

**ANALISIS PERBANDINGAN VARIASI MATERIAL INTI
BESI STATOR DAN ROTOR TERHADAP NILAI EFISIENSI
DAN *HYSTERISIS LOSSES* PADA *PERMANENT MAGNET*
*SYNCHRONOUS GENERATOR***

SKRIPSI

Disusun Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh:

ADAM MANDALA

NPM. 3332170025

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

2022

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi sebagai berikut:

Judul : Analisis Perbandingan Variasi Material Inti Besi Stator Dan Rotor Terhadap Nilai Efisiensi dan *Hysteresis Losses* Pada *Permanent Magnet Synchronous Generator*

Nama Mahasiswa : Adam Mandala

NPM : 3332170025

Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 6 Juli 2022



ADAM MANDALA
3332170025




LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut.

Judul : Analisis Perbandingan Variasi Material Inti Besi Stator Dan Rotor Terhadap Nilai Efisiensi dan *Hysterisis Losses* Pada *Permanent Magnet Synchronous Generator*
Nama Mahasiswa : Adam Mandala
NPM : 3332170025
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 6 Juli 2022 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS

Dewan Penguji

		Tanda Tangan
Pembimbing I	: Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T.	
Penguji I	: M. Hartono, S.T., M.T.	
Penguji II	: Ir. Lantip Pramono, M.Eng.	

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M. Eng.
NIP. 198307032009121006

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Skripsi ini penulis susun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari, bahwa skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada semua pihak yang memberikan kontribusi dan dukungan dalam penyusunan skripsi, dalam ada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ayahanda dan ibunda, yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, doa dan selalu memotivasi penulis dalam penulisan skripsi ini.
2. Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Dr. Ing. M. Iman Santoso, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis yang telah memberikan arahan dan motivasi kepada penulis.
4. Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah membantu serta memberikan arahan, saran dan bimbingan kepada penulis selama proses menyelesaikan Skripsi.
5. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan ilmu serta pendidikan yang bermanfaat.

Demikian pula dengan penulisan laporan Skripsi ini. Kritik dan saran sangat penulis harapkan dan dapat disampaikan secara langsung maupun tidak langsung. Semoga skripsi ini menjadi tambahan pengetahuan bagi siapa saja yang membacanya.

Cilegon, 6 Juli 2022

Penulis

ABSTRAK

Adam Mandala
Teknik Elektro

Analisis Perbandingan Variasi Material Inti Besi Stator Dan Rotor Terhadap Nilai Efisiensi dan *Hysteresis Losses* Pada *Permanent Magnet Synchronous Generator*

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan salah satu jenis mesin listrik, ada beberapa bagian penting yang terdapat pada PMSG di antaranya stator dan rotor kedua bagian ini bisa terbuat dari susunan inti besi. Setiap material mempunyai nilai efisiensi masing-masing. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan nilai efisiensi dan *hysteresis losses* pada material yang terdapat pada inti besi stator dan rotor di generator yaitu material Arnon 5, No 12 dan M 15A dengan tambahan variasi RPM dan resistansi pada generator. Nilai keluaran PMSG akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan putar rotor. Berdasarkan ilai keluaran arus, tegangan, torsi, daya *input*, daya *output* material M 15A memiliki nilai keluaran yang tertinggi, disusul dengan material NO 12 dan material Arnon 5.

Kata Kunci : PMSG, *Hysteresis Losses* , Efisiensi

ABSTRACT

Adam Mandala
Electrical Engineering

Comparative Analysis of the Effect of Variations in Stator and Rotor Iron Core Materials on Efficiency and Hysteresis Losses Values in Permanent Magnet Synchronous Generator

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is one type of electric machine, there are several important parts contained in PMSG including the stator and rotor, these two parts can be made of an iron core arrangement. Each material has its own efficiency value. The purpose of this study is to compare the efficiency values and hysteresis losses in the material contained in the iron core of the stator and rotor in the generator, namely Arnon 5, No 12 and M 15A materials with additional variations of RPM and resistance in the generator. The PMSG output value will increase as the rotor rotational speed increases. From the output values of current, voltage, torque, input power, output power, M 15A material has the highest output value, followed by NO 12 material and Arnon 5 material.

Key Word : PMSG, Hysteresis Losses, Efficiency

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Generator Sinkron Permanen Magnet	6
2.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron Magnet Permanen	7
2.3 Komponen Generator PMSG Fluks Radial	9
2.3.1 <i>Air Box</i>	9
2.3.2 Stator	9
2.3.3 <i>Coil</i> atau Kumparan	10
2.3.4 <i>Air Gap</i>	11
2.3.5 Rotor.....	11
2.3.6 Magnet.....	12
2.4 Permeabilitas	13
2.5 Kurva B-H	14
2.6 <i>Hysterisis Losses</i>	15

2.7	Torsi.....	18
2.8	Daya dan Efisiensi.....	19
2.9	Kajian Pustaka.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....		22
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2	Rancangan Generator.....	23
3.3	Rangkaian Simulasi Berbeban.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Hasil Perancangan PMSG.....	29
4.2	Hasil Simulasi Fluks Magnet.....	31
4.3	Nilai Kurva B-H.....	32
4.4	Hasil Nilai Permeabilitas.....	34
4.5	Hasil Data Nilai Kurva karakteristik.....	35
4.5.1	Hasil Nilai Arus.....	36
4.5.2	Hasil Nilai Tegangan.....	38
4.5.3	Hasil Nilai Torsi.....	41
4.5.4	Hasil Nilai Daya <i>Input</i>	43
4.5.5	Hasil Nilai Daya <i>Output</i>	45
4.5.6	Hasil Nilai Efisiensi.....	47
4.6	Hasil Data Nilai <i>Hysteresis Losses</i>	49
BAB V PENUTUP.....		52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN A DATA HASIL PERCOBAAN.....		A-1
LAMPIRAN B HASIL NILAI KELUARAN.....		B-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Generator Sinkron Magnet Permanen.....	6
Gambar 2.2 Aturan Tangan Kanan <i>Fleming</i>	8
Gambar 2.3 Stator.....	10
Gambar 2.4 <i>Air Gap</i>	11
Gambar 2.5 Rotor SFPM dan IPM.....	12
Gambar 2.6 Grafik Nilai Permeabilitas.....	13
Gambar 2.7 Kurva B-H.....	14
Gambar 2.8 <i>Loop Hysterisis Losses</i>	16
Gambar 2.9 <i>Ferromagnetic Speciment</i>	17
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Analisa Pengaruh Material dan <i>Losses</i>	22
Gambar 3.2 <i>Design</i> PMSG Material Arnon 5.....	23
Gambar 3.3 <i>Design</i> PMSG Material NO 12.....	24
Gambar 3.4 <i>Design</i> PMSG Material M 15A.....	25
Gambar 3.5 Rangkaian Simulasi Berbeban.....	27
Gambar 4.1 Hasil Simulasi Kerapatan Fluks Setiap Material.....	31
Gambar 4.2 Kurva B-H Material Arnon 5.....	32
Gambar 4.3 Kurva B-H Material NO 12.....	33
Gambar 4.4 Kurva B-H Material M 15A.....	34
Gambar 4.5 Nilai Arus Material Arnon 5.....	36
Gambar 4.6 Nilai Arus Material NO 12.....	37
Gambar 4.7 Nilai Arus Material M 15 A.....	37
Gambar 4.8 Nilai Tegangan Material Arnon 5.....	38
Gambar 4.9 Nilai Tegangan NO 12.....	39
Gambar 4.10 Nilai Tegangan Material M 15A.....	40
Gambar 4.11 Nilai Torsi Material Arnon 5.....	41
Gambar 4.12 Nilai Torsi Material NO 12.....	42
Gambar 4.13 Nilai Torsi Material M 15A.....	42
Gambar 4.14 Nilai Daya <i>Input</i> Material Arnon 5.....	43
Gambar 4.15 Nilai Daya <i>Input</i> Material NO 12.....	44

Gambar 4.16 Nilai Daya <i>Input</i> Material M 15A.....	44
Gambar 4.17 Nilai Daya <i>Output</i> Material Arnon 5	45
Gambar 4.18 Nilai Daya <i>Output</i> Material NO 12.....	46
Gambar 4.19 Nilai Daya <i>Output</i> Material M 15A	47
Gambar 4.20 Nilai Efisiensi Material Arnon 5	48
Gambar 4.21 Nilai Efisiensi Material NO 12	48
Gambar 4.22 Nilai Efisiensi Material M 15A.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 B-H Material Arnon 5	15
Tabel 2.2 B-H Material NO 12	15
Tabel 2.3 B-H Material M 15A.....	15
Tabel 3.1 Komponen Generator Material Arnon 5.....	24
Tabel 3.2 Komponen Generator Material NO 12	25
Tabel 3.3 Komponen Generator Material M 15A.....	26
Tabel 3.4 Variabel Uji Simulasi Generator.....	28
Tabel 4.1 Parameter Dimensi Generator.....	29
Tabel 4.2 Nilai Pengaturan Kecepatan Putar Rotor	30
Tabel 4.3 Nilai Permeabilitas Setiap Material	35
Tabel 4.4 Nilai <i>Hysteresis Losses</i> Material Arnon 5	50
Tabel 4.5 Nilai <i>Hysteresis Losses</i> Material NO 12	50
Tabel 4.6 Nilai <i>Hysteresis Losses</i> Material M 15A.....	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi telah terjadi di belahan bumi manapun, khususnya Indonesia. Krisis energi yang terjadi di Indonesia terutama kaitannya dengan energi listrik telah memaksa banyak pihak mencari solusi untuk mengatasi permasalahan ini. Kebutuhan akan energi listrik yang terus meningkat dan kondisi sumber daya alam yang semakin menipis, membuat para peneliti untuk dapat menghasilkan energi terbarukan yang dapat diperoleh dari lingkungan sekitar, misalnya air, angin, biomassa, radiasi matahari, dan lainnya. Energi angin adalah salah satu energi yang dapat dikembangkan di Indonesia karena melihat besar potensi angin yang ada di Indonesia. Kecepatan angin di Indonesia yang selalu berubah-ubah bukan berarti tidak memiliki kesempatan untuk dikembangkan. Energi angin tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin. Energi kinetik dari kincir kemudian dikonversi menjadi energi mekanik yang nantinya digunakan untuk memutar generator dan dari generator akan menghasilkan energi listrik [1]. Pembangkit listrik terbarukan berupa energi angin adalah pilihan terbaik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia mengingat mahal dan langkanya batu bara yang selama ini menjadi pilihan utama pada sistem pembangkitan energi listrik di Indonesia bahkan di dunia [2][3].

Pemerintah Indonesia menetapkan target Indonesia nol emisi pada tahun 2060 [4]. Upaya mencapai target reduksi emisi gas rumah kaca pada tahun 2020 adalah 26% hal ini tertuang pada Rencana Aksi Nasional Mitigasi Perubahan Iklim [5]. Indonesia dapat menggunakan PLTB tentunya dengan menggunakan generator yang tepat, generator yang tepat yaitu generator yang dapat menghasilkan daya *output* tinggi walaupun kecepatan angin di Indonesia masih relatif rendah [6]. Indonesia secara geografis terletak digaris khatulistiwa yang memiliki potensi angin yang relatif kecil, namun hal ini tidak menutup kemungkinan untuk membangun PLTB di Indonesia. Potensi energi angin yang

dimiliki oleh Indonesia diidentifikasi sekitar 978 MW [7]. Pemanfaatan energi baru terbarukan dapat menjadi solusi yang bisa digunakan untuk membantu memenuhi listrik energi listrik di masyarakat. Namun mahalnya bahan-bahan untuk pembuatan sebuah generator masih menjadi kendala yang dialami oleh masyarakat saat ini sehingga masyarakat lebih memilih untuk menggunakan listrik konvensional dari PLN [8].

Generator merupakan salah satu komponen utama dalam pembangkitan tenaga listrik dengan menggunakan turbin angin [9]. Generator yang saat ini digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin adalah generator induksi dan generator sinkron [10]. Pembangkit listrik berkecepatan rendah sebagian besar sistem menggunakan generator sinkron permanen magnet karena efisiensi yang tinggi [11]. Terdapat banyak sekali jenis-jenis dari generator, salah satunya dilihat dari fluks yaitu *radial* dan *axial*. Generator yang dapat berputar pada kecepatan rendah untuk menghasilkan energi listrik menggunakan permanen sebagai konstruksinya. Salah satu jenis magnet permanen yang populer saat ini adalah *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*. PMSG merupakan salah satu jenis mesin listrik, ada beberapa bagian penting yang terdapat pada PMSG di antaranya stator dan rotor kedua bagian ini bisa terbuat dari susunan inti besi. Inti besi bisa terbuat dari berbagai jenis material seperti misalnya material *carpenter steel*, Arnon 5 dan sebagainya. Setiap material mempunyai nilai efisiensi masing-masing. Stator dan rotor terbuat dari susunan inti besi yang berbentuk laminasi, hal ini bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi *hysteresis losses* [12].

Faktor-faktor penyebab rugi-rugi pada motor induksi terdiri dari *hysteresis losses* adalah akibat gesekan dan lilitan kumparan [13]. Pemilihan inti besi menjadi suatu hal yang harus diperhatikan untuk mendapatkan PMSG yang diinginkan. Setiap material inti besi memiliki nilai kerapatan fluks (B) dan intensitas medan magnet (H) yang berbeda-beda sehingga akan mempengaruhi nilai permeabilitas dan saturasi atau titik jenuh dari setiap bahan yang dapat mengakibatkan *hysteresis loss*. [14][15].

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak untuk mensimulasikan desain PMSG menggunakan perangkat lunak

MagNet Infolytica 7.5 yang berbasis *Finite Element Method* (FEM). *Finite Element Method* (FEM) adalah metode yang terbukti secara efektif dalam menghitung distribusi dari medan elektromagnetik. Menggunakan metode ini dapat melakukan analisa distribusi fluks magnet yang bearsal dari magnet permanen. Perangkat lunak ini mampu untuk membuat dan mengeluarkan hasil dari rancangan generator yang akan dibuat. MagNet Infolytica untuk mendesain mensimulasikan dan menganalisis pengaruh material terhadap kuva karakteristik dan *hysteresis losses* dari hasil simulasi. Penelitian kali ini dilakukan guna mengetahui perbandingan variasi material pada inti besi stator dan rotor, perbandingan ini meliputi arus, tegangan, torsi, daya *input*, daya *output*, efisiensi, dan *hysteresis losses* yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya:

1. Bagaimana analisa pengaruh material untuk membandingkan arus, tegangan, daya *input*, daya *output*, dan efisiensi untuk mencari keluaran yang paling efisien yang dihasilkan pada *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG)?
2. Bagaimana enam kurva karakteristik pada setiap material yang divariasikan?
3. Bagaimana analisa optimasi *hysteresis losses* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang diusulkan dalam skripsi ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Mengetahui perbandingan pengaruh material terhadap keluaran hasil nilai arus, tegangan, daya *input*, daya *output*, dan efisiensi.
2. Mengetahui enam kurva karakteristik pada setiap material.
3. Mengoptimalkan nilai *hysteresis losses* pada inti besi dari PMSG.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memahami ilmu tentang *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).
2. Dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari sebagai pemanfaatan energi terbarukan.
3. Mengetahui material yang mempunyai nilai efisiensinya lebih baik dan rugi-rugi kecil.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada rumusan masalah terdapat batasan masalah diantaranya:

1. Hanya membandingkan 3 macam material yaitu material Arnon 5, material NO 12, dan material M 15A.
2. Material magnet permanen yang digunakan yaitu PM 12: Br 1.2 mur 1.0.
3. Jumlah 12 *slot* dan 8 *Pole*.
4. Variabel variasi resistansi yang digunakan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, dan 100 ohm.
5. Variabel kecepatan putar rotor divariasikan mulai dari 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM.

1.6 Sistematika Penelitian

Dalam Penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang dari penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bab ini tinjauan pustaka bab ini berisikan teori-teori yang dibutuhkan dalam penelitian yang diantaranya mengenai generator sinkron permanent magnet, prinsip kerja generator sinkron permanent magnet, bagian-bagian generator dan enam kurva karakteristik.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini akan membahas mengenai metode yang digunakan untuk memecahkan masalah yang telah dijelaskan pada perumusan masalah dan juga akan dibahas mengenai perancangan penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS HASIL

Bab ini akan ditampilkan data hasil simulasi generator dengan tiga meterial berbeda dalam bentuk grafis menggunakan variasi beban dan kecepatan putar rotor kemudian hasil tersebut akan dianalisa.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

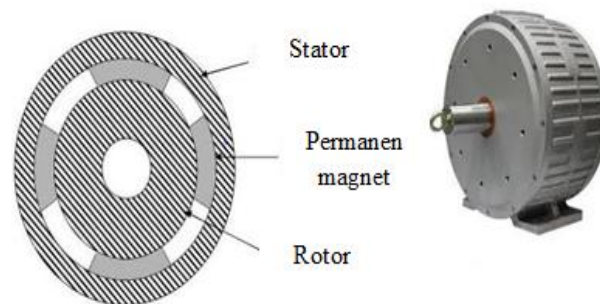
Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisa hasil penjelasan penelitian. Kesimpulan menjawab rumusan masalah dari bab pendahuluan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator Sinkron Permanen Magnet

Generator sinkron pada umumnya merupakan mesin sinkron yang digunakan sebagai generator arus bolak balik. Generator sinkron ini biasanya dioperasikan secara paralel yang membentuk *power supply* yang besar untuk menyuplai energi ke beban atau konsumen. Dilihat dari tipe mesin sinkron, generator sinkron merupakan tipe dari *rotating field type* karena belitan ada pada stator dan medan gaya ada pada rotor. Generator sinkron mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik, adapun sumber dari energi mekanik tersebut adalah turbin angin, turbin uap, turbin air, atau sejenisnya. Prinsip kerja generator berdasarkan Hukum Faraday yang menyatakan bahwa apabila sebuah magnet yang digerakkan dengan cepat melalui suatu konduktor belitan akan menginduksikan suatu tegangan ke belitan tersebut, yang besarnya sama dengan kecepatan magnet. Bilamana belitan tersebut merupakan suatu rangkaian tertutup, tegangan induksi itu akan menyebabkan mengalirnya arus listrik [16]. Berikut merupakan bentuk generator sinkron magnet permanen seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Generator Sinkron Magnet Permanen [16]

Komponen utama generator adalah rotor dan stator dapat dilihat pada Gambar 2.1. Kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak diantara kutub magnet utara dan kutub selatan yang diputar oleh tenaga angin, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet

atau fluks yang bersifat bolak-balik. Fluks bolak-balik ini akan memotong kumparan stator dan timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dari fluks bolak-balik tersebut. Gaya gerak listrik (GGL) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor. Peningkatan tegangan GGL induksi pada generator sinkron dapat diperbesar dengan beberapa cara, seperti dengan penggunaan magnen permanen yang kuat medan magnetnya, meningkatkan kecepatan putar rotor, memperbanyak lilitan kumparan dan menyisipkan inti besi yang lunak kedalam kumparan.

Generator sinkron dengan magnet permanen tidak membutuhkan sistem eksitasi karena sumber eksitasi disediakan oleh magnet permanen pada rotor. PMSG biasanya digunakan untuk membangkitkan listrik pada daya rendah, sehingga penggunaan PMSG sesuai untuk pembangkit listrik tenaga angin untuk skala kecil. Untuk menentukan jumlah kutub rotor dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1).

$$p = \frac{120f}{n} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) menyatakan bahwa prinsip generator sinkron terdapat hubungan antara frekuensi dan kecepatan putar rotor.

2.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron Magnet Permanen

Prinsip kerja generator sinkron dengan generator sinkron magnet permanen sesungguhnya tidak jauh berbeda pada umumnya. Penggunaan magnet permanen menghasilkan medan magnet yang tetap sehingga tidak memerlukan pencatutan arus searah untuk menghasilkan medan magnet. Sedangkan fluks diperoleh dari magnet permanen yang telah diberikan perlakuan khusus sehingga arah garis-garis gaya magnet keluar dari kutub magnet secara *radial* atau *axial*.

