

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERBANDINGAN 4 KUTUB DAN 8 KUTUB GENERATOR  
TERHADAP KECEPATAN ROTOR YANG MENGHASILKAN TEGANGAN**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

**DARWINSYAH PUTRA**

**NPM : 1507220128**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Darwinsyah Putra  
NPM : 1507220128  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan 4 Kutub Dan 8 Kutub Generator

Terhadap Kecepatan Rotor Yang Menghasilkan Tegangan

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, 28 Mei 2021

Mengetahui dan menyetujui :


Dosen Pembimbing I

  
Dr. M. Fitra Zambak, M.Sc

Dosen Pembimbing II

  
Arawan Hasibuan, S.T, M.T

Dosen Pembanding I

  
Rimbawati, S.T, M.T

Dosen Pembanding II

  
Faisal Irsan P, S.T, M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Faisal Irsan P, S.T, M.T

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Darwinskyah Putra  
Tempat/Tanggal Lahir : Muara Batu-Batu/ 20-11-1996  
NPM : 1507220128  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

**“Analisis Perbandingan 4 kutub Dan 8 kutub Generator Terhadap Kecepatan Rotor yang menghasilkan Tegangan”,**

Dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di salah satu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Medan, 28 Mei 2021

Saya yang menyatakan



Darwinskyah Putra

## ABSTRAK

Pada generator, jumlah kutub mempengaruhi kecepatan rotor dan frekuensi dari gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan. Frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub magnet pada generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Dalam penelitian ini membahas tentang pengaruh kuat medan magnet permanen dengan cara membandingkan dua kutub yang berbeda yaitu 4 kutub dan 8 kutub pada generator. Hasil pengujian yang didapatkan pada generator adalah adanya perbedaan yang sangat signifikan antara generator medan magnet permanen 4 kutub dengan 8 kutub. Pada generator medan magnet permanen 4 kutub memiliki nilai atau titik jenuh yaitu pada saat beban sebesar 70 Ohm. Sedangkan, pada generator medan magnet permanen 8 kutub memiliki nilai ataupun titik jenuhnya berada pada beban sebesar 55 Ohm dan 70 Ohm. Arus maksimal yang dihasilkan generator medan magnet permanen 4 kutub sebesar 2,01 A, sedangkan yang dihasilkan generator medan magnet permanen 8 kutub sebesar 0,87 A. Dengan diantara keduanya memiliki perbedaan selisih sebesar 1,14 A.

**Kata kunci :** *Medan Magnet Permanen, Kecepatan, Arus, Beban, Tegangan.*

## **ABSTRACT**

*In a generator, the number of poles affects the rotor speed and the frequency of the induced electromotive force generated. The frequency produced by the synchronous generator is strongly influenced by the rotational speed of the rotor and the number of magnetic poles on the generator. If the generator load changes, it will affect the generator rotor speed. This study discusses the effect of the permanent magnetic field strength by comparing two different poles, namely 4 poles and 8 poles on the generator. The test results obtained on the generator are that there is a very significant difference between the 4-pole and 8-pole permanent magnetic field generators. The 4-pole permanent magnetic field generator has a value or saturation point when the load is 70 Ohms. Meanwhile, the 8-pole permanent magnetic field generator has a value or saturation point at a load of 55 Ohms and 70 Ohms. The maximum current generated by the 4-pole permanent magnetic field generator is 2.01 A, while that of the 8-pole permanent magnetic field generator is 0.87 A. Between the two, the difference is 1.14 A.*

**Keywords:** *Permanent Magnetic Field, Speed, Current, Load, Voltage.*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah "***Pengaruh Kuat Medan Magnet Permanen Dan Kecepatan Rotor Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Generator Arus Bolak-Balik***".

Selesaiannya 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. Ayahanda dan Ibunda serta Abangda dan Kakanda tersayang, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat 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 Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Partaonan Harahap, S.T, M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Dr. M. Fitra Zambak, S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.

6. Bapak Arnawan Hasibuan, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2015 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

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

*Wassalamu'alakum wr.wb*

Medan, November 2020

Penulis,



Darwisyah Putra

1507220128

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Ruang Lingkup Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	6
2.2 Landasan Teori .....	9
2.2.1 Fluks Magnet .....	9
2.3 Hukum Faraday .....	10
2.4 Sifat Magnet .....	13
2.4.1 Jenis-Jenis Magnet .....	14
2.4.2 Bentuk-Bentuk Magnet .....	15
2.5 Generator .....	16
2.5.1 Komponen Pada Generator .....	16



2.5.2 Casing .....	16
2.5.3 Stator .....	17
2.5.4 Generator Sinkron .....	19
2.5.5 Komponen Generator Sinkron .....	20
2.5.6 Prinsip Kerja Generator .....	26
2.5.7 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron .....	27
2.5.8 Reaksi Jangkar Pada Generator Sinkron .....	29
2.5.9 Sistem Eksitasi Generator Sinkron .....	32
2.5.10 Pengaruh Beban Terhadap Sistem Eksitasi .....	35
2.6 Daya .....	37
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	40
3.1 Lokasi Penelitian .....	40
3.2 Peralatan Penelitian .....	40
3.3 Metode Penelitian .....	41
3.4 Langkah-Langkah Pengujian Penelitian .....	42
3.5 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	44
4.1 Hasil Pengujian Medan Magnet Permanen Pada Generator Dengan 4 Kutub .....	44
4.2 Hasil Pengujian Medan Magnet Permanen Pada Generator Dengan 8 Kutub .....	48
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	53
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	54

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Hasil Penelitian Tanpa Beban 4 Kutub.....	44
Tabel 4.2. Data Hasil Penelitian Berbeban 4 Kutub.....	45
Tabel 4.3. Data Keluaran Generator.....	46
Tabel 4.4. Data Hasil Penelitian Tanpa Beban 8 Kutub.....	48
Tabel 4.5. Data Hasil Penelitian Berbeban 8 Kutub.....	49
Tabel 4.6. Data Keluaran Generator.....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Fluks Magnet .....	9
Gambar 2.2. Garis Medan Magnetik Yang Menembus Luas Permukaan A .....	11
Gambar 2.3. Eksperimen Faraday .....	12
Gambar 2.4. Magnet Buatan.....	15
Gambar 2.5. Casing Generator .....	17
Gambar 2.6. Inti dan Kumparan Stator .....	17
Gambar 2.7. Laminasi-Laminasi Stator.....	18
Gambar 2.8. Konstruksi Generator Sinkron .....	21
Gambar 2.9. Penampang Stator .....	21
Gambar 2.10. Inti Stator .....	22
Gambar 2.11. Bentuk-Bentuk Alut/Slot .....	23
Gambar 2.12. Rotor Kutub Menonjol Generator Sinkron .....	24
Gambar 2.13. Rotor Kutub Silinder ( <i>Non Salient Pole</i> ).....	25
Gambar 2.14. Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron .....	27
Gambar 2.15. Hubungan Berbagai Jenis Beban Pada Generator Terhadap Arus Dan Tegangan.....	28
Gambar 2.16. Model Reaksi Jangkar Pada Generator Sinkron .....	29
Gambar 2.17. Sistem Eksitasi Dinamik.....	33
Gambar 2.18. Sistem Eksitasi Statis.....	33
Gambar 2.19. Sistem Eksitasi Tanpa Brush .....	34
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian.....	43
Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Arus Terhadap Daya.....	45
Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Arus Terhadap Beban.....	47
Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Putaran Terhadap Daya Keluaran .....	47

Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Arus Terhadap Daya.....	49
Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Arus Terhadap Beban.....	51
Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Putaran Terhadap Daya Keluaran .....	51
Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Medan Magnet Generator 4 Kutub Dengan 8 Kutub .....	52

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan di bidang ketenagalistrikan menjadi prioritas utama pemerintah karena tenaga listrik merupakan kebutuhan primer yang harus dipenuhi. Saat ini, tenaga listrik menjadi tenaga penggerak sektor industri di Indonesia membutuhkan listrik baik sebagai energi utama maupun energi pelengkap. Dengan bergeraknya sektor industri ini, otomatis sektor ekonomi juga ikut bergerak, oleh sebab itu tenaga listrik menjadi kebutuhan vital untuk meningkatkan pembangunan ekonomi dan kualitas kehidupan bangsa. Pemerintah selaku pembuat kebijakan ekonomi selalu memberikan prioritas utama pada pembangunan nasional sebagai upaya pemenuhan kebutuhan penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat. Dalam usahanya dalam memenuhi tingginya kebutuhan akan tenaga listrik ini, perusahaan tentunya akan menemui berbagai kendala dan kesulitan. Salah satu peralatan yang menunjang listrik pada pembangkit adalah generator[1].

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. Generator arus bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator atau generator AC (*alternating current*) atau juga generator sinkron. Alat ini sering dimanfaatkan di industri untuk menggerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik sebagai sumber penggerak. Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya[2].

Dalam pembangkitan energi listrik pada generator yaitu pada saat rotor diputar oleh penggerak mula (motor listrik, diesel, turbin atau penggerak lainnya), maka kutub rotor generator akan berputar. Jika kumparan kutub medan rotor dialiri arus searah maka pada kumparan medan rotor akan timbul medan magnet yang kecepatannya sama dengan kecepatan putar kutub. Rotor yang berputar tersebut akan memotong garis gaya magnet yang ada pada stator sehingga pada kutub medan rotor akan timbul tegangan induksi[3].

Pada generator, jumlah kutub mempengaruhi kecepatan rotor dan frekuensi dari gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan. Frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub magnet pada generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Perubahan kecepatan rotor ini secara langsung akan mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan generator. Jika frekuensi yang dikeluarkan generator diharapkan mempunyai nilai yang konstan, maka kecepatan putaran rotor harus dijaga konstan. Kuat medan elektromagnetik dapat berubah-ubah sesuai besarnya arus penguatan yang mengalir menuju kumparan medan rotor. Dengan demikian besarnya tegangan AC yang dibangkitkan secara langsung tergantung pada besar kecilnya tegangan eksitasinya.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan suatu kajian baik berupa analisis maupun penelitian di laboratorium untuk melihat bagaimana pengaruh kuat medan magnet dan kecepatan putaran rotor pada generator arus bolak-balik. Sehingga pada tugas akhir ini, penulis akan membahas tentang “*Analisis Perbandingan 4 Kutub Dan 8 Kutub Generator Terhadap Kecepatan Rotor Yang Menghasilkan Tegangan*”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas maka dapat dibuat rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh medan magnet permanen terhadap daya keluran dan tegangan yang dihasilkan generator arus bolak-balik ?
2. Bagaimana nilai arus yang dihasilkan oleh medan magnet permanen pada generator arus bolak-balik ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh medan magnet permanen terhadap daya keluaran dan tegangan yang dihasilkan generator arus bolak-balik ?
2. Mengetahui nilai arus yang dihasilkan oleh medan magnet permanen pada generator arus bolak-balik ?

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian dalam tugas akhir ini adalah :

1. Dapat mengetahui hasil dari pengujian generator dengan beban yang berbeda.
2. Untuk mengetahui perbedaan medan magnet permanen yang berbeda pada generator 3 phasa.

#### **1.5 Ruang Lingkup Masalah**

Ruang lingkup masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Peneliti menggunakan generator 3 fasa 4 kutub dengan kecepatan max 2300 rpm dan menggantinya dengan 8 kutub.
2. Penelitian ini hanya menghitung daya keluaran, yang dihasilkan oleh medan magnet permanen pada generator arus bolak balik 3 phasa.

#### **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 bolak-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-tidaknya 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 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Saat ini, tenaga listrik menjadi tenaga penggerak sektor industri di Indonesia membutuhkan listrik baik sebagai energi utama maupun energi pelengkap. Dengan bergeraknya sektor industri ini, otomatis sektor ekonomi juga ikut bergerak, oleh sebab itu tenaga listrik menjadi kebutuhan vital untuk meningkatkan pembangunan ekonomi dan kualitas kehidupan bangsa. Pemerintah selaku pembuat kebijakan ekonomi selalu memberikan prioritas utama pada pembangunan nasional sebagai upaya pemenuhan kebutuhan penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat. Dalam usahanya dalam memenuhi tingginya kebutuhan akan tenaga listrik ini, perusahaan tentunya akan menemui berbagai kendala dan kesulitan. Salah satu peralatan yang menunjang listrik pada pembangkit adalah generator. Adapun beberapa penelitian mengenai generator yaitu :

Pembebanan sistem interkoneksi selalu berubah-ubah setiap saat. Perubahan beban menyebabkan fluktuasi perubahan tegangan keluaran generator dan perubahan pada arus eksitasi generator. Untuk menghasilkan tegangan keluaran generator yang konstan diperlukan suatu pengaturan tegangan keluaran generator. Pengaturan tegangan tersebut dilakukan dengan mengatur arus eksitasinya. Arus eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator atau sebagai pembangkit medan sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi. Pada penelitian ini menggunakan catu daya DC sebagai arus eksiternya dengan nilai yang bervariasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari generator terhadap perubahan nilai arus eksitasi yang diberikan. Daya reaktif paling tinggi beban R-L dicapai pada pengaturan arus eksitasi sebesar 3,5 ampere dengan nilai daya reaktif sebesar 661,4 var. Sedangkan pada beban R-C daya reaktif yang dihasilkan lebih rendah dari beban R-L yaitu sebesar 616,93 var. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tegangan generator sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus eksitasi yang diberikan. Semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. Hal ini berbanding lurus antara <sup>5</sup> tegangan keluaran generator dengan arus eksitasi yang diberikan. Selain itu, pada pembebanan R-L dan R-C daya reaktif yang dihasilkan juga akan bertambah besar[4].

Pembangkit - pembangkit kecil atau generator dengan spesifikasi yang rendah biasanya kesulitan dalam arus penguatan medan magnet, generator magnet permanen merupakan suatu solusi untuk mengatasi hal tersebut. Metode yang digunakan adalah memodifikasi bagian penguat medan magnet generator menggunakan magnet permanen. Hasil uji coba tanpa beban untuk 2 kutub menghasilkan tegangan tertinggi 37 Volt pada putaran 2900 rpm, untuk 6 kutub menghasilkan tegangan tertinggi 57 Volt pada putaran 2900 rpm. Pengujian berbeban untuk jumlah kutub 2 buah dengan tahanan beban 25 Ohm menghasilkan arus terbesar 0.56 Ampere pada tegangan 25 Volt, untuk jumlah kutub 6 buah menghasilkan arus terbesar 1.36 Ampere pada tegangan 36 Volt[3].

