator juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik gelombang dan nilai frekuensi yang dihasilkan pada kecepatan putar

rotor yang telah ditentukan. Berikut merupakan tabel hasil pengujian dan perhitungan frekuensi AC generator tanpa beban.

Tabel 4. 5 Data Pengujian Frekuensi AC Tanpa Beban

Rpm	Tipe U-S			Tipe U-U		
	F _{ac} ukur (Hz)	F _{ac} hitung (Hz)	Error %	F _{ac} ukur (Hz)	F _{ac} hitung (Hz)	Error %
1000	66,84	66,67	0,26	133,5	133,33	0,12
1250	83,26	83,33	0,09	166,1	166,67	0,34
1500	100,5	100,00	0,50	200,4	200,00	0,20

Berdasarkan tabel 4.5 dapat diketahui bahwa saat kecepatan putar rotor 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm pada tipe pemasangan kutub magnet U-S diperoleh frekuensi sebesar 66,84 Hz, 83,26 Hz dan 100,5 Hz, sedangkan pada tipe pemasangan kutub magnet U-U diperoleh frekuensi sebesar 133,5 Hz, 166,1 Hz dan 200,4 Hz. Berdasarkan rumus frekuensi pada persamaan (2.6) maka dapat diketahui bahwa nilai pole yang terhitung pada tipe U-S sejumlah 8 pasang dan pada tipe U-U sejumlah 16 pasang. Berikut ini merupakan tabel hasil gelombang pada pengujian frekuensi tanpa beban.

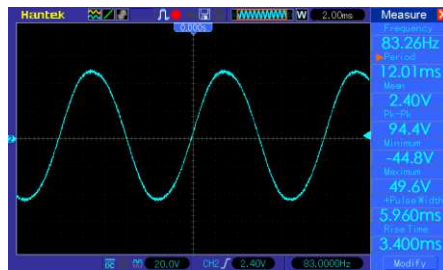
Tabel 4. 6 Data Hasil Gelombang Pengujian Tanpa Beban

RPM	Tipe U-S	Tipe U-U
1000		

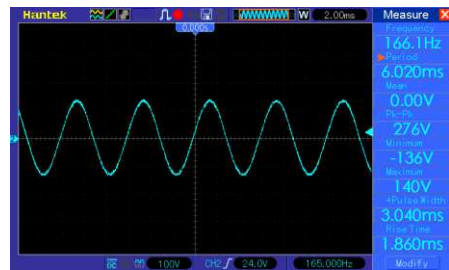
Gambar 4. 4 Gelombang Tipe U-S
1000 rpm

Gambar 4. 5 Gelombang Tipe U-U
1000 rpm

1250



Gambar 4. 6 Gelombang Tipe U-S 1250 rpm

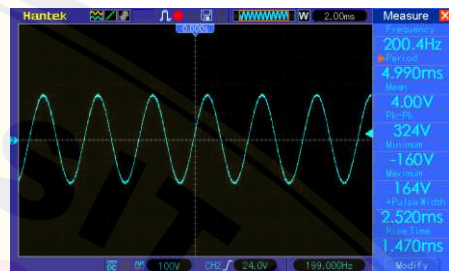


Gambar 4. 7 Gelombang Tipe U-U 1250 rpm

1500

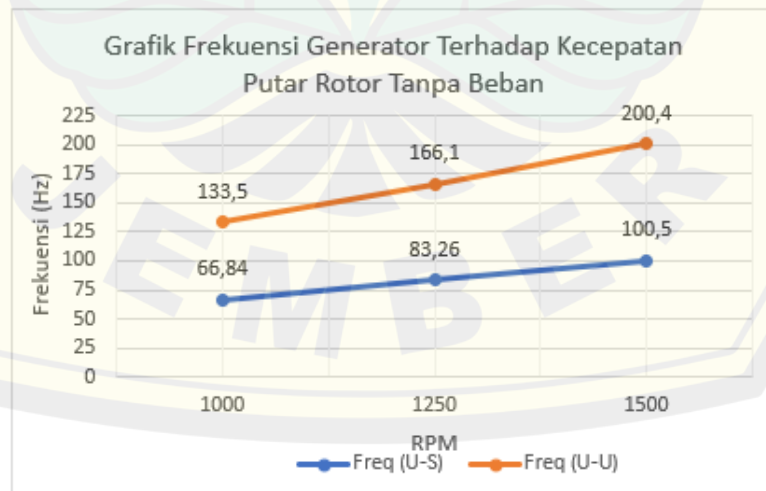


Gambar 4. 8 Gelombang Tipe U-S 1500 rpm



Gambar 4. 9 Gelombang Tipe U-U 1500 rpm

Dari tabel 4.6 diatas dapat diketahui bahwa semakin besar nilai kecepatan putar rotor maka nilai frekuensi akan semakin besar. Nilai frekuensi pada pemasangan magnet U-U yaitu 2 kali lebih besar dibandingkan dengan tipe U-S. Hal ini dikarenakan nilai periode yang dihasilkan oleh gelombang tipe U-U sebesar setengah dari gelombang tipe U-S. Karakteristik perbedaan hasil frekuensi antara tipe U-U dengan Tipe U-S dapat dilihat pada gambar grafik 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Grafik Frekuensi Generator Terhadap Kecepatan Putar Tanpa Beban

Setelah mengetahui nilai tegangan dan frekuensi dengan metode pengujian, selanjutnya yaitu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai fluks magnet yang dihasilkan oleh generator. Dengan menggunakan persamaan (3.8) maka diperoleh nilai fluks magnet maksimum seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 7 Perhitungan Fluks Magnet

RPM	Fluks Magnet (Wb)	
	Tipe U-S	Tipe U-U
1000	1,28267E-05	1,85048E-06
1250	1,28088E-05	1,87455E-06
1500	1,23554E-05	1,84987E-06

Dari tabel 4.7 diatas maka dapat diketahui bahwa nilai fluks magnet yang dihasilkan oleh tipe U-S lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U. Berdasarkan persamaan (3.1) diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi nilai fluks magnet adalah nilai frekuensi. Dimana nilai frekuensi pada persamaan tersebut merupakan nilai pembagi dan pada tipe U-S memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan tipe U-U.

4.2.2 Pengujian Generator dengan Menggunakan Beban

Pada pengujian berbeban dilakukan dengan cara menghubungkan generator dengan *rectifier* kemudian dilanjutkan ke beban. Beban yang digunakan dalam pengujian berupa LED yang disusun sebanyak 4 variasi. Beban 1 terdiri dari 9 LED yang tersusun secara seri, beban 2 yaitu 2 paralel, beban 3 yaitu 3 paralel dan beban 4 yaitu 4 paralel dimana masing-masing paralel terdiri dari 9 LED yang tersusun secara seri. Pemberian variasi beban secara paralel, bertujuan untuk mengetahui performa generator apabila diberi beban yang berbeda-beda. LED yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan kerja sebesar 3 volt dengan arus 2 mA. Dari spesifikasi tersebut dapat diketahui pada beban 1 daya yang dibutuhkan agar beban LED menyala yaitu sebesar 0,054 W, beban 2 sebesar 0,108 W, beban 3 sebesar 0,162 W dan beban 4 sebesar 0,216 W. Masing-masing variasi beban dilakukan pengujian pada kecepatan putar rotor 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm.