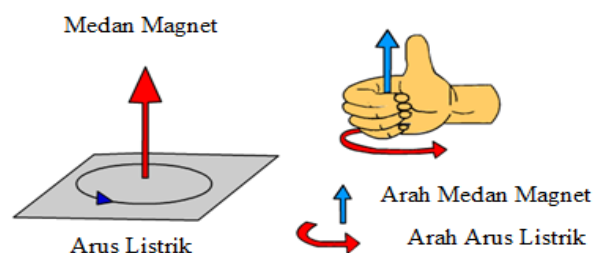
Suatu alat penggerak utama (*prime mover*) dapat berupa turbin air, turbin uap / gas, ataupun turbin angin. Diputar sampai pada kecepatan nominal yang dibutuhkan oleh generator. Putaran *prime mover* yang terhubung dengan poros rotor akan menggerakkan generator pada kecepatan nominalnya, kemudian magnet permanen akan ikut berputar seiring berputarnya rotor. Magnet permanen

sebagai penghasil medan magnet akan menyebabkan fluks magnet pada inti kutub rotor bersirkulasi di sekeliling rotor. Fluks magnet dari kutub rotor akan melewati *air gap* dan mencapai permukaan stator beserta lilitan pada inti stator. Hukum Faraday menyatakan bahwa Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi dipengaruhi oleh perubahan fluks, ketika fluks magnetik melewati kumparan akan timbul beda potensial pada ujung-ujungnya. Apabila nilai fluks tersebut berubah setiap waktunya maka akan terinduksikan tegangan pada lilitan kumparan. Banyaknya lilitan kumparan juga akan berpengaruh pada besarnya tegangan yang diinduksikan. Selain itu Lenz juga menjelaskan bahwa GGL induksi yang muncul berlawanan arah dari perubahan fluks sehingga arusnya mengalir dan nilai GGL induksi dinyatakan menggunakan Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3).

$$\varepsilon_{induksi} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_{induksi} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3) menyatakan bahwa tanda (-) merupakan hasil dari Hukum Lenz yang menyatakan bahwa arah polaritas dari tegangan / arus yang terinduksi pada kumparan akan menghasilkan arah fluks yang berlawanan dengan arah fluks yang menginduksikan tegangan tersebut. Penempatan kumparan pada stator menentukan tegangan output dari generator. Tiap pasang kumparan pada stator akan memiliki sudut phasa tertentu sehingga jika kita menempatkan satu pasang kumparan saja akan mendapatkan tegangan output dengan satu fasa saja seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Aturan Tangan Kanan *Fleming* [17]

. Berdasarkan Gambar 2.2 untuk menentukan arah dari tegangan yang dihasilkan, cara paling mudah yang digunakan adalah dengan mengikuti kaidah

tangan kanan *Fleming*. Pada kaidah tangan kanan, ibu jari menunjukkan arah dari gaya yang dihasilkan, jari telunjuk untuk medan magnet dan jari tengah arah dari arus [17]. GGL induksi dapat dinyatakan menggunakan persamaan (2.4)

$$e = B.l.v \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) menyatakan bahwa nilai gaya gerak listrik (GGL) berbanding lurus dengan kuat medan magnet, panjang konduktor, dan kecepatan.

2.3 Komponen Generator PMSG Fluks Radial

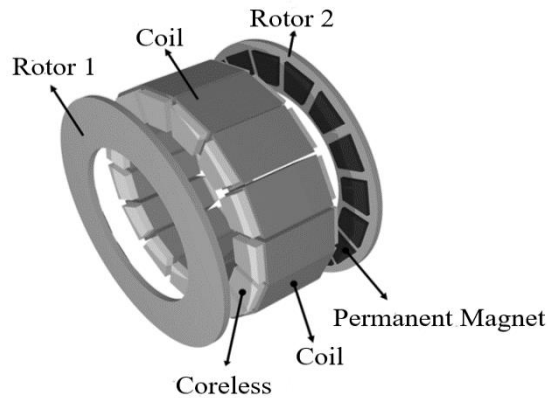
Generator sinkron magnet permanen adalah mesin listrik 3 fasa sama seperti generator magnet induksi pada umumnya. Generator ini juga memiliki konstruksi umum yang sama yaitu memiliki lilitan stator sebagai tempat terjadinya induksi elektromagnetik. Rotor tempat meletakkan magnet permanen sebagai sumber medan magnet, dan *air gap* sebagai tempat mengalirnya fluks udara dari rotor ke stator. Komponen dari PMSG memiliki beberapa bagian yaitu:

2.3.1 Air Box

Air box merupakan bagian terluar dari generator dengan material udara. *Air box* berfungsi untuk memisahkan kalau terdapat udara di sekitar generator. *Air box* terdapat pada stator dengan area hingga *air gap* pada stator. *Air box* stator dan rotor dipisah agar proses *meshing* menjadi lebih baik.

2.3.2 Stator

Stator merupakan bagian generator yang diam dan berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi fluks magnet dari magnet permanen yang melekat pada rotor. Stator juga sebagai tempat untuk menghasilkan arus listrik yang menuju ke beban. Stator berbentuk sebuah rangka silinder yang memiliki lilitan kawat konduktor yang banyak. Stator terbuat dari bahan feromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi arus [18]. Berikut merupakan bentuk stator seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Stator [18]

Gambar 2.3 merupakan stator adalah bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik pada generator sinkron yang terdiri dari rangka stator, inti stator, dan alur dan gigi stator. Rangka stator merupakan kerangka yang menyangga inti jangkar generator. Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang ke rangka stator. *Slot* dan gigi stator merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada tiga bentuk alur stator yaitu, terbuka, setengah terbuka, dan tertutup [18].

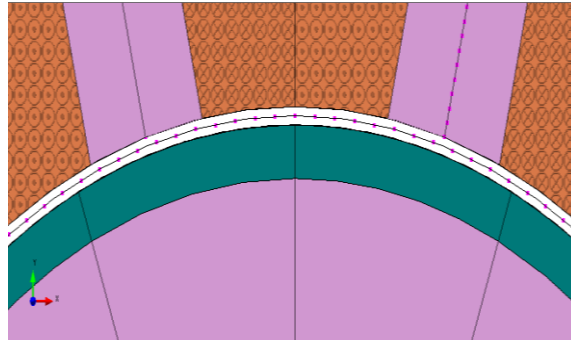
2.3.3 *Coil* atau Kumparan

Coil atau kumparan adalah komponen yang dililit pada stator *core*. Jumlah lilitan *coil* atau kumparan berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan, semakin banyak lilitan maka semakin besar tegangan yang dihasilkan [18].

Ada beberapa belitan dalam stator yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa terdiri atas dua tipe. Pertama, belitan satu lapis (*Single Layer Winding*) dimana belitan satu lapis ini hanya ada satu sisi lilitan di dalam masing-masing alur. Kedua, belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*) dimana kumparan jangkar yang diperlihatkan hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing-masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama [17].

2.3.4 Air Gap

Air Gap pada generator merupakan tempat berpindahnya fluks magnet pada magnet permanen dan menginduksi ke kumparan stator. Sehingga pada *air gap* ini terjadi mekanisme perpindahan atau konversi energi dari mekanik menjadi elektrik seperti pada Gambar 2.4.

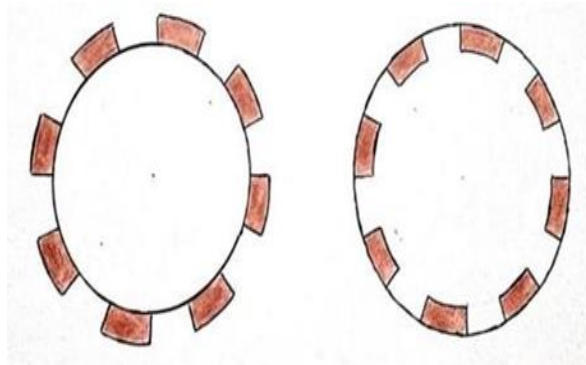


2.4 Air Gap

Gambar 2.4 *air gap* dibuat menjadi sekecil mungkin, sehingga jumlah lilitan kutub dapat dibatasi, dan arus hubungan singkat juga tidak menjadi terlalu besar. Jarak tersebut harus diperhitungkan agar didapatkan hasil kerja generator menjadi optimum. *Air gap* yang terlalu besar mengakibatkan efisiensi induksi rendah, namun jika celah terlalu sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. Tegangan pada generator sinkron akan semakin besar jika *air gap* pada generator semakin kecil, hal ini disebabkan oleh medan induksi yang dihasilkan juga semakin besar. Celah itu tergantung dari besar mesin. Lebih besar mesin, lebih besar ruang longgar itu, kemudian perlu pula diperhitungkan ruang longgar dari bantalan yang akan berubah bila mana mulai menjadi aus.

2.3.5 Rotor

Rotor merupakan bagian yang ikut berputar pada generator, karena terdapat poros yang terhubung langsung dengan rotor. Pada generator sinkron magnet permanen rotor juga merupakan tempat untuk diletakkannya magnet permanen sebagai penghasil fluks magnet yang menuju stator seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rotor SFPM dan IPM [19]

Berdasarkan Gambar 2.5 ada beberapa cara untuk meletakkan magnet permanen pada rotor yaitu dengan cara meletakkan magnet permanen pada permukaan rotor (*Surface Mounted Permanent Magnet*) atau dengan meletakkan magnet permanen di dalam inti rotor (*Interior Permanent Magnet*) [18]. Menghitung *motion* rotor dinyatakan dalam Persamaan (2.5).

$$Motion = v \times \frac{360^\circ}{60s} \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) menyatakan setiap derajat dari perputaran rotasi akan dikalkulasikan secara otomatis. Menghitung waktu rotor berputaran untuk satu putaran dinyatakan dalam Persamaan (2.6).

$$T(360^\circ) = \frac{360^\circ}{\frac{deg}{s}} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) menyatakan waktu yang dibutuhkan rotor berputar satu putaran penuh dari 0 derajat sampai 360 derajat.

2.3.6 Magnet

Magnet permanen merupakan komponen utama untuk menghasilkan medan magnet pada celah udara. Medan magnet inilah yang kemudian akan diinduksikan pada kumparan stator menjadi tegangan listrik. Magnet permanen juga disebut *hard magnetic material* yang artinya material feromagnetik yang memiliki *hysteresis loop* yang lebar yang menunjukkan sedikitnya induksi dari luar terhadap magnet tersebut (residu *flux* besar) [20].

2.4 Permeabilitas

Permeabilitas adalah ukuran kemampuan sebuah material untuk menunjang terbentuknya medan magnet dalam material tersebut, dapat juga dikatakan derajat magnetisasi yang sebuah material dapat dalam merespon terhadap suatu medan magnet. Baja yang digunakan dalam motor atau generator listrik biasanya disebut dengan *electrical steels*. *Electrical steels* dipilih karena memiliki nilai permeabilitas bahan yang tinggi, dimana hal ini dapat meningkatkan kerapatan fluks magnet selama proses *electromechanical* berlangsung [11]. Nilai permeabilitas dinyatakan dalam Persamaan (2.7).

$$B = \mu H \quad (2.7)$$

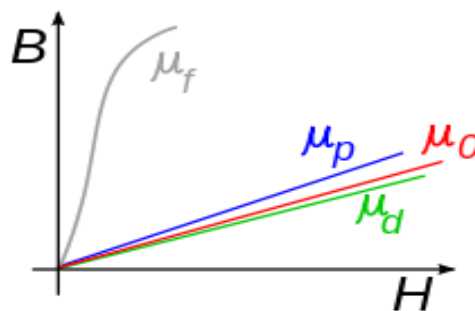
Keterangan:

B = Rapat Fluks Magnet (T)

μ = Nilai Permeabilitas (Hm^{-1})

H = Intensitas Medan Magnet (Amp/m)

Persamaan (2.7) menyatakan bahwa nilai permeabilitas bahan (μ) juga mencerminkan kemampuan dari suatu material untuk menghantarkan fluks magnet, dimana semakin tinggi nilainya maka bahan tersebut dapat menghantarkan fluks magnet dengan baik seperti pada Gambar 2.6.



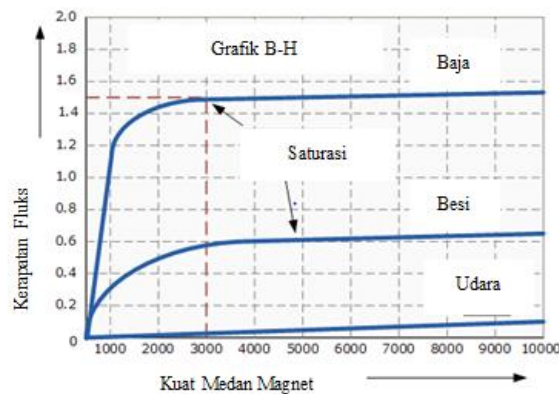
Gambar 2.6 Grafik Nilai Permeabilitas [11]

Gambar 2.6 merupakan grafik nilai permeabilitas dimana terdapat material ferromagnetik (μ_f) adalah bahan yang memiliki nilai susceptibilitas magnetik positif yang sangat tinggi atau bahan yang mempunyai momen magnetik. Bahan ferromagnetik adalah bahan yang mempunyai resultan medan magnet atomis besar. Jika bahan ini diberikan medan magnet luar maka elektron-elektron

mengusahakan dirinya sedemikian hingga resultan medan magnet atomis tiap atom searah dengan medan magnet luar. Karena itu bahan ini sangat baik sebagai sumber magnet permanen.

2.5 Kurva B-H

Dua kuantitas *vector* dimana rapat fluks (B) dan intensitas medan magnet (H) menjelaskan sebuah medan magnet. Rapat Fluks dapat dibayangkan sebagai rapat sebuah medan magnet yang melewati area sebuah material. Intensitas medan magnet adalah perubahan yang dihasilkan karena interaksi dengan rapat fluks dengan materi yang dihadapinya seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kurva B-H

Bentuk kurva pada Gambar 2.7 dibagi menjadi dua bagian yang disebut *knee*. Pada bagian awal, kenaikan sedikit H memberikan perubahan B yang besar. Bagian saturasi atau titik jenuh dimana setelahnya untuk menaikkan B membutuhkan kenaikan H yang besar. Kurva B-H dapat menjelaskan kemampuan sebuah material dalam mengalirkan fluks magnet. Semakin tinggi nilainya sebelum memasuki daerah saturasi material tersebut, semakin baik dalam mengalirkan fluks magnet. Kemampuan sebuah permanen magnet untuk mengalirkan fluks magnet juga dapat dijelaskan oleh kurva B-H. Semakin besar luas area di bawah kurva semakin baik permanen magnet tersebut mengalirkan fluks magnet. Berikut di bawah ini merupakan tabel kurva B-H dari material Arnon 5 yang di representasikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 B-H Material Arnon 5

H (Amp/m)	B (T)
146,8863	1,0063
148,9826	1,013558
151,1062	1,020681
153,2563	1,027693
155,4347	1,0346

Berikut di bawah ini merupakan tabel kurva B-H dari material NO 12 yang di representasikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 B-H Material NO 12

H (Amp/m)	B (T)
110,1325	1,0127
114,4259	1,0326
118,8835	1,0523
123,5332	1,0892
133,5302	1,1067

Berikut di bawah ini merupakan tabel kurva B-H dari material M 15A yang di representasikan pada Tabel 2.3.

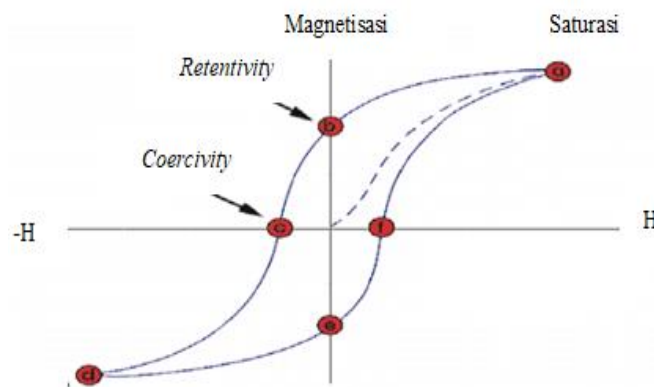
Tabel 2.3 B-H Material M 15A

H (Amp/m)	B (T)
101,684	1,0118
104,611	1,0267
107,6687	1,0412
114,2249	1,0695
117,7525	1,0833

2.6 *Hysteresis Losses*

Hysteresis losses dikaitkan dengan fenomena *hysteresis* dan merupakan ekspresi dari fakta ketika materi feromagnetik terlibat. Tidak semua energi medan magnet dikembalikan ke sirkuit ketika intensitas medan magnet (H) dilepaskan, hal ini dikenal sebagai kehilangan *hyterisis* [11]. Inti dari stator adalah subyek pada perubahan intensitas medan magnet (H) dan untuk setiap siklus medan

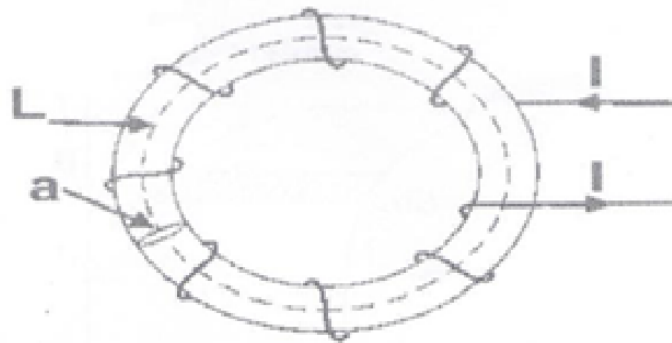
elektromagnetik *loop hysteresis* ditelusuri. Banyak sekali informasi dapat dipelajari sifat sifat magnet suatu bahan dengan mempelajari *hysteresis*. *Loop hysteresis* menunjukkan hubungan antara kerapatan fluks medan magnet (B) dan intensitas medan magnet (H). Berikut *loop hysteresis* ditunjukkan pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 *Loop Hysteresis* [11]

Berdasarkan Gambar 2.8 *loop* dihasilkan dengan mengukur fluks magnetik dari bahan ferromagnetik ketika intensitas medan magnet berubah. Sebuah bahan ferromagnetik yang belum pernah dimagnetisasi atau telah sepenuhnya dimagnetisasi akan mengikuti garis putus sebagai intensitas medan magnet meningkat. Sebagaimana diperlihatkan oleh garis tersebut, semakin besar jumlah arus yang diterapkan, semakin kuat medan magnet dalam komponen. Titik a hampir semua domain magnet sejajar dan peningkatan intensitas medan magnet akan menghasilkan peningkatan kerapatan fluks medan magnet yang sangat kecil, itu berarti material telah mencapai titik jenuh magnet atau titik saturasi magnet. Intensitas medan magnet ketika dikurangi menjadi nol, kurva akan bergerak dari titik a ke titik b. Titik ini dapat dilihat bahwa beberapa fluks magnetik tetap berada dalam material meskipun intensitas medan magnet adalah nol, ini disebut sebagai titik *retentivity* pada grafik. Intensitas medan magnet ketika magnet dibalik, kurva bergerak ke titik c di mana fluks telah dikurangi menjadi nol, inilah yang disebut titik *coercivity* pada kurva. Daya yang dibutuhkan untuk

memindahkan sisa-sisa magnet dari bahan itu disebut gaya koersivitas material. Intensitas medan magnet ketika meningkat ke arah negatif, bahan akan kembali menjadi magnet jenuh tapi yang berlawanan arah dititik d. Mengurangi intensitas medan magnet menjadi nol membawa kurva ke titik e itu akan memiliki tingkat magnet sisa dari magnet sisa yang sama dengan arsip di arah lain. Meningkatkan intensitas medan magnet ke arah positif akan mengembalikan kuat medan magnet ke nol. Perhatikan bahwa kurva tidak kembali ke grafik semula karena beberapa titik gaya f kembali ke titik jenuhnya dengan menyelesaikan *loop* [21]. Berikut *ferromagnetic speciment* ditunjukkan pada Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 *Ferromagnetic Speciment* [11]

Berdasarkan Gambar 2.9 Pertimbangkan cincin *ferromagnetic speciment* dengan keliling meter, luas penampang dan putaran kawat berinsulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas. Intensitas medan magnet diberikan dalam Persamaan (2.8).

$$H = \frac{NI}{L} \text{ atau } I = \frac{HL}{N} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) perhatikan arus listrik yang mengalir melalui kumparan adalah ampere. Biarkan fluks saat ini adalah kuat medan magnet (B), oleh karena itu, fluks total melalui ring dinyatakan dalam Persamaan (2.9).

$$\Phi = B \times a \quad (2.9)$$

GGL yang diinduksikan akan dinyatakan dalam Persamaan (2.10).