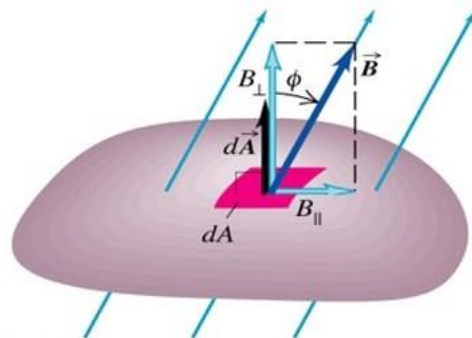
Generator ditemukan secara luas dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam industri kelistrikan. Generator yang sering ditemukan adalah jenis generator aksial dan radial. Komponen utama dari generator adalah rotor, stator dan penggerak utama. Komponen utama dari generator ini memiliki unsur-unsur pendukung seperti kumparan, magnet dan banyak

lagi. Fungsi rotor dan stator adalah untuk menghasilkan induksi medan magnet karena gerakan yang terjadi antara rotor dan stator. Penempatan stator dan komponen rotor tergantung pada jenis generator yang digunakan, ada stator yang didalam rotor dan ada yang di luar rotor. Kondisi pemasangan dan penempatan stator dan rotor, jumlah lilitan kumparan dan magnet dapat mempengaruhi kinerja generator. Seperti pada generator sinkron fluks radial memiliki rotor sebagai magnet (magnet rotor) yang berada di luar lilitan kumparan stator. Beberapa studi telah meneliti tentang pengaruh jumlah lilitan kumparan, magnet dan jarak celah udara dalam generator fluks aksial dan radial terhadap kinerja generator seperti adanya distorsi harmonik dan lain-lain. Dalam tulisan ini kita akan fokus pada pengaruh magnet rotor dengan variasi jumlah kutub dan jarak celah udara lilitan kumparan stator terhadap kinerja generator sinkron fluks radial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil jarak celah udara magnet rotor dan stator coil maka tegangan yang dihasilkan lebih besar. Untuk jarak celah udara magnet rotor dan lilitan kumparan stator 1mm dan 2mm pada putaran rendah 200 rpm diperoleh tegangan 43,5 volt dan 39,2 volt untuk pengujian tanpa beban. Pada pengujian berbeban diperoleh tegangan 30 volt dan 26,8 volt dengan jarak celah udara (gap) yang sama dan besarnya arus yang dihasilkan 0,21 mA[5].

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Fluks Magnet

Fluks Magnetik adalah ukuran atau pun jumlah medan magnet  $\mathbf{B}$  yang melewati Luas Penampang tertentu misalnya Kumparan Kawat dan dalam hal ini sering disebut juga dengan Kerapatan Medan Magnet[5].



**Gambar 2.1.** Fluks magnet

Jika perubahan fluks magnetic yg melalui kumparan kawat dapat menimbulkan GGL (Gaya Gerak Listrik) yang dapat menyebabkan adanya Arus Listrik dalam Kumparan dan perhitungan ini dapat dilakukan dengan Hukum Faraday[1].

$$\mathcal{E} = \oint_{\partial\Sigma(t)} (\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{v} \times \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)) \cdot d\boldsymbol{\ell} = -\frac{d\Phi_m}{dt}, \quad \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

$\mathcal{E}$  = adalah GGL (Gaya Gerak Listrik).

$\mathbf{v}$  = adalah Kecepatan dalam  $d\boldsymbol{\ell}$ .

$\mathbf{B}$  = adalah Medan Magnet.

$\mathbf{E}$  = adalah Medan Listrik.

$d\boldsymbol{\ell}$  = merupakan Elemen Vektor Infinitesimal yang berasal dari Kurva  $\partial\Sigma(t)$

$\Phi_m$  = adalah Fluks yg melalui bidang terbuka dengan dibatasi oleh Kurva.

$\partial\Sigma(t)$  = adalah Kurva yg tertutup yg dapat berubah dengan sejalan dengan waktu dan Gaya Gerak Listrik (GGL) timbul disekitar kurva ini.

### 2.3 Hukum Faraday

Hukum Faraday adalah Hukum dasar Elektromagnetisme yang menjelaskan bagaimana arus listrik menghasilkan medan magnet dan sebaliknya bagaimana medan magnet dapat menghasilkan arus listrik pada sebuah konduktor. Hukum Faraday inilah yang kemudian menjadi dasar dari prinsip kerja Induktor, Transformator, Solenoid, Generator listrik dan Motor Listrik. Hukum yang sering disebut dengan Hukum Induksi Elektromagnetik Faraday ini pertama kali dikemukakan oleh seorang Fisikawan Inggris yang bernama Michael Faraday pada tahun 1831[1].

Induksi Elektromagnetik adalah gejala timbulnya gaya gerak listrik (ggl) di dalam suatu kumparan bila terdapat perubahan fluks magnetik pada konduktor pada kumparan tersebut atau bila konduktor bergerak relative melintasi medan magnet. Sedangkan yang dimaksud dengan Fluks banyaknya jumlah garis gaya yang melewati luasan suatu bidang yang tegak lurus garis gaya magnetik [2].

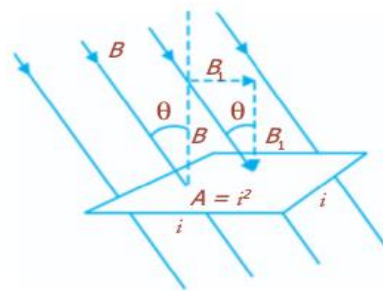
Konsep gaya gerak listrik pertama kali dikemukakan oleh Michael Faraday, yang melakukan penelitian untuk menentukan faktor yang memengaruhi besarnya ggl yang

diinduksi. Dia menemukan bahwa induksi sangat bergantung pada waktu, yaitu semakin cepat terjadinya perubahan medan magnetik, ggl yang diinduksi semakin besar. Di sisilain, ggl tidak sebanding dengan laju perubahan medanma gnetik B, tetapi sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik,  $\Phi_B$  , yang bergerak melintasi loop seluas A, yang secara matematis fluks magnetic tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$\Phi = B.A \cos \theta \dots\dots\dots 2.2$$

Dengan B sama dengan rapat fluks magnetik, yaitu banyak nya fluks garis gaya magnetik per satuan luas penampang yang ditembus garis gaya fluks magnetic tegak lurus, dan  $\theta$  adalah sudut antara B dengan garis yang tegak lurus permukaan kumparan. Jika permukaan kumparan tegak lurus B,  $\theta = 90^\circ$  dan  $\Phi_B = 0$ , tetapi jika B sejajar terhadap kumparan,  $\theta = 0^\circ$ , sehingga:

$$\Phi_B = B.A \dots\dots\dots 2.3$$

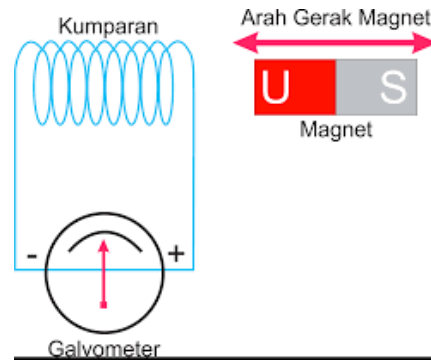


**Gambar 2.2.** Garis medanmagnetik yang menembus luas permukaan A

Dalam percobaan Faraday atau sering dikenal dengan istilah Eksperimen Faraday ini, Michael Faraday mengambi lsebuah magnet dan sebuah kumparan yang terhubung ke galvanometer. Pada awalnya, magnet diletakkan agak berjauhan dengan kumparan sehingga tidak ada defleksi dari galvanometer. Jarum pada galvanometer tetap menunjukkan angka 0. Ketika magnet bergerak , jarum pada galvanometer juga bergerak menyimpang kesatu arah tertentu (kekanan). Pada saat magnet didiamkan pada posisi tersebut, jarum pada galvanometer bergerak kembali ke posisi 0[6].

Namun ketika magnet digerakan atau ditarik menjauhi kumparan, terjadi defleksi pada galvanometer, jarum pada galvanometer bergerak menyimpang berlawanan dengan arah sebelumnya (kekiri). Pada saat magnet didiamkan lagi, jarum pada galvanometer kembali keposisi 0. Demikian juga apabila yang bergerak adalah Kumparan, tetapi Magnet pada posisitetap, galvanometer akan menunjukkan defleksi dengan cara yang sama.

Dari percobaan Faraday tersebut juga ditemukan bahwa semakin cepat perubahan medan magnet semakin besar pula gaya gerak listrik yang diinduksi oleh kumparan tersebut. Dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Eksperimen Faraday

Hukum Faraday tersebut dapat dinyatakan dengan rumus dibawah ini :

$$\epsilon = -N (\Delta\Phi/\Delta t) \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

$\epsilon$  = GGL induksi (volt)

N = Jumlah lilitan kumparan

$\Delta\Phi$  = Perubahan fluks magnetik (weber)

$\Delta t$  = selang waktu (s)

Tanda negatif menandakan arah gaya gerak listrik (ggl) induksi.

## 2.4 Sifat Magnet

Magnet adalah suatu kemampuan sebuah benda untuk menarik suatu benda-benda lain yang berada disekitarnya. Magnet juga bisa dibuat dari sebuah bahan besi, baja, dan campuran logam lainnya[7].

Di perkiraan orang Cina merupakan yang pertama kali memanfaatkan sebuah batu magnet ini sebagai kompas, baik di darat ataupun di laut. Sampai dengan sekarang, magnet banyak dimanfaatkan untuk suatu perangkat elektronik, misalnya seperti bel listrik, telepon, dan mikrofon.

1. Magnet hanya bisa menarik benda salah satu sifat magnet yaitu suatu benda tertentu yang berada dalam jangkauannya, yang artinya tidak semua benda bisa ditarik

2. Gaya Magnet bisa menembus benda, sifat magnet yang kedua yaitu semakin kuat gaya magnet maka akan semakin tebal pula benda yang bisa ditembus oleh gaya tersebut.
3. Magnet memiliki dua kutub, Sifat yang ketiga yaitu magnet mempunyai Kutub Utara dan Kutub Selatan. jika pada Kutub yang sama didekatkan satu sama lain maka akan terjadi saling tolak menolak, namun apabila sebuah kutub yang berbeda saling didekatkan satu sama lain maka akan terjadi saling Tarik Menarik.
4. Medan Magnet akan membentuk Gaya Magnet. Sifat magnet yang ketiga yaitu akan Semakin dekat magnet dengan benda, maka medan magnetnya akan semakin rapat, yang sehingga pada gaya magnetnya akan semakin besar. Demikian juga dengan sebaliknya.
5. Sifat Kemagnetan bisa hilang atau melemah sifat magnet yang terakhir yaitu ada beberapa penyebabnya, contohnya jika terus menerus jatuh, terbakar, dll.

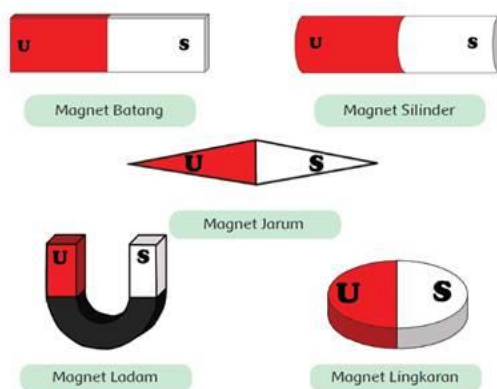
#### **2.4.1 Jenis-Jenis Magnet**

Secara garis besar, magnet terbagi menjadi 2 bagian, yakni :

1. **Magnet Alam.** Magnet Alam merupakan salah satu jenis magnet yang sudah memiliki sifat kemagnetan yang secara alami, yang artinya tanpa adanya campur tangan oleh manusia. Contohnya : yaitu gunung ida di Magnesia yang bisa menarik sebuah benda – benda disekitarnya.
2. **Magnet Buatan.** Magnet Buatan yaitu salah satu jenis magnet yang dibuat oleh manusia, jenis magnet buatan ini dibuat dari bahan – bahan magnetik yang kuat seperti besi dan baja. Magnet buatan ini terbagi lagi menjadi 2, yakni sebagai berikut :
  - a. **Magnet Tetap (*Permanen*)**, yaitu salah satu jenis magnet yang mempunyai sifat kemagnetannya bersifat permanen, meskipun proses dalam pembuatannya sudah dihentikan.
  - b. **Magnet Sementara (*Remanen*)**, yaitu suatu magnet yang memiliki sifat kemagnetannya hanya sementara, yakni hanya terjadi selama dalam proses pembuatannya.

## 2.4.2 Bentuk-Bentuk Magnet

Memiliki berbagai macam bentuk, karena pada setiap bentuk magnet dibuat karena dengan tujuan dan kegunaan yang berbeda. Secara umum terdapat 5 bentuk tetap magnet buatan ini dari mulai silinder, batang, jarum, U, keping, ladam dan sebagainya. yakni sebagai berikut :



**Gambar 2.4.** Magnet Buatan

- Bentuk yang pertama yaitu berbentuk batang, yang disebut dengan magnet batang
- Bentuk yang kedua yaitu berbentuk silinder, yang disebut dengan Magnet Silinder
- Bentuk yang ketiga yaitu berbentuk jarum, yang disebut dengan Magnet Jarum
- Bentuk yang keempat yaitu berbentuk cincin, yang disebut dengan Magnet Cincin
- dan bentuk yang terakhir yaitu berbentuk U, yang disebut dengan Magnet U (Magnet Ladam).

## 2.5. Generator

Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi [8].

Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dapat berasal



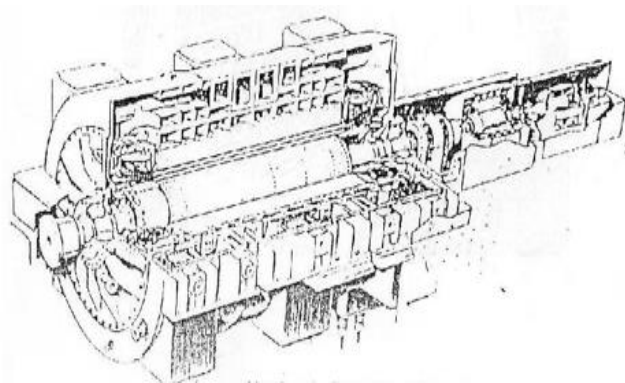
dari, turbin baik turbin air atau turbin uap dan selanjutnya berproses menghasilkan arus listrik.

### **2.5.1 Komponen Pada Generator**

Generator merupakan komponen utama pada industri pembangkit khususnya PLTU yang berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kapasitas generator dari waktu ke waktu berkembang semakin pesat dengan didukung oleh teknologi konstruksi dan rancang bangun yang semakin maju. Komponen-komponen utama pada generator[9].

### **2.5.2 Casing**

Casing terbuat dari baja ringan yang dirancang untuk menopang inti stator dan kumparan-kumparannya. Pada umumnya generator di PLTU didinginkan dengan hidrogen yang bertekanan, oleh karena itu casing harus dirancang mampu menahan tekanan dan ledakan hidrogen yang mungkin terjadi (besarnya tekanan ledak diperkirakan dua kali tekanan hidrogen)[10]. Dapat dilihat pada gambar 2.5.

