



**RANCANG BANGUN PROTOTYPE GENERATOR *AXIAL FLUX* TIGA
FASA DENGAN MAGNET PERMANEN *NEODYMIUM* (NdFeB) STATOR
GANDA UNTUK PENGISIAN *BATTERY* 12 VOLT**

SKRIPSI

Oleh:

Aldhea Azzahra

NIM 161910201058

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**RANCANG BANGUN PROTOTIPE GENERATOR *AXIAL FLUX* TIGA
FASA DENGAN MAGNET PERMANEN *NEODYMIUM* (NdFeB) STATOR
GANDA UNTUK PENGISIAN *BATTERY* 12 VOLT**

SKRIPSI

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

Oleh:

Aldhea Azzahra

NIM 161910201058

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT. atas nikmat dan kasihnya yang telah melimpahkan rahmat yang tak ternilai hingga dapat menyelesaikan penelitian ini, Penulis menyadari bahwa banyak semangat dan doa yang diberikan dari berbagai pihak.akhirnya di persembahkan skripsi ini untuk :

1. Allah SWT. Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang;
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Anton Priyambodo, dan Ibu Irma Lusdiati, yang senantiasa mendidik saya dan bisa menjadi orang tua tersantuy dan siaga, serta adik-adikku Almeira Yassara dan Alayya Saskara, yang selalu bisa membuat tersenyum dikala apapun, dan seluruh keluarga besar yang sangat amat *support* disetiap harinya;
3. Diri sendiri yang telah berjuang dan bertahan sampai detik ini, terimakasih sudah selalu bisa santuy dalam menghadapi apapun;
4. Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan memberikan saran dengan sangat amat sabar demi kesempurnaan skripsi ini, dosen terbaik sepanjang masa;
5. Keluarga besar asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik, yang sudah sangat amat membantu dan bisa bekerja sama satu sama lain dan saling mendukung dalam keadaan apapun;
6. Para Pahlawan tanpa tanda jasa yang telah membimbing penulis mulai dari taman kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi, dan seluruh teman-teman saya disegala penjuru dunia;
7. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember;
8. Keluarga Besar Induktro 2016, yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga terselesaikannya skripsi ini tanpa pamrih, khususnya *Girl Squad* yang selalu menghibur dan membantu dalam hal apapun, *I'll miss you*;
9. Serta rekan-rekan penulis serta rekan-rekan yang menjadikan skripsi ini sebagai referensi;

10. Dan yang terakhir, untuk *partner* saya di segala keadaan Fahim Syah Reza Pahlevi, terimakasih sudah membantu dengan sangat amat sabar dan juga bisa diandalkan.



MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan merubah keadaan suatu kaum sebelum mereka merubah keadaan diri mereka sendiri”

(terjemahan Surat Ar-Ra'd ayat 11*)

You can if out think you can

-Aldhea Azzahra-

Work hard. Do your best. Keep your word. Never get too big for your britches.

Trust in God. Have no fear; and never forget a friend

-Harry S. Truman- v

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Aldhea Azzahra

NIM : 161910201058

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “RANCANG BANGUN PROTOTIPE GENERATOR *AXIAL FLUX* TIGA FASA DENGAN MAGNET PERMANEN *NEODYMIUM* (NdFeB) STATOR GANDA UNTUK PENGISIAN *BATTERY* 12 VOLT” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 16 April 2020

Yang menyatakan,

Aldhea Azzahra

NIM 161910201058

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE GENERATOR *AXIAL FLUX* TIGA
FASA DENGAN MAGNET PERMANEN *NEODYMIUM* (NdFeB) STATOR
GANDA UNTUK PENGISIAN *BATTERY* 12 VOLT**

Oleh

Aldhea Azzahra

NIM 161910201058

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, ST., MT

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul “RANCANG BANGUN PROTOTIPE GENERATOR AXIAL FLUX TIGA FASA DENGAN MAGNET PERMANEN *NEODYMIUM* (NdFeB) STATOR GANDA UNTUK PENGISIAN *BATTERY* 12 VOLT” karya Aldhea Azzahra telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat :

Tim penguji :

Ketua

Anggota II

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 196104141989021001

Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, ST., M.T.
NIP 198501262008011002

Anggota II

Anggota III

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP 197104022003121001

Guido Dias Kalandro, S.ST., M.Eng
NIP 760015734

Mengesahkan

Dekan,

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

NIP. 197008261997021001 1

RINGKASAN

RANCANG BANGUN PROTOTIPE GENERATOR *AXIAL FLUX* TIGA FASA DENGAN MAGNET PERMANEN *NEODYMIUM* (NdFeB) STATOR

GANDA UNTUK PENGISIAN *BATTERY* 12 VOLT: Aldhea Azzahra,

161910201058: 2020: 71 halaman: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Jember.

Dewasa ini dengan semakin menipisnya energi primer berupa minyak bumi dan batu bara yang menyebabkan melunjaknya harga minyak bumi dan batu bara, sehingga terjadi pembengkakan dalam biaya listrik di Indonesia. Hal ini juga dikarenakan 85% bahan bakar listrik adalah minyak bumi dan batu bara, dan di tambah dengan semakin berkembangnya teknologi pada era ini yang akan membutuhkan lebih banyak sumber daya listrik untuk menyuplai kebutuhan dan permintaan konsumen kepada perusahaan listrik negara yaitu PT. PLN Persero.

Oleh karena itu seringkali biaya listrik di Indonesia tidak dapat terjangkau untuk kalangan menengah kebawah, dari beberapa permasalahan diatas, maka pentingnya ketersediaan pembangkit tenaga listrik alternatif menggunakan energi potensial dari alam akan sangat dibutuhkan untuk saat ini dan seterusnya. Salah satunya adalah dengan membuat pemodelan penelitian sebagai pembangkit tenaga listrik yang energi potensialnya dapat ditemukan di alam. Di setiap pembangkit tenaga listrik akan terdapat generator yang akan dibutuhkan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Dalam perancangan generator *axial flux* dengan kutub berlawanan yaitu memiliki 12 kumparan pada kedua statornya, dimana masing-masing memiliki 375 lilitan yang dihubungkan secara seri dengan 8 buah magnet *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) pada rotor. Diameter kawat email yang digunakan pada generator ini yaitu 0,5 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *battery* 12 Volt sebagai beban, dengan perlakuan pada *battery* adalah charging menggunakan generator *axial flux*. Pengujian dilakukan terhadap tegangan, arus, dan kecepatan

putar rotor guna mengetahui daya dan efisiensi generator, dilakukan disebelum dan setelah *rectifier*.

Pengujian dilakukan menggunakan 2 parameter data kecepatan putar generator yang berbeda, diantaranya adalah 2000 RPM dan 2765 RPM. Pada kecepatan putar generator 2000 RPM diperoleh arus awas *charging* sebesar 0.017 A dengan teggangan 11.281 V, lama waktu yang dibutuhkan untuk *charging* adalah 720 Menit. Dan pada kecepatan data yang kedua, sebesar 2765 RPM menghasilkan arus *charging* sebesar 0.142 A dengan tegangan 11.172 V, dengan lama waktu yang dibutuhkan untuk *charging battery* adalah 510 menit. Berdasarkan data perhitungan daya yang telah dilakukan pada kedua parameter data, pada saat *charging battery* 12 Volt dilaukan dengan menggunakan kecepatan putar generator sebesar 2765 RPM dihasilkan daya 2,74 Watt pada saat *battery* dalam keadaan kosong, dan pada saat menggunakan kecepatan putar generator sebesar 2000 RPM, daya yang dihasilkan sebesar 0,33 Watt, dimana besar daya yang diterima oleh *battery* pada saat *charging*, juga dipengaruhi oleh arus dari luaran generator, hal ini dibuktikan pada tabel 4.9 dan tabel 4.10 dimana perbedaan arus yang signifikan karena adanya perbedaan kecepatan putar generator akan mempengaruhi besar daya yang diterima oleh *battery*.

DAFTAR ISI

SKRIPSI	ii
Oleh:.....	ii
SKRIPSI	iii
Oleh:.....	iii
PERSEMBAHAN	iv
MOTTO.....	vi
PERNYATAAN	vii
HALAMAN PENGESAHAN.....	ix
RINGKASAN	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Generator.....	6
2.2 Pengertian Generator <i>Axial Flux Permanent Magnet</i> (AFPM).....	6
2.3 Bagian-Bagian Generator <i>Axial Flux Permanent Magnet</i>	7
2.3.1 Stator.....	7
2.3.2 Rotor	8
2.3.3 Magnet Permanen	8
2.3 Tipe-tipe Generator <i>Axial Flux</i>	9
2.4 Prinsip Kerja Generator <i>Axial Flux</i>	11
2.5 Magnet <i>Neodymium</i>	15
2.6 <i>Battery</i>	15
2.7 Rangkaian Penyearah.....	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Metode Penelitian	20

3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2.1	Tempat Penelitian.....	20
3.2.2	Waktu Penelitian.....	20
3.3	Alat dan Bahan	21
3.4	Tahapan Penelitian	21
3.5	Blok Diagram dan Perancangan Sistem	25
3.6	Pengambilan data	29
3.6.1	Pengujian dan cara kerja generator <i>axial flux</i> tiga fasa	29
BAB 4.	ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.2	Pengujian Generator Axial Flux tanpa beban	37
BAB 5.	PENUTUP	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN PERHITUNGAN	58

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sangat luas dan mempunyai ribuan pulau yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia. Dengan luas dan banyaknya pulau-pulau di Indonesia akan mempengaruhi banyaknya penduduk, yang akan menyebabkan naiknya permintaan suplai listrik di Indonesia. Seiring berjalannya waktu permintaan dan kebutuhan listrik di Indonesia saat ini berbanding terbalik dengan ketersediannya energi primer untuk pembangkit tenaga listrik. Dewasa ini dengan semakin menipisnya energi primer berupa minyak bumi dan batu bara yang menyebabkan melonjaknya harga minyak bumi dan batu bara, sehingga terjadi pembengkakan dalam biaya listrik di Indonesia. Hal ini juga dikarenakan 85% bahan bakar listrik adalah minyak bumi dan batu bara, dan di tambah dengan semakin berkembangnya teknologi pada era ini yang akan membutuhkan lebih banyak sumber daya listrik untuk menyuplai kebutuhan dan permintaan konsumen kepada perusahaan listrik negara yaitu PT. PLN Persero.

