

**RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMA GENERATOR
MAGNET PERMANEN FLUKS AKSIAL AC SATU FASA**



RHEO LORIDHO PRATAMA

5115134267

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2017**

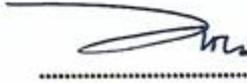
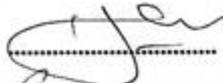
HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMA GENERATOR MAGNET

PERMANEN FLUKS AKSIAL AC SATU FASA

RHEO LORIDHO PRATAMA / 5115134267

PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Prof. Dr. Suyitno, M.Pd (Ketua Penguji)		<u>05/07-17</u>
Massus Subekti, S.Pd, M.T (Sekretaris)		<u>13-07-2017</u>
Imam Arif, S.Pd, M.T (Dosen Ahli)		<u>05/07-17</u>
Drs. Purwanto G, M.T (Dosen Pembimbing I)		<u>17.07.2017</u>
Prof. Perdamean S, M.Sc. (Dosen Pembimbing II)		<u>17-07-2017</u>

Tanggal Lulus : 15 Juni 2017

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebut nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Juli 2017

Penyusun



Rheo Loridho P.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT. tuhan yang maha kuasa serta maha penyayang. Berkat nikmat dan rahmat-Nya skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Dan Uji Performa Generator Magnet Permanen Fluks Aksial AC Satu Fasa” telah selesai disusun. Tidak lupa penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Massus Subekti, S.Pd., M.T selaku Kepala Program Pendidikan Teknik Elektro
2. Drs. Purwanto Gendroyono, M.T selaku Dosen Pembimbing I
3. Prof. Perdamean Sebayang, M.sc. selaku Dosen Pembimbing II
4. Syufrijal, MT. sebagai Penasehat Akademik
5. Seluruh Dosen-Dosen Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta
6. Bapak Drs. Usep Gunawan, M.T dan Ibu Suhati, S.Pd. selaku orang tua penulis yang selalu memberikan semangat baik moral maupun materil.
7. Kawan-kawan seperjuangan Pendidikan Teknik Elektro Angkatan 2013
8. Segala pihak yang tidak dapat disebutkan satu-satu yang membantu penyusunan skripsi ini Atas kerjasama serta bantuannya sampai akhirnya skripsi ini dapat selesai. Kritik dan saran sangat diterima untuk membantu membangun skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Semoga skripsi ini dapat berguna baik untuk civitas akademika maupun masyarakat umum.

Jakarta, Juli 2017

Penyusun,

Rheo Lorida P.

ABSTRAK

Rheo Loridho Pratama. RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMA GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUKS AKSIAL AC SATU FASA. Drs. Purwanto Gendroyono, MT, Prof. Perdamean Sebayang, M.Sc

Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuat rancang bangun dan menguji kemampuan generator magnet permanen fluks aksial satu fasa dengan jumlah 8 buah magnet permanen pada kecepatan putar maksimal 500 rpm.

Penelitian ini menggunakan metode riset dan pengembangan. Subyek penelitian yang digunakan yaitu generator magnet permanen fluks aksial. Teknik analisis data yang digunakan yaitu analisis deskriptif dengan teknik pengumpulan data yaitu observasi laboratorium menggunakan instrumen pengujian.

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu terlihat bahwa pada celah udara 1 mm generator tidak dapat berputar dan tegangan tertinggi didapat saat celah udara 3 mm pada kecepatan 500 rpm. Namun, pada jarak celah udara 3 mm sering terjadi gesekan antara rotor dan stator yang diakibatkan kurangnya kestabilan saat generator diputar. Sehingga jarak celah udara yang optimal adalah saat 5 mm. Kurang dari 5 mm, generator bekerja kurang baik, namun jika lebih dari 5 mm maka tegangan dan daya yang dihasilkan masih jauh dari yang diharapkan.

Kata kunci : Generator Fluks Aksial, Magnet Permanen, Celah Udara.

ABSTRACT

Rheo Loridho Pratama. BUILDING DESIGN AND PERFORMANCE TEST OF PERMANENT MAGNETIC GENERATOR AC SINGLE PHASE.

Drs. Purwanto Gendroyono, M.T, Prof. Perdamean Sebayang, M.Sc

The purpose of this research is to design and build the capability of permanent magnetic generator of single phase axial flux with number of 8 permanent magnets at maximum rotation speed 500 rpm.

This research uses research and development method. The research subjects used are permanent magnetic generator of axial flux. Data analysis technique used is descriptive analysis with data collection technique that is laboratory observation using test instrument.

The conclusion of this research is that in the air gap of 1 mm the generator can not rotate and the highest voltage is obtained when the air gap is 3 mm at 500 rpm. However, at a distance of 3 mm air gap often occurs friction between the rotor and stator caused by the lack of stability when the generator is rotated. So the optimal air gap distance is 5 mm. Less than 5 mm, the generator works less well, but if more than 5 mm then the voltage and power produced is still far from expected.

Keywords : Axial Flux Generator, Permanent Magnet, Air Gap.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Perumusan Masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian.....	5
1.6. Kegunaan Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN TEORITIK.....	6
2.1. Konsep Pengembangan Model.....	6
2.1.1. Generator Magnet Permanen.....	6
2.1.1.1. Generator Magnet Permanen Fluks Aksial.....	8
2.1.1.2. Konstruksi Rotor dan Stator	9
2.1.1.3. Jenis Generator Berdasarkan Kutub Magnet Pada Rotor	11
2.1.1.4. Penempatan Magnet	12
2.1.2. Magnet Secara Umum	14
2.1.2.1. Magnet Permanen NdFeB	19
2.1.3. Daya Listrik.....	23
2.1.3.1. Daya Aktif (P)	24
2.1.3.2. Daya Reaktif (Q)	25
2.1.3.3. Daya Semu (S).....	26
2.1.3.4. Segitiga Daya	26

2.2.	Konsep Model Yang Dikembangkan	27
2.3.	Kerangka Konseptual	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		30
3.1.	Tempat, Waktu dan Tujuan Penelitian	30
3.2.	Metode Penelitian	30
3.2.1.	Kondisi Saat Tanpa Beban	31
3.2.2.	Kondisi Saat Diberi Beban	31
3.3	Desain Permodelan	32
3.3.1	Generator Magnet Permanen	32
3.3.2.	Perencanaan Rotor	32
3.3.2.1.	Menentukan Jumlah Kutub Magnet	32
3.3.2.2.	Menentukan Jenis Magnet	33
3.3.2.3.	Menentukan Luasan Area Magnet	33
3.3.2.4.	Menentukan Densitas Fluks Maksimum	34
3.3.2.5.	Menentukan Kerapatan Fluks Magnetik	35
3.3.3.	Perancangan Stator	37
3.3.3.	Menentukan Jumlah Kumbaran	38
3.3.3.	Menentukan Jumlah Lilitan	38
3.3.3.	Menentukan Diameter Kawat	39
3.3.4.	Celah Udara	40
3.3.5.	Daya Keluaran	41
3.4.	Rancangan Model Penelitian	41
3.5.	Perlakuan Penelitian	44
3.5.1.	Tahap Pengujian Saat Tanpa Beban	44
3.5.2.	Tahap Pengujian Saat Diberi Beban	45
3.5.3.	Tahap Perbandingan	46
3.6.	Instrumen Penelitian	46
3.6.1.	Instrumen Bahan Penelitian dan Pengukuran	46
3.6.2.	Instrumen Pengujian	48
3.7.	Teknik Pengumpulan Data	51
3.8.	Teknik Analisis Data	51

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1. Hasil Pengembangan Produk.....	51
4.2. Kelayakan Produk	52
4.3. Efektifitas Produk (Melalui Uji Coba)	52
4.4. Pembahasan	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
5.1. Kesimpulan	90
5.2. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN.....	93
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	107

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik Magnet Permanen.....	19
Tabel 2.2 Sifat Fisis Magnet NdFeB.....	20
Tabel 2.3 Karakteristik Unsur NdFeB.....	21
Tabel 2.4 Karakteristik Unsur Besi.....	22
Tabel 2.5 Karakteristik Unsur Boron.....	23
Tabel 3.1 Spesifikasi rotor.....	37
Tabel 3.2 Spesifikasi stator.....	40
Tabel 3.3 Data Variasi Celah Udara.....	41
Tabel 3.4 Instrumen Bahan Penelitian.....	47
Tabel 3.5 Instrumen Pengukuran.....	48
Tabel 3.6 Instrumen Pengujian Tanpa Beban.....	49
Tabel 3.7 Instrumen Pengujian Berbeban.....	50
Tabel 4.1 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 1 mm.....	53
Tabel 4.2 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 3 mm.....	54
Tabel 4.3 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 5 mm.....	55
Tabel 4.4 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 7 mm.....	56
Tabel 4.5 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 9 mm.....	57
Tabel 4.6 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm.....	58
Tabel 4.7 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm.....	59
Tabel 4.8 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm.....	60
Tabel 4.9 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm.....	61
Tabel 4.10 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan	

Putar 500 rpm.....	62
Tabel 4. 11 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 1 mm.....	63
Tabel 4. 12 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 3 mm.....	64
Tabel 4. 13 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 5 mm.....	65
Tabel 4. 14 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 7 mm.....	66
Tabel 4. 15 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 9 mm.....	67
Tabel 4. 16 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm.....	68
Tabel 4. 17 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm.....	69
Tabel 4. 18 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm.....	70
Tabel 4. 19 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm.....	71
Tabel 4. 20 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm.....	72
Tabel 4. 21 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Putar 100 rpm.....	73
Tabel 4. 22 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Putar 200 rpm.....	74
Tabel 4. 23 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Putar 300 rpm.....	75
Tabel 4. 24 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Putar 400 rpm.....	76
Tabel 4. 25 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Putar 100 rpm.....	77
Tabel 4. 26. Hasil Pengujian Tanpa Beban	80

Tabel 4. 27. Hasil Pengujian Berbeban	82
Tabel 4. 28 Hasil Perbandingan Antara Perhitungan Dengan Pengukuran	85

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Arah Fluks Radial.....	7
Gambar 2.2 Arah Fluks Aksial.....	8
Gambar 2.3 Generator Satu Tingkat.....	10
Gambar 2.4 Generator Dua Tingkat.....	10
Gambar 2.5 Generator Banyak Tingkat	11
Gambar 2.6 (a) Magnet yang diletakkan dipermukaan (b) Magnet yang ditanam	13
Gambar 2.7 Membuat Magnet dengan cara digosok.....	15
Gambar 2.8 Membuat Magnet dengan Cara Induksi	16
Gambar 2.9 Membuat Magnet Dengan cara Elektromagnet.....	17
Gambar 2.10 Kurva Histerisis Magnet Lunak.....	18
Gambar 2.11 Kurva Histerisis Magnet Keras	18
Gambar 2.12 Segitiga Daya.....	26
Gambar 3.1 Desain rotor	36
Gambar 3.2 Desain stator	38
Gambar 3.3 Flowchart Penelitian.....	43
Gambar 3.4 Rangkaian pengujian generator	44
Gambar 3.5 Jarak celah udara	45
Gambar 4.1 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 1 mm	53
Gambar 4.2 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 3 mm	54
Gambar 4.3 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 5 mm	55
Gambar 4.4 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 7 mm	56
Gambar 4.5 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 9 mm	57
Gambar 4.6 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm	58

Gambar 4.7	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm	59
Gambar 4.8	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm	60
Gambar 4.9	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm	61
Gambar 4.10	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm.....	62
Gambar 4.11	Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 1 mm.....	64
Gambar 4.12	Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 3 mm.....	65
Gambar 4.13	Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 5 mm.....	66
Gambar 4.14	Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 7 mm.....	67
Gambar 4.15	Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 9 mm.....	68
Gambar 4.16	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm.....	69
Gambar 4.17	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm.....	70
Gambar 4.18	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm.....	71
Gambar 4.19	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm.....	72
Gambar 4.20	Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm.....	73
Gambar 4.21	Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm.....	74
Gambar 4.22	Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm.....	75

Gambar 4.23 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm	76
Gambar 4.24 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm	77
Gambar 4.25 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm	78
Gambar 4.26 Hasil Pengujian Tanpa Beban	81
Gambar 4.27 Hasil Pengujian Berbeban	83
Gambar 4.28 Hasil Penghitungan Daya	84
Gambar 4.29 Hasil Regulasi Tegangan.....	85
Gambar 4.30 Perbandingan Tegangan Pada 100 rpm.....	86
Gambar 4.31 Perbandingan Tegangan Pada 200 rpm.....	86
Gambar 4.32 Perbandingan Tegangan Pada 300 rpm.....	87
Gambar 4.33 Perbandingan Tegangan Pada 400 rpm.....	88
Gambar 4.34 Perbandingan Tegangan Pada 500 rpm.....	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di Indonesia, pengembangan pembangkit listrik masih secara umum seperti PLTA, PLTU dan PLTGU sehingga sangat dibutuhkan energi baru terbarukan dalam pembangkitan energi listrik. Pemanfaatan energi air dalam pembangkitan energi listrik telah banyak dilakukan baik dalam skala besar maupun dalam skala kecil.

Sementara untuk skala mikro, energi air dan energi angin adalah yang paling sering digunakan. Berbagai jenis kincir air dan angin telah dihasilkan dari berbagai penelitian terdahulu. Dalam sistem pembangkitan energi listriknya, kincir air dan kincir angin memerlukan generator untuk konversi menjadi energi listrik. Generator merupakan alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada dasarnya, prinsip kerja generator menggunakan Hukum Faraday, yaitu apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan menimbulkan gaya gerak listrik.

Generator merupakan faktor penting dalam energi baru terbarukan dalam menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendesain generator yang mampu bekerja dalam kecepatan putar rendah namun dapat menghasilkan energi listrik yang besar baik dalam kondisi tanpa beban maupun pada kondisi berbeban.

Di Indonesia, pemakaian magnet permanen sudah semakin banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi, sebagai contoh dalam pembangkit listrik tenaga angin. Sejalan dengan hal tersebut, dengan berkembangnya teknologi material magnet permanen yang semakin baik, maka dimensi dan jenis magnet menjadi pilihan utama. Salah satu hasil pengembangan generator dan magnet permanen adalah Generator Magnet Permanen. Generator magnet permanen terdiri dari dua jenis yaitu fluks aksial dan fluks radial. Generator magnet permanen fluks aksial adalah aplikasi dari mesin listrik magnet permanen yang dapat membangkitkan energi listrik dengan arah aliran fluks secara aksial yaitu arah aliran fluks secara tegak lurus. Berbeda dengan generator konvensional yang berjenis fluks radial, pada tipe aksial kerapatan daya keluaran dapat ditingkatkan dengan membuat konstruksi rotor lebih tipis, sedangkan pada tipe radial kerapatan daya keluarannya tetap. Selaian itu, penggunaan fluks radial dibutuhkan konstruksi generator menjadi lebih besar, dan akibatnya lebih berat sehingga untuk dibebepara pembangkit, fluks ini dianggap kurang efektif.

Generator Magnet Permanen Fluks Aksial merupakan salah satu tipe alternatif selain mesin silinder fluks radial. Generator jenis ini memiliki konstruksi yang kompak, berbentuk piringan, dan kerapatan daya yang besar. Penggunaan magnet permanen pada mesin listrik ini dapat menghasilkan medan magnet pada celah udara tanpa perlu eksitasi, dan tanpa disipasi daya listrik. Untuk generator magnet permanen digunakan sistem penguatan sendiri. Sistem penguatan ini digunakan pada generator tanpa sikat (brushless alternator).

Kelebihan penggunaan magnet permanen pada konstruksi mesin listrik ini adalah (Sharma Pawan, 2011) :

1. Tidak ada energi listrik yang diserap sistem medan eksitasi sehingga tidak ada kerugian eksitasi yang artinya dapat meningkatkan efisiensi.
2. Menghasilkan torsi yang lebih besar dari pada yang menggunakan eksitasi elektromagnet.
3. Menghasilkan performa dinamis yang lebih besar (kerapatan fluks magnet lebih besar pada celah udara) daripada yang menggunakan eksitasi.
4. Menyederhanakan konstruksi dan perawatan, mengurangi biaya pemeliharaan pada beberapa tipe generator.

Beberapa kajian telah dilakukan untuk mendapatkan desain geometris Generator Magnet Permanen Fluks Aksial yang terbaik, namun dengan variabel bebas yang berbeda. Karena dalam penelitian generator magnet permanen fluks aksial dapat menggunakan variabel yang berbeda, mulai dari dimensi magnet, jenis magnet, bentuk magnet, tipe rotor-stator, jumlah kutub magnet bahkan celah udara.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diidentifikasi masalah yang muncul yaitu :

1. Bagaimana membuat desain generator magnet permanen fluks aksial agar menghasilkan daya keluaran yang maksimum?
2. Bagaimana merancang desain generator yang dapat menghasilkan daya keluaran yang maksimum?
3. Bagaimana pengaruh putaran generator magnet permanen fluks aksial terhadap daya keluaran generator?

4. Bagaimana perbedaan tegangan keluaran generator saat kondisi tanpa beban dan saat diberi beban?
5. Bagaimana pengaruh jarak celah udara generator magnet permanen fluks aksial terhadap daya keluaran yang dihasilkan saat diberi beban?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, dapat dibatasi permasalahan yang akan dibahas yaitu:

1. Generator fluks aksial menggunakan magnet permanen jenis NdFeB.
2. Pada tiap rotor menggunakan 8 buah magnet permanen NdFeB.
3. Stator tidak memiliki inti besi dan terdiri dari 9 kumparan yang masing-masing terdiri atas 1150 lilitan.
4. Motor DC digunakan sebagai penggerak mula generator.
5. Pengujian generator dengan beban menggunakan beban lampu 30 Watt.
6. Putaran generator yang digunakan untuk pengujian adalah 100, 200, 300, 400, dan 500 Rpm.
7. Jarak celah udara yang diujikan adalah 1, 3, 5, 7 dan 9 mm.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah, dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas yaitu:

1. Berapa jarak celah udara yang optimal pada generator magnet permanen fluks aksial sehingga menghasilkan daya keluaran maksimum?
2. Berapa nilai regulasi tegangan yang dimiliki generator?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian ini yaitu :

1. Untuk membuat desain dan konstruksi generator fluks aksial berbasis magnet permanen NdFeB.
2. Untuk mengetahui hubungan antara kecepatan putar dan jarak celah udara dengan tegangan dan daya *output* generator fluks aksial.
3. Uji performa generator magnet permanen fluks aksial dengan optimasi jarak celah udara sehingga menghasilkan daya keluaran maksimum.

1.6. Kegunaan Penelitian

Dari segi keilmuan, hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi khususnya pada pengembangan ilmu di bidang kelistrikan yang berhubungan dengan generator magnet permanen fluks aksial.

BAB II

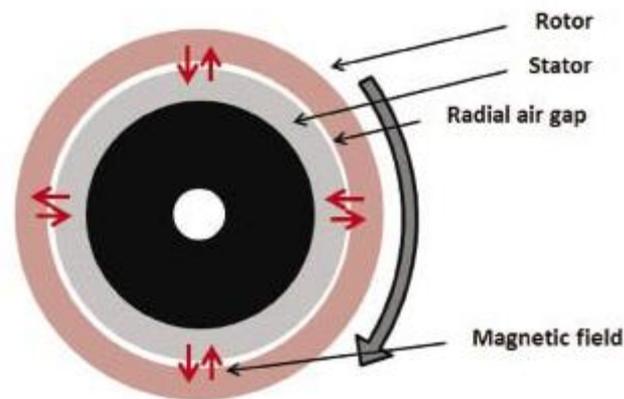
KAJIAN TEORITIK

2.1 . Konsep Pengembangan Model

2.1.1. Generator Magnet Permanen

Generator magnet permanen merupakan salah satu jenis generator yang banyak dikembangkan saat ini. Generator magnet permanen berbeda dengan generator konvensional, karena generator magnet permanen tidak membutuhkan arus DC sebagai pemicu medan eksitasinya karena medan eksitasi pada generator dihasilkan oleh magnet permanen, oleh karena itu fluks yang dihasilkan bukan berasal dari kumparan, sebagaimana generator konvensional.

Berdasarkan arah fluks nya, generator magnet permanen dibagi menjadi dua yaitu fluks aksial dan fluks radial. Dalam perkembangan generator magnet, fluks radial merupakan yang paling umum digunakan dalam pembangkit dan industri, namun kekurangan dari generator magnet fluks radial adalah konstruksinya yang besar sehingga membutuhkan biaya yang besar pula dalam membuat generator magnet fluks radial. Selain itu, arah fluks radial sifatnya menyebar maka cenderung membuang fluks lumayan besar sehingga menimbulkan rugi pada generator. GGL induksi yang dihasilkan oleh generator magnet fluks radial didapat dari fluks yang diarahkan memotong kumparan stator. Namun, fluks yang dihasilkan oleh rotor tidak semuanya dapat diterima oleh stator. Untuk lebih jelasnya, arah fluks radial generator dapat dilihat pada gambar 2.1.

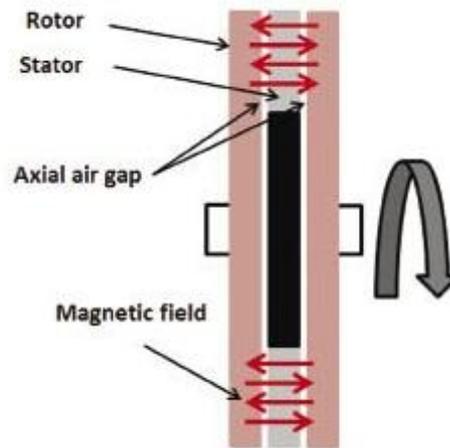


Gambar 2. 1 Arah Fluks Radial

(<https://ugmmagatrika.wordpress.com/2014/08/03/desain-axial-dan-radial-generator-permanent-magnet-bagian-i/>)

Saat ini, sedang banyak dikembangkan generator magnet permanen fluks aksial, karena fluks aksial lebih praktis konstruksinya dibanding dengan fluks radial, dan bisa dibuat dalam konstruksi yang kecil. Generator fluks aksial lebih efisien dalam pembangkitan fluks, sehingga tidak banyak fluks yang terbuang karena arah fluks aksial tidak menyebar dan tertuju pada satu titik. Generator magnet fluks aksial banyak diaplikasikan untuk pembangkit listrik tenaga angin atau pun air skala mikro. Untuk lebih jelas, arah fluks aksial generator dapat dilihat pada gambar 2.2.

Keunggulan generator magnet fluks aksial dibandingkan dengan fluks radial adalah pada variabel-variabel generatornya. Pada fluks aksial, dalam perencanaan desain generator variabel-variabelnya dapat diubah sesuai dengan kebutuhan penelitian, dan juga pada generator fluks aksial tidak memerlukan inti besi seperti pada generator magnet fluks radial.



Gambar 2. 2 Arah Fluks Aksial

(<https://ugmmagatrika.wordpress.com/2014/08/03/desain-axial-dan-radial-generator-permanent-magnet-bagian-i/>)

2.1.1.1. Generator Magnet Permanen Fluks Aksial

Generator magnet dengan arah fluks aksial merupakan generator yang mempunyai arah fluks yang sejajar dengan sumbu putar. Fluks yang dihasilkan merupakan hasil dari gaya tarik-menarik antar magnet permanen yang kutubnya berlawanan. Magnet permanen diletakkan pada permukaan rotor atau bisa juga dengan cara ditanam pada rotor, sementara kumparan atau lilitan kawat diletakkan pada bagian stator kemudian diantara rotor dan stator diberi jarak untuk celah udara. Umumnya, pada konstruksi generator magnet permanen fluks aksial diameter stator lebih besar dibanding dengan diameter rotor.