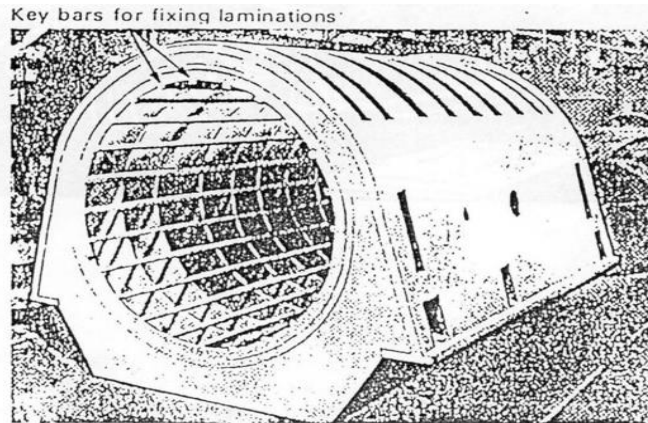


**Gambar 2.5.** Casing Generator

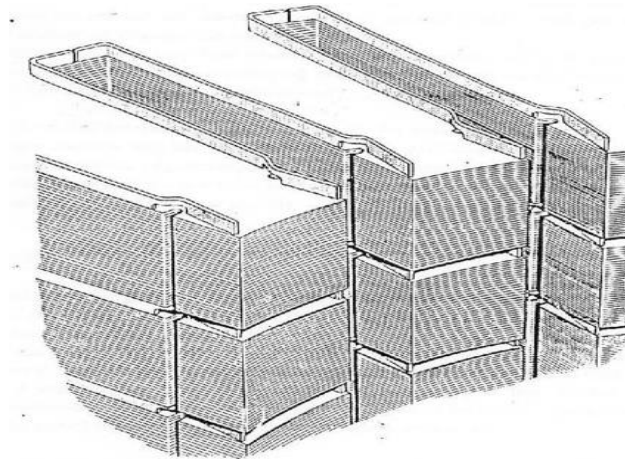
### **2.5.3 Stator**

Stator terdiri dari inti stator dan kumparan. Pada generator berukuran kecil, inti stator dibuat menjadi satu dengan casing, namun pada generator berukuran besar, inti stator dibuat sebagai komponen yang terpisah[11]. Inti ini terbentuk dari susunan plat-plat baja silikon yang mempunyai sifat kemagnetan yang baik dikompres dengan sangat rapat sekali dan

diisolasi satu sama lain dengan pernis atau kertas berisolasi (*impregnated paper*). Dapat dilihat pada gambar 2.6 dan gambar 2.7.



**Gambar 2.6.** Inti dan Kumbaran Stator



**Gambar 2.7.** Laminasi-laminasi Stator

Susunan plat baja silikon yang membentuk inti biasanya disebut laminasi, laminasi tersebut membentuk saluran yang sangat efektif bagi fluks magnet yang dihasilkan oleh rotor. Isolasi pada laminasi mengurangi besarnya arus pusar (*eddy current*), sehingga mengurangi kerugian panas yang timbul. Inti stator juga dibuat membentuk alur-alur untuk menempatkan kumparan dan lubang-lubang untuk saluran pendingin yang akan bersirkulasi untuk menyerap panas.

Disepanjang keliling bagian dalam dari inti mempunyai sederetan alur-alur, dan setiap alur berisi 2 lilitan (*coil*) yang dipasang berimpit dimana satu diatas yang lain dan semua lilitan ini digulung dalam 3 grup yang berbeda (setiap grup disebut fasa). Salah satu ujung

dari setiap grup dihubungkan bersama untuk membentuk titik bintang atau titik netral pada kumparan stator[11].

Ujung yang lain dari setiap grup merupakan terminal keluar dari tiap fasa dan dibawa keluar dari casing generator melalui bushing-bushing berisolasi seperti pada gambar 1, dan ketiga penghubung ini mengalirkan energi listrik dari generator ke transformator generator. Didalam kumparan-kumparan stator dibangkitkan tegangan tinggi sehingga kumparan-kumparan tersebut harus diisolasi secara baik dengan bahan pembungkus coil-coil tembaga pada lapisan-lapisan fibreglass atau pita mica yang diisi/diresapkan secara bertekanan dengan bitumen atau suatu bentuk fibreglass.

Coil-coil yang menggantung pada tiap ujung inti stator memberi ruangan untuk keperluan penyambungan dari coil ke coil dan ujung terakhir ke terminal. Ujung-ujung kumparan dijepit sangat kuat dengan bahan isolasi seperti pasak bakelite, pita isolasi dan mur-mur serta baut-baut permali untuk mencegah gerakan yang disebabkan oleh gaya mekanik akibat dari kebocoran flux magnet.

Generator-generator yang besar biasanya menggunakan pendingin air untuk coil-coil statornya. Konduktor-konduktor dengan penampang yang berlubang persegi mengizinkan air murni (*non-conducting*) untuk bersirkulasi melalui coil-coil. *Inlet manifold* dan *exhaust manifold* mensirkulasikan dan menampung air pendingin.

Media pendingin yang lain adalah gas hidrogen yang disirkulasikan sekeliling bagian dalam dari generator oleh fan yang dipasang pada tiap ujung dari rotor. Saluran-saluran kecil dan alur-alur dalam inti stator dan dalam metal rotor serta kumparan rotor memungkinkan gas untuk mendinginkan bagian-bagian ini secara kontak langsung[1].

#### **2.5.4 Generator Sinkron**

Konversi energi elektromagnetik merupakan perubahan energi mekanik ke bentuk energi listrik dan dari energi listrik ke bentuk energi mekanik. Generator sinkron atau disebut juga alternator adalah mesin listrik arus bolak-balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak-balik yang bekerja dengan cara mengubah energi mekanik menjadi ebergi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula akan menghasilkan energi mekanik, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan rotor dan statornya[12].

Makna sinkron dalam pengertian generator sinkron ialah bahwa frekuensi listrik yang dihasilkan sinkron dengan putaran mekanik generator tersebut. Kecepatan yang sinkron ini dihasilkan dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan magnet generator sinkron terdapat di rotornya sedangkan kumparan jangkar terletak pada rotornya. Rotor pada generator sinkron yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor. Hubungan antara medan magnet dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan oleh persamaan berikut ini:

$$f = \frac{n \times p}{120} \dots\dots\dots 2.5$$

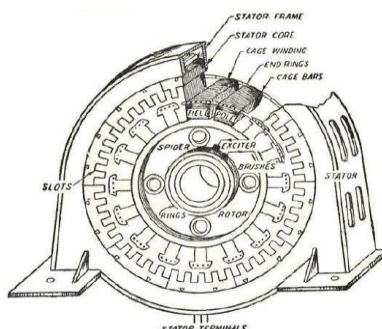
Dimana :

- f = frekuensi (Hz);
- n = kecepatan putaran rotor (rpm);
- p = jumlah kutub.

### 2.5.5 Komponen Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron secara umum terdiri dari tiga komponen utama yaitu :

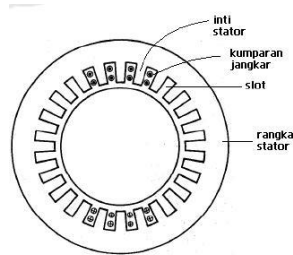
1. Stator, yaitu bagian dari generator yang diam.
2. Rotor, yaitu bagian dari generator yang berputar.
3. Celah udara, yaitu ruang antara stator dan rotor. Konstruksi dari sebuah generator sinkron dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini :



**Gambar 2.8.** Konstruksi Generator Sinkron

1. Stator

Stator adalah bagian dari generator yang diam dan mempunyai alur atau *slot* memanjang yang di dalamnya terdapat lilitan yang disebut belitan jangkar (*Armature Winding*). Bentuk penampang stator dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah ini :



**Gambar 2.9.** Penampang Stator

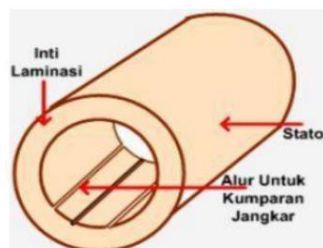
Secara umum stator terdiri dari kerangka stator, inti stator, belitan stator dan *slot*.

a. Rangka Stator

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin di mana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

b. Inti Stator

Inti stator melekat pada rangka stator di mana inti ini terbuat dari laminasi-laminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini dilakukan untuk memperkecil rugi *eddy current*. Tiap laminasi diberi isolasi dan di antaranya dibentuk celah sebagai tempat aliran udara. Gambar 2.10 dibawah ini merupakan bentuk dari inti stator.



**Gambar 2.10.** Inti Stator

c. Alur (*slot*) dan Gigi

Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Bentuk slot ada 3 jenis yaitu slot terbuka, slot setengah terbuka, dan slot tertutup. Bentuk-bentuk alur atau *slot* dapat dilihat pada Gambar 2.11 dibawah ini.



**Gambar 2.11.** Bentuk-Bentuk Alur/Slot

- d. Kumpanan jangkar pada umumnya terbuat dari tembaga. Kumpanan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

## 2. Rotor

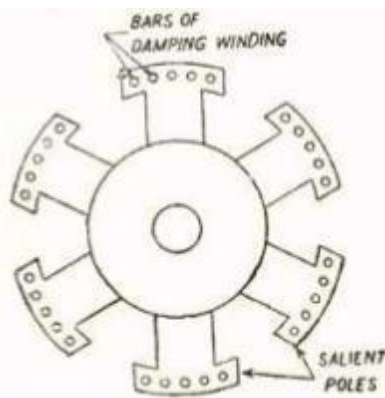
Rotor berfungsi sebagai tempat belitan medan (eksitasi) yang membentuk kemagnetan listrik kutub-kutub utara-selatan pada inti rotor. Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

- a. *Slip ring* merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumpanan rotor dipasangkan ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (*brush*) yang letaknya menempel pada *slip ring*.
- b. Kumpanan Rotor (Kumpanan Medan) merupakan komponen yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumpanan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.
- c. Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumpanan medan, di mana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara parallel terhadap poros rotor.

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya ialah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa kutub menonjol (*Salient Pole*) dan kutub silindris (*Non Salient Pole*).

- a. Kutub Menonjol (*Salient Pole*)

Pada jenis ini, Kutub magnet tampak menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan medannya dihubungkan secara seri. Ketika kumparan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Rotor jenis ini mempunyai kutub yang berjumlah banyak dan utaranya rendah. *Salient Pole* ditandai dengan rotor yang berdiameter besar dan sumbunya pendek. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, di mana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*. Tampilan fisik rotor kutub menonjol ditunjukkan pada gambar 2.12.

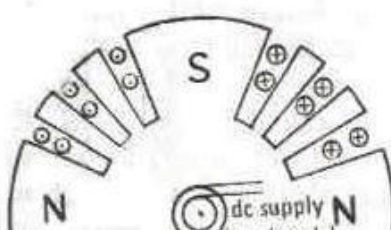


**Gambar 2.12.** Rotor Kutub Menonjol Generator Sinkron

Rotor jenis ini umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah hingga sedang (120-400 rpm). Oleh karena itu generator sinkron jenis ini biasanya akan dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol ini baik digunakan untuk putaran rendah hingga sedang karena kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi. Selain itu konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.

b. Kutub Silindris (*Non Salient Pole*)

Pada jenis ini, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat dari sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur tersebut dan terhubung seri dengan slip yang terhubung dengan eksiter. Gambaran bentuk kutub silindris generator sinkron adalah seperti pada Gambar 2.13 di bawah ini.



**Gambar 2.13.** Rotor Kutub Silinder (*Non Salient Pole*)

Rotor kutub silinder umumnya digunakan untuk kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 rpm). Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar tinggi karena konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi. Selain itu distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol[1].

### 2.5.6 Prinsip Kerja Generator

Suatu mesin listrik akan berfungsi apabila memiliki hal-hal sebagai berikut:

1. Kumaran medan untuk menghasilkan medan magnet.
2. Kumaran jangkar untuk mengimbaskan ggl pada konduktor-konduktor yang terletak pada alur-alur jangkar.
3. Celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet.

Adapun sistem kerja dari generator sinkron secara umum ialah sebagai berikut:

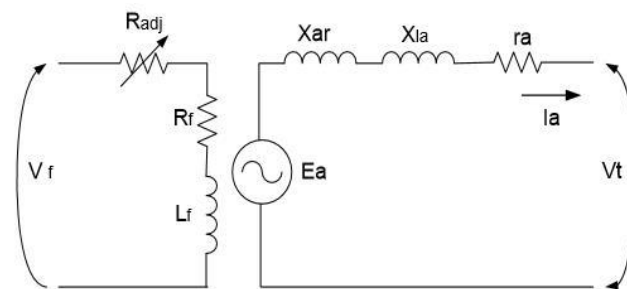
1. Kumaran medan yang diletakkan di rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumaran medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumaran medan akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.



2. Penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan yang diharapkan.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

### 2.5.7 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Stator terdiri dari belitan konduktor yang berupa tahanan ( $R_a$ ) dan induktansi ( $L$ ), dimana saat motor bekerja maka fluks jangkar ( $\phi_a$ ) akan terbentuk ketika arus mengalir pada konduktor dan akan membangkitkan medan putar, fluks jangkar ( $\phi_a$ ) ini akan berinteraksi dengan fluks medan ( $\phi_m$ ) sehingga konversi energi mekanik menjadi energi listrik terjadi. Pada kondisi ini akan ada fluks sisa yang tidak dapat berinteraksi dengan fluks medan yang disebut dengan reaktansi bocor ( $X_A$ ). Rangkaian ekuivalen dari suatu generator per fasa dapat dilihat pada Gambar 2.14.



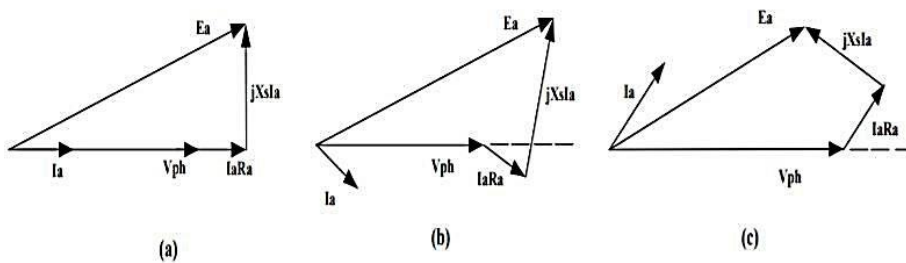
**Gambar 2.14.** Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Dimana :

- $V_t$  = Tegangan Terminal Generator (Volt);
- $V_f$  = Tegangan Eksitasi (Volt);
- $R_f$  = Tahanan Belitan (Ohm);
- $L_f$  = Induksi Belitan (H);
- $X_{ar}$  = Reaktansi Jangkar (Ohm);
- $X_{la}$  = Reaktansi Bocor Jangkar (Ohm);

- Ia = Arus Jangkar (A);
- Ea = Tegangan Induksi (Volt);
- Radj = Tahanan Variabel (Volt);
- Ra = Tahanan Jangkar (Ohm).

Pada penjelasan sebelumnya secara garis besar dapat ditarik kesimpulan bahwa sifat umum dari generator atau alternator ini berdasarkan sifat beban yang dipikulnya. Arus yang ada dapat bersifat sefasa, mendahului ataupun tertinggal dari tegangan. Gambar 2.15 adalah diagram fasor pada generator untuk lebih menjelaskan teori tersebut.



**Gambar 2.15.** Hubungan Berbagai Jenis Beban pada Generator Terhadap Arus dan Tegangan

Keterangan : (a) Beban resistif (sefasa)

(b) Beban induktif (terbelakang)

(c) Beban kapasitif (mendahului)

Gambar 2.15 menunjukkan bahwa pada saat generator melayani beban yang bersifat induktif tegangan induksi (E) yang dibutuhkan lebih besar dibandingkan dengan jenis beban lainnya dimana kondisi arus jangkar serta tegangan terminal sama. Karena itu jenis beban induktif ini membutuhkan arus medan dengan nilai yang besar untuk menghasilkan tegangan terminal yang sama. Hal ini sesuai persamaan berikut :

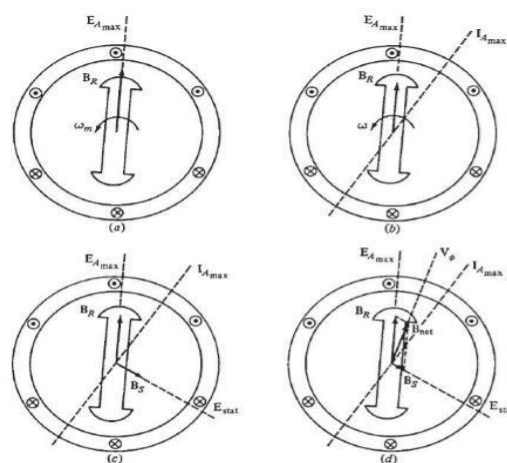
$$E = Cn\phi \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

- E = Tegangan Induksi (Volt);
- n = Jumlah Putaran (Rpm);
- $\phi$  = Fluks Medan Magnet.

