

**DESAIN GENERATOR PERMANEN MAGNET 500 WATT
SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN**

(Skripsi)

Oleh

RIZKI HERMAWAN



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

DESIGN OF 500 WATT PERMANENT MAGNET GENERATOR UTILIZED AS WIND POWER PLANT

By

RIZKI HERMAWAN

Indonesia's wind energy can be utilized as a wind power plant (PLTB). However, due to its small air flow, so it required a special generator with low rotation. Low-round generators have been designed in the type of permanent magnet generator. In fact, permanent magnet generators were rarely found in the market and have expensive prices. This research was purposed to design a permanent magnet generator that can produce up to 500 Watts of rated power. The first step of this research was looking for similar generator references to be used as a reference in doing the design. After that, designed all parts of the generator such as stators, rotors and magnets of the same size as generator preferred. The best material was used for generators and the right parameters were given so that the generator can produce optimal efficiency. There were 2 generator models in this study as 24 models of 8 pole slots and 12 4 pole slots. Thus, MagNet Software was used. The results showed that 511 Watt of power could be produced with voltage output reached up to 159.5 Volt and 3.1 Ampere of current. This generator had a 24-pole 8 pole model and had a rotational speed of 1000 Rpm. The efficiency obtained was 68.33%. This generator was the best model obtained based on the research.

Keywords : Permanent Magnet Generator, Slot, Pole, Efficiency, Software MagNet.

ABSTRAK

DESAIN GENERATOR PERMANEN MAGNET 500 WATT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

Oleh

RIZKI HERMAWAN

Energi angin di Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), namun potensi angin di Indonesia relatif kecil sehingga memerlukan generator khusus dengan putaran rendah. Generator putaran rendah biasanya berjenis generator permanen magnet. Pada realitanya generator permanen magnet jarang dijumpai dipasaran dan memiliki harga yang mahal. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat desain generator permanen magnet yang mampu menghasilkan daya sebesar 500 Watt. Langkah awal yang dilakukan dalam melakukan penelitian yaitu mencari referensi generator yang sejenis untuk dijadikan acuan dalam melakukan desain. Setelah itu, mendesain semua bagian generator seperti stator, rotor dan magnet dengan ukuran yang sama seperti generator sejenisnya. Material terbaik digunakan untuk generator serta dilakukan pemberian parameter yang tepat agar generator dapat menghasilkan efisiensi yang optimal. Terdapat 2 model generator dalam penelitian ini yaitu model 24 *slot* 8 *pole* dan 12 *slot* 4 *pole*. Penelitian ini menggunakan *Software* MagNet untuk melakukan desain. Hasil dari pengujian desain yang telah dilakukan yaitu generator menghasilkan daya sebesar 511 Watt dengan tegangan keluaran 159.5 Volt serta arus sebesar 3.1 Amper. Generator ini memiliki model 24 *slot* 8 *pole* dan memiliki kecepatan putar sebesar 1000 Rpm. Efisiensi yang didapat yaitu sebesar 68,33%. Generator ini merupakan model terbaik yang didapatkan dari hasil penelitian ini.

Kata kunci : Generator permanen magnet, *Slot*, *Pole*, Efisiensi, *Software* MagNet.

**DESAIN GENERATOR PERMANEN MAGNET 500 WATT
SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN**

Oleh

RIZKI HERMAWAN

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

**Judul Skripsi : DESAIN GENERATOR PERMANEN
MAGNET 500 WATT SEBAGAI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN**

Nama Mahasiswa : Rizki Hermawan

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031084

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



Ir. Abdul Haris, M.T.
NIP 19630801 199603 1 001

Dr. Eng. Endah Komalasari
NIP 19730215 199903 2 003

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

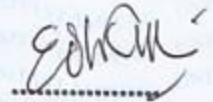
A handwritten signature in blue ink, followed by the date "17/10-2018" written in black ink.

Dr. Ing. Ardlan Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

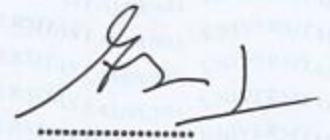
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Eng. Endah Komalasari



Sekretaris : Ir. Abdul Haris, M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 4 Juni 2018

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2018

Penulis,



Rizki Hermawan

NPM. 1315031084

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, Lampung Utara pada tanggal 13 Desember 1994, buah hati dari pasangan Alm. Bapak Sri Dwi Padmono dan Ibu Ratna Dahniar. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara.