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\begin{aligned}
 &= -N \frac{d}{dt} (Ba) \\
 &= -Na \frac{dB}{dt}
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

Keterangan:

- N = Jumlah lilitan
 $d\Phi$ = Perubahan fluks (Weber)
 dt = Perubahan waktu (s)
 B = Kerapatan fluks
 a = Luas Penampang (m^2)

Persamaan (2.10) karena arus listrik yang mengalir melalui kumparan bergantian, maka fluks yang dihasilkan pada cincin besi juga bersifat bolak-balik.

2.7 Torsi

Torsi adalah gaya yang diberikan benda untuk berotasi, karena ini adalah *output* generator maka torsi bisa dikatakan besar gaya yang diberikan generator untuk memutar rotor. Torsi yang dihasilkan oleh generator adalah ukuran dari titik balik suatu generator dan dinyatakan dalam Persamaan (2.11), Persamaan (2.12), Persamaan (2.13).

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \cdot \pi}{60} \tag{2.11}$$

$$K = \frac{v}{\omega} \tag{2.12}$$

$$Kt = Ke \quad T = Kt \cdot I \tag{2.13}$$

Keterangan:

- ω = Kecepatan Sudut (rad/s)
 N = Kecepatan (RPM)
 Ke = Konstanta EMF
 Kt = Konstanta Torsi
 T = Torsi (Nm)
 I = Arus (A)

Persamaan (2.11), Persamaan (2.12), Persamaan (2.13) menyatakan bahwa torsi yang didapatkan akan menjadi representasi dari performa generator dan akan berhubungan dengan besarnya daya *input* dari generator.

2.8 Daya dan Efisiensi

Besarnya daya *input* suatu generator bergantung pada kecepatan sudutnya. Besarnya kecepatan sudut ini bisa didapatkan dari nilai kecepatan putar suatu generator dengan Persamaan (2.14).

$$V = I \cdot R \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) menyatakan bahwa nilai tegangan berbanding lurus dengan nilai arus (I) dan nilai resistansi (R) semakin besar nilai arus dan nilai resistansi maka akan semakin besar nilai tegangan (V).

Pada generator daya *input* merupakan daya mekanik sedangkan daya *output* berupa daya elektrik. Daya mekanik dapat dihitung dengan Persamaan (2.15).

$$P_{in} = \tau \cdot n \frac{2\pi}{60} \quad (2.15)$$

Keterangan :

P_{in} = Daya Masukan (Watt)

τ = Torsi (Nm)

N = Kecepatan (RPM)

Persamaan (2.15) menyatakan bahwa generator umumnya menggunakan kata kecepatan putar dengan satuan RPM, sedangkan untuk mencari daya *input* sendiri menggunakan kecepatan sudut atau kecepatan *angular* dengan satuan rad/s. Untuk mengubah dari kecepatan putar menjadi kecepatan angular yaitu dengan mengkali nilai kecepatan putar dengan $2\pi/60$.

Daya *output* merupakan daya yang dihasilkan oleh generator berupa daya listrik, untuk daya *output* yang dihasilkan dengan Persamaan (2.16).

$$P_{out} = I \times V \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) menyatakan bahwa nilai daya *output* berhubungan dengan nilai arus dan tegangan. Semakin besar nilai arus dan nilai tegangan maka akan besar pula nilai daya *output* yang dihasilkan.

Efisiensi adalah perbandingan daya *input* dan daya *output* pada suatu sistem. Efisiensi daya dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2.17).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.17)$$

Persamaan (2.17) menyatakan bahwa rasio antara daya *input* dengan daya *output* semakin besar nilai efisiensi daya maka semakin baik daya yang dihasilkan.

2.9 Kajian Pustaka

Penelitian ini mendapatkan referensi tentang perancangan generator permanen magnet yang sudah pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Referensi ini sebagai bahan perbandingan mengenai kelebihan dan kekurangan yang sudah ada, sekaligus untuk informasi tentang teori berupa judul yang digunakan untuk memperoleh landasan teori ilmiah sebagai berikut:

1. Penelitian pertama yaitu membahas rancangan PMSG 12 slot 8 pole, Parameter yang digunakan yaitu variasi material magnet dengan memvariasikan magnet *Samarium Cobalt 26/26*, NdFeb dan PM12;Br1.2 mur 1.0 dengan kecepatan putar rotor pada 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Dengan hasil keluaran nilai tegangan tertinggi sebesar 282,6 V dan efisiensi sebesar 86% pada saat kecepatan putar 2000 RPM dan beban sebesar 25 ohm dengan material magnet PM12;Br1.2 mur 1.0 [22].
2. Penelitian kedua yaitu membahas rancangan PMSG 12 slot 8 pole, Parameter yang digunakan yaitu variasi kecepatan putar rotor dan beban dengan hasil tegangan 289 V pada kecepatan putar rotor 2000 RPM dan beban 25 ohm dan nilai efisiensi sebesar 89% pada kecepatan putar rotor 500 RPM dan beban 25 ohm [23].
3. Penelitian ketiga yaitu membahas tentang metode penentuan rugi-rugi *hysteresis losses* pada *software* matlab [13].
4. Penelitian keempat membahas tentang perancangan PMSG dengan menggunakan *software* magnet infolytica. Rancangan yang akan dibuat menggunakan kombinasi 12 slot 8 pole (12S8P), rancangan dimodelkan dan disimulasikan pada *software* magnet infolytica. Analisa kemudian

dilakukan dari melihat grafik dari besaran tegangan, daya *input*, dan daya *output* pada generator [24].

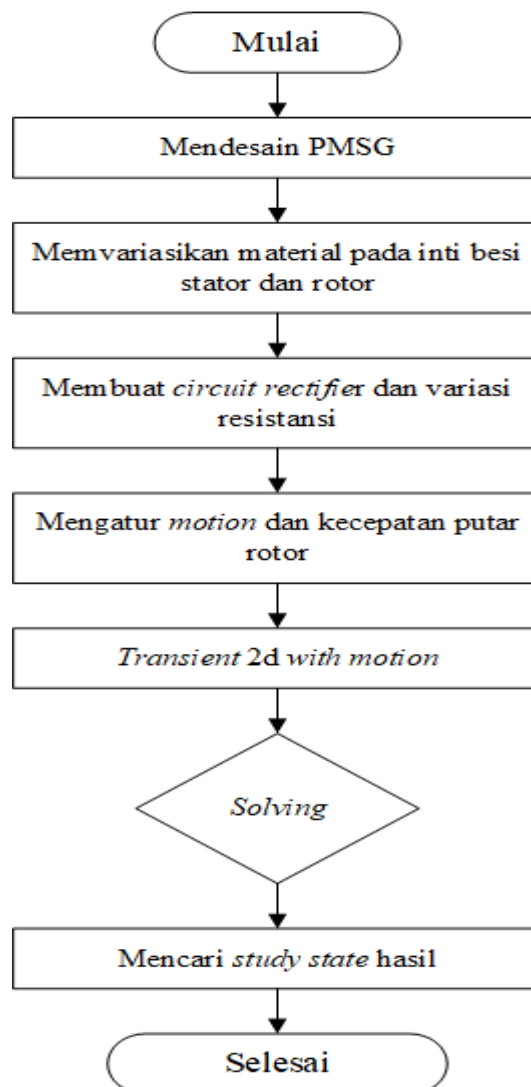
5. Penelitian kelima membahas tentang analisis torsi cogging pada generator magnet permanen. Pada penelitian ini cogging torsi direduksi dengan memiringkan magnet permanen (magnet skewing). Dengan sudut kemiringan tertentu [25].

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang akan dilakukan guna memperoleh informasi yang akurat dan sistematis. Berikut ini adalah diagram rancangan dan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

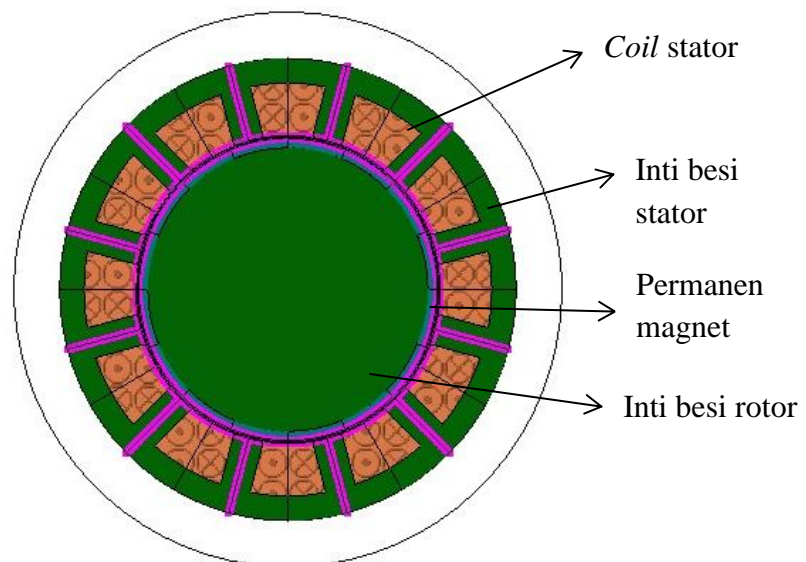


Gambar 3.1 *Flowchart Analisa Pengaruh Material dan Optimasi hysteresis losses*

Diagram rancangan pada Gambar 3.1 terdiri dari beberapa tahapan. Pertama, mendesain rancangan pada *software* MagNet Infolytica dan SolidWorks. Kemudian memvariasikan material pada inti besi stator dan inti besi rotor. Selanjutnya membuat rangkaian simulasi dengan beban, dengan parameter variasi resistansi yang digunakan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, dan 100 ohm. Parameter kecepatan putar rotor divariasikan mulai dari 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Terakhir mengoptimalkan *hysteresis losses* pada inti besi.

3.2 Rancangan Generator

Perancangan generator dilakukan dengan memperhitungkan segala aspek mulai dari stator, *coil*, rotor, magnet, dan lain-lain. Perancangan model generator nantinya akan dibuat simulasi pada *software* MagNet Infolytica 7.5 berbasis *finite Element Method* (FEM), berikut gambar *design* model PMSG 12 slot 8 pole dengan material Arnon 5 seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Design* PMSG Material Arnon 5

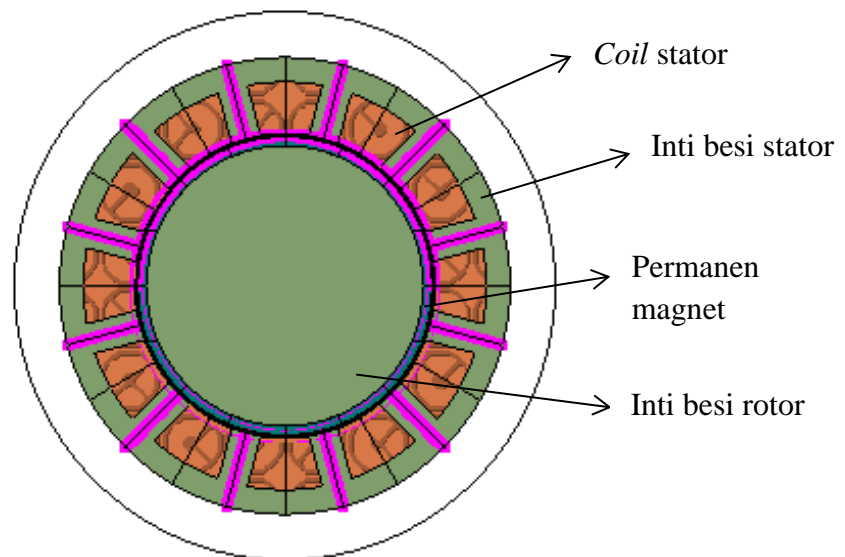
Rancangan generator magnet permanen pada Gambar 3.2 menggunakan komponen jenis bahan material yang digunakan dalam rancangan generator

magnet permanen 12 *slot* 8 *pole* dengan material Arnon 5 dapat dilihat dalam Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Komponen Generator dengan Material Arnon 5

No	Komponen	Material
1	Inti besi stator	Arnon 5
2	Inti besi rotor	Arnon 5
3	<i>Coil</i> stator	<i>Copper: 577e7</i> <i>Siemens/meter</i>
4	Permanen Magnet	PM 12: Br 1.2 mur 1.0
5	<i>Airbox</i>	<i>AIR</i>

Tabel 3.1 merupakan komponen jenis material yang dipakai mulai dari inti besi stator, inti besi rotor, *coil* stator, permanen magnet dan *airbox*. Dalam perancangan model generator nantinya akan dibuat simulasi pada *software* MagNet Infolytica 7.5 berbasis *finite Element Method* (FEM), berikut gambar *design* model PMSG 12 *slot* 8 *pole* dengan material NO 12 seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Design* PMSG Material NO 12

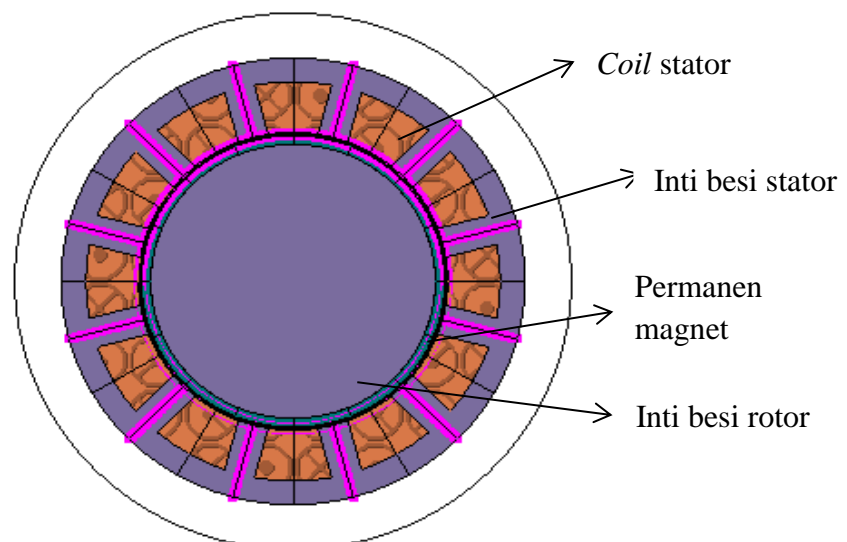
Rancangan generator magnet permanen pada Gambar 3.3 menggunakan komponen jenis bahan material yang digunakan dalam rancangan generator

magnet permanen 12 *slot* 8 *pole* dengan material NO 12 dapat dilihat dalam Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Komponen Generator dengan Material NO 12

No	Komponen	Material
1	Inti besi stator	NO 12
2	Inti besi rotor	NO 12
3	<i>Coil</i> stator	<i>Copper: 577e7</i> <i>Siemens/meter</i>
4	Permanen Magnet	PM 12: Br 1.2 mur 1.0
5	<i>Airbox</i>	<i>AIR</i>

Tabel 3.2 merupakan komponen jenis material yang dipakai mulai dari inti besi stator, inti besi rotor, *coil* stator, permanen magnet dan *airbox*. Dalam perancangan model generator nantinya akan dibuat simulasi pada *software* MagNet Infolytica 7.5 berbasis *finite Element Method* (FEM), berikut gambar *design* model PMSG 12 *slot* 8 *pole* dengan material M 15A seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Design* PMSG Material M 15A

Rancangan generator magnet permanen pada Gambar 3.4 menggunakan komponen jenis bahan material yang digunakan dalam rancangan generator

magnet permanen 12 *slot 8 pole* dengan material NO 12 dapat dilihat dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Komponen Generator dengan Material M 15A

No	Komponen	Material
1	Inti besi stator	M 15 A
2	Inti besi rotor	M 15 A
3	<i>Coil stator</i>	<i>Copper: 577e7 Siemens/meter</i>
4	Permanen Magnet	PM 12: Br 1.2 mur 1.0
5	<i>Airbox</i>	<i>AIR</i>

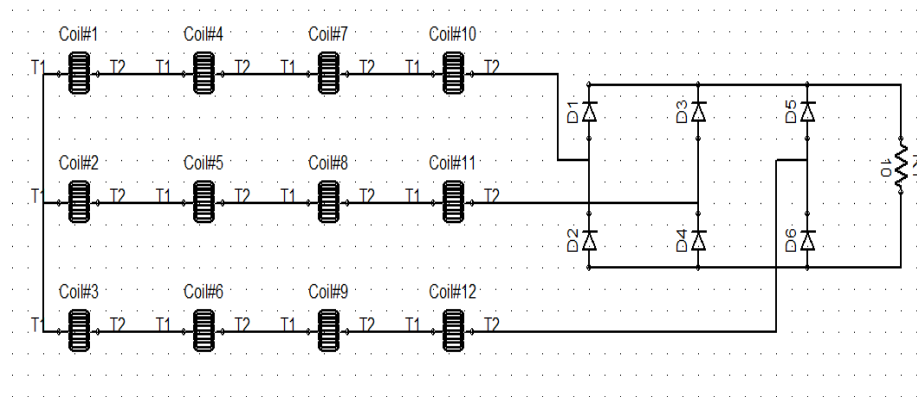
Tabel 3.3 merupakan komponen jenis material yang dipakai mulai dari inti besi stator, inti besi rotor, *coil stator*, permanen magnet dan *airbox*. Setelah pemodelan PMSG kedalam bentuk dua dimensi kemudian memberi material bahan kedalam perancangan pemodelan mulai dari stator , rotor, *air gap*, *coil*, *air box* serta magnet permanen sehingga pemodelan generator membentuk tiga dimensi. Bentuk rancangan stator yang telah di desain selanjutnya diberi material, adapun material stator yang digunakan pada perancangan ini adalah Arnon 5, NO 12, dan M 15A yang memiliki sifat penghantar fluks magnet yang baik. Apabila material ini didekatkan dengan gaya magnet yang berasal dari magnet permanen maka akan menunjukkan karakteristiknya.

Pada pemodelan stator PMSG material yang digunakan pada kumparan menggunakan *Copper: 5.77e7* Siemens/meter dengan luas penampang kawat $0,785 m^2$. Material ini merupakan tembaga yang bagus untuk digunakan sebagai kumparan stator. Ukuran tembaga yang dipakai pada pemodelan PMSG ini memiliki diameter 1 mm.

3.3 Rangkaian Simulasi Berbeban

Simulasi generator magnet permanen 12 *slot 8 pole* memiliki tahapan membuat rangkaian karena setiap simulasi atau pengujian generator memiliki perbedaan rangkaian, baik untuk pengujian generator tanpa beban maupun

diberikan beban. Berikut merupakan rangkaian berbeban pada *software* Magnet Infolytica seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Simulasi Berbeban

Berdasarkan Gambar 3.5 lilitan 1, lilitan 4, lilitan 7, dan lilitan 10 disambungkan dan akan menjadi fasa U untuk lilitan 2, lilitan 5, lilitan 8, dan lilitan 11 disambungkan dan akan menjadi fasa V sedangkan lilitan 3, lilitan 6, lilitan 9, dan lilitan 12 disambungkan akan menjadi fasa W. Dari Gambar 3.6 merepresentasikan bahwa *permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole* merupakan generator 3 fasa dengan arus bolak balik. Dioda 1, dioda 2, dioda 3, dioda 4, dioda 5, dan dioda 6 merupakan rangkaian penyearah. Keluaran dari PMSG harus di searahkan karena ingin dimasukkan ke baterai terlebih dahulu terutama pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Resistansi diberikan agar dapat keluar karakteristik dari *permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole*. Selanjutnya menganalisa hasil nilai keluaran dari PMSG yaitu arus, tegangan, torsi, daya *input*, daya *output* dan efisiensi.