Oleh karena itu seringkali biaya listrik di Indonesia tidak dapat terjangkau untuk kalangan menengah kebawah, dari beberapa permasalahan diatas, maka pentingnya ketersediaan pembangkit tenaga listrik alternatif menggunakan energi potensial dari alam akan sangat dibutuhkan untuk saat ini dan seterusnya. Salah satunya adalah dengan membuat pemodelan penelitian sebagai pembangkit tenaga listrik yang energi potensialnya dapat ditemukan di alam. Di setiap pembangkit tenaga listrik akan terdapat generator yang akan dibutuhkan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Generator adalah mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja yang digunakan generator adalah dengan teori induksi medan elektromagnetik. Bagian utama pada generator adalah kumparan jangkar dan kumparan medan yang berada pada rotor dan stator. Rotor adalah bagian dari generator yang berputar ketika generator tersebut bekerja. Stator adalah bagian dari generator yang diam saat generator bekerja. Karakteristik generator dibedakan pada arah fluks yaitu radial dan aksial, sesuai dengan kebutuhan, generator yang digunakan pada pembangkit listrik ialah

generator yang bisa digunakan dalam putaran rendah (*low speed induction generator*) dengan menggunakan magnet permanen, sedangkan generator yang digunakan dipusat-pusat pembangkit atau yang dipasaran adalah generator yang berjenis *high speed induction generator*, generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi, selain itu instalasinya lebih rumit dan memerlukan biaya besar untuk pembuatan serta perawatannya. Di pasaran, generator yang banyak dijual adalah generator *high speed*, dimana generator jenis ini akan membutuhkan putaran dan energi yang tinggi untuk menciptakan medan magnetnya. (Mustofa, 2014)

Sulitnya menemukan generator *low speed* di pasaran mendorong penulis untuk meneliti tentang generator *low speed*. Generator *low speed* yang banyak digunakan adalah generator jenis *axial flux*. Generator jenis ini terus dikembangkan dengan berbagai variasi desain agar didapatkan tingkat efisiensi yang tinggi untuk implementasi dengan sumber daya alam yang ada. (Setia, 2017). Salah satu pengembangan dari generator *axial flux* adalah jenis tiga fasa dengan stator ganda. Pada perancangan generator *axial flux* ini menggunakan magnet permanen *neodymium*.

Magnet permanen adalah magnet yang mempunyai sifat kemagnetan yang sukar hilang dibandingkan dengan magnet-magnet yang lainnya. Magnet ini bisa menghasilkan arus listrik dengan memiliki prinsip kerja yang cukup sederhana dengan prinsip elektromagnetik. Didalam generator terdapat kumparan atau magnet dimana kumparan atau magnet yang dapat berputar menyebabkan terjadinya jumlah garis –garis gaya magnet lalu energi mekanik yang dihasilkan oleh generator dapat diubah dalam bentuk energi gerak rotasi. Ini yang menyebabkan GGL induksi dihasilkan secara terus menerus dengan pola yang berulang secara periodik (SITORUS, 2017). Kelebihan dari generator magnet permanen ini selain umur generator akan lebih awet tidak membutuhkan sumber arus listrik DC dari luar untuk membangkitkan medan magnet. (Hamzah, 2018)

Pada penelitian tugas akhir ini akan dirancang generator *axial flux* stator ganda tiga fasa, seperti yang terdapat pada penelitian sebelumnya milik Andika dan Amir Hamzah pada tahun 2018. Pada penelitian tersebut membahas tentang perancangan dan pembuatan generator *radial flux* tiga fasa magnet permanen

kecepatan rendah, dengan menggunakan magnet *ring neodymium* dengan luas medan magnet sebesar $0,06 \text{ mm}^2$, menggunakan 12 kumparan dengan masing-masing kumparan menggunakan 100 lilitan dan juga menggunakan 8 kutub. Dengan menggunakan frekuensi sebesar 50 Hz dan kecepatan yang digunakan adalah bervariasi. Dalam penelitian tersebut dihasilkan bahwa dengan pengujian *wye* yang digunakan pada kumparan, menghasilkan tegangan yang lebih besar dari pada menggunakan rangkaian delta. Pada penelitian sebelumnya, milik Mehmet Recep dan Mehmet Celeb pada tahun 2017, yang berjudul tentang “ANALYSIS AND DESIGN OF AN AXIAL-FLUX CORELESS PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR WITH SINGLE STATORS AND DOUBLE ROTORS” membahas tentang desain dan analisis generator sinkron menggunakan stator tunggal dan rotor ganda, yang menggunakan 9 kumparan dan 24 magnet dengan kuat medan magnet masing-masing. Christopher H. T. Lee, Chunhua Liu and K. T. Chau yang berjudul “A Magnetless Axial-Flux Machine for Range-Extended Electric Vehicles” membahas tentang *battery charging* pada sepeda listrik, menggunakan mesin DC *axial flux*, maka dengan penelitian diatas, pada penelitian ini menggabungkan keduanya dengan luaran dari generator akan digunakan untuk *charging battery*.

Pada penelitian ini menggunakan generator *axial flux* tiga fasa stator ganda menggunakan satu buah rotor dengan 8 kutub magnet permanen *neodymium* (NdFeB), dengan 6 kumparan pada masing-masing stator, sehingga berjumlah 12 kumparan. Pada penelitian ini, perancangan generator *axial flux* tiga fasa menggunakan *prime mover* berupa motor DC yang di kopel dengan generator. Pengkopelan motor DC dengan generator menggunakan *pulley* dan *fan belt* dengan perbandingan *pulley* yang sama. Rotor akan diputar oleh motor DC yang dikopel dengan poros pada generator, sehingga akan memutar poros yang akan menggerakkan rotor pada generator. Dengan daya luaran generator *axial flux* tiga fasa sebesar 2,6 Watt, dan tegangan sebesar 12 Volt, maka luaran dari generator akan digunakan untuk pengisian *battery*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan kajian terdahulu, adapun rumusan masalah yang dibuat oleh penulis pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana membuat rancang bangun Generator *Axial Flux* Tiga Fasa menggunakan magnet permanen *neodymium* (NdFeB) dengan stator ganda?
2. Bagaimana pengaruh *output* generator ketika diuji tanpa beban dan dengan beban?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, maka penelitian ini dapat dibatasi hanya pada parameter sebagai berikut :

1. Generator *Axial Flux* menggunakan magnet permanen jenis *neodymium* (NdFeB).
2. Generator menggunakan stator ganda dengan 12 kutub dan 8 magnet.
3. Penelitian ini menggunakan *prime mover* motor DC.
4. Pada penelitian ini putaran generator hanya dibatasi hingga 2765 rpm.
5. Beban yang digunakan adalah *battery* 12 volt.
6. Menggunakan penyearah gelombang penuh.
7. Jarak antar magnet pada rotor sebesar 8 mm.
8. Tidak membahas *air gap* dan *cogging torsi* pada kombinasi kutub dan koil.
9. Peletakan kutub magnet secara bersilang antara kutub utara dan selatan magnet dalam satu rotor.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, penulis dapat menuliskan tujuan dari penelitian tugas akhir ini diantaranya adalah :

1. Mengetahui perancangan generator *axial flux* tiga fasa magnet permanen *neodymium* (NdFeB) dengan stator ganda.
2. Mengetahui pengaruh *output* generator dengan pada beban berupa pengisian *battery*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dihasilkan dari penelitian kali ini tentang generator *axial flux* tiga fasa dengan magnet permanen adalah sebagai berikut :

Manfaat penelitian ini adalah untuk pengisian *battery* 12 volt. Dengan dilakukannya penelitian generator *axial flux* tiga fasa dengan stator ganda ini dapat menjadi pembelajaran dan pengembangan pada ilmu pengetahuan tentang generator *axial flux* tiga fasa. Dan juga dapat menjadi pengembangan pada penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. BAB 1. PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian.

b. BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.

c. BAB 3. METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

d. BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang hasil penelitian berupa data dan analisis data.

e. BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

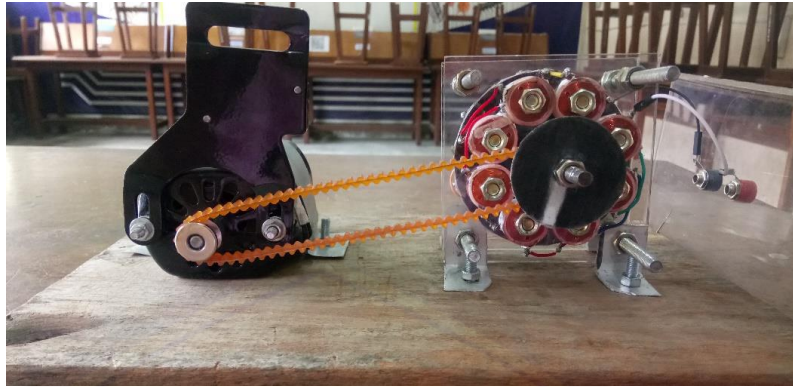
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

Generator adalah salah satu jenis dari mesin listrik dimana generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator biasanya banyak ditemui pada pembangkit tenaga listrik, karena dari energi terbarukan akan menggunakan turbin untuk digerakkan dan juga sebagai *prime mover* dari generator yang digunakan pada pembangkit. Cara kerja generator adalah dengan menggunakan induksi magnetik. Induksi magnetik tersebut ada karena kumparan yang terdapat pada generator. Secara umum, generator dibagi menjadi dua, yaitu generator yang menghasilkan listrik AC atau bolak balik, disebut juga dengan energi alternator dan generator yang menghasilkan listrik DC atau searah dinamakan dengan generator dinamo.