### 2.5.8 Reaksi Jangkar pada Generator Sinkron

Reaksi jangkar ialah kondisi dimana arus mengalir pada jangkar yang terletak pada medan magnet. Pada celah udara generator hanya akan terjadi arus medan rotor apabila generator sinkron yang ada bekerja pada beban nol sehingga tidak ada arus yang mengalir dan melalui kumparan jangkar (stator). Pada saat kondisi generator sinkron berbeban maka yang terjadi adalah arus jangkar ( $I_a$ ) akan mengalir dan membentuk fluks jangkar. Fluks tersebut akan mengubah nilai terminal pada generator sinkron karena mempengaruhi fluksi arus medan yang ada. Model reaksi jangkar ini dapat dilihat dari Gambar 2.16.



**Gambar 2.16.** Model Reaksi Jangkar pada Generator Sinkron

Dari Gambar 2.16 diatas terlihat bahwa :

1. Saat medan magnet yang ada berputar maka akan menghasilkan suatu nilai berupa  $E_{A_{max}}$ .
2. Saat generator dibebani beban induktif maka arus lagging akan dihasilkan oleh tegangan resultan.
3. Arus stator akan menghasilkan tegangan stator berupa  $E_{stat}$  pada belitan stator serta menghasilkan medan magnetnya sendiri berupa  $B_s$ .
4. Bagian output terdapat  $B_{net}$  akan dihasilkan dari penjumlahan vektor  $B_s$  dan  $B_r$  serta  $V_f$  akan dihasilkan dari penjumlahan fektor antara  $E_{stat}$  dengan  $E_{A_{max}}$ .

Tegangan induksi akan dibangkitkan pada pada belitan stator generator saat generator diputar. Bila beban dihubungkan ke terminal generator maka akan ada arus jangkar ( $I_a$ ) yang mengalir pada belitan stator. Tegangan fasa pada medan magnet rotor

akan berubah karena pengaruh dari medan magnet stator (arus jangkar). Karena itu medan magnet pada rotor harus diperbesar untuk mendapatkan tegangan terminal yang konstan dengan cara meningkatkan arus medan. Reaktansi generator bergantung dari jenis beban yang terpasang pada generator atau reaktansi generator tersebut bergantung dari sudut fase antara arus jangkar dengan tegangan induksi yang ada. Arus jangkar akan mengalir dan menimbulkan reaksi jangkar yang bersifat reaktif saat kondisi generator berbeban. Reaktansi ini disebut dengan reaktansi pemagnetan yang bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor disebut sebagai reaktansi sinkron. Pengaruh yang dapat ditimbulkan oleh fluks jangkar dapat berupa distorsi, penguatan (*magnetising*), maupun pelemahan (*demagnetising*) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh oleh arus jangkar bergantung dari jenis beban yang terpasang dan faktor dayanya, yaitu:

1. Beban resistif ( $\cos \varphi = 1$ )

Pada beban resistif ini fluksi jangkar mempengaruhi fluksi medan yang ada hanya sebatas dari medistorsinya saja tanpa mempengaruhi penguatannya (*cross magnetising*).

2. Beban kapasitif murni ( $\cos \varphi = 0$  lead)

Pada beban jenis kapasitif murni ini akan terjadi penguatan (*magnetising*). Hal ini terjadi dikarenakan fluks yang di hasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan dengan fluksi medan. Artinya arus jangkar akan menguatkan fluksi medan dimana arus yang ada akan mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ .

3. Beban tidak murni (induktif/kapasitif)

Pada beban jenis ini reaksi jangkar akan menjadi sebagian penguatan (*magnetising*) dan sebagian pelemahan (*demagnetising*). Saat beban kapasitif maka reaksi jangkar akan sebagian *distorsi* dan sebagian *magnetising*. Apabila kondisi beban induktif maka reaksi jangkar yang ada akan sebagian *distorsi* dan sebagian *demagnetising*.

4. Beban induktif murni ( $\cos \varphi = 0$  lag)

Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar pada beban induktif murni akan melawan fluksi medan. Hal ini akan membuat reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan (*demagnetising effect*).

## 2.5.9 Sistem Eksitasi Generator Sinkron

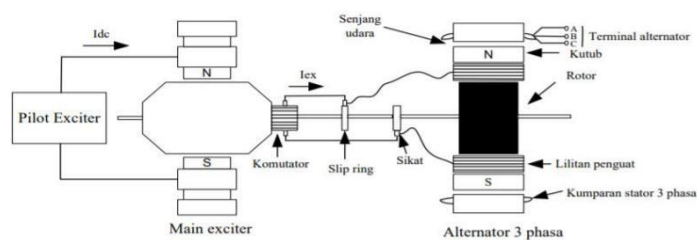
Sistem eksitasi merupakan sistem penguatan yang terdapat pada generator. Sistem penguatan tersebut dilakukan dengan cara memberi pasokan listrik arus searah (DC) pada generator agar terjadi penguatan pada medan magnet sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik. Arus eksitasi sendiri ialah suatu arus yang dialirkan pada kutub magnetik, dengan mengatur besar kecil dari nilai arus eksitasi tersebut. maka dapat memperoleh nilai tegangan output generator yang diinginkan serta daya reaktifnya. Sistem ini merupakan hal yang sangat vital pada proses pembangkitan energi listrik dan perkembangannya, sistem eksitasi itu sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*) dan eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*).

1. Sistem eksitasi dengan sikat (*brush excitation*)

Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat ini dibedakan menjadi dua tipe yaitu tipe eksitasi dinamik dan tipe eksitasi statis.

a. Sistem eksitasi dinamik

Sistem eksitasi dinamik merupakan sistem eksitasi yang arus eksitasinya disuplai oleh mesin eksiter (mesin penggerak). Pada sistem eksitasi ini dapat menggunakan generator DC ataupun generator AC tetapi terlebih dahulu disearahkan oleh *rectifier* karena arus yang digunakan pada sistem eksitasi merupakan arus searah. Arus tersebut akan disalurkan ke slipring kemudian disalurkan ke medan penguat generator kedua. Gambar sistem eksitasi dinamik dapat dilihat pada Gambar 2.17.

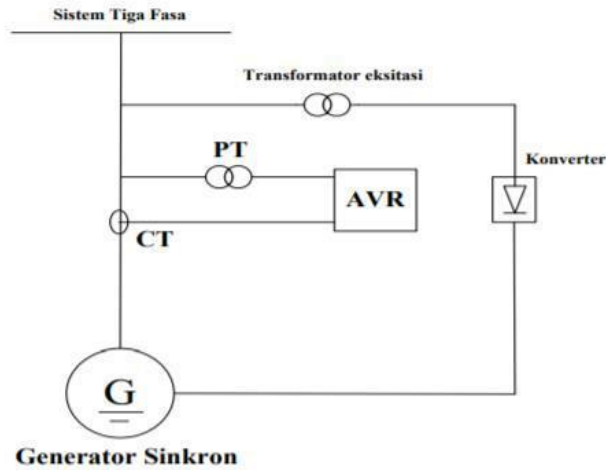


**Gambar 2.17.** Sistem Eksitasi Dinamik

b. Sistem eksitasi statis

Sistem eksitasi statis ini juga disebut sebagai self excitation karena sistem eksitasi ini disuplai dari generator sinkron itu sendiri tetapi perlu disearahkan oleh *rectifier* terlebih dahulu. Pada rotor terdapat sedikit medan magnet yang tersisa dan akan menimbulkan tegangan pada stator. Tegangan tersebut selanjutnya akan dimasukkan

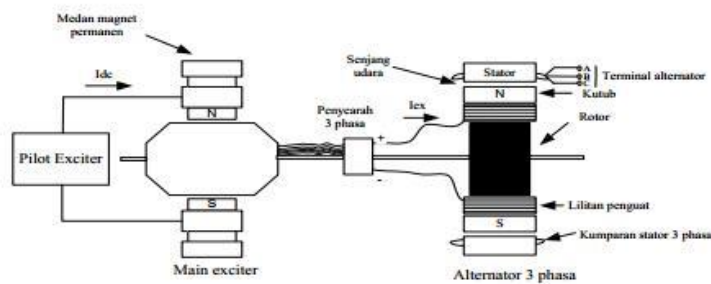
kembali ke rotor dimana sebelumnya telah disearahkan oleh rectifier, akibatnya medan magnet yang dihasilkan semakin besar dan membuat tegangan terminal yang ada ikut naik. Gambar 2.18 merupakan gambar dari sistem eksitasi statis.



**Gambar 2.18.** Sistem Eksitasi Statis

## 2. Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*)

Sistem eksitasi ini mengutamakan kinerja dari pilot exciter serta sistem yang akan menyalurkan arus eksitasi pada generator utama. Pilot exciter terdiri dari generator arus bolak-balik yang memiliki kumparan tiga fasa pada stator serta medan magnet yang terpasang pada poros rotor. Diagram prinsip kerja pada eksitasi system tanpa brush ditunjukkan pada Gambar 2.19 di bawah ini.



**Gambar 2.19.** Sistem eksitasi tanpa *brush*

Beberapa keuntungan sistem eksitasi tanpa sikat yaitu:

- a. Keandalannya tinggi karena energi untuk eksitasi diperoleh dari poros utama.
- b. Biaya perawatan lebih sedikit karena tidak terdapat sikat arang, slip ring dan komutator.
- c. Mengurangi kerusakan akibat udara buruk (*bad atmosphere*) karena semua peralatan diletakkan pada ruang tertutup.
- d. Tidak diperlukan lagi peralatan seperti pemutus medan generator (*Generator field breaker*), bus exciter dan *field generator*.
- e. Tidak akan terjadi kerusakan isolasi akibat melekatnya debu karbon pada *furnish* akibat sikat arang.

#### **2.5.10. Pengaruh Beban Terhadap Sistem Eksitasi**

Pada saat generator sinkron bekerja pada keadaan tanpa beban atau beban nol maka tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar stator, akibatnya yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun apabila generator sinkron diberi beban, maka arus jangkar akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian akan mempengaruhi fluksi medan dan akhirnya akan menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron. Reaksi ini yang kemudian dikenal dengan reaksi jangkar. Pengaruh yang timbul akibat dari fluksi jangkar dapat berupa distorsi penguatan (*magnetising*) maupun pelemahan (*demagnetising*) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh yang ditimbulkan fluksi jangkar tergantung pada beban dan faktor daya beban. Berikut pengaruh beban terhadap pengaturan sistem eksitasi :

##### **a. Beban Resistif**

Untuk beban resistif dengan  $\cos \phi = 1$ , maka pengaruh fluksi jangkar terhadap fluksi medan hanya sebatas mendistorsi tanpa mempengaruhi kekuatannya (*cross magnetising*). pada beban resistif, fluksi medan dari arus eksitasi hanya mempengaruhi terhadap besarnya tegangan terminal dari generator. Untuk beban resistif ini hanya mengkonsumsi daya nyata atau daya aktif saja. Sehingga ketika suatu generator dibebani oleh beban resistif, maka tegangan terminal dan putaran *prime mover* akan menurun. Dan untuk menjaga agar tegangan terminal generator tetap pada tegangan jaringan interkoneksi maka dapat diatasi dengan memperbesar fluksi medan dengan cara menambahkan besarnya arus eksitasi yang

di injeksikan ke dalam kumparan medan. Selain itu untuk mengatasi itu dapat dengan memperbesar bukan dari *inlet valve* air.

#### b. Beban Induktif

Untuk beban induktif murni dengan  $\cos \phi = 0$  dan bersifat *lagging*, maka arus akan tertinggal sebesar  $90^\circ$  dari tegangan. Hal ini menyebabkan fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Hal itu akan menyebabkan reaksi jangkar bersifat *demagnetising* yang artinya pengaruh reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan. Seperti yang sudah dijelaskan, bahwa beban yang bersifat induktif hanya mengkonsumsi daya reaktif saja. Oleh karenanya pada pembangkit, untuk meningkatkan besarnya daya reaktif (MVAR) yang dibangkitkan, maka dapat dilakukan dengan cara memperkuat fluksi medan yakni dengan menambahkan besarnya arus eksitasi yang di injeksikan ke dalam kumparan medan pada generator.

#### c. Beban Kapasitif

Pada beban yang bersifat kapasitif murni dengan  $\cos \phi = 0$  dan bersifat *leading*, maka arus akan mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ . Dan fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan, sehingga akan menyebabkan reaksi jangkar bersifat *magnetising* yang artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan. Dengan terjadinya penguatan fluksi medan di kumparan generator, maka akan mengakibatkan terjadinya kenaikan tegangan terminal pada generator. Untuk menjaga agar tegangan terminal generator ini sama dengan tegangan jaringan interkoneksi, maka arus eksitasi yang disuplai ke kumparan medan rotor generator akan dikurangi. Sehingga apabila pemakaian beban kapasitif meningkat, maka arus eksitasi yang disuplai ke rotor pada generator sinkron akan dikurangi.

### 2.5.11 Generator Axial Flux Permanent Magnet 8 Kutub (AFPM)

Generator *Axial Flux Permanent Magnet (AFPM)* adalah salah satu jenis mesin listrik yang dapat membangkitkan energi listrik dengan arah aliran fluks secara tegak lurus. Bagian stator generator fluks aksial ini dapat dilihat dari berbagai macam variasi diantaranya adalah stator dengan inti besi berbentuk torus, stator tanpa inti besi, dan jumlah gulungan. Sedangkan rotor pada generator terdiri dari tatakan penyanggah magnet dan juga magnet permanen yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet utama, magnet permanen



direkatkan atau di tanamkan pada piringan plat (*disc*) agar kokoh dan tahan getaran pada saat dioperasikan. Semakin besar luas permukaan permanen magnet yang digunakan, semakin banyak pula fluks magnetik yang dibangkitkan oleh magnet permanen tersebut dan menembus kumparan pada stator, sehingga gaya gerak listrik (GGL) induksi yang dibangkitkan juga semakin tinggi[13]. Contoh dari generator *axial flux* dapat terlihat pada gambar 2.20.



**Gambar 2.20.** Generator *Axial Flux*

#### **2.5.12 Bagian-Bagian Generator *Axial Flux Permanent Magnet 8 Kutub***

Adapun bagian-bagian generator *axial flux permanent magnet* adalah :

a. Stator

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

b. Rotor

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

### 2.5.13 Magnet Permanen

Magnet atau magnit adalah suatu objek yang mempunyai suatu medan magnet. Kata magnet (magnit) berasal dari bahasa Yunani *magnítis líthos* yang berarti batu Magnesian. Magnesia adalah nama sebuah wilayah di Yunani pada masa lalu yang kini bernama Manisa (sekarang berada di wilayah Turki) di mana terkandung batu magnet yang ditemukan sejak zaman dulu di wilayah tersebut. Pada saat ini, suatu magnet adalah suatu materi yang mempunyai suatu medan magnet. Materi tersebut bisa dalam berwujud magnet tetap atau magnet tidak tetap. Magnet yang sekarang ini ada hampir semuanya adalah magnet buatan. Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu: kutub utara (*north/N*) dan kutub selatan (*south/S*). Walaupun magnet itu dipotong-potong, potongan magnet kecil tersebut akan tetap memiliki dua kutub. Magnet dapat menarik benda lain. Beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet [14]. Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik pada Satuan Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit untuk total fluks magnetik adalah weber.  $1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$ , yang memengaruhi satu meter persegi. Elektromagnet terbuat dari gulungan kawat yang bertindak sebagai magnet ketika arus listrik melewatinya tetapi berhenti menjadi magnet ketika tidak diberi arus listrik. Seringkali, kumparan melilit inti dari "lunak" bahan *ferromagnetic* seperti baja, yang sangat meningkatkan medan magnet

yang dihasilkan oleh kumparan. Keseluruhan kekuatan magnet diukur dengan momen magnetik atau, sebaliknya, total fluks magnetik yang dihasilkan. Kekuatan lokal magnet dalam suatu material diukur dengan magnetisasinya.