Untuk tegangan yang dibangkitkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan (2.1)

$$E = \frac{\frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120} \quad (2.1)$$

Dimana :

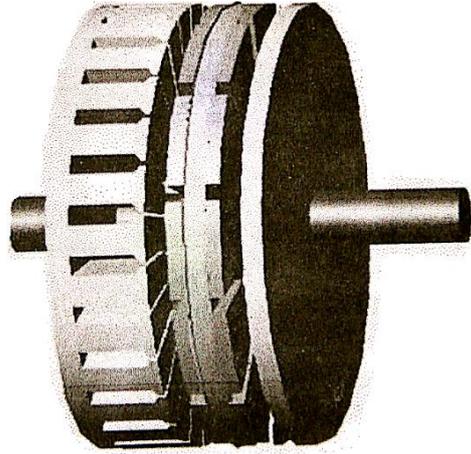
E	= Tegangan yang dihasilkan (Volt)
N	= Jumlah lilitan
p	= Jumlah kutub
Φ_{\max}	= Fluks maksimum (Wb)
n	= Kecepatan putar (rpm)

2.1.1.2. Konstruksi Rotor dan Stator

Berdasarkan konstruksi rotor dan stator, menurut Raja Tinjo (2010:7-8) generator magnet permanen dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Generator satu tingkat

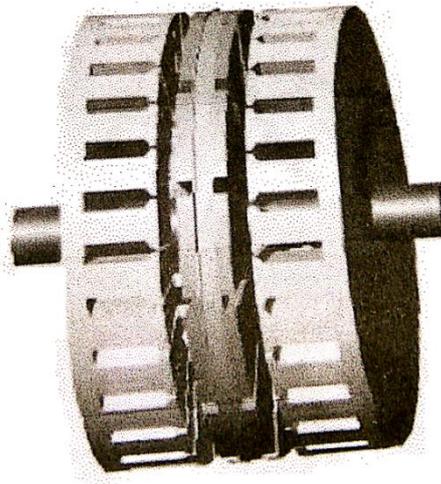
Generator magnet dengan tipe satu tingkat hanya terdiri dari satu rotor dan satu stator. Generator jenis ini bekerja pada putaran rendah dan bekerja pada lingkup torsi kecil, sehingga cocok untuk diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga air skala piko hidro atau mikro hidro. Gambar generator tipe satu tingkat dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Generator Satu Tingkat

2. Generator dua tingkat

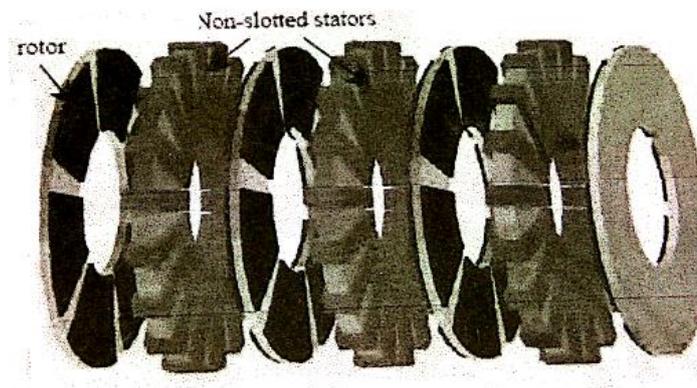
Sesuai dengan namanya, generator ini terdiri dari dua tingkat. Pengertian dua tingkat ini dapat divariasikan tergantung kebutuhan, dapat terdiri dari dua buah rotor dan satu stator atau dapat terdiri dari dua buah stator dan satu rotor. Generator dua tingkat memiliki torsi kerja yang lebih besar dari generator satu tingkat, sehingga dapat menghasilkan energi yang besar pula. Gambar generator dua tingkat dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Generator Dua Tingkat

3. Generator banyak tingkat

Generator banyak tingkat terdiri dari banyak rotor dan banyak generator, umumnya terdiri dari lebih dari tiga rotor dan tiga stator. Generator ini didesain untuk bekerja pada putaran tinggi dan lingkup kerja torsi yang besar. Gambar genertaor tingkat banyak dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Generator Banyak Tingkat

2.1.1.3. Jenis Generator Berdasarkan Kutub Magnet Pada Rotor

Berdasarkan kutub magnet, menurut Raja Tinjo (2010:9-10) generator dibedakan menjadi dua jenis yaitu jenis N-N dan jenis N-S.

1. Jenis N-N

Generator jenis ini memiliki polaritas magnet bagian atas dan bagian bawah sama. Fluks yang keluar dari magnet bagian atas selanjutnya bergerak menuju bagian bawah, namun karena ada kesamaan polaritas antara magnet bagian atas dan magnet bagian bawah generator maka arah gerak fluks berbelok sehingga tidak semua fluks yang dihasilkan dapat menembus stator.

Untuk memaksimalkan fluks yang dihasilkan, maka pada generator jenis ini ditambahkan inti besi pada stator agar fluks yang dihasilkan dapat secara maksimal oleh stator. Namun, kekurangan pada generator jenis ini adalah

konstruksinya yang tebal, hal ini disebabkan karena penggunaan inti besi pada stator. Karena telah menggunakan inti besi, jumlah lilitan pada generator jenis ini menjadi lebih sedikit.

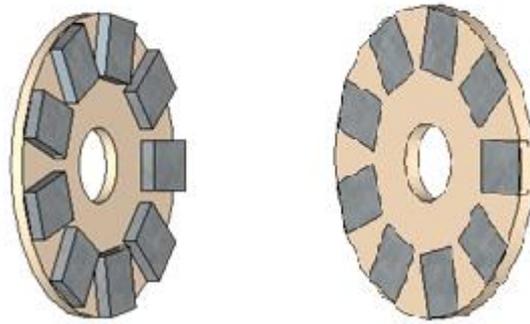
2. Jenis N-S

Generator jenis ini memiliki polaritas antara magnet bagian atas dan magnet bagian bawah berbeda. Fluks yang keluar dari magnet bagian atas langsung diarahkan menembus stator kemudian bergerak secara horizontal, hal ini diakibatkan oleh perbedaan polaritas magnet yang berada disebelahnya.

Karena pada generator jenis seluruh fluks yang dihasilkan dapat secara langsung dimanfaatkan oleh stator maka tidak perlu lagi menambahkan inti besi pada konstruksi statornya. Sehubungan generator jenis ini tidak memerlukan tambahan inti besi, maka konstruksinya menjadi lebih tipis dibandingkan dengan generator yang menggunakan magnet N-N, tapi jumlah lilitan pada generator ini menjadi lebih banyak.

2.1.1.4. Penempatan Magnet

Penempatan magnet permanen pada permukaan rotor dapat dilakukan dengan dua cara, cara yang pertama magnet diletakan pada permukaan rotor dan cara yang kedua magnet ditanam pada rotor. Untuk lebih jelas, cara penempatan magnet dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 (a) Magnet yang diletakkan dipermukaan (b) Magnet yang ditanam

Magnet yang diletakkan pada permukaan rotor dapat mengurangi ketebalan desain rotor sehingga rotor akan menjadi lebih tipis bila dibandingkan dengan penempatan magnet secara ditanam, dan juga dapat memperkecil torsi mekanik yang dihasilkan. Secara ekonomis, penempatan magnet dengan cara diletakkan pada permukaan rotor dapat menghemat biaya dalam pembuatan generator ketimbang harus menanam magnet didalam rotor. Namun, masing-masing cara penempatan magnet memiliki keunggulan satu sama lain. Salah satu keunggulan dari peletakkan magnet pada permukaan rotor adalah apabila generator dirancang untuk putaran tinggi, maka desain rotor seperti ini akan berfungsi sebagai pendingin karena bentuknya seperti kipas. Kemudian, keunggulan penempatan magnet secara ditanam secara otomatis akan memperkuat posisi magnet pada rotor, karena dengan cara ditanam magnet tidak dapat saling tarik-menarik yang dapat mengubah posisi magnet.

2.1.2 Magnet Secara Umum

Magnet sering didefinisikan sebagai objek atau benda yang mampu menarik benda lain yang memiliki unsur logam. Awal mula kata magnet berasal dari bahasa Yunani, yaitu *magnítis líthos* yang berarti batu [Magnesian](#).

Dinamakan batu Magnesian, karena Magnesia adalah tempat pertama kali ditemukannya magnet. Magnet selalu memiliki dua buah kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan meskipun magnet dipotong menjadi beberapa bagian tertentu.

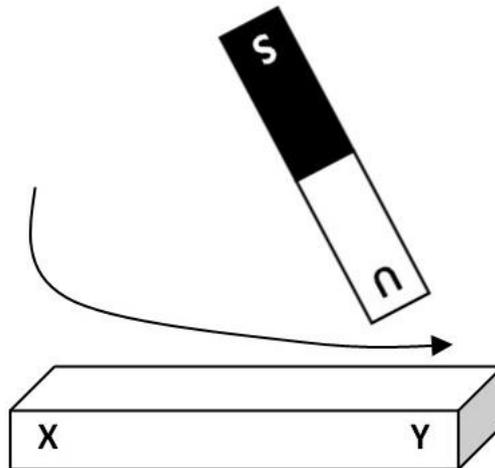
Magnet terkenal dapat menarik benda-benda disekitarnya, hal ini dikarenakan magnet memiliki medan magnet, selama sebuah benda berada pada medan magnet tertentu maka benda tersebut berada pada pengaruh magnet. Gaya tarik magnet terhadap benda lain dinamakan gaya magnetis, gaya ini bergantung pada sifat magnetik benda tersebut. Jika benda yang berada pada medan magnet memiliki sifat ferromagnetik maka benda tersebut dapat secara kuat ditarik oleh magnet dan juga benda yang memiliki sifat ferromagnetik dapat juga dijadikan sebagai magnet, contohnya adalah besi dan baja. Namun, jika benda yang berada pada medan magnet bersifat paramagnetik maka benda tersebut dapat tertarik oleh gaya magnet tapi dengan gaya tarik yang lemah, contohnya adalah aluminium dan tembaga. Akan sangat berbeda jika benda yang berada pada medan magnet memiliki sifat diamagnetik, jika benda ini berada pada medan magnet maka benda ini sama sekali tidak akan tertarik oleh gaya magnet, contohnya adalah emas dan timbal.

Di alam bebas sangat sulit menemui magnet alami dalam bentuk batu magnet, oleh karena itu dikembangkan beberapa cara untuk mengubah bahan ferromagnetik agar memiliki sifat magnet. Cara membuat magnet antara lain, yaitu:

1. Digosok

Cara ini merupakan cara yang paling mudah, yaitu hanya dengan menggosokkan batang besi ke bahan magnet dalam satu arah. Sehingga, kutub

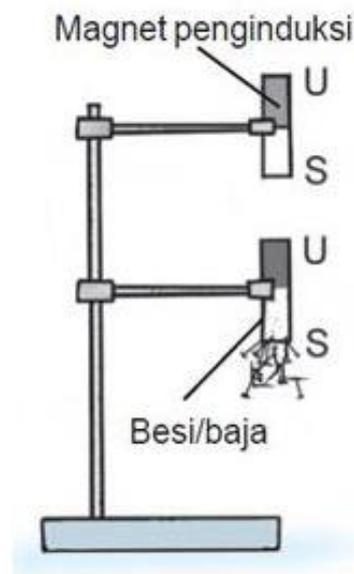
magnet yang dihasilkan pada batang besi akan berlawanan dengan kutub magnet yang dijadikan permukaan untuk digosok. Cara membuat magnet dengan digosok dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Membuat Magnet dengan cara digosok
(<http://fisikitaenal.blogspot.co.id/2015/07/membuat-magnet-cara-menggosok.html>)

2. Induksi magnetik

Membuat magnet secara induksi dapat dilakukan dengan mudah, yaitu tinggal mendekatkan batang logam yang akan dijadikan magnet dengan magnet batang. Cara membuat magnet secara induksi dapat dilihat pada gambar 2.8.

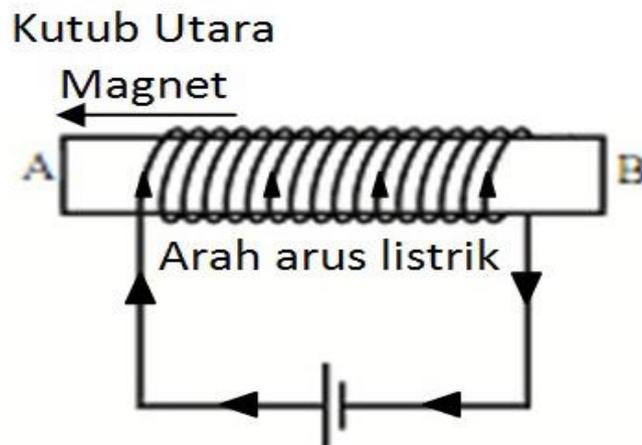


Gambar 2. 8 Membuat Magnet dengan Cara Induksi
 (<http://www.pakmono.com/2015/05/cara-membuat-magnet-secara-gosokkan-induksi-elektromagnetik.html>)

3. Elektromagnet

Cara ini dilakukan dengan menggunakan listrik arus searah (DC), batang logam yang akan dibuat menjadi magnet dililit dengan kawat yang kemudian akan dialiri arus listrik dalam selang waktu tertentu. Cara membuat magnet dengan elektromagnet dapat dilihat pada gambar 2.9.

Pembuatan magnet dengan cara digosok dan induksi magnetik cenderung hanya akan memberikan sifat kemagnetan yang sementara, untuk mendapatkan sifat kemagnetan yang permanen dapat menggunakan cara elektromagnetik. Sifat kemagnetan yang sementara dan permanen dipengaruhi oleh material yang menyusun magnet.

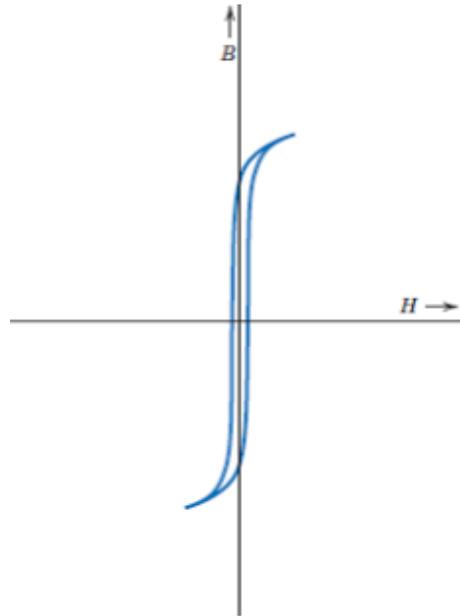


Gambar 2. 9 Membuat Magnet Dengan cara Elektromagnet
 (<http://fisikitaenal.blogspot.co.id/2015/07/membuat-magnet-dengan-cara-elektromagnet.html>)

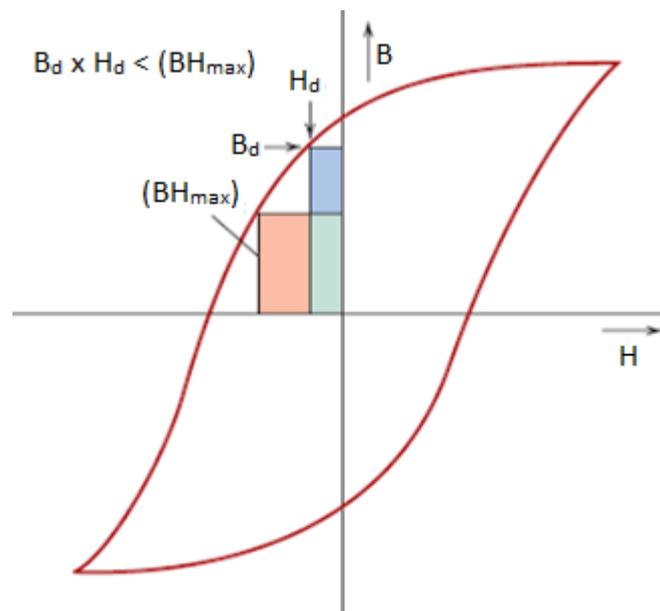
Untuk mengklasifikasikan jenis magnet, dapat dilihat melalui materialnya, yaitu magnet lunak dan magnet keras. Magnet lunak merupakan bahan yang dapat dengan mudah dijadikan magnet tapi juga dapat dengan mudah hilang sifat kemagnetannya. Bahan magnet lunak memiliki kurva histeresis yang berdekatan, gaya koersif yang rendah, permeabilitas tinggi, sehingga luas daerah di dalam kurva histeresis kecil. Kurva histeresis magnet lunak dapat dilihat pada gambar 2.10.

Sementara itu, magnet keras adalah kebalikan dari magnet lunak, bahan ini sangat sulit untuk dijadikan magnet, namun saat telah menjadi magnet maka bahan ini sangat sulit pula untuk dihilangkan sifat kemagnetannya. Bahan magnet keras memiliki gaya koersif yang tinggi, dan remanent Induksi Magnetik (B_r) yang tinggi.

Salah satu karakteristik bahan magnet keras yaitu adanya BH_{max} , yaitu energi yang diperlukan untuk menghilangkan kemagnetan magnet permanen. Kurva histeresis magnet keras dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 10 Kurva Histerisis Magnet Lunak
 (<http://wiryawangpblog.blogspot.co.id/2015/06/sifat-magnet-material.html>)



Gambar 2. 11 Kurva Histerisis Magnet Keras
 (<http://wiryawangpblog.blogspot.co.id/2015/06/sifat-magnet-material.html>)

2.1.2.1. Magnet Permanen NdFeB

Magnet permanen merupakan magnet yang sifat kemagnetannya tidak akan hilang dalam jangka waktu yang lama. Saat ini di Indonesia telah banyak dikembangkan teknologi dalam pembuatan magnet permanen, salah satu jenis magnet permanen yang dikembangkan adalah jenis Neodymium atau biasa disebut dengan magnet NdFeB. Selain magnet Neodymium, magnet permanen yang juga dikembangkan dalam penelitian adalah magnet Samarium-Cobalt, magnet keramik atau Barrium Hexaferrite dan juga magnet Alnico. Meskipun sama-sama jenis magnet permanen, namun memiliki karakteristik yang berbeda, untuk lebih jelas, karakteristik magnet permanen dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik Magnet Permanen

Material	Induksi Remanen / Br (Tesla)	Koersivitas / Hc (MA/m)	Energi Produk (BH _{max})
SrFerrite	0,43	0,20	34
Alnico	1,27	0,05	44
Sm ₂ CO ₁₇	1,05	1,30	208
Nd ₂ Fe ₁₄ B	1,36	1,03	350

Sumber: Lya Oktavia S, 2014:11

Dari tabel diatas terlihat bahwa energi produk atau Bhmax magnet Neodymium adalah yang terbesar, ini berarti ketika magnet Neodymium telah menjadi magnet maka akan sangat sulit untuk menghilangkan sifat kemagnetannya karena energi produk yang dimiliki oleh magnet Neodymium sangat besar.

Magnet NdFeB akan sangat meningkat sifat kemagnetannya jika berada pada suhu rendah, namun akan jauh berkurang ketika berada pada suhu tinggi. Temperatur kerja maksimal untuk magnet NdFeB adalah 200°C, jika temperatur kerja melebihi 200°C maka magnet akan rusak. Umumnya, magnet NdFeB yang

tebal akan sulit dimagnetisasi dibanding dengan magnet NdFeB yang tipis. Untuk lebih jelas, sifat fisis magnet NdFeB dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Sifat Fisis Magnet NdFeB

Remanensi (Br)	895 – 912 mT
Energi Produk (Bh_{\max})	126 – 134 KJ/cm ³
Koersivitas (Hc)	540
Temperatur Kerja Maksimum	200° C

Untuk mendapatkan magnet NdFeB tidak dapat secara alami, melainkan melalui proses pencampuran beberapa unsur. Unsur pepadu magnet NdFeB antara lain sebagai berikut:

1. Neodymium

Dalam tabel periodik, Neodymium memiliki simbol Nd dengan nomor atom 60. Neodymium pertama kali ditemukan pada tahun 1885 oleh seorang berkebangsaan Jerman bernama Carl Aurer Von Welsbach. Meskipun masuk kedalam kategori unsur rare-earth, namun jumlah Neodymium termasuk melimpah, hanya kalah jumlah dari unsur Cerium.

Bersadarkan tabel periodik, unsur Neodymium termasuk kedalam golongan laktanida, yaitu unsur-unsur yang terletak pada blok f. Unsur-unsur ini memiliki ciri khas berbeda dengan unsur lainnya, oleh karena itu ditempatkan terpisah dari unsur lainnya untuk menunjukkan bahwa keperiodikkan struktur elektroniknya berbeda dengan unsur lain. Anggota dari golongan laktanida antara lain adalah Cerium (Ce), Praseodymium (Pr), Neodymium (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Tyerbium(Yb), dan Lutetium

(Lu). Untuk informasi lebih jelas mengenai unsur Neodymium dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik Unsur NdFeB

Nama Unsur	Neodymium
Simbol	Nd
Nomor Atom	60
Massa Atom	144,24 gr/mol
Titik Didih	3400,15 K
Titik Lebur	1283,15 K
Struktur Kristal	Hexagonal
Warna	Perak
Konfigurasi Elektron	[Xe] 6s ² 4f ⁴

2. Besi

Dalam tabel periodik, Besi memiliki simbol Fe dengan nomor atom 26. Berdasarkan sejarahnya, Besi sudah digunakan oleh manusia sejak zaman purba, oleh sebab itu sampai saat ini belum diketahui secara pasti siapa penemu Besi pertama kali. Besi tidak secara alami terdapat di alam, karena secara alamiah Besi terbentuk dalam senyawa seperti pada mineral hematite, megnetit, pirit, siderite dan limonite.

Besi termasuk unsur yang paling mudah didapat karena jumlah unsur Besi yang melimpah di kulit bumi. Pemanfaatan Besi pada industri atau kehidupan sehari-hari pun tak jarang ditemukan, hal ini karena pengelolaan Besi relatif mudah dan murah, serta sifat unsur Besi yang mudah dimodifikasi. Namun, Besi pun memiliki kelemahan, yaitu terhadap oksigen dan air karena dapat memicu korosi. Korosi dapat menyebabkan kerusakan pada Besi dan mengurangi umur pakai Besi. Untuk mengantisipasi korosi pada Besi, dapat dengan cara melapisi Besi dengan cat, oli atau dilapisi dengan logam lain. Untuk informasi lebih jelas mengenai unsur Besi, dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Karakteristik Unsur Besi

Nama Unsur	Besi
Simbol	Fe
Nomor Atom	26
Massa Atom	55,845 gr/mol
Titik Didih	3143 K
Titik Lebur	1811 K
Struktur Kristal	BCC
Warna	Perak keabu-abuan
Konfigurasi Elektron	[Ar] 3d ⁶ 4s ²

3. Boron

Dalam tabel periodik, Boron memiliki simbol B dengan nomor atom 5. Berdasarkan sejarahnya, penemuan unsur Boron diprakarsai oleh tiga ilmuwan yang secara bersamaan melakukan penelitian. Pada tahun 1808, Gay Lusac dan Jacques Thenard melakukan penelitian di Paris, sementara Sir Humpry Davy juga melakukan penelitian yang sama di London. Mereka secara terpisah dan independen tanpa saling terikat melakukan penelitian dengan cara mengekstrak unsur Boron dengan cara memanaskan borax menggunakan kalium.