2.2 Pengertian Generator *Axial Flux Permanent Magnet (AFPM)*

Generator *Axial Flux Permanent Magnet (AFPM)* adalah salah satu jenis mesin listrik yang dapat membangkitkan energi listrik dengan arah aliran fluks secara tegak lurus. (Setia, 2017). Bagian stator generator fluks aksial ini dapat dilihat dari berbagai macam variasi diantaranya adalah stator dengan inti besi berbentuk torus, stator tanpa inti besi, dan jumlah gulungan. Sedangkan rotor pada generator terdiri dari tatakan penyanggah magnet dan juga magnet permanen yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet utama, magnet permanen direkatkan atau di tanamkan pada piringan plat (disc) agar kokoh dan tahan getaran pada saat dioperasikan (Setia Puja, 2017). Semakin besar luas permukaan permanen magnet yang digunakan, semakin banyak pula fluks magnetik yang dibangkitkan oleh magnet permanen tersebut dan menembus kumparan pada stator, sehingga gaya gerak listrik (GGL) induksi yang dibangkitkan juga semakin tinggi (Piggott, 2009). Pada gambar 2.1 terdapat contoh dari generator *axial flux*.



Gambar 2.1. Generator Axial Flux

Sumber : (Putri, 2019)

2.3 Bagian-Bagian Generator Axial Flux Permanent Magnet

2.3.1 Stator

Generator *Axial Flux Permanent Magnet (AFPM)* memiliki beberapa macam model variasi seperti, kombinasi pada stator dengan inti besi berbentuk torus dan stator tanpa inti besi. Stator dengan bentuk torus memiliki slot kumparan dan ada juga yang tidak memiliki slot pada inti besinya, stator torus biasanya digunakan pada putaran kecepatan tinggi. Inti besi pada bagian tengah lilitannya untuk lebih membantu mengarahkan induksi magnetik menuju kumparan (Jarekson, 2010). Dapat dilihat pada gambar 2.2 terdapat contoh gambar stator.

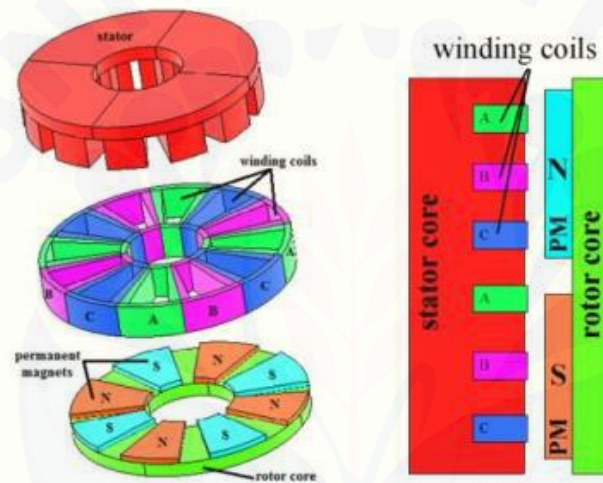


Gambar 2.2 Stator

Sumber : (Fiky, 2015)

2.3.2 Rotor

Rotor dari generator *Axial Flux Permanent Magnet (AFPM)* terdiri dari dua plat logam atau baja dibuat menyerupai disk yang saling berhubungan dengan magnet permanen yang melekat pada lingkaran luar di permukaan atau bagian dalam yang saling berhadapan terhadap kutub yang berlawanan pada kedua magnet disk rotor tersebut. (Rossouw, 2009) Disk baja rotor harus yang dapat memiliki sifat sebagai baja kaku, karena diperlukan untuk mempertahankan jarak airgap atau celah udara antara magnet dengan kumparan stator yang saling berhadapan (Gieras Jacek F., 2004).



**Gambar 2.3 Generator *Axial Flux Permanent Magnet*
Tipe Rotor dan Stator Tunggal**

Sumber: (Putri, 2019)

2.3.3 Magnet Permanen

Magnet permanen ini tidak memiliki kumparan penguat dan tidak menghasilkan desipasi daya elektrik. Magnet permanen *neodymium* merupakan magnet yang bermaterial keras artinya material feromagnetik yang memiliki *hysteresis loop* yang lebar. *Hysteresis loop* yang lebar menunjukkan sedikitnya pengaruh induksi dari luar terhadap magnet tersebut (Gieras Jacek F., 2004). Dapat dilihat pada gambar 2.3 terdapat contoh gambar magnet permanen *neodymium* berbentuk koin yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.4 Gambar Magnet Permanent

Sumber : (<https://id.pinterest.com/>, 2019)

2.3 Tipe-tipe Generator *Axial Flux*

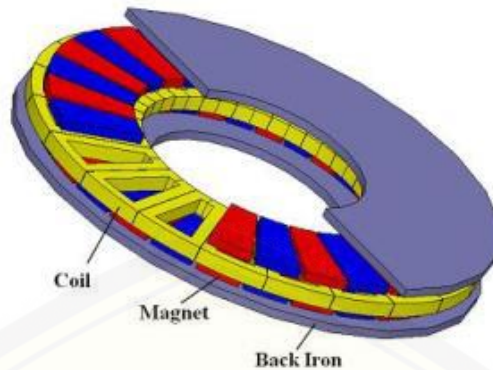
Dalam perkembangan generator *axial flux* terdapat beberapa tipe dari generator *axial flux* yang dapat diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan dan kegunaannya. Adapun beberapa tipe dari generator *axial flux*, antara lain adalah :

1. Generator *axial flux* dengan rotor stator tunggal (cakram tunggal).

Seperti namanya, generator *axial flux* cakram tunggal memiliki masing-masing satu buah stator dan rotor. Biasanya rotor pada jenis ini berupa piringan besi yang kuat dengan magnet yang menempel pada permukaannya. Jenis generator ini biasanya digunakan untuk kecepatan putar yang rendah seperti pada turbin angin. (Setia, 2017). Pada gambar 2.3 merupakan contoh generator *axial flux permanent magnet* dengan tipe rotor dan stator tunggal.

2. Generator *axial flux* dengan rotor ganda stator tunggal (eksternal rotor).

Tipe dari generator *axial flux* ini, stator diapit oleh dua buah rotor atau biasanya disebut eksternal stator. Terdapat dua jenis stator eksternal berdasarkan arah fluksnya yaitu tipe N-S dan tipe N-N. Pada tipe N-S arah fluks memotong kumparan secara lurus dari rotor satu ke kutub yang berlawanan pada rotor lainnya sedangkan pada tipe N-N arah fluksnya memotong kumparan dan akan



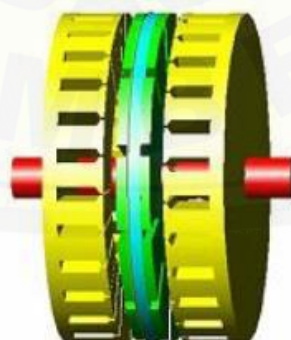
Gambar 2.5 Generator Axial Flux Permanent Magnet Rotor Ganda Tipe N-N Coreless

Sumber: (Xia, 2010)

kembali ke kutub yang berlawanan pada rotor yang sama (Maulana, 2012). Pada gambar 2.5 terdapat contoh gambar generator *axial flux permanent magnet* rotor ganda.

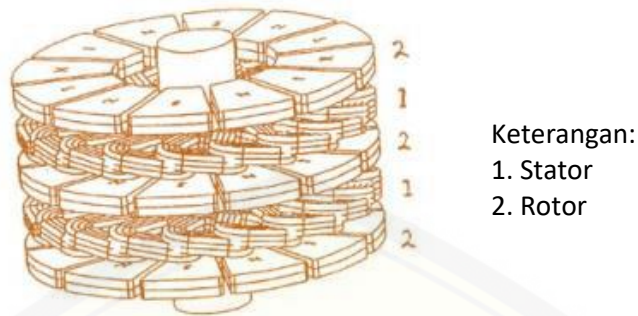
3. Generator *axial flux* dengan rotor tunggal stator ganda (*internal rotor*).

Tipe ini kebalikan dengan sebelumnya, bedanya rotor yang akan diapit oleh dua buah stator atau yang biasanya disebut internal rotor. Desain ini biasanya cocok digunakan untuk mesin yang memiliki momen inersia yang kecil. Tipe ini juga bisa divariasikan seperti tipe eksternal rotor. Pada gambar 2.6 terdapat contoh gambar generator *axial flux permanent magnet* rotor ganda rotor tunggal.



Gambar 2.6 Generator Axial Flux Permanent Magnet Stator Ganda Rotor Tunggal

Sumber : (Putri, 2019)



Gambar 2.7 Generator Axial Flux Permanent Magnet Rotor Banyak Tipe Coreless

Sumber: (Yu-Ta, 2014)

4. Generator *axial flux* dengan rotor stator banyak.

Generator *axial flux* ini memiliki rotor dan stator yang lebih dari dua. Biasanya tipe ini digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang lebih besar. Torsi yang dimiliki oleh generator *axial flux* ini cenderung lebih besar sehingga memiliki transfer panas yang tidak begitu baik. Untuk variasi generator *axial flux* ini masih sama dengan kedua tipe sebelumnya, yaitu tipe N-N dan tipe N-S. (Setia, 2017). Pada gambar 2.7 terdapat contoh gambar generator *axial flux permanent magnet* banyak rotor dan stator.

2.4 Prinsip Kerja Generator Axial Flux

Pada dasarnya prinsip kerja dari generator *axial flux* sama dengan generator sinkron. Dimana rotor sebagai tempat magnet akan berputar dan menghasilkan medan magnet kemudian menginduksi kumparan yang ada pada stator. Pada generator *axial flux* tidak membutuhkan arus eksitasi dari luar karena medan magnet yang berasal dari *permanent magnet* bernilai konstan dan tidak membutuhkan eksitasi luar. Besaran medan magnet yang dihasilkan tergantung dari jenis *magnet permanent* yang digunakan. Hal ini yang membedakan generator *axial flux* dengan generator sinkron.