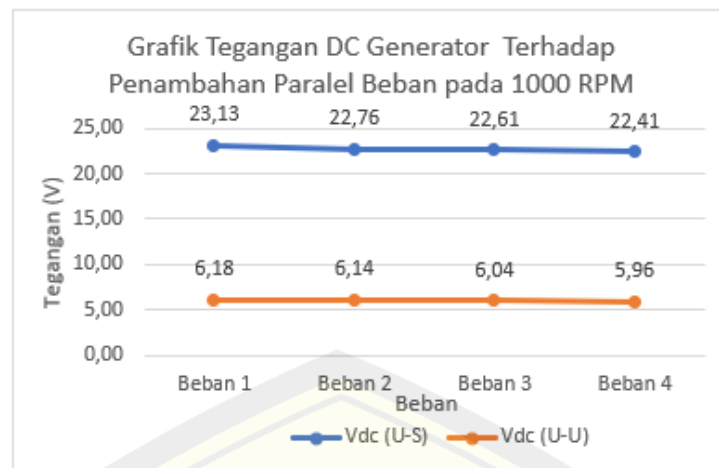
4.2.2.1 Pengujian Generator Berbeban pada Kecepatan Putar 1000 RPM

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kecepatan putar 1000 rpm pada setiap tipe pemasangan kutub magnet. Beban yang digunakan yaitu 9 LED yang disusun secara seri dan dibuat penambahan variasi paralel. Berikut merupakan tabel data hasil pengujian berbeban dengan kecepatan putar rotor sebesar 1000 rpm.

Tabel 4. 8 Data Pengujian Berbeban dengan Kecepatan 1000 Rpm

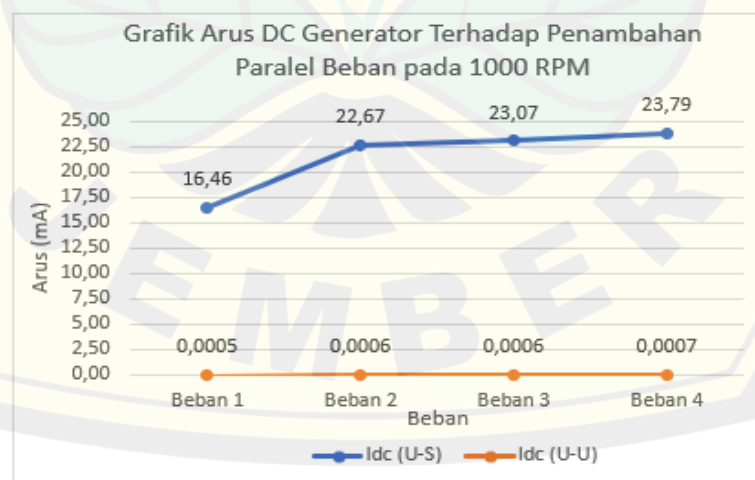
Beban	TIPE U-S					TIPE U-U				
	Vac (V)	Iac (mA)	Vdc (V)	Idc (mA)	Pdc (W)	Vac (V)	Iac (mA)	Vdc (V)	Idc (mA)	Pac (W)
Beban 1	26,28	19,66	23,13	16,46	0,38	8,12	0,0011	6,18	0,0005	3,1,E-06
Beban 2	25,60	26,83	22,76	22,67	0,52	8,02	0,0012	6,14	0,0006	3,7,E-06
Beban 3	25,11	28,70	22,61	23,07	0,52	7,95	0,0012	6,04	0,0006	3,6,E-06
Beban 4	24,87	29,36	22,41	23,79	0,53	7,92	0,0012	5,96	0,0007	4,2,E-06

Berdasarkan tabel 4.8 diatas dapat diketahui bahwa dengan kecepatan putar rotor 1000 rpm dan semakin banyak jumlah penambahan paralel beban (nilai resistansi semakin kecil) maka, nilai tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil dan nilai arus akan semakin besar. Nilai tegangan Vac tanpa beban dan berbeban memiliki selisih yang berbeda, dimana terdapat penurunan atau terjadi drop tegangan. Terjadinya drop tegangan ini dipengaruhi oleh adanya rugi-rugi kumparan dan arus yang mengalir pada saat berbeban. Karakteristik tegangan dan arus antara pemasangan kutub magnet U-S dan kutub U-U memiliki hasil keluaran yang berbeda, dimana nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kutub U-S lebih besar dibandingkan dengan kutub U-U. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan nilai frekuensi dan fluks magnet maksimum yang dihasilkan seperti pada tabel 4.5 dan 4.7, sehingga mempengaruhi keluran dari generator. Berikut ini disajikan grafik karakteristik tegangan DC yang dihasilkan oleh generator.



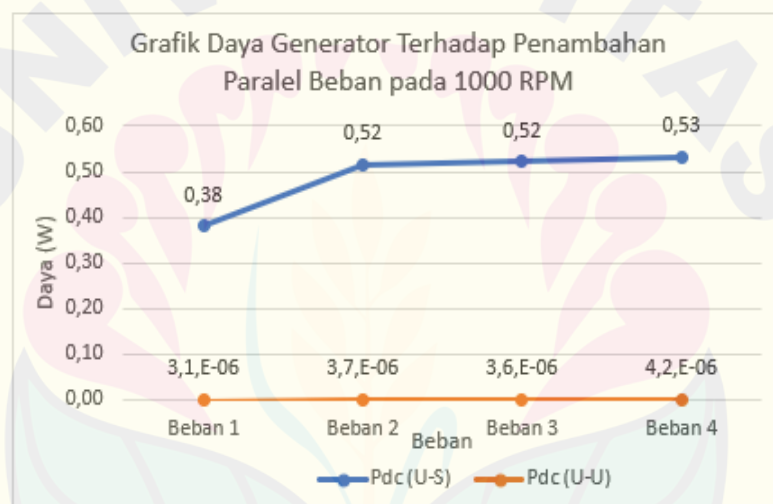
Gambar 4. 11 Grafik Tegangan DC Terhadap Beban pada 1000 RPM

Dari gambar grafik 4.11 dapat diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai tegangan yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 23,13 volt dan 6,18 volt, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 22,41 volt dan 5,96 volt. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh tipe U-S lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, hal ini dikarenakan nilai fluks magnet pada tipe U-S jauh lebih besar sehingga berpengaruh terhadap tegangan *output*. Semakin banyak penambahan paralel yang dilakukan maka nilai tegangan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan adanya drop tegangan yang semakin besar yang disebabkan oleh rugi kumparan dan arus beban yang semakin besar. Berikut merupakan grafik pengaruh penambahan paralel beban terhadap nilai arus yang dihasilkan.



