

**TUGAS AKHIR**

**ANALISI AXIAL FLUX GENERATOR MAGNET PERMANEN PADA  
TURBIN ANGIN**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Mendapat Gelar Sarjana  
Program Sastra-1 Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh:

**RONI KRISTANTO**

1507220003



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Roni Kristanto

NPM : 1507220003

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Axial Flux Magnet Permanen Pada Turbin Angin

Bidang ilmu : Tegangan Rendah

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 9 November 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



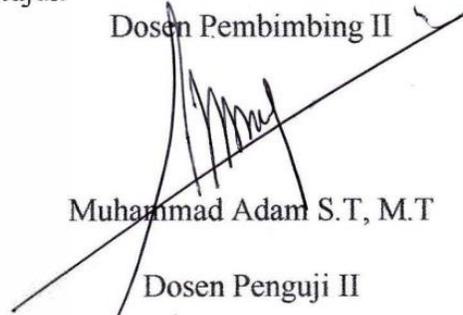
Ir. Abdul Aziz Hutasuhut M.M

Dosen Penguji I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II



Muhammad Adam S.T, M.T

Dosen Penguji II



Elvy Sahnur S.T, M.Pd



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Roni Kristanto

Tempat /Tanggal Lahir : Karang Anyer/ 20 Mei 1998

NPM : 1507220003

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

### **“Analisis Axial Flux Magnet Permanen Pada Turbin Angin”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro/Mesin/Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 9 November 2020

Saya yang menyatakan



Roni Kristanto

## Abstrak

Teknologi magnet permanen generator efektif diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik kecepatan rendah. Keuntungan menggunakan magnet permanen adalah karena dapat menghasilkan medan magnet sendiri tanpa perlu eksitasi dan tanpa disipasi daya listrik. Untuk memperoleh tegangan yang konstan dengan putaran yang rendah maka dibutuhkan generator kecepatan rendah yaitu Generator AFPM (*Axial Flux Generator Magnet Permanent*). Generator *Axial Flux Permanen Magnet* (AFPM) merupakan generator yang mampu menghasilkan tegangan yang relatif tinggi dengan putaran rendah. Pada penelitian ini penulis merancang generator *Axial Flux Permanen Magnet* (AFPM) 3 fasa dengan melakukan pengujian variasi putaran tanpa beban dan berbeban. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari generator terhadap perubahan nilai tegangan terhadap variasi putaran (rpm). Variasi putaran yang dilakukan berkisar 100-1000 rpm. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini dengan jumlah lilitan 125 lilitan dan beban 18 watt yaitu pada kecepatan 500 rpm mampu menghasilkan tegangan dan arus sekitar 15,38 volt dan 1,24 amper. Pada beban 35 watt menghasilkan 6,8 volt dan 1,12 amper. variasi putaran tanpa beban kecepatan 500 rpm menghasilkan 15,38 volt. Efisiensi yang dihasilkan untuk menghasilkan tegangan pada generator ini adalah sebesar 95% dan daya losses sebesar 4 %.

Kata kunci : *Tegangan, Generator AFPM, Variasi Putaran (rpm), Arus,*

## **Abstrak**

Permanent magnet generator technology is effectively applied to low speed power generation systems. The advantage of using a permanent magnet is that it can generate its own magnetic field without the need for excitation and without the dissipation of electric power. AFPM (Axial Flux Generator Permanent Magnet). Permanent Magnet Axial Flux Generator (AFPM) is a generator capable of producing relatively high voltage with low rotation. In this study, the authors designed a 3-phase Permanent Magnet Axial Flux (AFPM) generator by testing variations in rotation without load and load. This is done to determine the characteristics of the generator to changes in the value of the voltage to variations in rotation (rpm). The rotation variations carried out ranged from 100-1000 rpm. The results obtained in this study with the number of turns of 125 turns and a load of 18 watts at a speed of 500 rpm is able to produce a voltage and current of about 15.38 volts and 1.24 amperes. At a load of 35 watts it produces 6.8 volts and 1.12 amperes. Variation of rotation without load speed of 500 rpm produces 15.38 volts. The resulting efficiency to generate voltage on this generator is 95% and power losses are 4%.

**Keywords:** *Voltage, Generator AFPM, Rotation Variation (rpm), current*

## KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Axial Flux Magnet Permanen Pada Turbin Angin“ sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak Pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghanturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada :

1. Ayahanda tercinta Parman Winarno, Ibunda tercinta sainem , serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Sarjana ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M.M, selaku dosen Pembimbing I dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Muhammad Adam, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Dosen-dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro yang telah membantu penulis dalam penyelesaian proposal skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dimasa mendatang. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan bagi para pembaca.

Medan, September 2022

Roni Kristanto  
1507220003

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Ruang Lingkup penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	4
2.2 Landasan Teori .....	6
2.2.1 Generator .....	8
2.2.1.1 Generator Arus Bolak Balik.....	8
2.2.1.2 Generator Arus Searah.....	9
2.2.2 Generator Axsial Flux .....	10
2.2.2.1 Rotor Pada Generator.....	10
2.2.2.2 Stator .....	11
2.2.3 Magnet Permanen Pada Generator .....	12
2.2.3.1 Jenis-jenis Magnet.....	13
2.2.4 Prinsip Kerja Generator.....	13
2.2.5 Jenis-jenis Konstruksi.....	14
2.2.5.1 Konstruksi Satu Sisi .....	14
2.2.5.2 Konstruksi Dua Sisi.....	15
2.2.5.3 Konstruksi Dua Sisi Dengan Stator.....	15
2.2.5.4 Konstruksi Sisi Berlapis.....	16
2.2.6 Rangkaian Tiga Phasa .....	17
2.2.6.1 Hubungan Bintang .....	17

2.2.6.2 Hubungan Delta .....	18
2.2.7 Lilitan Stator .....	19
2.2.8 Daya Generator .....	19
2.2.8.1 Daya Semu .....	20
2.2.8.2 Daya Aktif .....	20
2.2.8.3 Daya Reaktif .....	21
2.2.9 Faktor Daya .....	21
2.2.10 Klasifikasi Turbin Angin .....	22
2.2.10.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal .....	22
2.2.10.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>27</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	27
3.2 Bahan Dan Peralatan .....	27
3.2.1 Bahan-bahan Penelitian .....	27
3.2.2 Peralatan .....	28
3.3 Langkah-langkah Penelitian .....	28
3.3.1 Studi Literatur .....	28
3.3.2 Studi Bimbingan .....	28
3.3.3 Jalannya Penelitian .....	28
3.3.4 Perancangan Stator Dan Rotor .....	29
3.3.5 Pengujian Alat .....	31
3.3.6 Pembuatan Laporan .....	32
3.4 Flowchart Penelitian .....	32
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>34</b>
4.1 Pengujian AFPM Tanpa Beban .....	34
4.2 Pengujian AFPM Dengan Beban .....	37
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>46</b>
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Topologi Generator : (a) RFPM, (b) AFPM .....	8
Gambar 2.2 Konstruksi Generator DC .....	9
Gambar 2.3 Rotor Fluks Axial .....	11
Gambar 2.4 Stator Fluks Axial.....	12
Gambar 2.5 konstruksi Umum Generator Fluks Axial .....	14
Gambar 2.6 Konstruksi Mesin AFPM Tipe Satu Sisi .....	14
Gambar 2.7 Aliran Fluks Magnet Pada tipe TORUS .....	15
Gambar 2.8 Konstruksi Mesin AFPM Tipe Sisi Berlapis.....	16
Gambar 2.9 Hubungan Bintang / Star .....	18
Gambar 2.10 Hubungan Segitiga .....	18
Gambar 2.11 Turbin TASH.....	23
Gambar 2.12 Turbin TASV.....	24
Gambar 3.1 Prancangan Lilitan Stator Fasa 3 Hubungan Bintang 9 Koil ....	29
Gambar 3.2 Piringan Plat Rotor .....	31
Gambar 3.3 Tata Letak Magnet Neodymium Pada Piringan Rotor .....	31
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 4.1 pengkuran 163Rpm .....	34
Gambar 4.2 pengkuran 320Rpm .....	35
Gambar 4.3 pengkuran 540Rpm .....	35
Gambar 4.4 pengkuran 731Rpm .....	36
Gambar 4.5 pengkuran 1036Rpm .....	36
Gambar 4.6 Grafik karakterisitk putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet</i> <i>Permanent</i> terhadap Tegangan output generator tanpa beban .....	39
Gambar 4.7 Grafik karakterisitk putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet</i> <i>Permanent</i> terhadap frekuensi generator tanpa beban .....	39
Gambar 4.8 Grafik karakterisitk putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet</i> <i>Permanent</i> terhadap tegangan output generator dengan beban.....	41
Gambar 4.8 Grafik karakterisitk putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet</i> <i>Permanent</i> terhadap arus output generator dengan beban .....	41
Gambar 4.10 Grafik karakterisitk putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet</i> <i>Permanent</i> terhadap daya output generator dengan beban .....	41

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jumlah Koil Pada Stator 3 Fasa .....	30
Tabel 4.1. Hasil pengujian tegangan generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) tanpa beban.....	34
Tabel 4.2 Hasil pengujian tegangan dan frekuensi generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) tanpa beban.....	35
Tabel 4.3. Hasil pengujian tegangan generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) berbeban .....	40
Tabel 4.4. Hasil perhitungan daya generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) berbeban.....	43

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Teknologi magnet permanen generator efektif diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik kecepatan rendah. Keuntungan menggunakan magnet permanen adalah karena dapat menghasilkan medan magnet sendiri tanpa perlu eksitasi dan tanpa disipasi daya listrik. Rugi magnetik akibat adanya celah udara merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan pada generator magnet. Hal tersebut dikarenakan oleh distribusi fluks magnetik dan kerapatan fluks magnetik akibat reluktansi celah udara menyebabkan penurunan performa tegangan keluaran dan daya keluaran generator. Beberapa jenis generator yang digunakan adalah sikat DC, induksi AC dan generator magnet permanen. Secara tradisional, generator induksi banyak digunakan di sebagian besar aplikasi tenaga angin karena kesederhanaan mereka, fleksibilitas tinggi dan relatif rendah operasi dan biaya pemeliharaan. Generator induksi, bagaimanapun, memiliki keterbatasan utama karena mereka tidak bisa menghasilkan daya reaktif, pada kenyataannya, mereka mengkonsumsi daya reaktif. Daya reaktif ini biasanya tersedia secara eksternal melalui kapasitor terhubung di terminal generator.