Medan magnet (B) dari rotor akan menembus bidang stator (A) menghasilkan fluks magnet (Φ) menghasilkan persamaan sebagai berikut: (Chapman, 2002)

$$\varphi = B A \cos \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

φ = fluks medan magnet (Wb)

B = medan magnet (T)

A = luas permukaan bidang penampang kumparan (m^2)

θ = sudut antara garis gaya medan magnet rotor dengan garis normal bidang penampang kumparan stator

Penggunaan magnet permanen pada rotor akan menghasilkan medan magnet yang konstan terhadap fungsi waktu. Dengan demikian, fluks magnet yang ditimbulkan pada stator juga akan bernilai konstan terhadap fungsi waktu. Namun, akibat generator mendapatkan energi mekanik maka akan terjadi perubahan pada sudut perpotongan antara garis gaya medan magnet rotor dengan bidang normal kumparan jangkar. Hukum induksi Faraday menyatakan bahwa apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka garis gaya listrik diinduksikan dalam kumparan itu. Besarnya garis gaya listrik yang diinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya yang melalui kumparan.

$$E = -N \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

E = tegangan induksi (Volt)

N = jumlah lilitan

$\Delta \varphi$ = perubahan fluks (Weber)

Δt = perubahan waktu (s)

Persamaan frekuensi yang dihasilkan dari oleh generator *axial flux* adalah :
(Chapman, 2002)

$$f = \frac{nr}{60} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

f = frekuensi (Hz)

nr = Jumlah rotasi rotor (rpm)

Hubungan antara frekuensi dan kecepatan putar generator dapat dirumuskan pada persamaan berikut ini :

$$nr = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

nr = Kecepatan putaran rotor (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

p = Jumlah kutub rotor

Menurut Mustofa,2014 dengan penelitian tugas akhir yang berjudul “Perancangan pembangkitan listrik menggunakan generator magnet permanen dengan motor DC sebagai *prime mover*” pada tahun 2014, tegangan rms (*root mean squared*) yang dibangkitkan dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Erms = 4.44.N.f.\theta_{max} \frac{Ns}{Nph} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$Erms$ = Tegangan induksi (Volt)

N = Jumlah lilitan

f = Frekuensi (Hz)

θ_{max} = Fluks magnetik maksimum (Weber)

Ns = Jumlah kumparan stator

Nph = Jumlah fasa

Menurut Mustofa, 2014 dengan penelitian tugas akhir yang berjudul “Perancangan pembangkitan listrik menggunakan generator magnet permanen dengan motor DC sebagai *prime mover*”, fluks (θ) maksimum yang dihasilkan adalah :

$$\theta \text{ max} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

A_{magnet} = Luas permukaan magnet (m²)

B_{max} = Medan magnet maksimum (T)

Dari persamaan 2.6, dijelaskan bahwa untuk mencari fluks maksimum menggunakan luas permukaan dikali dengan densitas fluks magnet. Persamaan untuk mencari luas permukaan magnet adalah sebagai berikut :

$$A_{\text{mag}} = \pi r^2$$

Dimana:

r = jari jari magnet (m²)

Dan untuk persamaan nilai kerapatan fluks magnet maksimum (B_{max}) adalah sebagai berikut :

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

Dimana :

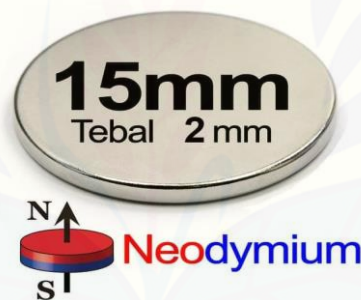
B_r = Densitas fluks magnet (T)

lm = Panjang magnet (m)

δ = Jarak antara rotor dan stator (m)

2.5 Magnet Neodymium

Magnet *neodymium* dikenal juga sebagai magnet NdFeB, NIB atau magnet Neo dan merupakan magnet yang paling sering digunakan dalam dunia industri. Magnet ini terbuat dari campuran magnet jarang bumi, magnet ini adalah jenis magnet permanen yang terbuat dari perpaduan *neodymium*, besi, dan boron untuk membentuk struktur kristal tetragonal NdFe14B. Magnet *neodymium* adalah magnet tipe terkuat yang tersedia secara komersil dalam pemanfaatannya dalam dunia teknologi karena magnet ini juga mempunyai ketahanan terhadap kehilangan sifat kemagnetan yang sangat tinggi. Magnet ini juga mempunyai potensi untuk menyimpan energi magnet dalam jumlah yang sangat besar, lebih baik dari pada magnet *samarium cobalt*. (Mustofa, 2014). Pada gambar 2.8 terdapat contoh gambar magnet permanen *neodymium* koin.



Gambar 2.8 Magnet Neodymium Koin

(Sumber: (bukalapak.com/magnet-neodymium-bulat-koin-disc-kuat-8x15-mm., 2019))

2.6 Battery

Battery atau aki adalah sebuah sel listrik yang di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Definisi lain dari baterai adalah alat untuk menyimpan tenaga listrik melalui proses elektrokimia sehingga sumber tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan sebaliknya. Proses elektrokimia reversibel, adalah proses yang terjadi di dalam baterai akibat dari pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia,

pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewatkan arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel (Aziz, 2018)



Gambar 2.9. Battery Litium 12 Volt

(Sumber : (<https://www.jakartanotebook.com/lg-hb6-18650-li-ion-battery-1500mah-30a-3.7v-with-flat-top-pink>, 2019))

a. *Charging* Baterai Aki

Waktu pengisian baterai aki / *sealed lead acid* adalah 12 sampai 16 jam. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian *multi-stage*, waktu pengisian dapat berkurang sampai dengan 10 jam atau kurang. Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 *stage* / tahap: *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge*, baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam; sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 jam yang lain dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua stage diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima *full charge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self-discharge* setelah baterai terisi penuh.

b. *Discharging* Baterai Aki

Kapasitas baterai sebesar 100 Ampere *hour*, artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 100 Ampere. *Level discharge* baterai aki yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1.75 Volt per sel. Baterai aki akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1.75 Volt (atau 10.5 Volt untuk baterai 12 Volt). Masa baterai dihitung dalam jumlah *cycle*. Satu *cycle* adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian ampere baterai), mempengaruhi jumlah *cycle* baterai aki. Pada suhu 25 derajat Celcius:

- 150 - 200 *cycle* dengan 100 persen *depth of discharge* (*full discharge*).
- 400 - 500 *cycle* dengan 50 persen *depth of discharge* (*partial discharge*).
- 1000 atau lebih dengan 30 persen *depth of discharge* (*shallow discharge*). (Aziz, 2017)

2.7 Rangkaian Penyearah

Rangkaian penyearah digunakan untuk menyearahkan tegangan AC menjadi tegangan DC yang digunakan pada luaran generator yang akan digunakan untuk *charging battery* 12 volt. Cara kerja rangkaian penyearah ini adalah dengan menggunakan 6 dioda yang dipasang secara seri dan paralel, dimana dioda berfungsi untuk menyearahkan tegangan AC menjadi tegangan DC. Pada rangkaian penyearah menggunakan dioda ukuran 0,5 Ampere. Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah *battery* 12 volt, yang akan *charging* menggunakan tegangan luaran dari rangkaian penyearah. Rangkaian penyearah dapat dilihat pada gambar 2.10 gambar rangkaian penyearah tiga fasa.

Sehingga tegangan DC yang dihasilkan setelah melalui *rectifier* dapat dihitung dengan persamaan (2.7).

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_S = 1,65 X V_S \dots\dots\dots(2.7)$$

Pada persamaan (2.7) untuk menghitung tegangan luaran DC (setelah *rectifier*) terdapat variabel V_s , dimana V_s adalah tegangan *line to netral* yang dapat dihitung dengan persamaan (2.8).

$$V_s = V_{L-L peak} : \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.8)$$

Pada persamaan (2.8) untuk menghitung nilai dari tegangan *line to netral* atau V_s , terdapat variabel $V_{L-L peak}$, dimana $V_{L-L peak}$ adalah tegangan puncak *line to line* yang dapat dihitung dengan persamaan (2.9).

$$V_{L-L peak} = V_{L-L RMS} X \sqrt{2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

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

V_s = Tegangan *line to netral* (V)

$V_{L-L peak}$ = Tegangan puncak *line to line* (V)

$V_{L-L RMS}$ = Tegangan *line to line root mean squared* (V)

Dan menentukan nilai kapasitor yang digunakan untuk penyearah tiga fasa menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{V_p}{2fRV_{rpp}}$$

Sedangkan untuk arus beban penyearah dapat dihitung menggunakan hukum ohm arus beban yakni :

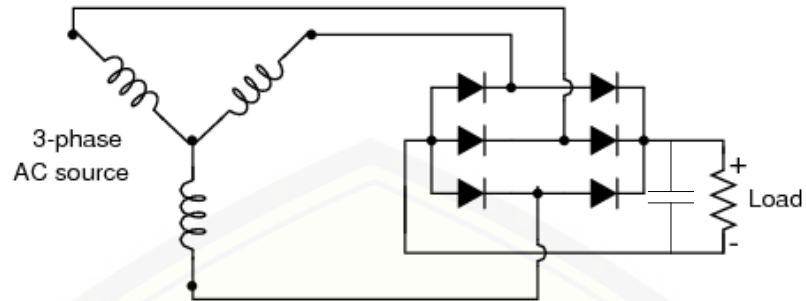
$$i_{LOAD} = \frac{V_{DC}}{R} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

i_{LOAD} = Arus pada beban (A)

V_{DC} = Tegangan DC (V)

$R = \text{Beban resistif (} \Omega \text{)}$



Gambar 2.10 Rangkaian penyearah 3 fasa

Sumber : (<http://hafizhfarras.blogspot.com/2017/02/penyearah-tiga-fasa.html>,
2019)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada metode pengambilan data ini akan menjelaskan tempat dan waktu penelitian, jenis data, sumber data, serta metode pengumpulan data yang dilakukan dalam proses penelitian dengan sebagai berikut :