Gambar 4. 12 Grafik Arus DC Terhadap Beban pada 1000 RPM

Berdasarkan gambar grafik 4.12 diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai arus yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 16,46 mA dan 0,0005 mA, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 23,79 mA dan 0,0007 mA. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan paralel beban maka arus yang dihasilkan akan semakin besar, hal ini dikarenakan saat penambahan paralel beban nilai hambatan akan semakin kecil. Arus pada tipe U-S lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, dikarenakan tegangan yang dihasilkan oleh tipe U-S bernilai jauh lebih besar. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui karakteristik daya generator. Berikut merupakan grafik karakteristik daya yang dihasilkan generator terhadap penambahan paralel beban pada kecepatan putar rotor 1250 rpm.



Gambar 4. 13 Grafik Daya Terhadap Beban pada 1000 RPM

Berdasarkan gambar grafik 4.13 diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai daya yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 0,38 W dan $3,1 \times 10^{-6}$ W, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 0,53 W dan $4,2 \times 10^{-6}$ W. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai daya yang dihasilkan oleh tipe U-S jauh lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, hal ini dikarenakan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh tipe U-S lebih besar. Nilai daya ini diperoleh dari perkalian antara nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh setiap beban.

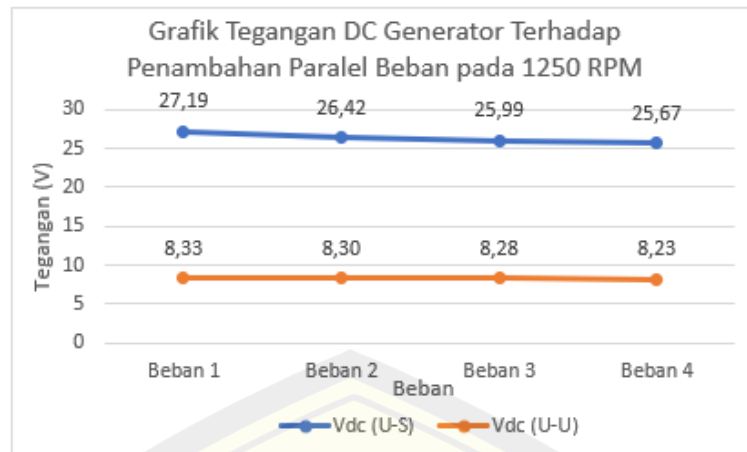
4.2.2.2 Pengujian Generator Berbeban pada Kecepatan Putar 1250 RPM

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kecepatan putar 1250 rpm pada setiap tipe pemasangan kutub magnet. Beban yang digunakan sama seperti pada saat kecepatan 1000 rpm yaitu terdapat 4 variasi beban. Tujuan dari penambahan kecepatan putar rotor ini yaitu untuk mengetahui hasil keluaran dan karakteristik tegangan, arus dan daya yang dihasilkan. Berikut merupakan tabel data hasil pengujian berbeban dengan kecepatan putar rotor sebesar 1250 rpm.

Tabel 4. 9 Data Pengujian Berbeban dengan Kecepatan 1250 Rpm

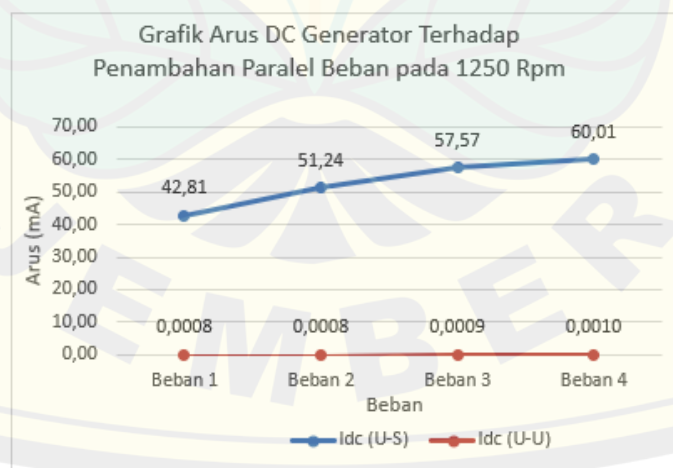
Beban	TIPE U-S					TIPE U-U				
	Vac (V)	Iac (mA)	Vdc (V)	Idc (mA)	Pdc (W)	Vac (V)	Iac (mA)	Vdc (V)	Idc (mA)	Pac (W)
Beban 1	30,63	49,21	27,19	42,81	1,16	9,78	0,0013	8,33	0,0008	6,7,E-06
Beban 2	29,81	60,47	26,42	51,24	1,35	9,76	0,0013	8,30	0,0008	6,6,E-06
Beban 3	29,58	67,30	25,99	57,57	1,50	9,76	0,0014	8,28	0,0009	7,5,E-06
Beban 4	29,29	70,27	25,67	60,01	1,54	9,75	0,0014	8,23	0,0010	8,2,E-06

Berdasarkan tabel 4.9 diatas dapat diketahui bahwa dengan kecepatan putar rotor 1250 rpm dan semakin banyak jumlah penambahan paralel beban (nilai resistansi semakin kecil) maka, nilai tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil dan nilai arus akan semakin besar. Nilai tegangan Vac tanpa beban dan berbeban memiliki selisih yang berbeda, dimana terdapat penurunan atau terjadi drop tegangan. Terjadinya drop tegangan ini dipengaruhi oleh adanya rugi-rugi kumparan dan arus yang mengalir pada saat berbeban. Karakteristik tegangan dan arus antara pemasangan kutub magnet U-S dan kutub U-U memiliki hasil keluaran yang berbeda, dimana nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kutub U-S lebih besar dibandingkan dengan kutub U-U. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan nilai fluks magnet dan frekuensi yang dihasilkan, sehingga mempengaruhi keluran dari generator. Berikut ini disajikan grafik karakteristik tegangan DC yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 4. 14 Grafik Tegangan DC Terhadap Beban pada 1250 RPM