Generator AC yang menggunakan magnet permanen untuk bidang eksitasi menawarkan sejumlah karakteristik kinerja yang unggul dibandingkan dengan ekuivalen generator ac dan dc. Hal-hal yang ditawarkan dari generator AC adalah termasuk mengurangi volume motor karena tidak adanya lilitan digunakan untuk bidang eksitasi rotor, efisiensi yang lebih tinggi karena mengurangi kerugian rotor tembaga, keandalan yang lebih baik karena tidak adanya sikat dan slip ring, faktor daya yang lebih tinggi yang bisa mendekati 1. Turbin angin menggunakan magnet permanen umumnya jatuh ke dalam kategori mikro-turbin (kurang dari 1kW), dan turbin kecil (dari 10kW ke 100kW) karena keterbatasan ukuran saat pembuatan di pabrik dan kesulitan membuat potongan magnet yang besar.

Berdasarkan uraian dan permasalahan di atas, Tugas Akhir ini akan membahas mengenai “*Analisis Axial Flux Generator Magnet Permanen Pada Turbin Angin*”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka permasalahan yang akan di bahas adalah:

1. Bagaimana kinerja axial flux generator magnet permanen pada turbin angin ?
2. Bagaimana karakteristik output axial flux generator magnet permanen pada turbin angin ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kinerja axial flux generator magnet permanen pada turbin angin
2. Mengetahui karakteristik output axial flux generator magnet permanen pada turbin angin

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dalam tugas akhir ini adalah :

1. Dapat mengetahui kinerja axial flux generator magnet permanen pada turbin angin.
2. Untuk mengetahui karakteristik output axial flux generator magnet permanen pada turbin angin.

## 1.5 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Membahas mengenai Generator *Axial Flux* Magnet Permanen kapasitas 100 watt.
2. Membahas nilai tegangan output yang dihasilkan oleh Generator *Axial Flux* Magnet Permanen.
3. Membahas efisiensi Generator *Axial Flux* Magnet Permanen.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab yang berhubungan satu sama lain dan disusun secara terperinci serta sistematis untuk memberikan gambaran dan mempermudah pembahasan Tugas Akhir ini. Berikut adalah sistematika penulisan dari masing-masing bab, yaitu :

**BAB I            PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan mengawali penulisan dengan menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

**BAB II            TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini memuat tentang kutipan dari penelitian terdahulu serta menguraikan tentang teori dasar-dasar umum tentang Pengaruh kuat medan magnet dan kecepatan rotor terhadap tegangan yang dihasilkan generator arus boak-balik

**BAB III           METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan tempat pembuatan alat, langkah-langkah pembuatan alat, dan meliputi langkah-langkah pengumpulan data.

**BAB IV            HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini akan menguraikan hasil analisa dari data yang telah diambil di lapangan, lalu menganalisanya. Dalam bab ini setidaknya memberikan jawaban atas pertanyaan pada rumusan masalah.

**BAB V            PENUTUP**

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dapat diambil setelah pembahasan seluruh masalah.

**Daftar Pustaka****Lampiran**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Dalam beberapa penelitian, Generator magnet permanen fluks radial adalah mesin yang efektif untuk diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik tenaga angin kecepatan rendah. Rugi magnetik akibat celah udara atau torsi denyut adalah salah satu masalah yang dapat menyebabkan penurunan performa tegangan keluaran dan daya keluaran pada generator jenis ini. Pada penelitian ini, topologi yang digunakan adalah stator ganda generator magnet permanen fluks radial. Topologi tersebut diharapkan mampu meningkatkan fluks listrik yang dihasilkan oleh kumparan-kumparan stator. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan tegangan keluaran dan daya keluaran generator menggunakan metode desain pemasangan lebar gigi-gigi stator. Ada 3 variabel pada metode desain ini. Ketiga variabel desain mampu menurunkan nilai torsi denyut. Namun, ketiganya menyebabkan ketidakstabilan putaran generator. Hal ini disebabkan oleh peningkatan distribusi frekuensi torsi denyut. Ketiga variabel mampu meningkatkan tegangan keluaran generator dan daya keluaran generator masing-masing mencapai 3.94% dan 3.3%. Peningkatan tegangan keluaran dan daya keluaran generator tidak terlalu signifikan disebabkan oleh peningkatan distribusi frekuensi torsi denyut yang mencapai 162%. (Adeguna Ridlo Pramurti, 2020)

Dan ada juga Pembangkit listrik tenaga angin dan air sangat cocok menggunakan generator kecepatan rendah mengingat potensi yang ada pada level sedang. Sehingga penelitian ini bertujuan mendesain generator kecepatan rendah dengan penguatan medan magnet permanen. Penelitian ini terbagi dalam tiga tahap yaitu menentukan kerangka berdasarkan ukuran magnet permanen yang digunakan yaitu 10 x 10 x 1 cm, perakitan tiap komponen dari desain, email yang digunakan berdiameter 1 mm, dan tahap yang terakhir adalah pengujian generator magnet permanen skala laboratorium. Hasil penelitian generator magnet permanen adalah pada jarak rotor-stator 1 cm dengan kecepatan putar rotor 750, 1000, dan 1200 RPM menghasilkan tegangan output DC dari 24 V, 32 V, 34 V pada kondisi tanpa beban dan 8 V, 10 V, 12 V pada kondisi dibebani 3 buah kipas

12 Volt DC. Sedangkan arus akibat pembebanan adalah 0.12 A, 0.13 A, 0.14 A. (Hasyim Asy'ari, dkk, 2014)

Sedangkan penelitian Generator fluks aksial multi cakram 1 fasa untuk putaran rendah dapat dirancang dengan spesifikasi 6 buah stator dan 7 keping rotor berbahan aluminium menggunakan magnet *neodymium* (NdFeB) sebanyak 12 kutub. Masing-masing stator terdapat 6 buah kumparan kawat tembaga dengan diameter 0,6 mm memiliki jumlah lilitan rata-rata sebanyak 100 lilitan. Nilai perbandingan dari hasil perhitungan dan pengukuran pada generator tersebut adalah 5,69 % dan dikatakan telah mendekati nilai tingkat akurasi yang baik. Pada kecepatan 250 rpm nilai tegangan ketika sebelum diberi beban adalah 36,4 VDC dan pada saat diberi beban turun menjadi 16,46 VDC. Nilai faktor regulasi tegangan DC generator tersebut adalah 54,81 %. *Drop voltage* tersebut disebabkan karena generator tidak dilengkapi perangkat stabilizer tegangan. (Puja Setia, 2017)

Berikutnya penelitian Axial Flux Permanent Magnet Generator (AFPMG) generator turbin angin telah berhasil dirancang dan dibuat. Generator telah dirancang untuk kecepatan angin pada kisaran 2-6 m/s dan putaran rendah. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang dan menganalisis generator turbin angin dengan kecepatan angin rendah yang dapat menghasilkan tenaga listrik untuk rumah tangga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada prototipe turbin angin dapat dibangkitkan tegangan sekitar 22,5 – 157,1 V dengan putaran poros rotor pada putaran 150 – 1000 rpm. Sedangkan pada prototipe dapat dihasilkan daya keluaran sebesar 98,5 Watt putaran poros 1000 rpm saat dihubungkan ke beban. Arus dan tegangan masing-masing dapat dicapai sekitar 151,4 V dan 0,651 A. Prototipe tersebut kemudian dihubungkan dengan konverter DC ke DC dan konverter DC ke AC untuk menghasilkan daya keluaran sebesar 500 W. (Sagita Rochman et al., 2018)

Penelitian serupa yaitu pembangkit listrik terbarukan merupakan pilihan terbaik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia mengingat mahal dan langkanya energi minyak bumi yang selama ini menjadi pilihan utama pada sistem pembangkitan energi listrik. Perancangan generator AC konstruksi axial flux satu fasa menggunakan stator ganda dan rotor tunggal, terdapat 8 coil pada

tiap stator, pada rotor menggunakan 8 magnet neodymium disusun dengan kutub berlawanan (u-s). Untuk mengetahui pengaruh kutub magnet diberikan beban resistor 400, 500, 666,67, 1000, dan 2000Ω, dengan menggunakan beban 2kΩ di susun secara paralel. Pengujian dilakukan pada tegangan output yang konstan pada tegangan 18, 20, dan 23V, selanjutnya dilakukan pengukuran arus dan kecepatan generator AC dengan menggunakan variasi beban yang berbeda. Pada saat tegangan output 18V, beban 400Ω arus 0,045A dan kecepatan 3885rpm. Beban 2000Ω arus 0,009A dan kecepatan 2008rpm. Pada saat tegangan output 23V, beban 400Ω arus 0,0575A dan kecepatan 6684rpm. Saat beban 2000Ω arus 0,0114A dan kecepatan 2526rpm. Dari penelitian ini pengaruh kutub magnet terhadap daya yang dihasilkan generator AC dengan diberikan variasi beban resistor pada tegangan output bernilai konstan yaitu semakin besar beban yang diberikan maka arus dan kecepatan yang dihasilkan akan semakin besar. (Ainur Rohmah et al., 2020)

## 2.2 Landasan Teori

Prinsip kerja generator dalam mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik adalah berdasarkan hukum Faraday. Hasil penelitian Faraday menunjukkan bahwa seutas kawat atau kumparan konduktor berada dalam medan magnet yang berubah terhadap waktu, maka pada ujung-ujung kawat atau konduktor tersebut akan timbul tegangan atau gaya gerak listrik (ggl) induksi pada kumparan stator. Berdasarkan proses tersebut maka timbul tegangan, dalam menentukan nilai tegangan rata-rata yang dibangkitkan generator dapat digunakan persamaan hukum faraday berikut :

$$E_{\text{rata-rata}} = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$E_{\text{rata-rata}}$  = tegangan rata-rata yang dibangkitkan pada belitan (V)

N = jumlah lilitan

$\Delta\phi$  = perubahan fluks pada suatu waktu tertentu (Wb)

$\Delta t$  = waktu ketika fluks berubah (s) .

