

TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN AXIAL FLUX GENERATOR MAGNET
PERMANEN (AFPM) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PADA
TURBIN ANGIN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

DISUSUN OLEH :

AHMAD ZAKY KHADAFI
1507220120



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

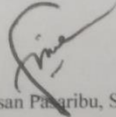
Nama Lengkap : Ahmad Zaky Khadafi
NPM : 1507220120
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN *AXIAL FLUX*
GENERATOR MAGNET PERMANEN (AFPM)
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PADA
TURBIN ANGIN
Bidang ilmu : Sistem Tenaga

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 Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 28 Juli 2022

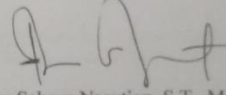
Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



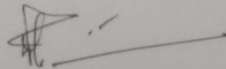
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II,



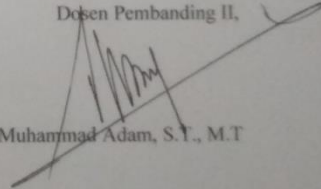
Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.pd

Dosen Pembanding I,



Ir. Abdul Azis, M.M

Dosen Pembanding II,



Muhammad Adam, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Ahmad Zaky Khadafi
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 09 Agustus 1997
NPM : 1507220120
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“RANCANG BANGUN *AXIAL FLUX GENERATOR MAGNET PERMANEN* (AFPM) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI 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 orisinal 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,

Medan, 28 Juli 2022

Saya Yang Menyatakan



A handwritten signature in black ink is written over a yellow postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '5000', 'METER TEMPEL', and 'EBAKX161132674'.

Ahmad Zaky Khadafi

Abstrak

Salah satu upaya untuk membuat energi yang ramah lingkungan tanpa adanya polusi seperti halnya pembangkit energi yang membutuhkan bahan bakar fosil yaitu batu bara, minyak bumi, gas alam, minyak serpih dan lain sebagainya, yang membuat polusi udara semakin buruk, maka dibutuhkanlah pembangkit energi alternatif. Pada umumnya generator menghasilkan tegangan dengan putaran yang putaran rpm nya cukup tinggi, dan juga membutuhkan arus *exciter* untuk arus pemicu dalam menghasilkan tegangan. Sedangkan untuk energi baru terbarukan yakni PLTA (angin dan air) membutuhkan putaran yang rendah untuk menghasilkan energi listrik dikarenakan kecepatan angin yang tidak stabil kecepatannya dan debit air relatif yang rendah. Untuk memperoleh tegangan yang konstan dengan putaran yang rendah maka dibutuhkan generator kecepatan rendah yaitu Generator AFPM (*Axial Flux Generator Magnet Permanen*).

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 yaitu pada kecepatan rendah, mampu menghasilkan tegangan dan arus sekitar 0,8 volt, 0,2 amper, pada kecepatan putar 100 rpm dan 27,7 volt, 2,15 amper variasi putaran tanpa pada kecepatan 1000 rpm. beban adalah 27,17 volt, Dan efisiensi yang dihasilkan untuk menghasilkan tegangan pada generator ini adalah sebesar 95%.

Kata kunci : *Energi Terbarukan, Generator, AFPM, Variasi Putaran (rpm)*

Abstract

One of the efforts to make energy that is environmentally friendly without pollution, such as energy plants that require fossil fuels, namely coal, oil, natural gas, shale oil and so on, which makes air pollution worse, alternative energy generators are needed. In general, the generator produces a voltage with a rotation whose rpm rotation is quite high, and also requires an exciter current for the trigger current to generate a voltage. Meanwhile, new renewable energy, namely hydropower (wind and water) requires low rotation to produce electrical energy due to unstable wind speed and relatively low water flow. To obtain a constant voltage with low rotation, a low speed generator is needed, namely the AFPM Generator (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, namely at low speed, capable of producing a voltage and current of about 0.8 volts, 0.2 amperes, at a rotational speed of 100 rpm and 27.7 volts, 2.15 amperes with no rotational variations. speed of 1000 rpm. load is 27.17 volts, and the resulting efficiency to generate voltage on this generator is 95%.

Keywords : Renewable Energy, Generator, AFPM, Rotation Variation (rpm)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wa Barakatuh.

Puji syukur kehadirat ALLAH. SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita ucapkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad. SAW karena beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kan kita pesan ilahi untuk dijadikan pedoman hidup agar dapat selamat hidup di dunia hingga nanti kembali keakhirat.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **“RANCANG BANGUN AXIAL FLUX GENERATOR MAGNET PERMANEN (AFPM) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PADA TURBIN ANGIN”**.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Kepada kedua orang tua terkhusus ibu saya tercinta karena berkat doa dan semangat serta kesabaran kalian dalam menghadapi saya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro serta dosen pembimbing I saya di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang terus memberikan ide masukan

agar tugas akhir ini selesai dikerjakann.

5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd, selaku Dosen Pembimbing II yang selalu sabar membimbing, mensupport serta motivasi kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak & Ibu dosen di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teman-teman seperjuangan kelas A2 siang teknik elektro terkhusus Kiki Utama Putra dan juga Rahmad Ramadhan serta keluarga besar teknik elektro 2015 yang selalu memberikan semangat, kebersamaan yang luar biasa.
8. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
9. Keluarga besar Pimpinan Komisariat Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah Fakultas Teknik yang mensupport penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kala sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu penulis sampai mengharapkan kritik & saran yang membangun dari sepenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para peinbaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan teriina kasih.

Medan, 28 Juli 2022

Penulis,



Ahmad Zaky Khadafi

1507220120

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Metode Penelitian.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tinjauan Pustaka.....	6
2.2. Landasan Teori	9
2.3. <i>Generator Axial Flux Permanent Magnet</i>	11
2.3.1. Rotor Pada <i>Generator Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)</i>	11
2.3.2. Stator Pada <i>Generator Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)</i>	11
2.4. Magnet Permanen Pada <i>Generator Axial Flux Magnet Permanent</i> (<i>AFPM</i>).....	13
2.4.1. Jenis-jenis Magnet Permanen.....	13
2.5. Prinsip Kerja <i>Generator Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)</i>	14
2.6. Jenis-jenis Kontruksi Generator Fluks Aksial	14
2.6.1. Konstruksi Satu Sisi	14
2.6.2. Konstruksi Dua Sisi Dengan Stator Eksternal	15
2.6.3. Konstruksi Dua Sisi Dengan Stator Internal	15
2.6.4. Konstruksi Sisi Berlapis-lapis.....	16
2.7. Rangkain Tiga Fasa	17
2.7.1. Hubungan Bintang / Star (Y)	18
2.7.2. Hubungna Delta / Segitiga (Δ)	19