Perancangan generator ini juga dilakukan penelitian uji variasi putar rotor untuk membandingkan setiap kecepatan rotor pada tiap material. Variabel kecepatan putar rotor dan variabel resistansi pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Variabel Uji Simulasi Generator

RPM	500	1000	1500	2000
Resistansi	5 ohm	5 ohm	5 ohm	5 ohm
	10 ohm	10 ohm	10 ohm	10 ohm
	25 ohm	25 ohm	25 ohm	25 ohm
	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm
	100 ohm	100 ohm	100 ohm	100 ohm

Tabel 3.4 merupakan variable dalam simulasi ini generator akan diputar dengan kecepatan 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Kecepatan tersebut merupakan kecepatan sinkron pada generator. Berikut tabel mengenai uji simulasi generator pada material Arnon 5, NO 12, dan M 15A yang akan dibuat.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan PMSG

Penelitian ini membahas dan menganalisa data dari hasil simulasi yang telah dilakukan, selain itu pada bab ini membahas tentang perbandingan hasil simulasi tiga model berbeda. Berikut parameter yang didapatkan akan dijabarkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Dimensi Generator

No	Parameter	Keterangan
1	Diameter rotor dan stator	75 mm
2	Diameter luar stator	75 mm
3	Diameter dalam slot	67 mm
4	Diameter dalam stator	50 mm
5	Diameter luar slot	50 mm
6	Diameter rotor	49 mm
7	Diameter dalam magnet	46 mm

Tabel 4.1 merupakan ukuran yang digunakan untuk membuat *design* PMSG. Pengukuran pada setiap model dilakukan dengan cara membuat rangkaian seperti pada Gambar 3.6 di atas, setiap model disimulasikan pada empat kecepatan putar rotor yang berbeda-beda dan lima variasi resistansi. Cara yang digunakan untuk memutar rotor yaitu yang pertama dengan memutar setiap komponen yang ada pada rotor mulai dari inti rotor, magnet permanen, *airbox* rotor dan *airgap* rotor. Kemudian *software* akan membaca dan melakukan kalkulasi setiap derajat dari perputaran komponen rotor. Metode ini memiliki kekurangan seperti tidak dapat memodelkan kecepatan rotor yang ingin diatur sehingga memakan waktu lama untuk memodelkan. Adapun metode kedua yang digunakan untuk memotor rotor yaitu dengan metode *solving 2D with motion*, metode ini yang paling baik karena setiap komponen yang ingin diputar yang berada pada rotor digabung dan diatur kecepatan putarnya sesuai dengan keinginan. Nantinya setiap derajat dari perputaran rotasi akan dikalkulasikan secara otomatis. Penelitian ini kecepatan putar rotor yang akan diuji yaitu 500

RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Menghitung *motion* rotor menggunakan Persamaan (2.5).

$$Motion(500 \text{ RPM}) = v \times \frac{360^\circ}{60s} = 500 \times \frac{360}{60s} = 3000 \frac{deg}{s}$$

Menghitung waktu rotor berputaran untuk satu putaran menggunakan Persamaan (2.6).

$$T(360^\circ) = \frac{360^\circ}{3000} = 0,12 \text{ s}$$

Waktu yang dibutuhkan rotor berputar satu putaran penuh dari 0 derajat sampai 360 derajat dengan kecepatan 500 RPM adalah 0,12 s atau dengan kata lain setiap waktu 0,12 s rotor berputar satu putaran penuh. Selanjutnya mengatur waktu yang dibutuhkan rotor berputar untuk dianalisa gelombang keluaran tegangannya. Waktu tersebut terhitung dari pada saat rotor mulai berputar sampai rotor berhenti berputar. Pada penelitian ini rotor akan diputar per 3 *deg*.

$$T(3^\circ) = \frac{T(360^\circ)}{step} = \frac{0,12}{\frac{360}{3}} = 0,001 \text{ s}$$

Waktu yang dibutuhkan sebuah rotor berputar sebanyak 3 *deg* yaitu 0,12s. Pada metode *transient with motion* umumnya diawal ada gejala *transient* atau gejala akibat kecepatan dikarenakan rotor itu tidak langsung kecepatannya dari 0 RPM sampai 500 RPM. Rotor berputar dengan kecepatan yang sama, sehingga dibutuhkan waktu perputaran rotor per setiap derajat supaya rotor bergerak konstan. Adapun kecepatan putar rotor yang lain seperti 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM sama saja dengan perhitungan di atas dengan rotor akan digerakkan 1 putaran penuh 360°. Semua nilai yang didapatkan di atas dapat dilihat pada Tabel 4.2.

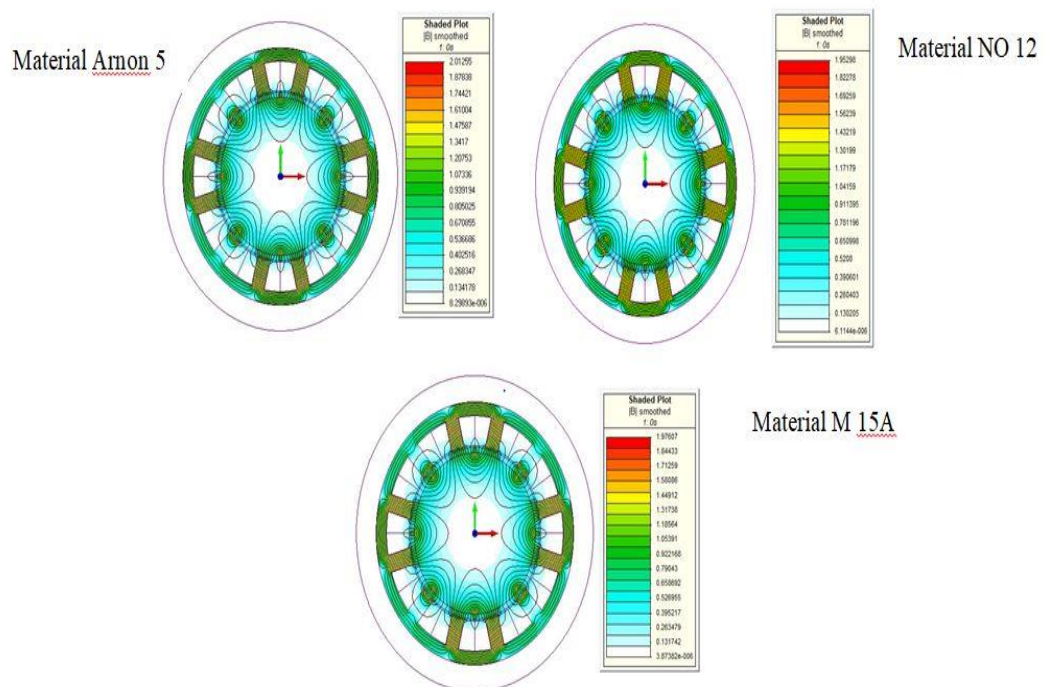
Tabel 4.2 Nilai Pengaturan Kecepatan Putar Rotor

<i>Speed</i> (RPM)	<i>Motion</i> (Deg/s)	<i>Stop</i> (s)	<i>Step</i> (s)
500	3000	0,12	0,001
1000	6000	0,06	0,0005
1500	9000	0,04	0,0003
2000	12000	0,03	0,00025

Pada Tabel 4.2 di atas nilai *stop* adalah batas akhir *sampling* data pada simulasi yang merupakan hasil bagi dari jarak angular sepasang magnet dengan kecepatan putar rotor . Nilai *step* menunjukkan *sampling* dari grafik tersebut, pada simulasi ini nilai *step* yang digunakan sebesar 120 data.

4.2 Hasil Simulasi Fluks Magnet

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dan mensolving pemodelan PMSG dengan menggunakan material Arnon 5 , No 12, dan M 15A pada stator dan rotor akan terlihat arah fluks magnet yang berada pada stator akibat induksi dari magnet permanen yang ada pada rotor. Garis-garis medan akan menyebar ke inti stator dari *teeth*. Garis-garis medan terus bergerak seiring dengan perputaran magnet di rotor. Adapun bentuk garis-garis medan hasil dari pemodelan PMSG magnet sejajar dari *software Magnet* seperti terlihat pada Gambar 4.1.



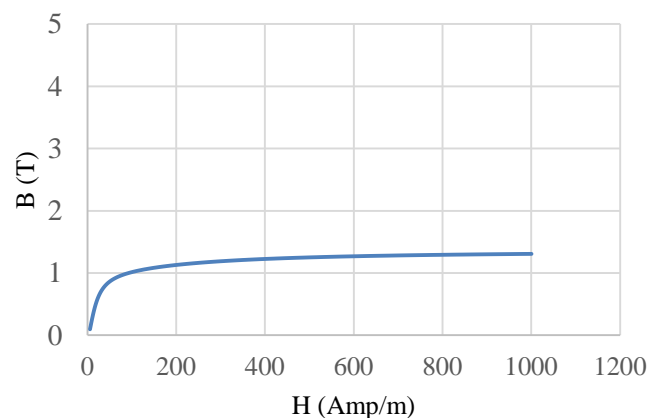
Gambar 4.1 Hasil Simulasi Kerapatan Fluks Setiap Material

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas terlihat bahwa sebaran fluks dimulai dari magnet permanen pada rotor sebagai pusat kerapatan fluks tertinggi di karenakan

magnet adalah sumber dari fluks tersebut, kemudian fluks mengalir melalui *teeth* dan masuk ke inti stator dikarenakan pada bagian *teeth* tersebut di lilit oleh *coil* sehingga fluks masuk melalui *teeth* kemudian menyebar ke stator dan ini berlangsung secara terus menerus seiring dengan perputaran magnet pada rotor. Gradasi warna menunjukkan besar medan magnet dititik tersebut. Medan magnet terbesar ditandai dengan titik merah sampai medan magnet terkecil ditandai dengan warna putih, sedangkan garis-garis menunjukkan lintasan fluks magnet. Fluks mengalir melalui *teeth* dan masuk ke inti stator secara *continue* seiring pergerakan magnet menyebabkan back EMF, dikarenakan pada bagian gigi stator terjadi fluks yang berubah-ubah dan gigi stator tersebut dililit oleh kumparan maka kumparan tersebut akan timbul tegangan induksi.

4.3 Nilai Kurva B-H

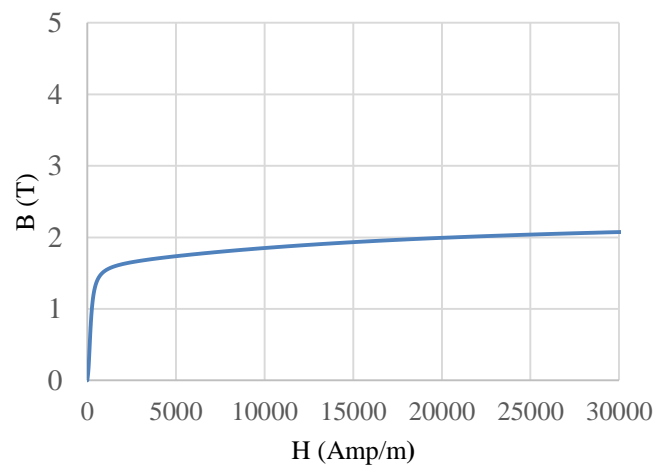
Inti besi yang digunakan pada penelitian ini adalah material Arnon 5, No 12, dan M 15A. Material ini memiliki kriteria setara dengan standar IEC 60404-2 dengan ketebalan laminasi 0,5 mm. Setiap material memiliki nilai saturasi yang berbeda-beda. Kurva B-H material Arnon 5 dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2 Kuva b-h Material Arnon 5

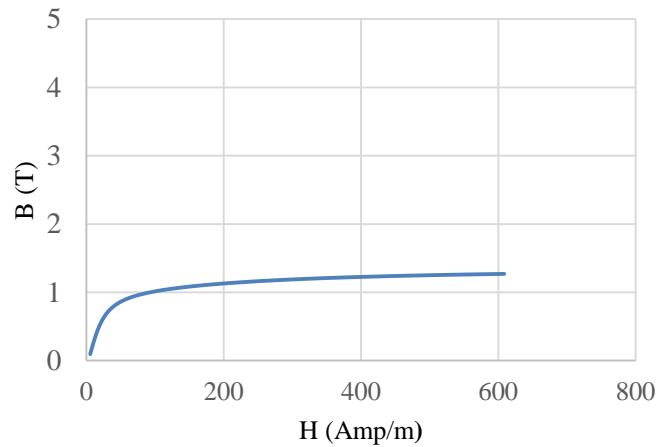
Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan kurva B-H pada material Arnon 5. Kurva BH menunjukkan ketahanan material untuk menghantarkan fluks magnet.

Material diberi intensitas medan magnet (H) di sekitar material akan terjadi medan magnet (B) yang hubungannya berbanding lurus dengan intensitasnya sampai pada titik saturasi. Ketika material telah mencapai titik saturasi dibutuhkan intensitas medan magnet (H) yang lebih besar untuk menaikkan medan magnetnya (B). Selain itu ketika telah mencapai titik saturasi, akan timbul panas pada material jika terus-menerus menambah intensitas medan magnet (H). Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa material Arnon 5 mengalami saturasi pada 1,2 T. Kurva B-H material NO 12 dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 Kuva b-h Material NO 12

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan kurva B-H pada material NO 12. Kurva BH menunjukkan ketahanan material untuk menghantarkan fluks magnet. Material diberi intensitas medan magnet (H) di sekitar material akan terjadi medan magnet (B) yang hubungannya berbanding lurus dengan intensitasnya sampai pada titik saturasi. Ketika material telah mencapai titik saturasi dibutuhkan intensitas medan magnet (H) yang lebih besar untuk menaikkan medan magnetnya (B). Selain itu ketika telah mencapai titik saturasi, akan timbul panas pada material jika terus-menerus menambah intensitas medan magnet (H), berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa material No 12 mengalami saturasi pada 2 T. Kurva B-H material M 15A dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Kuva b-h Material M 15A

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan kurva B-H pada material M 15A. Kurva BH menunjukkan ketahanan material untuk menghantarkan fluks magnet. Material diberi intensitas medan magnet (H) di sekitar material akan terjadi medan magnet (B) yang hubungannya berbanding lurus dengan intensitasnya sampai pada titik saturasi. Ketika material telah mencapai titik saturasi dibutuhkan intensitas medan magnet (H) yang lebih besar untuk menaikkan medan magnetnya (B). Selain itu ketika telah mencapai titik saturasi, akan timbul panas pada material jika terus-menerus menambah intensitas medan magnet (H). Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa material M 15A mengalami saturasi pada 1,2 T.

4.4 Hasil Nilai Permeabilitas

Perhitungan nilai permeabilitas dapat dilakukan dengan melihat pada Tabel 2.1 untuk material Arnon 5, Tabel 2.2 untuk material NO 12, Tabel 2.3 untuk material M 15A pada tinjauan pustaka. Persamaan 2.5 digunakan untuk menghitung nilai permeabilitas. Perhitungan nilai permeabilitas dari material Arnon 5 dilakukan pada B berkisar 1,0 Tesla.

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1,0063}{146,883} = 0,006 \text{ Hm}^{-1}$$

Perhitungan nilai permeabilitas dari material NO 12 dilakukan pada B berkisar 1,0 Tesla.

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.012}{110,132} = 0,008 \text{ Hm}^{-1}$$

Perhitungan nilai permeabilitas dari material M 15A dilakukan pada B berkisar 1,0 Tesla.

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.011}{101.683} = 0,009 \text{ Hm}^{-1}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan hasil nilai permeabilitas pada setiap material. Berikut nilai permeabilitas setiap material dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Nilai Permeabilitas Setiap Material

Material	Nilai Permeabilitas
Arnon 5	0,006 Hm^{-1}
NO 12	0,008 Hm^{-1}
M 15A	0,009 Hm^{-1}

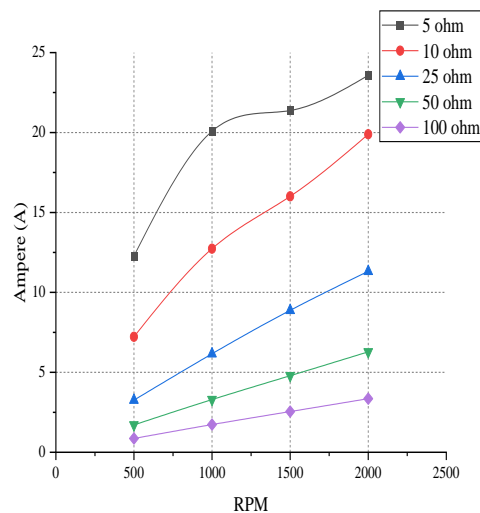
Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat setiap material memiliki nilai permeabilitas yang berbeda-beda. Material M 15A memiliki nilai tertinggi dengan nilai sebesar 0,009 Hm^{-1} , semakin besar nilai permeabilitas nantinya akan mempengaruhi nilai *output* pada generatornya semakin besar pula. Material yang digunakan yaitu material ferromagnetik (μ_f) karena merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetil positif yang sangat tinggi atau bahan yang mempunyai momen magnetik. Bahan ferromagnetik adalah bahan yang mempunyai resultan medan magnet atomis besar, jika bahan ini diberikan medan magnet luar maka elektron-elektron mengusahakan dirinya sedemikian hingga resultan medan magnet atomis tiap atom searah dengan medan magnet luar.

4.5 Hasil Data Nilai Kurva karakteristik

Penelitian ini menganalisa hasil nilai keluaran dari PMSG yaitu arus, tegangan, torsi, daya *input*, daya *output* dan efisiensi. Berdasarkan Gambar 3.6 dioda 1, dioda 2, dioda 3, dioda 4, dioda 5, dan dioda 6 merupakan rangkaian penyearah. Keluaran dari PMSG harus di searahkan karena ingin dimasukkan ke baterai terlebih dahulu terutama pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Resistansi diberikan agar dapat keluar karakteristik dari *permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole*.

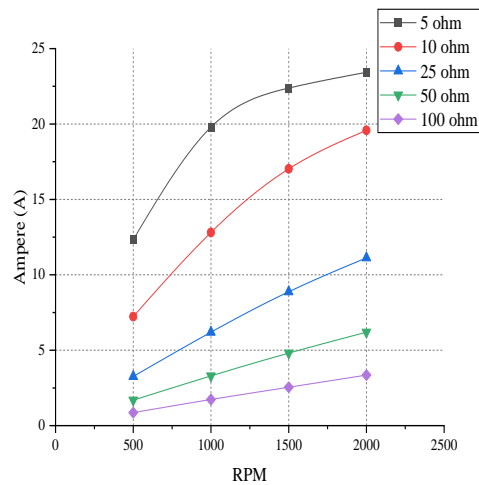
4.5.1 Hasil Nilai Arus

Berdasarkan hasil simulasi perancangan PMSG didapatkan nilai arus pada material Arnon 5 dengan variasi kecepatan putar rotor sebesar 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM dan variasi resistansi yang diberikan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, 100 ohm. Hasil nilai arus pada material Arnon 5 dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



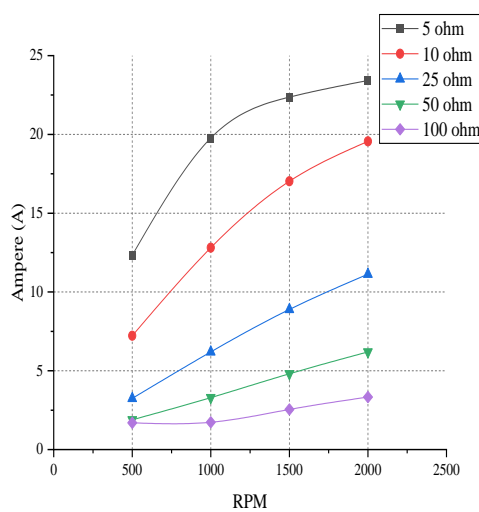
Gambar 4.5 Nilai Arus Material Arnon 5

Berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan hasil nilai arus pada material Arnon 5 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran arus tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 5 ohm yaitu 23,58 A. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 0,86 A. Hasil nilai arus pada material NO 12 dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6 Nilai Arus Material NO 12

Berdasarkan Gambar 4.6 merupakan hasil nilai arus pada material NO 12 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM, dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran arus tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan beban yang diberikan 5 ohm yaitu 23,43 A. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 0,88 A. Hasil nilai arus pada material M 15A dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.