Magnet permanen ini tidak memiliki kumparan penguat dan tidak menghasilkan desipasi daya elektrik. Magnet permanen *neodymium* merupakan magnet yang bermaterial keras artinya material feromagnetik yang memiliki *hysteresis loop* yang lebar. *Hysteresis loop* yang lebar menunjukkan sedikitnya pengaruh induksi dari luar terhadap magnet tersebut.

#### **2.5.14 Tipe-Tipe Generator *Axial Flux***

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

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

Seperti namanya, generator *axial flux* cakram tunggal memiliki masing-masing satu buah stator dan rotor. Biasanya rotor pada jenis ini berupa piringan besi yang kuat dengan magnet yang menempel pada permukaannya. Jenis generator ini biasanya digunakan untuk kecepatan putar yang rendah seperti pada turbin angin.

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

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

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

Tipe ini kebalikan dengan sebelumnya, bedanya rotor yang akan diapit oleh dua buah stator atau yang biasanya disebut internal rotor. Desain ini biasanya cocok digunakan untuk mesin yang memiliki momen inersia yang kecil. Tipe ini juga bisa divariasikan seperti tipe eksternal rotor.

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

Generator *axial flux* ini memiliki rotor dan stator yang lebih dari dua. Biasanya tipe ini digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang lebih besar. Torsi yang dimiliki oleh generator *axial flux* ini cenderung lebih besar sehingga memiliki transfer panas yang tidak begitu baik. Untuk variasi generator *axial flux* ini masih sama dengan kedua tipe sebelumnya, yaitu tipe N-N dan tipe N-S.

#### **2.5.15 Prinsip Kerja Generator Axial Flux 8 Kutub**

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

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

#### **2.5.16 Magnet Neodymium**

Magnet *neodymium* dikenal juga sebagai magnet NdFeB, NIB atau magnet Neo dan merupakan magnet yang paling sering digunakan dalam dunia industri. Magnet ini terbuat dari campuran magnet jarang bumi, magnet ini adalah jenis magnet permanen yang terbuat dari perpaduan *neodymium*, besi, dan boron untuk membentuk struktur kristal tetragonal NdFe14B [15]. Magnet *neodymium* adalah magnet tipe terkuat yang tersedia secara komersil dalam pemanfaatannya dalam dunia teknologi karena magnet ini juga mempunyai ketahanan

terhadap kehilangan sifat kemagnetan yang sangat tinggi. Magnet ini juga mempunyai potensi untuk menyimpan energi magnet dalam jumlah yang sangat besar, lebih baik dari pada magnet *samarium cobalt*. Contoh magnet *neodymium* dapat dilihat pada gambar 2.21.



**Gambar 2.21** Magnet *Neodymium*

## 2.6 Daya

Daya dalam sistem tenaga listrik merupakan jumlah energi listrik yang digunakan dalam suatu usaha, dan daya tersebut merupakan nilai suatu perkalian antara tegangan dengan arus yang mengalir. Secara sistematis sesuai dengan persamaan berikut :

$$P = V \times I \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

P = Daya (VA);

V = Tegangan (Volt);

I = Arus (Ampere).

Pada sistem penggunaan arus bolak-balik (AC) 3 fasa, terdapat 4 jenis daya, yaitu daya reaktif (*reactive power*), daya semu/tampak (*apparent power*), daya aktif (*active power*), dan daya kompleks.

### 1. Daya reaktif (*reactive power*)

Daya reaktif merupakan suatu daya rugi-rugi dengan kata lain merupakan suatu yang tidak diinginkan dan semaksimal mungkin dapat dihindari. Daya ini bersumber dari komponen reaktif dan memiliki satuan VAR. Dalam perhitungan fasa, daya reaktif ini merupakan perkalian antara teganga efektif dengan arus efektifis serta nilai sin. Secara sistematis menggunakan persamaan berikut :

$$Q = V \times I \times \sin\phi \text{ (Untuk 1 Fasa) } \dots\dots\dots 2.8$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \text{ (Untuk 3 Fasa) } \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR);

V = Tegangan (Volt);

I = Arus (A);

Sin  $\phi$  = Sudut fasa;

$\sqrt{3}$  = 3 fasa.

## 2. Daya semu/tampak (*apparent power*)

Daya semu merupakan suatu daya nyata, dengan kata lain daya semu ini adalah daya yang sebenarnya dihasilkan oleh generator. Daya semu merupakan penjumlahan antara daya aktif dengan daya reaktif. Daya semu ini memiliki persamaan yaitu VA. Berikut adalah persamaan sistematis pada daya semu/tampak (*apparent power*) :

$$S = V \times I \dots\dots\dots 2.10$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA);

P = Daya Aktif (Watt);

Q = Daya Reaktif (VAR).

## 3. Daya aktif (*active power*)

Daya aktif adalah daya yang digunakan untuk energi sebenarnya dengan kata lain daya ini merupakan daya yang terpakai atau terserap. Daya aktif ini merupakan daya yang tercatat pada kwh meter yang terdapat di rumah-rumah dan daya tersebut merupakan daya yang harus dibayar oleh pelanggan. Daya aktif ini sendiri memiliki satuan yaitu Watt (W). Berikut adalah persamaan sistematis pada daya aktif (*active power*) :

$$P = V \times I \times \cos\phi \text{ (Untuk 1 Fasa)} \dots\dots\dots 2.12$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \text{ (Untuk 3 Fasa)} \dots\dots\dots 2.13$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt);

V = Tegangan (Volt);

$I$  = Arus (A);

$\cos \varphi$  = Sudut fasa;

$\sqrt{3}$  = 3 fasa.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik pada bulan September sampai Desember 2019 yang berada di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan waktu selama empat bulan.

### 3.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis di dalam penelitian Pengaruh Kuat Medan Magnet Permanen Dan Kecepatan Rotor Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Generator Arus Bolak-Balik, yaitu :

1. Satu Unit Laptop  
Merk : ACER Aspire E 14 *series*  
Processor : Intel (R) Core TM i5-7200U 2.5 GHz  
Installed memory (RAM) : 4.00 GB  
System tytpe : 64-bit Operating System
2. Dua unit Generator 3 fasa.
3. Satu unit Tang Ampere.
4. Satu unit multimeter.
5. Enam puluh unit kabel penghubung.
6. Satu unit speedmeter.

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan cara-cara teknik / penjabaran suatu analisa/perhitungan yang dilakukan dalam rangka mencapai suatu tujuan dalam penelitian. Adapun langkah-langkah metode penelitian ini, yaitu :

1. Studi Literatur 39  
Meliputi studi defir tegangan eksitasi, daya reaktif, dan yang  
berkaitan dengan p
2. Pengumpulan Data  
Meliputi pengambilan dan pengumpulan data yang didapat pada Laboratorium Konversi Energi Listrik UMSU.
3. Pengolahan Data dan Analisa  
Menganalisis pengaruh perubahan tegangan eksitasi terhadap daya reaktif generator yang berdasarkan formula yang ada sehingga didapat nilai-nilai. Dan data tersebut dapat juga disajikan dalam bentuk grafik.



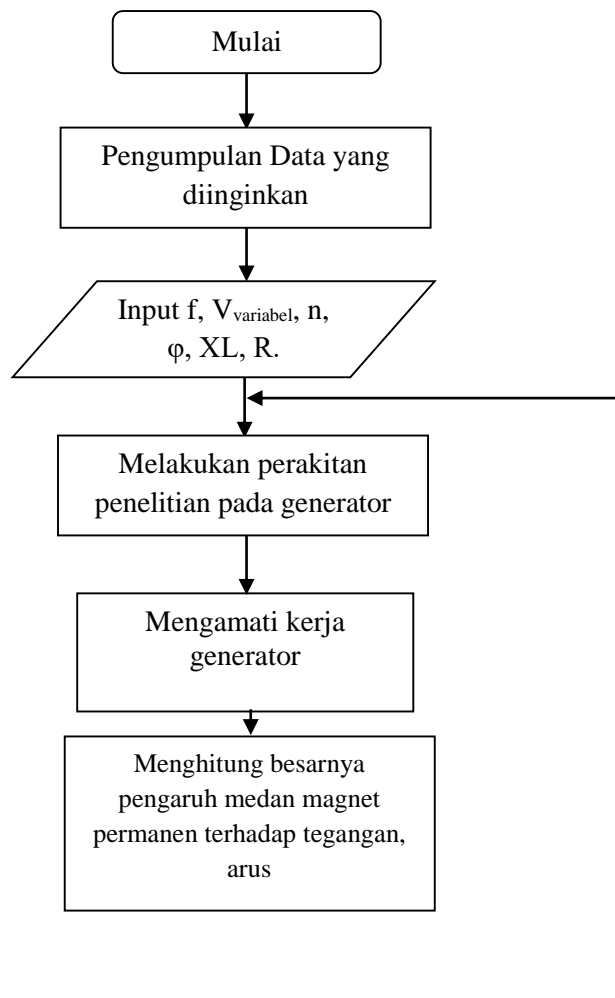
### 3.4 Langkah-Langkah Pengujian Penelitian

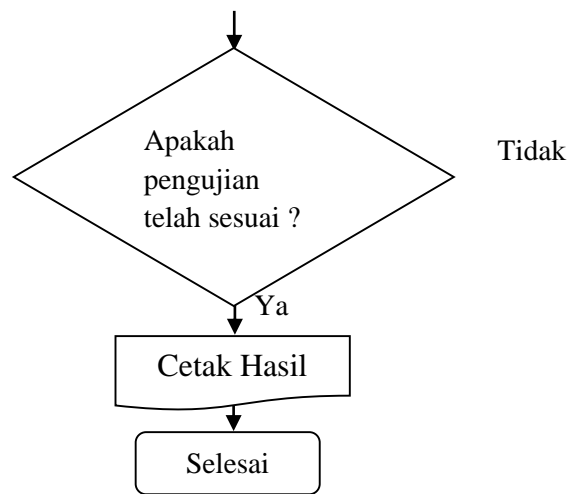
Adapun langkah kerja pada pengujian penelitian pengaruh kuat medan magnet permanen generator 3 phasa adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat pengujian sesuai dengan daftar kebutuhan serta memeriksanya.
2. Melakukan perakitan wiring control pada peralatan penelitian atau pengujian.
3. Melakukan perakitan wiring daya pada peralatan penelitian atau pengujian.
4. Mengecek kerja rangkaian kontrol sebelum melakukan pengujian.
5. Melakukan pengujian seluruh rangkaian yang telah dilakukan.
6. Mengamati selama proses percobaan berlangsung.
7. Menulis data hasil pengamatan atau pengujian.

### 3.5 Flowchart Penelitian

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





**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian Medan Magnet Permanen Pada Generator Dengan 4 Kutub.

##### a. Generator 4 Kutub Dengan Tanpa Beban

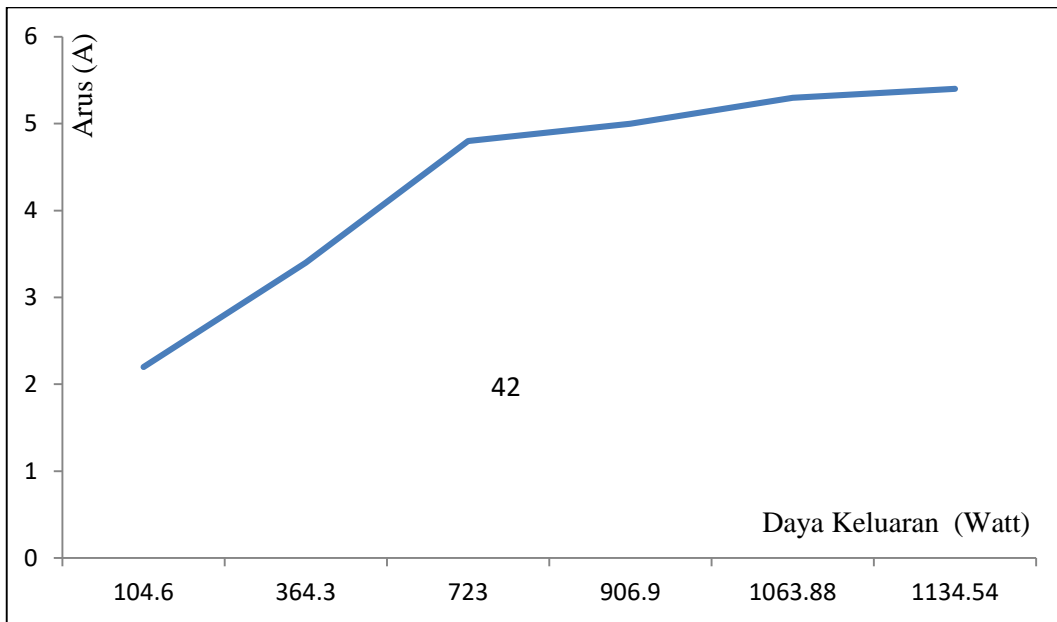
Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 4 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Hasil Penelitian Tanpa Beban 4 Kutub

Pengujian ke	Putaran (rpm)	Tegangan (V) Out	Iout Generator (A)	Pout Generator (Watt)
1	400	47,5	2,2	104,6
2	800	107,1	3,4	364,3
3	1200	150,6	4,8	723
4	1600	181,3	5	906,9

5	2000	200,7	5,3	1063,88
6	2300	210,1	5,4	1134,54

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sudah terukur. Sehingga tidak perlu lagi mencari besar nilai daya keluaran generator pada saat dilakukan pengujian tanpa beban. Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 4 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada grafik gambar 4.1 dibawah ini.



**Gambar 4.1** Grafik Perbandingan Arus Terhadap Daya

Pada gambar 4.1 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 4 kutub pada saat pengujian ke enam yaitu pada nilai putaran dari 1200.