2.8.	Lilitan Stator	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1.	Lokasi Penelitian	21
3.2.	Bahan dan Peralatan Penelitian	21
3.2.1.	Bahan-bahan Penelitian	21
3.2.2.	Peralatan Penelitian	22
3.3.	Langkah-langkah Penelitian	22
3.3.1.	Studi Literatur.....	22
3.3.2.	Studi Bimbingan.....	22
3.3.3.	Jalannya Penelitian	22
3.3.4.	Perancangan Stator dan Rotor	23
3.3.5.	Pengujian Alat	26
3.3.6.	Pembuatan Laporan	26
3.4.	Diagram Alir Penelitian	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		28
4.1.	Perhitungan Stator	28
4.1.1.	Perhitungan Desain Stator.....	28
4.1.2.	Perhitungan Fluks Magnet	28
4.1.3.	Perhitungan Jumlah Lilitan	29
4.2.	Pengujian Axial Flux Generator Magnet Permanen (AFPM) Tanpa Beban	29
4.3.	Pengujian Axial Flux Generator Magnet Permanen (AFPM) Dengan Beban	32
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN		37
DAFTAR PUSTAKA		38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Topologi Generator	10
Gambar 2.2. Rotor fluks axial	11
Gambar 2.3. Stator fluks axial	12
Gambar 2.4. Konstruksi Umum Generator Fluks Aksial.....	14
Gambar 2.5. Konstruksi mesin AFPM tipe satu sisi.....	15
Gambar 2.6. Aliran Fluks Magnet pada tipe TORUS.....	16
Gambar 2.7. Konstruksi mesin AFPM tipe sisi Berlapis-lapis.....	17
Gambar 2.8. Hubungan Bintang / Star (Y).....	18
Gambar 2.10. Hubungan Segitiga	19
Gambar 3.1. Perancangan Lilitan Stator Fasa 3 Hubung Bintang 9 koil	23
Gambar 3.2. Piringan Rotor	25
Gambar 3.3. Tata Letak Magnet Neodymium Pada Piringan Rotor.....	25
Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian	27

DAFTAR TABEL

Tabel 3.2 Jumlah Koil Pada Stator Fasa 3	2
Tabel 4.1 Hasil pengujian tegangan generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) tanpa beban	30
Tabel 4.2. Hasil pengujian tegangan dan frekuensi generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) tanpa beban.....	31
Tabel. 4.3 Hasil pengujian tegangan generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) berbeban.....	33
Tabel.4.4 Hasil pengujian tegangan generator <i>Axial Flux</i> Generator Magnet Permanen (AFPM) berbeban.....	34

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik karakteristik putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet Permanent</i> terhadap Tegangan output generator tanpa beban.....	32
Grafik 4.2 Grafik karakteristik putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet Permanent</i> terhadap Arus output generator dengan beban.....	35
Grafik 4.3 Grafik karakteristik putaran Rpm <i>Generator Axial Flux magnet Permanent</i> terhadap Arus output generator dengan beban.....	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit energi listrik terbarukan merupakan pilihan terbaik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia mengingat semakin mahalnya bahan bakar dari hasil bumi yang selama ini selalu menjadi pilihan utama pada sistem pembangkitan energy listrik.

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri dan masyarakat dunia. Kebutuhan energi dipenuhi dengan fasilitas ekonomi dan teknologi yang semakin hari terus berkembang dan maju sehingga bahan bakar hasil bumi yang semakin hari semakin berkurang dan mahal harganya, serta dampak polusi yang tidak ramah lingkungan yang ditimbulkan akibat penggunaannya. Hal ini sangat mengganggu proses produksi dan distribusi energi listrik. Penerapan teknologi tinggi sebagai langkah optimalisasi hasil dari sistem pembangkit listrik dengan energi terbarukan merupakan bentuk bayaran kompensasi terhadap kecilnya debit energi yang dihasilkan. Kita tahu bahwa debit energi yang dihasilkan dari pembangkit energi terbarukan relatif lebih kecil dibandingkan dengan debit energi dari sumber tak terbarukan (Holmes. A. 2005)

Untuk menanggulangi hal ini maka banyak penelitian yang mengkaji energi alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan bakar hasil bumi dengan pemanfaatan sumber energi lain yang ramah lingkungan seperti air, angin, sinar matahari, gelombang laut yang membutuhkan generator putaran rendah untuk dapat menghasilkan energi listrik.

Pada umumnya, untuk membangkitkan energi listrik dari energi alternatif yang ramah lingkungan biasanya tetap menggunakan generator untuk proses pembangkitan listrik. Generator dengan menggunakan magnet permanent sangat efisien untuk digunakan keperluan kincir angin atau air karena mampu bekerja baik pada kecepatan putar yang rendah (hasyim Asyari, dkk 2013).

Generator yang tersedia dipasaran biasanya berjenis *high speed induction*, generator pada jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetnya. Sehingga generator jenis ini tidak cocok digunakan pada sumber energi alam yang daya putarnya rendah. Sedangkan pada perancangan generator magnet permanen *flux axial* ini menggunakan magnet permanen yang berjenis *Neodymium* (NdFeb) yang memiliki kerapatan fluks magnet yang sangat rapat sehingga tidak membutuhkan arus pemicu DC (eksitasi) serta sistem pemeliharaan yang relatif mudah sehingga berpotensi diterapkan pada pembangkit listrik piko hidro *head* rendah (Hari Prasetyo 2015). Generator ini berjenis *low speed*, artinya hanya dengan putaran rendah generator ini dapat menghasilkan energi listrik.

Selain itu generator yang tersedia di pasaran membutuhkan daya gerak tinggi untuk dapat memutar rotor generator, ini disebabkan karena kumparan generator dililitkan pada besi lunak yang menyebabkan terjadinya gaya tarik antara magnet dengan besi, sedangkan pada perancangan penelitian ini, kumparan tidak dililitkan pada besi lunak, sehingga rotor generator tetap bergerak bebas.

Penyusunan penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tentang penggunaan magnet permanen dalam pemanfaatannya untuk menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan magnet permanen sangat berguna dalam penerapan pembangkitan listrik skala kecil, karena generator magnet permanen mempunyai keunggulan, ketika hanya mendapatkan putaran rendah tetapi bisa menghasilkan energi listrik yang cukup besar. Perancangan generator *axial flux* magnet permanen ini menggunakan magnet jenis Neodymium (NdFeB atau Neo), dikarenakan magnet jenis ini mempunyai kerapatan fluks magnet yang sangat tinggi, sehingga sangat baik digunakan untuk merancang generator magnet permanen.