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Tempat yang digunakan untuk mengerjakan penelitian tugas akhir, yang secara umum dilakukan pada:

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik, Universitas Jember

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

3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dimulai pada bulan November 2019 sampai selesai, dengan rincian perencanaan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1.	Studi Literatur	■	■	■			
2.	Perancangan dan Pembuatan Alat		■	■	■	■	
3.	Pengujian Alat				■	■	■
4.	Analisis Data				■	■	■
5.	Penulisan Laporan					■	■

Keterangan:

 : Kegiatan dilaksanakan

3.3 Alat dan Bahan

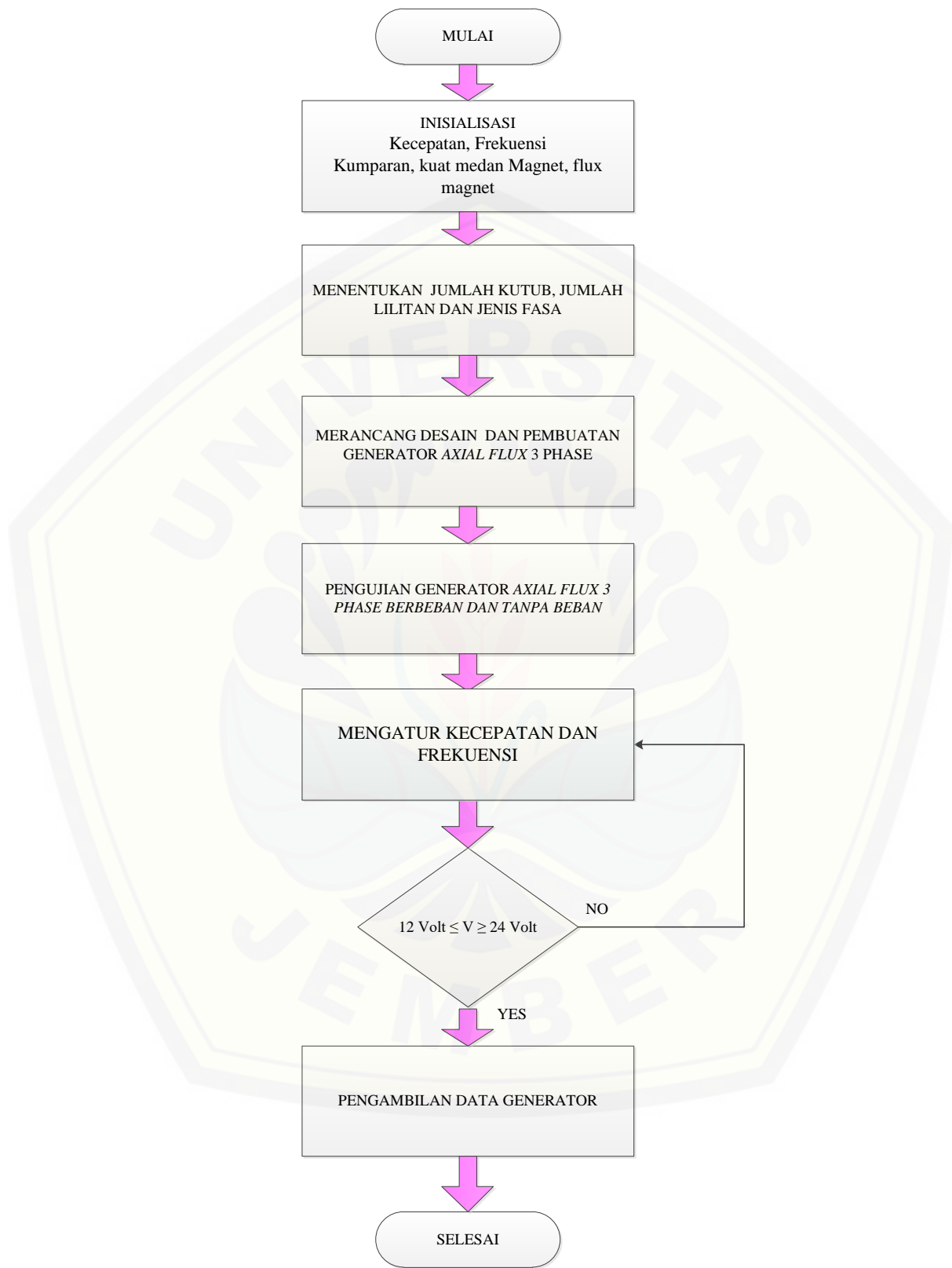
Alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak, yang dimana perangkat lunak digunakan untuk mendesain generator adalah *Corel Draw X4* untuk desain 2D dan *AutoCAD* untuk desain 3D. Untuk perangkat keras yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tabel alat dan bahan yang digunakan pada penelitian

No.	Alat	Bahan
1.	Avometer	Kawat <i>email</i> 0,5 mm
2.	Tachometer	Magnet <i>Neodymium</i> (NdFeB)
3.	<i>Power Supply</i>	Timah
4.	<i>LCR meter</i>	Spul
5.	<i>Roll machine wire</i>	Mur
6.	Solder	Baut
7.	Obeng	<i>Bearing</i>
8.	Tang	Akrilik
9.	Osiloskop	Kabel <i>jumper</i>

3.4 Tahapan Penelitian

Untuk melakukan penelitian ini dibutuhkan beberapa tahapan penelitian, pada penelitian ini data yang diambil adalah tegangan, arus dan juga perhitungan daya yang dihasilkan dari arus dan tegangan luaran pada generator yang digunakan untuk mensuplai daya untuk pengisian *battery*. Dengan proses yang dilakukan adalah dengan memberi tegangan pada motor DC yang digunakan sebagai *prime mover* dan dikopel dengan generator *axial flux* tiga fasa stator ganda.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada perancangan dan pengujian generator *axial flux* tiga fasa stator ganda adalah sebagai berikut :

1. Yang pertama adalah menentukan rumusan masalah pada penelitian, dengan adanya rumusan masalah dapat diselesaikan dengan perhitungan rumus dengan menggunakan beberapa persamaan. Dan juga inialisai terhadap komponen dalam penelitian ini, diantaranya adalah kecepatan putar generator, frekuensi, kuat medan magnet, flux magnet, dan lain-lain. Untuk kecepatan putar generator ditentukan dari kecepatan maksimum dari primemover yang digunakan, pada penelitian ini menggunakan motor DC dengan kecepatan *maximum* adalah 2765 RPM. Untuk frekuensi yang digunakan adalah minimum 50 Hz karena frekuensi yang diberikan oleh PLN adalah 50 Hz. Dengan kuat medan magnet yang digunakan sesuai dengan yang diukur adalah 0.89 mT sesuai dengan tabel 4.2. untuk perhitungan flux magnet, dapat dilihat pada lembar lampiran.
2. Merancang generator *axial flux* pada penelitian ini salah satunya menentukan jumlah fasa. Jumlah fasa yang digunakan pada penelitian ini adalah sejumlah 3 fasa. Luaran generator adalah tegangan jenis 3 fasa AC murni, serta menghitung jumlah kutub dengan persamaan 2.4 yaitu :

$$p = \frac{120f}{nr}$$

3. Lalu seanjutnya menentukan jumlah kumparan, menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$N_s \equiv \frac{p \times Nph}{2}$$

4. Setelah menentukan jumlah kumparan, maka selanjutnya mencari nilai *flux* magnet dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\phi_{\max} = B_{\max} \times A_{\text{mag}}$$

Untuk mencari *flux* maksimum pada generator, sebelumnya harus mencari nilai kuat medan magnet maximum dan juga luas penampang magnet.

5. Selanjutnya setelah menentukan jumlah kumparan dengan persamaan diatas, maka melakukan pengukuran beberapa variabel yang dibutuhkan untuk menghitung B_{max} atau kuat medan magnet maksimum pada magnet, dengan persamaan sebagai berikut :

$$B_{max} = B_r \times \left(\frac{l_m}{l_m + celah} \right)$$

B_r atau kuat medan magnet didapatkan dengan cara pengukuran dengan menggunakan *Gauss Meter*.

6. Selanjutnya melakukan perhitungan luad permukaan magnet, dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_{mag} = \pi r^2$$

Setelah sudah melewati tahap perhitungan diatas, maka semua variabel yang telah dihitung dihitung dengan persamaan selanjutnya yaitu untuk menentukan tegangan rms dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_{rms} = 4.44 \cdot N \cdot f \cdot \theta \max \frac{N_s}{N_p h}$$

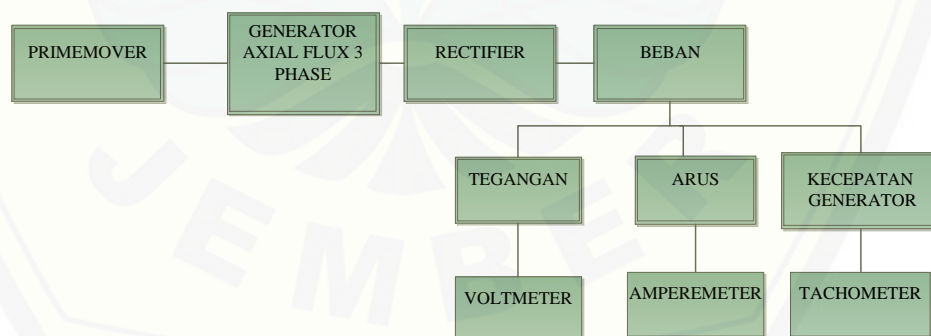
Setelah semuanya sesuai, maka lanjut pada tahap selanjutnya, yaitu merancang desain dan pembuatan generator *axial flux*.

7. Selanjutnya menentukan alat dan bahan yang akan digunakan. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak dan perangkat keras. Dimana perangkat lunak akan digunakan untuk mendesain generator baik 2D maupun 3D. Untuk perangkat keras, akan digunakan untuk membuat alat sesuai yang telah di desain. Desain ala dapat dilihat pada gambar 3.3 hingga gambar 3.6.
8. Pembuatan rotor pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 serta pembuatan stator pada generator *axial flux* tiga fasa pada gambar 3.5. Lalu penggabungan elemen-elemen yang telah dibuat yang dapat dilihat pada gambar 3.6 yang terdiri dari dua buah stator dan satu buah rotor.