Pendidikan formal penulis dimulai dari TK Hangtuh dan TK Istiqomah Gupi Sawojajar, dari tahun 2000 - 2001. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan dasar di SDN 2 Wonomarto, Kotabumi Utara dari tahun 2001 – 2007 dilanjutkan ke SMPN 6 Kotabumi dari tahun 2007 – 2010, dan SMAN 2 Kotabumi pada tahun 2010 sampai 2013.

Pada tahun 2013 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) Undangan. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik (KEE). Penulis juga pernah aktif sebagai Anggota Divisi Pengabdian Masyarakat 2014 hingga 2015 dan Divisi Minat dan Bakat Periode 2015 hingga 2016 Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) Universitas Lampung, dan Koordinator Forum Komunikasi Himpunan Mahasiswa Indonesia periode 2015 hingga 2017.

Pada tahun 2016, penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. Indonesia Power Banten 3 Lontar, Tangerang banten dengan judul “Sistem Penangkapan Fly Ash Pada Sistem Ash Handling Menggunakan Electrostatic Precipitator (ESP)”.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan Mengharapkan Ridho Allah SWT

Kupersembahkan Karya Ini Untuk :

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

Alm Sri Dwi Padmono & Ratna Dahniar

Kakak dan Adik ku Tersayang

Alen Suryotomo S.T., Kurnia Padmawati S.Pd.,

Akhmadi Yusuf, dan Ade Agung Nugraha

Teman-teman, Kakak dan Adik Tingkat

Jurusan Teknik Elektro

Seluruh Civitas Teknik

Jurusan Teknik Elektro

Almamaterku

Universitas Lampung



MOTTO

“Jadilah yang terbaik dari yang terbaik “

(Rizki Hermawan)

“ Hai orang-orang mukmin, jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu.”

(Al-Qur'an, Surat Muhammad, 47 : 7)

“If you are born poor, it's not your mistake but, if you die poor, it's your mistake.”

(Bill Gates)

Barang siapa yang menapaki suatu jalan dalam rangka menuntut ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga”

(H.R. Ibnu Majah dan Abu Dawud)



SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas segala nikmat tak terhingga yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian Skripsi. Sholawat dan salam senantiasa penulis sanjung agungkan kepada suri tauladan umat manusia yaitu Nabi Besar Muhammad SAW yang selalu dinantikan syafaatnya di hari akhir kelak.

Skripsi dengan judul “*Desain Generator Permanen Magnet 500 Watt Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin*” ini merupakan syarat dalam meraih gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam perjalanan mengerjakan Skripsi ini penulis mengucapkan banyak terima kasih atas do'a , dukungan, semangat, dan motivasi kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

4. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari selaku Dosen Pembimbing Utama penulis. Terima kasih atas bimbingan, motivasi, dan wejangan yang baik untuk diri penulis.
6. Bapak Ir. Abdul Haris, M.T selaku Dosen Pembimbing Pendamping penulis. Terima kasih atas bimbingan dan masukannya dalam hal skripsi.
7. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku Dosen Penguji penulis. Terima kasih atas segala masukan, wawasan, dan ilmu yang telah diberikan.
8. Bapak Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA), atas bimbingan dan perhatiannya.
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Terima kasih atas ilmu, wawasan, dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama kuliah.
10. Seluruh Staff dan Civitas di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung. Terima kasih atas bantuannya dalam hal administrasi dan lain-lain, khususnya Mba Dian Rustiningsih.
11. Ayahku Alm Sri Dwi Padmono dan Ibuku Ratna Dahniar tercinta, serta kakak ku Alen suryotomo, S.T, Lusy Octaviani, Amd.Keb, Kurnia Padmawati, S.Pd, Aria Marthika, S.pd, adik ku Akhmadi Yusuf dan Ade Agung Nugraha tersayang. Terima kasih atas do'a, dukungan, dan kasih sayang kepada penulis yang tidak terhingga.