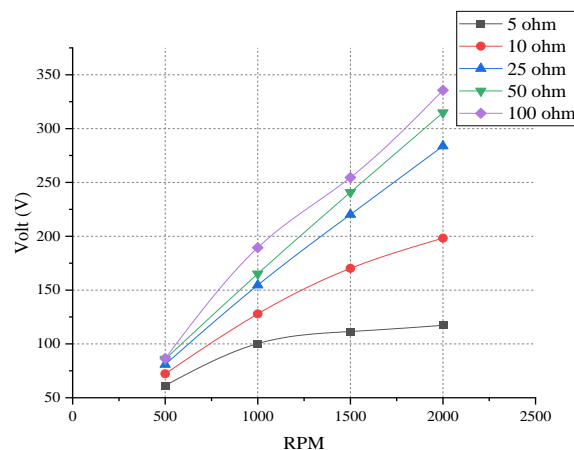


Gambar 4.7 Nilai Arus Material M 15A

Berdasarkan Gambar 4.7 merupakan hasil nilai arus pada material M 15A dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran arus tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan beban yang diberikan 5 ohm yaitu 23,42 A. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 1,70 A. Dari Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 semakin besar kecepatan putar rotornya maka semakin besar pula nilai arus dan semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar nilai arusnya. Hasil nilai arus pada material Arnon 5, NO 12 dan M 15A terdapat di (Lampiran B-1).

4.5.2 Hasil Nilai Tegangan

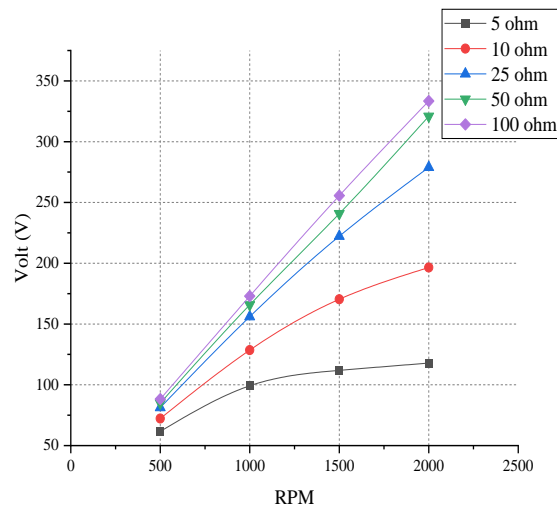
Berdasarkan hasil simulasi perancangan PMSG didapatkan nilai tegangan pada material Arnon 5 dengan variasi kecepatan putar rotor sebesar 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Variasi resistansi yang diberikan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, 100 ohm. Hasil nilai tegangan pada material Arnon 5 dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Nilai Tegangan Material Arnon 5

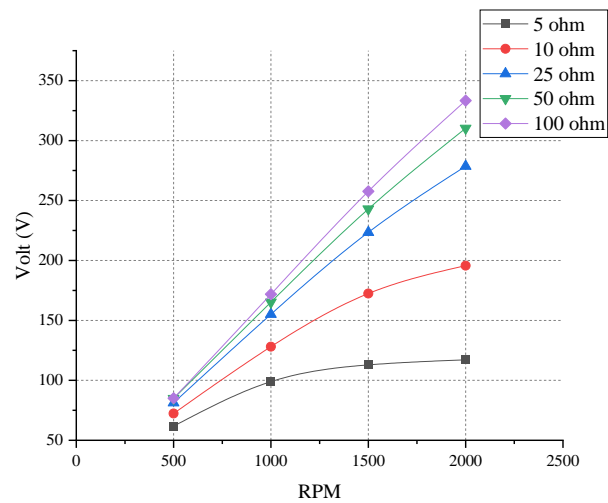
Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan hasil nilai tegangan pada material Arnon 5 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm,

50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran tegangan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 335,66 V. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 5 ohm yaitu 61,44 V. Hasil nilai tegangan pada material NO 12 dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Nilai Tegangan Material NO 12

Berdasarkan Gambar 4.9 merupakan hasil nilai tegangan pada material NO 12 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM, dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran tegangan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 333,42 V. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan beban yang diberikan 5 ohm yaitu 61,66 V. Hasil nilai tegangan pada material M 15A dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut ini.

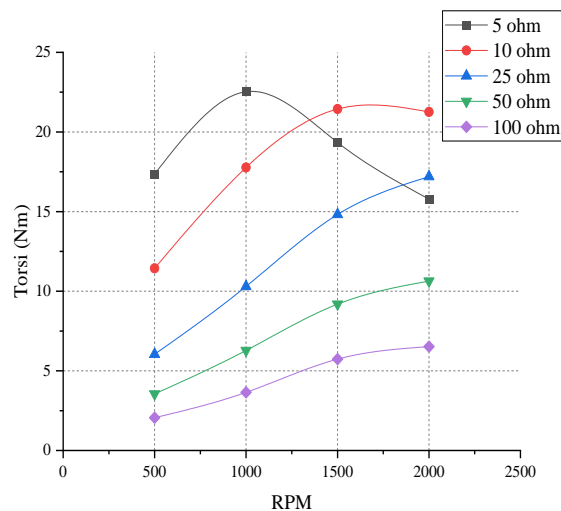


Gambar 4.10 Nilai Tegangan Material M 15A

Berdasarkan Gambar 4.10 merupakan hasil nilai tegangan pada material M 15A dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM, dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran tegangan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 333,34 V. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 5 ohm yaitu 61,73 V. Dari Gambar 4.8, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 semakin besar kecepatan putar rotor dan semakin besar resistansi yang diberikan maka semakin besar nilai tegangan. Nilai arus keluaran generator sangat berpengaruh terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator. Jika arus keluaran generator semakin tinggi, maka tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator semakin menurun. Hal ini membuktikan bahwa arus listrik generator berbanding terbalik dengan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator menunjukkan bahwa arus listrik generator sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan. Hasil nilai tegangan pada material Arnon 5, NO 12 dan M 15A terdapat di (Lampiran B-2).

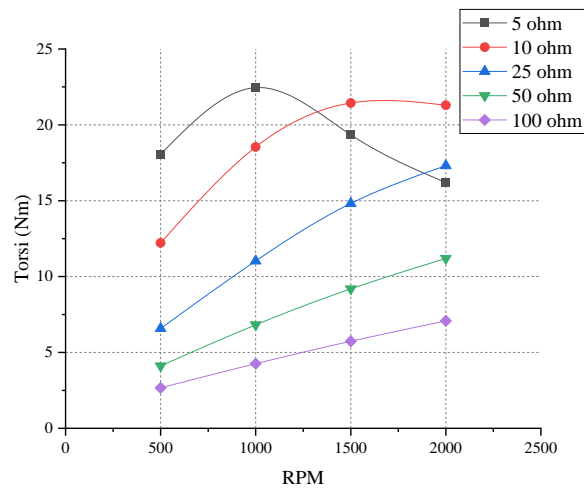
4.5.3 Hasil Nilai Torsi

Berdasarkan hasil simulasi perancangan PMSG didapatkan nilai torsi pada material Arnon 5 dengan variasi kecepatan putar rotor sebesar 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Variasi resistansi yang diberikan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, 100 ohm. Hasil nilai torsi pada material Arnon 5 dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini.



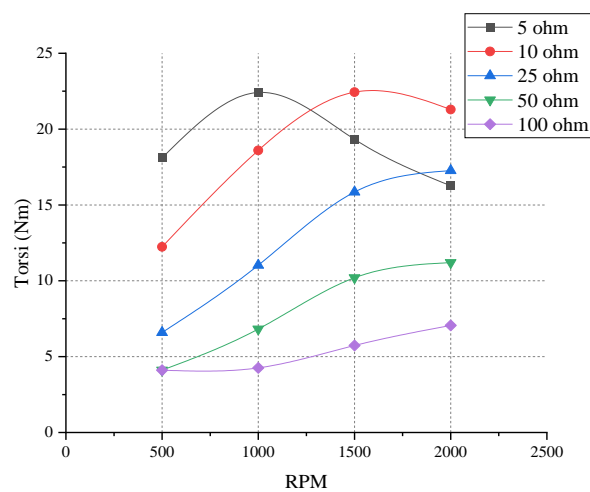
Gambar 4.11 Nilai Torsi Material Arnon 5

Berdasarkan Gambar 4.11 menunjukkan hasil nilai torsi pada material Arnon 5 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran torsi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 5 ohm yaitu 22,53 Nm. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 2,06 Nm. Hasil nilai torsi pada material NO 12 dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut ini.



Gambar 4.12 Nilai Torsi Material NO 12

Berdasarkan Gambar 4.12 merupakan hasil nilai torsi pada material NO 12 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran torsi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 5 ohm yaitu 22,45 Nm. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 2,67 Nm. Hasil nilai torsi pada material M 15A dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut ini.

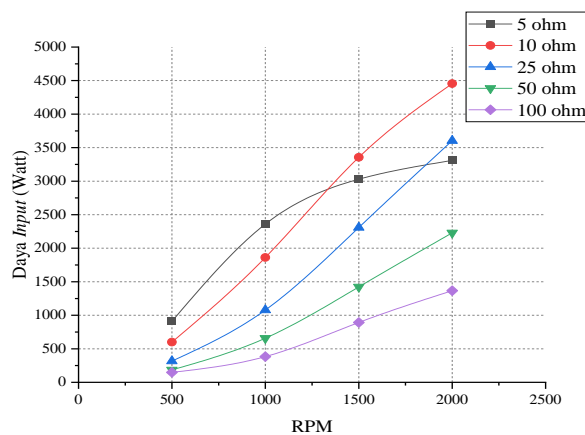


Gambar 4.13 Nilai Torsi Material M 15A

Berdasarkan Gambar 4.13 merupakan hasil nilai torsi pada material M 15A dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran torsi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 5 ohm yaitu 22,42 Nm. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 4,11 Nm. Hasil nilai torsi pada material Arnon 5, NO 12 dan M 15A terdapat di (Lampiran B-3).

4.5.4 Hasil Nilai Daya *Input*

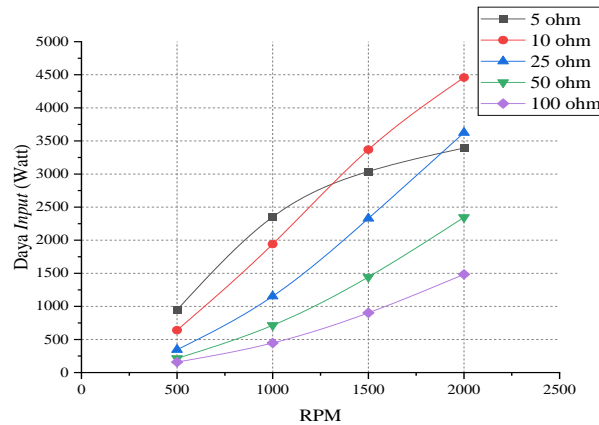
Berdasarkan hasil perhitungan dari Persamaan (2.15) didapatkan nilai daya *input* pada material Arnon 5 dengan variasi kecepatan putar rotor sebesar 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 200 RPM. Variasi resistansi yang diberikan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, 100 ohm. Hasil nilai daya *input* pada material Arnon 5 dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut ini.



Gambar 4.14 Nilai Daya *Input* Material Arnon 5

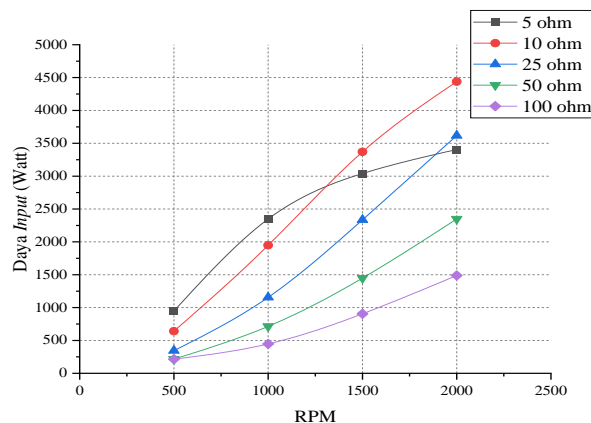
Berdasarkan Gambar 4.14 menunjukkan hasil nilai daya *input* pada material Arnon 5 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM, dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran daya *input* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 10 ohm yaitu 4454,70 W.

Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 148,32 W. Hasil nilai daya *input* pada material NO 12 dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut ini.



Gambar 4.15 Nilai Daya *Input* Material NO 12

Berdasarkan Gambar 4.15 merupakan hasil nilai daya *input* pada material NO 12 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi beban yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran daya *input* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 10 ohm yaitu 4457,94 W. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 158,63 W. Hasil nilai daya *input* pada material M 15A dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut ini.

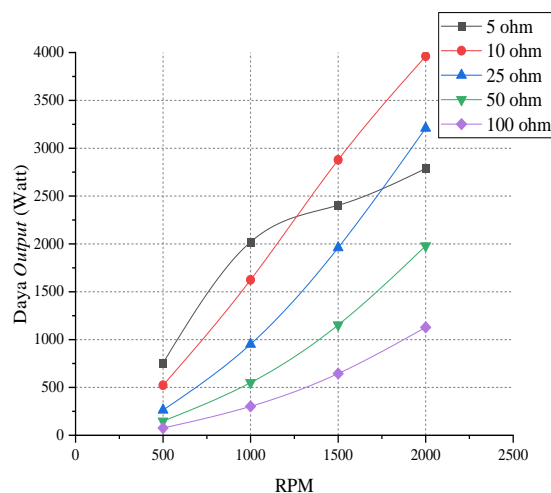


Gambar 4.16 Nilai Daya *Input* Material M 15A

Berdasarkan Gambar 4.16 merupakan hasil nilai daya *input* pada material M 15A dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran daya *input* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 10 ohm yaitu 4438,89 W. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 215,37 W. Dari Gambar 4.14, Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa nilai daya *input* berbanding lurus dengan nilai torsi sesuai dengan persamaan (2.12), semakin besar nilai torsi maka nilai daya *input* semakin besar. Hasil nilai daya *input* pada material Arnon 5, NO 12 dan M 15A terdapat di (Lampiran B-4).

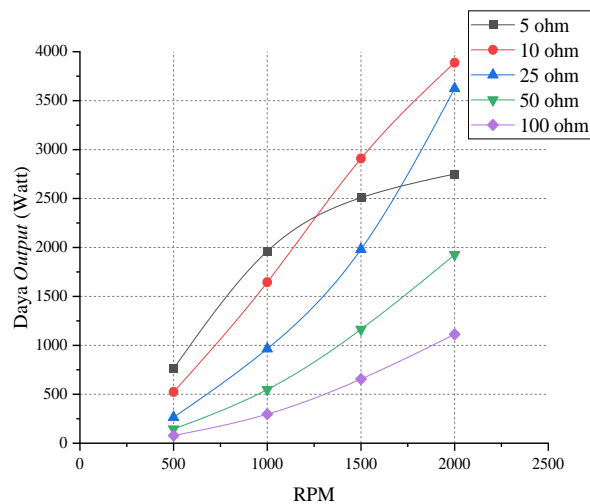
4.5.5 Hasil Nilai Daya Output

Berdasarkan hasil perhitungan dari Persamaan (2.16) didapatkan nilai daya *output* pada material Arnon 5 dengan variasi kecepatan putar rotor sebesar 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Variasi resistansi yang diberikan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, 100 ohm. Hasil nilai daya *output* pada material Arnon 5 dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut ini.



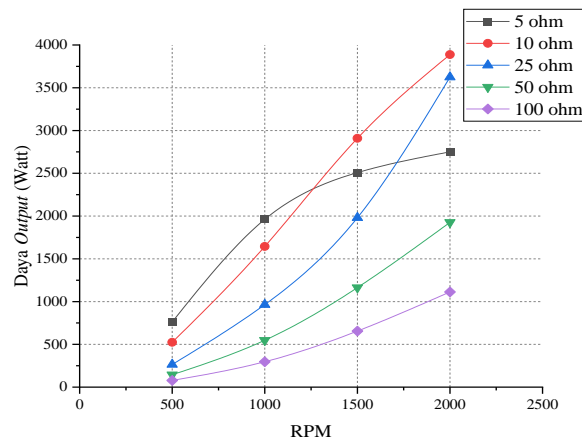
Gambar 4.17 Nilai Daya Output Material Arnon 5

Berdasarkan Gambar 4.17 menunjukkan hasil nilai daya *output* pada material Arnon 5 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran daya *output* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 10 ohm yaitu 3961,05 W. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 75,45 W. Hasil nilai daya *output* pada material NO 12 dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut ini.



Gambar 4.18 Nilai Daya *Output* Material NO 12

Berdasarkan Gambar 4.18 merupakan hasil nilai daya *output* pada material NO 12 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran daya *output* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 10 ohm yaitu 3887,48 W. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 78,30 W. Hasil nilai daya *output* pada material M 15A dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut ini.

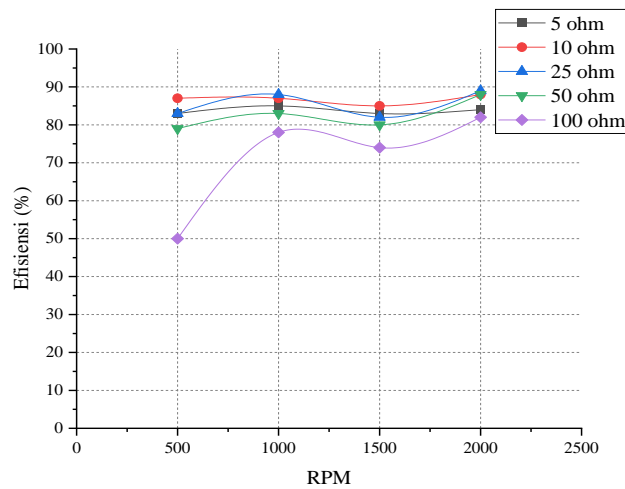


Gambar 4.19 Nilai Daya *Output* Material M 15A

Berdasarkan Gambar 4.19 merupakan hasil nilai daya *output* pada material M 15A dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai keluaran daya *output* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 10 ohm yaitu 3831,95 W. Nilai keluaran terkecil pada saat kecepatan putar rotor 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 144,65 W. Dari Gambar 4.17, Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa besar arus listrik yang dihasilkan oleh generator akan menentukan daya *output*. Semakin besar arus listrik yang dihasilkan, semakin besar yang di hasilkan nilai daya *output*. Sebaliknya, semakin kecil arus listrik yang dihasilkan oleh generator, semakin kecil yang di hasilkan nilai daya *output*. Hasil nilai daya *output* pada material Arnon 5, NO 12 dan M 15A terdapat di (Lampiran B-5).