#### **b. Generator 4 Kutub Dengan Beban**

Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 4 kutub dengan beban dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Data Hasil Penelitian Dengan Beban 4 Kutub

Pengujian ke	Beban (Ohm)	Tegangan (Vout)	Cos $\phi$	Iout Generator (A)	Putaran (rpm)

1	85	165,1	0,96	0,67	1670
2	70	183,5	0,96	0,80	1855
3	55	188,6	0,95	0,88	1920
4	40	191,3	0,98	0,95	2005
5	35	201,2	0,95	1,25	2100
6	20	215,7	0,95	2,01	2215

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sebagai berikut :

Pengujian ke 1

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \cos \phi$$

$$P_{out} = 165,1 \times 0,67 \times 0,96$$

$$P_{out} = 106,19 \text{ Watt}$$

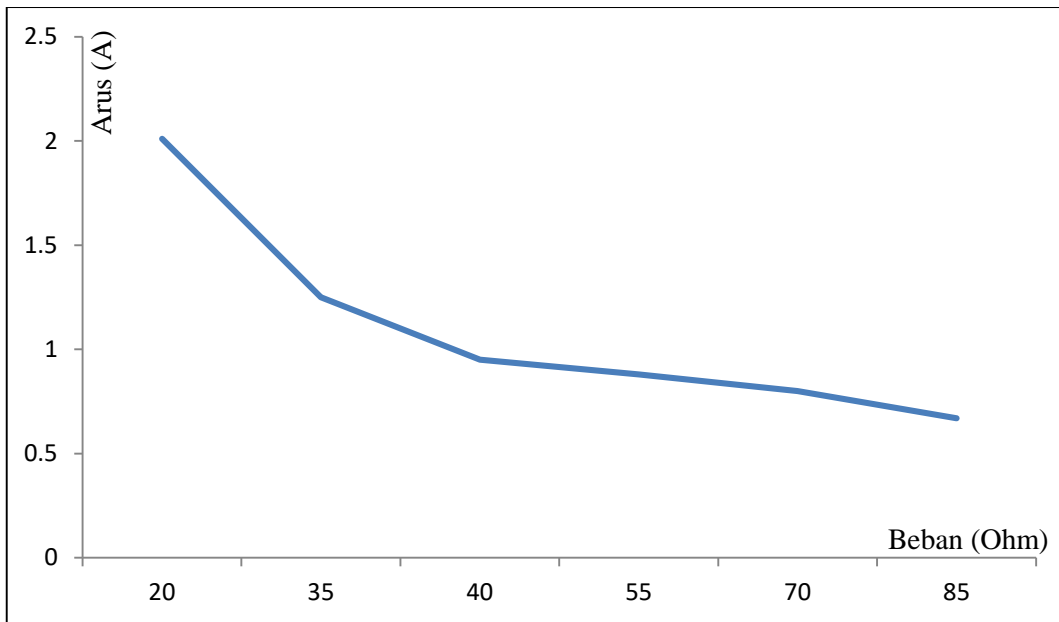
Untuk perhitungan pengujian ke dua sampai ke enam akan disajikan dalam bentuk tabel

4.3.

**Tabel 4.3** Daya Keluaran Generator

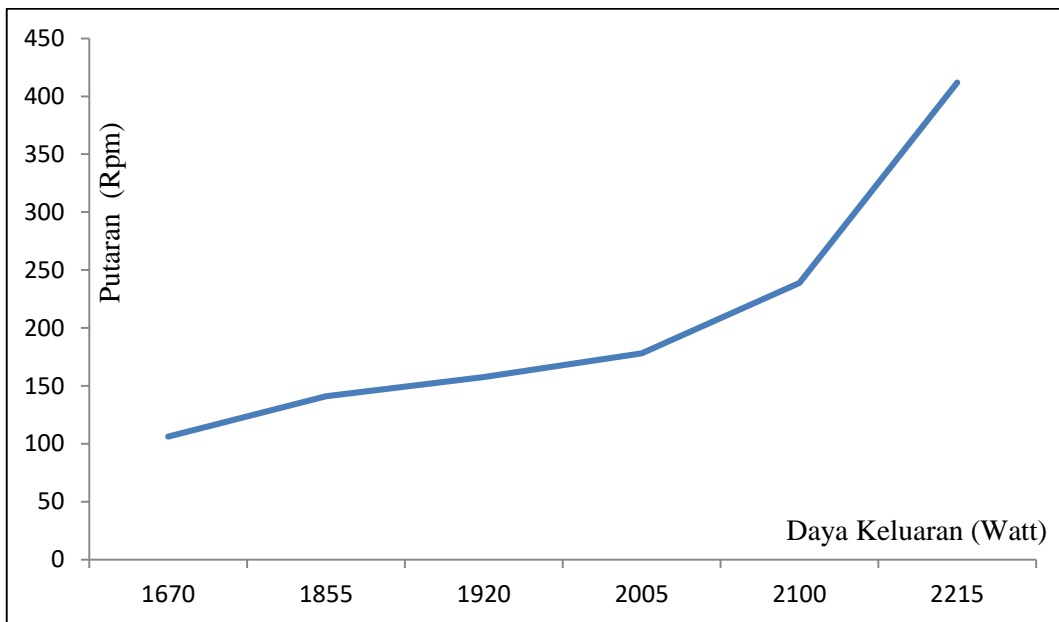
Pengujian ke	Beban (Ohm)	Daya Keluaran (Watt)
1	85	106,19
2	70	140,92
3	55	157,66
4	40	178,10
5	35	238,92
6	20	411,87

Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 4 kutub berbeban dapat dilihat pada grafik gambar 4.2 dan gambar 4.3 dibawah ini.



**Gambar 4.2** Grafik Perbandingan Arus Terhadap Beban

Pada gambar 4.2 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran arus yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 4 kutub pada saat pengujian dilakukan berbeban.



**Gambar 4.3** Grafik Perbandingan Putaran Terhadap Daya Keluaran

Pada gambar 4.3 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 4 kutub pada saat pengujian beban sebesar 35 Ohm, 40 Ohm dan 70 Ohm.

## 4.2 Hasil Pengujian Medan Magnet Permanen Pada Generator Dengan 8 Kutub.

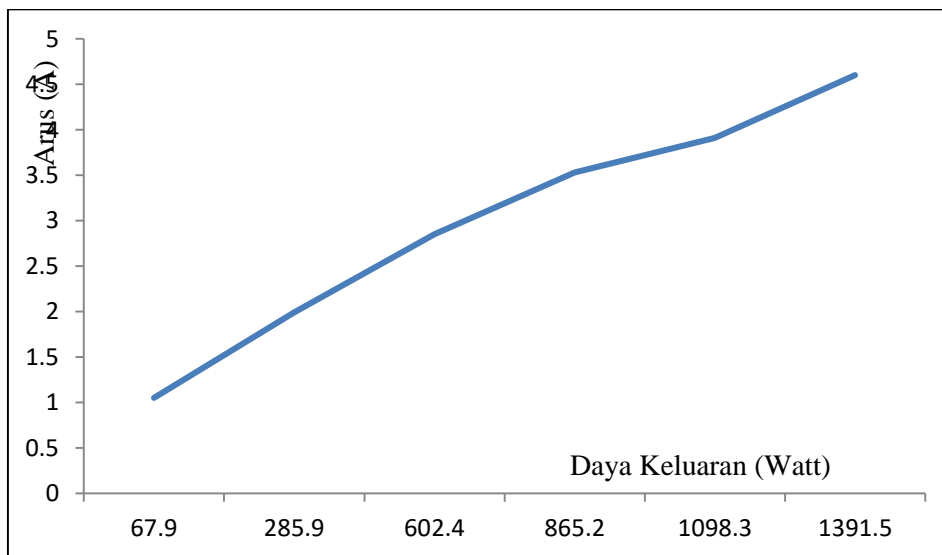
### a. Generator 8 Kutub Dengan Tanpa Beban

Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 8 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Data Hasil Penelitian Tanpa Beban 8 Kutub

Pengujian ke	Putaran (rpm)	Tegangan (V) Out	Iout Generator (A)	Pout Generator (Watt)
1	400	64,7	1,05	67,9
2	800	143,7	1,99	285,9
3	1200	211,4	2,85	602,4
4	1600	245,1	3,53	865,2
5	2000	280,9	3,91	1098,3
6	2300	302,5	4,6	1391,5

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sudah terukur. Sehingga tidak perlu lagi mencari besar nilai daya keluaran generator pada saat dilakukan pengujian tanpa beban. Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 8 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada grafik gambar 4.4 dibawah ini.



**Gambar 4.4** Grafik Perbandingan Arus Terhadap Daya Keluaran

Pada gambar 4.4 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 8 kutub pada saat pengujian ke lima yaitu pada nilai putaran 2000.

### b. Generator 8 Kutub Dengan Beban

Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 8 kutub dengan beban dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Data Hasil Penelitian Dengan Beban 8 Kutub

Pengujian ke	Beban (Ohm)	Tegangan (Vout)	Cos $\phi$	Iout Generator (A)	Putaran (rpm)
1	85	105,1	0,93	0,27	1270
2	70	143,5	0,93	0,38	1455
3	55	158,6	0,95	0,49	1520
4	40	171,3	0,95	0,57	1705
5	35	191,2	0,95	0,71	1850
6	20	209,7	0,97	0,87	2005

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sebagai berikut :

Pengujian ke 1

$$\mathbf{Pout} = Vout \times Iout \times Cos \phi$$

$$\mathbf{Pout} = 105,1 \times 0,27 \times 0,93$$

$$\mathbf{Pout} = 26,39 \text{ Watt}$$

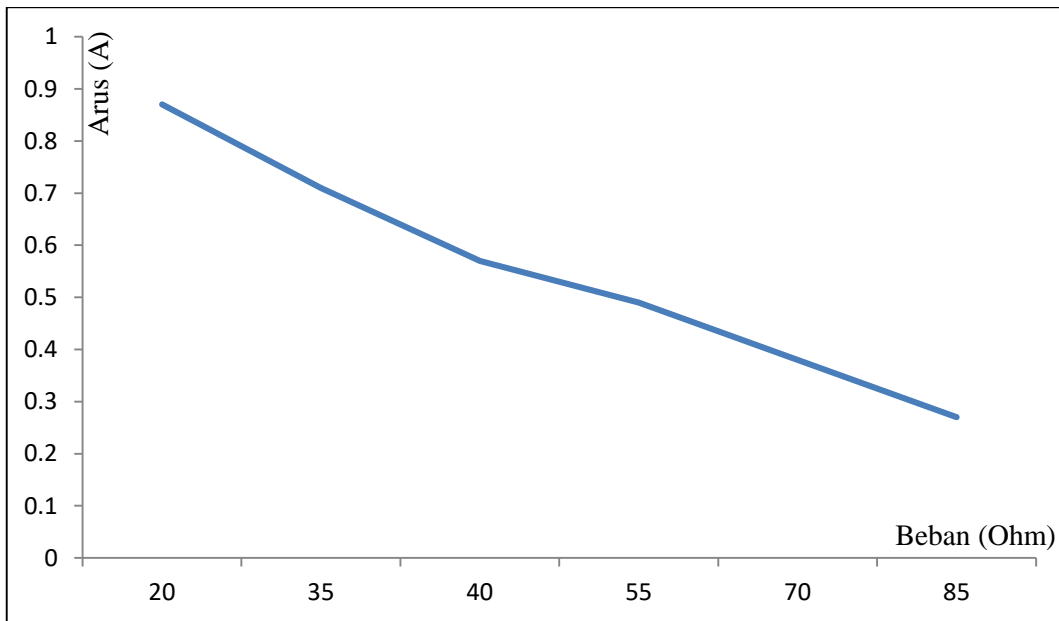
Untuk perhitungan pengujian ke dua sampai ke enam akan disajikan dalam bentuk tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Daya Keluaran Generator

Pengujian ke	Beban (Ohm)	Daya Keluaran (Watt)
1	85	26,39
2	70	50,71
3	55	73,82
4	40	92,75
5	35	128,96

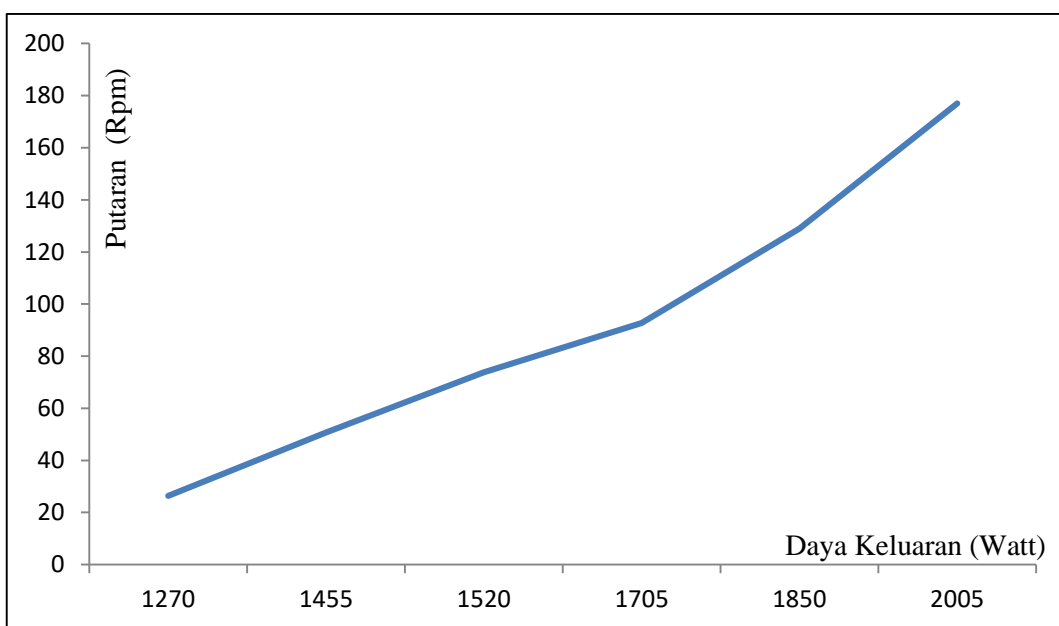
6	20	176,97
---	----	--------

Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 8 kutub berbeban dapat dilihat pada grafik gambar 4.5 dan gambar 4.6 dibawah ini.



**Gambar 4.5** Grafik Perbandingan Arus Terhadap Beban

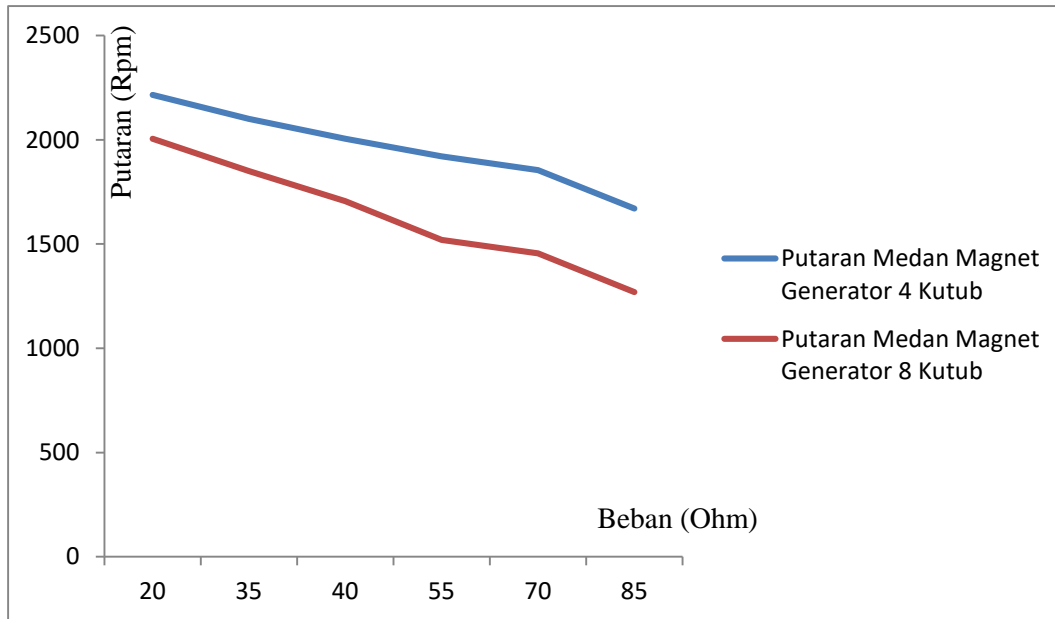
Pada gambar 4.5 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran arus yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 8 kutub pada saat pengujian beban 40 Ohm.