12. Eka Endah Lestari S.Ked yang telah memberikan semangat serta dukungan selama penulis melakukan penelitian.
13. Rekan-rekan seperjuangan Laboratorium Konversi Energi Elektrik, atas kerjasamanya dalam mengabdikan dan berkarya.
14. Rekan-rekan Kerja Praktik di PT. Indonesia Power dan rekan-rekan Lentera Angin Nusantara, Bang Ricky Elson, Mbak Inay, Mbak aci, dan teman-teman lainnya.
15. Sahabat yang tidak baik Bagong, S.T., Wicak S.T., King S.T., Ubaidah S.T., Iqbal, Tengil S.T.
16. Sahabat Kuliah Kerja Nyata Desa Sidomulyo yang berjumlah 30 orang.
17. Teman-teman kos Gunung Pesagi, dan kos Nyerupa yang selalu kondusif selama penulis mengerjakan skripsi.
18. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam membantu penulis menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam hal penulisan skripsi ini, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2018
Penulis,

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Hipotesis.....	4
1.7 Sistematika Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Generator	6
2.2 Bagian-bagian Generator.....	8
2.2.1 Rotor.....	8
2.2.2 Stator	8
2.2.3 Celah Udara (<i>Air Gap</i>).....	9
2.3 Prinsip Kerja Generator.....	10
2.4 <i>Fluks</i> Magnetik.....	11
2.5 Kecepatan Putar Generator.....	12
2.6 Hubung Belitan Generator 3 <i>Phase</i>	13
2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	14
2.8 <i>Software</i> Magnet 7.5.....	15
III. METODE PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17

3.2	Alat dan Bahan	17
3.3	Spesifikasi Alat.....	17
3.4	Prosedur Penelitian.....	18
3.4.1	Studi Literatur	18
3.4.2	Pemodelan generator permanen magnet	18
3.4.3	Pengujian.....	19
3.5	Analisa Data Hasil Pengujian.....	20
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		22
4.1	Hasil Perancangan Simulasi	22
4.1.1	Gambaran Masalah.....	22
4.1.2	Desain Sator Generator	23
4.1.3	Desain <i>Air Gap</i> (Celah Udara).....	28
4.1.4	Desain Rotor Generator.....	29
4.1.5	Desain <i>Air Box</i>	35
4.1.6	Pengaturan Kecepatan Putar Generator	36
4.1.7	Pengaturan Hubung Belitan	37
4.1.8	Desain Variasi Percobaan	40
4.2	Analisa Data Hasil Pengujian.....	42
4.2.1	Generator 500 Watt	42
4.2.2	Pengujian <i>Mesh</i> Generator	49
4.2.3	Pengujian <i>Fluks</i>	53
4.2.4	Pengujian Model Generator	57
4.3	Pengujian Efisiensi (Daya)	71
V. SIMPULAN DAN SARAN.....		76
5.1	Simpulan.....	76
5.2	Saran	77

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kontruksi generator permanen magnet	6
Gambar 2.2. Generator <i>TSD</i> 500.....	7
Gambar 2.3. Rotor permanen magnet	8
Gambar 2.4. Stator	9
Gambar 2.5. Celah udara atau <i>Air Gap</i>	10
Gambar 2.6. Hubung Wye	13
Gambar 2.7. Gelombang 3 <i>phase</i>	14
Gambar 2.8. Kincir Angin PLTB di PT.LAN.....	14
Gambar 2.9. (a) <i>VAWT</i> (b) <i>HAWT</i> [11]	15
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4.1. Sketsa Inti Stator 1 <i>Slot</i>	24
Gambar 4.2. Inti Stator 1 <i>slot</i> dan kerapan <i>mesh</i>	25
Gambar 4.3. Inti Stator.....	26
Gambar 4.4. <i>Coil</i> dan Inti Stator 24 <i>Slot</i>	27
Gambar 4.5. <i>Coil</i> dan Inti Stator 12 <i>Slot</i>	27
Gambar 4.6. Pengaturan <i>Coil</i>	28
Gambar 4.7. <i>Air Gap</i>	29
Gambar 4.8. Inti Rotor 1 Buah.....	30
Gambar 4.9. Inti Rotor	31
Gambar 4.10. Inti Rotor dengan 1 Buah Magnet	32
Gambar 4.11. Inti Rotor dengan 2 Buah Magnet.....	32
Gambar 4.12. Pengaturan Kutub Magnet.....	33
Gambar 4.13. Magnet Permanen 8 <i>pole</i>	34