Adapun hubungan antara putaran dan frekuensi generator dapat dirumuskan pada persamaan berikut :

$$n = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

$n$  = putaran (rpm)

$f$  = frekuensi (Hz)

$p$  = jumlah kutub

Selain itu, dalam menentukan tegangan yang dibangkitkan generator dapat menggunakan persamaan berikut :

$$E_{rms} = 4,44fN\Phi_m \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

$E_{rms}$  = tegangan efektif dibangkitkan belitan (V)

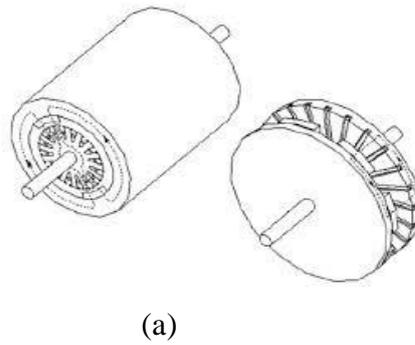
$F$  = frekuensi (Hz)

$\Phi_m$  = fluks maksimum (Wb)

Generator fluks aksial adalah suatu mesin fluks yang dapat mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik yang menghasilkan arus bolak-balik yang terdiri dari stator dan rotor dengan memiliki arah aliran fluks yang memotong stator secara aksial. Tentunya berbeda dengan generator-generator konvensional lainnya yang aliran fluksnya secara radial. Generator fluks aksial ini tentunya memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dari biasanya, dan sering dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga angin. Mesin *Axial Flux Permanent Magnet*(AFPM) ini biasa disebut mesin disc-type yang berbentuk piringan yang merupakan sebuah mesin alternatif atas mesin *Radial Flux Permanent Magnet* (RFPM) yang berbentuk silinder.

Keunggulan AFPM dibandingkan dengan RFPM adalah :

1. AFPM memiliki diameter rotor dan stator yang lebih besar.
2. Konstruksi AFPM lebih mudah dan sangat ideal.
3. Semakin besar diameter rotor semakin banyak jumlah kutub magnet yang ada, membuat AFPM sangat cocok untuk frekuensi tinggi pada putaran rendah.



**Gambar. 2.1 Topologi generator : (a) RFPM, (b) AFPM**

## **2.2.1 Generator**

### **2.2.1.1 Generator Arus Bolak-Balik (AC)**

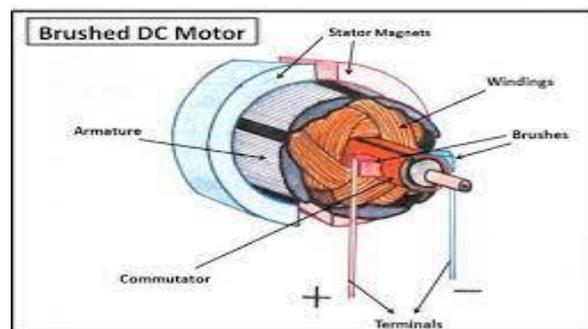
Sebuah generator arus bolak balik mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Dalam pembelajaran secara magnetik, menunjukkan arus yang dibawa konduktor menghasilkan sebuah daerah magnet disekelilingnya. Ini juga akan merubah medan magnet yang akan menghasilkan elektromagnetik pada konduktor. Jika sebuah konduktor berada dalam medan magnet atau diantara medan magnet itu dan pergerakan konduktor, ini yang disebut dengan induksi elektromagnetik. Listrik arus bolak balik (listrik AC – alternating current) adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan listrik arus searah dimana arah arus yang mengalir tidak berubah-ubah dengan waktu. Bentuk gelombang sinusoida, karena ini yang memungkinkan pengairan energi yang paling efisien. Karakteristik dari daya yang dihasilkan oleh generator arus bolak-balik adalah nilai faktor daya. Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu atau daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu atau daya total. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang di transfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5, maka kapasitas jaringan distribusi listrik

menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (VA). Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan sudut fase antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor.

### 2.2.1.2 Generator Arus Searah (DC)

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC atau arus searah. Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker), jenis generator DC yaitu :

1. Generator penguat terpisah
2. Generator shunt
3. Generator kompon



**Gambar 2.2 Konstruksi Generator DC**

Pada umumnya generator DC dibuat dengan menggunakan magnet permanen dengan 4 kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, starter eksitasi, penyerah, bearing dan rumah generator atau casis, serta bagian rotor. Generator DC terdiri dari dua bagian, yaitu stator bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal

box. sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor. Syarat untuk dapat dibangkitkan Gaya Gerak Listrik (GGL) adalah:

1. Harus ada konduktor (hantaran kawat)
2. Harus ada medan magnetik
3. Harus ada gerak atau perputaran dari konduktor dalam medan, atau ada fluksi yang merubah dan memotong konduktor itu.

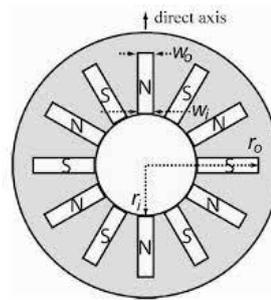
Untuk perolehan arus searah dari tegangan bolak-balik, meskipun tujuan utamanya adalah pembangkitan tegangan searah, tampak bahwa tegangan kecepatan yang dibangkitkan pada kumparan jangkar merupakan tegangan bolak-balik. Bentuk gelombang yang berubah-ubah tersebut karena harus disearahkan. Untuk mendapatkan arus searah dari arus bolak-balik dengan menggunakan saklar, komutator dan dioda

### **2.2.2 Generator Axial Flux Permanent Magnet**

Pada umumnya generator terdiri dari 2 bagian yaitu stator dan rotor. Stator yaitu bagian yang berputar dan Rotor adalah bagian yang diam. Dan diantara rotor dan stator terdapat celah udara. Adapun bagian-bagian generator *axial flux magnet permanent*, yaitu :

#### **2.2.2.1 Rotor pada *Generator Axial Flux Magnet Permanent* (AFPM)**

Rotor terbuat dari besi karbon yang di permukaannya terletak magnet permanen, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. pada pembuatan tugas akhir ini, generator menggunakan 1 buah rotor yang terletak diatas stator, dengan polaritas magnet yang berlawanan arah N-S, sehingga fluks magnet yang melewati kumparan bisa diperkuat, rotor tersebut disambungkan dengan poros yang kemudian poros inilah yang diputar oleh energi mekanik. Rotor berfungsi sebagai kumparan medan dan untuk menghasilkan medan magnetik dengan menggunakan magnet permanen.

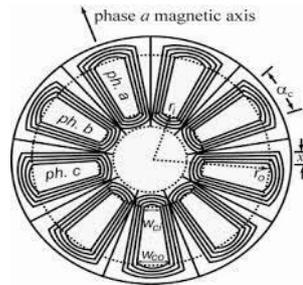


**Gambar 2.3 Rotor fluks aksial**

Pada rotor terdapat jumlah kutub magnet yang akan mempengaruhi banyaknya putaran per menit yang harus bekerja untuk menimbulkan frekuensi yang diinginkan. Rotor pada generator merupakan berputar yang terdiri dari magnet yang berputar.

#### **2.2.2.2 Stator pada *Generator Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)***

Stator adalah bagian yang tak berputar (diam), didalam stator generator terdapat belitan-belitan penghantar yang disusun sedemikian rupa sesuai kaidah baik jumlah lilitan, jarak antara lilitan (*pitch factor*) dan beda sudut antara fasa, sehingga dapat menghasilkan tegangan 3 fasa yang mempunyai sudut 120 derajat terhadap fasa lainnya. Kemampuan dan kualitas generator ditentukan juga oleh bahan tembaga yang di pakai serta tingkat ketahanan isolasi terhadap panas yang melaluinya. Bahan inti dari stator merupakan bahan terpilih yang mempunyai tingkat permeabilitas magnetic yang tinggi, terbentuk dari lapisan-lapisan plat yang terlaminasi satu sama lain. Hal ini adalah dimaksudkan untuk mengurangi rugi besi karena rugi arus hysteresis yang berpusar didalam inti besi. Demikian juga dengan lilitan tembaga atau kawat email mempunyai kualitas yang khusus disamping biasanya mempunyai lapisan isolasi juga mempunyai ketahanan panas yang tinggi sampai 150 derajat celcius sehingga tahanan isolasi masih cukup kuat untuk menahan panasnya stator generator maupun arus lilitan itu sendiri.



**Gambar 2.4 Stator fluks aksial**

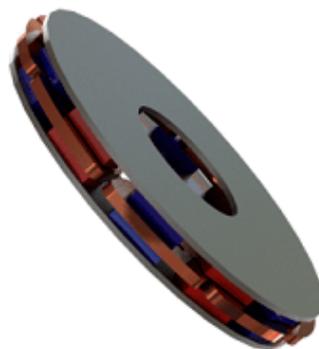
Sebuah belitan stator hanyalah gulungan tetap dengan jumlah lilitan tertentu disebuah generator listrik, baik untuk putar ataupun linier. Stator pada motor atau generator AC adalah kumparan kawat yang disebut gulungan / lilitan stator (*induktor*), yang jumlah lilitan (kawat) / kumparan nya berbeda-beda tergantung untuk pengeluaran yang kita inginkan. Pada saat kumparan ini diberi energi, maka medan magnet yang berputar akan menghasilkan energi listrik (ggl)

### 2.2.3 Jenis-Jenis Generator AFPM

Beberapa jenis generator AFPM berdasarkan jumlah dan cara penempatan piringan stator maupun rotornya. Beberapa jenis generator AFPM tersebut adalah single sided, double sided dan multi disc

#### 2.2.3.1 Single Sided

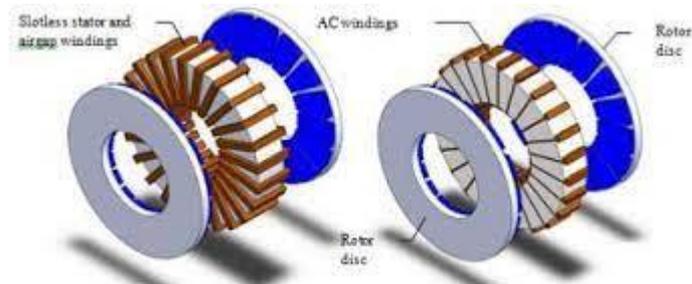
Generator AFPM tipe single sided memiliki satu piringan rotor dan satu piringan stator yang saling berhadapan. Single sided ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



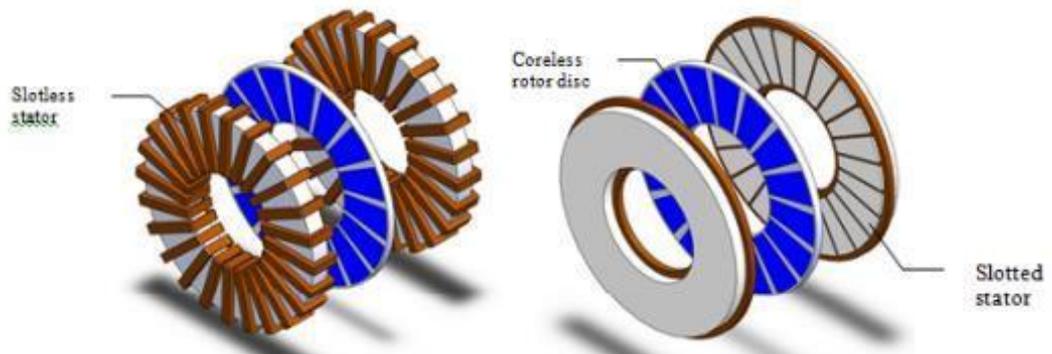
Gambar 1. Single Sided

### 2.2.3.2 Double Sided

Generator AFPM tipe double sided terbagi atas dua jenis yaitu generator AFPM tipe double sided internal rotor dan generator AFPM tipe double sided internal stator. Generator AFPM tipe double sided internal rotor memiliki sebuah piringan rotor yang diapit oleh dua buah piringan stator sementara generator AFPM tipe double sided internal stator memiliki sebuah piringan stator yang diapit oleh dua buah piringan rotor.