Dalam perancangan pembangkit listrik 100 watt ini generator magnet permanen digerakkan oleh turbin angin sebagai penggerak utama. Perancangan alat pembangkit listrik ini dirancang untuk dapat menghasilkan performa yang lebih baik pada turbin angin serta merta mencari efisiensi putaran untuk menghasilkan arus, tegangan, dan frekuensi.

Semoga pada penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi masalah krisis energi listrik dan semoga dapat dimanfaatkan untuk daerah-daerah tertinggal di negara Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah yang akan diteliti adalah :

1. Bagaimana rancang bangun Generator Axial Flux Magnet Permanen ?
2. Bagaimana karakteristik kerja Generator Axial Flux Magnet Permanen ?
3. Bagaimana efisiensi turbin angin jika menggunakan Generator Axial Flux Magnet Permanen ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mampu merancang Generator *Axial Flux* Magnet Permanen.
2. Untuk menganalisis karaktersitik Generator *Axial Flux* Magnet Permanen.
3. Untuk mengetahui efisiensi Generator *Axial Flux* Magnet Permanen.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Karena banyaknya cakupan permasalahan yang terdapat pada perancangan alat ini, maka penulis perlu untuk membatasi batasan masalah yaitu :

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.
4. Tidak melakukan pengukuran frekuensi, tapi dengan perhitungan rumus.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diambil dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Untuk menghasilkan jumlah listrik yang besar dengan putaran rpm yang rendah.
2. Dapat menambah wawasan bagi mahasiswa maupun masyarakat untuk mendapatkan energi listrik dengan cara yang baru.
3. Mampu memanfaatkan energi listrik alternatif yang ramah lingkungan.
4. Untuk mengetahui prinsip kerja Generator *Axial Flux* Magnet Permanen.
5. Dapat memberikan informasi bagi para peneliti untuk melaksanakan penelitian lanjutan.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penelitian, menggunakan beberapa metode untuk mengumpulkan data-data yang akan diperlukan untuk menyelesaikan skripsi ini.

1. Metode Studi Pustaka

Penulis melakukan studi pustaka untuk memperoleh data-data yang berhubungan dengan skripsi dari berbagai sumber bacaan seperti: Jurnal, dan website yang berkaitan dengan judul yang di angkat sebagai referensi.

2. Metode Eksperimen

Yaitu merancang alat dan bahan secara langsung dan menguji apakah alat dan bahan tersebut bekerja sesuai dengan keinginan.

3. Metode Pengujian sistem

Yaitu melakukan pengujian alat dan bahan yang bertujuan untuk mengetahui apakah kinerja alat yang di buat sesuai dengan apa yang diharapkan atau belum.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan metodologi penelitian

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang kutipan dari penelitian terdahulu serta menguraikan tentang teori dasar-dasar umum serta tentang sistem kerja Generator *Axial Flux Magnet Permanen (AFPM)*, Jenis-jenis Magnet, Jenis-jenis Konstruksi Generator Fluks Aksial, Pengaruh Jumlah Lilitan Kumparan Stator, Hubungan Bintang/Star (Y).

BAB III : METODOLOGI

Pada bab ini akan menerangkan tentang lokasi penelitian, diagram alir/*flowchart* serta jadwal kegiatan dan hal-hal lain yang berhubungan dengan proses perancangan.

BAB IV : ANALISA DAN PENGUJIAN

Pada bab ini berisi hasil perancangan material dan pengujiannya.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penulisan skripsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Dalam penelitian ini peneliti memaparkan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti yaitu tentang generator *axial flux* magnet permanen.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang generator *axial flux* magnet permanen. Pada penelitian tersebut dilakukan dengan menguji kinerja generator magnet permanen fluks aksial. Generator ini terdiri atas bagian stator dan rotor, bagian stator terdiri atas kumparan kawat tembaga yang disusun membentuk 3 fasa, dan bagian rotor terdiri atas magnet permanen jenis Neodymium (NdFeB), magnet permanen ini memiliki nilai kemagnetan (remanen) yang cukup besar sehingga bisa menghasilkan fluks magnetik yang cukup besar pula. Generator fluks aksial ini sangat cocok untuk turbin angin *savonius* yang dapat berputar pada kecepatan angin rendah. Desain bagian generator dan pemasangan pada turbin sangat diperlukan untuk meminimalkan biaya, memperbesar torsi, bergerak pada beberapa variasi kecepatan angin rendah. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini dengan jumlah lilitan 150 lilitan yaitu Pada kecepatan putar rendah, mampu menghasilkan tegangan dan arus sekitar 0,079 V, 0,079 A pada kecepatan putar 17,2 rpm dan 2 V, 0,354 A pada kecepatan putar 500 rpm (Mohammad Fiky Alqodri, 2015).

Pada penelitian berikutnya merancang DC Generator magnet permanen tipe *fluks axial permanent magnet* (AFPM) menggunakan rangkaian penyearah ditujukan sebagai sumber daya input rangkaian *inverter* yang akan merubah menjadi sumber daya AC. Generator menggunakan magnet permanen sebagai sumber eksitasinya sehingga konstruksinya relatif sederhana jika dibandingkan dengan generator radial konvensional pada umumnya. Rancang bangun generator AFPM satu-fasa tipe *single sided slotted* menggunakan magnet permanen

memiliki karakteristik keluaran yang sangat ditentukan oleh jenis permanen magnet yang digunakan.

Dari pengujian berskala laboratorium diperoleh tegangan keluar tanpa beban dari generator yang berbennk sinus dengan tegangan berkisar antara 17,5 - 79,5 volt Tegangan keluaran berbeban berkisar antara 21V - 48V dengan daya keluran hingga 76W, pada variasi putaran antara 100 rpm hingga 450 rpm. (Asep Barkah Muhadi,2016).