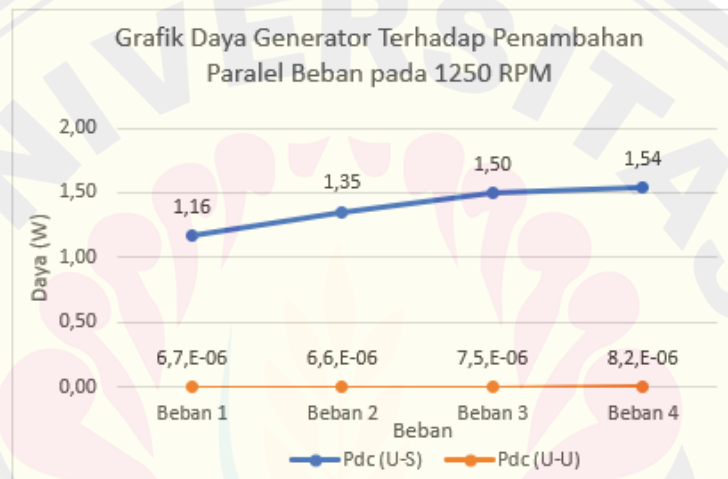
Dari gambar grafik 4.14 dapat diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai tegangan yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 27,19 volt dan 8,33 volt, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 25,67 volt dan 8,23 volt. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh tipe U-S lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan nilai frekuensi dan fluks magnet maksimum yang dihasilkan seperti pada tabel 4.5 dan 4.7. Semakin banyak penambahan paralel yang dilakukan maka nilai tegangan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan adanya drop tegangan yang semakin besar yang disebabkan oleh rugi kumparan dan arus beban yang semakin besar. Berikut merupakan grafik pengaruh penambahan paralel beban terhadap nilai arus yang dihasilkan.



Gambar 4. 15 Grafik Arus DC Terhadap Beban pada 1250 RPM

Berdasarkan gambar grafik 4.15 diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai arus yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 42,81 mA dan 0,0008

mA, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 60,01 mA dan 0,0010 mA. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan paralel beban maka arus yang dihasilkan akan semakin besar, hal ini dikarenakan saat penambahan paralel beban nilai hambatan akan semakin kecil. Arus pada tipe U-S lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, dikarenakan tegangan yang dihasilkan oleh tipe U-S bernilai jauh lebih besar. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui karakteristik daya generator. Berikut merupakan grafik karakteristik daya yang dihasilkan generator terhadap penambahan paralel beban pada kecepatan putar rotor 1250 rpm.



Gambar 4. 16 Grafik Daya Terhadap Beban pada 1250 RPM

Berdasarkan gambar grafik 4.16 diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai daya yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 1,16 W dan $6,7 \times 10^{-6}$ W, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 1,54 W dan $8,2 \times 10^{-6}$ W. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai daya yang dihasilkan oleh tipe U-S jauh lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, hal ini dikarenakan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh tipe U-S lebih besar. Nilai daya ini diperoleh dari perkalian antara nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh setiap beban.

4.2.2.3 Pengujian Generator Berbeban pada Kecepatan Putar 1500 RPM

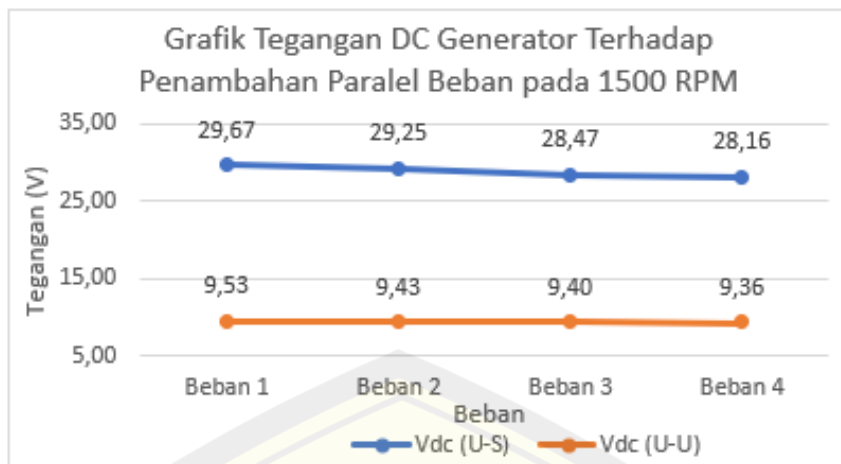
Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kecepatan putar 1500 rpm pada setiap tipe pemasangan kutub magnet. Beban yang digunakan sama

seperti pada saat kecepatan 1000 rpm dan 1250 rpm yaitu terdapat 4 variasi beban. Tujuan dari penambahan kecepatan putar rotor ini yaitu untuk mengetahui hasil keluaran dan karakteristik tegangan, arus dan daya yang dihasilkan. Berikut merupakan tabel data hasil pengujian berbeban dengan kecepatan putar rotor sebesar 1500 rpm.

Tabel 4. 10 Data Pengujian Berbeban dengan Kecepatan 1500 Rpm

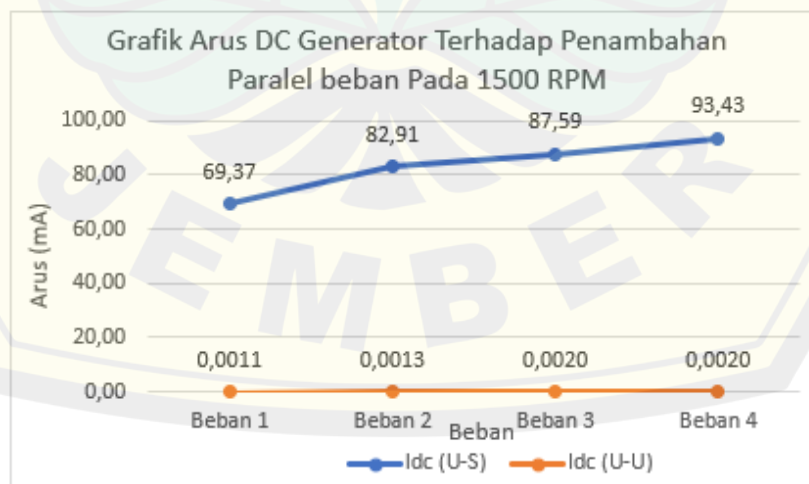
Beban	TIPE U-S					TIPE U-U				
	Vac (V)	Iac (mA)	Vdc (V)	Idc (mA)	Pdc (W)	Vac (V)	Iac (mA)	Vdc (V)	Idc (mA)	Pac (W)
Beban 1	34,64	79,29	29,67	69,37	2,06	11,54	0,0014	9,53	0,0011	1,0,E-05
Beban 2	33,29	94,25	29,25	82,91	2,43	11,54	0,0015	9,43	0,0013	1,2,E-05
Beban 3	32,48	100,03	28,47	87,59	2,49	11,52	0,0020	9,40	0,0020	1,9,E-05
Beban 4	32,10	106,48	28,16	93,43	2,63	11,51	0,0020	9,36	0,0020	1,9,E-05

Berdasarkan tabel 4.10 diatas dapat diketahui bahwa dengan kecepatan putar rotor 1500 rpm dan semakin banyak jumlah penambahan paralel beban (nilai resistansi semakin kecil) maka, nilai tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil dan nilai arus akan semakin besar. Nilai tegangan Vac tanpa beban dan berbeban memiliki selisih yang berbeda, dimana terdapat penurunan atau terjadi drop tegangan. Terjadinya drop tegangan ini dipengaruhi oleh adanya rugi-rugi kumparan dan arus yang mengalir pada saat berbeban. Karakteristik tegangan dan arus antara pemasangan kutub magnet U-S dan kutub U-U memiliki hasil keluaran yang berbeda, dimana nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kutub U-S lebih besar dibandingkan dengan kutub U-U. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan nilai fluks magnet dan frekuensi yang dihasilkan, sehingga mempengaruhi keluran dari generator. Berikut ini disajikan grafik karakteristik tegangan DC yang dihasilkan oleh generator terhadap penambahan beban pada kecepatan putar rotor 1500 rpm.