Gambar 4.14. Magnet Permanen 4 pole.....	34
Gambar 4.15. Generator dengan Air Box.....	35
Gambar 4.16. Pengaturan Material Air Box.....	36
Gambar 4.17. Tampilan motion bagian general.....	37
Gambar 4.18. Tampilan motion bagian position.....	37
Gambar 4.19. Pengaturan Hubung Belitan 24 Slot 8 Pole.....	39
Gambar 4.20. Pengaturan Hubung Belitan 12 Slot 4 Pole.....	40
Gambar 4.21. Variasi Panjang Generator	41
Gambar 4.22. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 3 cm	43
Gambar 4.23. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 5 cm	44
Gambar 4.24. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 10 cm	45
Gambar 4.25. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 15 cm	46
Gambar 4.26. Gelombang Tegangan dan Arus Generator 12S8P Variasi 5 cm... ..	47
Gambar 4.27. Gelombang Tegangan dan Arus Generator 12S8P Variasi 10 cm. ..	48
Gambar 4.28. 2D Mesh Generator 24 Slot 8 Pole.....	50
Gambar 4.29. 2D Mesh Generator 12 Slot 4 Pole.....	50
Gambar 4.30. 3D Mesh Variasi Panjang Generator 3 cm.....	51
Gambar 4.31. 3D Mesh Variasi Panjang Generator 5 cm.....	52
Gambar 4.32. 3D Mesh Variasi Panjang Generator 10 cm.....	52
Gambar 4.33. 3D Mesh Variasi Panjang Generator 15 cm.....	53
Gambar 4.34. Aliran Fluks Generator 24S8P	54
Gambar 4.35. Aliran Fluks pada Model Generator 12S4P	55
Gambar 4.36. Gelombang Fluks Variasi Panjang Generator 3 cm.....	55
Gambar 4.37. Gelombang Fluks Variasi Panjang Generator 5 cm.....	56
Gambar 4.38. Gelombang Fluks Variasi Panjang Generator 10 cm.....	56
Gambar 4.39. Gelombang Fluks Variasi Panjang Generator 15 cm.....	56
Gambar 4.40. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 3 cm	58
Gambar 4.41. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 5 cm	59
Gambar 4.42. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 10 cm	59
Gambar 4.43. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Variasi 15 cm	60
Gambar 4.44. Grafik Tegangan Generator.....	61
Gambar 4.45. Grafik Arus Generator.....	61

Gambar 4.46. Gelombang Tegangan dan Arus Generator Airgap 0.15 cm.....	62
Gambar 4.47. Gelombang Tegangan Generator Variasi Airgap 0.25 cm.....	63
Gambar 4.48. Gelombang Arus Generator Variasi Airgap 0.25 cm.....	63
Gambar 4.49. Grafik Tegangan Generator.....	64
Gambar 4.50. Grafik Arus Generator.....	64
Gambar 4.51. Gelombang Tegangan dan Arus Generator pada Variasi Br 0,8....	65
Gambar 4.52. Gelombang Tegangan dan Arus Generator pada Variasi Br 1,0....	66
Gambar 4.53. Grafik Tegangan Generator.....	67
Gambar 4.54. Grafik Arus Generator.....	67
Gambar 4.55. Gelombang Tegangan dan Arus Generator <i>Pole</i> 2, 4, 10, dan 18..	68
Gambar 4.56. Gelombang <i>Fluks</i> Variasi <i>pole</i> berjumlah 2.....	69
Gambar 4.57. Gelombang <i>Fluks</i> Variasi <i>pole</i> berjumlah 4.....	69
Gambar 4.58. Gelombang <i>Fluks</i> Variasi <i>pole</i> berjumlah 10.....	69
Gambar 4.59. Grafik Pengujian Efisiensi Generator.....	70
Gambar 4.60. Grafik Pengujian Efisiensi Generator.....	74
Gambar 4.61. Grafik Pengujian Efisiensi Generator.....	74
Gambar 4.62. Grafik Pengujian Efisiensi Generator.....	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Spesifikasi Generator <i>TSD</i> 500	7
Tabel 4.1. Tabel Dimensi PM Generator	23
Tabel 4.2. Data Desain Generator 500 Watt	42
Tabel 4.3. Tabel Data Hasil Percobaan	71

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) di Indonesia memerlukan generator permanen magnet yang khusus karena sumber energi angin di Indonesia umumnya memiliki kecepatan angin yang rendah berkisar 3 m/s hingga 5 m/s [1]. Generator pada pembangkit listrik tenaga bayu memiliki karakter yang spesifik dibandingkan dengan generator lainnya. Generator ini mampu menghasilkan energi listrik pada putaran rendah.

Penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan generator permanen magnet untuk PLTB yaitu Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu *Vertikal Savonius Portabel* Menggunakan Generator Magnet Permanen yang menghasilkan daya sebesar 200 Watt [2]. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron *Fluks Radial* [3]. Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah yang menghasilkan daya sebesar 6 Watt [4]. Pada penelitian-penelitian tersebut disimpulkan bahwa penelitian dan pengembangan terhadap desain generator permanen magnet yang memiliki karakter khusus masih perlu dilakukan. Penelitian yang sudah dilakukan belum menghasilkan generator

permanen magnet yang memiliki spesifikasi khusus yaitu generator yang memiliki karakter putaran rendah 1000 Rpm dan dapat menghasilkan daya sebesar 500 Watt. Generator seperti ini masih jarang dijumpai di pasaran dan walaupun ada harganya cukup mahal. Oleh karena itu perlu pengembangan generator permanen magnet yang mampu menghasilkan tegangan dan daya yang sesuai pada putaran yang relatif rendah.

Perubahan *slot* dan *pole* serta jenis magnet yang digunakan pada generator permanen magnet dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai densitas *fluks* magnet permanen maka generator akan menghasilkan daya yang lebih besar. Oleh sebab itu dilakukan penelitian perancangan generator untuk mendapatkan hasil yang optimal pada generator kelas 500 Watt yaitu dengan judul “Desain Generator Permanen Magnet 500 Watt Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin”.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat desain (kontruksi) generator permanen magnet 500 Watt.
2. Melakukan variasi jumlah *slot* dan *pole*, panjang pada rotor dan stator, jenis magnet permanen, serta lebar celah udara pada generator untuk mendapatkan nilai yang optimal.
3. Memahami efek perubahan pada variasi generator terhadap tegangan, arus dan efisiensi.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menghasilkan desain (kontruksi) generator sebagai pembangkit listrik putaran rendah dengan efisiensi lebih baik dari generator sejenisnya.
2. Dapat mengetahui karakteristik yang terbentuk dari generator tersebut.
3. Dapat memahami efek perubahan pada generator terhadap tegangan, arus dan efesiensi.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain generator untuk mendapatkan nilai optimal pada kelas 500 Watt.
2. Bagaimana menentukan generator yang memiliki nilai keluran optimal.
3. Bagaimana mencari nilai tegangan, arus dan efesiensi pada generator tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendesain (kontruksi) generator permanen magnet 24 *slot* 8 *pole* dan 12 *slot* 4 *pole* agar menghasilkan daya 500 Watt.
2. Memvariasikan panjang generator yaitu 3, 5, 10, dan 15 cm.
3. Memvariasikan jenis magnet generator yaitu Br 1.2, 1.0, 0.8, dan 0.4
4. Memvariasikan lebar celah udara generator yaitu 0.25, 0.2, dan 0.15 cm.

1.6 Hipotesis

Pada penelitian ini akan dibuat desain dari generator yang akan diaplikasikan untuk pembangkit listrik tenaga angin. Generator yang akan didesain yaitu generator permanen magnet 24 *slot* 8 *pole* dan 12 *slot* 4 *pole* yang menghasilkan daya 500 Watt. Perubahan terhadap panjang rotor dan stator akan dilakukan untuk mendapatkan nilai optimal dari desain generator. Perubahan jenis magnet permanen pada generator, akan mempengaruhi daya yang dihasilkan. Semakin tinggi densitas *fluks* magnet permanen yang digunakan, maka daya yang dihasilkan akan semakin besar dan efisiensi akan lebih baik. *Software* MagNet 7.5 adalah aplikasi yang digunakan untuk melakukan desain.

1.7 Sistematika Penelitian

Penulisan skripsi ini disusun menurut sistematika secara runtut sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat, hipotesis, dan sistematika penulisan. Uraian di atas dimaksudkan untuk menguraikan hal-hal yang bersifat menjelaskan hal yang akan diteliti.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memaparkan pengantar terhadap pengertian umum atau hal teoritis untuk menjelaskan pokok bahasan pada penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini menguraikan tata cara atau teknik yang digunakan dalam mengumpulkan data parameter objek penelitian, beserta pengumpulan data penelitian untuk menunjang keberlangsungan penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dari penelitian yang diperoleh, pembahasan, dan analisa dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari analisa hasil pembahasan pada penelitian dan saran dari penulis untuk referensi penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

Generator adalah sebuah mesin konversi energi yang dapat mengubah energi gerak (*mekanik*) menjadi energi listrik (*elektrik*) dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik. Sumber energi mekanik yang menggerakkan generator tersebut bermacam-macam. Generator pada pembangkit listrik tenaga bayu dihubungkan dengan turbin angin [5].