Penelitian berikutnya adalah tentang pembuatan generator *axial-flux permanent* magnet (AFPM) yang dapat menghasilkan dua buah tegangan tiga-fasa dengan pergeseran sudut 30° atau lazim dikenal sebagai tiga-fasa ganda. Tipe generator AFPM yang dibuat adalah *double sided internal* rotor yang memiliki sebuah piringon rotor untuk menempatkan kutub-kutub magnet generator yang diapit oleh dua buah piringan stator yang digunakan untuk menempelkan dua buah belitan jangkar tiga-fasa. Generator ini memiliki 18 kutub magnet sehingga jarak antara dua buah kutub magnet yang saling berdekatan adalah 20° mekanik. Oleh karenanya unnk menghasilkan tegangan keluaran tiga-fasa maka belitan-belitan fasa R, S dan T pada masing-masing piringan stator akan berjarak $13,3^\circ$ mekanik. Lebih lanjut, untuk menghasilkan pergeseran fasa 30° di antara kedua buah tegangan keluaran tiga-fasa generator maka belitan tiga-fasa pada piringan stator pertama dan kedua harus diberi pergeseran sudut sebesar $3,3^\circ$ mekanik. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa generator AFPM yang dibuat mampu menghasilkan dua buah tegangan tiga-fasa berfrekuensi 50 Hz pada putaran 339 rpm (*rotation per-minute*) yaitu $R_1 = 44,9 \angle 0^\circ$ V, $S_1 = 39,82 \angle -118^\circ$ V dan $T_1 = 44,0 \angle -237^\circ$ dengan total *harmonic distortion* (THD) sebesar 3,4% serta $R_2 = 42,8 \angle -32^\circ$ V, $S_2 = 42,7 \angle -153^\circ$ V dan $T_2 = 42,6 \angle -272^\circ$ V dengan THD sebesar 2,1%. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa generator mampu membangkitkan dua buah tegangan keluaran tiga-fasa yang memiliki bentuk gelombang mendekati sinusoidal murni dengan keseimbangan magnituda dan fasa cukup baik karena rata-rata penyimpangannya masing-uasing hanya sebesar 1,5 V(2,5%) dan $2,4^\circ$ (1,7%). (I M. W. Kastawanr, Rusmanar,2016).

Pada penelitian selanjutnya dilakukan penelitian yang merancang generator *axial fluks* satu fasa pada setiap variasi jumlah lilitan kumparan stator 90 lilitan dengan menghasilkan tegangan 17,15 volt serta arusnya 0,07 amper, untuk percobaan pada 120 lilitan menghasilkan tegangan 22,33 volt serta arusnya 0,09 amper, dan 350 lilitan menghasilkan tegangan sebesar 81,75 volt serta arusnya 0,15 amper.. Ekperimen dilakukan dengan pengujian tanpa beban dan dengan beban resistif berupa lampu pijar 30 Watt.

Kesimpulan pada penelitian ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh jumlah lilitan kumparan stator terhadap kinerja generator yang berupa tegangan induksi dan daya listrik keluaran. Dari ketiga variasi sampel kumparan stator, kinerja tertinggi ditunjukkan oleh generator magnet permanen fluks aksial satu fasa yang menggunakan jumlah lilitan kumparan stator terbanyak. Semakin banyak jumlah lilitan, semakin baik kinerja generator magnet permanen fluks aksial satu fasa (Agus Nur Hidayat,2017).

Pada penelitian berikutnya ini menganalisis generator yang dilakukan dengan metode eksperimen dengan melakukan variasi putaran dan celah udara pada genrator, kemudian hasil tegangan pengukuran generator akan di bandingkan dengan hasil perhitungan tegangan induksi generator. Dimana variasi putaran yang di uji pada penelitian ini adalah 200-400 rpm. Yang dimana tegangan tertinggi yang dihasilkan pada pengujian sebesar 45.18 volt pada Celah udara 0.0010 m dan hasil tertinggi pada perhitungan 53.73 volt pada celah udara 0.0010 m. Nilai terendah pada pengujian 27.30 volt dan pada perhitungan 32.24 volt pada variasi celah udara 0.0030 m. Pengukuran hasil tegangan generator pada saat pengujian dipengaruhi oleh akurasi dalam perakitan generator, akurasi alat ukur yang digunakan, kondisi tidak ideal pada generator dan rugi-rugi. (Muhammad Suprpto, Firda Herlina, 2018).

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 :

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

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)

Δt = 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 :

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi_m \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

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

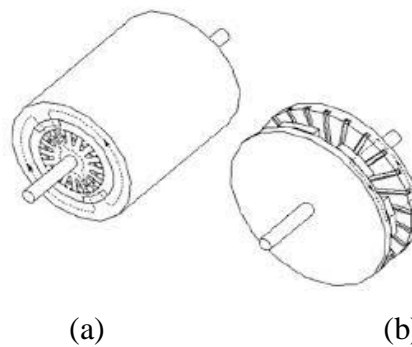
F = frekuensi (Hz)

ϕ_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.



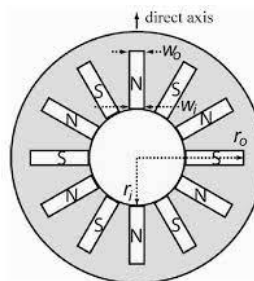
Gambar. 2.1 Topologi generator : (a) RFPM, (b) AFPM

2.3 *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 :

2.3.1 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.



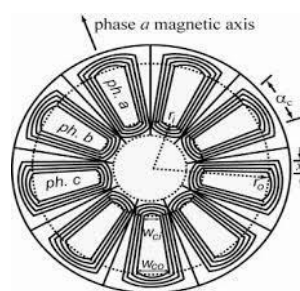
Gambar 2.2 Rotor fluks aksial

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.

2.3.2 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 phasa, sehingga dapat menghasilkan tegangan 3 fasa yang mempunyai sudut 120 derajat terhadap phasa 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 terlamniasi 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 2.3 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).

2.4 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)

2.4.1 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 ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan strontium ferrite ($\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$)
4. Magnet Alnico (Al, Ni, Co, Fe)

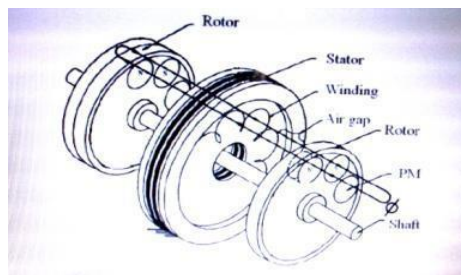
Magnet adalah bagian yang terpenting dalam generator. Fungsinya adalah untuk menghasilkan fluks magnetik yang dipakai untuk membangkitkan ggl induksi pada kumparan yang telah dipasang (stator). Untuk membangkitkan ggl induksi maka perlu perubahan fluks magnet yang mengenai kumparan

tersebut. Perubahan fluks magnetik ini akan diproses melalui gerakan yang berputar (mekanik).

2.5 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.

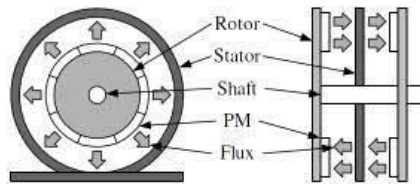


Gambar 2.4 Konstruksi Umum Generator Fluks Aksial

2.6 Jenis-jenis Konstruksi Generator Fluks Aksial

2.6.1 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 2.5 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.