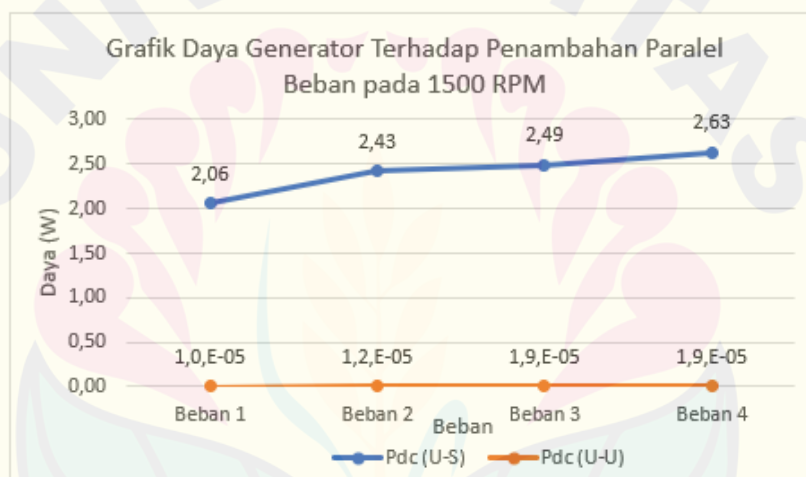
Gambar 4. 17 Grafik Tegangan DC Terhadap Beban pada 1500 RPM

Dari gambar grafik 4.17 dapat diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai tegangan yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 29,67 volt dan 9,53 volt, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 28,16 volt dan 9,36 volt. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh tipe U-S lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan nilai frekuensi dan fluks magnet maksimum yang dihasilkan seperti pada tabel 4.5 dan 4.7. Semakin banyak penambahan paralel yang dilakukan maka nilai tegangan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan adanya drop tegangan yang semakin besar yang disebabkan oleh rugi kumparan dan arus beban yang semakin besar. Berikut merupakan grafik pengaruh penambahan paralel beban terhadap nilai arus yang dihasilkan.



Gambar 4. 18 Grafik Arus DC Terhadap Beban pada 1500 RPM

Berdasarkan gambar grafik 4.15 diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai arus yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 69,37 mA dan 0,0011 mA, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 93,43 mA dan 0,0020 mA. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan paralel beban maka arus yang dihasilkan akan semakin besar, hal ini dikarenakan saat penambahan paralel beban nilai hambatan akan semakin kecil. Arus pada tipe U-S lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, dikarenakan tegangan yang dihasilkan oleh tipe U-S bernilai jauh lebih besar. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui karakteristik daya generator. Berikut merupakan grafik karakteristik daya yang dihasilkan generator terhadap penambahan paralel beban pada kecepatan putar rotor 1500 rpm.



Gambar 4. 19 Grafik Daya Terhadap Beban pada 1500 RPM

Berdasarkan gambar grafik 4.19 diketahui bahwa saat beban 1 (9 LED seri) nilai daya yang dihasilkan pada Tipe U-S dan tipe U-U sebesar 2,06 W dan $1,0 \times 10^{-6}$ W, sedangkan pada saat beban 4 (4 paralel 9 LED seri) menghasilkan 2,63 W dan $1,9 \times 10^{-6}$ W. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai daya yang dihasilkan oleh tipe U-S jauh lebih besar dibandingkan dengan tipe U-U, hal ini dikarenakan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh tipe U-S lebih besar. Nilai daya ini diperoleh dari perkalian antara nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh setiap beban.

Berdasarkan hasil pengujian generator dengan kecepatan variasi 1000 rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm seperti yang telah ditunjukkan pada tabel 4.8, 4.9 dan 4.10.

Dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan putar rotor (RPM) maka tegangan dan arus *output* akan semakin besar sehingga daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Penurunan/drop tegangan antara tegangan Vac tanpa beban dan berbeban dikarenakan adanya rugi-rugi kumparan dan arus yang mengalir pada saat berbeban. Nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kutub U-S memiliki karakteristik lebih besar dibandingkan dengan kutub U-U. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan nilai frekuensi dan fluks maksimum magnet yang dihasilkan, sehingga mempengaruhi keluran dari generator. Perbedaan nilai frekuensi dan fluks maksimum ini dapat dibuktikan pada tabel 4.5 dan 4.7. Selain itu, dengan kecepatan putar rotor yang sama dan penambahan paralel semakin banyak dapat menyebabkan nilai tegangan yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini dikarenakan adanya drop tegangan yang semakin besar yang disebabkan oleh rugi kumparan dan arus beban yang semakin besar. Nilai arus akan semakin besar dikarenakan saat penambahan paralel beban maka nilai tahanan akan semakin kecil. Pernyataan tersebut dapat dibuktikan pada masing-masing tabel pengujian 4.8, 4.9 dan 4.10.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian generator 1 fasa aksial fluks multicakram terhadap perbedaan pemasangan polaritas kutub magnet yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada generator tipe kutub magnet berlawanan arah (U-S) menghasilkan nilai frekuensi yang lebih kecil dan fluks magnet yang lebih besar dibandingkan dengan tipe kutub magnet searah (U-U). Semakin besar nilai kecepatan putar dan jumlah pole magnet maka nilai frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar. Pada pengujian 1000 rpm nilai frekuensi dan fluks magnet tipe (U-S) sebesar 66,83 Hz dan $1,28267 \times 10^{-5}$ Wb, sedangkan pada tipe (U-U) sebesar 133,5 Hz dan $1,85048 \times 10^{-6}$ Wb. Nilai frekuensi akan mempengaruhi nilai fluks magnet, dimana semakin besar nilai frekuensi maka nilai fluks magnet akan semakin kecil.
2. Nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator tipe (U-S) bernilai lebih besar dibandingkan dengan tipe (U-U), hal ini dikarenakan nilai frekuensi yang dihasilkan lebih kecil dan fluks magnet yang lebih besar. Semakin besar kecepatan putar rotor yang digunakan maka nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan akan semakin besar. Pada data pengujian berbeban kecepatan 1000 rpm dengan nilai tegangan, arus dan daya DC pada beban 1 tipe U-S sebesar 23,13 volt, 16,46 mA dan 0,38 W. Sedangkan pada tipe U-U bernilai 6,18 volt, 0,0005 mA dan $3,1 \times 10^{-6}$ W.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya diantaranya :

1. Dalam pengujian generator diharap untuk memperhatikan keakuratan air gap antara kutub U-U dan kutub U-S, hal ini dikarenakan akan sangat berpengaruh terhadap nilai keluaran generator.