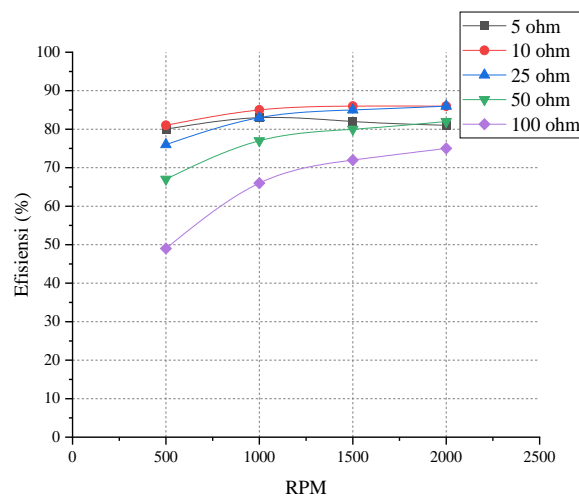
4.5.6 Hasil Nilai Efisiensi

Berdasarkan hasil perhitungan dari Persamaan (2.17) didapatkan nilai efisiensi pada material Arnon 5 dengan variasi kecepatan putar rotor sebesar 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 200 RPM. Variasi resistansi yang diberikan sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, 100 ohm. Hasil nilai efisiensi pada material Arnon 5 dapat dilihat pada Gambar 4.20 berikut ini.



Gambar 4.20 Nilai Efisiensi Material Arnon 5

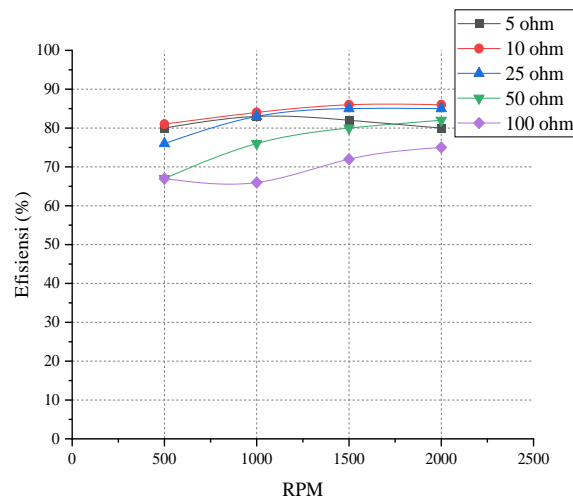
Berdasarkan Gambar 4.20 menunjukkan hasil nilai efisiensi pada material Arnon 5 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai efisiensi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan beban 25 ohm yaitu sebesar 89%. Hasil nilai efisiensi pada material NO 12 dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut ini.



Gambar 4.21 Nilai Efisiensi Material NO 12

Berdasarkan Gambar 4.21 menunjukkan hasil nilai efisiensi pada material No 12 dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM,

1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai efisiensi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan beban 25 ohm yaitu sebesar 86%. Hasil nilai efisiensi pada material M 15A dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4.22 Nilai Efisiensi Material M 15A

Berdasarkan Gambar 4.22 menunjukkan hasil nilai efisiensi pada material M 15A dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi yaitu 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm dan 100 ohm. Nilai efisiensi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan beban 10 ohm yaitu sebesar 85%. Hasil nilai efisiensi pada material Arnon 5, NO 12 dan M 15A terdapat di (Lampiran B-6).

4.6 Hasil Data Nilai *Hysteresis Losses*

Simulasi perancangan tiga model PMSG dengan variasi kecepatan putar rotor sebesar 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM dan variasi resistansi sebesar 5 ohm, 10 ohm, 25 ohm, 50 ohm, 100 ohm. Selanjutnya menganalisa hasil nilai *hysteresis losses* pada material Arnon 5, berikut hasil nilai *hysteresis losses* dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini

Tabel 4.4 Nilai *Hysteresis Losses* Material Arnon 5

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	1,64 Watt	2,66 Watt	2,98 Watt	3,65 Watt
10 ohm	1,98 Watt	3,39 Watt	4,09 Watt	5,60 Watt
25 ohm	2,12 Watt	3,88 Watt	5,87 Watt	8,32 Watt
50 ohm	2,28 Watt	4,13 Watt	6,90 Watt	9,04 Watt
100 ohm	2,35 Watt	4,18 Watt	7,12 Watt	9,29 Watt

Berdasarkan Tabel 4.4 menunjukkan hasil nilai *hysteresis losses* pada material Arnon 5. Nilai keluaran *hysteresis losses* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 9,29 Watt. Selanjutnya menganalisa hasil nilai *hysteresis losses* pada material NO 12, berikut hasil nilai *hysteresis losses* dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Nilai *Hysteresis Losses* Material No 12

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	1,87 Watt	2,93 Watt	3,02 Watt	3,65 Watt
10 ohm	2,17 Watt	3,92 Watt	4,77 Watt	5,73 Watt
25 ohm	2,36 Watt	4,80 Watt	6,61 Watt	8,65 Watt
50 ohm	2,40 Watt	4,98 Watt	7,23 Watt	9,88 Watt
100 ohm	2,45 Watt	5,09 Watt	7,44 Watt	10,49 Watt

Berdasarkan Tabel 4.5 menunjukkan hasil nilai *hysteresis losses* pada material NO 12. Nilai keluaran *hysteresis losses* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 10.49 Watt. Selanjutnya menganalisa hasil nilai *hysteresis losses* pada material M 15 A, berikut hasil nilai *hysteresis losses* dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Nilai *Hysteresis Losses* Material M 15A

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	1,93 Watt	2,84 Watt	3,10 Watt	3,34 Watt
10 ohm	2,23 Watt	3,82 Watt	4,77 Watt	4,93 Watt
25 ohm	2,43 Watt	4,68 Watt	6,57 Watt	8,05 Watt
50 ohm	2,48 Watt	4,86 Watt	7,19 Watt	9,19 Watt
100 ohm	2,56 Watt	4,96 Watt	7,39 Watt	9,40 Watt

Berdasarkan Tabel 4.6 menunjukkan hasil nilai *hysteresis losses* pada material Arnon 5. Nilai keluaran *hysteresis losses* tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 2000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 ohm yaitu 9,40 Watt. Berdasarkan Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 semakin besar kecepatan putar rotor maka akan semakin besar nilai *hysteresis loss*. Semakin besar kecepatan putar nya maka akan banyak *loss* yang keluar.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perbandingan material pada inti besi stator dan rotor pada permanen magnet sinkron generator, dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecepatan putar rotor dan beban mempengaruhi nilai keluaran pada arus, tegangan, torsi, daya *input*, daya *output* dan efisiensi. Pada setiap material memiliki nilai keluaran yang berbeda-beda.
2. Dari nilai keluaran arus, tegangan, torsi, daya *input*, daya *output* material *M 15A* memiliki nilai keluaran yang tertinggi, disusul dengan material *NO 12* dan material *Arnon 5*, hal itu dikarenakan nilai permeabilitas *M 15A* lebih besar daripada material yang lain.
3. Semakin besar nilai kecepatan putar rotor dan semakin besar nilai beban yang diberikan maka nilai *hysteresis loss* akan semakin besar pula.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian didapatkan saran yaitu untuk pengujian melakukan simulasi dengan optimalisasi pada bagian generator lainnya dan dapat dilakukan dengan rancang bangun generator tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Agricola, “1-421,” *Die Sprichwörter-sammlungen I/II*, pp. 421–428, 2018, doi: 10.1515/9783110834192-006.
- [2] A. Rohmah, W. Hadi, and W. Cahyadi, “Rancang Bangun Generator AC Konstruksi Axial Flux Satu Fasa Menggunakan Magnet Neodymium (NdFeB) Silinder dengan Kutub Magnet Berlawanan,” pp. 33–37.
- [3] D. Mesin and U. Negeri, “Hubungan Daya Turbin Angin Berbentuk Propeller 5 Blade Terhadap Beban Tower Penyangganya Wardoyo,” no. April, pp. 1–6, 2016.
- [4] D. I. K. B. Kal-tim, “ANALISIS UJI EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DAN DAMPAKNYA TERHADAP LINGKUNGAN,” pp. 15–24, 2016.
- [5] D. I. Wilayah *et al.*, “Normal Standar Klimatologi Untuk Pemetaan,” vol. 7, no. 3, pp. 29–35, 2020.
- [6] P. P. Pratama, W. Hadi, and W. Cahyadi, “RANCANG BANGUN GENERATOR AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET (AFPM) MULTICAKRAM 1 FASA DENGAN KUTUB BERLAWANAN (N-S) MENGGUNAKAN MAGNET PERMANEN NEODYMIUM IRON BORON (NdFeB) Abstrak Pendahuluan Metode,” no. April, 2021.
- [7] N. A. Adistia, R. A. Nurdiansyah, J. Fariko, and J. W. Simatupang, “Potensi energi panas bumi, angin, dan biomassa menjadi energi listrik di indonesia,” vol. 22, no. 2, pp. 105–116, 2020.
- [8] H. Krisdiantoro, “Unjuk Kerja Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 3 Fasa Fluks Radial dari Modifikasi Motor Induksi,” pp. 95–100.
- [9] I. Journal and O. F. Science, “Computational Studies on Airfoil for Micro-Capacity Horizontal Axis Wind Turbine,” no. 3, pp. 2427–2438, 2021.
- [10] W. Wang, S. Zhou, H. Mi, Y. Wen, H. Liu, and G. Zhang, “Sensitivity Analysis and Optimal Design of a Stator Coreless Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator,” 2019, doi: 10.3390/su11051414.
- [11] O. Bouaziz and I. Jaafar, “Performance analysis of radial and axial ux

- PMSM based on 3D FEM modeling,” no. January, 2018, doi: 10.3906/elk-1708-68.
- [12] R. Kurniawan, E. A. Hakim, M. Irfan, and I. Artikel, “Analisis Pengaruh Variasi Lebar Air Gap Pada Motor Brushless DC Radial Fluks,” vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [13] N. E. Sandhi *et al.*, “METODE PENENTUAN RUGI-RUGI HISTERESIS,” vol. 12, no. 1, pp. 13–20, 2020.
- [14] I. Engineering, “EFFICIENCY ANALYSIS OF INDIRECT VECTOR CONTROLLED THREE PHASE INDUCTION MOTOR DRIVE,” pp. 3805–3812, 2013.
- [15] M. Mushthofa *et al.*, “SIMULASI NUMERIK UNTUK MENGATASI RETAK PENAMPANG U-DITCH,” pp. 31–42.
- [16] H. Pujowidodo, J. Helian, G. E. Pramono, and A. Ridwan, “Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen,” pp. 1–9.
- [17] S. J. Chapman, “Electric Machinery Fundamentals; 5E”.
- [18] B. Prasetyo and T. H. Mulud, “RANCANG BANGUN MOTOR – GENERATOR MAGNET PERMANEN JENIS NdFeB,” vol. 15, no. 2, pp. 60–69, 2019.
- [19] “Aspek Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah Meggi Octa Suhada1), Indra Yasri2) Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1 , 2) Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro S1 , Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Bina Widya Jl . HR . Soebrantas Km . 12 , 5 Simpang Baru , Panam , Pekanbaru 28293 Jom FTEKNIK Volume 5 Edisi 1 Januari s / d Juni 2018,” vol. 5, pp. 1–7, 2018.
- [20] J. E. Heikkinen, T. Minav, H. Handroos, and J. A. Tapia, “Electric motor based hydraulic motor pump emulator in real time HIL- simulation: Finding The optimum emulator electric motor,” no. June, pp. 1–6, 2014, doi: 10.1115/FPNI2014-7824.
- [21] P. P. Parthasaradhy and S. V Ranganayakulu, “Hysteresis and eddy current losses of magnetic material by Epstein frame method-novel approach,” pp. 85–93, 2014.

- [22] P. Ilmiah, Y. Prasetyo, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, “Publikasi ilmiah,” 2019.
- [23] M. N. U. R. Kholis, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, “Rancangan permanent magnet synchronous generator (pmsg) 12 slot 8 pole dengan menggunakan software magnet infolytica 7.5,” 2020.
- [24] I. Arifianto and M. R. Hs, “Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7 . 5,” *Semin. Nas. Microwave, Antena dan Propagasi*, pp. 43–48, 2018.
- [25] Fitriana, P. Irasari, and M. Kasim, “Analisis Torsi Cogging Pada Prototip Generator Magnet Permanen 1Kw/220V/300RPM,” *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, vol. 9, no. 2, pp. 125–134, 2018

LAMPIRAN A DATA HASIL PERCOBAAN

Data Material M 15A Pada 500 RPM

	Time(s)	Current(A)	Voltage(V)	Torsi	Pin	Pout
1	0	0	0	0.9797	51.297612	0
2	0.001	4.63693	23.18466	12.206	639.09524	107.50568
3	0.002	7.78425	38.92123	16.179	847.10796	302.9725
4	0.003	9.1514	45.75702	15.096	790.42666	418.74103
5	0.004	11.2486	56.24284	17.324	907.06613	632.65145
6	0.005	12.3585	61.79259	-21.04	1101.6289	763.66477
7	0.006	13.0903	65.45126	24.646	1290.4652	856.77358
8	0.007	13.4969	67.48454	21.927	1148.0741	910.83267
9	0.008	13.1398	65.69906	14.437	755.90104	863.27325
10	0.009	12.3154	61.57708	14.645	766.82677	758.34746
11	0.01	11.7624	58.81204	20.071	1050.9004	691.77112
12	0.011	12.6993	63.49671	23.802	1246.292	806.36643
13	0.012	13.2377	66.18857	21.114	1105.5127	876.18526
14	0.013	12.9608	64.80399	13.361	699.5789	839.91131
15	0.014	12.19	60.95002	13.455	704.50722	742.98106
16	0.015	11.3718	56.85899	19.374	1014.4113	646.58894
17	0.016	12.3997	61.99869	23.341	1222.148	768.76753
18	0.017	13.0374	65.18687	20.803	1089.2576	849.86552
19	0.018	12.8227	64.11364	13.271	694.88292	822.11167
20	0.019	12.0946	60.47292	-	705.33594	731.39491

				13.471		
21	0.02	11.3585	56.79256	19.346	1012.9748	645.07901
22	0.021	12.3979	61.98933	23.346	1222.3813	768.53534
23	0.022	13.0361	65.18052	20.874	1092.9592	849.70003
24	0.023	12.8219	64.10934	13.317	697.27311	822.00138
25	0.024	12.094	60.47019	13.514	707.59463	731.32882
26	0.025	11.3671	56.83574	19.386	1015.0615	646.06017
27	0.026	12.4049	62.02426	23.355	1222.878	769.40166
28	0.027	13.0408	65.20386	20.821	1090.1816	850.3086
29	0.028	12.8251	64.12541	13.297	696.23434	822.41358
30	0.029	12.0963	60.4813	13.501	706.89656	731.59764
31	0.03	11.3676	56.83823	19.364	1013.8772	646.1168
32	0.031	12.405	62.02525	23.357	1222.9587	769.42623
33	0.032	13.0409	65.20455	-20.88	1093.2747	850.32655
34	0.033	12.8252	64.12589	13.319	697.35882	822.42607
35	0.034	12.0963	60.48164	13.513	707.55901	731.60569
36	0.035	11.3675	56.83732	19.386	1015.0657	646.09609
37	0.036	12.4049	62.02447	23.355	1222.8726	769.40697
38	0.037	13.0408	65.204	20.821	1090.1676	850.3124
39	0.038	12.8251	64.12551	13.297	696.20414	822.41612
40	0.039	12.0963	60.48137	-13.5	706.85902	731.59916
41	0.04	11.3674	56.83719	19.363	1013.858	646.09328
42	0.041	12.4049	62.02441	23.357	1222.9461	769.40546
43	0.042	13.0408	65.20399	-20.88	1093.2667	850.31194
44	0.043	12.8251	64.12551	-	697.35577	822.41617

				13.319		
45	0.044	12.0963	60.48137	-	707.55764	731.59924
46	0.045	11.3675	56.83726	-	1015.0641	646.09471
47	0.046	12.4049	62.02445	-	1222.8726	769.40638
48	0.047	13.0408	65.20399	-	1090.1678	850.31198
49	0.048	12.8251	64.1255	-	696.2059	822.41584
50	0.049	12.0963	60.48136	13.297	706.8612	731.59898
51	0.05	11.3674	56.83721	-13.5	1013.8574	646.0938
52	0.051	12.4049	62.02443	19.363	1222.9453	769.40593
53	0.052	13.0408	65.204	23.357	1093.2672	850.31228
54	0.053	12.8251	64.12552	-20.88	697.35524	822.4164
55	0.054	12.0963	60.48138	13.319	707.55765	731.59938
56	0.055	11.3675	56.83726	-	1015.0662	646.09476
57	0.056	12.4049	62.02445	19.386	1222.8737	769.4064
58	0.057	13.0408	65.20399	23.355	1090.1672	850.312
59	0.058	12.8251	64.1255	20.821	696.20519	822.41585
60	0.059	12.0963	60.48136	13.297	706.85996	731.59899

Data Material M 15A Pada 1000 RPM

	Time(s)	Current(A)	Voltage(V)	Torsi	Pin	Pout
1	0	0	0	0.97971	102.59522	0
2	0.0005	5.0976	25.488	-12.959	1357.0584	129.92607
3	0.001	9.285	46.425	18.4941	1936.6953	431.0518
4	0.0015	11.936	59.682	18.6022	1948.0208	712.37887
5	0.002	13.991	69.954	22.5792	2364.485	978.71151
6	0.0025	16.796	83.981	28.2376	2957.0327	1410.5701
7	0.003	18.979	94.893	33.3984	3497.4704	1800.9543
8	0.0035	20.525	102.62	31.0844	3255.1544	2106.331
9	0.004	21.26	106.3	21.8346	2286.5101	2259.9464
10	0.0045	21.286	106.43	20.6523	2162.7069	2265.467
11	0.005	20.617	103.09	25.4834	2668.6202	2125.3073
12	0.0055	19.324	96.62	32.1038	3361.9036	1867.1025
13	0.006	20.519	102.59	29.2821	3066.4162	2105.139
14	0.0065	21.248	106.24	18.3581	1922.4573	2257.3802
15	0.007	21.258	106.29	16.2903	1705.9139	2259.5709
16	0.0075	20.577	102.88	20.9061	2189.2813	2116.998
17	0.008	19.3	96.501	27.3122	2860.1313	1862.4771
18	0.0085	18.942	94.709	26.8889	2815.8036	1793.9432
19	0.009	19.946	99.732	16.7404	1753.0522	1989.3018
20	0.0095	20.173	100.86	15.1782	1589.4568	2034.6845
21	0.01	19.672	98.36	-	2113.481	1934.9274

				20.1823		
22	0.0105	18.549	92.746	26.9179	2818.841	1720.3817
23	0.011	18.662	93.312	26.8601	2812.7806	1741.4158
24	0.0115	19.717	98.583	17.0804	1788.6557	1943.7087
25	0.012	19.984	99.921	-15.751	1649.4381	1996.8242
26	0.0125	19.518	97.588	20.8766	2186.1896	1904.6934
27	0.013	18.42	92.102	27.6779	2898.4203	1696.5527
28	0.0135	19.05	95.25	27.5859	2888.7883	1814.4936
29	0.014	20.038	100.19	17.8531	1869.5736	2007.5427
30	0.0145	20.254	101.27	16.5094	1728.8584	2051.1484
31	0.015	19.745	98.723	21.5527	2256.9891	1949.2486
32	0.0155	18.608	93.04	28.3315	2966.8701	1731.2949
33	0.016	19.408	97.042	28.2075	2953.887	1883.4263
34	0.0165	20.334	101.67	18.2829	1914.5782	2067.3474
35	0.017	20.501	102.51	16.8297	1762.4064	2101.554
36	0.0175	19.951	99.755	21.7958	2282.4472	1990.2104
37	0.018	18.779	93.896	28.4802	2982.4395	1763.2894
38	0.0185	19.505	97.525	28.2235	2955.5548	1902.2072
39	0.019	20.413	102.07	18.2451	1910.6181	2083.5392
40	0.0195	20.567	102.84	-16.74	1753.0067	2115.0397
41	0.02	20.005	100.03	21.6634	2268.5841	2001.0331
42	0.0205	18.824	94.122	-28.35	2968.8059	1771.7822
43	0.021	19.439	97.193	28.1411	2946.9249	1889.2899
44	0.0215	20.358	101.79	18.1053	1895.9835	2072.3338
45	0.022	20.521	102.6	-	1737.3225	2105.5202