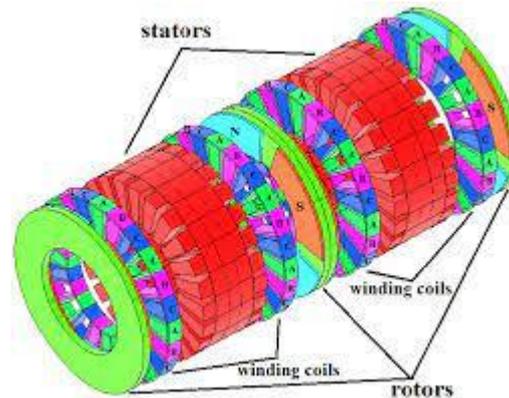
Gambar 2. Double Sided Internal Stator



Gambar 3. Double Sided Internal Rotor

### 2.2.3.3 Multi Disc.

Adapun generator AFPM multi disc memiliki beberapa buah piringan stator dan rotor. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas daya pada generator. Namun ukuran dari generator ini akan menjadi lebih besar dan konstruksinya pun menjadi lebih rumit. Konstruksi dari generator AFPM multi disc ini dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Multi Disc

#### **2.2.4 Magnet Permanen Pada Generator *Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)***

Magnet adalah suatu benda yang mampu menarik benda lain disekitarnya yang memiliki sifat khusus. Magnet mempunyai medan magnet (area sekitar magnet), magnet selalu mempunyai 2 kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan. Magnet permanen tidak memerlukan tenaga atau bantuan dari luar untuk menghasilkan medan magnet. (Abdul Fajar, 2017)

##### **2.2.3.1 Jenis-jenis Magnet Permanen**

Jenis magnet permanen yang diketahui sampai saat ini adalah :

1. Magnet Neodymium, yaitu jenis magnet tetap yang paling kuat. Magnet neodymium juga dikenal sebagai NdFeB, NIB, atau magnet Neo. Magnet ini merupakan jenis magnet tanah yang terbuat dari campuran dari logam neodymium.
2. Magnet Samarium – cobalt salah satu dari dua jenis magnet bumi yang langka, merupakan magnet permanen yang kuat yang terbuat dari paduan samarium dan kobalt.
3. Magnet keramik, seperti barium ferrite ( $\text{BaO} \times 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan strontium ferrite ( $\text{SrO} \times 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
4. Magnet Alnico (Al, Ni, Co, Fe)

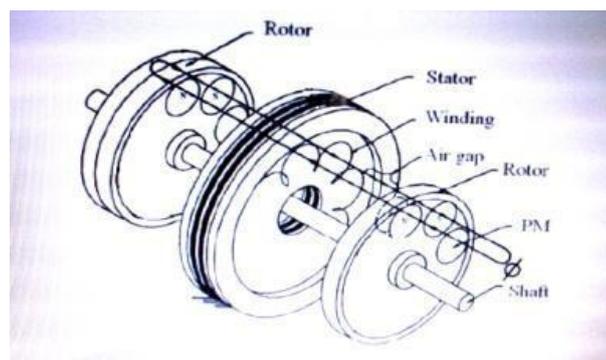
Magnet adalah bagian yang terpenting dalam generator. Fungsinya adalah untuk menghasilkan fluks magnetik yang dipakai untuk membangkitkan ggl induksi pada kumparan yang telah dipasang (stator). Untuk membangkitkan ggl

induksi maka perlu perubahan fluks magnet yang mengenai kumparan tersebut. Perubahan fluks magnetik ini akan diproses melalui gerakan yang berputar (mekanik).

#### 2.2.4 Prinsip Kerja *Generator Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)*

Prinsip kerja generator *Generator Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)* sebenarnya tidak jauh berbeda dengan prinsip kerja generator konvensional pada umumnya. Penggunaan magnet permanen menghasilkan medan magnet yang tetap sehingga tidak memerlukan pemacu arus searah untuk menghasilkan medan magnet. Secara sederhananya prinsip kerja *Generator Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)* dapat dijelaskan bahwa tegangan akan diinduksikan pada konduktor, apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet sehingga menimbulkan energi listrik.

Generator ini juga memiliki konstruksi umum yang diperlihatkan pada Gambar 2.2 yaitu terdapat rotor yang memiliki magnet permanen sebagai sumber medan magnet, kumparan stator sebagai tempat terjadinya induksi elektromagnetik, dan celah udara antara rotor dan stator.

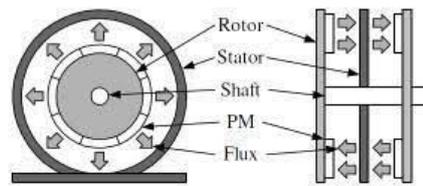


**Gambar 2.5 Konstruksi Umum Generator Fluks Aksial**

#### 2.2.5 Jenis-jenis Konstruksi Generator Fluks Aksial

##### 2.2.5.1 Konstruksi Satu Sisi

Konstruksi mesin fluks aksial ini paling sederhana karena memiliki satu buah rotor dan satu rangkaian stator. Namun torsi yang dihasilkan lebih kecil daripada jenis konstruksi lainnya.



**Gambar 2.6 konstruksi mesin AFPM tipe satu sisi**

Pada pengerjaan tugas akhir ini, konstruksi jenis inilah yang akan digunakan untuk pembuatan rancang bangun generator aksial fluks magnet permanen.

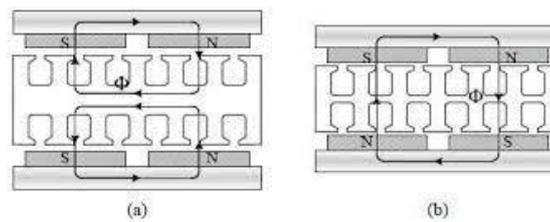
### 2.2.5.2 Konstruksi Dua Sisi dengan Stator Eksternal

Mesin ini memiliki  $N$  rotor dan  $N+1$  stator ( $N>0$ ), dimana kumparan armaturnya terletak pada dua stator, serta terdapat rotor disk dengan magnet permanen terletak diantara kedua stator tersebut. Konstruksi ini sering disebut dengan tipe AFIR atau eksternal stator. Pada tipe ini tidak ada variasi tipe N-N dan N-S pada rotornya, melainkan terdapat variasi bentuk konstruksi statornya.

Celah udara yang dimiliki lebih besar daripada jenis konstruksi sebelumnya, yaitu terdiri atas dua celah mekanis antara stator dan rotor, ditambah dengan jarak aksila antara magnet permanen. Konstruksi dua sisi dengan kedua stator terhubung paralel dapat beroperasi apabila salah satu statornya rusak, namun di sisi lain, apabila terhubung secara seri, akan menghasilkan dua gaya sama besar tetapi saling berlawanan.

### 2.2.5.3 Konstruksi Dua Sisi dengan Stator Internal

Mesin ini memiliki  $N$  stator dan  $N+1$  rotor ( $N>0$ ) dimana dua buah rotor disk dengan magnet permanen mengapit kumparan stator di tengah. Konstruksi ini disebut dengan tipe TORUS. Berdasarkan pada arah dari fluks magnetiknya, mesin AFPM tipe TORUS ini dibagi menjadi dua tipe, yaitu TORUS N-N (*North-North*) dan tipe TORUS N-S (*North-South*) seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.7 Aliran Fluks Magnet pada tipe TORUS**

**(a) TORUS tipe NN; (b) TORUS tipe NS**

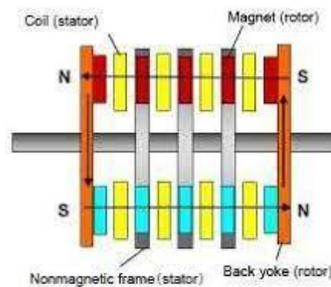
Pada konfigurasi tipe TORUS N-N , kutub N dan N atau kutub S dan S saling berhadapan satu sama lain. Fluks magnetik mengalir dari kutub utara (N) melewati celah udara lalu ditangkap oleh kutub selatan (S) yang berada disamping kanan dari kutub utara (N) di rotor yang sama. Sedangkan pada tipe TORUS N-S, fluks mengalir dari kutub utara (N) melewati celah udara dan stator lalu ditangkap oleh kutub selatan (S), yang berhadapan dengan kutub utara (N) pada rotor yang berbeda. Dengan ini, tipe TORUS N-S membutuhkan diameter stator yang lebih besar bila dibandingkan dengan tipe N-N, sehingga rugi-rugi tembaga pada kumparan meningkat dan efisiensi akan berkurang. Namun, tipe N-S tidak membutuhkan inti pada stator dikarenakan aliran fluks yang tegak lurus secara aksial sehingga rugi-rugi antara inti stator dapat dihilangkan dan efisiensi kembali naik.

#### 2.2.5.4 Konstruksi Sisi Berlapis-lapis

Konsep ini muncul karena adanya keterbatasan pada meningkatnya torsi yang dapat dicapai dengan cara memperbesar diameter mesin AFPM. Faktor-faktor yang membatasi adalah:

1. Tekanan aksial yang ditahan bearing terlalu besar
2. Kekuatan mekanis pada sendi antara disk rotor dan shaft
3. Pada kecepatan putar yang tinggi, disk yang terlalu lebar akan bergetar sehingga torsi yang dihasilkan pun tidak konstan melainkan terdapat *ripple* pada keluarannya.