Boron termasuk unsur pada golongan 13 dari tabel periodik, selain Boron terdapat juga unsur lain yaitu aluminium (Al), galium (Ga), indium (In), talium (Tl), dan ununtrium (Uut). Secara kimiawi Boron memiliki sifat menyerupai logam dan non logam. Pada suhu rendah, Boron sangat buruk dalam menghantarkan listrik, namun ketika berada pada suhu tinggi, Boron adalah penghantar listrik yang sangat baik. Untuk informasi lebih jelas mengenai unsur Boron, dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Karakteristik Unsur Boron

Nama Unsur	Boron
Simbol	B
Nomor Atom	5
Massa Atom	10,811 gr/mol
Titik Didih	4200 K
Titik Lebur	2349 K
Struktur Kristal	Trigonal
Warna	Hitam
Konfigurasi Elektron	[HE] 2s ² 2p ¹

2.1.3. Daya Listrik

Daya listrik adalah besarnya laju hantaran energi listrik yang terjadi pada suatu rangkaian listrik. Dalam satuan internasional daya listrik adalah W (Watt) yang menyatakan besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan untuk mengalirkan arus listrik tiap satuan waktu J/s (Joule/detik).

Secara sederhana, rumus daya listrik dapat dilihat pada persamaan (2.2).

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.2)$$

Keterangan :

P = Daya (W)

W = Usaha (J)

t = Waktu (s)

2.1.3.1. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah W (Watt) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik Wattmeter.

Daya Aktif pada beban yang bersifat resistansi (R), dimana tidak mengandung induktor, sehingga besar daya sebagai perkalian tegangan dan arus menghasilkan

dua gelombang yang keduanya bernilai positif. Besarnya daya aktif adalah P. Sisa puncak dibagi menjadi dua untuk mengisi celah-celah kosong sehingga kedua rongga terisi oleh dua puncak yang mengisinya.

Persamaan Daya aktif (P) pada beban yang bersifat resistansi dapat dilihat pada persamaan (2.3)

$$P = V \times I \quad (2.3)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A)

Daya aktif pada beban impedansi (Z), beban impedansi pada suatu rangkaian disebabkan oleh beban yang bersifat resistansi (R) dan induktansi (L). Maka gelombang mendahului gelombang arus sebesar ϕ . Perkalian gelombang tegangan dan gelombang arus menghasilkan dua puncak positif yang besar dan dua puncak negatif yang kecil. Pergeseran sudut fasa bergantung seberapa besar nilai dari komponen induktornya.

Persamaan daya aktif (P) pada beban yang bersifat impedansi dapat dilihat pada persamaan (2.4).

$$P = V \times I \times \cos\phi \quad (2.4)$$

Keterangan :

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

$\cos \phi$ = Faktor daya

2.1.3.2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif. Hal serupa sering dilakukan pada pabrik-pabrik yang menggunakan motor banyak menggunakan beban berupa motor-motor listrik.

Persamaan daya reaktif dapat dilihat pada persamaan (2.5).

$$P = V \times I \times \sin\varphi \quad (2.5)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

$\sin \varphi$ = Faktor reaktif

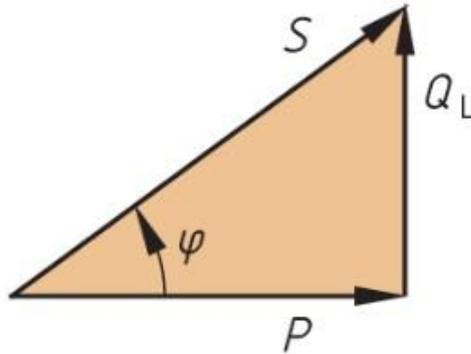
2.1.3.3. Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik. Daya semu merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen.

Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R), contoh : lampu pijar, setrika listrik, kompor listrik dan lain sebagainya. Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik sefasa perbedaan sudut fasa adalah 0° dan memiliki nilai faktor daya 1.

2.1.3.4. Segitiga Daya

Gambar segitiga daya dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Segitiga Daya

Daya aktif (P) digambarkan dengan garis horizontal yang lurus. Daya reaktif (Q) berbeda sudut sebesar 90° dari daya aktif. Sedangkan daya semu (S) adalah hasil penjumlahan secara vektor antara daya aktif dengan daya reaktif. Jika mengetahui dua dari ketiga daya maka dapat menghitung salah satu daya yang belum diketahui dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.6)$$

Keterangan :

P = Daya aktif

Q = Daya reaktif

S = Daya semu

2.2. Konsep Model Yang Dikembangkan

Beberapa peneliti mengkaji tentang generator magnet permanen fluks aksial untuk putaran rendah dan sedang secara eksperimental. Pertama, Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung, Ardians Abdillah Wijaya, Syahrial dan Waluyo telah melakukan penelitian yang berjudul “Perancangan Generator Magnet Permanen dengan Arah Fluks Aksial untuk Aplikasi Pembangkit Listrik”. Pada penelitian ini menggunakan generator tipe aksial *double stage*, dengan jumlah 20 kutub menggunakan sebuah magnet permanen berjenis neodymium (NdFeB) dan dengan jumlah kumparan 15 buah 3 phasa. Tegangan yang dihasilkan generator sebesar 24 volt, dimana ditujukan untuk pengisian akumulator. Hasil Penelitian nya yaitu dalam desain rotor, generator arus eksitasi dihasilkan dari 40 magnet yang disusun berhadapan (utara-selatan) sehingga didapat 20 kutub dengan kecepatan 300 rpm untuk menghasilkan frekuensi 50 Hz.

Kedua, penelitian yang dilakukan Mohammad Fiky Alqodri, Cecep E.Rustana, dan Hadi Nasbey berjudul “Rancang Bangun Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius” dengan jumlah magnet NdFeB 6 buah menunjukkan Generator fluks aksial ini dapat menghasilkan tegangan dan arus pada kecepatan putar rendah, yaitu sekitar 0,079 V, 0,079 A pada kecepatan putar 17,2 rpm dan 2 V, 0,354 A pada kecepatan putar 500 rpm dengan menggunakan 6 buah magnet permanen.

Ketiga, penelitian yang dilakukan Hari Prasetijo dan Sugeng Walujo berjudul “Prototipe Generator Magnet Permanen Axial AC 1 Fasa Putaran Rendah

Sebagai Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro” dengan jumlah magnet NdFeB 9 buah berhasil membuat sebuah prototype generator magnet permanen aksial AC 1 fasa sesuai spesifikasi yang diharapkan yaitu 12 Volt 50 Hz pada putaran 666 rpm.

Keempat, penelitian yang dilakukan oleh Sidik Nugroho berjudul “Desain Generator Magnet Permanen Rpm Rendah Dengan Memanfaatkan Motor Kipas” dengan jumlah magnet NdFeB 6 buah menunjukkan generator magnet permanen yang dibuat dan dilakukan pengujian pada penelitian ini mampu menghasilkan tegangan keluaran minimal sebesar 3,5 V pada kecepatan 100 rpm kondisi berbeban. Tegangan keluaran tertinggi sebesar 8,4 V pada kecepatan 300 rpm dengan frekwensi 50 Hz, dan pada frekwensi 60 Hz tercapai nilai tegangan 9,1 V dengan kecepatan 350 rpm pada kondisi berbeban.

Kelima, penelitian yang dilakukan oleh Marjianto berjudul “Analisis Pengaruh Kuat Medan Magnet Pada Generator Magnet Permanen Fluks Aksial” menggunakan dua jenis magnet permanen yaitu magnet NdFeb dan magnet keramik ferrit dengan jumlah masing-masing magnet permanen 12 buah menghasilkan daya keluaran sebesar 0,28 watt untuk generator dengan magnet NdFeB dan 0,114 watt untuk generator dengan magnet keramik ferrit pada kecepatan putar maksimum 1000 rpm.

Dari beberapa rujukan, penulis memutuskan untuk merancang desain generator magnet permanen fluks aksial satu fasa dengan konstruksi satu rotor dan satu stator (*single stage*) menggunakan 8 buah magnet NdFeB dan 9 buah kumparan dengan aliran fluks N-S.

2.3. Kerangka Konseptual

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan, kebutuhan akan energi juga semakin bertambah. Hal ini dikarenakan manusia semakin sering menggunakan energi setiap harinya. Penelitian ini berdasarkan dari hasil penelitian yang telah penulis sebutkan menggunakan generator magnet permanen sebagai alternatif pembangkit listrik. Penelitiannya menggunakan generator magnet permanen tipe fluks aksial. Oleh sebab itu, penelitian ini akan menguji lebih mendalam mengenai penelitian tersebut namun dengan desain dan perlakuan yang berbeda. Perlakuan penelitian yang dilakukan yaitu menggunakan variasi jarak celah udara dan kecepatan putar. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan daya keluaran yang optimal dari generator magnet permanen fluks aksial.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat, Waktu dan Tujuan Penelitian

Tempat yang akan digunakan untuk penelitian yaitu di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Gd. 440 Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan, Provinsi Banten. Tempat tersebut dipilih karena dikembangkan pembangkit listrik dengan generator magnet permanen fluks aksial. Penelitian berlangsung selama 3 bulan yaitu mulai dari bulan Februari 2017 sampai bulan Mei 2017. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model generator magnet permanen fluks aksial sehingga dapat menghasilkan daya keluaran yang maksimum dengan biaya yang ekonomis.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu menggunakan metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*). Metode Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*) adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut.. Menurut Sujadi (2003:164) Penelitian dan Pengembangan atau *Research and Development* (R&D) adalah suatu proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan suatu produk baru, atau menyempurnakan produk yang telah ada, yang dapat dipertanggungjawabkan. Produk tersebut tidak selalu berbentuk benda atau perangkat keras (*hardware*), seperti buku, modul, alat bantu pembelajaran di kelas atau di laboratorium, tetapi bisa juga perangkat lunak (*software*), seperti program komputer untuk pengolahan data, pembelajaran di kelas, perpustakaan atau laboratorium,

ataupun model-model pendidikan, pembelajaran, pelatihan, bimbingan, evaluasi, manajemen, dll. Menurut Sugiyono (2011:407) Metode penelitian dan pengembangan adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Metode ini digunakan karena pada penelitian ini membuat rancang bangun generator magnet permanen fluks aksial satu fasa yang merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu guna mendapatkan desain dan hasil yang lebih optimal dengan menguji performa generator menggunakan variasi jarak celah udara dan kecepatan putar untuk mendapatkan hasil daya keluaran yang optimal dan regulasi tegangan yang terbaik .

3.2.1. Kondisi Saat Tanpa Beban

1. Menguji generator magnet permanen fluks aksial tanpa beban.
2. Variasi jarak celah udara yang dipakai yaitu mulai dari 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, dan 9 mm.
3. Pengujian dilakukan dengan empat kecepatan putar, yaitu 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, 400 rpm dan 500 rpm.

3.2.2. Kondisi Saat Diberi Beban

1. Setelah melakukan pengujian tanpa beban maka akan didapat hasil pengujian yaitu tegangan tertinggi pada jarak celah udara tertentu saat tanpa beban.
2. Menggunakan hasil pengujian tanpa beban untuk melakukan pengujian saat diberi beban. Jadi, pada pengujian generator diberi beban merupakan perbandingan dari pengujian generator tanpa beban dengan menggunakan

perlakuan jarak celah udara yang sama, namun ditambah dengan lampu 30 watt sebagai beban.

3.3 Desain Permodelan

3.3.1 Generator Magnet Permanen

Generator yang didesain merupakan pengembangan dari model generator magnet permanen fluks aksial yang berada di Pusat Penelitian Fisika – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2F-LIPI). Desain generator terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian rotor dan stator. Dalam pelaksanaannya diatur beberapa jarak celah udara. Rotor didesain memiliki jumlah kutub sebanyak 16 kutub dan stator memiliki 9 kumparan. Desain generator yang dipilih yaitu satu tingkat.

Desain tersebut kemudian dijalankan dengan beberapa nilai kecepatan putar yang berbeda serta jarak celah udara yang berbeda pula untuk kemudian akan dibandingkan tegangan dan arus yang dihasilkan. Dari penelitian ini diharapkan akan diperoleh kesimpulan tentang jarak celah udara yang optimal untuk daya keluaran tertinggi dan regulasi tegangan terbaik yang dihasilkan oleh generator magnet permanen fluks aksial satu fasa..

3.3.2. Perencanaan Rotor

3.3.2.1. Menentukan Jumlah Kutub Magnet.

Magnet yang disusun pada rotor adalah magnet permanen yang berbeda kutub. Magnet sebelah kiri dan sebelah kanan memiliki jenis kutub yang berbeda, hal ini dimaksudkan agar fluks yang dihasilkan oleh magnet permanen dapat secara maksimal menembus stator dan menimbulkan gaya induksi elektromagnetik. Untuk memaksimalkan jumlah fluks yang disapu oleh stator,

maka menggunakan 16 buah kutub magnet atau 8 buah pasang kutub. Jumlah kutub dirancang berjumlah genap agar dapat disusun utara-selatan.

1.3.2.2. Menentukan Jenis Magnet

Magnet permanen yang digunakan adalah jenis NdFeB (Neodymium-Besi-Boron) karena berdasarkan Tabel 2.1 jenis magnet permanen ini memiliki energi produk (Bh_{\max}) yang sangat besar dan tertinggi diantara magnet permanen lainnya. Magnet NdFeB yang digunakan berbentuk balok dengan ukuran 49,5 mm x 40 mm x 11 mm dan *coating* Ni (Nikel). Gambar magnet neodymium yang digunakan terlampir pada lampiran 1.

1.3.2.3. Menentukan Luasan Area Magnet

Luasan area magnet dapat dihitung melalui persamaan (3.2)

$$A_m = \frac{\pi(r_0^2 - r_1^2) - \tau f(r_0 - r_1)N_m}{N_m} \quad (3.2)$$

Dimana:

- A_m = luasan magnet (cm^2)
- r_o = radius luar magnet (cm)
- r_i = radius dalam magnet (cm)
- N_m = jumlah magnet
- τf = jarak antar magnet (cm)

$$A_m = \frac{\pi(r_0^2 - r_1^2) - \tau f(r_0 - r_1)N_m}{N_m}$$

$$A_m = \frac{3.14(11^2 - 7.5^2) - 5(11 - 7.5)8}{8}$$

$$A_m = 7,914 \text{ cm}^2$$

1.3.2.4. Menentukan Densitas Fluks Maksimum

Densitas fluks maksimum dapat dihitung melalui persamaan (3.3)

$$B_{max} = B_r \frac{I_m}{I_m + \delta} \quad (3.3)$$

Dimana :

B_r = Kerapatan fluks (T)

I_m = Tinggi magnet (m)

δ = Lebar celah udara (m)

B_{max} = Fluks magnet maksimal (T)

1. Densitas fluks saat celah udara 1 mm

$$B_{max} = 1,2 \frac{0,011}{0,011 + 0,001} = 1,1 T$$

2. Densitas fluks saat celah udara 3 mm

$$B_{max} = 1,2 \frac{0,011}{0,011 + 0,003} = 0,942 T$$

3. Densitas fluks saat celah udara 5 mm

$$B_{max} = 1,2 \frac{0,011}{0,011 + 0,005} = 0,825 T$$

4. Densitas fluks saat celah udara 7 mm

$$B_{max} = 1,2 \frac{0,011}{0,011 + 0,007} = 0,733 T$$

5. Densitas fluks saat celah udara 9 mm

$$B_{max} = 1,2 \frac{0,011}{0,011 + 0,009} = 0,660 T$$

1.3.2.5. Menentukan Kerapatan Fluks Magnetik

Kerapatan fluks magnetik dapat dihitung melalui persamaan (3.4)

$$\begin{aligned} \Phi_{max} \\ = A_m \times B_{max} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Dimana:

A_m = luasan magnet (cm²)

B_{max} = Fluks magnet maksimal (T)

Φ_{max} = Fluks maksimum (Wb)

1. Kerapatan fluks saat celah udara 1 mm

$$\Phi_{max} = 7,914 \times 1,1 = 8,70 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

2. Kerapatan fluks saat celah udara 3 mm

$$\Phi_{max} = 7,914 \times 0,942 = 7,46 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

3. Kerapatan fluks saat celah udara 5 mm

$$\Phi_{max} = 7,914 \times 0,825 = 6,53 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

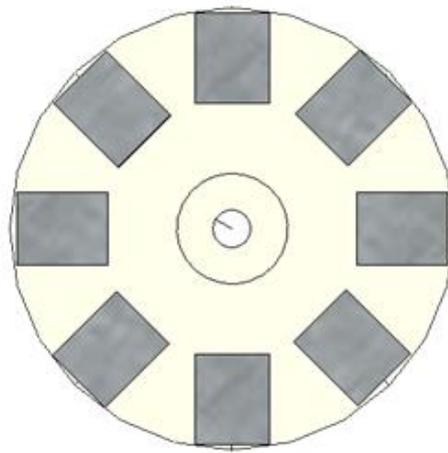
4. Kerapatan fluks saat celah udara 7 mm

$$\Phi_{max} = 7,914 \times 0,733 = 5,80 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

5. Kerapatan fluks saat celah udara 9 mm

$$\Phi_{max} = 7,914 \times 0,660 = 5,22 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

Tipe rotor yang didesain untuk generator ini adalah tipe rotor tunggal dengan menggunakan bahan akrilik setebal 10 mm. Magnet yang digunakan untuk rotor didesain dengan tipe N-S dan magnet yang digunakan adalah magnet berbentuk kotak atau balok. Pada desain rotor tunggal tipe N-S, pengaturan magnet permanen disusun secara selang-seling. Pemasangan magnet permanen pada tatakan penyangga dengan cara ditanam pada permukaan sisi bagian dalam tatakan. Desain rotor diperlihatkan oleh gambar 3.1. dan untuk spesifikasi rotor dapat dilihat pada tabel 3.1.



Gambar 3. 1 Desain rotor

Tabel 3. 1 Spesifikasi rotor

Parameter	Lambang	Spesifikasi
Bahan Rotor		Akrilik dengan tebal 10 mm Produksi : Marga Cipta
Kerapatan fluks	B_t	0,12 T
Dimensi magnet	ϕ	Panjang = 4,9 cm Lebar = 4 cm Tebal = 1,1 cm
Diameter rotor	D	24 cm
Jumlah magnet	N_m	8 buah
Jarak antar magnet	T_f	5 cm
Luas magnet	A	7,914 cm ²

3.3.3. Perancangan Stator

Tipe stator yang didesain untuk generator ini adalah tipe stator tunggal dengan menggunakan bahan akrilik setebal 15 mm. Pada generator magnet permanen fluks aksial rotor tunggal dan stator tunggal, dimana stator diletakan berhadapan dengan rotor dengan jarak celah udara yang divariasikan. Stator tidak

memiliki inti besi ditengahnya (*coreless stator*) sehingga model stator hanya berupa kumpulan lilitan kawat, seperti terlihat pada gambar 3.2. Kawat tembaga ini berfungsi sebagai komponen dan dicetak dengan menggunakan akrilik sebagai bahan penyangga lilitan stator tersebut. Susunan kumparan yang digunakan menggunakan susunan *non-overlapping* yaitu kumparan disusun secara berjajar tepat berada disamping dengan sesama kumparan. Bentuk stator yang didesain adalah bentuk lingkaran (sirkular). Agar lebih jelas, spesifikasi rotor dapat dilihat pada tabel 3.2.



Gambar 3. 2 Desain stator

1.3.3.1. Menentukan Jumlah Kumparan

Jumlah kumparan adalah 9 buah. Nilai ini didapatkan dari besarnya jumlah magnet pada rotor, agar keliling stator menyesuaikan keliling rotor. Pertimbangan lain adalah agar kumparan dapat sepenuhnya tersapu oleh fluks magnetik. Gambar kumparan dan disk stator terlampir pada lampiran 2.

1.3.3.2. Menentukan Jumlah Lilitan

Jumlah Lilitan adalah 1150 buah. Nilai ini didapatkan dari rumus tegangan induksi pada generator pada persamaan (2.1)

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

dengan pertimbangan untuk meraih tegangan 220 Vac pada kecepatan 500 rpm serta parameter yang telah ada seperti frekuensi sebesar 50 Hz, fluks magnet sebesar 0,000653 Webber, dan jumlah kutub 16 maka jumlah lilitan dapat dihitung sebagai berikut:

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$220 = \frac{4,44 \cdot N \cdot 16 \cdot 500 \cdot 0,000653}{120}$$

$$N = 1138$$

Jumlah lilitan dibulatkan keatas menjadi 1150 untuk mengurangi kerugian yang mungkin terjadi.

1.3.3.3. Menentukan Diameter Kawat

Diameter kawat email = 0,3 mm. Nilai ini didapatkan pada referensi kawat email yang terlampir pada lampiran 3, besar arus yang dibutuhkan sebesar 0,2 A mendekati nilai 0,212 A yang mana besar arus tersebut dapat dialirkan dengan kawat email berdiameter 0,3 mm. Besarnya nilai arus ini bergantung dari

besar diameter kawat email, semakin besar diameter kawat, maka semakin besar pula arus yang mengalir. Namun, karena diameter kawatnya kecil, sehingga dapat menghasilkan lilitan yang banyak yang dapat memperbesar nilai tegangan yang dihasilkan.