				16.5902		
				-		
46	0.0225	19.966	99.831	21.5349	2255.1255	1993.2259
47	0.023	18.792	93.961	-28.201	2953.2047	1765.7189
				-		
48	0.0235	19.36	96.798	27.9481	2926.7163	1873.9605
49	0.024	20.293	101.47	-17.985	1883.3892	2059.0596
				-		
50	0.0245	20.466	102.33	16.4975	1727.616	2094.3355
				-		
51	0.025	19.921	99.603	21.4503	2246.2671	1984.1351
				-		
52	0.0255	18.754	93.772	28.1581	2948.712	1758.625
				-		
53	0.026	19.331	96.656	27.9826	2930.328	1868.4913
				-		
54	0.0265	20.27	101.35	17.9975	1884.6912	2054.3327
				-		
55	0.027	20.447	102.23	16.5165	1729.6084	2090.3815
				-		
56	0.0275	19.905	99.523	21.4885	2250.2685	1980.9479
				-		
57	0.028	18.741	93.705	28.1754	2950.5245	1756.1282
				-		
58	0.0285	19.341	96.706	27.9432	2926.2028	1870.4211
				-		
59	0.029	20.278	101.39	18.0081	1885.7986	2056.0116
				-		
60	0.0295	20.454	102.27	16.5368	1731.7259	2091.8166

Data Material M 15A Pada 2000 RPM

	Time(s)	Current(A)	Voltage(V)	Torsi	Pin	Pout
1	0	0	0	0.97971	205.19045	0
2	0.0003	5.3551794	26.775897	13.3798	2802.2565	143.38973
3	0.0005	10.19014	50.950698	-19.89	4165.761	519.194734
4	0.0008	13.752534	68.762671	20.9001	4377.2973	945.660974
5	0.001	16.367188	81.835941	26.1839	5483.936	1339.42423
6	0.0013	20.160308	100.80154	33.6441	7046.4063	2032.19002
7	0.0015	23.662432	118.31216	40.2416	8428.1892	2799.55342
8	0.0018	26.433982	132.16991	38.6511	8095.0722	3493.77705
9	0.002	28.447089	142.23545	29.0797	6090.4287	4046.18437
10	0.0023	29.768903	148.84451	27.3972	5738.0656	4430.93793
11	0.0025	30.268164	151.34082	31.1823	6530.8075	4580.80881
12	0.0028	29.906339	149.53169	35.9456	7528.4303	4471.94554
13	0.003	28.603617	143.01808	33.3053	6975.4514	4090.83452
14	0.0033	29.224024	146.12012	-21.311	4463.3715	4270.21779
15	0.0035	30.423953	152.11977	17.0443	3569.7416	4628.08465
16	0.0038	30.808484	154.04242	19.9345	4175.0819	4745.81359
17	0.004	30.422473	152.11236	24.0346	5033.7858	4627.63417
18	0.0043	29.175045	145.87522	21.1393	4427.3957	4255.91612
19	0.0045	26.554278	132.77139	-9.5	1989.675	3525.64833
20	0.0048	25.452412	127.26206	-8.4102	1761.4288	3239.12633
21	0.005	26.243176	131.21588	12.5168	2621.5062	3443.52147
22	0.0053	26.25828	131.2914	17.6402	3694.557	3447.48626
23	0.0055	25.431898	127.15949	16.2793	3409.5327	3233.90708

24	0.0058	23.152694	115.76347	6.57821	1377.7369	2680.23616
25	0.006	21.864541	109.3227	6.72145	1407.7377	2390.29073
26	0.0063	22.968336	114.84168	12.0311	2519.7908	2637.72238
27	0.0065	23.272618	116.36309	18.1762	3806.8236	2708.07379
28	0.0068	22.712055	113.56027	17.8811	3745.0127	2579.18714
29	0.007	20.671366	103.35683	-9.7032	2032.2325	2136.52685
30	0.0073	21.514066	107.57033	8.91616	1867.3965	2314.27522
31	0.0075	22.659159	113.29579	14.4986	3036.5834	2567.18741
32	0.0078	22.993231	114.96615	20.9645	4390.7998	2643.44327
33	0.008	22.440258	112.20129	20.8815	4373.4164	2517.82598
34	0.0083	20.743307	103.71654	12.2771	2571.3038	2151.424
35	0.0085	22.607628	113.03814	10.9417	2291.6292	2555.52417
36	0.0088	23.664388	118.32194	-16.276	3408.8417	2800.01623
37	0.009	23.910847	119.55423	22.5112	4714.7336	2858.64292
38	0.0093	23.264418	116.32209	-22.046	4617.3136	2706.16566
39	0.0095	21.577143	107.88572	-12.904	2702.5982	2327.86552
40	0.0098	23.397436	116.98718	11.2074	2347.2702	2737.20002
41	0.01	24.384786	121.92393	16.2614	3405.7739	2973.089
42	0.0103	24.567437	122.83718	22.2837	4667.0828	3017.79472
43	0.0105	23.86324	119.3162	21.6304	4530.2503	2847.27101
44	0.0108	21.820751	109.10376	12.6239	2643.9529	2380.72587
45	0.011	23.48251	117.41255	10.7865	2259.11	2757.14126
46	0.0113	24.460192	122.30096	15.7901	3307.0774	2991.50493
47	0.0115	24.635816	123.17908	21.7267	4550.423	3034.61722
48	0.0118	23.9293	119.6465	-	4393.7661	2863.05707

				20.9787		
49	0.012	21.775868	108.87934	12.1518	2545.059	2370.94218
50	0.0123	23.263797	116.31899	10.3504	2167.7801	2706.02128
51	0.0125	24.259069	121.29534	15.3936	3224.0229	2942.51207
52	0.0128	24.452227	122.26114	21.3951	4480.9746	2989.55714
53	0.013	23.764585	118.82293	20.7721	4350.4968	2823.77757
54	0.0133	21.626255	108.13128	11.9901	2511.2055	2338.47462
55	0.0135	23.085878	115.42939	10.2569	2148.2001	2664.78875
56	0.0138	24.096572	120.48286	15.3687	3218.8119	2903.22402
57	0.014	24.304084	121.52042	21.3954	4481.0419	2953.44251
58	0.0143	23.629824	118.14912	20.7668	4349.3852	2791.8428
59	0.0145	21.503292	107.51646	12.1006	2534.336	2311.95793
60	0.0148	23.076288	115.38144	10.4128	2180.8491	2662.57532

Data Material NO 12 Pada 500 RPM

	Time(s)	Current(A)	Voltage(V)	Torsi	Pin	Pout
1	0	0	0	0.979	51.251301	0
2	0.001	4.6463528	23.231764	12.21	639.3116	107.94297
3	0.002	7.778036	38.89018	16.18	847.08701	302.48922
4	0.003	9.1310236	45.655118	15.12	791.86763	416.87796
5	0.004	11.230787	56.1539342	17.29	905.51315	630.65287
6	0.005	12.336959	61.6847969	-21	1099.6432	761.00283
7	0.006	13.064147	65.3207351	24.52	1283.9629	853.35969
8	0.007	13.454562	67.2728117	21.79	1140.7425	905.12624
9	0.008	13.112463	65.5623164	-14.3	748.74992	859.68347
10	0.009	12.302763	61.5138139	14.53	760.7206	756.78986
11	0.01	11.724287	58.621433	20.01	1047.4672	687.29448
12	0.011	12.6634	63.3170021	23.69	1240.5128	801.80855
13	0.012	13.189391	65.9469546	21.02	1100.737	869.80016
14	0.013	12.929055	64.645275	13.32	697.58667	835.80232
15	0.014	12.174621	60.8731052	13.46	704.89887	741.10699
16	0.015	11.378877	56.8943837	19.39	1015.288	647.39418
17	0.016	12.398974	61.994871	23.29	1219.4933	768.67281
18	0.017	13.013097	65.0654833	20.75	1086.6532	846.70342
19	0.018	12.80765	64.0382505	13.26	694.27845	820.17951
20	0.019	12.09073	60.4536475	-13.5	706.73119	730.9287
21	0.02	11.37379	56.8689493	19.38	1014.5454	646.81548
22	0.021	12.402586	62.0129322	-23.3	1220.1644	769.12075
23	0.022	13.015487	65.0774355	20.83	1090.4918	847.01452

24	0.023	12.809318	64.0465882	-13.3	696.59538	820.39309
25	0.024	12.091919	60.4595969	13.54	708.79227	731.07257
26	0.025	11.381702	56.9085102	19.41	1016.5355	647.71571
27	0.026	12.408808	62.044042	23.31	1220.5573	769.89263
28	0.027	13.019635	65.0981734	20.77	1087.6907	847.55444
29	0.028	12.812175	64.0608757	13.28	695.52084	820.75916
30	0.029	12.093896	60.469482	13.52	708.06611	731.31165
31	0.03	11.38199	56.9099523	19.39	1015.3358	647.74853
32	0.031	12.408858	62.0442899	23.31	1220.6604	769.89878
33	0.032	13.01967	65.0983483	20.83	1090.7523	847.55899
34	0.033	12.812198	64.060991	-13.3	696.6461	820.76211
35	0.034	12.09391	60.4695515	13.54	708.73186	731.31333
36	0.035	11.381812	56.9090614	19.41	1016.5225	647.72825
37	0.036	12.408714	62.0435721	23.31	1220.542	769.88097
38	0.037	13.019572	65.0978624	20.77	1087.6727	847.54634
39	0.038	12.812132	64.0606591	13.28	695.49258	820.75361
40	0.039	12.093866	60.4693276	13.52	708.03362	731.30792
41	0.04	11.381802	56.9090114	19.39	1015.3191	647.72712
42	0.041	12.40871	62.0435512	23.31	1220.6496	769.88045
43	0.042	13.019571	65.0978557	20.83	1090.7455	847.54616
44	0.043	12.81213	64.0606517	-13.3	696.64396	820.75342
45	0.044	12.093863	60.4693169	13.54	708.73123	731.30766
46	0.045	11.381806	56.9090284	19.41	1016.5214	647.7275
47	0.046	12.408713	62.0435672	23.31	1220.5423	769.88085

48	0.047	13.019572	65.0978591	20.77	1087.6731	847.54625
49	0.048	12.812131	64.0606569	13.28	695.49432	820.75355
50	0.049	12.093865	60.4693262	13.52	708.03571	731.30788
51	0.05	11.381807	56.9090326	19.39	1015.3184	647.7276
52	0.051	12.408714	62.0435683	23.31	1220.6488	769.88087
53	0.052	13.019573	65.0978671	20.83	1090.7461	847.54646
54	0.053	12.812132	64.0606596	-13.3	696.6434	820.75362
55	0.054	12.093864	60.4693223	13.54	708.73119	731.30779
56	0.055	11.381806	56.9090297	19.41	1016.5234	647.72753
57	0.056	12.408714	62.0435677	23.31	1220.5434	769.88086
58	0.057	13.019572	65.0978594	20.77	1087.6725	847.54626
59	0.058	12.812131	64.0606571	13.28	695.49361	820.75356
60	0.059	12.093865	60.4693264	13.52	708.03449	731.30789

Data Material NO 12 Pada 1000 RPM

	Time(s)	Current(A)	Voltage(V)	Torsi	Pin	Pout
1	0	0	0	0.97883	102.50260 1	0
2	0.0005	5.11024041	25.5512020 5	- 12.9652	1357.7083 7	130.57278 5
3	0.001	9.2855262	46.427636	- 18.4968	1936.9761 7	431.10499 1
4	0.0015	11.9363528 4	59.6817641 8	- 18.6331	1951.2576 8	712.38259 5
5	0.002	14.0326147 1	70.1630735 5	- 22.6484	2371.7315 3	984.57137 8
6	0.0025	16.8442081 7	84.2210408 3	- 28.3012	2963.6958 7	1418.6367 4
7	0.003	18.9969322 2	94.9846610 9	- 33.2991	3487.0712 6	1804.4171 7
8	0.0035	20.5010535 2	102.505267 6	- 30.9552	3241.6239 7	2101.4659 8
9	0.004	21.2368988 3	106.184494 2	- 21.8015	2283.0514 2	2255.0293 6
10	0.0045	21.2763719 3	106.381859 7	- 20.6649	2164.0184	2263.4200 1
11	0.005	20.6219256 7	103.109628 3	-25.528	2673.2852 7	2126.3190 9
12	0.0055	19.3238066 7	96.6190333 5	-32.02	3353.1291 1	1867.0475 2
13	0.006	20.4870668 8	102.435334 4	- 29.1454	3052.0972 3	2098.5995 5
14	0.0065	21.2159678	106.079839	- 18.3223	1918.7097 8	2250.5864 5
15	0.007	21.2400213 4	106.200106 7	- 16.2998	1706.9075 4	2255.6925 3
16	0.0075	20.5716813 9	102.858406 9	- 20.9496	2193.8336 2	2115.9703 8
17	0.008	19.2955407	96.4777035 2	- 27.2709	2855.8003 1	1861.5894 6
18	0.0085	18.9307530 1	94.6537650 4	- 26.8268	2809.2907 6	1791.8670 5
19	0.009	19.9341574 5	99.6707872 5	- 16.7539	1754.4643 1	1986.8531 7
20	0.0095	20.1709441	100.854720 5	- 15.2354	1595.4452 1	2034.3349 3
21	0.01	19.6805722 8	98.4028613 8	- 20.2693	2122.5941 3	1936.6246 3
22	0.0105	18.5564437 1	92.7822185 7	- 26.9238	2819.4542	1721.7080 2
23	0.011	18.6752520 7	93.3762603 7	- 26.8387	2810.5402 2	1743.8252

24	0.0115	19.7248269 7	98.6241348 3	- 17.1235	1793.1722 4	1945.3439 9
25	0.012	19.9997719 4	99.9988597 2	- 15.8319	1657.9140 8	1999.9543 9
26	0.0125	19.5412039 9	97.7060199 6	- 20.9818	2197.2089 1	1909.2932 7
27	0.013	18.4394706 4	92.1973532	- 27.6907	2899.7581 9	1700.0703 9
28	0.0135	19.0702231 1	95.3511155 7	- 27.5666	2886.7651 2	1818.3670 5
29	0.014	20.0518786	100.259393	- 17.8977	1874.2418 4	2010.3891 8
30	0.0145	20.2748034 1	101.374017 1	- 16.5887	1737.1599 8	2055.3382 7
31	0.015	19.7727293 3	98.8636466 3	- 21.6545	2267.6499 9	1954.8041 3
32	0.0155	18.6304139 9	93.1520699 6	- 28.3342	2967.1487 5	1735.4616 3
33	0.016	19.4250599 6	97.1252998 2	- -28.172	2950.1652 2	1886.6647 7
34	0.0165	20.3446103 8	101.723051 9	- 18.3181	1918.2658 5	2069.5158 6
35	0.017	20.5191872 4	102.595936 2	- 16.8998	1769.7426 8	2105.1852 3
36	0.0175	19.9767171	99.8835854 9	- -21.889	2292.2120 5	1995.3461 3
37	0.018	18.7994267 7	93.9971338 6	- 28.4717	2981.5534 5	1767.0922 3
38	0.0185	19.5167661 9	97.5838309 3	- 28.1799	2950.9929 1	1904.5208 1
39	0.019	20.4198593 8	102.099296 9	- -18.274	1913.6522	2084.8532 9
40	0.0195	20.5813029 6	102.906514 8	- -16.805	1759.8191 8	2117.9501 6
41	0.02	20.0278438 6	100.139219 3	- 21.7528	2277.9524 8	2005.5726 5
42	0.0205	18.8421560 5	94.2107802 6	- 28.3408	2967.8464 9	1775.1342 2
43	0.021	19.4487596 2	97.2437981 2	- 28.0956	2942.1593 8	1891.2712 5
44	0.0215	20.3635439	101.817719 5	- 18.1337	1898.9591 8	2073.3696
45	0.022	20.5338202 5	102.669101 2	- 16.6554	1744.145	2108.1888 7
46	0.0225	19.9877347 7	99.9386738 5	- 21.6247	2264.5353 1	1997.5477 1
47	0.023	18.8091618 6	94.0458093 2	- 28.1928	2952.3465 6	1768.9228 5
48	0.0235	19.3703895	96.8519477	- -27.907	2922.4150	1876.0599

		6	9		1	6
49	0.024	20.2988890 7	101.494445 3	- 18.0153	1886.5546 1	2060.2244 9
50	0.0245	20.4797903	102.398951 5	- 16.5645	1734.6279 5	2097.1090 5
51	0.025	19.9425823 8	99.7129118 8	- 21.5419	2255.8616 9	1988.5329 6
52	0.0255	18.7717761	93.8588804 8	- 28.1533	2948.2051 1	1761.8978 9
53	0.026	19.3430941 3	96.7154706 6	- 27.9422	2926.0991 5	1870.7764 5
54	0.0265	20.2764457 1	101.382228 5	-18.029	1887.9912 9	2055.6712 5
55	0.027	20.4611863 5	102.305931 7	- 16.5845	1736.7264 1	2093.3007 3
56	0.0275	19.9271896 6	99.6359483 1	- 21.5808	2259.9346 7	1985.4644 4
57	0.028	18.7589547 4	93.7947737 2	- 28.1698	2949.9353 9	1759.4919 2
58	0.0285	19.3534308 3	96.7671541 7	- 27.9044	2922.1407	1872.7764 3
59	0.029	20.2850267 3	101.425133 6	- 18.0397	1889.1139 7	2057.4115 5
60	0.0295	20.4684601 7	102.342300 8	- 16.6048	1738.8465	2094.7893 1

Data Material NO 12 Pada 2000 RPM

	Time(s)	Current(A)	Voltage(V)	Torsi	Pin	Pout
1	0	0	0	0.9788	205.0052	0
2	0.00025	5.3698667	26.8493333	13.387	2803.847	144.1773
3	0.0005	10.195253	50.9762663	19.895	4166.898	519.7159
4	0.00075	13.7628	68.8139987	20.938	4385.236	947.0733
5	0.001	16.388042	81.94021	-26.3	5508.248	1342.84
6	0.00125	20.221228	101.106139	33.708	7059.849	2044.49
7	0.0015	23.685369	118.426847	40.076	8393.551	2804.984
8	0.00175	26.407558	132.03779	38.429	8048.634	3486.796
9	0.002	28.410963	142.054813	29.002	6074.085	4035.914
10	0.00225	29.751047	148.755233	-27.38	5734.514	4425.624
11	0.0025	30.269943	151.349713	31.194	6533.304	4581.347
12	0.00275	29.897221	149.486107	35.767	7490.949	4469.219
13	0.003	28.571335	142.856675	33.075	6927.183	4081.606
14	0.00325	29.158395	145.791977	21.242	4448.889	4251.06
15	0.0035	30.372996	151.86498	17.031	3566.896	4612.594
16	0.00375	30.773369	153.866844	19.969	4182.212	4735.001
17	0.004	30.391458	151.957289	23.993	5025.145	4618.204
18	0.00425	29.129407	145.647034	21.066	4411.959	4242.612
19	0.0045	26.507909	132.539546	9.5224	1994.375	3513.346
20	0.00475	25.438239	127.191197	8.4576	1771.356	3235.52
21	0.005	26.240286	131.201428	12.604	2639.691	3442.763
22	0.00525	26.25895	131.294752	-	3705.797	3447.662