Solusi yang mungkin dilakukan untuk terus meningkatkan besar torsi mesin adalah dengan menumpuk dua,tiga,atau lebih disk mesin AFPM seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.8 Konstruksi Mesin AFPM Tipe Sisi Berlapis-lapis**

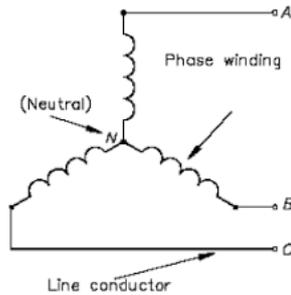
Konstruksi generator ini cukup besar jika dibandingkan pada dua tipe sebelumnya telah dibahas di atas. Tidak hanya itu, pada generator ini juga memiliki transfer panas yang tidak begitu baik dibandingkan dengan kedua tipe sebelumnya.

### 2.2.6 Rangkaian Tiga Fasa

Mesin listrik terdiri dari dua jenis yaitu mesin arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC). Mesin AC terdiri dari dua jenis yaitu mesin sinkron dan induksi. Mesin sinkron berfungsi sebagai generator apabila merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada sistem tenaga listrik fasa 3, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang, daya pembangkitan = daya pemakaian, dan juga pada tegangan yang seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fasa yang mempunyai magnitude dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 fasa dengan yang lainnya mempunyai beda fasa sebesar  $120^\circ$  listrik, sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar  $60^\circ$ , dan dapat dihubungkan secara bintang (Y) atau segitiga ( $\Delta$ ).

#### 2.2.6.1 Hubungan bintang / Star (Y)

Pada hubungan bintang (Y), ujung-ujung tiap fasa dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a – b – c mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan  $V_a, V_b$  dan  $V_c$  disebut tegangan fasa atau  $V_f$

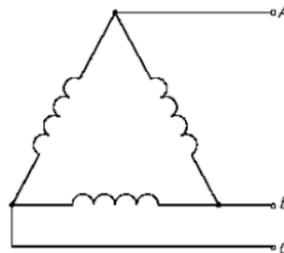


**Gambar 2.9 Hubungan bintang / Star (Y)**

Dengan adanya saluran atau titik netral maka besaran tegangan fasa dihitung terhadap saluran atau titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan fasa 3 yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fasa).  $V_{line} = \sqrt{3} \cdot V_f = 1,73V_f$ . Sedangkan untuk arus yang mengalir pada semua fasa mempunyai nilai yang sama per line = I fasa,  $I_a = I_b = I_c$ .

#### 2.2.6.2 Hubungan Delta / Segitiga ( $\Delta$ )

Pada hubungan segitiga (delta) ketiga fasa saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga fasa 3. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9



**Gambar 2.10 Hubungan Segitiga**

Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fasa, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka  $V_{line} = V_{phasa}$ , Tetapi arus saluran dan arus fasa tidak sama dan hubungan antara kedua arus tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kirchoff, sehingga :  $I_{line} = I_f \cdot \sqrt{3}$

#### 2.2.7 Lilitan Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa kumpulan lilitan konduktor yang dihubungkan secara bintang (Y). Jumlah belitan konduktor stator sangat

mempengaruhi besarnya daya keluaran generator, untuk menentukan banyaknya jumlah belitan/ lilitan stator per fasa, maka digunakan persamaan berikut :

$$N1 = \frac{E}{4,44.f.K_{wl}.\phi_f} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- N1 = Jumlah Lilitan
- E = Tegangan fasa (volt)
- f = Frekuensi (Hz)
- $\phi_f$  = Fluks Magnet (Wb)
- $K_{wl}$  = Faktor Belitan

### 2.2.8 Daya Generator

Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada satu titik jaringan listrik tiap satu satuan waktu. Dengan satuan Watt atau Joule per detik dalam SI, daya listrik menjadi besaran terukur adanya produksi energi listrik oleh pembangkit, maupun adanya penyerapan energi listrik oleh beban listrik.

Daya listrik menjadi pembeda antara beban dengan pembangkit listrik, dimana beban listrik bersifat menyerap daya sedangkan pembangkit listrik bersifat mengeluarkan daya. Berdasarkan kesepakatan universal, daya listrik yang mengalir dari rangkaian masuk ke komponen listrik bernilai positif. Sedangkan daya listrik yang masuk ke rangkaian listrik dan berasal dari komponen listrik, maka daya tersebut bernilai negatif (Priyatna, Haryanto, & Munarto, 2016). Untuk penggunaan sistem arus AC satu fasa dan tiga fasa dikenal 3 daya yaitu :

#### 2.2.8.1 Daya Semu

Daya semu dikatakan daya total dari kapasitas daya maksimal generator atau diartikan sebagai penjumlahan daya aktif dan daya reaktif.

$$S = V \times I \text{ (VA) (satu fasa).} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (VA) (tiga fasa).} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\text{atau } S = \sqrt{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana :

- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (A)

$P = \text{Daya aktif}$

$Q = \text{Daya reaktif}$

### 2.2.8.2 Daya Aktif

Daya aktif sering disebut daya nyata yang memiliki satuan Watt dan merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Daya ini sering digunakan secara umum oleh konsumen dan sebagai satuan yang digunakan untuk daya listrik dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Dimana dalam perhitungan phasa yaitu :

$$P = V \times I \times \cos \varphi \text{ (satu fasa) ..... (2.31)}$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \text{ (tiga fasa). (2.32)}$$

### 2.2.8.3 Daya Reaktif

Daya reaktif dengan satuan Volt Ampere Reactive (VAR), merupakan daya yang disupply oleh komponen reaktif, atau disebut juga jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet tersebut akan terbentuk fluks-fluks magnet. Dimana dalam perhitungan phasa yaitu :

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \text{ (satu fasa) ..... (2.33)}$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \text{ (tiga fasa)..... (2.34)}$$

### 2.2.9 Faktor daya

Faktor daya yang sering disebut sebagai  $\cos \varphi$  didefinisikan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) atau sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian. Adanya nilai faktor daya pada sistem tegangan AC disebabkan adanya beban yang mengalir dan nilainya

bergantung pada karakteristik beban tersebut (Zuhal, 2000).

$$\text{Persamaan faktor daya } \cos \phi = \frac{P}{S}$$

Dimana :

$P$  = Daya aktif (Watt)

$S$  = Daya semu (Volt Ampere)

*Faktor daya ( $\cos \phi$ ) merupakan rasio besarnya daya aktif yang bisa kita manfaatkan terhadap daya tampak (semu) yang dihasilkan sumber".* Faktor daya rendah juga merugikan karena mengakibatkan arus beban menjadi lebih tinggi. Daya reaktif yang tinggi menyebabkan meningkatnya sudut segitiga daya sehingga menghasilkan faktor daya yang rendah, begitu pula sebaliknya.

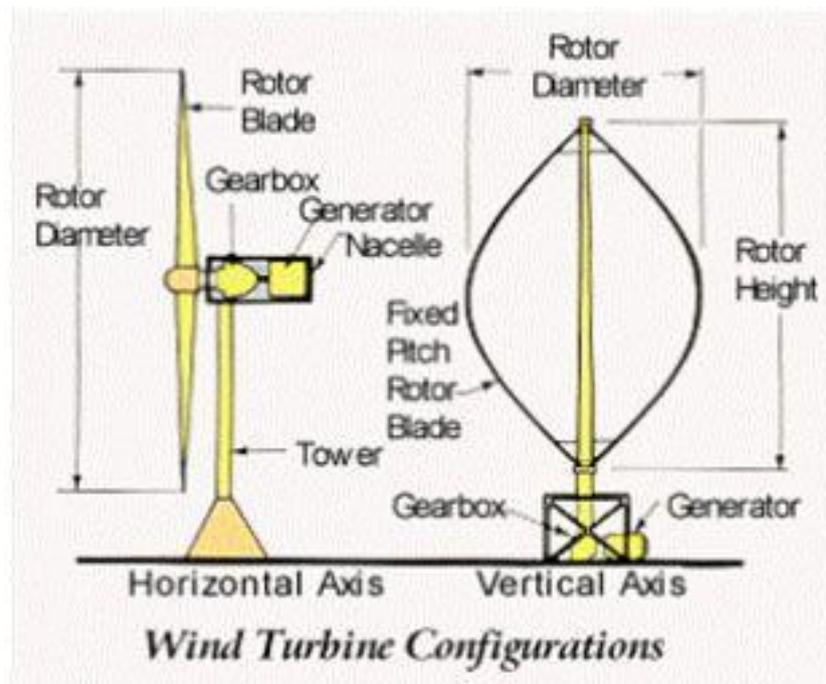
### **2.2.10 Klasifikasi Turbin Angin**

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang bekerja pada rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu jenis drag (tipe drag) dan jenis lift (tipe lift) (Hemami, 2012). Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya drag memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya lift. Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu horizontal axis wind turbine (HAWT) dan vertical axis wind turbine (VAWT) (Mathew, 2006).

#### **2.2.10.1. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)**

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang

digandengkan ke sebuah servo motor. TASH sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuatkaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resistensi angin dari bilah-bilah itu.



**Gambar 2.11 Turbin TASH**

**Kelebihan turbin angin sumbu horizontal (TASH) :**

a. Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

Kekurangan TASH :

a. Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin

b. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.

c. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator

d. TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport

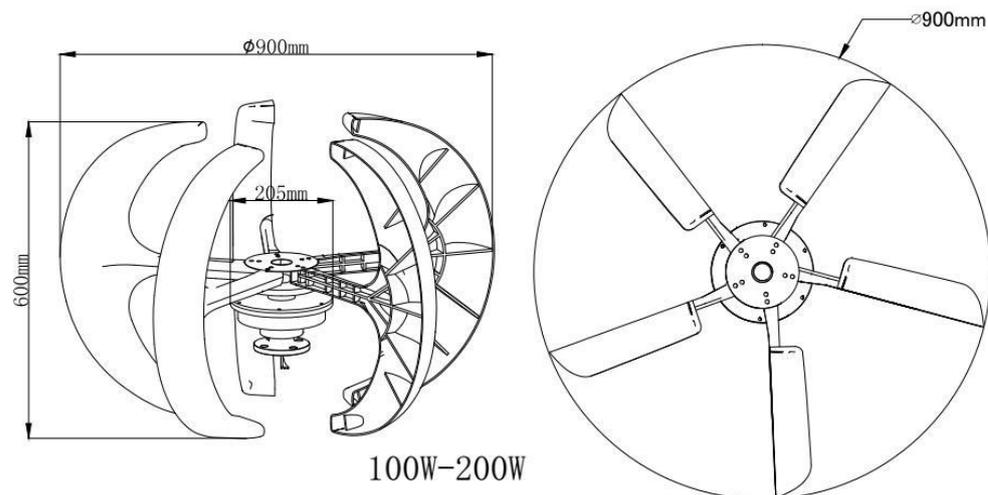
e. Ukurannya yang tinggi merintang jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap

f. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi

g. TASH membutuhkan mekanisme kontrol yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin

#### **2.2.10.2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)**

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.