Tabel 3. 2 Spesifikasi stator

Parameter	Lambang	Spesifikasi
Bahan stator		Akrilik dengan tebal 15 mm Produksi : Marga Cipta
Diameter stator	D	28 cm
Jenis Kawat		Tembaga
Diameter kawat	d	0,3 mm
Jumlah lilitan	N	1150 lilitan
Jumlah kumparan	N_s	9 kumparan
Konfigurasi lilitan		Seri
Jumlah fasa	N_{ph}	1 fasa

3.3.4 Celah Udara (Air Gap)

Pada generator magnet permanen fluks aksial, celah udara merupakan faktor yang memegang peranan yang sangat penting karena pada celah udara dapat diinduksikan tegangan pada kumparan stator. Celah udara juga menjadi salah satu karakteristik dari setiap model yang dibuat. Konstruksi generator dibuat sedemikian rupa sehingga lebar celah udara tidak berubah saat generator berputar. Celah udara yang dimaksud adalah jarak antara magnet permanen bagian bawah atau jarak stator ke magnet permanen bagian atas. Data celah udara yang dipakai pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data Variasi Celah Udara

Celah Udara (δ)	Jarak (mm)
δ_1	1
δ_2	3
δ_3	5
δ_4	7
δ_5	9

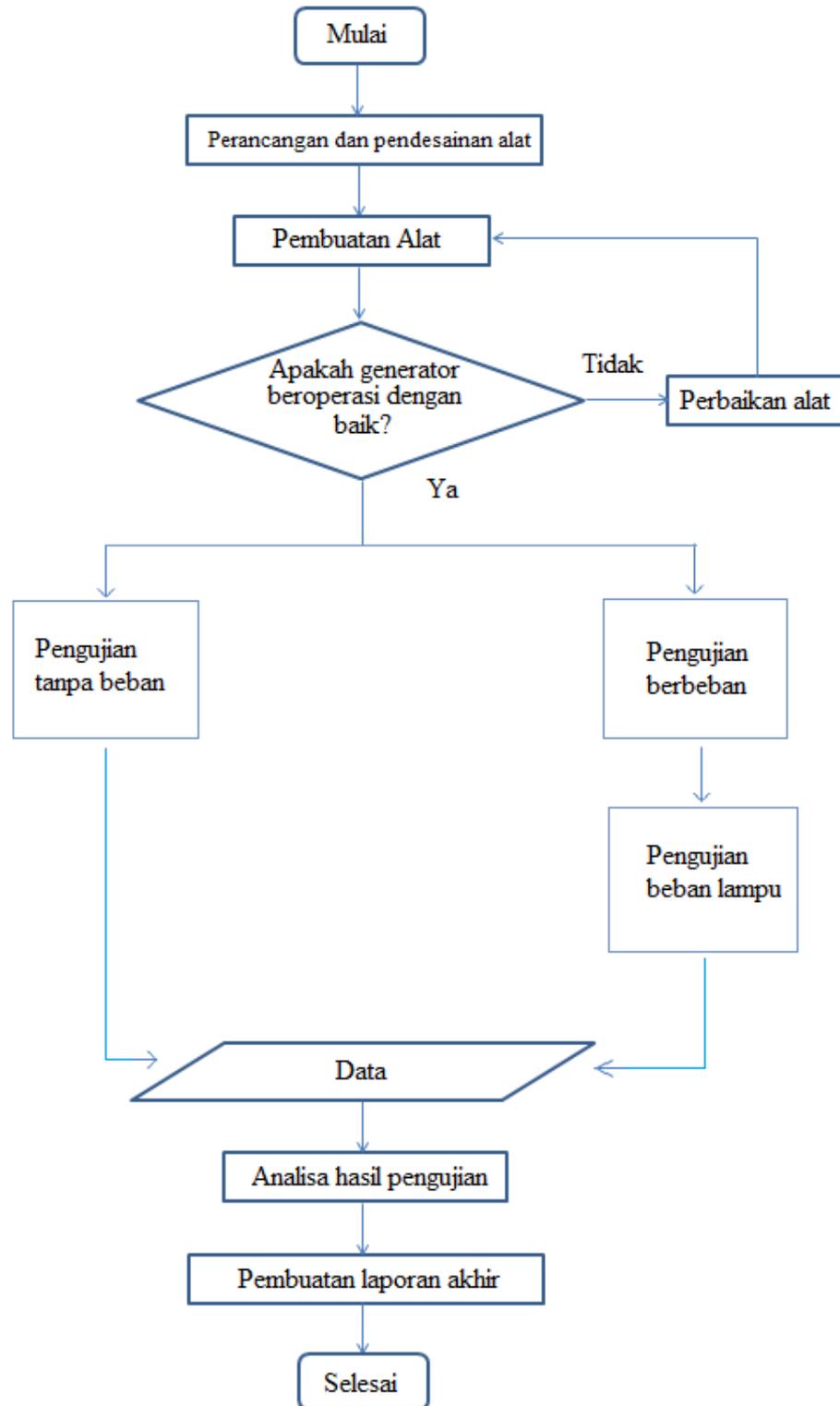
3.3.5. Daya Keluaran

Daya keluaran yang dimaksud adalah daya AC yang dihasilkan oleh generator. Karena pada penelitian ini menggunakan alat ukur untuk mengetahui nilai tegangan dan arus yang dihasilkan, sehingga nilai daya yang didapat berdasarkan pada hasil pengukuran tegangan dan arus.

3.4. Rancangan Model Penelitian

Tahap pertama pada penelitian ini adalah perancangan dan pendesainan alat, yaitu generator magnet permanen fluks aksial. Setelah desain didapatkan, maka tahap berikutnya adalah pembuatan alat. Jika generator belum beroperasi dengan baik, maka segera dilakukan pengecekan rangkaian generator dan mengulangi tahap kedua. Namun, jika generator dapat beroperasi dengan baik, maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya, yaitu tahap pengujian generator. Pengujian dilakukan menjadi dua perlakuan, yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban. Untuk pengujian berbeban, menggunakan lampu sebagai beban pada generator. Setelah melakukan pengujian, maka dilakukan pengumpulan data dari masing-masing pengujian. Dengan data yang telah terkumpul, maka tahap berikutnya adalah analisis data hasil pengujian yang akan diteruskan menjadi

laporan akhir dari pengujian ini. Flowchart dari rancangan ini dapat dilihat pada gambar 3.3.

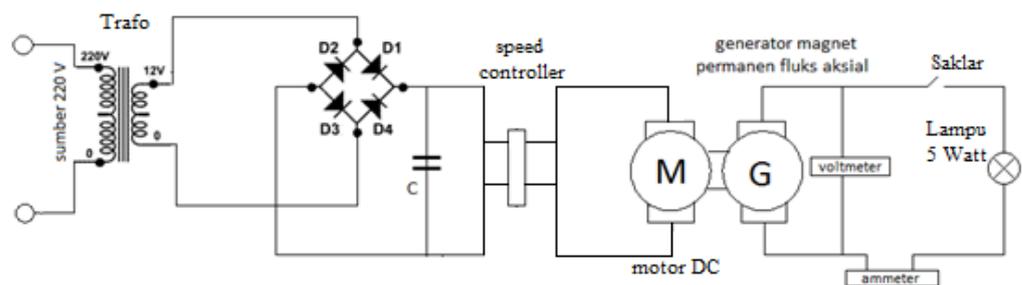


Gambar 3. 3 Flowchart Penelitian
3.5. Perlakuan Penelitian

Penelitian ini menggunakan 2 kondisi penelitian. Kondisi pertama yaitu kondisi tanpa beban dan kondisi kedua diberi beban. Kondisi kedua dapat dilakukan jika kondisi pertama telah selesai. Jika kondisi pertama belum selesai maka kondisi kedua tidak dapat dilakukan. Setiap kondisi dibagi menjadi 2 tahap pengujian yaitu tahap pengujian dengan variasi celah udara dan tahap perbandingan. Tahap ketiga yaitu tahap perbandingan. Tahap ini membandingkan antara generator tanpa beban atau generator diberi beban yang lebih baik saat diberi variasi jarak celah udara.

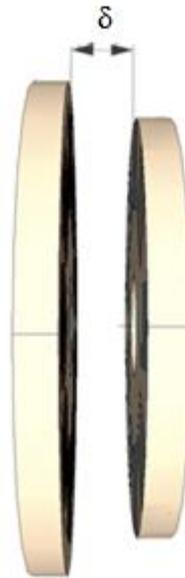
3.5.1. Tahap Pengujian Saat Tanpa Beban

1. Pasang komponen alat dan bahan sesuai dengan gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Rangkaian pengujian generator

2. Ubah jarak celah udara pada generator sesuai dengan tabel 3.3, setelah itu cari jarak celah udara yang mungkin memiliki tegangan keluaran tertinggi dari jarak celah udara tersebut. Jarak celah udara dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Jarak celah udara

3. Motor DC diberi tegangan sehingga dapat berputar.
4. Atur kecepatan putar mulai dari 100, 200, 300, 400 sampai 500 rpm.
5. Saklar S dibuka sehingga tidak ada beban yang terhubung dengan generator.
6. Catat tegangan terminal generator.

3.5.2. Tahap Pengujian Saat Diberi Beban

1. Pasang komponen alat dan bahan sesuai dengan gambar 3.4.
2. Ubah jarak celah udara pada generator sesuai dengan tabel 3.3, setelah itu cari jarak celah udara yang mungkin memiliki tegangan keluaran tertinggi dari jarak celah udara tersebut. Variasi jarak celah udara dapat dilihat pada gambar 3.5.
3. Tutup saklar sehingga beban lampu 30 Watt terhubung dengan generator.
4. Motor DC diberi tegangan sehingga dapat berputar.
5. Atur kecepatan putar mulai dari 100, 200, 300, 400 sampai 500 rpm.
6. Catat tegangan dan arus terminal generator.

3.5.3. Tahap Perbandingan

1. Perhatikan hasil observasi penelitian tanpa beban dan saat diberi beban.
2. Bandingkan antar hasil observasi penelitian yaitu pengujian tanpa beban dan saat diberi beban dengan variasi jarak celah udara dan kecepatan putar yang diujikan.
3. Buat kesimpulan dari hasil observasi penelitian.

3.6. Instrumen Penelitian

Instrumen pada penelitian ini terdapat 4 instrumen. Instrumen yang pertama yaitu instrumen bahan penelitian yang terdapat pada tabel 3.4, kedua, instrumen pengukuran yang terdapat pada tabel 3.5 dan yang ketiga serta keempat instrumen pengujian pada tabel 3.6, 3.7. Instrumen bahan penelitian dan instrumen pengukuran merupakan instrumen yang digunakan pada pengujian tanpa beban dan saat diberi beban. Instrumen ini merupakan instrumen utama yang digunakan saat digunakan. Instrumen pengujian merupakan instrumen yang menjadi dasar pengujian atau panduan pengujian. Instrumen ini termasuk instrumen kedua yang digunakan.

3.6.1. Instrumen Bahan Penelitian dan Pengukuran

Bahan penelitian yang digunakan untuk melakukan penelitian ini terdapat pada tabel 3.4. Tabel ini berisi bahan yang digunakan sebagai bahan utama untuk melakukan penelitian. Bahan ini digunakan untuk pengujian tanpa beban dan saat diberi beban. Selain menggunakan bahan penelitian, digunakan juga instrumen pengukuran yang berupa alat ukur yang digunakan. Instrumen tersebut dapat dilihat pada tabel 3.4 dan 3.5.

Tabel 3. 4 Instrumen Bahan Penelitian

NO	NAMA BAHAN	SPESIFIKASI
1	Generator Magnet Permanen Fluks Aksial	Jenis Magnet : NdFeB Arah fluks : Aksial
2	Rotor	Tabel 3.1
3	Stator	Tabel 3.2
4	Penggerak mula (<i>prime mover</i>)	Motor DC Produksi : GM Autopart
5	Beban	Lampu 30 Watt (untuk pengujian generator berbeban)
6	Kabel	Serabut
7	Transformator	220 V – 12 V (10 A)
8	Electrolite Condensator	10.000 μ F
9	Dioda Bridge	10 A
10	Kawat Tembaga	0,3 mm

Tabel 3. 5 Instrumen Pengukuran

NO	NAMA INSTRUMEN	SPESIFIKASI
1	Multitester Digital	Produksi: Heles
2	Mistar	30 cm
3	Tang Ampere	Produksi: VIP
4	Tachometer	DT – 2234C ⁺

Gambar instrumen pengukuran terlampir pada lampiran 4.

3.6.2. Instrumen Pengujian

Instrumen pengujian merupakan instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian laboratorium untuk mencatat hasil pengujian suatu sistem. Tabel 3.6 dan 3.7 merupakan instrumen pengujian generator magnet permanen fluks aksial. Instrumen ini digunakan untuk menguji arus dan tegangan keluaran generator magnet permanen fluks aksial saat tanpa beban dan saat diberi beban. Namun pada instrumen untuk pengujian ditambahkan kolom jarak celah udara.

Tabel 3.6 Instrumen Pengujian Tanpa Beban

No.	Putaran (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)
1	100	1	
		3	
		5	
		7	
		9	
2	200	1	
		3	
		5	
		7	
		9	
3	300	1	
		3	
		5	
		7	
		9	
4	400	1	
		3	
		5	
		7	
		9	
5	500	1	
		3	
		5	
		7	
		9	

Tabel 3.7 Instrumen Pengujian Berbeban

No.	Putaran (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)	Beban Lampu
1	100	1				30 Watt
		3				
		5				
		7				
		9				
2	200	1				
		3				
		5				
		7				
		9				
3	300	1				
		3				
		5				
		7				
		9				
4	400	1				
		3				
		5				
		7				
		9				
5	500	1				
		3				
		5				
		7				
		9				

3.7. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu observasi laboratorium. Prosedur pengumpulan data menggunakan instrumen pengujian. Teknik ini digunakan karena pengujian menggunakan dua kondisi, yaitu saat tanpa beban dan saat diberi beban.

3.8. Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang digunakan yaitu analisis deskriptif dengan penarikan kesimpulan secara deskripsi menurut peneliti berdasarkan pada data-data hasil pengukuran observasi penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengembangan Produk

Pada penelitian ini telah berhasil membuat sebuah generator magnet permanen fluks aksial satu fasa dengan jumlah kumparan sebanyak 9 buah dan 8 buah magnet permanen NdFeB. Generator yang dikembangkan pada penelitian ini bertipe satu tingkat, yaitu hanya terdiri dari satu rotor dan satu stator. Penelitian ini dilaksanakan di P2F-LIPI karena disana terdapat banyak jenis rancang bangun generator magnet permanen fluks aksial, sehingga akan sangat membantu peneliti dalam menentukan pengembangan yang akan dilakukan.

Langkah awal dalam pengembangan ini dilakukan dengan tahap perencanaan. Tahap perencanaan dilaksanakan dengan menentukan tipe generator dan penghitungan parameter yang akan digunakan, seperti jumlah magnet, jumlah kumparan, diameter stator, diameter rotor, jenis penggerak mula hingga lanjut ke pembuatan desain generator. Setelah tahap perencanaan selesai maka berlanjut ke tahap pembuatan generator. Pada tahap ini relatif memerlukan waktu yang cukup lama, karena harus mencari dan mengumpulkan bahan penelitian. Tidak semua bahan penelitian didapat dengan mudah. Kemudian, saat tahap pembuatan generator selesai, maka berlanjut ke tahap pengujian operasional, jika dirasa perlu perbaikan, maka harus dilakukan perbaikan, namun jika sudah memenuhi syarat operasional yang baik, maka berlanjut ke tahap pengujian generator. Generator diuji dengan dua kondisi, yaitu saat kondisi tanpa beban dan saat kondisi berbeban. Dari hasil pengujian generator, kemudian dilakukan pengumpulan dan pengolahan data hasil pengujian.

Dari hasil pengolahan data, maka dapat disimpulkan bahwa generator dapat berfungsi secara baik dan normal dengan menghasilkan tegangan 206 Volt pada kecepatan putar 500 rpm saat celah udara 5 mm pada keadaan tanpa beban.

4.2 Kelayakan Produk

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan. Metode ini digunakan karena proses pengambilan data menggunakan uji coba dengan instrumen pengujian. Kelayakan generator diuji dengan menggunakan hasil dari rumus hitung dan hasil dari pengujian langsung. Jika nilai tegangan hasil perhitungan dengan nilai hasil pengukuran tidak memiliki penyimpangan yang jauh maka dapat dikatakan bahwa generator hasil penelitian ini layak.

4.3 Efektifitas Produk (Melalui Uji Coba)

4.3.1 Hasil Pengujian Tanpa Beban

Proses pengujian generator tanpa beban terlampir pada lampiran 5. Berdasarkan penelitian generator magnet permanen fluks aksial tanpa beban dengan variabel celah udara, didapatkan data sebagai berikut

A. Berdasarkan Variasi Putaran

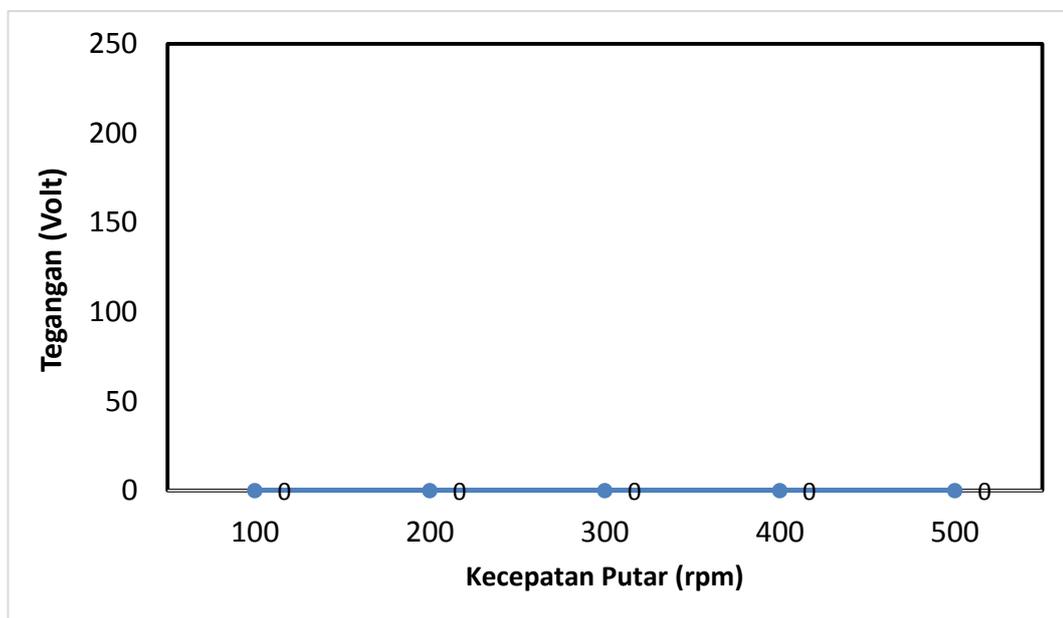
1. Jarak celah udara 1 mm

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 1 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.1 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.1.

Tabel 4. 1 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 1 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)
100	1	-
200		-
300		-
400		-
500		-

Tabel 4.1. menunjukkan bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Besarnya pengaruh tersebut yang terdapat pada tabel dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 1 mm

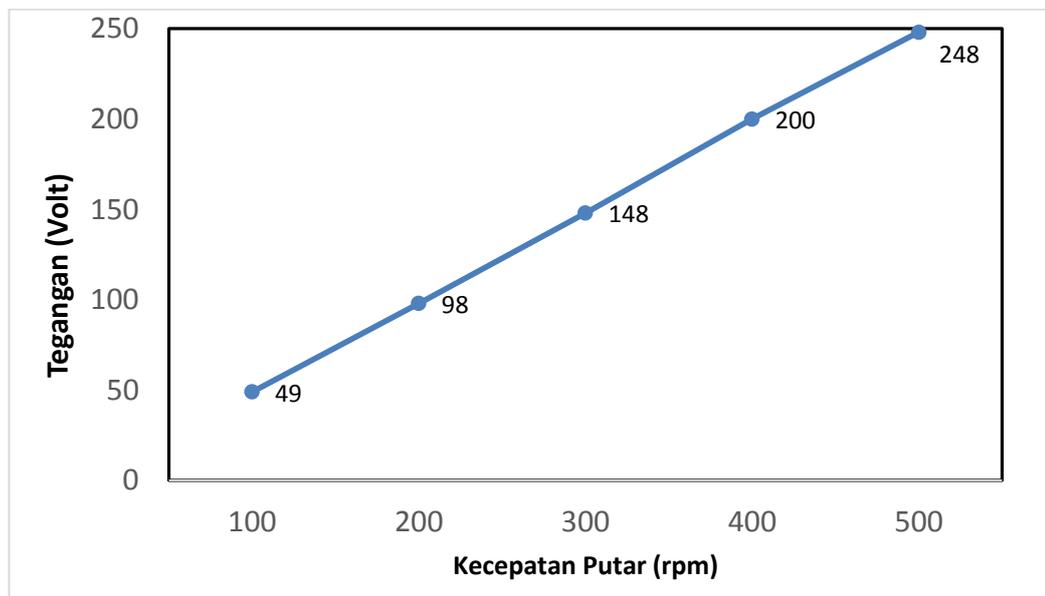
2. Jarak celah udara 3 mm

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 7 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.2 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.2.

Tabel 4. 2 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 3 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)
100	3	49
200		98
400		148
400		200
500		248

Tabel 4.2. menunjukkan bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Besarnya pengaruh tersebut yang terdapat pada tabel dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 3 mm

3. Jarak celah udara 5 mm

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar

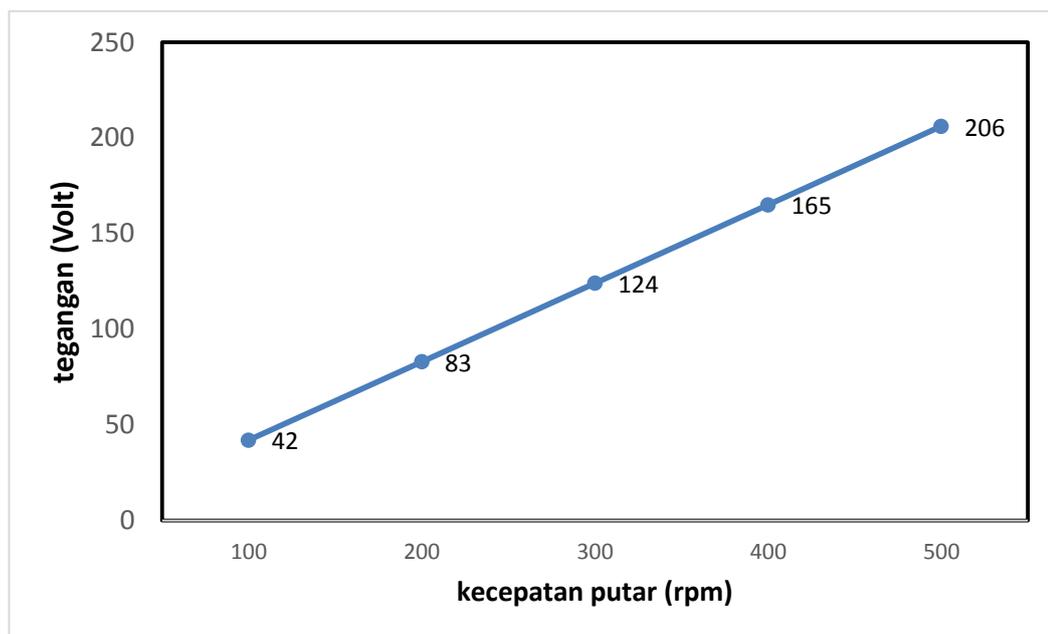
3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 5 mm dengan

variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.3 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4. 3 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 5 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)
100	5	42
200		83
400		124
400		165
500		206

Tabel 4.3. menunjukkan bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Besarnya pengaruh tersebut yang terdapat pada tabel dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 5 mm

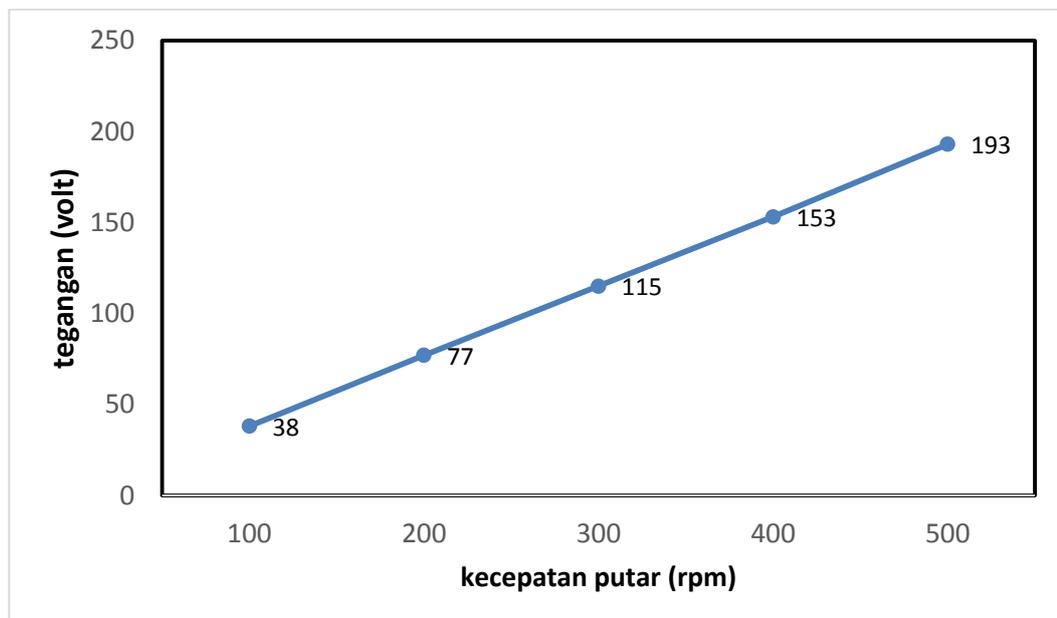
4. Jarak celah udara 7 mm

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 7 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.4 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Celah Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 11 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)
100	7	38
200		77
400		115
400		153
500		193

Tabel 4.4. menunjukkan bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Besarnya pengaruh tersebut yang terdapat pada tabel dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 7 mm

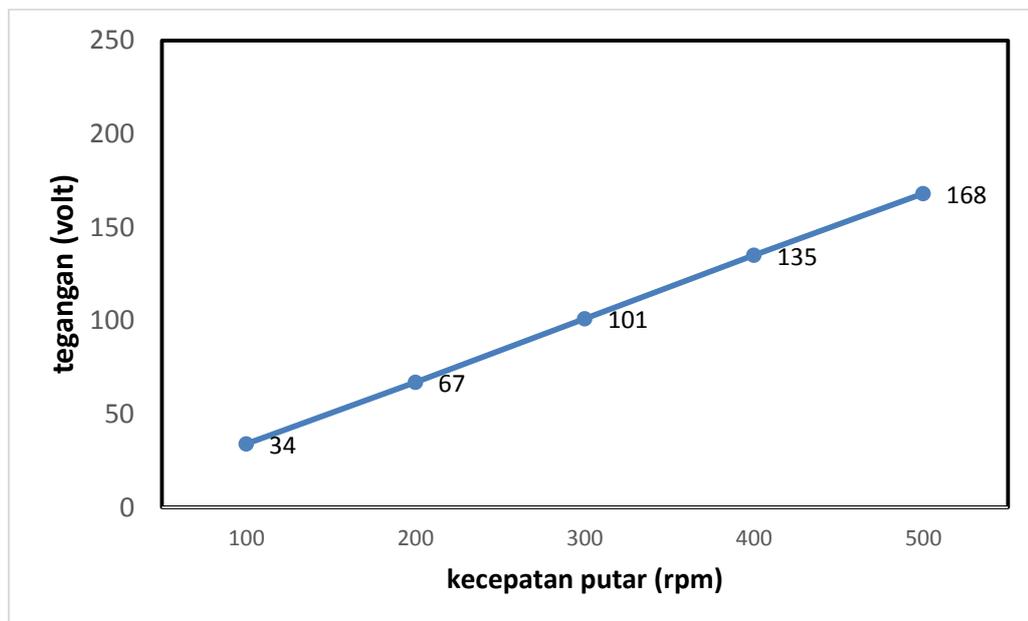
5. Jarak celah udara 9 mm

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 9 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.5 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.5.