				17.694		
				-		
23	0.0055	25.418706	127.09353	16.311	3416.092	3230.553
				-		
24	0.00575	23.139022	115.695108	6.6445	1391.618	2677.072
				-		
25	0.006	21.892377	109.461887	6.7977	1423.717	2396.381
				-		
26	0.00625	23.003853	115.019263	12.134	2541.317	2645.886
				-		
27	0.0065	23.308559	116.542794	18.237	3819.483	2716.445
				-		
28	0.00675	22.731268	113.656339	17.908	3750.586	2583.553
				-		
29	0.007	20.686944	103.434719	9.7469	2041.384	2139.748
				-		
30	0.00725	21.537528	107.68764	8.9283	1869.946	2319.326
				-		
31	0.0075	22.690645	113.453224	14.535	3044.143	2574.327
				-		
32	0.00775	23.025258	115.12629	20.943	4386.295	2650.813
				-		
33	0.008	22.454707	112.273536	20.821	4360.816	2521.069
				-		
34	0.00825	20.74367	103.718351	12.264	2568.578	2151.499
				-		
35	0.0085	22.608935	113.044673	10.948	2292.992	2555.82
				-		
36	0.00875	23.67581	118.379051	16.314	3416.696	2802.72
				-		
37	0.009	23.924238	119.621191	22.487	4709.6	2861.846
				-		
38	0.00925	23.260887	116.304436	21.987	4604.866	2705.344
				-		
39	0.0095	21.568319	107.841595	12.897	2701.171	2325.962
				-		
40	0.00975	23.39409	116.970448	11.225	2351.003	2736.417
				-		
41	0.01	24.39199	121.959952	16.312	3416.481	2974.846
				-		
42	0.01025	24.576932	122.884661	22.276	4665.419	3020.128
				-		
43	0.0105	23.856026	119.280129	21.587	4521.215	2845.55
				-		
44	0.01075	21.814262	109.071312	12.627	2644.565	2379.31
				-		
45	0.011	23.483342	117.416711	-	2264.435	2757.337

				10.812		
				-		
46	0.01125	24.471148	122.355739	15.848	3319.159	2994.185
				-		
47	0.0115	24.648834	123.244172	21.727	4550.432	3037.825
				-		
48	0.01175	23.925491	119.627454	20.946	4386.994	2862.146
				-		
49	0.012	21.769213	108.846066	12.165	2547.782	2369.493
				-		
50	0.01225	23.270211	116.351057	10.383	2174.671	2707.514
				-		
51	0.0125	24.275109	121.375544	15.457	3237.387	2946.405
				-		
52	0.01275	24.469965	122.349827	21.403	4482.643	2993.896
				-		
53	0.013	23.765236	118.826179	20.745	4344.855	2823.932
				-		
54	0.01325	21.623825	108.119127	12.005	2514.33	2337.949
				-		
55	0.0135	23.0957	115.478499	-10.29	2155.061	2667.057
				-		
56	0.01375	24.115717	120.578583	15.431	3231.886	2907.839
				-		
57	0.014	24.324669	121.623343	-21.4	4482.085	2958.448
				-		
58	0.01425	23.633112	118.165561	20.738	4343.325	2792.62
				-		
59	0.0145	21.503262	107.516308	12.111	2536.477	2311.951
				-		
60	0.01475	23.085376	115.426882	10.441	2186.717	2664.673

Data Material Arnon 5 Pada 1000 RPM

	Time(s)	Voltage(V)	Current(A)	Torsi	Pin(W)	Pout(W)
1	0	0	0	0.4278	44.7956209	0
2	0.0005	26.347538	5.26950753	-12.31	1289.13142	138.8385
3	0.001	46.490948	9.29818965	17.989	1883.84797	432.2817
4	0.0015	59.363965	11.872793	18.654	1953.42664	704.8161
5	0.002	76.969627	15.3939253	-23.75	2487.13684	1184.865
6	0.0025	87.398752	17.4797503	28.083	2940.82238	1527.708
7	0.003	95.694582	19.1389163	31.264	3273.9411	1831.491
8	0.0035	101.46852	20.2937033	29.189	3056.63638	2059.172
9	0.004	105.15893	21.0317851	21.311	2231.71118	2211.68
10	0.0045	106.35653	21.2713065	21.264	2226.76495	2262.342
11	0.005	103.62248	20.7244953	25.429	2662.88953	2147.524
12	0.0055	96.143186	19.2286371	30.258	3168.61947	1848.702
13	0.006	101.03434	20.2068685	27.195	2847.87687	2041.588
14	0.0065	104.71213	20.9424261	17.655	1848.77555	2192.926
15	0.007	105.66904	21.1338086	16.639	1742.42806	2233.189
16	0.0075	103.04526	20.6090528	20.844	2182.78679	2123.665
17	0.008	95.910754	19.1821507	25.804	2702.23666	1839.775
18	0.0085	94.527067	18.9054134	25.638	2684.8343	1787.073
19	0.009	99.44299	19.888598	16.763	1755.46601	1977.782
20	0.0095	101.28054	20.2561076	16.248	1701.49166	2051.549
21	0.01	99.406987	19.8813975	20.824	2180.70154	1976.35
22	0.0105	92.888908	18.5777816	26.079	2731.03584	1725.67
23	0.011	94.969522	18.9939044	26.144	2737.80021	1803.842
24	0.0115	99.819846	19.9639692	17.568	1839.68862	1992.8

25	0.012	101.65568	20.3311354	17.227	1803.97088	2066.775
26	0.0125	99.728749	19.9457498	21.801	2282.96109	1989.165
27	0.013	93.099731	18.6199462	27.008	2828.3035	1733.512
28	0.0135	97.578767	19.5157534	27.029	2830.4756	1904.323
29	0.014	101.94644	20.3892883	-18.42	1928.90975	2078.615
30	0.0145	103.47048	20.6940957	18.015	1886.56993	2141.228
31	0.015	101.2355	20.2470995	22.434	2349.24138	2049.725
32	0.0155	94.313733	18.8627466	27.523	2882.19845	1779.016
33	0.016	98.87578	19.7751561	27.313	2860.22038	1955.284
34	0.0165	102.99547	20.599095	18.544	1941.95572	2121.614
35	0.017	104.33956	20.8679114	18.026	1887.72368	2177.349
36	0.0175	101.95466	20.3909317	22.376	2343.25202	2078.95
37	0.018	94.915247	18.9830493	27.401	2869.39673	1801.781
38	0.0185	98.872845	19.7745689	27.272	2855.91994	1955.168
39	0.019	102.9913	20.5982597	18.473	1934.5276	2121.442
40	0.0195	104.33011	20.8660212	17.935	1878.11198	2176.954
41	0.02	101.94644	20.3892873	22.276	2332.72581	2078.615
42	0.0205	94.913698	18.9827397	27.312	2860.13414	1801.722
43	0.021	98.626751	19.7253502	-27.19	2847.2989	1945.447
44	0.0215	102.79077	20.5581535	-18.39	1925.77513	2113.188
45	0.022	104.15866	20.8317317	17.857	1870.01193	2169.805
46	0.0225	101.80414	20.3608285	22.221	2326.96291	2072.817
47	0.023	94.799347	18.9598694	-27.26	2854.61223	1797.383
48	0.0235	98.464205	19.692841	27.143	2842.39098	1939.04
49	0.024	102.65897	20.5317935	18.358	1922.40576	2107.773
50	0.0245	104.04807	20.8096139	17.834	1867.52745	2165.2

51	0.025	101.71253	20.3425065	-	22.198	2324.59027	2069.088
52	0.0255	94.72394	18.9447881	-	27.254	2854.04792	1794.525
53	0.026	98.443419	19.6886839	-	27.148	2842.88172	1938.221
54	0.0265	102.64243	20.5284858	-	18.368	1923.45104	2107.094
55	0.027	104.03531	20.8070611	-	-17.85	1869.24987	2164.669
56	0.0275	101.70204	20.340407	-	22.224	2327.33007	2068.661
57	0.028	94.714312	18.9428623	-	27.271	2855.80848	1794.16
58	0.0285	98.48723	19.697446	-	27.161	2844.25333	1939.947
59	0.029	102.6782	20.5356395	-	18.384	1925.16028	2108.562
60	0.0295	104.06608	20.8132155	-	17.865	1870.77729	2165.95

Data Material Arnon 5 Pada 2000 RPM

	Time(s)	Voltage(V)	Current(A)	Torsi	Pin(W)	Pout(W)
1	0	0	0	0.427767	89.591242	0
2	0.00025	27.779282	5.55585644	12.75268	2670.9147	154.3377
3	0.0005	51.37046	10.274092	19.39784	4062.6743	527.7848
4	0.00075	69.663199	13.9326397	21.10088	4419.3578	970.5922
5	0.001	84.953512	16.9907025	27.55514	5771.1343	1443.42
6	0.00125	104.74658	20.9493168	-33.3211	6978.7551	2194.369
7	0.0015	119.69382	23.9387644	37.41835	7836.8801	2865.322
8	0.00175	131.31723	26.2634463	35.98261	7536.1792	3448.843
9	0.002	141.03101	28.206202	28.24439	5915.4912	3977.949
10	0.00225	149.01737	29.8034742	27.98847	5861.8908	4441.235
11	0.0025	152.14471	30.4289429	-30.5477	6397.8963	4629.603
12	0.00275	149.10229	29.8204579	32.90697	6892.0187	4446.299
13	0.003	141.24629	28.2492586	-30.5549	6399.4027	3990.103
14	0.00325	143.86083	28.7721658	20.60739	4316.0018	4139.188
15	0.0035	150.62589	30.1251781	17.67025	3700.8486	4537.632
16	0.00375	153.54441	30.7088819	20.11555	4212.9917	4715.177
17	0.004	151.06682	30.2133636	22.57146	4727.3553	4564.237
18	0.00425	143.82339	28.7646788	19.91004	4169.9496	4137.034
19	0.0045	130.3937	26.0787402	9.729968	2037.8398	3400.503
20	0.00475	128.0276	25.6055195	9.691338	2029.7491	3278.213
21	0.005	132.68427	26.5368546	13.35016	2796.0504	3521.023
22	0.00525	132.38401	26.4768012	17.25536	3613.9546	3505.105
23	0.0055	127.19708	25.4394156	15.94443	3339.3939	3235.819
24	0.00575	115.42239	23.0844777	7.163357	1500.2901	2664.466

25	0.006	112.34449	22.4688989	8.164484	1709.9655	2524.257
26	0.00625	118.37502	23.6750043	12.93748	2709.6192	2802.529
27	0.0065	119.37327	23.8746536	17.83019	3734.3454	2849.995
28	0.00675	115.3408	23.06816	17.48158	3661.3326	2660.7
29	0.007	104.56094	20.9121878	-9.96958	2088.0239	2186.598
30	0.00725	110.04248	22.0084951	9.517359	1993.3111	2421.869
31	0.0075	116.35123	23.2702461	14.57781	3053.1703	2707.522
32	0.00775	117.47008	23.4940169	19.64836	4115.1436	2759.844
33	0.008	113.49986	22.6999717	19.46137	4075.9804	2576.444
34	0.00825	104.21127	20.8422549	11.78063	2467.3284	2171.998
35	0.0085	113.89543	22.7790861	11.30615	2367.9551	2594.434
36	0.00875	119.93655	23.9873107	16.21347	3395.7404	2876.955
37	0.009	120.66911	24.1338212	21.04295	4407.2253	2912.207
38	0.00925	116.31746	23.2634927	20.62313	4319.2978	2705.95
39	0.0095	107.56162	21.5123246	12.45315	2608.1811	2313.901
40	0.00975	117.28859	23.4577187	11.69761	2449.941	2751.323
41	0.01	123.03411	24.6068216	16.35928	3426.2797	3027.478
42	0.01025	123.48267	24.6965336	20.98169	4394.3941	3049.594
43	0.0105	118.8781	23.7756191	20.35687	4263.5333	2826.4
44	0.01075	108.79802	21.7596041	12.27939	2571.7885	2367.402
45	0.011	117.90096	23.5801923	11.39267	2386.0744	2780.127
46	0.01125	123.57637	24.7152735	-15.9935	3349.6716	3054.224
47	0.0115	123.99218	24.7984369	20.56471	4307.063	3074.812
48	0.01175	119.36808	23.8736161	19.89542	4166.8866	2849.748
49	0.012	108.47862	21.6957241	-12.0057	2514.469	2353.522
50	0.01225	117.25835	23.4516694	11.12683	2330.3974	2749.904

51	0.0125	122.98114	24.5962288	15.74991	3298.6528	3024.872
52	0.01275	123.45994	24.6919878	20.37014	4266.3119	3048.471
53	0.013	118.89682	23.7793635	19.74404	4135.1826	2827.291
54	0.01325	107.97258	21.5945162	11.91596	2495.6737	2331.616
55	0.0135	116.76503	23.3530055	11.08339	2321.2996	2726.814
56	0.01375	122.53123	24.506246	15.75032	3298.7386	3002.78
57	0.014	123.05087	24.6101747	20.39231	4270.9553	3028.303
58	0.01425	118.52384	23.704767	19.79203	4145.232	2809.58
59	0.0145	107.80889	21.5617776	11.94916	2502.6272	2324.551
60	0.01475	116.69812	23.3396235	11.13161	2331.3981	2723.69

LAMPIRAN B HASIL NILAI KELUARAN

Hasil Nilai Arus

Material Arnon 5

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	12,28 A	20,08 A	21,38 A	23,58 A
10 ohm	7,22 A	12,73 A	16,01 A	19,89 A
25 ohm	3,26 A	6,16 A	8,88 A	11,32 A
50 ohm	1,71 A	3,3 A	4,79 A	6,28 A
100 ohm	0,86 A	1,73 A	2,55 A	3,35 A

Material NO 12

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	12,33 A	19,79 A	22,38 A	23,43 A
10 ohm	7,23 A	12,81 A	17,03 A	19,58 A
25 ohm	3,25 A	6,20 A	8,88 A	11,13 A
50 ohm	1,69 A	3,31 A	4,81 A	6,20 A
100 ohm	0,88 A	1,72 A	2,55 A	3,33 A

Material M 15A

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	12,34 A	19,77 A	22,37 A	23,42 A
10 ohm	7,22 A	12,81 A	17,03 A	19,56 A
25 ohm	3,25 A	6,20 A	8,89 A	11,13 A
50 ohm	1,89 A	3,30 A	4,81 A	6,20 A
100 ohm	12,34 A	19,7 A	22,37 A	23,42 A

Hasil Nilai Tegangan

Material Arnon 5

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	61,44 V	10,34 V	111,54 V	117,23 V
10 ohm	72,22 V	127,87 V	170,23 V	198,27 V
25 ohm	80,91 V	154,6 V	220,21 V	283,76 V
50 ohm	85,89 V	165,13 V	240,87 V	314,9 V
100 ohm	86,52 V	189,39 V	254,63 V	335,66 V

Material NO 12

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	61,66 V	99,23 V	111,91 V	117,88 V
10 ohm	72,3 V	128,56 V	170,37 V	196,53 V
25 ohm	81,3 V	155,99 V	222,21 V	278,9 V
50 ohm	84,93 V	165,76 V	240,87 V	320,94 V
100 ohm	88,24 V	172,98 V	255,63 V	333,42 V

Material M 15A

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	61,73 V	98,89 V	112,87 V	117,14 V
10 ohm	72,39 V	128,12 V	172,36 V	195,65 V
25 ohm	81,3 V	155,12 V	223,41 V	278,65 V
50 ohm	84,9 V	165,19 V	242,98 V	310,29 V
100 ohm	85,06 V	171,83 V	257,61 V	333,34 V

Hasil Nilai Torsi

Material Arnon 5

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	17,36 Nm	22,53 Nm	19,34 Nm	15,79 Nm
10 ohm	11,44 Nm	17,77 Nm	21,44 Nm	21,26 Nm
25 ohm	6,04 Nm	10,3 Nm	14,82 Nm	17,2 Nm
50 ohm	3,55 Nm	6,28 Nm	9,19 Nm	10,64 Nm
100 ohm	2,06 Nm	3,65 Nm	5,74 Nm	6,52 Nm

Material NO 12

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	18,07 Nm	22,45 Nm	19,34 Nm	16,20 Nm
10 ohm	12,22 Nm	18,54 Nm	21,44 Nm	21,29 Nm
25 ohm	6,58 Nm	11,03 Nm	14,82 Nm	17,31 Nm
50 ohm	4,11 Nm	6,82 Nm	9,19 Nm	11,20 Nm
100 ohm	2,67 Nm	4,26 Nm	5,74 Nm	7,08 Nm

Material M 15 A

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	18,10 Nm	22,42 Nm	19,33 Nm	16,26 Nm
10 ohm	12,24 Nm	18,60 Nm	22,44 Nm	21,29 Nm
25 ohm	6,59 Nm	11,04 Nm	15,85 Nm	17,27 Nm
50 ohm	4,12 Nm	6,82 Nm	10,20 Nm	11,21 Nm
100 ohm	4,11 Nm	4,26 Nm	5,74 Nm	7,06 Nm

Hasil Nilai Daya Input

Material Arnon 5

Beban RPM	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	909.22 W	2359.84 W	3028.71 W	3308.76 W
10 ohm	599.39 W	1861.61 W	3356.52 W	4454.70 W
25 ohm	316.61 W	1078.69 W	2309.21 W	3603.22 W
50 ohm	185.90 W	658.27 W	1423.03 W	2230.32 W
100 ohm	148.32 W	382.94 W	892.42 W	1366.51 W

Material NO 12

Beban RPM	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	946.60 W	2350.98 W	3038.71 W	3393.14 W
10 ohm	640.76 W	1941.23 W	3368.53 W	4457.94 W
25 ohm	345.01 W	1153.33 W	2329.21 W	3624.70 W
50 ohm	215.20 W	714.62 W	1444.03 W	2345.98 W
100 ohm	158.63 W	446.55 W	902.42 W	1483.63 W

Material M 15 A

Beban RPM	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	947,8 W	2347,93 W	3039.84 W	3405,85 W
10 ohm	641,19 W	1948,69 W	3370.4 W	4438,89 W
25 ohm	345,18 W	1156,12 W	2335.63 W	3618,26 W
50 ohm	215,90 W	714,75 W	1448.15 W	2349,11 W
100 ohm	215,37 W	446,97 W	905.65 W	1480,03 W

Hasil Nilai Daya Output

Material Arnon 5

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	756.08	2019.84	2404.55	2787.68
10 ohm	522.78	1624.47	2878.53	3961.05
25 ohm	263.49	952.43	1960.39	3210.35
50 ohm	148.12	550.06	1153.67	1979.44
100 ohm	75.45	301.91	645.41	1127.94

Material NO 12

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	762.29	1961.09	2508.55	2750.34
10 ohm	523.91	1645.04	2908.51	3887.48
25 ohm	264.97	963.89	1980.32	3624.70
50 ohm	144.76	547.62	1163.67	1926.32
100 ohm	78.30	296.50	655.41	1112.11

Material M 15 A

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	764.10	1958.18	2508.81 W	2749.85
10 ohm	525.29	1645.85	2910.19 W	3831.95
25 ohm	264.97	963.95	1985.97 W	3102.84
50 ohm	145.21	547.07	1166.72 W	1928.99
100 ohm	144.65	297.33	657.25 W	1114.05

Hasil Nilai Efisiensi

Material Arnon 5

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	83%	85 %	83%	84%
10 ohm	87%	87%	85%	88%
25 ohm	83%	88%	82%	89%
50 ohm	79%	83%	80%	88%
100 ohm	50%	78%	74%	82%

Material NO 12

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	80%	83%	82%	81%
10 ohm	81%	85%	86%	86%
25 ohm	76%	83%	85%	86%
50 ohm	67%	77%	80%	82%
100 ohm	49%	66%	72%	75%

Material M 15A

Beban	RPM			
	500 RPM	1000 RPM	1500 RPM	2000 RPM
5 ohm	80%	83%	82 %	80%
10 ohm	81%	84%	86 %	86%
25 ohm	76%	83%	85%	85%
50 ohm	67%	76%	80%	82%
100 ohm	67%	66%	72%	75%