**Gambar 2. 12 Turbin TASV**

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan bearing wear yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasangi menaraturbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

Kelebihan turbin angin sumbu vertikal (TASV) :

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b. Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.

- c. Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- d. TASV memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- e. Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
- f. TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.)
- g. TASV biasanya memiliki tip speed ratio (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- h. TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- i. TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit),
- j. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- k. Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

Kekurangan dari TASV :

- a. Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- b. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.

- c. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- d. Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada Bab ini akan dijelaskan tempat dan lokasi penelitian serta langkah-langkah pemecahan masalah yang akan di bahas, meliputi langkah-langkah pengumpulan data , langkah-langkah percobaan dan cara-cara pengolahan data.

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kampus III Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Glugur Darat II Medan. Waktu Penelitian direncanakan berlangsung selama lebih kurang 3 (tiga) bulan dimulai dari perencanaan bahan, pembuatan material, pengujian, dan pengambilan data pengujian.

#### **3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian**

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

##### **3.2.1 Bahan-bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan untuk Rancang Bangun Generator *Axial Flux Magnet Permanent* (AFPMP) adalah sebagai berikut :

1. Kawat *email* ukuran 0.60 mm sebagai bahan dasar pembuatan gulungan stator
2. Mal kumparan untuk mencetak bentuk lilitan
3. Lem loctite untuk merekatkan kawat *email*
4. Plat bulat 6 mm diameter 20,5 cm
5. Bearing 6001 ZZ (2 pcs)
6. As ½ inchi
7. Magnet neodmium (12 pcs)

##### **3.2.2 Peralatan Penelitian**

Peralatan yang digunakan untuk merancang Generator *Axial Flux Magnet Permanen* adalah :

1. Multimeter berfungsi untuk mengukur tegangan output generator *axial flux* magnet permanen

2. Tang untuk memotong maupun mengupas kabel serta menjepit (menghubungkan) kabel
3. Tachometer untuk mengukur putaran per *second* (*rpm*) pada piringan rotor.

### **3.3 Langkah-langkah Penelitian**

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan investigasi pada penelitian ini adalah :

#### **3.3.1 Studi Literatur**

Mencari referensi teori serta kumpulan jurnal dengan topik kasus yang sama untuk mempelajari berbagai informasi yang berkaitan untuk penelitian ini.

#### **3.3.2 Studi Bimbingan**

Studi bimbingan ini berupa tanya jawab (interaksi) dengan dosen pembimbing mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini agar dapat mengembangkan potensi diri ataupun menyelesaikan masalah pada penelitian ini.

#### **3.3.3 Jalannya Penelitian**

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan yang dihasilkan oleh generator *axial flux magnet permanent* dalam hal untuk mencari efisiensi putaran pada turbin angin

#### **3.3.4 Perancangan Stator dan Rotor**

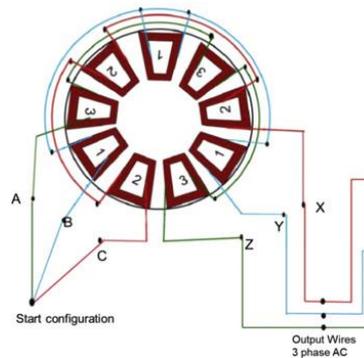
##### **1. Perancangan Stator**

Untuk merancang suatu belitan stator harus menentukan jumlah belitan stator. Belitan stator terdiri dari sejumlah belitan atau kumparan, yang diletakkan dalam alur-alur inti stator. Pada stator terdapat gulungan kawat yang akan memotong medan magnet pada saat magnet generator berputar.

Stator berfungsi sebagai kumparan jangkar yang menghasilkan tegangan keluaran pada generator. Diameter kawat tembaga atau kawat *enamel* yang digunakan pada perancangan generator fluks aksial 100 watt ini adalah ukuran 0.60 mm.

### a. Belitan Stator Fasa 3

Belitan tiga fasa pada dasarnya terdiri atas tiga kumparan serupa, yang tergeser  $120^\circ$  listrik. Untuk fasa R terdapat pada kumparan Z, fasa S terletak pada kumparan Y, dan untuk fasa T terletak pada kumparan X



**Gambar 3.1 Perancangan Lilitan Stator Fasa 3 Hubung Bintang 9 Koil**

Jumlah koil	Jumlah pasang kutub (pole)	Jumlah koil per fasa ( $n_c$ )
6	8	2
9	12	3
12	16	4
15	20	5
18	24	6

**Tabel 3.1 Jumlah Koil Pada Stator Fasa 3**

Tabel 3.2 dapat digunakan untuk menentukan banyaknya jumlah koil per fasa, jumlah koil pada stator dan kutub pada rotor.

### b. Lilitan Stator

Jumlah belitan stator sangat menentukan besarnya daya yang dikeluarkan suatu generator. Pada perancangan ini menggunakan

lilitan jenis enamel berdiameter 0,6 mm dengan jumlah lilitan sebanyak 125 lilitan.

### c. Jumlah koil Stator

Setelah lilitan terbentuk berbentuk *axial flux* dengan jumlah lilitan sebanyak 125 lilitan, maka jumlah koil yang akan digunakan pada penelitian generator *axial flux* ini adalah sebanyak 9 koil (terlihat pada tabel 3.2) hal ini dikarenakan kita merancang generator ini menggunakan 12 kutub magnet permanen.

## 2. Perancangan Rotor.

### a. Pembuatan Plat Rotor

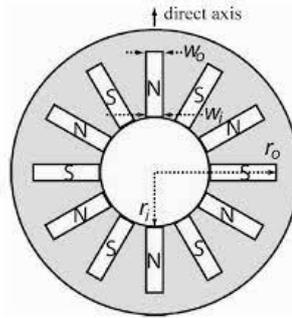
Pada proses ini plat yang digunakan adalah plat besi dengan tebal plat sebesar 0,47 cm berbentuk lingkaran yang berdiameter 8,83 cm.



**Gambar 3.2 Piringan Plat Rotor**

### b. Perancangan Tata Letak Magnet *Neodymium (NdFeB)* Pada Piringan Plat Rotor

Pada proses ini jumlah magnet yang dipasang berjumlah 12 pcs dan diletakkan pada permukaan plat piringan rotor secara melingkar sehingga memenuhi permukaan piringan plat tersebut. Tata letak magnet *Neodymium* sendiri diletakkan secara berlawanan arah (bergantian) sisi-sisinya.



**Gambar 3.3 Tata Letak Magnet *Neodymium* Pada Piringan Rotor**

### 3.3.5 Pengujian Alat

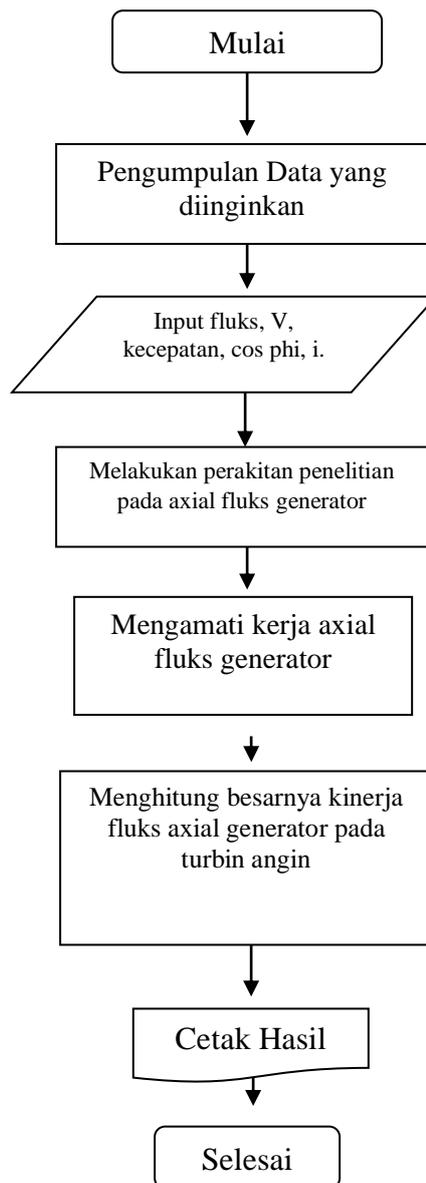
1. Pengujian Generator *Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)* tanpa beban
2. Pengujian Generator *Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)* dengan adanya beban
3. Pengujian Generator *Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)* dengan variasi kecepatan putaran (rpm)

### 3.3.6 Pembuatan Laporan

1. Pembuatan laporan ini berfungsi untuk menuliskan hasil penelitian yang telah didapat dan sebagai sarana pertanggung jawaban terhadap penelitian yang telah dilakukan. Laporan ini digunakan untuk seminar hasil dan sidang meja hijau

## 3.4 *Flowchart* Penelitian

Adapun proses berlangsungnya pelaksanaan penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk alur diagram *flowchart* berikut ini :



**Gambar 3.4.** Diagram alir penelitian

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) Tanpa Beban

Generator *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) ini dibuat dengan 12 kutub magnet pada bagian rotornya serta terdapat 9 coil pada bagian stator nya dengan kawat enamel yang diameternya 0.60 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter dan tachometer. Pengujian dilakukan dengan memutar piringan rotor sehingga mengeluarkan tegangan. Variasi putaran dilakukan pada pengujian tanpa beban ini. Pengujian tegangan generator *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) tanpa beban ini dapat dilihat pada table 4.1



Gambar 4.1 pengukuran 163Rpm



Gambar 4.2 pengukuran dengan 320 Rpm



Gambar 4.3 pengukuran dengan 540 Rpm



Gambar 4.4 pengukuran dengan 731 Rpm



Gambar 4.5 pengukuran dengan 1036 Rpm

No	Variasi Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)
1	163 rpm	4,93 volt
2	320 rpm	8,83 volt
3	540 rpm	14,75 volt
4	731 rpm	19,89 volt
5	1036 rpm	27,6 volt