Tabel 4. 5 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 9 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)
100	9	34
200		67
400		101
400		135
500		168

Tabel 4.5. menunjukkan bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Besarnya pengaruh tersebut yang terdapat pada tabel dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan saat Celah Udara 9 mm

B. Berdasarkan kecepatan putar

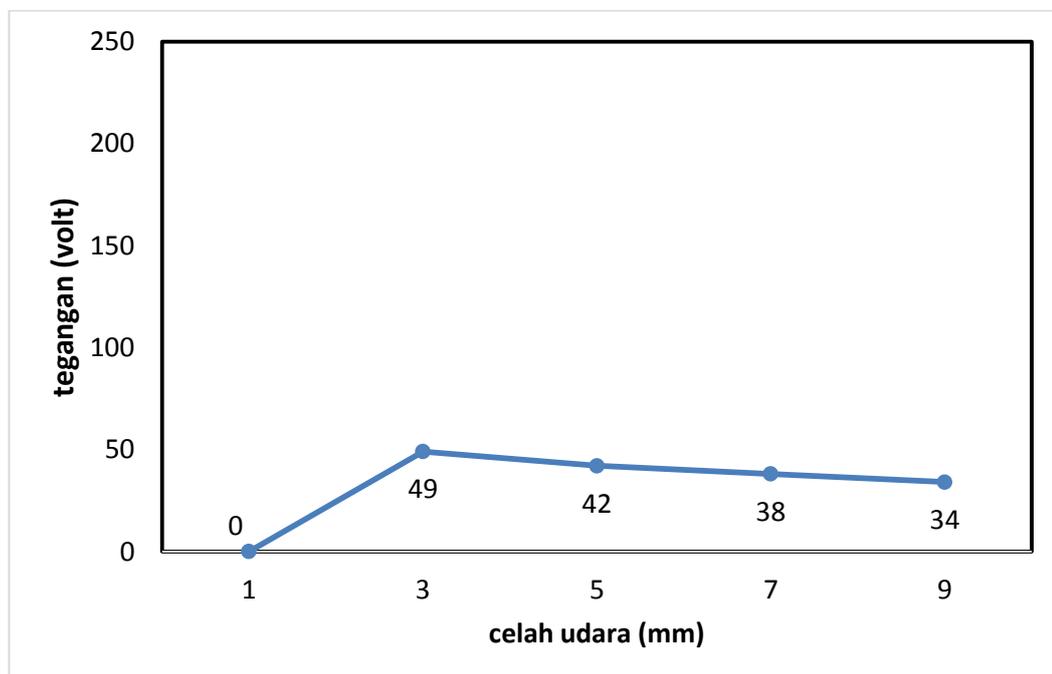
1. Kecepatan 100 rpm

Tabel 4. 6 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)
100	1	0
	3	49
	5	42
	7	38
	9	34

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar

3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 100 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.6 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.6.



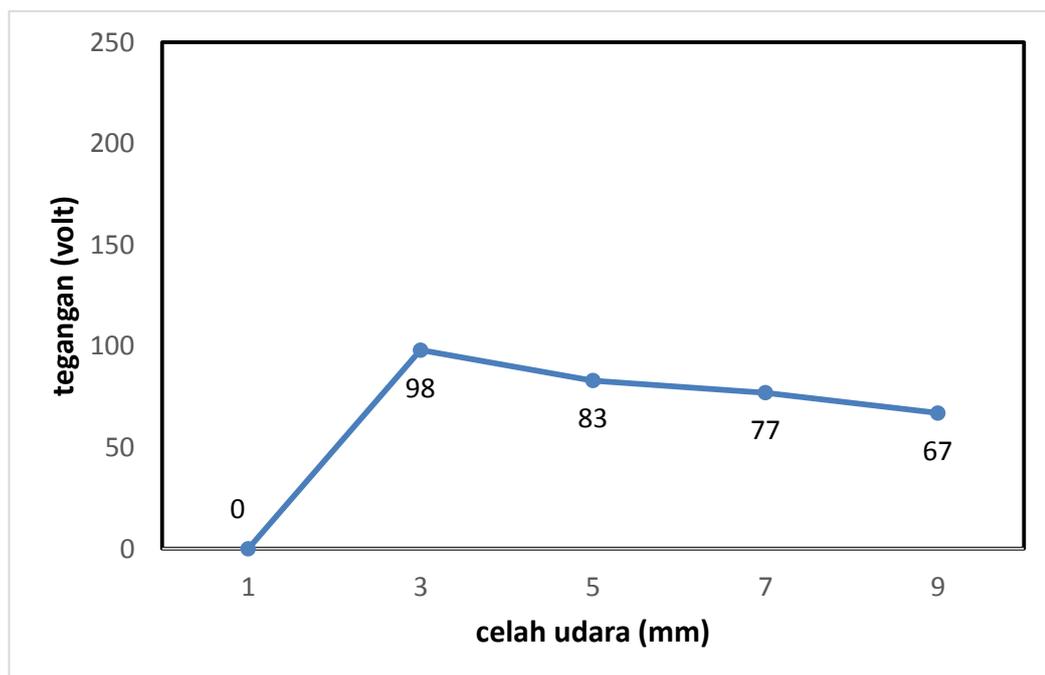
Gambar 4. 6 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm

2. Kecepatan 200 rpm

Tabel 4. 7 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)
200	1	0
	3	98
	5	83
	7	77
	9	67

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 200 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.7 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.7.

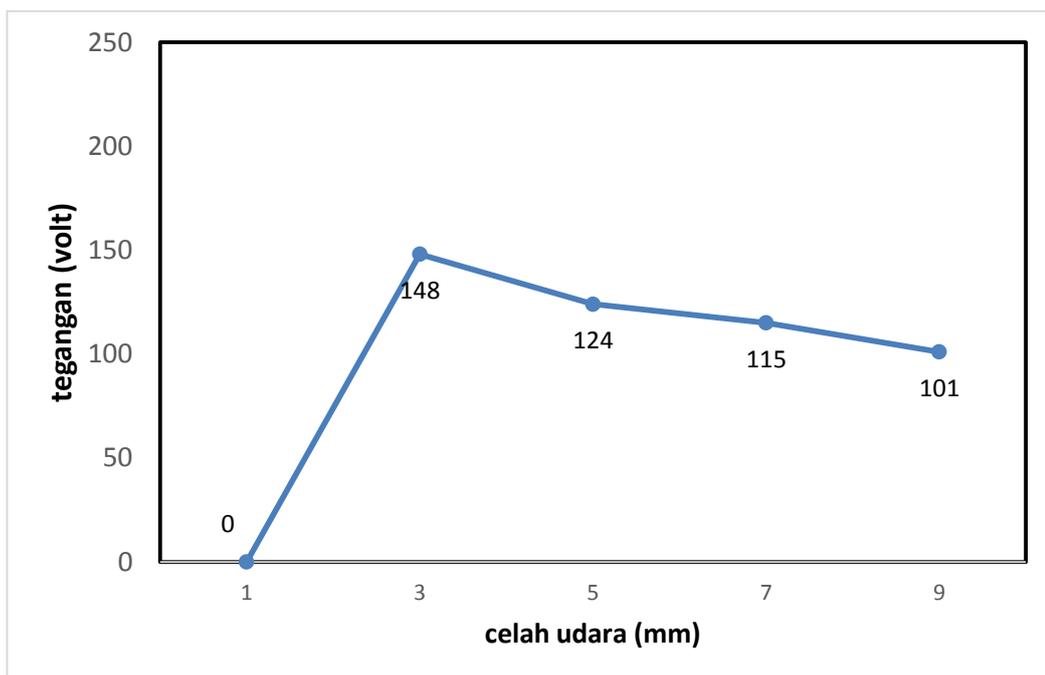
**Gambar 4. 7 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm**

3. Kecepatan 300 rpm

Tabel 4. 8 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)
300	1	0
	3	148
	5	124
	7	115
	9	101

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 300 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.8 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.8.

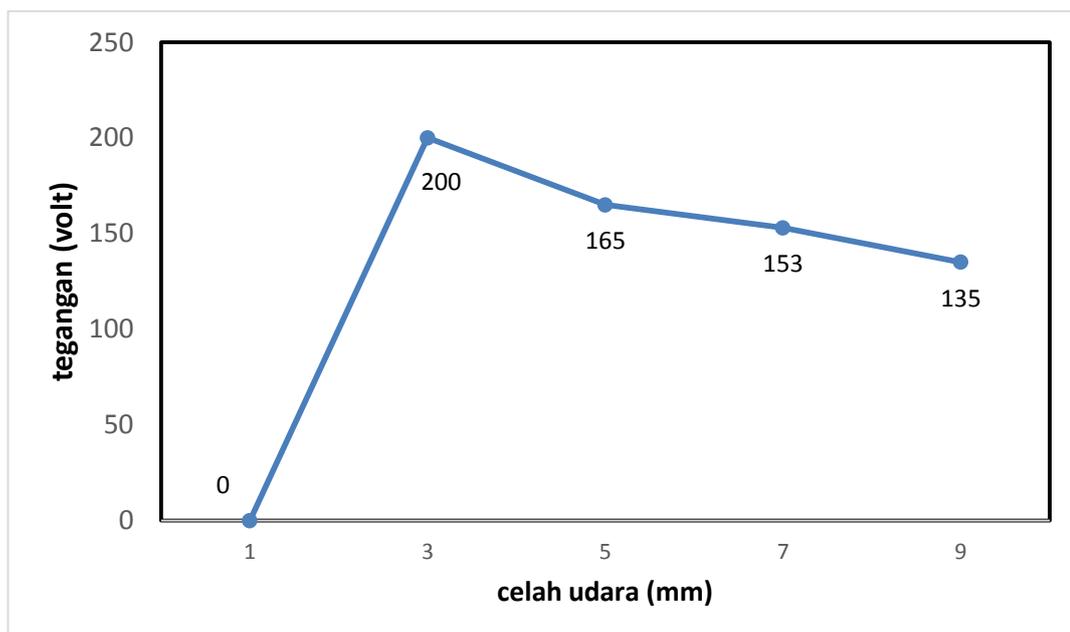
**Gambar 4. 8 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm**

4. Kecepatan 400 rpm

Tabel 4. 9 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)
400	1	0
	3	200
	5	165
	7	153
	9	135

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 400 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.9 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.9.

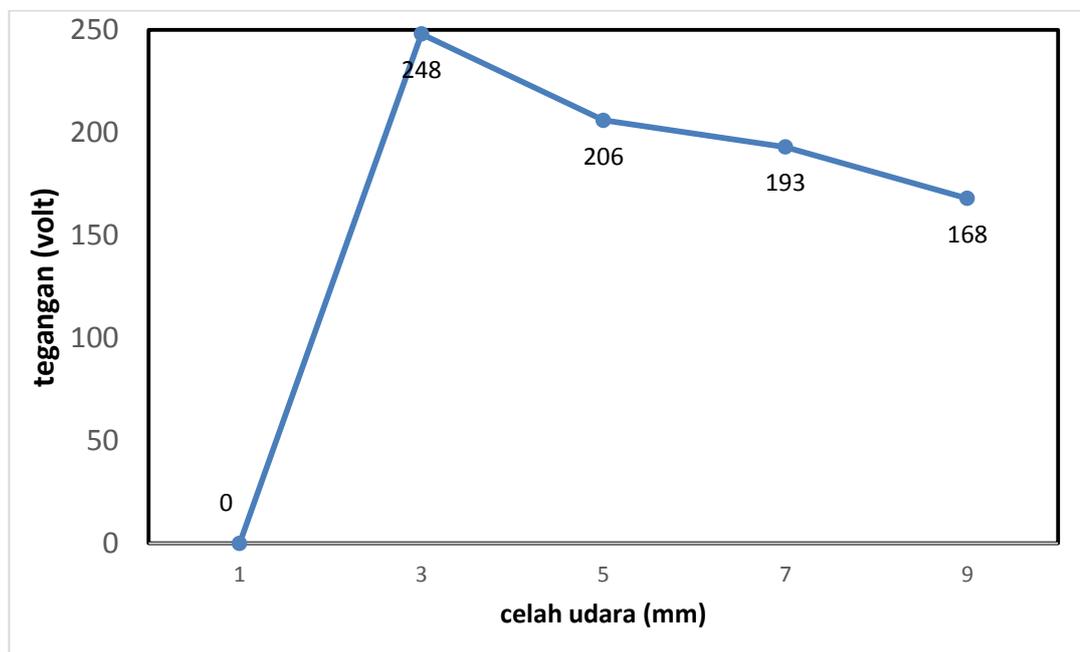
**Gambar 4. 9 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm**

5. Kecepatan 500 rpm

Tabel 4. 10 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)
500	1	0
	3	248
	5	206
	7	193
	9	168

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 500 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.10 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.10.

**Gambar 4. 10 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm****4.3.2. Hasil Pengujian Berbeban**

Proses pengujian generator tanpa beban terlampir pada lampiran 6. Berdasarkan penelitian generator magnet permanen fluks aksial menggunakan beban lampu 30 watt dengan variabel celah udara, didapatkan data sebagai berikut

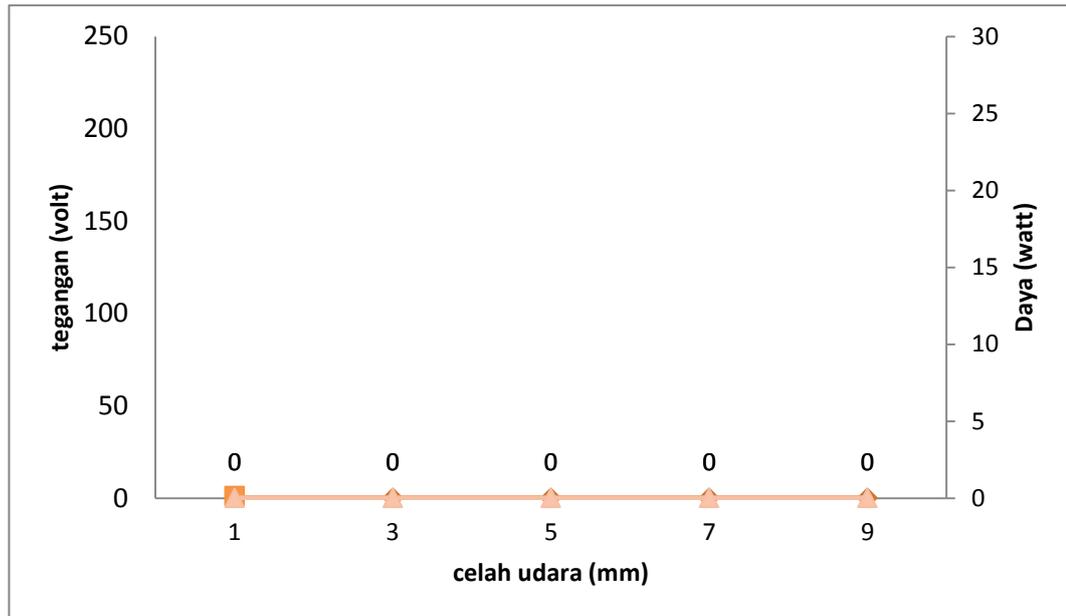
A. Berdasarkan jarak celah udara

1. Jarak celah udara 1 mm

Tabel 4. 11 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 1 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
100	1	-	-	-
200		-	-	-
400		-	-	-
400		-	-	-
500		-	-	-

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 1 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.11 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.11.



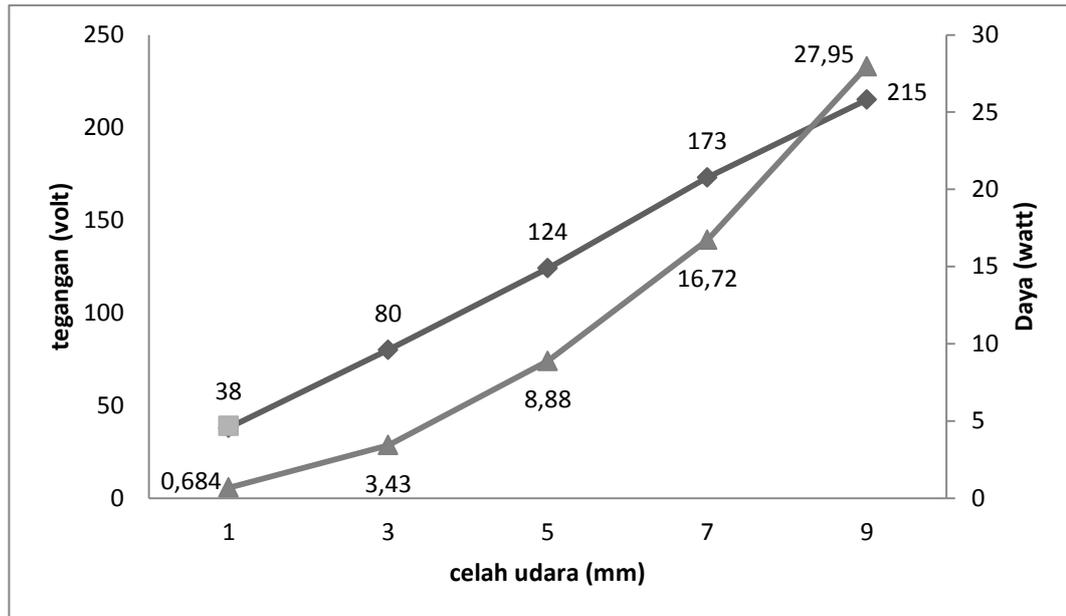
Gambar 4.11 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 1 mm

2. Jarak celah udara 3 mm

Tabel 4.12 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 3 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
100	3	38	0,018	0,684
200		80	0,049	3,43
400		124	0,08	8,88
400		173	0,11	16,72
500		215	0,13	23,92

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 3 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.12 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.12.



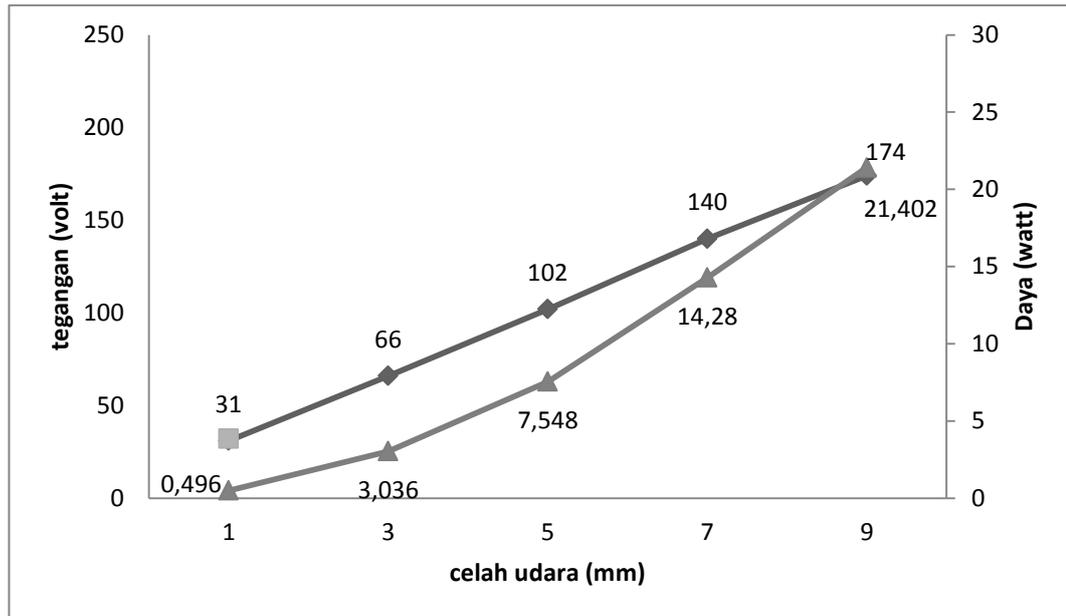
Gambar 4. 12 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 3 mm

3. Jarak celah udara 5 mm

Tabel 4. 13 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 5 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
100	5	31	0,016	0,496
200		66	0,046	3,036
400		102	0,074	7,548
400		140	0,102	14,28
500		174	0,123	21,402

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 9 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.13 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.13.