9. Melakukan pengambilan data dengan cara pengujian generator. Dari data yang diperoleh, maka dapat dianalisa dan diambil kesimpulan berdasarkan penelitian. Pembahasan dan kesimpulan akan dibahas pada bab selanjutnya.

3.5 Blok Diagram dan Perancangan Sistem

Perancangan pada penelitian kali ini adalah dengan menggunakan motor DC sebagai *prime mover* dan diberikan sumber tegangan DC dari *power supply*, dikopel dengan generator *axial flux* tiga fasa stator ganda, dengan begitu rotor pada generator akan berputar dan akan menimbulkan medan elektromagnetik sehingga tegangan dan arus luaran dari generator dapat diukur. Untuk pengukuran yang dilakukan adalah sesuai dengan tabel 4.3. Setelah luaran generator yang berupa tegangan AC, maka untuk melakukan pembebanan dengan menggunakan *battery*, dibutuhkan *rectifier* tiga fasa yang digunakan untuk menyearahkan tegangan tiga fasa AC menjadi tegangan DC. Setelah melewati rangkaian penyearah, dilakukan pemasangan beban pada hasil luaran *rectifier*, yaitu dengan *battery* 12 volt.



Gambar 3.2 Blok Diagram Penelitian

Dalam proses pembuatan rancangan alat tugas akhir ini langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan perumusan masalah

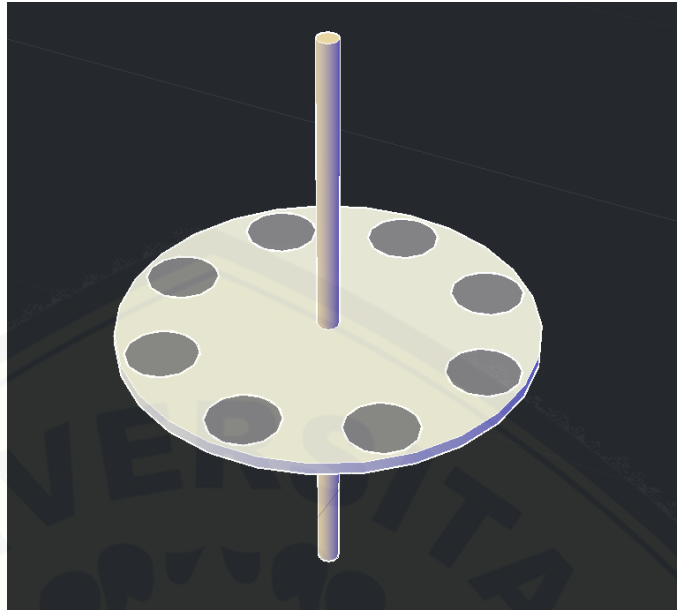
Pada tahap ini dilakukan dengan mengumpulkan informasi penelitian terdahulu yang digunakan untuk menunjang penelitian kali ini. Dengan didatakannya informasi dari berbagai referensi buku, jurnal dan sumber lainnya, diharapkan dapat dijadikan acuan untuk melakukan perancangan penelitian generator *axial flux* tiga fasa. Diharapkan dengan adanya penelitian terdahulu dapat menjadi acuan sebagai penelitian dan untuk mengurangi kesalahan pada penelitian.

2. Melakukan perhitungan

Dengan melakukan perhitungan sesuai dengan target daya yang dibutuhkan untuk pengisian *battery* adalah 2,6 watt, maka perlunya dilakukan perhitungan faktor yang mempengaruhi untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan. Perhitungan pertama yang dilakukan adalah dengan cara mencari besar fluks medan magnet dengan menggunakan persamaan 2.1. Selanjutnya mencari besar tegangan induksi yang akan dihasilkan, dengan menggunakan persamaan 2.2. Selanjutnya langkah selanjutnya adalah dengan menghitung frekuensi yang nantinya akan dipengaruhi kecepatan generator yang telah ditentukan yaitu 2765. Selanjutnya dengan frekuensi yang telah dihitung, tahap selanjutnya adalah menghitung tegangan induksi (Erms), dengan menggunakan persamaan 2.5.

3. Pembuatan rotor

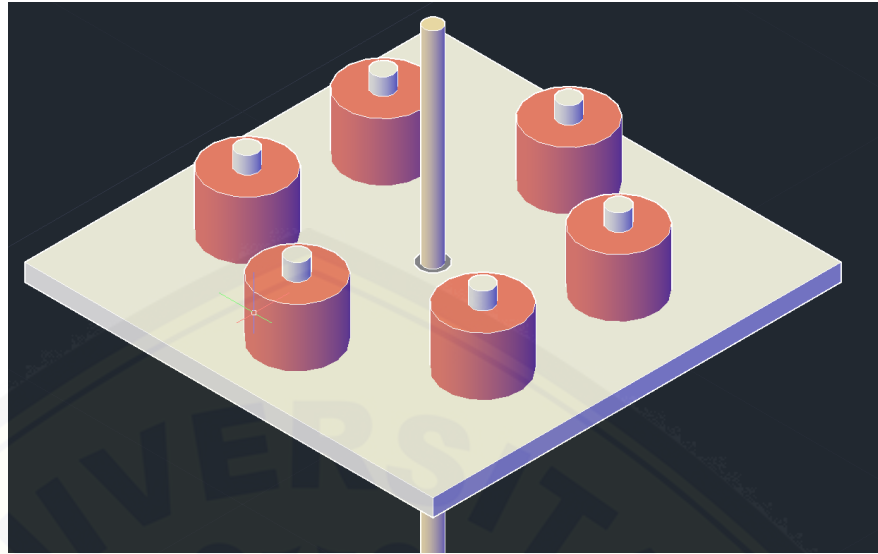
Desain rotor pada generator ini yaitu berbentuk lingkaran, dengan berbahan akrilik yang mempunyai tebal 2 mm. Jari-jari yang dimiliki rotor adalah sebesar 4 cm dengan lubang sebanyak 8 buah untuk menempatkan magnet *neodymium*, dapat dilihat pada gambar 3.3 desain rotor. Magnet tersebut diletakkan pada lubang yang ada pada rotor dengan urutan kutub yang saling bergantian. Dapat dilihat pada gambar 3.3 desain rotor yang telah dipasang magnet permanen *neodymium*.



Gambar 3.3 Desain rotor yang telah dipasang magnet permanen *Neodymium* (NdFeB)

4. Pembuatan stator dan lilitan

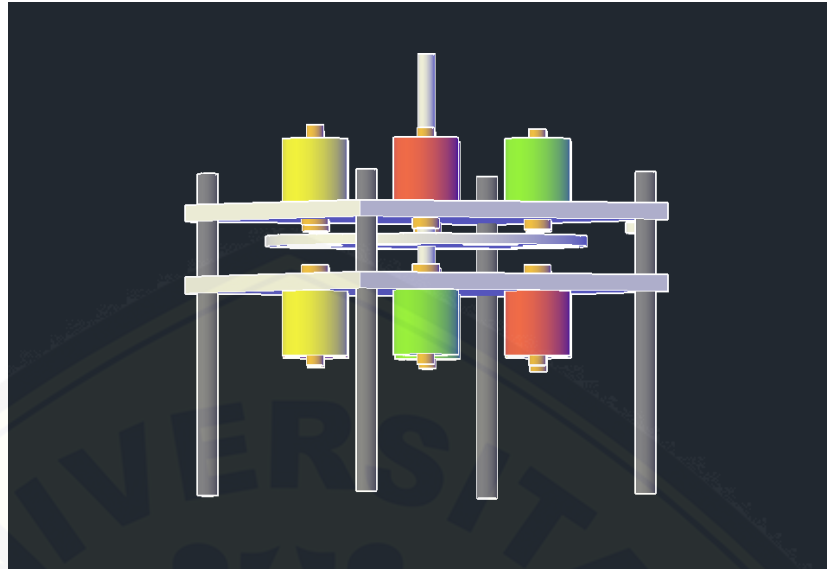
Desain stator pada generator ini menggunakan bentuk persegi empat, dan mempunyai lubang ditengah untuk meletakkan *bearing* dan poros besi, dan mempunyai lubang sebanyak 6 lubang yang digunakan untuk menempatkan kumparan atau lilitan. Pembuatan lilitan yang digunakan untuk generator ini adalah menggunakan 6 kumparan untuk masing-masing stator, sehingga kumparan yang digunakan adalah 12 kumparan, dan masing-masing kumparan mempunyai 375 lilitan. Dengan kawat email yang digunakan berukuran 0,5 mm. Desain stator pada generator dapat dilihat pada gambar 3.5 yang telah dipasang lilitan.



Gambar 3.4 Desain stator yang telah dipasang lilitan

5. Pemasangan stator dan rotor

Setelah pembuatan rotor dan stator selesai, langkah selanjutnya adalah menyusun rotor dan stator tersebut. Pertama yaitu pemasangan stator bagian bawah yang berjumlah 6. Kedua, pemasangan *bearing* sebagai pusat putaran, *bearing* dipasang dengan menjepit pada akrilik dudukan stator bagian bawah, selanjutnya pemasangan baut yang digunakan sebagai poros, bagian tengah rotor diletakkan di poros. Selanjutnya yaitu pemasangan stator bagian atas lalu pemasangan stator bagian bawah. Pemasangan stator bagian atas dan bawah yang berjumlah 6 dihubungkan secara seri antara kumparan yang satu dengan kumparan yang lain.