Tabel 4.1. Hasil pengujian tegangan generator *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) tanpa beban

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian pada generator, maka dapat di analisa frekuensi keluaran generator sebagai berikut :

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

$$n \cdot p = 120 \cdot f$$

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

$$F_1 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(163)(12)}{120} = 16,3 \text{ Hz}$$

$$F_2 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(320)(12)}{120} = 32 \text{ Hz}$$

$$F_3 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(570)(12)}{120} = 57 \text{ Hz}$$

$$F_4 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(731)(12)}{120} = 73,1 \text{ Hz}$$

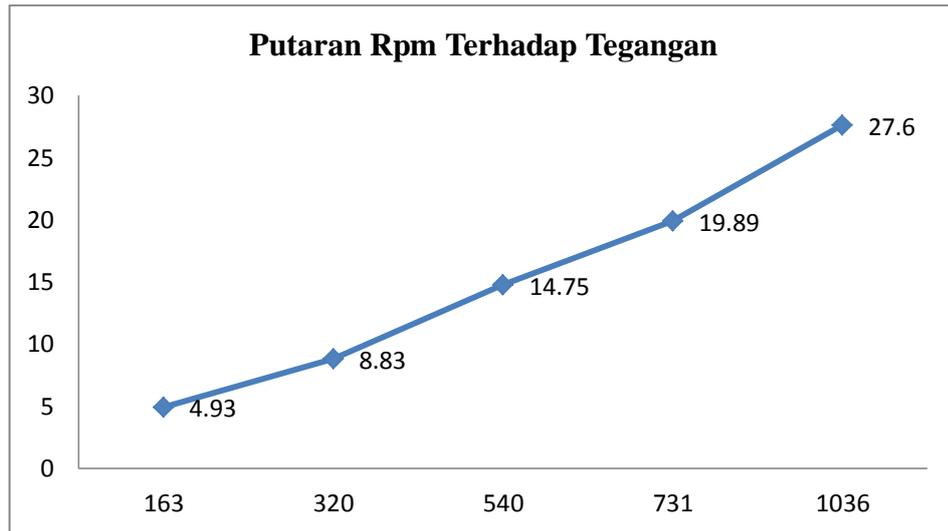
$$F_5 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(1036)(12)}{120} = 103,6 \text{ Hz}$$

No	Variasi Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)
1	163 rpm	4,93 volt	16,3 Hz
2	320 rpm	8,83 volt	32 Hz
3	540 rpm	14,75 volt	54 Hz
4	731 rpm	19,89 volt	73,1 Hz
5	1036 rpm	27,6 volt	103,6 Hz

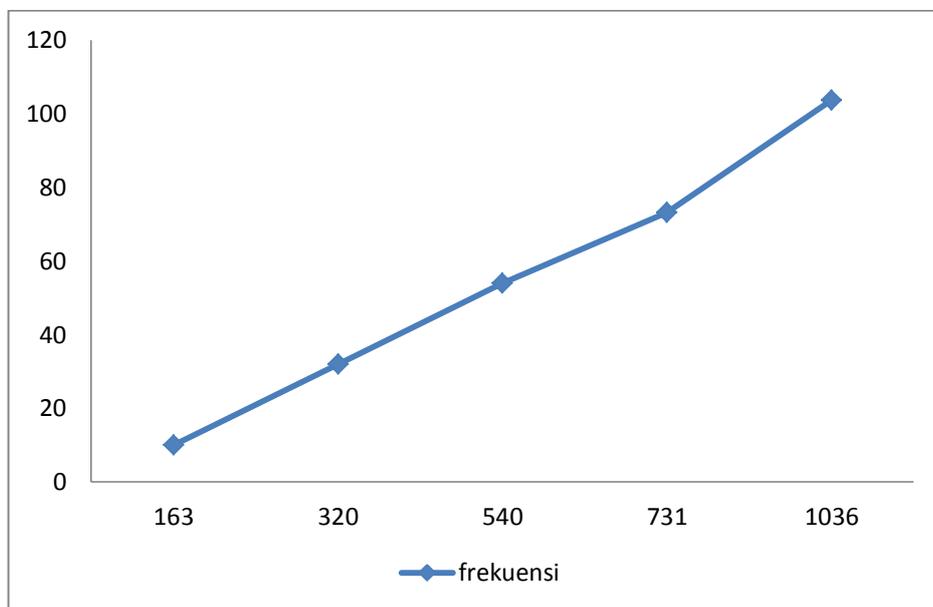
Tabel 4.2. Hasil pengujian tegangan dan frekuensi generator *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) tanpa beban

Dari hasil yang diperoleh pada tabel 4.2 dapat dilihat nilai tegangan dan frekuensi generator pada setiap pengujian. Perubahan putaran generator mempengaruhi nilai tegangan generator. Semakin besar putaran yang diberikan maka nilai tegangan dan frekuensi juga akan semakin bertambah nilainya. Tegangan tertinggi dicapai pada pengaturan kecepatan 1000 Rpm menghasilkan tegangan sebesar 27,17 volt, sedangkan nilai terendah dicapai pada pengaturan kecepatan 100 Rpm menghasilkan tegangan sebesar 5,71 volt.

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.2 diperoleh hubungan grafik antara kecepatan generator dengan  $v_{out}$  seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.6 Grafik karakteristik putaran Rpm *Generator Axial Flux magnet Permanent* terhadap Tegangan output generator tanpa beban



Gambar 4.7 Grafik karakteristik putaran Rpm *Generator Axial Flux magnet Permanent* terhadap frekuensi generator tanpa beban

Gambar 4.1 kurva grafik menunjukkan perbedaan tegangan generator pada setiap pengukuran dan perhitungan yang dilakukan. Pada saat pengukuran dengan pengaturan Rpm yang berbeda yaitu 163,320,540,731,1036 rpm.

#### 4.2 Pengujian *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) dengan Beban

Pengujian selanjutnya melakukan pengujian karakteristik generator menggunakan beban lampu pijar. Pengujian karakteristik generator beban lampu pijar pada penelitian dilakukan sebanyak 5 kali. Dalam pengujian ini menggunakan beban 18 watt dengan dan beban 35 watt. Setiap pengujian dilakukan pada arus putaran rpm yang berbeda-beda. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh data hasil pengujian karakteristik generator dengan beban 18 watt dan 35 watt seperti yang tertera pada tabel 4.3.

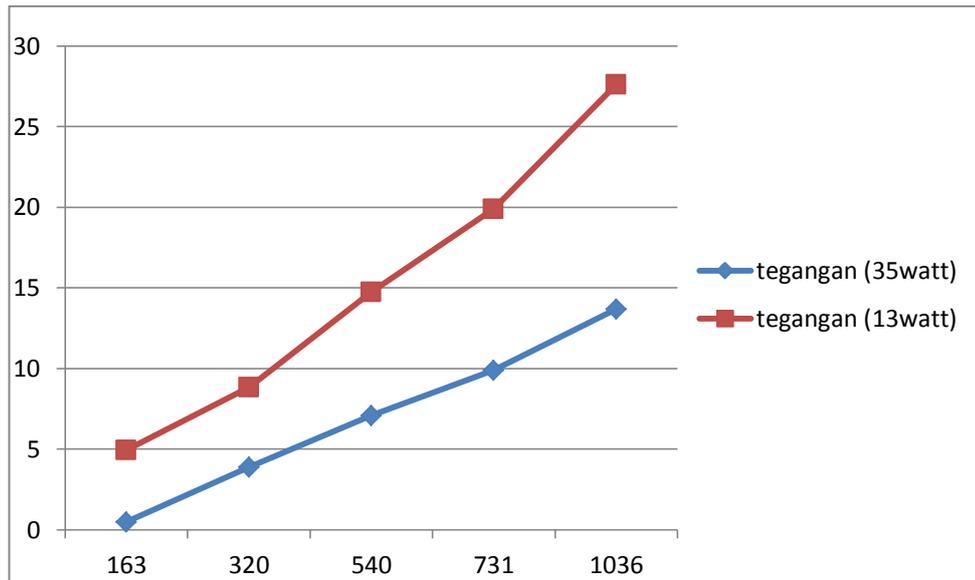
Gambar dari pengujian dengan beban 18watt

NO	VARIASI PUTARAN (rpm)	OUTPUT			
		TEGANGAN MENGUNAKAN BEBAN (V)		ARUS MENGUNAKAN BEBAN (A)	
		18 WATT	35 WATT	18 WATT	35 WATT
1	163 rpm	4,93 volt	0,5 V	0,4 A	0,2 A
2	320 rpm	8,83 volt	3,9 V	0,8 A	0,6 A
3	540 rpm	14,75 volt	7,1 V	1,24 A	1,12 A
4	731 rpm	19,89 volt	9,9 V	1,89 A	1,59 A
5	1036 rpm	27,6 volt	13,7 V	2,23 A	2,15 A

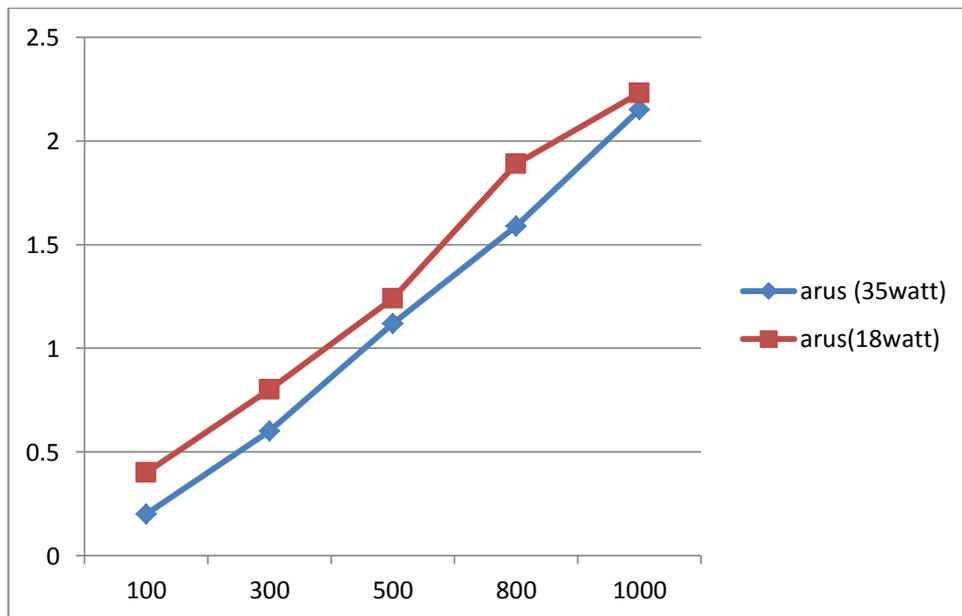
Tabel 4.3. Hasil pengujian tegangan generator *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) berbeban.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian pada generator, maka dapat di analisa daya keluaran generator.