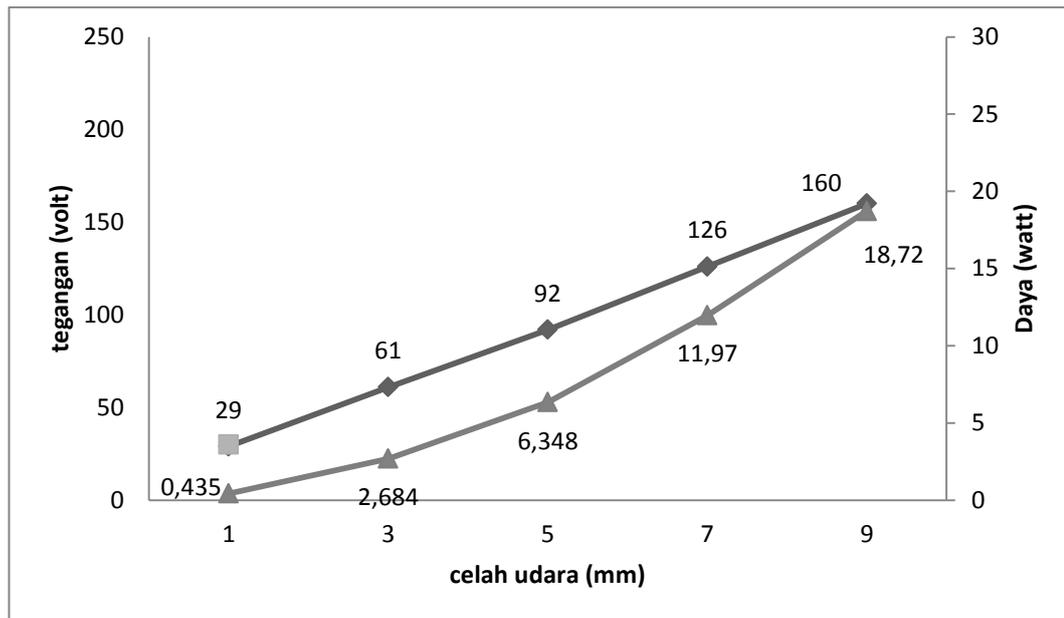
Gambar 4. 13 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 5 mm

4. Jarak celah udara 7 mm

Tabel 4. 14 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 11 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
100	7	29	0,015	0,435
200		61	0,044	2,684
400		92	0,069	6,348
400		126	0,095	11,97
500		160	0,117	18,72

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 7 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.14 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.14.



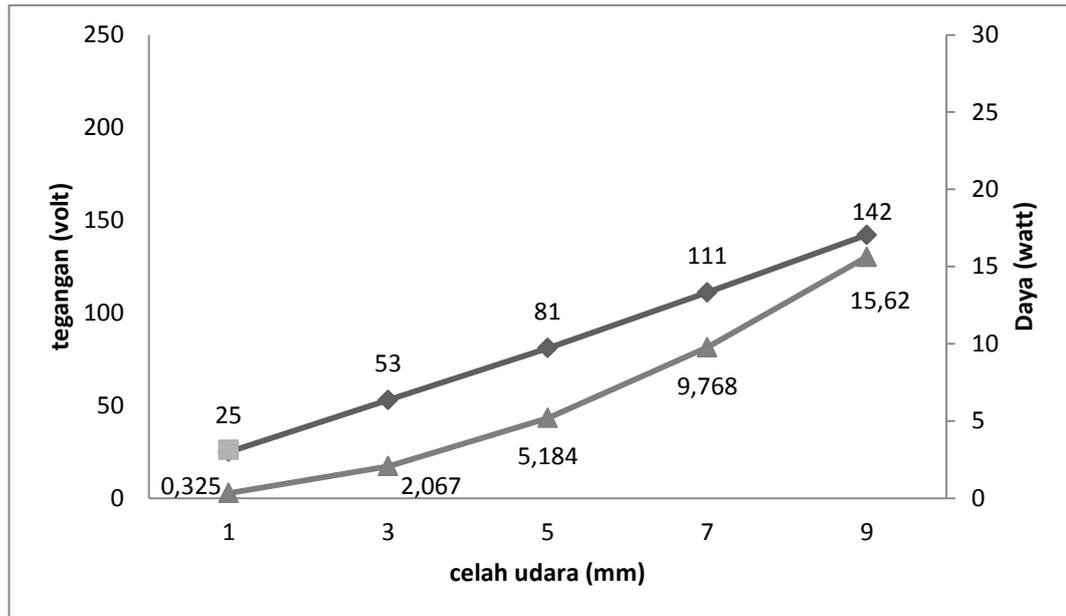
Gambar 4. 14 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 7 mm

5. Jarak celah udara 9 mm

Tabel 4. 15 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 9 mm

Putaran (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
100	9	25	0,013	0,325
200		53	0,039	2,067
400		81	0,064	5,184
400		111	0,088	9,768
500		142	0,110	15,62

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan jarak celah udara tetap yaitu 9 mm dengan variasi kecepatan putaran generator. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.15 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Hubungan antara Kecepatan Putar dengan Tegangan dan Daya saat Celah Udara 9 mm

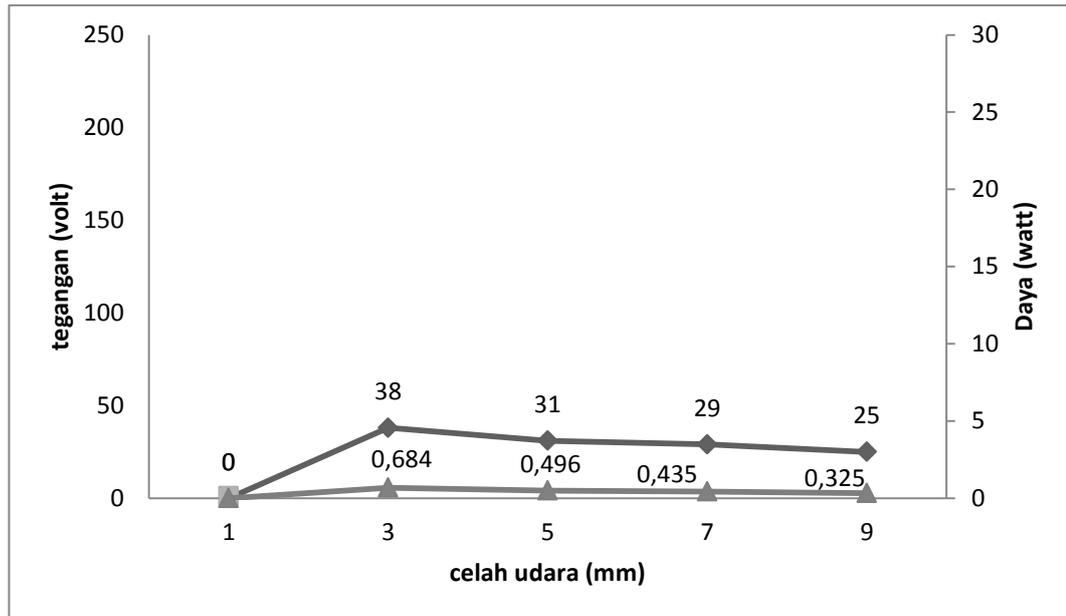
B. Berdasarkan Kecepatan Putar

1. Kecepatan 100 rpm

Tabel 4. 16 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 100 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
100	1	0	0	0
	3	38	0,018	0,684
	5	31	0,016	0,496
	7	29	0,015	0,435
	9	25	0,013	0,325

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 100 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.16 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.16.



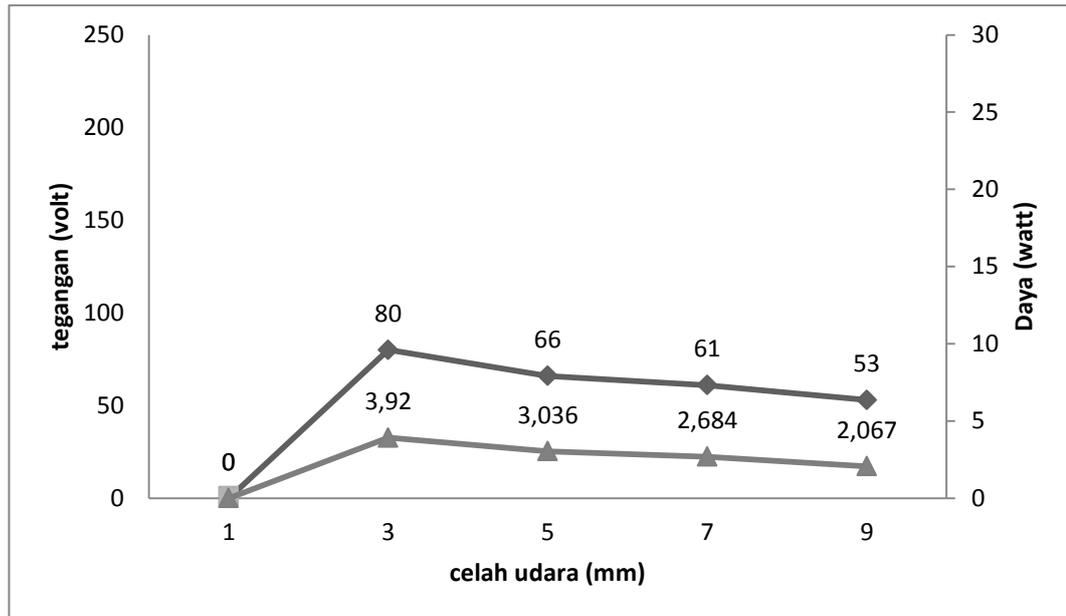
Gambar 4. 16 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 100 rpm

2. Kecepatan 200 rpm

Tabel 4. 17 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 200 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
200	1	0	0	0
	3	80	0,049	3,92
	5	66	0,046	3,036
	7	61	0,044	2,684
	9	53	0,039	2,067

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 200 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.17 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.17.



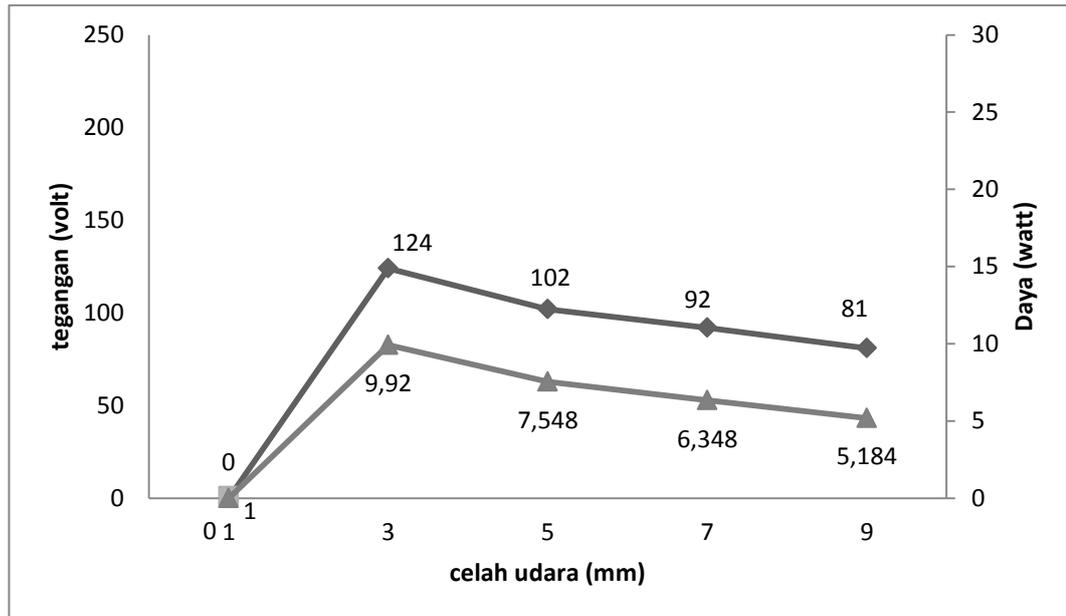
Gambar 4. 17 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 200 rpm

3. Kecepatan 300 rpm

Tabel 4. 18 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 300 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
300	1	0	0	0
	3	124	0,08	9,92
	5	102	0,074	7,548
	7	92	0,069	6,348
	9	81	0,064	5,184

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 300 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.18 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.18.



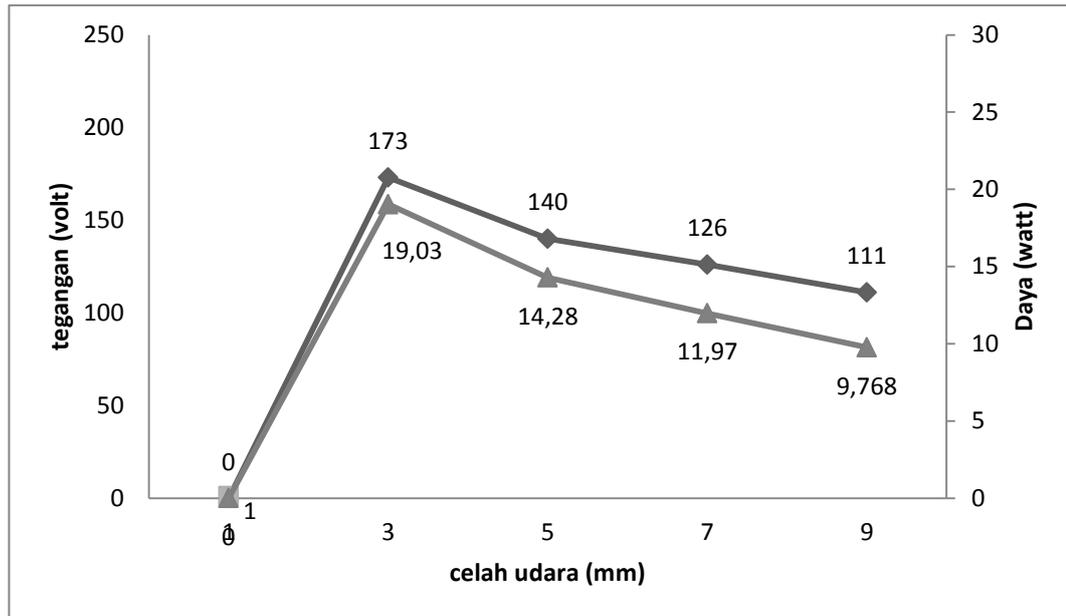
Gambar 4. 18 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 300 rpm

4. Kecepatan 400 rpm

Tabel 4. 19 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 400 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
400	1	0	0	0
	3	173	0,11	19,03
	5	140	0,102	14,28
	7	126	0,095	11,97
	9	111	0,088	9,768

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 400 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.19 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.19.



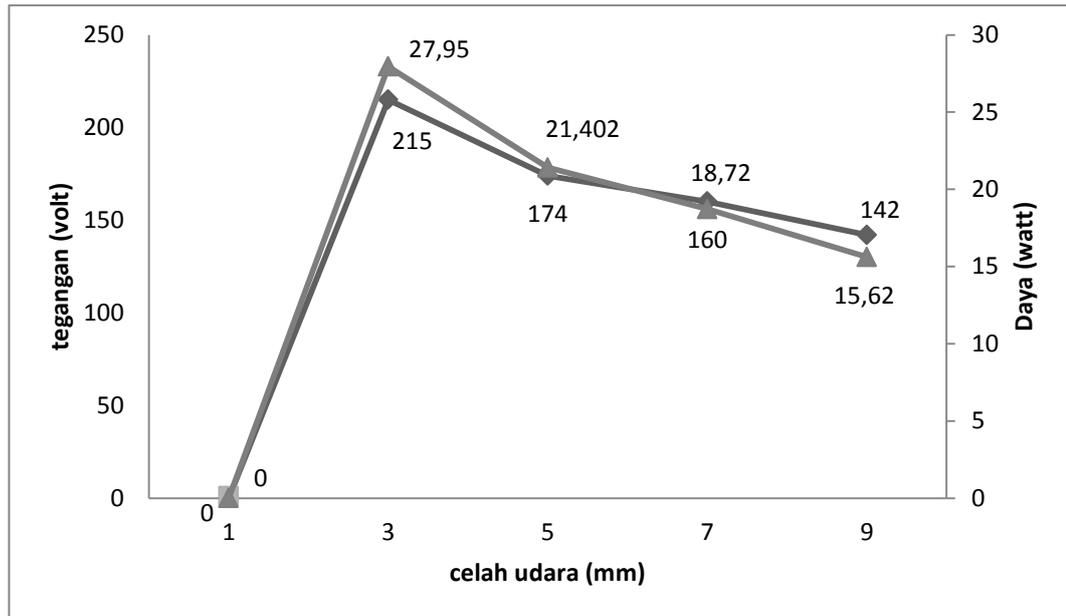
Gambar 4. 19 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 400 rpm

5. Kecepatan 500 rpm

Tabel 4. 20 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 500 rpm

Kecepatan putar (Rpm)	Celah udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
500	1	0	0	0
	3	215	0,13	27,95
	5	174	0,123	21,402
	7	160	0,117	18,72
	9	142	0,110	15,62

Pengujian pada jarak celah udara tersebut dilakukan sesuai dengan gambar 3.5. Pengujian ini menggunakan kecepatan putar tetap yaitu 500 rpm dengan variasi jarak celah udara. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.20 dan besarnya pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Hubungan antara Celah Udara dengan Tegangan dan Daya saat Kecepatan Putar 500 rpm

4.1.3. Nilai Regulasi Tegangan

Regulasi tegangan adalah Persentasi kenaikan tegangan, pada kondisi eksitasi konstan ketika beban di lepas. Semakin besar regulasi tegangan maka semakin buruklah kualitas tegangan pada sisi beban dan begitu juga sebaliknya.

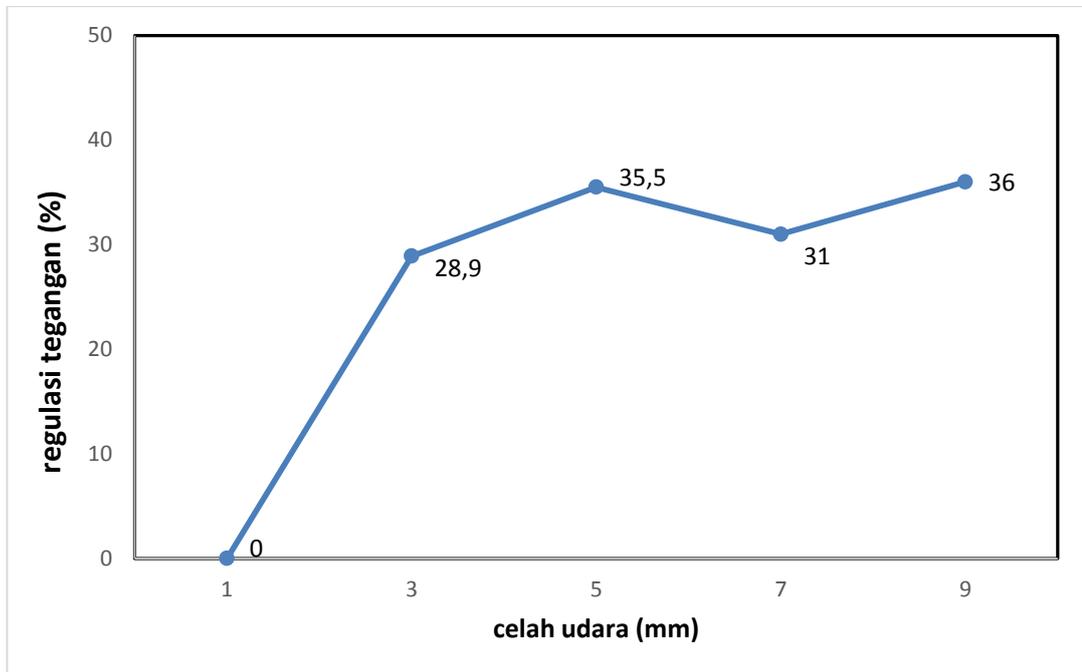
1. Kecepatan putar 100 Rpm

Tabel 4. 21 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm

Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	V_{NL} (Volt)	V_{FL} (Volt)	V_{Reg} (%)
100	1	0	0	0
	3	49	38	28,9
	5	42	31	35,5
	7	38	29	31,0
	9	34	25	36,0

Data hasil pengujian regulasi tegangan dapat dilihat pada tabel 4.21 dan digambarkan pada gambar 4.21. Berdasarkan tabel 4.21 dapat dilihat jarak celah udara yang memiliki regulasi tegangan terbaik pada kecepatan putar 100 rpm

adalah jarak 3 mm, sementara regulasi tegangan yang terburuk adalah saat celah udara 9 mm.



Gambar 4. 21 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 100 rpm

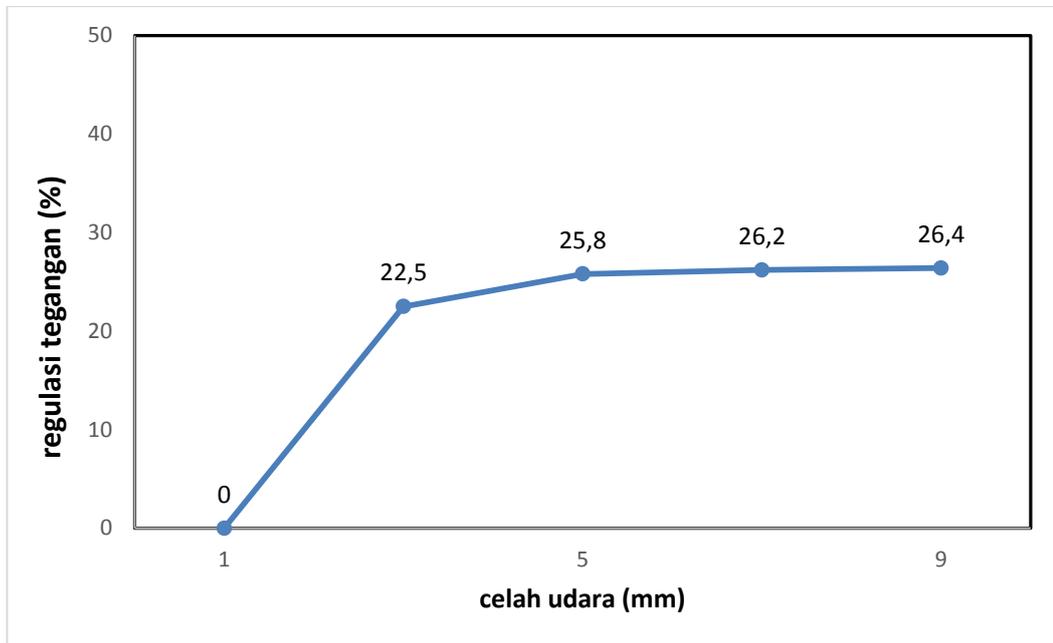
2. Kecepatan putar 200 Rpm

Tabel 4. 22 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 200 rpm

Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	V_{NL} (Volt)	V_{FL} (Volt)	V_{Reg} (%)
200	1	0	0	0
	3	98	80	22,5
	5	83	66	25,8
	7	77	61	26,2
	9	67	53	26,4

Data hasil pengujian regulasi tegangan dapat dilihat pada tabel 4.22 dan digambarkan pada gambar 4.22. Berdasarkan tabel 4.22 dapat dilihat jarak celah udara yang memiliki regulasi tegangan terbaik pada kecepatan putar 200 rpm

adalah jarak 3 mm, sementara regulasi tegangan yang terburuk adalah saat celah udara 9 mm.