2.6.2 Konstruksi Dua Sisi dengan Stator Eksternal

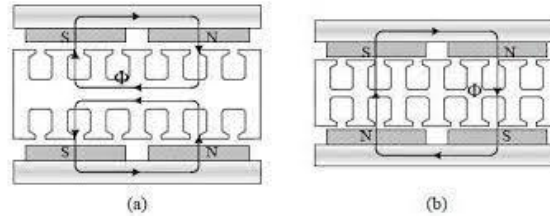
Mesin ini memiliki N rotor dan $N+1$ stator ($N>0$), dimana kumparan armaturnya terletak pada dua stator, serta terdapat rotor disk dengan magnet permanen terletak diantara kedua stator tersebut. Konstruksi ini sering disebut dengan tipe AFIR atau eksternal stator. Pada tipe ini tidak ada variasi tipe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

2.6.3 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. Kontruksi 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 2.6 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.

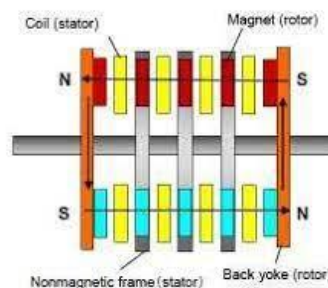
2.6.4 Konstruksi Sisi Berlapis-lapis

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 2.7 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.

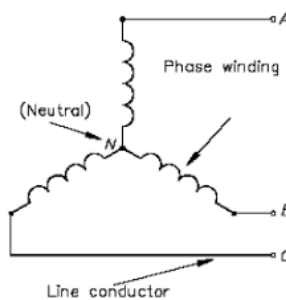
2.7 Rangkaian Tiga Fasa

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 1 fasa yang mempunyai magnitude dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 fasa dengan yang lainnya mempunyai beda fasa sebesar 120° listrik, sedangkan secara fisik mempunyai

perbedaan sebesar 60° , dan dapat dihubungkan secara bintang (Y) atau segitiga (delta Δ).

2.7.1 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

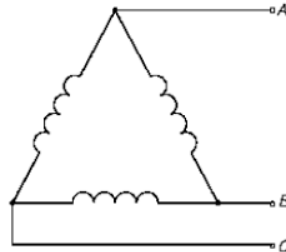


Gambar 2.8 Hubungan bintang / Star (Y)

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, $I_a = I_b = I_c$.

2.7.2 Hubungan Delta / Segitiga (Δ)

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



Gambar 2.9 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 $V_{line} = V_{phase}$, Tetapi arus saluran dan arus fasa tidak sama dan hubungan antara kedua arus tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kirchoff, sehingga :

$$I_{line} = I_f \cdot \sqrt{3}$$

2.8 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 :

$$N1 = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot Kw1 \cdot \phi f} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- N1 = Jumlah Lilitan
- E = Tegangan fasa (volt)
- f = Frekuensi (Hz)

Φ_f = Fluks Magnet (Wb)

K_{wl} = Faktor Belitan

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

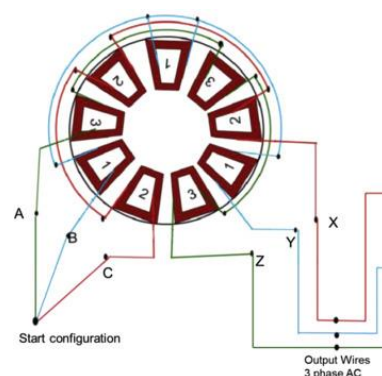
1. Perancangan Stator

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° 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 3.2 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

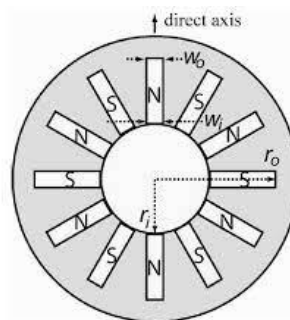
Pada proses ini plat yang digunakan adalah plat besi dengan tebal plat sebesar 0,47 cm berbentuk lingkaran yang berdiameter 8,83 cm.



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-sisi nya.