2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk memperhatikan kesejajaran posisi magnet permanen dikarenakan apabila tidak sejajar akan mempengaruhi nilai keluaran generator dan menyebabkan nilai tidak sesuai dengan perhitungan.



DAFTAR PUSTAKA

- 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. <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/106585/AldheaAzzahra-161910201058.pdf?sequence=1&isAllowed=n>
- Chapman, J. S. (2005). *Electric Machinery Fundamentals-4th ed.* Elizabeth A.Jones.
- Chen, Y., Pillay, P., & Khan, A. (2004). PM Wind Generator Comparison Of Different Topologies. *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, 3, 1405–1412. <https://doi.org/10.1109/IAS.2004.1348606>
- Dwinanta, D. (2017). Analisis Kerja Rangkaian Rectifier Signal Amplifier Sebagai Pembersih Siaran Televisi. Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
- Eindhoven, T. U., & Version, D. (2019). *Design And Development Of A High-Speed Axial-Flux Permanent-Magnet Machine.* 2001, 242. <https://doi.org/10.6100/IR544267>
- Fajar, A. (2017). Rancang Bangun Generator Sinkron Axial Flux Permanent Magnet 1500 Watt.
- Gieras, J. F., Wang, R.-Jie., & Kamper, M. J. (2004). *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines.* Kluwer Academic.
- Khikmah, Q. (2020). Analisis Pengaruh Air Gap (Celah Udara) Terhadap Unjuk Kerja Generator Axial Flux Double Side Rotor 1 Fasa Dengan Kutub Berlawanan (N-S). Teknik Elektro, Universitas Jember. <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/102298/QoidatulKhikmah-161910201038.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mustofa, O. :, Didik Notosudjono, I. H., & Suhendi, I. D. (2014). Perancangan Pembangkit Listrik Menggunakan Generator Magnet Permanen Dengan Motor Dc Sebagai Prime Mover.
- Piggott, H. (2003). *How to Build a wind Turbine Axial Flux Alternator Windmill Plans.* Scotland.
- Pratama, P. P. (2020). Rancang Bangun Generator Axial Flux Permanent Magnet (AFPM) Multicakram 1 Fasa Dengan Kutub Berlawanan (N-S) Menggunakan Magnet Permanen Neodymium Iron Boron (Ndfeb).

- Prisandi, C. H. (2011). Studi Desain Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Aksial Tanpa Inti Stator. Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Putri, A. K. A. (2019). Rancang Bangun Generator Axial Flux Satu Fasa Menggunakan Neodymium Iron Boron Magnet (NdFeB) Silinder Dengan Kutub Searah (U-U). Teknik Elektro, Universitas Jember. [https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/91468/Alysa Karisma Addina Putri-151910201049_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/91468/Alysa%20Karisma%20Addina%20Putri-151910201049_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rohmah, A. (2019). *Rancang bangun generator AC kontruksi axial flux satu fasa menggunakan magnet neodymium (ndfeb) silinder dengan kutub magnet berlawanan(u-s)*. Teknik Elektro, Universitas Jember. [https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/91615/Ainur Rohmah-151910201004 Sdh.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/91615/Ainur%20Rohmah-151910201004%20Sdh.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rossouw, F. G. (2009). Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator System for Direct Battery Charging Applications. *Africa, March*, 140.
- Wijaya, F. D., W, Y. S., & Nugroho, R. A. (2014). Perancangan Generator Magnet Permanen Fluks 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>
- Yu Ta Tu, H. H. (TW), & Show Jong Yeh, H. (2004). *Flat Rotary Electric Generator*. 1–10.

LAMPIRAN

A. Perhitungan

1. Perhitungan Pemasangan Kutub Magnet Tipe U-S 1000 RPM

• Perhitungan Tanpa beban

○ Perhitungan Frekuensi

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{n \times p}{120} \\
 &= \frac{1000 \times 8}{120} \\
 &= 66,67 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

○ Perhitungan Fluks Magnet

$$\begin{aligned}
 \Phi_{\max} &= \frac{E_{a \text{ ukur}}}{4,44 \times f_{\text{ukur}} \times N \times \frac{N_s}{N_{ph}}} \\
 &= \frac{27,59}{4,44 \times 66,84 \times 302 \times \frac{24}{1}} \\
 &= 1,28267 \times 10^{-5} \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

○ Perhitungan Tegangan Output (Vac)

$$\begin{aligned}
 V_{ac} = E_{a \text{ hitung}} &= 4,44 \times f_{\text{hitung}} \times N \times \Phi_{\max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \\
 &= 4,44 \times 66,67 \times 302 \times 1,28267 \times 10^{-5} \times \frac{24}{1} \\
 &= 27,52 \text{ V}
 \end{aligned}$$

○ Perhitungan Error Persen Tegangan Output (Vac)

$$\begin{aligned}
 \text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{27,52 - 27,59}{27,52} \right| \times 100\% \\
 &= 0,26 \%
 \end{aligned}$$

○ Perhitungan Vm

$$\begin{aligned}
 V_m &= V_{ac \text{ ukur}} \times \sqrt{2} \\
 &= 27,59 \times \sqrt{2} \\
 &= 39,02 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan Tegangan Luaran DC**

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{2 \times V_m}{\pi} \\ &= \frac{2 \times 39,02}{3,14} \\ &= 24,85 \text{ V} \end{aligned}$$

- **Perhitungan Error Persen Tegangan Output (Vdc)**

$$\begin{aligned} \text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{24,85 - 24,7}{24,85} \right| \times 100\% \\ &= 0,61 \% \end{aligned}$$

- **Perhitungan berbeban (Beban 1)**

- **Perhitungan Impedansi**

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi \times f \times L \\ &= 2(3,14) \times 66,67 \times 0,046 \\ &= 19,26 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} \\ &= \sqrt{46,5^2 + 19,26^2} \\ &= 50,33 \Omega \end{aligned}$$

- **Perhitungan Tegangan Output (Vac)**

$$\begin{aligned} V &= E_A - (I_A \times Z) \\ &= 27,52 - (19,66 \times 10^{-3} \times 50,33) \\ &= 26,53 \text{ V} \end{aligned}$$

- **Perhitungan Error Persen Tegangan Output (Vac)**

$$\begin{aligned} \text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{26,53 - 26,28}{26,53} \right| \times 100\% \\ &= 0,94 \% \end{aligned}$$

- **Perhitungan Daya (Pac)**

$$\begin{aligned} P_{ac} &= V_{ukur} \times I_{ukur} \\ &= 26,28 \times 19,66 \times 10^{-3} \\ &= 0,52 \text{ W} \end{aligned}$$