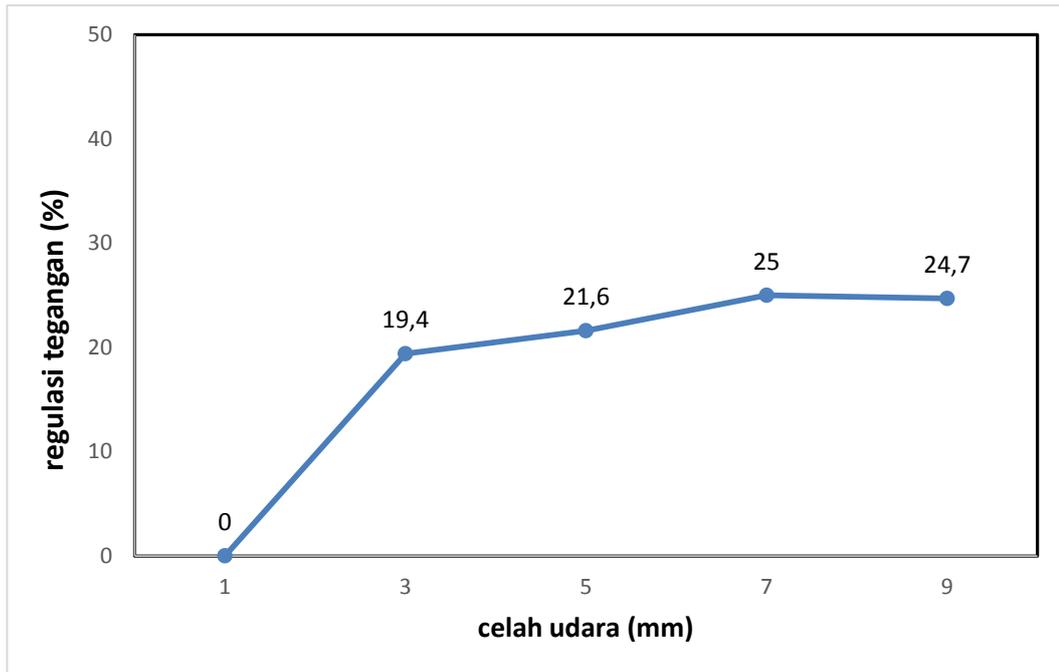
Gambar 4. 22 Hasil Peng Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar ujian 200 rpm

3. Kecepatan putar 300 Rpm

Tabel 4. 23 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm

Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	V_{NL} (Volt)	V_{FL} (Volt)	V_{Reg} (%)
400	1	0	0	0
	3	148	124	19,4
	5	124	102	21,6
	7	115	92	25,0
	9	101	81	24,7

Data hasil pengujian regulasi tegangan dapat dilihat pada tabel 4.23 dan digambarkan pada gambar 4.23. Berdasarkan tabel 4.23 dapat dilihat jarak celah udara yang memiliki regulasi tegangan terbaik pada kecepatan putar 300 rpm adalah jarak 3 mm, sementara regulasi tegangan yang terburuk adalah saat celah udara 7 mm.



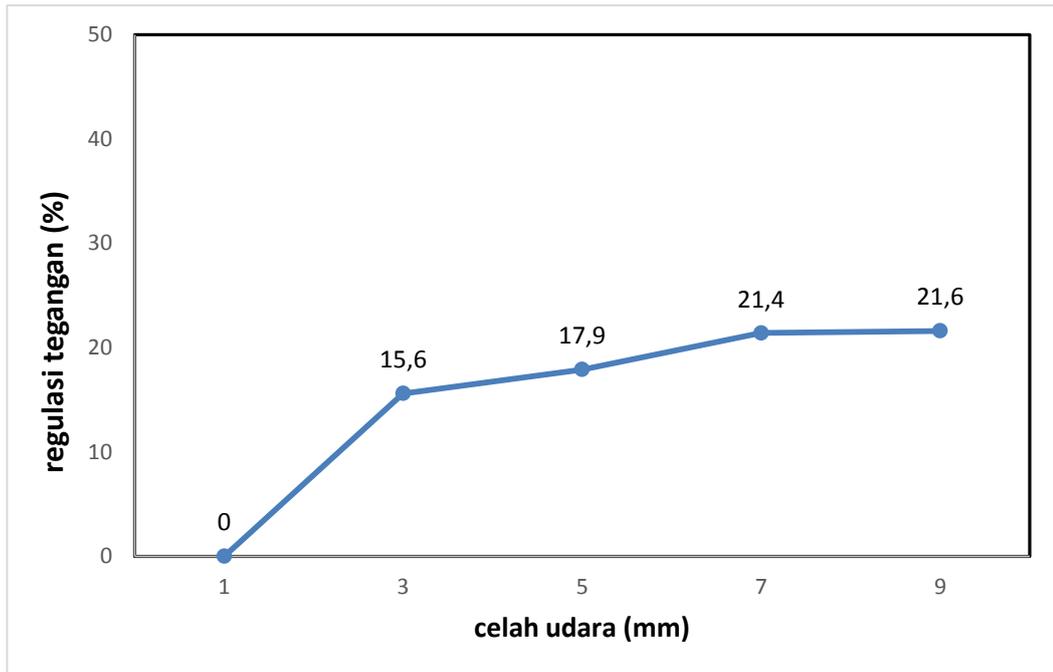
Gambar 4. 23 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 300 rpm

4. Kecepatan putar 400 Rpm

Tabel 4. 24 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm

Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	V_{NL} (Volt)	V_{FL} (Volt)	V_{Reg} (%)
400	1	0	0	0
	3	200	173	15,6
	5	165	140	17,9
	7	153	126	21,4
	9	135	111	21,6

Data hasil pengujian regulasi tegangan dapat dilihat pada tabel 4.24 dan digambarkan pada gambar 4.24. Berdasarkan tabel 4.24 dapat dilihat jarak celah udara yang memiliki regulasi tegangan terbaik pada kecepatan putar 400 rpm adalah jarak 3 mm, sementara regulasi tegangan yang terburuk adalah saat celah udara 9 mm.



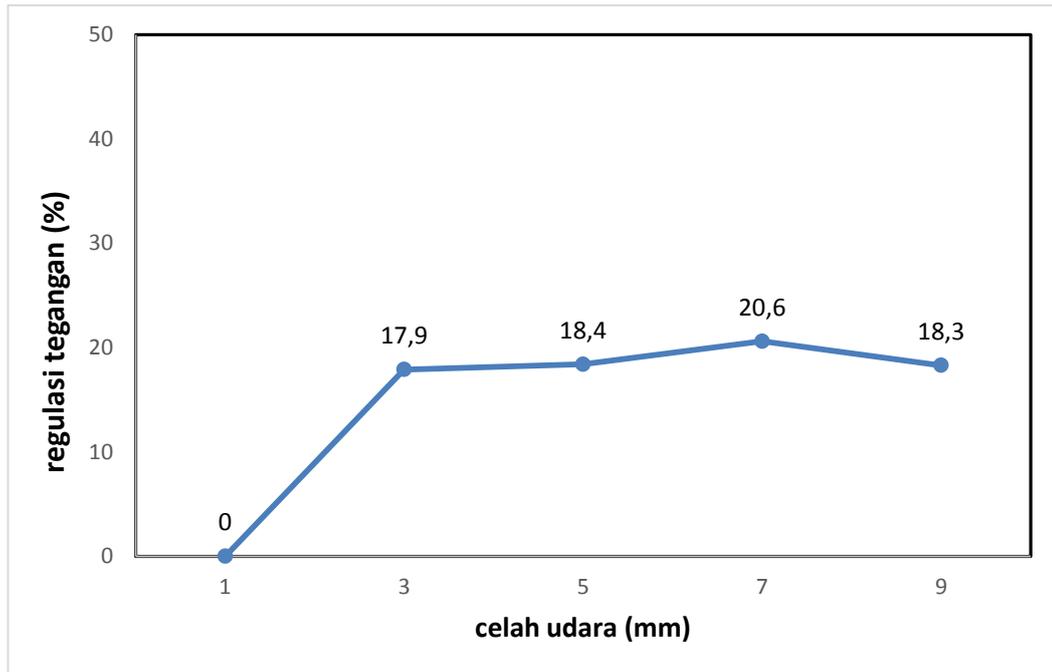
Gambar 4. 24 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 400 rpm

5. Kecepatan putar 500 Rpm

Tabel 4. 25 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm

Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	V_{NL} (Volt)	V_{FL} (Volt)	V_{Reg} (%)
500	1	0	0	0
	3	248	215	15,3
	5	206	174	18,4
	7	193	160	20,6
	9	168	142	18,3

Data hasil pengujian regulasi tegangan dapat dilihat pada tabel 4.25 dan digambarkan pada gambar 4.25. Berdasarkan tabel 4.25 dapat dilihat jarak celah udara yang memiliki regulasi tegangan terbaik pada kecepatan putar 500 rpm adalah jarak 3 mm, sementara regulasi tegangan yang terburuk adalah saat celah udara 7 mm.



Gambar 4. 25 Hubungan antara Celah Udara dengan Regulasi Tegangan saat Kecepatan Putar 500 rpm

4.4 Pembahasan

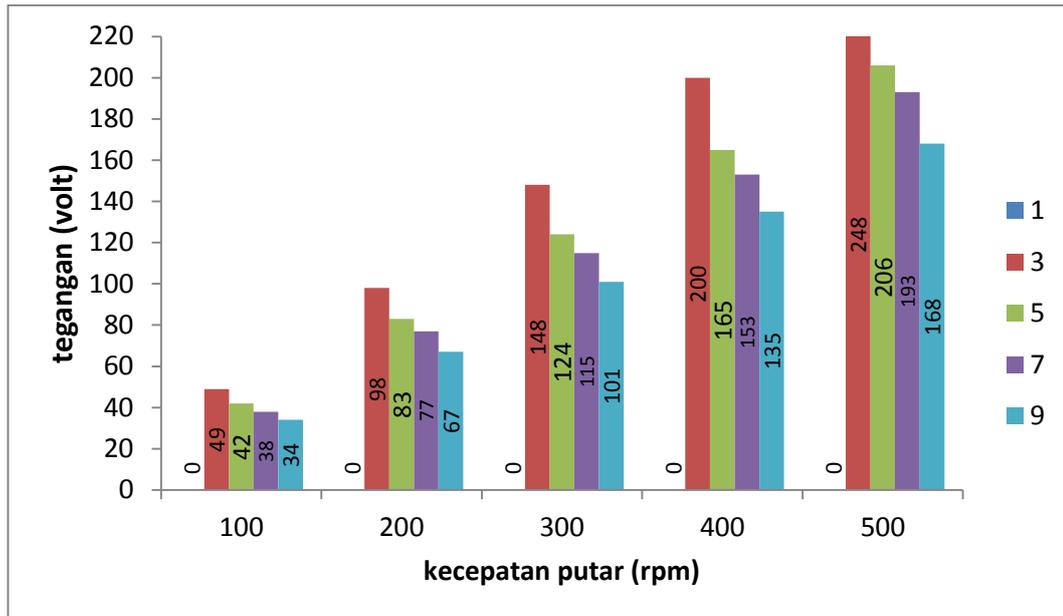
Pada penelitian ini digunakan 2 kondisi pengujian yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban. Pengujian tanpa beban bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimum yang dapat dihasilkan oleh generator saat belum diberi beban. Pengujian menggunakan jarak celah udara sebagai variabel kontrol.

Pengelompokan hasil pengujian akan menunjukkan hubungan yang diberikan oleh jarak celah udara dan kecepatan putar. Hasil pengujian tanpa beban disajikan pada tabel 4.26 dan gambar 4.26 menunjukkan diagram batang dari perbedaan jarak celah udara dapat mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan saat kondisi tanpa beban.

Berdasarkan gambar 4.26 terlihat bahwa tegangan tertinggi didapat saat celah udara 3 mm pada kecepatan 500 rpm dan pada celah udara 1 mm tidak ada tegangan yang dihasilkan karena generator tidak berputar. Dari setiap kenaikan jarak celah udara yang dimulai saat celah udara 3 mm, terjadi penurunan tegangan yang bervariasi. Pada kecepatan 100 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 9,52% sampai 14,29%, pada kecepatan 200 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 7,23% sampai 12,99%, pada kecepatan 300 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 7,26% sampai 16,22%, pada kecepatan 400 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 7,27% sampai 17,50% dan pada kecepatan 500 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 6,31% sampai 16,94%.

Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Tanpa Beban

Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)
100	1	0
	3	49
	5	42
	7	38
	9	34
200	1	0
	3	98
	5	83
	7	77
	9	67
300	1	0
	3	148
	5	124
	7	115
	9	101
400	1	0
	3	200
	5	165
	7	153
	9	135
500	1	0
	3	248
	5	206
	7	193
	9	168



Gambar 4. 26 Hasil Pengujian Tanpa Beban

Setelah melakukan pengujian pada generator tanpa beban, maka selanjutnya adalah melakukan pengujian pada generator berbeban. Langkah pengujian sama dengan langkah pengujian pada generator tanpa beban, hanya saja ditambahkan beban lampu 30 watt. Hasil pengujian generator berbeban disajikan pada tabel 4.27 dan gambar 4.27 menunjukkan diagram batang dari perbedaan jarak celah udara dapat mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan saat kondisi berbeban.

Berdasarkan gambar 4.27 terlihat bahwa tegangan tertinggi didapat saat celah udara 3 mm pada kecepatan 500 rpm dan pada celah udara 1 mm tidak ada tegangan yang dihasilkan karena generator tidak berputar. Dari setiap kenaikan jarak celah udara yang dimulai saat celah udara 3 mm, terjadi penurunan tegangan yang bervariasi. Pada kecepatan 100 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 6,45% sampai 18,42%, pada kecepatan 200 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 7,58% sampai 17,50%, pada kecepatan 300 rpm terjadi penurunan tegangan

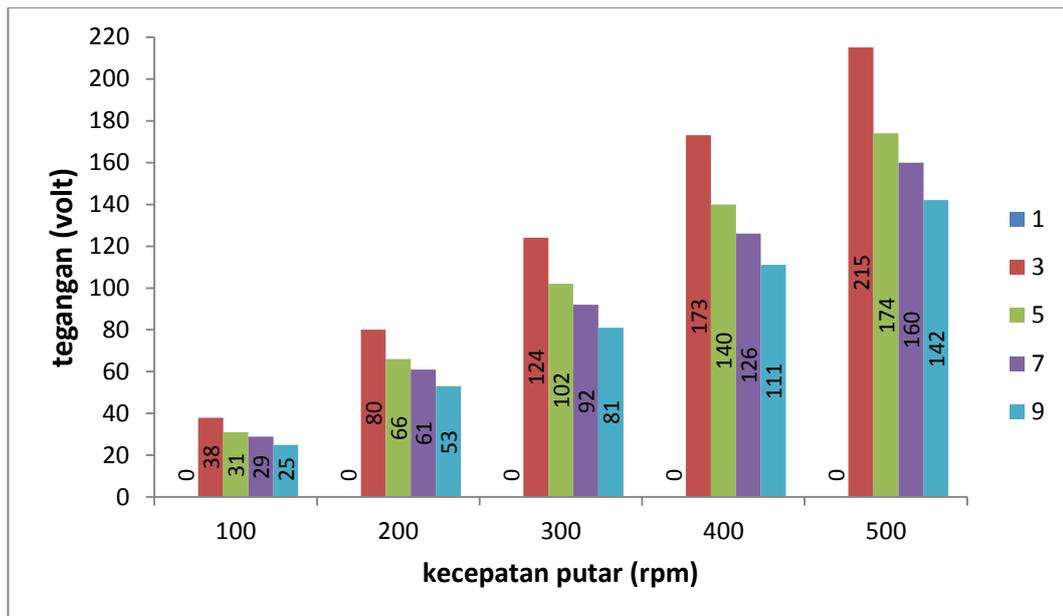
mulai dari 9,80% sampai 17,74%, pada kecepatan 400 rpm terjadi penurunan mulai dari 10% sampai 19,08% dan pada kecepatan 500 rpm terjadi penurunan tegangan mulai dari 8,05% sampai 19%.

Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Berbeban

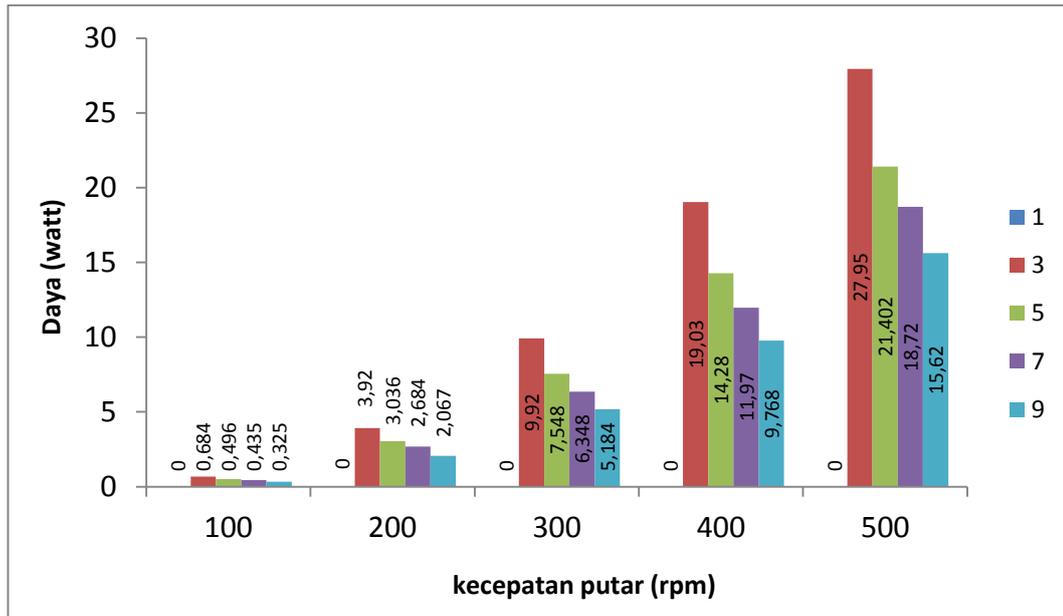
Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)
100	1	0	0	0
	3	38	0,018	0,684
	5	31	0,016	0,496
	7	29	0,015	0,435
	9	25	0,013	0,325
200	1	0	0	0
	3	80	0,049	3,92
	5	66	0,046	3,036
	7	61	0,044	2,684
	9	53	0,039	2,067
300	1	0	0	0
	3	124	0,08	9,92
	5	102	0,074	7,548
	7	92	0,069	6,348
	9	81	0,064	5,184
400	1	0	0	0
	3	173	0,11	19,03
	5	140	0,102	14,28
	7	126	0,095	11,97
	9	111	0,088	9,768
500	1	0	0	0
	3	215	0,13	27,95
	5	174	0,123	21,402
	7	160	0,117	18,72
	9	142	0,110	15,62

Berdasarkan gambar 4.28 daya yang dihasilkan generator mengalami penurunan seiring dengan kenaikan celah udara tiap 2 mm. Nilai penurunan daya yang dimulai saat celah udara 3 mm, pada kecepatan 100 Rpm berkisar antara 12,3% sampai 27,49%, pada kecepatan 200 Rpm berkisar antara 11,59% sampai

22,99%, pada kecepatan 300 Rpm berkisar antara 15,90% sampai 23,91%, pada kecepatan 400 Rpm berkisar antara 16,18% sampai 24,96% dan pada kecepatan 500 Rpm berkisar antara 12,53% sampai 23,43%. Penurunan nilai daya diakibatkan oleh penurunan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator tiap kenaikan celah udara 2 mm.

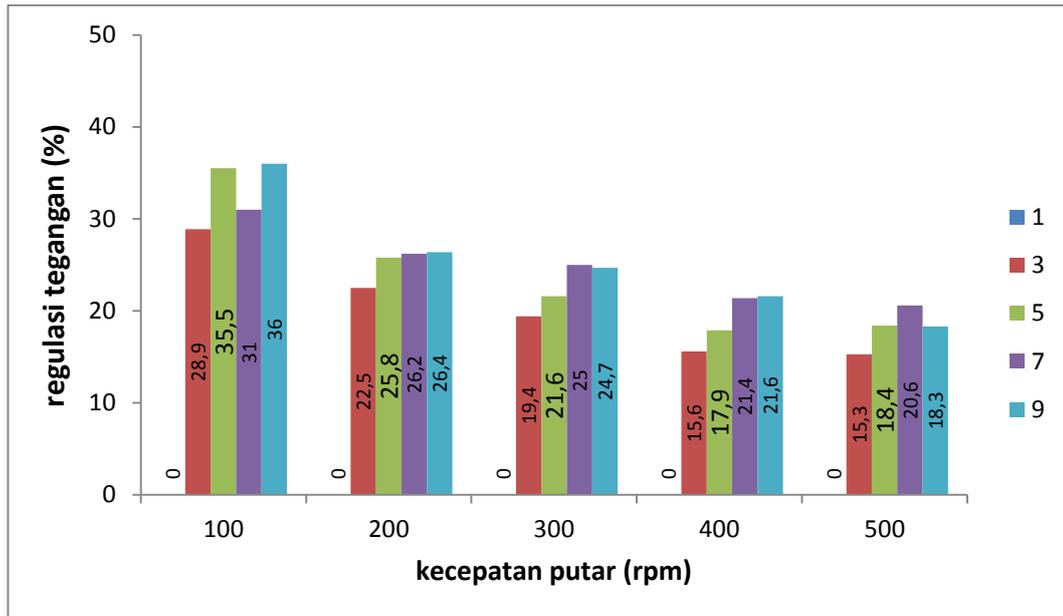


Gambar 4. 27 Hasil Pengujian Berbeban



Gambar 4. 28 Hasil Penghitungan Daya

Berdasarkan pada gambar 4.29 regulasi tegangan yang terbaik adalah saat celah udara 3 mm pada kecepatan 500 Rpm yaitu sebesar 15,3%, sementara itu regulasi tegangan yang terburuk adalah saat celah udara 9 mm pada kecepatan 100 Rpm sebesar 36%. Semakin kecil nilai regulasi tegangan maka semakin baik, namun semakin besar regulasi tegangan maka kualitas tegangan yang dihasilkan semakin buruk.