Gambar 3.3 Tata Letak Magnet *Neodymium* Pada Piringan Rotor

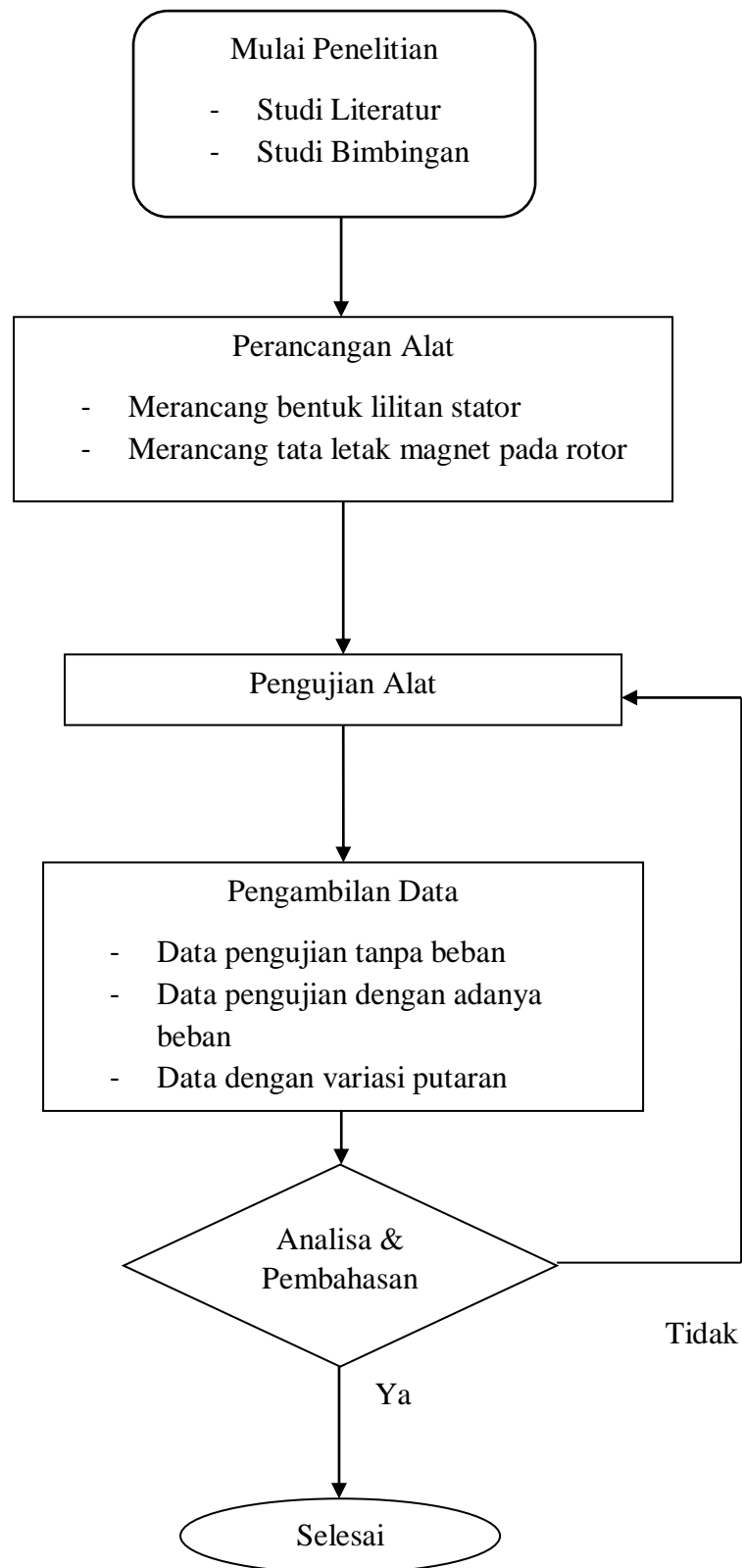
3.3.5 Pengujian Alat

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

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 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Stator

4.1.1 Perhitungan Desain Stator

Pada perancangan ini stator berfungsi sebagai kumparan jangkar yang menghasilkan tegangan keluaran generator, stator dibentuk *extart* seperti bentuk segitiga. Untuk membuat suatu stator maka harus diketahui besaran nilai-nilai sebagai berikut. Generator didesain untuk bekerja dalam frekuensi 50 Hz dengan jumlah 12 kutub maka diperoleh data sebagai berikut :

$$n = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 50}{12} = 500 \text{ rpm}$$

4.1.2 Perhitungan Fluks Magnet

$$\Phi_f = \alpha i \cdot B_{mg} \cdot \frac{\pi}{2p} [(0.5 D_{out})^2] - [(0.5 D_{in})^2] \dots \dots \dots (4.1)$$

Diketahui : $D_{in} = 0,03 \text{ m}$

$$D_{out} = 0,09 \text{ m}$$

$$B_{mg} = 0,65 \text{ T}$$

$$A_m = 32500 \text{ A/m}$$

$$K_{wl} = 0,96$$

$$\alpha i = \frac{2}{\pi}$$

(sumber buku *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines* by Jacek F Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper).

$$\text{Penyelesaian : } \Phi f = \alpha i. Bmg. \frac{\pi}{2p} [(0,5 D_{out})^2] - [(0,5 D_{in})^2]$$

$$\Phi f = \frac{2}{\pi} \cdot 0,65 \cdot \frac{\pi}{2(12)} [(0,5 \times 0,09)^2] - [(0,5 \times 0,03)^2]$$

$$\Phi f = 31,2 [[0,002025] - [0,000225]]$$

$$\Phi f = 0,00056 \text{ wb}$$

$$\Phi f = 5,6 \times 10^{-4} \text{ wb}$$

4.1.3 Perhitungan Jumlah Lilitan

$$N1 = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot Kw \cdot \Phi f}$$

$$N1 = \frac{15}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,96 \cdot 0,00056}$$

$$N1 = \frac{15}{0,1193}$$

$$N1 = 125 \text{ lilitan}$$

4.2 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

No	Variasi Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)
1	100 rpm	5,71 volt
2	300 rpm	8,57 volt
3	500 rpm	15,38 volt
4	800 rpm	18,8 volt
5	1000 rpm	27,17 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 :

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

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

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

$$F_1 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(100)(12)}{120} = 10 \text{ Hz}$$

$$F_2 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(300)(12)}{120} = 30 \text{ Hz}$$

$$F_3 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(500)(12)}{120} = 50 \text{ Hz}$$

$$F_4 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(800)(12)}{120} = 80 \text{ Hz}$$

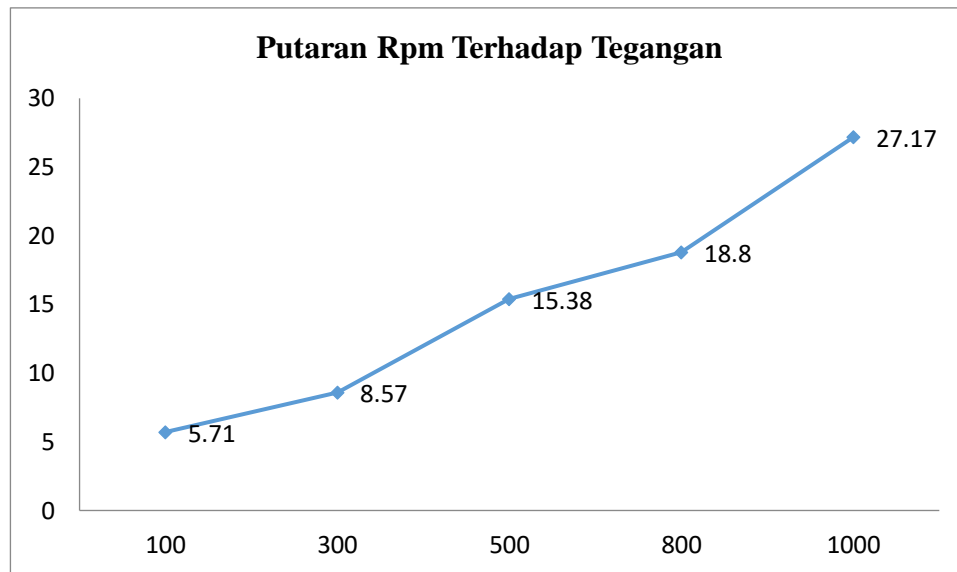
$$F_5 = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{(1000)(12)}{120} = 100 \text{ Hz}$$

No	Variasi Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)
1	100 rpm	5,71 volt	10 Hz
2	300 rpm	8,57 volt	30 Hz
3	500 rpm	15,38 volt	50 Hz
4	800 rpm	18,8 volt	80 Hz
5	1000 rpm	27,17 volt	100 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 4.1 Grafik karakteristik putaran Rpm *Generator Axial Flux magnet Permanent* terhadap Tegangan output 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 100,300,500,800,1000 rpm.

4.3 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 4.2.