Gambar 3.5 Desain Generator *Axial Flux* tiga fasa magnet permanen *neodymium* dengan stator ganda

3.6 Pengambilan data

3.6.1 Pengujian dan cara kerja generator *axial flux* tiga fasa

Pengujian yang bertujuan untuk mengetahui besar tegangan dan arus luaran yang digunakan untuk pembebanan berupa *charging battery* 12 Volt, (maka data yang akan diambil dapat dilihat pada tabel Tabel 4.7 data pengujian generator *axial flux* untuk pengalokasian *charging battery* 12 Volt menggunakan kecepatan putar generator 2000 RPM dan juga pada tabel 4.8 data pengujian generator *axial flux* untuk pengalokasian *charging battery* 12 Volt menggunakan kecepatan putar generator 2765 RPM. Pada pengujian generator untuk mendapatkan A_1 yang merupakan arus luaran generator dan juga mengukur tegangan luaran generator atau V_1 diukur sebelum rangkaian *rectifier*. Untuk kecepatan generator diukur dengan menggunakan tachometer, pengukuran dilakukan pada poros yang berputar mengikuti putaran rotor pada generator, piringan yang digunakan untuk mengukur kecepatan putar generator dapat dipasang pada rotor pada generator. Frekuensi yang dihasilkan oleh generator akan diukur menggunakan osiloskop yang dipasang pada luaran *line to line* pada generator. Pengukuran tegangan luaran (V_2) dan arus luaran (A_2) berupa DC,

diukur setelah melewati rangkaian *rectifier*. Dan daya pada generator (P) dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 3.1.

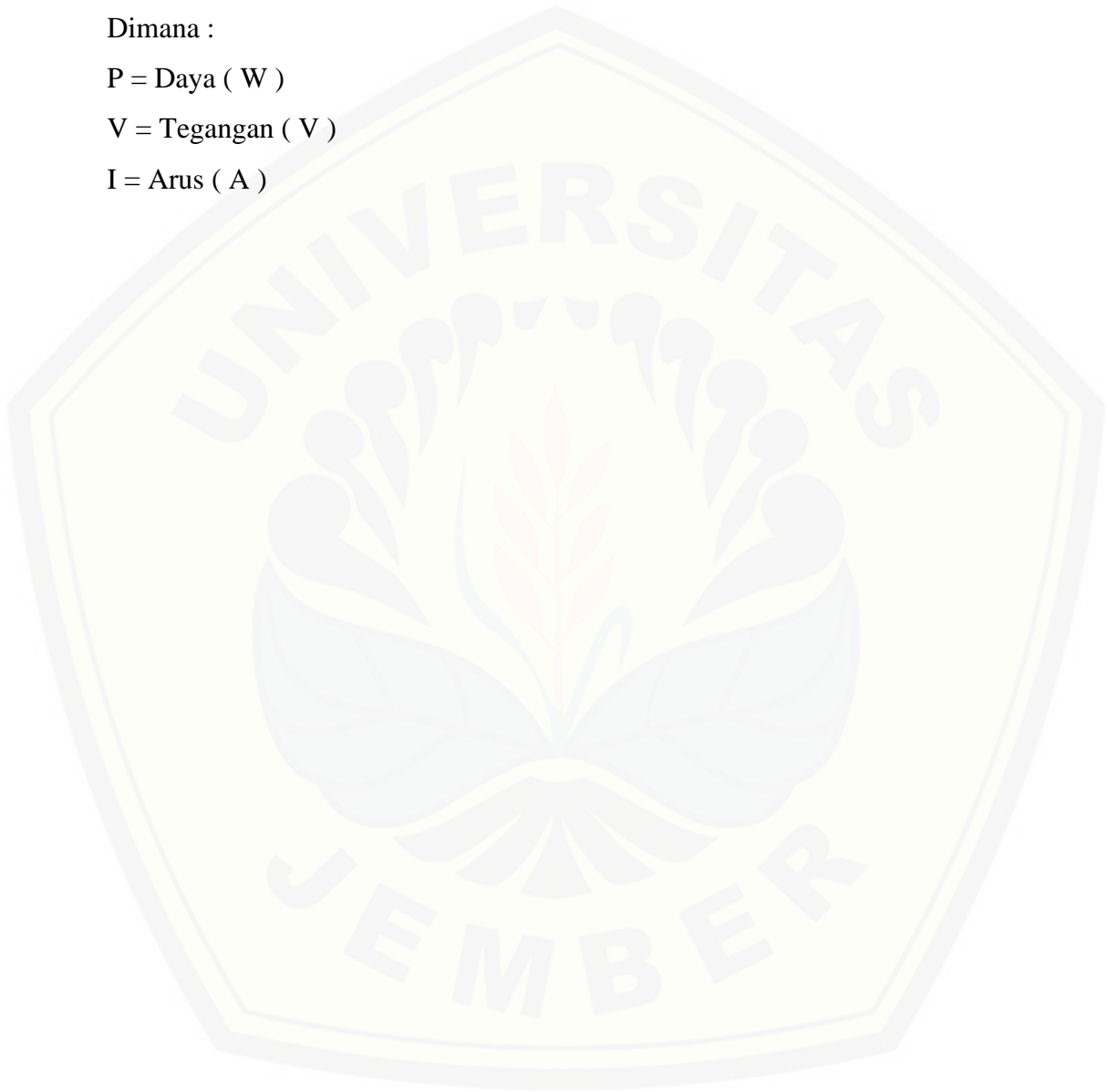
$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)



BAB 5. PENUTUP

Berdasarkan data hasil pengujian generator *axial flux* magnet permanen *neodymium* (NdFeB) dengan menggunakan stator ganda untuk *charging battery* 12 Volt yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan dan saran yang berguna untuk penelitian lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian generator *Axial Flux* yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Rancang bangun *prototype* generator *axial flux* tiga fasa dengan menggunakan magnet permanen *neodymium* (NdFeB) stator ganda untuk pengalokasian *charging battery* 12 Volt dengan peletakan kutub berseling (U-S) jumlah kumparan 12 buah berinti besi yang masing-masing kumparan mempunyai 375 lilitan dan terdapat 8 magnet *neodymium* (NdFeB) silinder berukuran 0.89 mT telah berhasil dilakukan dimana didapatkan korelasi pada saat pengaplikasian generator berupa *charging battery* 12 Volt membutuhkan waktu yang lebih lama pada saat menggunakan kecepatan putar generator 2000 RPM, yaitu 720 menit sedangkan dengan menggunakan 2765 RPM waktu yang dibutuhkan untuk *charging battery* adalah 510 menit.
2. Berdasarkan data perhitungan daya yang telah dilakukan pada kedua parameter data, pada saat *charging battery* 12 Volt dilakukan dengan menggunakan kecepatan putar generator sebesar 2765 RPM dihasilkan daya 2,74 Watt pada saat *battery* dalam keadaan kosong, dan pada saat menggunakan kecepatan putar generator sebesar 2000 RPM, daya yang dihasilkan sebesar 0,33 Watt, dimana besar daya yang diterima oleh *battery* pada saat *charging*, juga dipengaruhi oleh arus dari luaran generator, hal ini dibuktikan pada tabel 4.9 dan tabel 4.10 dimana

perbedaan arus yang signifikan karena adanya perbedaan kecepatan putar generator akan mempengaruhi besar daya yang diterima oleh *battery*.

5.2 Saran

Berdasarkan data hasil pengujian generator *Axial Flux* yang telah dilakukan, disarankan antara lain:

1. Dalam perhitungan daya luaran, dibutuhkan daya dibutuhkan perhitungan rugi-rugi daya, seperti pada lilitan tembaga, inti besi dan juga artur atau poros sehingga mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Pada penelitian selanjutnya, dapat diterapkan pada pembangkit listrik alternatif dan dapat dikopel dengan *prime mover* alternatif, misalnya kincir angin dan turbin air.

DAFTAR PUSTAKA

- (2019, Oktober 4). <https://id.pinterest.com/>.
- (2019, Oktober 4). bukalapak.com/magnet-neodymium-bulat-koin-disc-kuat-8x15-mm.
- (2019, Oktober 4). <https://www.jakartanotebook.com/lg-hb6-18650-li-ion-battery-1500mah-30a-3.7v-with-flat-top-pink>.
- (2019, Oktober 4). <http://hafizhfarras.blogspot.com/2017/02/penyearah-tiga-fasa.html>.
- Aziz, M. A. (2017). SISTEM KONTROL FUZZY LOGIC UNTUK TEGANGAN KELUARAN BOOST CONVERTER PADA PENGISIAN BATERAI SEPEDA LISTRIK MENGGUNAKAN SOLAR CELL. *UNIVERSITAS JEMBER*.
- Aziz, M. A. (2018). SISTEM KONTROL FUZZY LOGIC UNTUK TEGANGAN KELUARAN. *Universitas Jember*, 7.
- Chapman, S. J. (2002). *Electric Machinery Fundamentals - 5th ed. McGraw-Hill Companies: New York*.
- farras, h. (2017, Feb). penyearah tiga fasa.
- Fiky, m. (2015). Rancang Bangun Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015*.
- Gieras Jacek F., e. a. (2004). *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machine. Kluwer Academic Publisher, New York*.
- Hamzah, A. (2018). PERANCANGAN DAN PEMBUATAN GENERATOR FLUKS RADIAL TIGA FASA MAGNET PERMANEN. *Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau*.