- **Perhitungan V_m**

$$\begin{aligned} V_m &= V_{ac \text{ ukur}} \times \sqrt{2} \\ &= 26,28 \times \sqrt{2} \\ &= 37,17 \text{ V} \end{aligned}$$

- **Perhitungan V_m Output**

$$\begin{aligned} V_{m \text{ out}} &= V_m - (2 \times V_D) \\ &= 37,17 - (2 \times 0,7) \\ &= 35,77 \text{ V} \end{aligned}$$

- **Perhitungan V_{dc}**

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{2 \times V_{m \text{ out}}}{\pi} \\ &= \frac{2 \times 35,77}{3,14} \\ &= 22,78 \text{ V} \end{aligned}$$

- **Perhitungan Error Persen Tegangan Output (V_{dc})**

$$\begin{aligned} \text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{22,78 - 23,13}{22,78} \right| \times 100\% \\ &= 1,53 \% \end{aligned}$$

- **Perhitungan Daya (P_{dc})**

$$\begin{aligned} P_{dc} &= V_{ukur} \times I_{ukur} \\ &= 23,13 \times 16,46 \times 10^{-3} \\ &= 0,38 \text{ W} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Pemasangan Kutub Magnet Tipe U-U 1000 RPM

- **Perhitungan Tanpa beban**

- **Perhitungan Frekuensi**

$$\begin{aligned} f &= \frac{n \times p}{120} \\ &= \frac{1000 \times 16}{120} \\ &= 133,33 \text{ Hz} \end{aligned}$$

- **Perhitungan Fluks Magnet**

$$\Phi_{\max} = \frac{E_{a \text{ ukur}}}{4,44 \times f_{ukur} \times N \times \frac{N_s}{N_{ph}}}$$

$$= \frac{7,95}{4,44 \times 133,33 \times 302 \times \frac{24}{1}}$$

$$= 1,85048 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

○ **Perhitungan Tegangan Output (Vac)**

$$\begin{aligned} V_{ac} = E_{a_{hitung}} &= 4,44 \times f_{hitung} \times N \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \\ &= 4,44 \times 133,33 \times 302 \times 1,85048 \times 10^{-6} \times \frac{24}{1} \\ &= 7,94 \text{ V} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Error Persen Tegangan Output (Vac)**

$$\begin{aligned} \text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{7,94 - 7,95}{7,94} \right| \times 100\% \\ &= 0,12\% \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Vm**

$$\begin{aligned} V_m &= V_{ac \text{ ukur}} \times \sqrt{2} \\ &= 7,95 \times \sqrt{2} \\ &= 11,24 \text{ V} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Tegangan Luaran DC**

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{2 \times V_m}{\pi} \\ &= \frac{2 \times 11,24}{3,14} \\ &= 7,16 \text{ V} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Error Persen Tegangan Output (Vdc)**

$$\begin{aligned} \text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{7,16 - 7,95}{7,16} \right| \times 100\% \\ &= 0,12\% \end{aligned}$$

● **Perhitungan berbeban (Beban 1)**

○ **Perhitungan Impedansi**

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi \times f \times L \\ &= 2(3,14) \times 133,33 \times 0,046 \end{aligned}$$

$$= 38,52 \Omega$$

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} \\ &= \sqrt{46,5^2 + 38,52^2} \\ &= 60,38 \Omega \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Tegangan Output (Vac)**

$$\begin{aligned} V &= E_A - (I_A \times Z) \\ &= 7,94 - (0,0011 \times 10^{-3} \times 60,38) \\ &= 7,94 \text{ V} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Error Persen Tegangan Output (Vac)**

$$\begin{aligned} \text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{7,94 - 8,12}{7,94} \right| \times 100\% \\ &= 2,27 \% \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Daya (Pac)**

$$\begin{aligned} P_{ac} &= V_{ukur} \times I_{ukur} \\ &= 8,12 \times 0,0011 \times 10^{-3} \\ &= 8,9 \times 10^{-6} \text{ W} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Vm**

$$\begin{aligned} V_m &= V_{ac \text{ ukur}} \times \sqrt{2} \\ &= 8,12 \times \sqrt{2} \\ &= 11,48 \text{ V} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Vm Output**

$$\begin{aligned} V_{m \text{ out}} &= V_m - (2 \times V_D) \\ &= 11,48 - (2 \times 0,7) \\ &= 10,08 \text{ V} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Vdc**

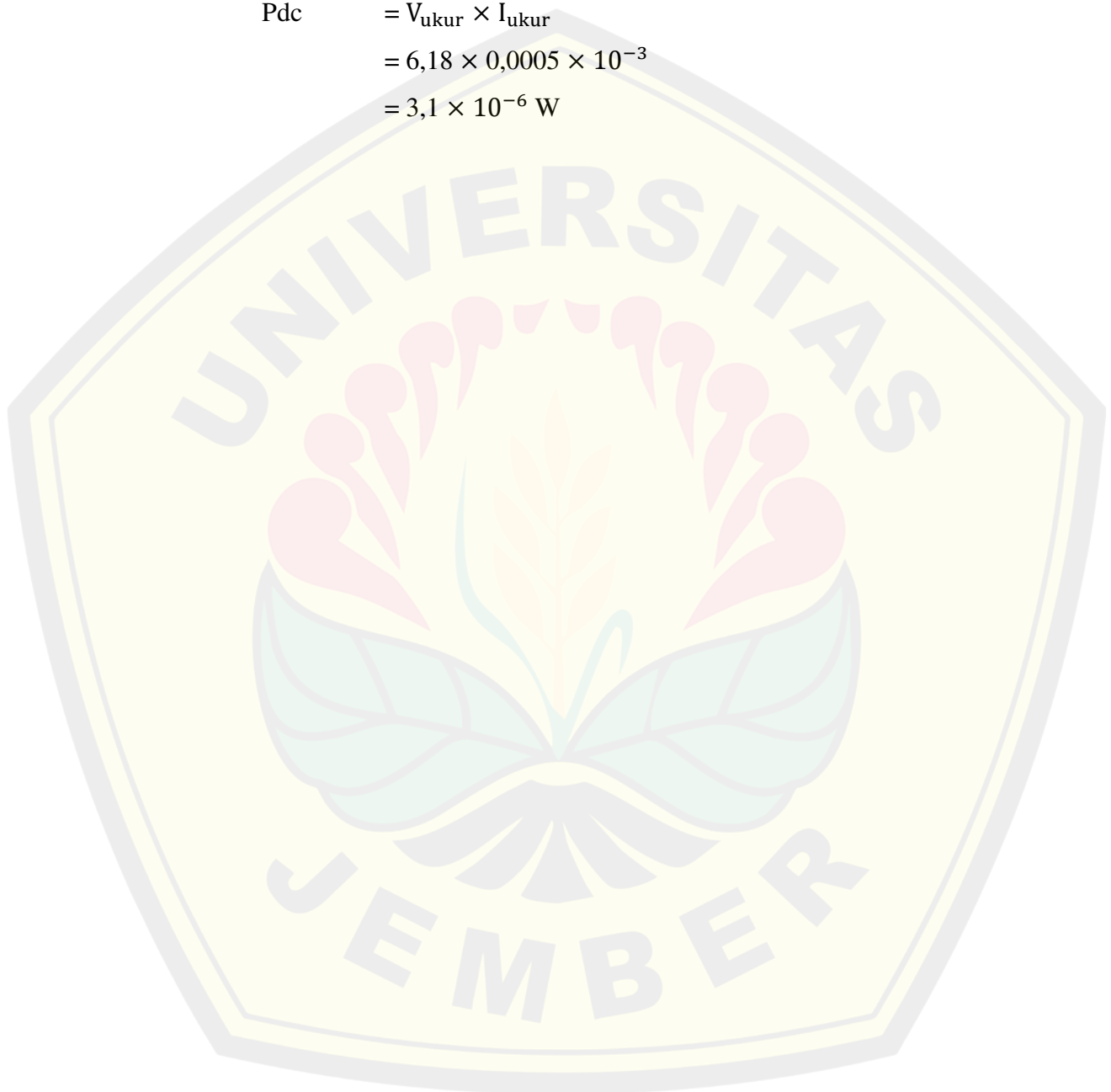
$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{2 \times V_{m \text{ out}}}{\pi} \\ &= \frac{2 \times 10,08}{3,14} \\ &= 6,42 \text{ V} \end{aligned}$$