NO	VARIASI PUTARAN (rpm)	OUTPUT			
		TEGANGAN MENGUNAKAN BEBAN (V)		ARUS MENGUNAKAN BEBAN (A)	
		18 WATT	35 WATT	18 WATT	35 WATT
1	100 rpm	5,71 volt	0,8 volt	0,4 amper	0,2 amper
2	300 rpm	8,57 volt	2,9 volt	0,8 amper	0,6 amper
3	500 rpm	15,38 volt	6,8 volt	1,24 amper	1,12 amper
4	800 rpm	18,8 volt	11,7 volt	1,89 amper	1,59 amper
5	1000 rpm	27,7 volt	13,9 volt	2,23 amper	2,15 amper

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 efisiensi keluaran generator.

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

$$P_{out} = I_L \cdot V_L$$

$$P_{in} = I_L \cdot E_g$$

$$E_g = I_L \cdot R + V_L$$

$$P_{out} = I_L \cdot V_L$$

$$= (1,24) \cdot (15,38)$$

$$= 19,07 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned}
 E_g &= I_L \cdot R + V_L \\
 &= (1,24) \cdot (0,64) + (15,38) \\
 &= 16,17 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= I_L \cdot E_g \\
 &= (1,24) \cdot (16,17) \\
 &= 20,05
 \end{aligned}$$

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

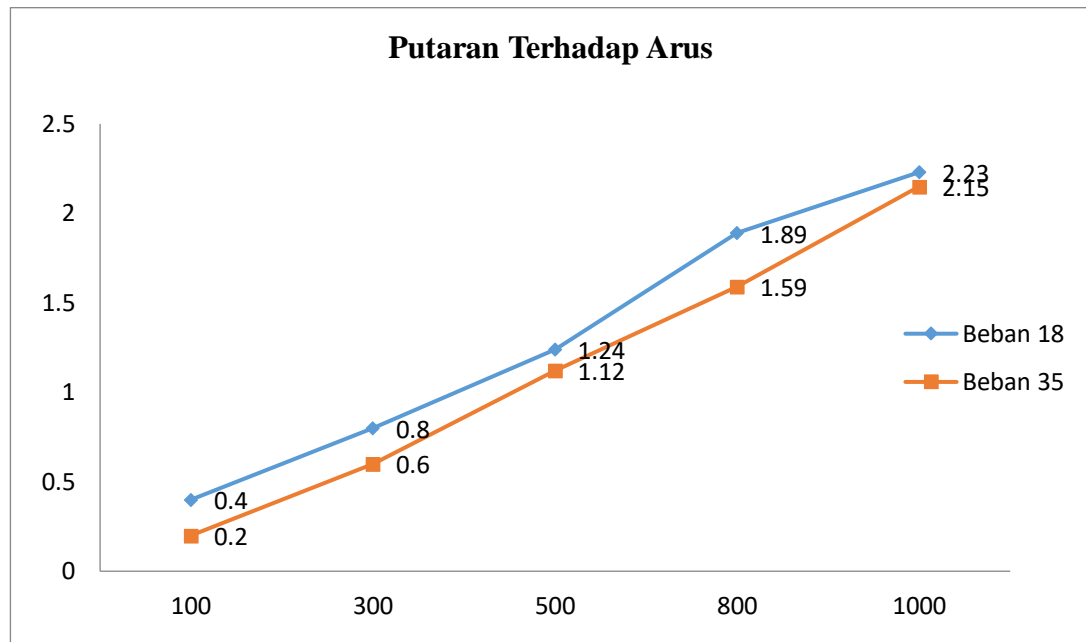
$$\eta = \frac{19,07}{20,05} \times 100\%$$

$$\eta = 95\%$$

NO	VARIASI PUTARAN (rpm)	OUTPUT				EFFISIENSI
		TEGANGAN MENGUNAKAN BEBAN (V)		ARUS MENGUNAKAN BEBAN (A)		
		18 WATT	35 WATT	18 WATT	35 WATT	
1	100 rpm	5,71 volt	0,8 volt	0,4 amper	0,2 amper	95%
2	300 rpm	8,57 volt	2,9 volt	0,8 amper	0,6 amper	
3	500 rpm	15,38 volt	6,8 volt	1,24 amper	1,12 amper	
4	800 rpm	18,8 volt	11,7 volt	1,89 amper	1,59 amper	
5	1000 rpm	27,7 volt	13,9 volt	2,23 amper	2,15 amper	

Tabel 4.4. Hasil pengujian tegangan generator *Axial Flux* Generator Magnet Permanen (AFPM) berbeban

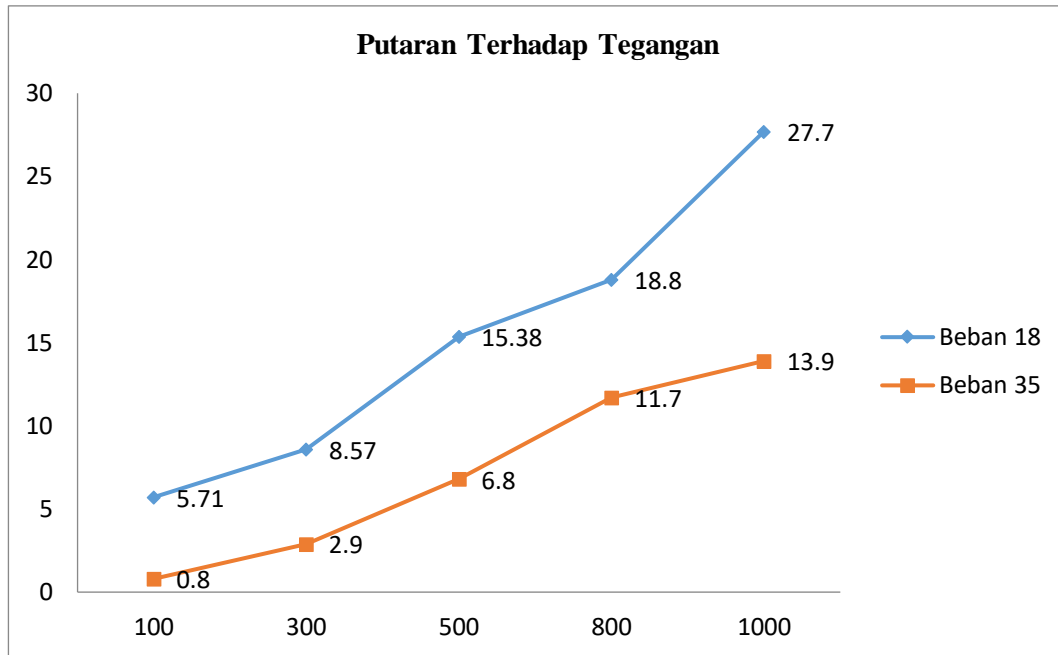
Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.4 diperoleh hubungan grafik antara kecepatan terhadap arus beban 18 watt dan 35 watt.