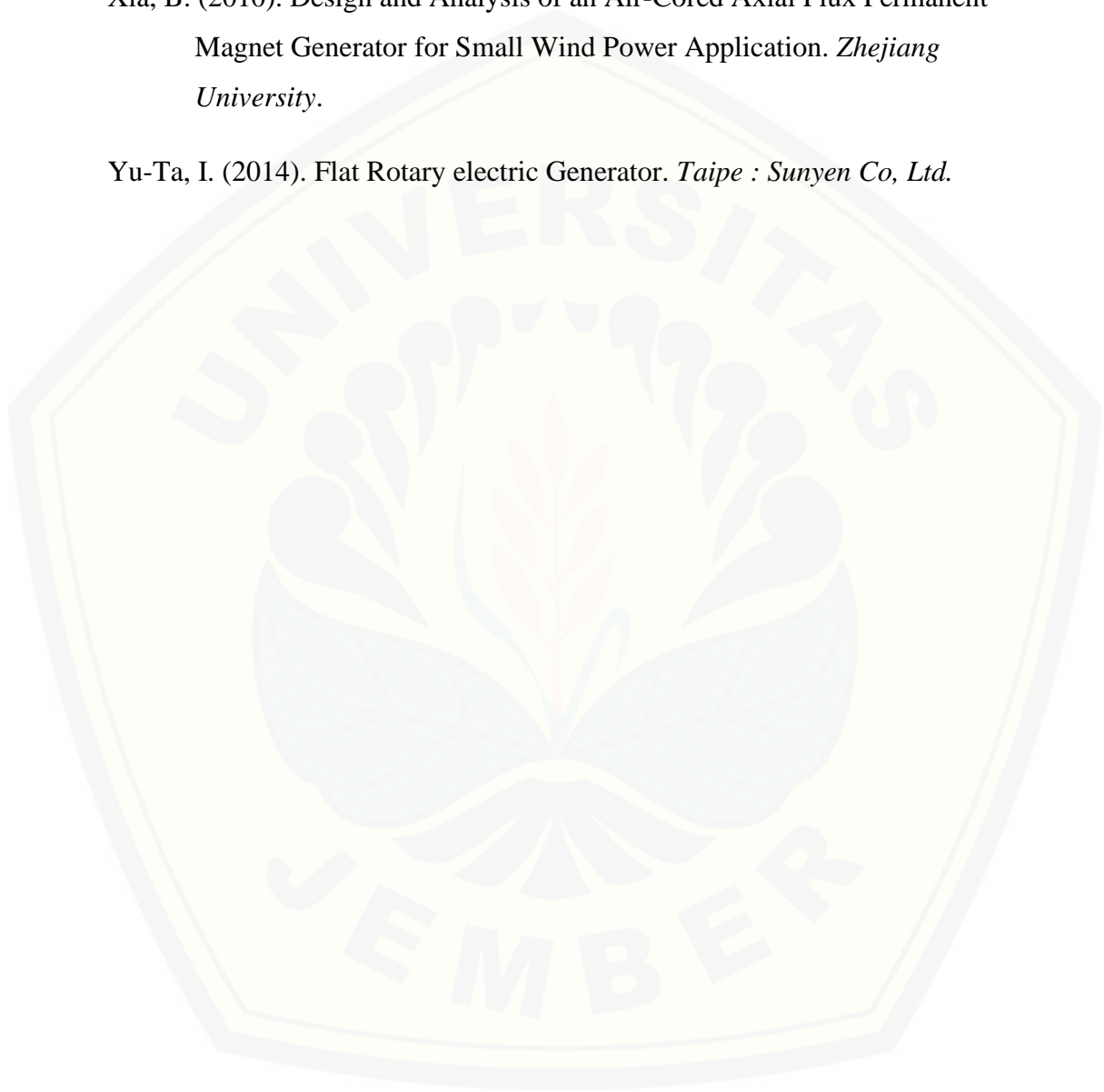
- Jarekson, R. (2010). studi jarak antar rotor magnet permanen pada generator sinkron magnet permanent flux axial tanpa inti stator. *universitas indonesia*.
- Mahmoudi, A. (2011). Axial-flux permanent-magnet machine modeling, design, simulation and analysis. *cientific Research and Essays Vol. 6(12)*, pp. 2525-2549, 18 June, 2011 Available online at <http://www.academicjournals.org/SRE> ISSN 1992-2248 ©2011 Academic Journals.
- Maulana, A. (2012). Rancang Bangun Generator Turbin Angin Axial Tiga Fasa Untuk Kecepatan Angin Rendah. *Universitas Indonesia, Depok*.
- Mustofa. (2014). PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN GENERATOR MAGNET PERMANEN DENGAN MOTOR DC SEBAGAI PRIME MOVER. *Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor*.
- Piggott, H. (2009). A Wind Turbine Recipe Book-The Axial Flux Windmill Plans, Scotland.
- Putri, A. K. (2019). RANCANG BANGUN GENERATOR AXIAL FLUX SATU FASA MENGGUNAKAN NEODYMIUM IRON BORON MAGNET (NdFeB) SILINDER DENGAN KUTUB SEARAH (U-U). *Universitas Jember*.
- Rossouw, F. G. (2009). Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator System for Direct Battery Charging Applications. *Stellenbosch University, South Africa*.
- Setia Puja. (2017). RANCANG BANGUN MINI GENERATOR FLUKS AKSIAL 1 FASA PUTARAN RENDAH MENGGUNAKAN NEODYMIUM MAGNET (NdFeB) BERBASIS MULTI CAKRAM. *Mahasiswa Teknik Elektro, FT, UMRAH*.

SITORUS, C. A. (2017). PEMBUATAN ALTERNATOR AXIAL FLUX
CORELESS DENGAN MENGGUNAKAN MAGNET PERMANEN.

Departemen Fisika.

Xia, B. (2010). Design and Analysis of an Air-Cored Axial Flux Permanent
Magnet Generator for Small Wind Power Application. *Zhejiang
University.*

Yu-Ta, I. (2014). Flat Rotary electric Generator. *Taipe : Sunyen Co, Ltd.*



LAMPIRAN PERHITUNGAN

A. Perhitungan perencanaan generator :

1. Menentukan jumlah kutub :

$$p = \frac{120f}{nr}$$

$$p = \frac{120 \times 184}{2765}$$

$$p = 7,9855 \Rightarrow \text{dibulatkan } p = 8$$

2. Menentukan jumlah kumparan :

$$N_s \equiv \frac{p \times N_{ph}}{2}$$

$$N_s \equiv \frac{8 \times 3}{2}$$

$$N_s \equiv 12 \text{ kumparan}$$

3. Perhitungan Bmax :

$$\begin{aligned} B_{\max} &= B_r \times \left(\frac{lm}{lm + celah} \right) \\ &= 0.089 \times \left(\frac{0.003}{0.003 + 0.007} \right) \\ &= 0.038143 \text{ T} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Amag :

$$\begin{aligned} A_{\text{mag}} &= \pi r^2 \\ &= \pi 0.0075^2 \\ &= 0.000176625 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5. Perhitungan ϕ max :

$$\begin{aligned} \phi_{\max} &= B_{\max} \times A_{\text{mag}} \times 2 \\ &= 0.038243 \times 0.000176625 \\ &= 13.46 \times 10^{-6} \text{ Wb} \end{aligned}$$

6. Tegangan Induksi

- Pada saat kecepatan putar generator 2765 RPM

$$\begin{aligned} E &= 4,44 \times N \times f \times \varphi_{\max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \\ &= 4,44 \times 375 \times 189 \times 13.46 \times 10^{-6} \times \frac{12}{3} \\ &= 16,51 \text{ Volt} \end{aligned}$$

- Pada saat kecepatan putar generator 2765 RPM

$$\begin{aligned} E &= 4,44 \times N \times f \times \varphi_{\max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \\ &= 4,44 \times 375 \times 134 \times 13.46 \times 10^{-6} \times \frac{12}{3} \\ &= 12,01 \text{ Volt} \end{aligned}$$

B. Perhitungan penyearah 3 fasa

1. Untuk menentukan Vdc, berikut langkah perhitungan pada saat menggunakan kecepatan putar 2765 RPM:

$$\begin{aligned} V_{L-L \text{ peak}} &= V_{L-L \text{ RMS}} \times \sqrt{2} \\ &= 15.5 \times \sqrt{2} \\ &= 21.920 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_{L-L \text{ peak}} : \sqrt{3} \\ &= 21.920 : \sqrt{3} \\ &= 12.65 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DC} &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_s = 1,65 \times V_s \\ &= 1.65 \times 12.65 \\ &= 20.88 \text{ Volt} \end{aligned}$$

2. Untuk menentukan V_{dc} , berikut langkah perhitungan pada saat menggunakan kecepatan putar 2000 RPM:

$$\begin{aligned}V_{L-L peak} &= V_{L-L RMS} \times \sqrt{2} \\ &= 11.96 \times \sqrt{2} \\ &= 16.91 \text{ Volt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= V_{L-L peak} : \sqrt{3} \\ &= 16.91 : \sqrt{3} \\ &= 9.765 \text{ Volt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{DC} &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_s = 1,65 \times V_s \\ &= 1.65 \times 9.765 \\ &= 16.11 \text{ Volt}\end{aligned}$$

3. Menentukan Nilai Kapasitor

$$\begin{aligned}C &= \frac{V_p}{2fRv_{rpp}} \\ &= \frac{5}{2fRv_{rpp}} \\ &= \frac{5}{2.188.1500,1} \\ &= 88.65 \mu F \text{ maka pada penelitian ini menggunakan } 100 \mu F\end{aligned}$$

C. Error persen :

- a. *Error persen* tegangan DC pada saat kecepatan putar generator sebesar 2765 RPM

$$\begin{aligned}\% \text{ error} &= \frac{\text{exact value} - \text{approximate value}}{\text{exact value}} \times 100 \% \\ &= \frac{20,88 - 20,939}{20,88} \times 100 \% \\ &= 0,18 \%\end{aligned}$$

- b. *Error persen* tegangan DC pada saat kecepatan putar generator sebesar 2000 RPM

$$\begin{aligned}\% \text{ error} &= \frac{\text{exact value} - \text{approximate value}}{\text{exact value}} \times 100 \% \\ &= \frac{16,11 - 16,132}{16,11} \times 100 \% \\ &= 0,15 \%\end{aligned}$$

- c. *Error persen* tegangan AC pada saat kecepatan putar generator sebesar 2765 RPM

$$\begin{aligned}\% \text{ error} &= \frac{\text{exact value} - \text{approximate value}}{\text{exact value}} \times 100 \% \\ &= \frac{16,51 - 15,59}{16,51} \times 100 \% \\ &= 5,57 \%\end{aligned}$$

- d. *Error persen* tegangan AC pada saat kecepatan putar generator sebesar 2000 RPM

$$\begin{aligned}\% \text{ error} &= \frac{\text{exact value} - \text{approximate value}}{\text{exact value}} \times 100 \% \\ &= \frac{12,01 - 11,65}{12,01} \times 100 \% \\ &= 3,09 \%\end{aligned}$$