**Gambar 4.6** Grafik Perbandingan Putaran Terhadap Daya Keluaran

Pada gambar 4.6 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 8 kutub pada saat pengujian beban sebesar 35 Ohm. Sehingga, perbandingan antara hasil medan magnet permanen antara generator 4 kutub dengan generator 8 kutub dapat dilihat pada grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



**Gambar 4.7** Grafik Perbandingan Medan Magnet Generator 4 Kutub Dengan 8 Kutub

Pada gambar 4.7 diatas bahwa nampak terlihat perbedaan yang sangat signifikan antara generator medan magnet permanen 4 kutub dengan 8 kutub. Pada generator medan magnet permanen 4 kutub adanya satu nilai jenuh yaitu pada saat beban sebesar 70 Ohm. Sedangkan, pada generator medan magnet permanen 8 kutub nilai ataupun titik jenuhnya berada pada beban sebesar 55 Ohm dan 70 Ohm.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Adanya perbedaan yang sangat signifikan antara generator medan magnet permanen 4 kutub dengan 8 kutub. Pada generator medan magnet permanen 4 kutub memiliki nilai atau titik jenuh yaitu pada saat beban sebesar 70 Ohm. Sedangkan, pada generator medan magnet permanen 8 kutub memiliki nilai ataupun titik jenuhnya berada pada beban sebesar 55 Ohm dan 70 Ohm.
2. Arus maksimal yang dihasilkan generator medan magnet permanen 4 kutub sebesar 2,01 A, sedangkan yang dihasilkan generator medan magnet permanen 8 kutub sebesar 0,87 A. Dengan diantara keduanya memiliki perbedaan selisih sebesar 1,14 A.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk pengembangan tugas akhir ini dapat dikaji lagi mengenai permasalahan lain yang ada pada generator.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Amalia, “Pengaruh Kuat Medan Magnet Dan Kecepatan Rotor Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Generator Arus Bolak-Balik LeyBold TPS 2.5,” 2010.
- [2] S. Armansyah, “Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal,” *J. Tek. Elektro UISU*, vol. 1, no. 3, pp. 48–55, 2016.
- [3] T. H. Mulud, “Pengaruh Magnet Permanen Sebagai Penguat Medan Magnet Pada Pembangkit Tenaga Listrik,” *Pros. SNST*, no. 2011, pp. 17–22, 2014.
- [4] R. Rimbawati, P. Harahap, and K. U. Putra, “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu),” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3647.
- [5] A. Indriani, “Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial,” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 2, 2015.
- [6] A. P. Dermawan, “Komparasi Fluks Magnetik Orbital Elektro Motor Tipe Cincin Terhadap Radial Elektro Motor Berbasis Software Magnet,” *Unnes*, 2019.
- [7] H. Asyari *et al.*, “Pengaruh Perbandingan Konstruksi Stator Terhadap Tegangan Keluaran Generator Linier,” *Emitor*, vol. 16, no. 1, pp. 32–42, 2016.
- [8] M. Bahrullah, M. H. Basri, A. Herlina, and B. Indarto, “Perancangan Generator 3 Phase Pada Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP),” *Elemen*, no. 1, pp. 46–53, 2020.
- [9] A. Muttaqin, M. Syukri, and R. H. Siregar, “Perancangan Alternator Kecepatan Rendah Yang Di Pakai Pada Turbin Angin Tipe Horizontal Multi Blade Di Pantai Alue Naga Aceh Besar,” pp. 1–9.
- [10] H. Prasetijo, Ropiudin, and B. Dharmawan, “Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah Permanent Magnet Generator as Low Speed Electric Power Plant,” *Agustus*, vol. 8, no. 2, 2012.
- [11] B. Prasetiyo and T. H. Mulud, “Rancang Bangun Motor – Generator Magnet Permanen Jenis NdFeB,” *Eksergi*, vol. 15, no. 2, p. 60, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v15i2.1507.
- [12] S. SIMBOLON, “Pengaruh Geometri dan Kuat Medan Permanen dari Magnet

- Permanen NdFeB Terhadap Output Generator Fluks Aksial,” *Pist. J. Tech. Eng.*, 2017, doi: 10.32493/pjte.v1i1.542.
- [13] A. Azzahra, “Rancang Bangun Prototipe Generator Axial Flux Tiga Fasa Dengan Magnet Permanen Neodymium (NdFeB) Stator Ganda Untuk Pengisian Battery 12 Volt,” *Skripsi*, 2020.
- [14] Andika and A. Hamzah, “Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Tiga Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah,” *Univ. Riau*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [15] H. Herudin and W. D. Prasetyo, “Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM,” *Setrum Sist. Kendali Tenaga Elektron. Telekomun. Komput.*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.36055/setrum.v5i1.886.



LEMBARAN ASISTENSI

Nama : DARWINSYAH PUTRA  
NPM : 1507220128  
Asistensi : Dosen Pembimbing I  
Judul : PENGARUH KUAT MEDAN MAGNET DAN KECEPATAN ROTOR TERHADAP TEGANGAN YANG DIHASILKAN GENERATOR ARUS BOLAK-BALIK

No	Tanggal	Uraian	Paraf
	28-08-2019	lengkapi Abstrak dan cover	zl
	05-11-2019	lengkapi Bab 1 dan 2.3	zl
	20-10-2020	perbaiki Grafik Bab 4 tidak ada kot. sumbu x dan y	zl zl
	25-10-2020	lengkapi Bab 5	zl
	29-10-2020	perbaiki Abstrak	zl
	02-11-2020	lengkapi ket Gambar	zl
	24-11-2020	perbaiki daftar isi, daftar pustaka	zl
		Acc seminar 7.11.2020	zl

Dosen Pembimbing I

(DR.M.FITRA ZAMBAK, M.Sc)



TUGAS AKHIR  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
Kampus Utama Umsu, Jln. Kapt.MucktarBasri no.3 Medan 20238, Telp (061) 661059

### LEMBARAN ASISTENSI

Nama : DARWINSYAH PUTRA

NPM : 1507220128

Asistensi : Dosen Pembimbing II

Judul : PENGARUH KUAT MEDAN MAGNET DAN KECEPATAN ROTOR TERHADAP TEGANGAN YANG DIHASILKAN GENERATOR ARUS BOLAK-BALIK

No	Tanggal	Uraian	Paraf
	23 - 07 - 2019	Perbaiki BAB 1 dan BAB 2	duk
	07 - 08 - 2019	Perbaiki rumusan masalah	duk
	23 - 09 - 2019	Perbaiki data tabel	duk
	10 - 08 - 2020	Lengkapi daftar pustaka minimal 10	duk
	05 - 09 - 2020	Lengkapi grafik serta keterangan	duk
	14 - 09 - 2020	Perbaiki cara penulisan	duk
	01 - 10 - 2020	Lengkapi kata pengantar,	duk
	08 - 10 - 2020	Kesimpulan dan saran	duk
	02 - 11 - 2020	ACC !!! 000	duk

Dosen Pembimbing II

(Arnawan Hasibuan, ST. MT)

# Analisis Perbandingan 4 Kutub Dan 8 Kutub Generator Terhadap Kecepatan Rotor Yang Menghasilkan Tegangan

Darwinsyah Putra, M. Fitra Zambak, Arnawan Hasibuan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara JL. Kapten

Muchtar Basri BA No. 03 Medan Telp (061)6622400 ex. 12 Kode Pos 20238

e-mail: [darwinsyah9611@gmail.com](mailto:darwinsyah9611@gmail.com)

**Abstrak** — Pada generator, jumlah kutub mempengaruhi kecepatan rotor dan frekuensi dari gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan. Frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub magnet pada generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Dalam penelitian ini membahas tentang pengaruh kuat medan magnet permanen dengan cara membandingkan dua kutub yang berbeda yaitu 4 kutub dan 8 kutub pada generator. Hasil pengujian yang didapatkan pada generator adalah adanya perbedaan yang sangat signifikan antara generator medan magnet permanen 4 kutub dengan 8 kutub. Pada generator medan magnet permanen 4 kutub memiliki nilai atau titik jenuh yaitu pada saat beban sebesar 70 Ohm. Sedangkan, pada generator medan magnet permanen 8 kutub memiliki nilai ataupun titik jenuhnya berada pada beban sebesar 55 Ohm dan 70 Ohm. Arus maksimal yang dihasilkan generator medan magnet permanen 4 kutub sebesar 2,01 A, sedangkan yang dihasilkan generator medan magnet permanen 8 kutub sebesar 0,87 A. Dengan diantara keduanya memiliki perbedaan selisih sebesar 1,14 A.

**Kata kunci** : Medan Magnet Permanen, Kecepatan, Arus, Beban, Tegangan

**Abstract** — In a generator, the number of poles affects the rotor speed and the frequency of the induced electromotive force generated. The frequency produced by the synchronous generator is strongly influenced by the rotational speed of the rotor and the number of magnetic poles on the generator. If the generator load changes, it will affect the generator rotor speed. This study discusses the effect of the permanent magnetic field strength by comparing two different poles, namely 4 poles and 8 poles on the generator. The test results obtained on the generator are that there is a very significant difference between the 4-pole and 8-pole permanent magnetic field generators. The 4-pole permanent magnetic field generator has a value or saturation point when the load is 70 Ohms. Meanwhile, the 8-pole permanent magnetic field generator has a value or saturation point at a load of 55 Ohms and 70 Ohms. The maximum current generated by the 4-pole permanent magnetic field generator is 2.01 A, while that of the 8-pole permanent magnetic field generator is 0.87 A. Between the two, the difference is 1.14 A.

**Keywords** : Permanent Magnetic Field, Speed, Current, Load, Voltage.

## I. PENDAHULUAN

Pembangunan di bidang ketenagalistrikan menjadi prioritas utama pemerintah karena tenaga listrik merupakan kebutuhan primer yang harus dipenuhi. Saat ini, tenaga listrik menjadi tenaga penggerak sektor industri di Indonesia membutuhkan listrik baik sebagai energi utama maupun energi pelengkap. Dengan bergeraknya sektor

industri ini, otomatis sektor ekonomi juga ikut bergerak, oleh sebab itu tenaga listrik menjadi kebutuhan vital untuk meningkatkan pembangunan ekonomi dan kualitas kehidupan bangsa. Pemerintah selaku pembuat kebijakan ekonomi selalu memberikan prioritas utama pada pembangunan nasional sebagai upaya pemenuhan kebutuhan penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat. Dalam usahanya

dalam memenuhi tingginya kebutuhan akan tenaga listrik ini, perusahaan tentunya akan menemui berbagai kendala dan kesulitan. Salah satu peralatan yang menunjang listrik pada pembangkit adalah generator.

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. Generator arus bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator atau generator AC (*alternating current*) atau juga generator sinkron. Alat ini sering dimanfaatkan di industri untuk menggerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik sebagai sumber penggerak. Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya.

Dalam pembangkitan energi listrik pada generator yaitu pada saat rotor diputar oleh penggerak mula (motor listrik, diesel, turbin atau penggerak lainnya), maka kutub rotor generator akan berputar. Jika kumparan kutub medan rotor dialiri arus searah maka pada kumparan medan rotor akan timbul medan magnet yang kecepatannya sama dengan kecepatan putar kutub. Rotor yang berputar tersebut akan memotong garis gaya magnet yang ada pada stator sehingga pada kutub medan rotor akan timbul tegangan induksi.

Pada generator, jumlah kutub mempengaruhi kecepatan rotor dan frekuensi dari gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan. Frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub magnet pada generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Perubahan kecepatan rotor ini secara langsung akan mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan generator. Jika frekuensi yang dikeluarkan generator diharapkan mempunyai nilai yang konstan, maka kecepatan putaran rotor harus dijaga konstan. Kuat medan elektromagnetik dapat berubah-ubah sesuai besarnya arus penguatan yang mengalir menuju kumparan medan rotor. Dengan demikian besarnya tegangan AC yang

dibangkitkan secara langsung tergantung pada besar kecilnya tegangan eksitasinya.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan suatu kajian baik berupa analisis maupun penelitian di laboratorium untuk melihat bagaimana pengaruh kuat medan magnet dan kecepatan putaran rotor pada generator arus bolak-balik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Generator

Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dapat berasal dari, turbin baik turbin air atau turbin uap dan selanjutnya berproses menghasilkan arus listrik.

### B. Magnet Permanen

Magnet atau magnit adalah suatu objek yang mempunyai suatu medan magnet. Kata magnet (magnit) berasal dari bahasa Yunani magnítis líthos yang berarti batu Magnesian. Magnesia adalah nama sebuah wilayah di Yunani pada masa lalu yang kini bernama Manisa (sekarang berada di wilayah Turki) di mana terkandung batu magnet yang ditemukan sejak zaman dulu di wilayah tersebut. Pada saat ini, suatu magnet adalah suatu materi yang mempunyai suatu medan magnet. Materi tersebut bisa dalam berwujud magnet tetap atau magnet tidak tetap. Magnet yang sekarang ini ada hampir semuanya adalah magnet buatan. Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu: kutub utara (*north/N*) dan kutub selatan (*south/S*). Walaupun magnet itu dipotong-potong, potongan magnet kecil tersebut akan tetap memiliki dua kutub. Magnet dapat menarik benda lain. Beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh



magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet. Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik pada Satuan Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit untuk total fluks magnetik adalah weber.  $1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$ , yang memengaruhi satu meter persegi. Elektromagnet terbuat dari gulungan kawat yang bertindak sebagai magnet ketika arus listrik melewatinya tetapi berhenti menjadi magnet ketika tidak diberi arus listrik. Seringkali, kumparan melilit inti dari "lunak" bahan *ferromagnetic* seperti baja, yang sangat meningkatkan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan. Keseluruhan kekuatan magnet diukur dengan momen magnetik atau, sebaliknya, total fluks magnetik yang dihasilkan. Kekuatan lokal magnet dalam suatu material diukur dengan magnetisasi nya.

Magnet permanen ini tidak memiliki kumparan penguat dan tidak menghasilkan desipasi daya elektrik. Magnet permanen *neodymium* merupakan magnet yang bermaterial keras artinya material feromagnetik yang memiliki *hysteresis loop* yang lebar. *Hysteresis loop* yang lebar menunjukkan sedikitnya pengaruh induksi dari luar terhadap magnet tersebut.

### C. Magnet Neodymium

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

### D. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang digunakan untuk energi sebenarnya dengan kata lain daya ini merupakan daya yang terpakai atau terserap. Daya aktif ini merupakan daya yang

tercatat pada kwh meter yang terdapat di rumah-rumah dan daya tersebut merupakan daya yang harus dibayar oleh pelanggan. Daya aktif ini sendiri memiliki satuan yaitu Watt (W). Berikut adalah persamaan sistematis pada daya aktif (*active power*):

$$P = V \times I \times \cos \phi \text{ (Untuk 1 Fasa) ..... 1}$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \text{ (Untuk 3 Fasa) ..... 2}$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt);

V = Tegangan (Volt);

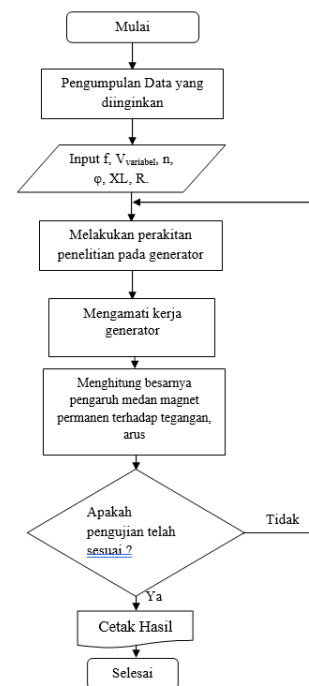
I = Arus (A);

$\cos \phi$  = Sudut fasa;

$\sqrt{3}$  = 3 fasa.