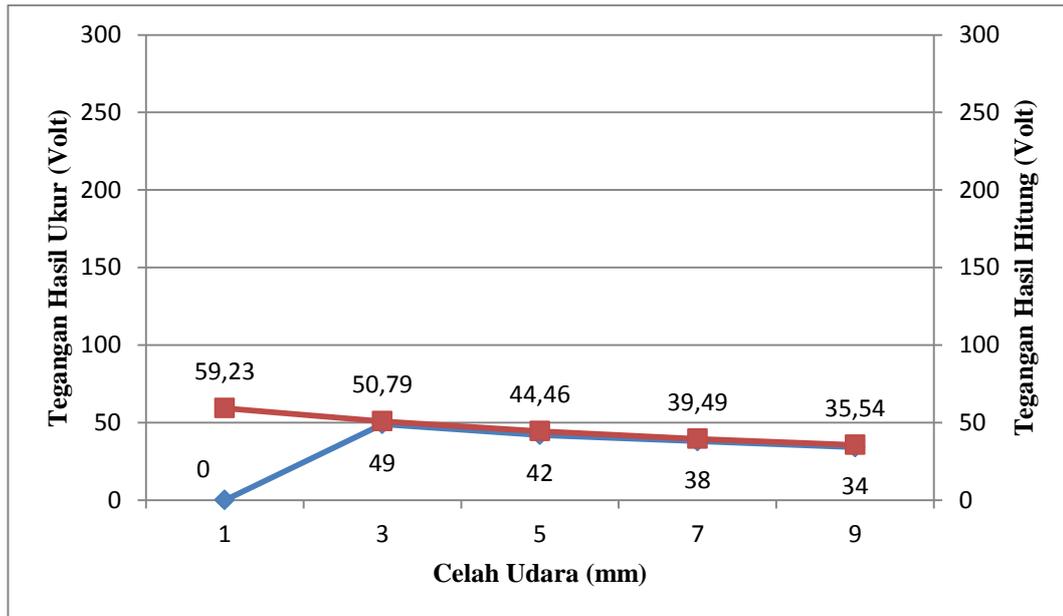


Gambar 4. 29 Hasil Regulasi Tegangan

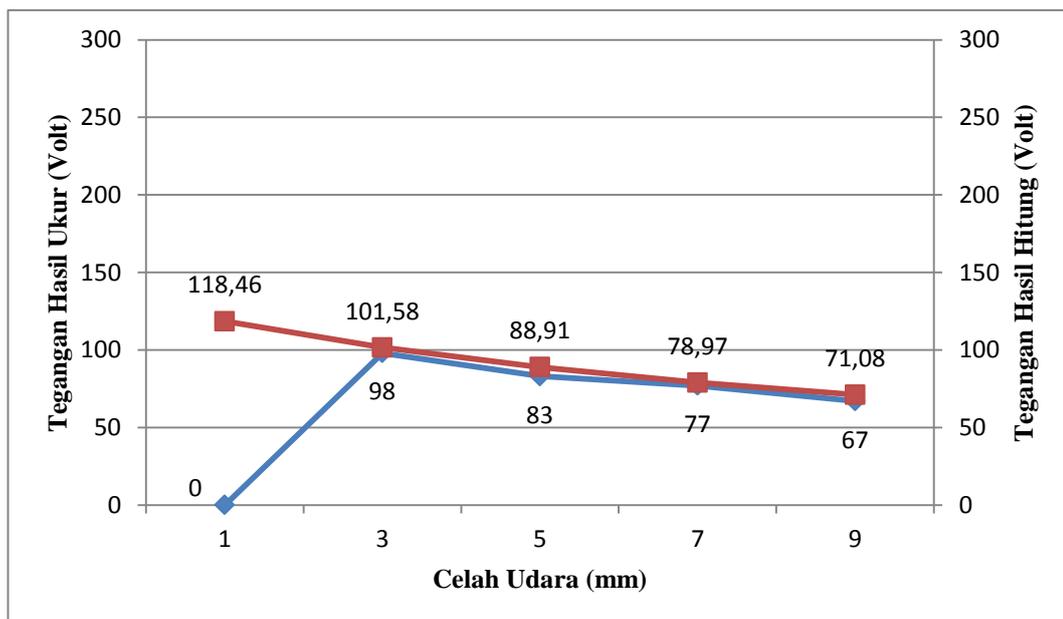
Ada kalanya terdapat perbedaan antara nilai tegangan hasil pengukuran dengan nilai tegangan hasil penghitungan dengan rumus. Perbedaan antara nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 4.28 dan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 dan 4.34. Nilai tegangan hasil penghitungan dengan rumus terdapat pada lampiran 7.

Tabel 4. 28 Hasil Perbandingan antara Perhitungan dengan Pengukuran

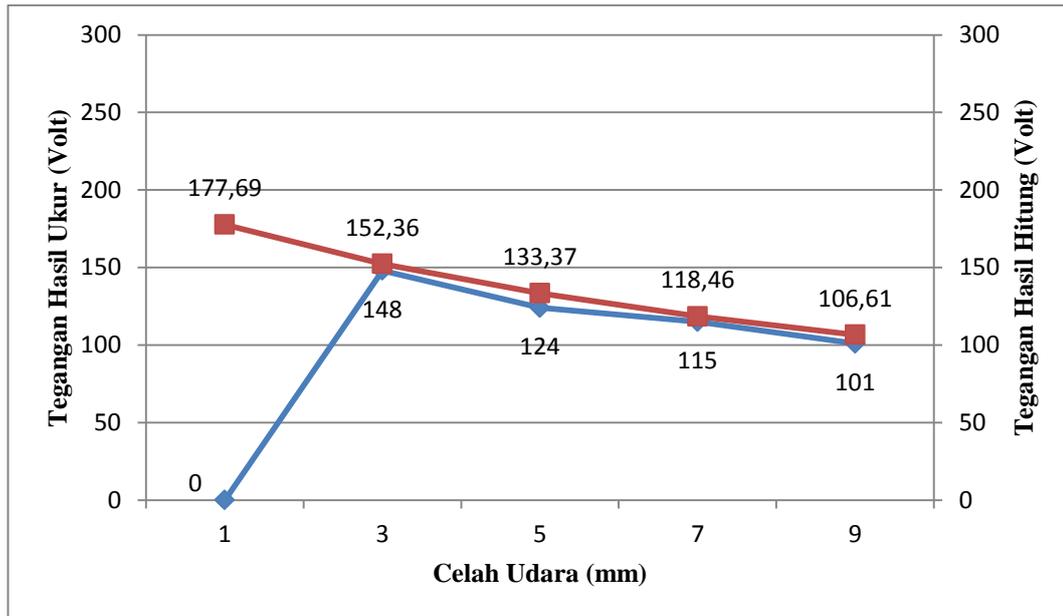
Kecepatan Putar (Rpm)	Celah Udara (mm)	Tegangan Hasil Pengukuran (Volt)	Tegangan Hasil Perhitungan (Volt)
100	1	0	59,23
	3	49	50,79
	5	42	44,46
	7	38	39,49
	9	34	35,54
200	1	0	118,46
	3	98	101,58
	5	83	88,91
	7	77	78,97
	9	67	71,08
300	1	0	177,69
	3	148	152,36
	5	124	133,37
	7	115	118,46
	9	101	106,61
400	1	0	236,92
	3	200	203,15
	5	165	177,82
	7	153	157,95
	9	135	142,15
500	1	0	296,15
	3	248	253,94
	5	206	222,28
	7	193	197,43
	9	168	177,69



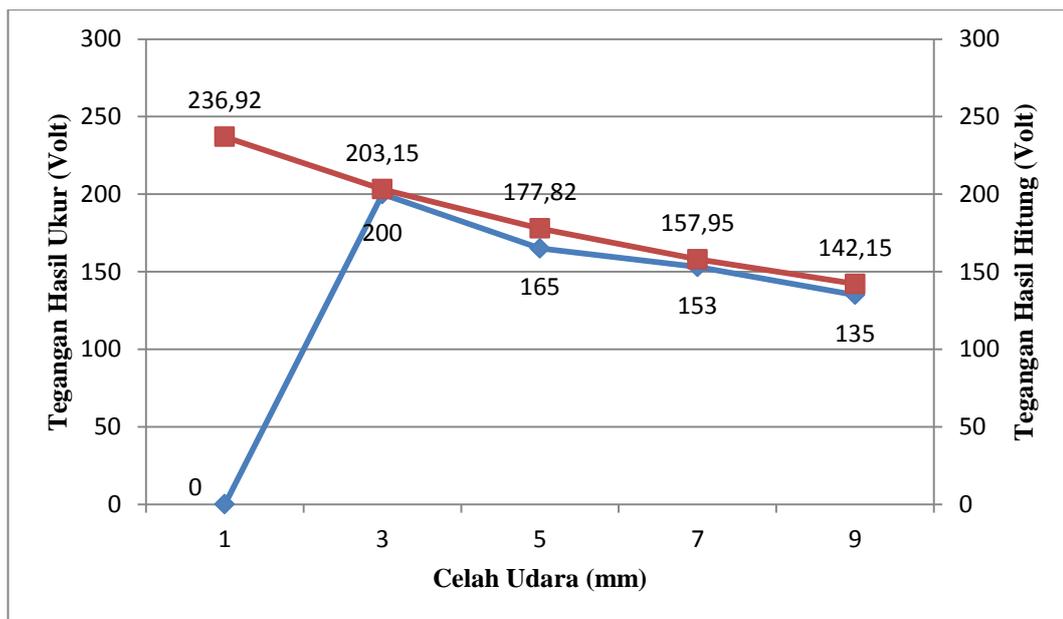
Gambar 4. 30 Perbandingan Tegangan Pada 100 rpm



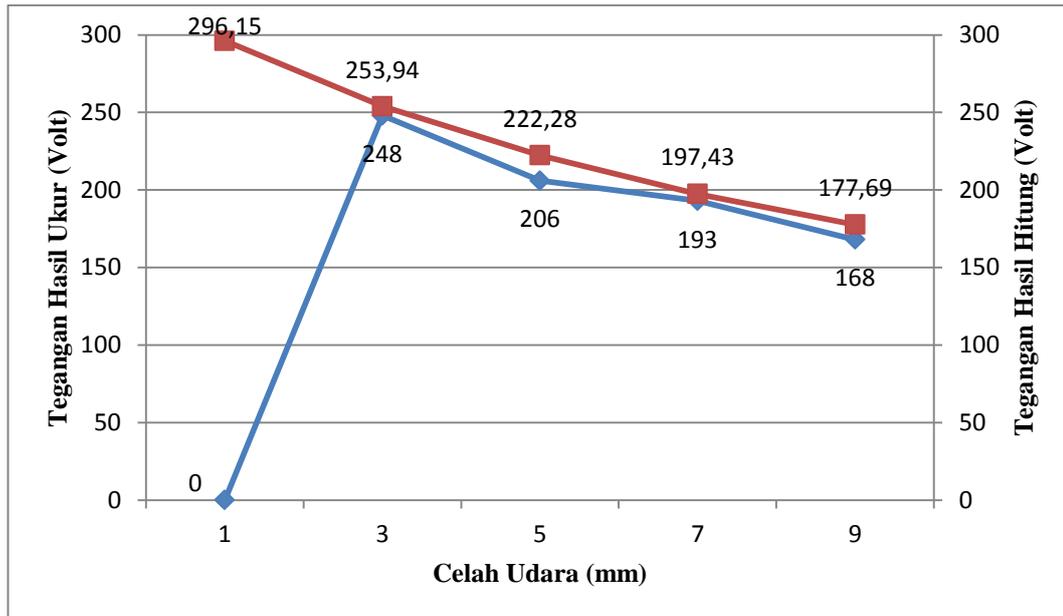
Gambar 4. 31 Perbandingan Tegangan Pada 200 rpm



Gambar 4. 32 Perbandingan Tegangan Pada 300 rpm



Gambar 4. 33 Perbandingan Tegangan Pada 400 rpm



Gambar 4. 34 Perbandingan Tegangan Pada 500 rpm

Berdasarkan hasil hitung menggunakan rumus, tegangan tertinggi didapat pada celah udara 1 mm. Artinya, semakin rapat jarak celah udara, maka semakin tinggi nilai tegangan yang dihasilkan. Namun, setelah dilakukan uji coba yang disajikan pada tabel 4.26 dan 4.27 ternyata pada jarak celah udara 1 mm generator tidak dapat bekerja akibat terlalu rapatnya jarak celah udara sehingga tidak memungkinkan rotor untuk bergerak maka tidak ada nilai tegangan yang dibangkitkan oleh generator.

Kelebihan dari produk ini yaitu telah mampu menghasilkan tegangan listrik yang sesuai dengan kebutuhan rumah tangga pada kecepatan putar rendah atau dibawah 1000 rpm. Namun, kekurangan dari produk ini yaitu kurangnya *balancing* pada rotor saat rotor diputar yang menyebabkan saat jarak celah udara 3 mm sering terjadi gesekan antara rotor dan stator.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji performa generator magnet permanen fluks aksial, dapat ditarik kesimpulan hasil penelitian yaitu :

1. Pada penelitian ini telah berhasil membuat generator magnet permanen fluks aksial satu fasa tipe satu tingkat (*single stage*) menggunakan 8 buah magnet permanen NdFeb dan 9 buah kumparan.
2. Jarak celah udara yang optimum adalah 5 mm karena pada jarak 1 mm generator tidak bekerja dengan baik bahkan tidak berputar dan pada jarak 3 mm riskan terjadi gesekan antara rotor dan stator akibat dari konstruksi rotor yang kurang *balance*, sementara saat jarak celah udara diatas 5 mm tegangan dan daya yang dihasilkan kurang baik.
3. Kecepatan putar generator magnet permanen fluks aksial berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan oleh generator sementara jarak celah udara berbanding terbalik dengan tegangan yang dihasilkan oleh generator .
4. Nilai regulasi tegangan generator yang terburuk adalah saat celah udara 9 mm pada kecepatan putar 100 rpm yaitu sebesar 36%, sementara nilai regulasi tegangan yang terbaik yaitu saat celah udara 3 mm pada kecepatan putar 500 rpm yaitu sebesar 15,30%.

5.2. Saran

1. Saran secara teoritis

Penelitian ini butuh pengembangan lebih baik lagi karena masih banyak kekurangan baik dari segi akurasi maupun dari segi desain. Untuk akurasi masih belum baik karena alat ukur yang dibutuhkan belum tersedia semuanya sehingga harus mencari di tempat-tempat lain untuk mendapatkan alat ukurnya. Dari segi desain juga belum terlalu baik, desainnya masih butuh perbaikan lagi agar lebih efisien dan dapat digunakan di berbagai bidang dan situasi. Sesungguhnya peneliti masih dalam tahap belajar sehingga kesempurnaan yang sebenarnya masih sangat jauh untuk dicapai.

2. Saran secara praktis

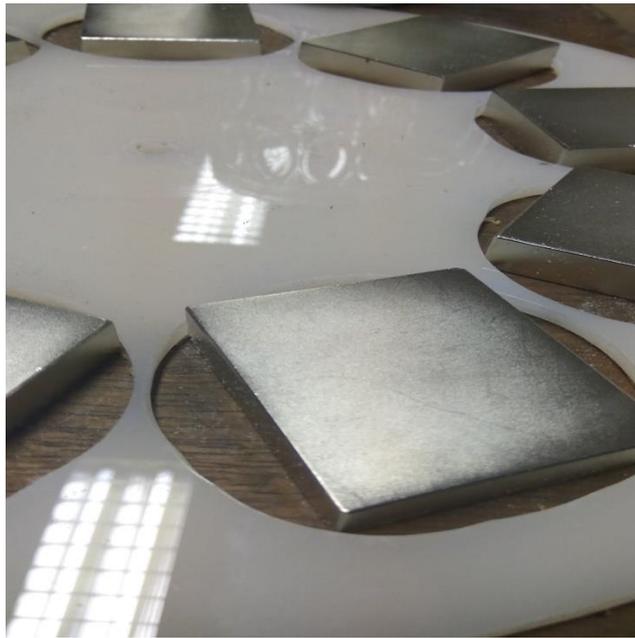
Pihak-pihak yang dapat dijadikan sasaran untuk mengembangkan yaitu pihak universitas sebagai lembaga institusi pendidikan tertinggi, lembaga penelitian, pusat-pusat pengkajian energi terbarukan, kementerian yang mengurus bagian energi dan masyarakat tentunya sebagai pusat konsumtif energi listrik atau dapat dikembangkan lagi oleh junior-junior di jurusan teknik elektro

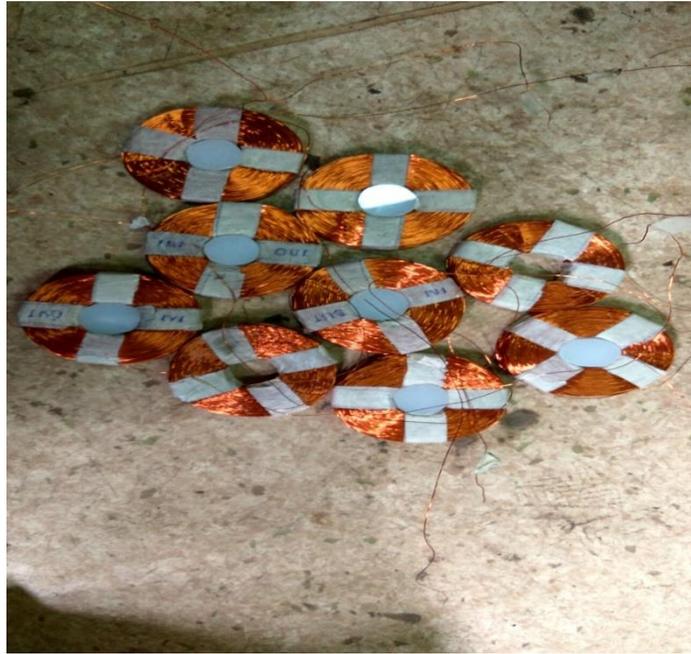
DAFTAR PUSTAKA

- Afza, Erini. 2011. Pembuatan Magnet Permanent Ba-Heksaferit($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) Dengan Metode Koopresipitasi dan Karakteristiknya. (Studi Kasus di Lembaga Ilmu Penelitian Indonesia, Jakarta). [Skripsi]. Medan: Universitas Sumatera Utara. Program Sarjana S-1.
- Ginting M., Muljadi, Sebayang, P., 2006, Pembuatan Magnet Permanen isotropic Berbasis, Nd-Fe-B dan Karakterisasinya, TEKNOLOGI INDONESIA, Volume 29, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- Irasari, P., Idayanti, N. 2007. Aplikasi Magnet Permanen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- Kurniawan, C., Hilda, A., Sebayang, P.. 2013. Analisis Sifat Mekanik dan Magnet terhadap Variasi Matriks Poliester dan Silicone Rubber pada Magnet Permanen Bonded Pr-Fe-B. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- Manaf, Azwar 2000, Magnet permanen Berbasis Nd-Fe-B, Pusat Penelitian dan Pengembangan IPTEK bahan, BATAN, Serpong, Tangerang.
- Nurhadi Arif , 2012. *skripsi : Perancangan Generator Putaran Rendah Magnet Permanen*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
- Oktavia, Lya 2014. Skripsi : Efek Variasi Waktu *Rotary Ball Mill* Pada Serbuk NdFeB Terhadap Mikrostruktur, Densitas, Dan Sifat Magnetnya. Medan: Universitas Sumatera Utara. Program Sarjana S-1.
- Pawan Sharma, T. S. Bhatti, K. S. S. Ramakrishnan. 2011. Permanent Magnet Induction Generators: An Overview. Indian Institute of Technology Delhi
- Prasetijo, H., Walujo S. 2014. *Prototipe Generator Magnet Permanen Axial Ac 1 Fasa Putaran Rendah Sebagai Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro*, Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto
- Pujowidodo, H., Helian J. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen*, Departemen Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Tinjo, Raja. 2010. *Optimasi Jarak Celah Udara Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Aksial Rotor Cakram Stator Tanpa Inti*, Program Sarjana, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

LAMPIRAN

Lampiran 1. Magnet Neodymium	94
Lampiran 2. Perancangan Rotor Dan Stator	95
Lampiran 3. Tabel Arus	96
Lampiran 4. Instrumen Pengukuran	97
Lampiran 5. Pengujian Tanpa Beban	99
Lampiran 6. Pengujian Berbeban	100
Lampiran 7. Tegangan Hasil Perhitungan	101

LAMPIRAN 1. MAGNET NEODYMIUM

LAMPIRAN 2. PERANCANGAN ROTOR DAN STATOR

LAMPIRAN 3. TABEL ARUS

Diameter (mm)	Arus Maks. A	Diameter (mm)	Arus Maks. A
0,1	0,024	0,7	1,16
0,15	0,053	0,8	1,51
0,2	0,094	0,9	1,91
0,25	0,147	1	2,36
0,3	0,212	1,5	5,3
0,35	0,298	2	9,42
0,4	0,377	2,5	14,73
0,45	0,477	3	21,2
0,5	0,588	3,5	28,86
0,6	0,849	4	37,71

LAMPIRAN 4. INSTRUMEN PENGUJIAN



LAMPIRAN 5. PENGUJIAN TANPA BEBAN

LAMPIRAN 6. PENGUJIAN BERBEBAN

LAMPIRAN 7. TEGANGAN HASIL PERHITUNGAN

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

1. Celah udara 1 mm

- Kecepatan 100 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 100 \cdot 0,00087}{120}$$

$$E = 59,23 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 200 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 200 \cdot 0,00087}{120}$$

$$E = 118,46 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 300 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 300 \cdot 0,00087}{120}$$

$$E = 177,69 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 400 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 400 \cdot 0,00087}{120}$$

$$E = 236,92 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 500 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 500 \cdot 0,00087}{120}$$

$$E = 296,15 \text{ Volt}$$

2. Celah udara 3 mm

- Kecepatan 100 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 100 \cdot 0,000746}{120}$$

$$E = 50,79 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 200 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 200 \cdot 0,000746}{120}$$

$$E = 101,58 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 300 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 300 \cdot 0,000746}{120}$$

$$E = 152,36 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 400 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 400 \cdot 0,000746}{120}$$

$$E = 203,15 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 500 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 500 \cdot 0,000746}{120}$$

$$E = 253,94 \text{ Volt}$$

3. Celah udara 5 mm

- Kecepatan 100 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 100 \cdot 0,000653}{120}$$

$$E = 44,46 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 200 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 200 \cdot 0,000653}{120}$$

$$E = 88,91 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 300 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 300 \cdot 0,000653}{120}$$

$$E = 133,37 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 400 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 400 \cdot 0,000653}{120}$$

$$E = 177,82 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 500 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 500 \cdot 0,000653}{120}$$

$$E = 222,28 \text{ Volt}$$

4. Celah udara 7 mm

- Kecepatan 100 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 100 \cdot 0,00058}{120}$$

$$E = 39,49 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 200 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 200 \cdot 0,00058}{120}$$

$$E = 78,97 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 300 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 300 \cdot 0,00058}{120}$$

$$E = 118,46 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 400 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 400 \cdot 0,00058}{120}$$

$$E = 157,95 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 500 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 500 \cdot 0,00058}{120}$$

$$E = 197,43 \text{ Volt}$$

5. Celah udara 9 mm

- Kecepatan 100 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 100 \cdot 0,000522}{120}$$

$$E = 35,54 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 200 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 200 \cdot 0,000522}{120}$$

$$E = 71,08 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 300 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 300 \cdot 0,000522}{120}$$

$$E = 106,61 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 400 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 400 \cdot 0,000522}{120}$$

$$E = 142,15 \text{ Volt}$$

- Kecepatan 500 rpm

$$E = \frac{4,44 \cdot N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_{max}}{120}$$

$$E = \frac{4,44 \cdot 1150 \cdot 16 \cdot 500 \cdot 0,000653}{120}$$

$$E = 177,69 \text{ Volt}$$

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Rheo Loridho Pratama, akrab disapa Rheo. Kelahiran Majalengka, 13 Juli tahun 1994. Merupakan putra pertama dari Drs. Usep Gunawan, MT. dan Suhati, S.Pd. Telah menyelesaikan pendidikan yang diawali dari SD Muhammadiyah Bojonggede, SMP N 107 Jakarta, SMA N 38 Jakarta hingga selanjutnya menempuh pendidikan tinggi di Universitas Negeri Jakarta dengan Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro.

Selama kuliah, lebih sering tinggal di Rumah Kost (Alm) H. M. Daryan yang beralamat di Utan Kayu. Organisasi yang ditekuni selama kuliah yaitu Badan Perwakilan Mahasiswa Fakultas Teknik (BPM FT) selama dua periode (2015-2016 & 2016-2017). Memiliki pengalaman Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. KAI DAOP 1, UPT Resort LAA 1.10 Pasar Senen dan Praktik Keterampilan Mengajar (PKM) di SMK Ristek Kikin Jakarta. Selain itu, untuk menambah pengalaman, mengajar di Primagama Kelapa Gading.