Gambar 4.2 Grafik karakteristik putaran Rpm *Generator Axial Flux magnet Permanent* terhadap Arus output generator dengan beban

Gambar 4.3 kurva grafik menunjukkan perbedaan arus generator pada setiap pengukuran terhadap beban yang berbeda-beda.

Yang dimana saat putaran 100 rpm pada beban 18 watt menghasilkan arus sebesar 0,4 amper. Pada saat putaran 100 rpm pada beban 35 watt menghasilkan arus sebesar 0,2 amper, pada putaran 300 rpm pada beban 18 watt menghasilkan arus sebesar 0,8 amper, pada putaran 300 rpm pada beban 35 watt menghasilkan arus sebesar 0,6 amper, pada putaran 500 rpm pada beban 18 watt menghasilkan arus sebesar 1,24 amper, pada putaran 500 rpm pada beban 35 watt menghasilkan arus sebesar 1,12 amper, pada putaran 800 rpm pada beban 18 watt menghasilkan arus sebesar 1,89 amper, pada putaran 800 rpm pada beban 35 watt menghasilkan arus sebesar 1,59 amper, pada putaran 1000 rpm pada beban 18 watt menghasilkan arus sebesar 2,23 amper, pada putaran 1000 rpm pada beban 35 watt menghasilkan arus sebesar 2,15 amper.



Gambar 4.3 Grafik karakteristik putaran Rpm *Generator Axial Flux magnet Permanent* terhadap Tegangan output generator dengan beban

Gambar 4.4 kurva grafik menunjukkan perbedaan tegangan generator pada setiap pengukuran terhadap beban yang berbeda-beda.

Yang dimana saat putaran 100 rpm pada beban 18 watt menghasilkan tegangan sebesar 5,71 volt. Pada saat putaran 100 rpm pada beban 35 watt menghasilkan tegangan sebesar 0,8 volt, pada putaran 300 rpm pada beban 18 watt menghasilkan tegangan sebesar 8,57 volt, pada putaran 300 rpm pada beban 35 watt menghasilkan tegangan sebesar 2,9 volt, pada putaran 500 rpm pada beban 18 watt menghasilkan tegangan sebesar 15,8 volt, pada putaran 500 rpm pada beban 35 watt menghasilkan tegangan sebesar 6,8 volt, pada putaran 800 rpm pada beban 18 watt menghasilkan tegangan sebesar 18,8 volt, pada putaran 800 rpm pada beban 35 watt menghasilkan tegangan sebesar 11,7 volt, pada putaran 1000 rpm pada beban 18 watt menghasilkan tegangan sebesar 27,7 volt, pada putaran 1000 rpm pada beban 35 watt menghasilkan arus sebesar 13,9 volt.

BAB V

PENUTUP

Kesimpulan

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

1. Pengaruh putaran rotor terhadap gulungan stator sangat mempengaruhi besar kecilnya nilai arus serta tegangan yang dikeluarkan oleh generator *Axial Flux Magnet Permanent (AFPM)*. Semakin besar putaran rotor maka semakin besar pula tegangan yang dikeluarkan.
2. Semakin banyak jumlah lilitan, semakin baik kinerja generator magnet permanen fluks aksial tiga fasa
3. Dengan menggunakan generator *axial flux magnet permanent (AFPM)* maka efisiensinya cukup besar yaitu 95% dalam menghasilkan tegangan.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh saran sebagai berikut :

1. Untuk keakurasian pengukuran sebaiknya digunakan alat ukur yang memiliki ketelitian cukup tinggi.
2. Untuk mendapatkan tegangan yang maksimal sebaiknya menggunakan putaran turbin yang lebih besar lagi.
3. Perlu dilakukan penelitian kembali dengan jumlah dan waktu pengambilan sampel yang cukup

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

Electronic Converters in Wind Turbines and Photovoltaic Generators, 2010.

Abdul Multi, Iwa Garniwa, "Design of Twin Rotor Single Double-Sided Stator Three Phase Axial Flux Synchronous Motor", Program Book Volume 1, The 12th International Conference On Quality in Research, ISSN 114-1284, Bali, 4-7 July 2011

Nurhadi, Journal "Perancangan Generator Putaran Rendah Magnet Permanen jenis Fe Fluks Aksial" Malang, 2007

Abdul Multi, Iwa Gumiwa & Uno Bintang Sudibyoy, "Determining The Air Gap Length Of An Axial Wound Rotor Synchronous Generator" Volume 17, MAKARA UI, Depok, 2013

Howey, D.A "Axial Flux Permanent Magnet Generators For Pico-Hydropower" London 2009

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.

F. Danang Wijaya, dkk. (2014). Perancangan Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Putaran Rendah. Jurusan Teknik Elektro, UGM. Yogyakarta

Mustofa, (2014). Jurnal.Perancangan Pembangkit Listrik Menggunakan Generator Magnet Permanen Dengan Motor DC Sebagai Prime Mover. Universitas pakuan Bogor.Bogor.

Nugroho. (2016). Desain Generator Magnet Permanen RPM Rendah Dengan Memanfaatkan Motor Kipas. Surakarta

Lampiran



Gambar Mal (Cetakan) Koil Gulungna Stator



Gambar Koil Gulungan Stator



Gambar Resin



Gambar Katalis



Gambar Serat Kaca



Gambar Lem Loctite



Gambar Proses Pembuatan Koil Gulungan Stator



**Gambar Proses Pembuatan Stator Dengan Menggunakan Campuran Resin,
Katalis Dan Serat Kaca**



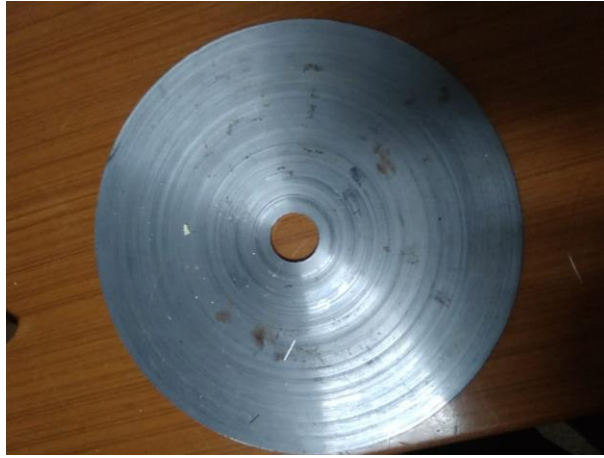
Gambar Stator Generator *Axial Flux Magnet Permanet*



Gambar As Rotor



Gambar Bearing Rotor



Gambar Piringan Rotor



Gambar Tata Letak Magnet Neodymium