$$P_{\text{out}} = V_L \cdot I_L \dots\dots\dots(4.2)$$



Gambar 4.8 Grafik karakteristik putaran Rpm *Generator Axial Flux magnet Permanent* terhadap tegangan output generator dengan beban



Gambar 4.9 Grafik karakteristik putaran Rpm *Generator Axial Flux magnet Permanent* terhadap arus output generator dengan beban

Pada putaran 163 rpm

Beban 18 watt

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (4,93) \cdot (0,4) \\ &= 1,972 \text{ watt} \end{aligned}$$

Beban 35 watt

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (0,5) \cdot (0,2) \\ &= 0,1 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada putaran 320 rpm

Beban 18 watt

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (8,83) \cdot (0,8) \\ &= 7,064 \text{ watt} \end{aligned}$$

Beban 35 watt

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (3,9) \cdot (0,6) \\ &= 2,34 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada putaran 540 rpm

Beban 18 watt

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (14,75) \cdot (1,24) \\ &= 18,29 \text{ watt} \end{aligned}$$

Beban 35 watt

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (7,1) \cdot (1,12) \\ &= 7,952 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pada putaran 731 rpm

Beban 18 watt

$$\begin{aligned}P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (19,89) \cdot (1,89) \\ &= 37,59 \text{ watt}\end{aligned}$$

Beban 35 watt

$$\begin{aligned}P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (9,9) \cdot (1,59) \\ &= 18,71 \text{ watt}\end{aligned}$$

Pada putaran 1036 rpm

Beban 18 watt

$$\begin{aligned}P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (27,6) \cdot (2,23) \\ &= 61,54 \text{ watt}\end{aligned}$$

Beban 35 watt

$$\begin{aligned}P_{\text{out}} &= V_L \cdot I_L \\ &= (13,7) \cdot (2,15) \\ &= 29,45 \text{ watt}\end{aligned}$$

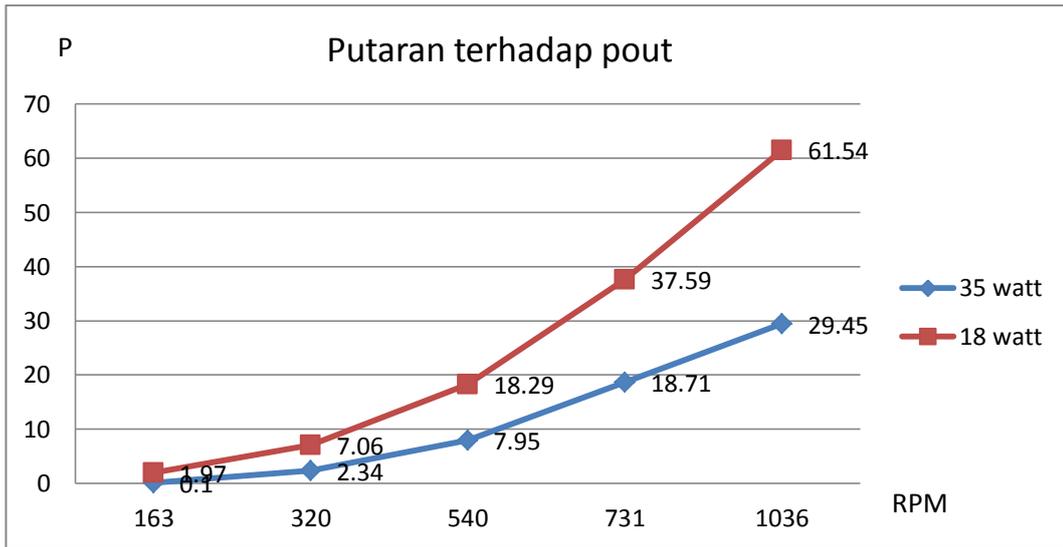
Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.3 diperoleh daya keluaran generator

NO	VARIASI PUTARAN (rpm)	OUTPUT					
		TEGANGAN		ARUS		Daya	
		18 WATT	35 WATT	18 WATT	35 WATT	18 WATT	35 WATT
1	163 rpm	4,93 v	0,5 V	0,4 A	0,2 A	1,97 W	0,1 W
2	320 rpm	8,83 v	3,9 V	0,8 A	0,6 A	7,06 W	2,34 W
3	540 rpm	14,75 v	7,1 V	1,24 A	1,12 A	18,29 W	7,95 W
4	731 rpm	19,89 v	9,9 V	1,89 A	1,59 A	37,59 W	18.71 W
5	1036 rpm	27,6 v	13,7 V	2,23 A	2,15 A	61,54 W	29,45 W

Tabel 4.4. Hasil perhitungan daya generator *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) berbeban.

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.4 dapat dilihat daya generator pada setiap pengujian. Perubahan putaran generator memengaruhi nilai tegangan, arus serta daya generator. Semakin besar putaran yang diberikan maka nilai tegangan, arus serta daya juga akan semakin bertambah nilainya. Daya tertinggi dicapai pada pengaturan kecepatan 1036 rpm pada beban 18 watt menghasilkan daya sebesar 61,54W.

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.4 diperoleh hubungan grafik antara kecepatan terhadap daya beban 18 watt dan 35 watt.



Gambar 4.10 Grafik karakteristik putaran Rpm Generator Axial Flux magnet Permanent terhadap daya output generator dengan beban

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian pada generator, maka dapat di analisa efisiensi keluaran generator.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= I_L \cdot V_L \\
 P_{in} &= I_L \cdot E_g \\
 E_g &= I_L \cdot R + V_L \\
 P_{out} &= I_L \cdot V_L \\
 &= (1,24) \cdot (14,75) \\
 &= 18,29 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_g &= I_L \cdot R + V_L \\
 &= (1,24) \cdot (0,64) + (14,75) \\
 &= 15,54 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= I_L \cdot E_g \\
 &= (1,24) \cdot (15,54) \\
 &= 19,26
 \end{aligned}$$

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

$$\eta = \frac{18,29}{19,26} \times 100\%$$

$$\eta = 95 \%$$

$$P_{losses} = \frac{P_{in}-P_{out}}{P_{in}} 100\%$$

$$= \frac{19,26-18,29}{19,26} 100\%$$

$$= 4\%$$

Gambar 4.4 kurva grafik menunjukkan perbedaan daya generator pada setiap pengukuran terhadap beban yang berbeda-beda. Yang dimana daya terbesar diperoleh saat putaran 1036 rpm pada beban 18 watt menghasilkan daya sebesar 61,54 watt. Pada 35 watt menghasilkan daya terbesar sebesar 29,45 watt

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari pembahasan mengenai perhitungan, pengujian dan analisis yang terdapat pada Bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh putaran sangat mempengaruhi besar kecilnya nilai arus, tegangan serta daya yang dikeluarkan oleh generator *Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)*.
2. Pengaruh beban sangat mempengaruhi parameter output generator, semakin besar beban yang diberikan maka output generator semakin kecil. Yang dimana daya terbesar diperoleh saat putaran 1000 rpm pada beban 18 watt menghasilkan daya sebesar 61,54 watt. Pada 35 watt menghasilkan daya terbesar sebesar 29,45 watt

#### **5.2 Saran**

1. Untuk mendapatkan tegangan yang maksimal sebaiknya menggunakan putaran turbin yang lebih besar lagi.
2. Untuk mendapatkan hasil yang akurat dalam pengukuran sebaiknya menggunakan alat ukur yang memiliki ketelitian tinggi

### DAFTAR PUSTAKA

- Muhammad H. Rashid, *Elektronika Daya: Rangkaian, Devais, dan Aplikasinya*, Jilid 1, PT Prenhallindo, Jakarta: Indonesia, 1999.
- Sauli Jäntti, CODGUNet Project Group, *Connection of Distributed Energy Generation Units in the Distribution Network and Grid (CODGUNet Project)*, Final Report, Oy Merinova Ab, September 2003.
- D. W. Thielens, Peter T. M. Vaessen, *The Transition of Grid: It's All in the Mix*, *Electrical Power Quality and Utilisation Magazine*, Vol. I, No. 1, 2005.
- Haryo Agung W., *Prediksi Profil Gaya Gerak Listrik Pada Generator Sinkron Fluksi Aksial Magnet Permanen*, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, 2008.
- Ardha Pradikta Rahardjo, *Prediksi Induktansi pada Generator Sinkron Magnet Permanen Fluksi Aksial dengan Metode Quasi-3D*, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, 2009.
- Piggott, Hugh, *How to Build a Wind Turbine: The Axial Flux Windmill Plans*, 2005.
- J.F. Gieras, R.J. Wang, M.J. Kamper, *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machine*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2004.
- Nikos D. Hatziargyriou, A.P. Sakis Meliopoulos, *Distributed Energy Sources: Technical Challenges*. 2010.
- S.A. Papathanassiou, G.A. Vokas, M. P. Papadopoulos, *Use of Power* Zuhail. (2000). *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama

Aini, A. N., Eldion, M. B., & Endarko. (2016). *Rangkaian RLC Seri Arus AC (E7)*. *Jurnal Elektronika Dasar II*. NRp:1114-094

T. H. Mulud, "Pengaruh Magnet Permanen Sebagai Penguat Medan Magnet Pada Pembangkit Tenaga Listrik," *Pros. SNST*, no. 2011, pp. 17– 22, 2014.

Akbar maulana. (2012). *Rancang Bangun Generator Turbin Angin Axial Tiga Fasa Untuk Kecepatan Angin Rendah*. Universitas Indonesia. Depok

Fajar Abdul. (2014). *Rancang Bangun Generator Sinkron Axial Flux Permanent Magnet 1500 Watt*. ISTN, Jakarta

Prof. Ir. Abdul Kadir "Mesin Sinkron" Penerbit Djambatan, Jakarta 1999

A. Parviainen, 2005, *Design of Axial-Flux Permanent-Magnet Low-Speed Machines and Performance Comparison Between Radial-Flux and Axial-Flux Machines*.