○ **Perhitungan Error Persen Tegangan Output (Vdc)**

$$\begin{aligned}\text{Error Persen} &= \left| \frac{\text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Pengukuran}}{\text{Hasil Perhitungan}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{6,42 - 6,18}{6,42} \right| \times 100\% \\ &= 3,75 \%\end{aligned}$$

○ **Perhitungan Daya (Pdc)**

$$\begin{aligned}\text{Pdc} &= V_{\text{ukur}} \times I_{\text{ukur}} \\ &= 6,18 \times 0,0005 \times 10^{-3} \\ &= 3,1 \times 10^{-6} \text{ W}\end{aligned}$$



Tabel 1. Hasil Perhitungan Pengujian Tanpa Beban

RPM	Vac (V)				Vdc (V)				Fac (Hz)				Fluks Magnet (Wb)	
	U-S	E%	U-U	E%	U-S	E%	U-U	E%	U-S	E%	U-U	E%	U-S	U-U
1000	27,52	0,26	7,94	0,12	24,85	0,61	7,16	3,37	66,67	0,26	133,33	0,12	1,28267E-05	1,85048E-06
1250	34,35	0,09	10,05	0,34	30,91	2,08	9,03	2,94	83,33	0,09	166,67	0,34	1,28088E-05	1,87455E-06
1500	39,76	0,50	11,91	0,20	35,99	1,18	10,75	2,11	100,00	0,50	200,00	0,20	1,23554E-05	1,84987E-06

Tabel 2. Perhitungan Impedansi

R (Ω)	L(H)	RPM	Tipe U-S		Tipe U-U	
			XI (Ω)	Z (Ω)	XI (Ω)	Z (Ω)
46,5	0,046	1000	19,26	50,33	38,52	60,38
		1250	24,07	52,36	48,15	66,94
		1500	28,89	54,74	57,78	74,16

Tabel 3. Perhitungan Pengujian Berbeban 1000 RPM

Beban	Tipe U-S						Tipe U-U									
	Vac (V)	E%	Pac (W)	Vm (V)	Vm out (V)	Vdc (V)	E%	Pdc (W)	Vac (V)	E%	Pac (W)	Vm (V)	Vm out (V)	Vdc (V)	E%	Pdc (W)
Beban 1	26,53	0,94	0,52	37,17	35,77	22,78	1,53	0,38	7,94	2,27	8,9,E-06	11,48	10,08	6,42	3,78	3,1,E-06
Beban 2	26,17	2,18	0,69	36,20	34,80	22,17	2,67	0,52	7,94	1,01	9,6,E-06	11,34	9,94	6,33	3,04	3,7,E-06
Beban 3	26,08	3,70	0,72	35,51	34,11	21,73	4,07	0,52	7,94	0,13	9,5,E-06	11,24	9,84	6,27	3,66	3,6,E-06
Beban 4	26,04	4,50	0,73	35,17	33,77	21,51	4,18	0,53	7,94	0,25	9,5,E-06	11,20	9,80	6,24	4,52	4,2,E-06

Tabel 4. Perhitungan Pengujian Berbeban 1250 RPM

Beban	Tipe U-S						Tipe U-U									
	Vac (V)	E%	Pac (W)	Vm (V)	Vm out (V)	Vdc (V)	E%	Pdc (W)	Vac (V)	E%	Pac (W)	Vm (V)	Vm out (V)	Vdc (V)	E%	Pdc (W)
Beban 1	31,77	3,60	1,51	43,32	41,92	26,70	1,84	1,16	10,05	2,69	1,3,E-05	13,83	12,43	7,92	5,21	6,7,E-06
Beban 2	31,18	4,41	1,80	42,16	40,76	25,96	1,77	1,35	10,05	2,88	1,3,E-05	13,80	12,40	7,90	5,07	6,6,E-06
Beban 3	30,83	4,04	1,99	41,83	40,43	25,75	0,92	1,50	10,05	2,88	1,4,E-05	13,80	12,40	7,90	4,81	7,5,E-06
Beban 4	30,67	4,50	2,06	41,42	40,02	25,49	0,70	1,54	10,05	2,98	1,4,E-05	13,79	12,39	7,89	4,30	8,2,E-06

Tabel 5. Perhitungan Pengujian Berbeban 1500 RPM

Beban	Tipe U-S						Tipe U-U									
	Vac (V)	E%	Pac (W)	Vm (V)	Vm out (V)	Vdc (V)	E%	Pdc (W)	Vac (V)	E%	Pac (W)	Vm (V)	Vm out (V)	Vdc (V)	E%	Pdc (W)
Beban 1	35,42	2,20	2,75	48,99	47,59	30,31	2,11	2,06	11,91	3,11	1,6,E-05	16,32	14,92	9,50	0,28	1,0,E-05
Beban 2	34,60	3,79	3,14	47,08	45,68	29,10	0,53	2,43	11,91	3,11	1,7,E-05	16,32	14,92	9,50	0,77	1,2,E-05
Beban 3	34,28	5,26	3,25	45,93	44,53	28,37	0,37	2,49	11,91	3,27	2,3,E-05	16,29	14,89	9,49	0,90	1,9,E-05
Beban 4	33,93	5,40	3,42	45,40	44,00	28,02	0,49	2,63	11,91	3,36	2,3,E-05	16,28	14,88	9,48	1,23	1,9,E-05