## III. METODE PENELITIAN

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



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## IV. Hasil dan Pembahasan

### 1. Hasil Pengujian Medan Magnet Permanen Pada Generator Dengan 4 Kutub.

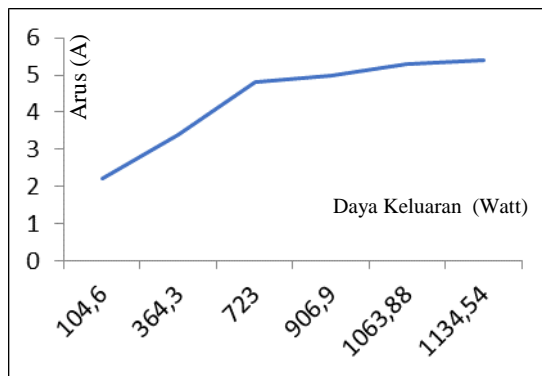
#### a. Generator 4 Kutub Dengan Tanpa Beban

Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 4 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Data Hasil Penelitian Tanpa Beban 4 Kutub

Pengujian ke	Putaran (rpm)	Tegangan (V) Keluaran	Iout Generator (A)	Pout Generator (Watt)
1	400	47,5	2,2	104,6
2	800	107,1	3,4	364,3
3	1200	150,6	4,8	723
4	1600	181,3	5	906,9
5	2000	200,7	5,3	1063,88
6	2300	210,1	5,4	1134,54

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sudah terukur. Sehingga tidak perlu lagi mencari besar nilai daya keluaran generator pada saat dilakukan pengujian tanpa beban. Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 4 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada grafik gambar 2 dibawah ini.



**Gambar 2.** Grafik Perbandingan Arus Terhadap Daya

Pada gambar 1. diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 4 kutub pada saat pengujian ke enam yaitu pada nilai putaran dari 1200.

**b. Generator 4 Kutub Dengan Beban**

Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 4 kutub dengan beban dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Data Hasil Penelitian Dengan Beban 4 Kutub

Pengujian ke	Beban (Ohm)	Tegangan (Vout)	Cos $\phi$	Iout Generator (A)	Putaran (rpm)
1	85	165,1	0,96	0,67	1670

2	70	183,5	0,96	0,80	1855
3	55	188,6	0,95	0,88	1920
4	40	191,3	0,98	0,95	2005
5	35	201,2	0,95	1,25	2100
6	20	215,7	0,95	2,01	2215

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sebagai berikut :

Pengujian ke 1

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \cos \phi$$

$$P_{out} = 165,1 \times 0,67 \times 0,96$$

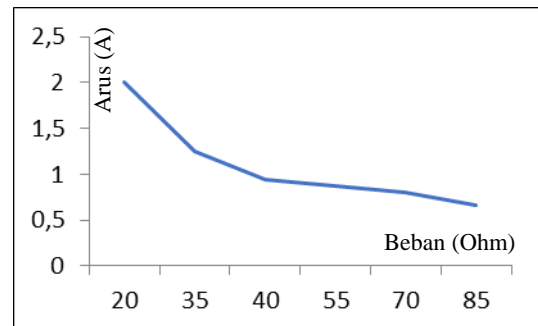
$$P_{out} = 106,19 \text{ Watt}$$

Untuk perhitungan pengujian ke dua sampai ke enam akan disajikan dalam bentuk tabel 3.

**Tabel 3.** Daya Keluaran Generator

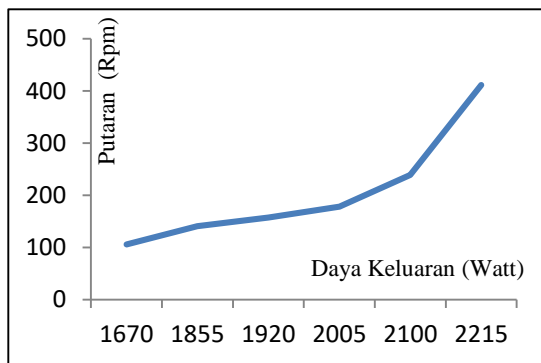
Pengujian ke	Beban (Ohm)	Daya Keluaran (Watt)
1	85	106,19
2	70	140,92
3	55	157,66
4	40	178,10
5	35	238,92
6	20	411,87

Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 4 kutub berbeban dapat dilihat pada grafik gambar 3 dan gambar 4 dibawah ini.



**Gambar 3.** Grafik Perbandingan Arus Terhadap Beban

Pada gambar 3 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran arus yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 4 kutub pada saat pengujian dilakukan berbeban.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Putaran Terhadap Daya Keluaran

Pada gambar 4 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 4 kutub pada saat pengujian beban sebesar 35 Ohm, 40 Ohm dan 70 Ohm.

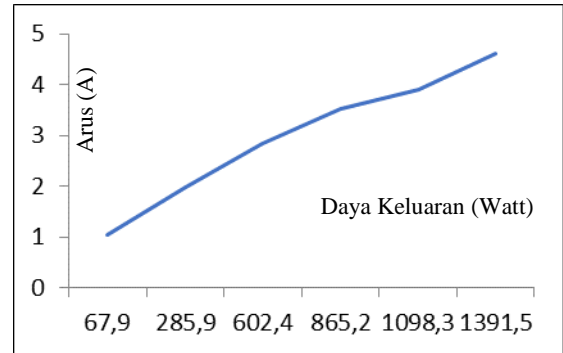
## 2. Hasil Pengujian Medan Magnet Permanen Pada Generator Dengan 8 Kutub.

a. Generator 8 Kutub Dengan Tanpa Beban  
Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 8 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Data Hasil Penelitian Tanpa Beban 8 Kutub

Pengujian ke	Putaran (rpm)	Tegangan (V) Out	Iout Generator (A)	Pout Generator (Watt)
1	400	64,7	1,05	67,9
2	800	143,7	1,99	285,9
3	1200	211,4	2,85	602,4
4	1600	245,1	3,53	865,2
5	2000	280,9	3,91	1098,3
6	2300	302,5	4,6	1391,5

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sudah terukur. Sehingga tidak perlu lagi mencari besar nilai daya keluaran generator pada saat dilakukan pengujian tanpa beban. Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 8 kutub dengan tanpa beban dapat dilihat pada grafik gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Arus Terhadap Daya Keluaran

Pada gambar 4 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 8 kutub pada saat pengujian ke lima yaitu pada nilai putaran 2000.

## b. Generator 8 Kutub Dengan Beban

Adapun data yang dihasilkan setelah melakukan pengujian generator 8 kutub dengan beban dapat dilihat pada tabel 5.

**Tabel 5.** Data Hasil Penelitian Dengan Beban 8 Kutub

Pengujian ke	Beban (Ohm)	Tegangan (Vout)	Cos φ	Iout Generator (A)	Putaran (rpm)
1	85	105,1	0,93	0,27	1270
2	70	143,5	0,93	0,38	1455
3	55	158,6	0,95	0,49	1520
4	40	171,3	0,95	0,57	1705
5	35	191,2	0,95	0,71	1850
6	20	209,7	0,97	0,87	2005

Dari data tabel diatas, bahwa nilai daya keluaran generator sebagai berikut :

Pengujian ke 1

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \cos \phi$$

$$P_{out} = 105,1 \times 0,27 \times 0,93$$

$$P_{out} = 26,39 \text{ Watt}$$

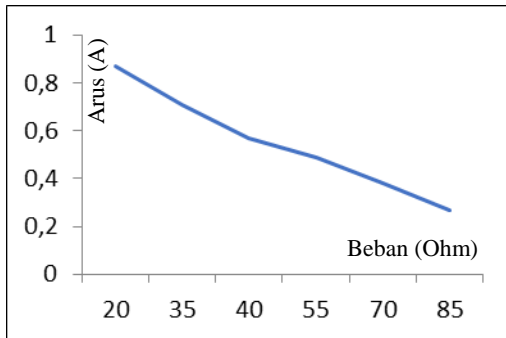
Untuk perhitungan pengujian ke dua sampai ke enam akan disajikan dalam bentuk tabel 6.

**Tabel 6.** Daya Keluaran Generator

Pengujian ke	Beban (Ohm)	Daya Keluaran (Watt)
1	85	26,39
2	70	50,71
3	55	73,82
4	40	92,75
5	35	128,96

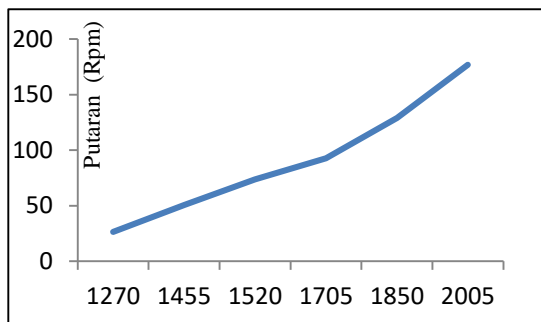
6	20	176,97
---	----	--------

Dan adapun untuk melihat hasil perbandingan pengaruh medan magnet 8 kutub berbeban dapat dilihat pada grafik gambar 6 dan gambar 7 dibawah ini.



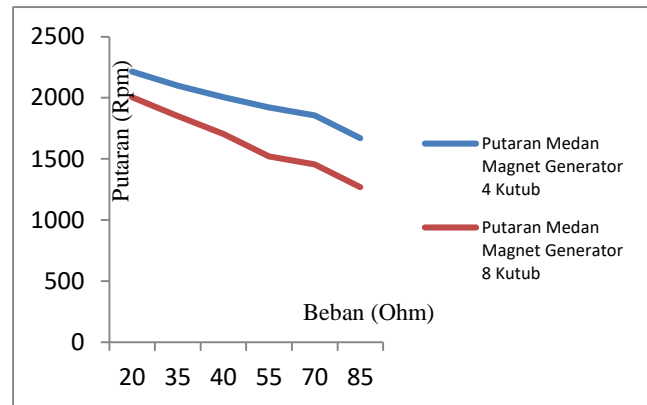
Gambar 6. Grafik Perbandingan Arus Terhadap Beban

Pada gambar 6 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran arus yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 8 kutub pada saat pengujian beban 40 Ohm.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Putaran Terhadap Daya Keluaran

Pada gambar 7 diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran daya keluaran yang dihasilkan oleh generator medan magnet permanen 8 kutub pada saat pengujian beban sebesar 35 Ohm. Sehingga, perbandingan antara hasil medan magnet permanen antara generator 4 kutub dengan generator 8 kutub dapat dilihat pada grafik yang dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Medan Magnet Generator 4 Kutub Dengan 8 Kutub

Pada gambar 8 diatas bahwa nampak terlihat perbedaan yang sangat signifikan antara generator medan magnet permanen 4 kutub dengan 8 kutub. Pada generator medan magnet permanen 4 kutub adanya satu nilai jenuh yaitu pada saat beban sebesar 70 Ohm. Sedangkan, pada generator medan magnet permanen 8 kutub nilai ataupun titik jenuhnya berada pada beban sebesar 55 Ohm dan 70 Ohm.

## V. PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan bahwa adanya perbedaan yang sangat signifikan antara generator medan magnet permanen 4 kutub dengan 8 kutub. Pada generator medan magnet permanen 4 kutub memiliki nilai atau titik jenuh yaitu pada saat beban sebesar 70 Ohm. Sedangkan, pada generator medan magnet permanen 8 kutub memiliki nilai ataupun titik jenuhnya berada pada beban sebesar 55 Ohm dan 70 Ohm. Arus maksimal yang dihasilkan generator medan magnet permanen 4 kutub sebesar 2,01 A, sedangkan yang dihasilkan generator medan magnet permanen 8 kutub sebesar 0,87 A. Dengan diantara keduanya memiliki perbedaan selisih sebesar 1,14 A.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Amalia, "Pengaruh Kuat Medan Magnet Dan Kecepatan Rotor Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Generator Arus Bolak-Balik LeyBold TPS 2.5," 2010.

- [2] S. Armansyah, "Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal," *J. Tek. Elektro UISU*, vol. 1, no. 3, pp. 48–55, 2016.
- [3] T. H. Mulud, "Pengaruh Magnet Permanen Sebagai Penguat Medan Magnet Pada Pembangkit Tenaga Listrik," *Pros. SNST*, no. 2011, pp. 17–22, 2014.
- [4] R. Rimbawati, P. Harahap, and K. U. Putra, "Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu)," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3647.
- [5] A. Indriani, "Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 2, 2015.
- [6] A. P. Dermawan, "Komparasi Fluks Magnetik Orbital Elektro Motor Tipe Cincin Terhadap Radial Elektro Motor Berbasis Software Magnet," *Unnes*, 2019.
- [7] H. Asyari *et al.*, "Pengaruh Perbandingan Konstruksi Stator Terhadap Tegangan Keluaran Generator Linier," *Emitor*, vol. 16, no. 1, pp. 32–42, 2016.
- [8] M. Bahrullah, M. H. Basri, A. Herlina, and B. Indarto, "Perancangan Generator 3 Phase Pada Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP)," *Elemen*, vol. 7, no. 1, pp. 46–53, 2020.
- [9] A. Muttaqin, M. Syukri, and R. H. Siregar, "Perancangan Alternator Kecepatan Rendah Yang Di Pakai Pada Turbin Angin Tipe Horizontal Multi Blade Di Pantai Alue Naga Aceh Besar," pp. 1–9.
- [10] H. Prasetijo, Ropiudin, and B. Dharmawan, "Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah Permanent Magnet Generator as Low Speed Electric Power Plant," *Agustus*, vol. 8, no. 2, 2012.
- [11] B. Prasetiyo and T. H. Mulud, "Rancang Bangun Motor – Generator Magnet Permanen Jenis NdFeB," *Eksergi*, vol. 15, no. 2, p. 60, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v15i2.1507.
- [12] S. SIMBOLON, "Pengaruh Geometri dan Kuat Medan Permanen dari Magnet Permanen NdFeB Terhadap Output Generator Fluks Aksial," *Pist. J. Tech. Eng.*, 2017, doi: 10.32493/pjte.v1i1.542.
- [13] A. Azzahra, "Rancang Bangun Prototipe Generator Axial Flux Tiga Fasa Dengan Magnet Permanen Neodymium (NdFeB) Stator Ganda Untuk Pengisian Battery 12 Volt," *Skripsi*, 2020.
- [14] Andika and A. Hamzah, "Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Tiga Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah," *Univ. Riau*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [15] H. Herudin and W. D. Prasetyo, "Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM," *Setrum Sist. Kendali Tenaga Elektron. Telekomun. Komput.*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.36055/setrum.v5i1.886.

## BIODATA PENULIS



### DATA PRIBADI

Nama : Darwinsyah Putra  
Tempat/Tanggal Lahir : Muara Batu-Batu  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
Nama Ayah : Darwis  
Nama Ibu : Santri  
Email : Darwinsyah9611@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1507220128  
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Elektro  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl.Kapten Muchtar Basri BA No.03 Medan

Jenjang Pendidikan	Tahun Lulus
SD Muara Batu-Batu	2009
SMP N 1 Rundeng	2012
SMA N 1 Rundeng	2015
Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara (UMSU)	2021