Jenis generator yang digunakan pada PLTB yaitu generator permanen magnet kutub dalam. Generator ini memiliki magnet permanen yang terletak pada bagian rotor. Arus yang dibangkitkan oleh generator ini yaitu arus searah (*DC*). Berikut ini merupakan gambar kontruksi generator permanen magnet:



Gambar 2.1. Kontruksi generator permanen magnet [5]

Penelitian yang menjadi tinjauan pustaka yaitu penelitian yang dilakukan oleh PT. Lentera Bumi Nusantara. Pada penelitian tersebut dihasilkan sebuah permaen magnet generator yang diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga angin. Generator tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2.1. Spesifikasi Generator *TSD 500*

Nama sistem	<i>TSD-500</i>
Maksimum daya	500 Watt
Tipe generator	3-phase PMG
Maximum RPM	1000 RPM
Sistem penyimpanan	24V
Output tegangan generator	160V
Berat	25 kg
Made in	Nidec corp. Japan

Berikut ini merupakan gambar dari turbin angin generator *TSD 500* :



Gambar 2.2 Generator *TSD 500*

2.2 Bagian-bagian Generator

Generator memiliki beberapa bagian diantaranya yaitu:

2.2.1 Rotor

Rotor merupakan bagian dari generator yang berputar. Rotor pada generator permanen magnet mempunyai inti sebagai poros dan tempat tersusunnya magnet permanen sebagai penghasil medan magnet yang diperlukan dalam pembangkitan tegangan. Tipe rotor yang dipakai pada generator kecepatan rendah dan menengah yaitu kutub menonjol (*salient*). Rotor akan dihubungkan dengan poros turbin agar dapat berputar [6].

Berikut ini merupakan gambar rotor :



Gambar 2.3. Rotor permanen magnet [6]

2.2.2 Stator

Stator merupakan bagian generator yang diam. stator sering disebut juga kumparan medan. Stator tersusun dari beberapa belitan kawat email yang

dilapisi dengan bahan isolator. *Coil* atau belitan merupakan tempat terbentuknya tegangan dan arus mengalir. Jumlah kumparan mempengaruhi kuantitas tegangan keluaran generator. Ada 2 jenis hubung kumparan yaitu, hubung bintang (*star*) dan hubung segitiga (*delta*). Pada jenis kumparan star, pangkal kumparan kawat tembaga (kumparan fasa) dihubungkan menjadi satu. Pada jenis kumparan delta, pangkal dan ujung masing-masing kumparan fasa saling dihubungkan [7]. Berikut ini merupakan gambar dari stator :



Gambar 2.4. Stator [7]

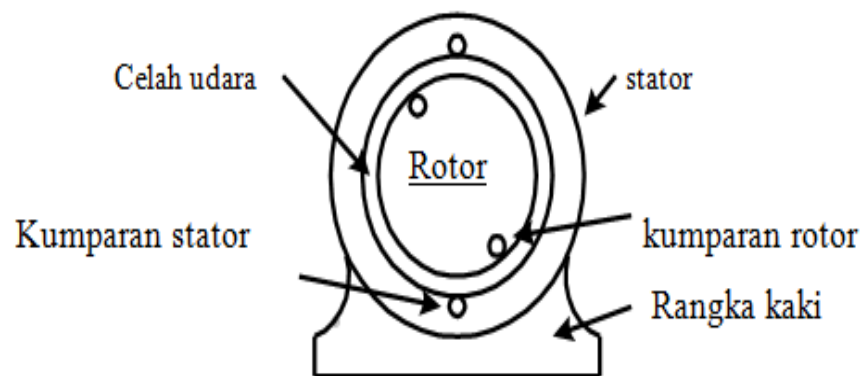
2.2.3 Celah Udara (*Air Gap*)

Celah udara merupakan jarak antara stator dan rotor. Pada celah udara ini terjadi *fluks* induksi antara kumparan stator yang memotong magnet permanen pada rotor sehingga dapat menghasilkan gaya gerak listrik (GGL). Jarak tersebut harus diperhitungkan agar didapatkan hasil kerja generator yang optimum. Celah udara yang terlalu besar mengakibatkan

efisiensi induksi rendah, namun jika celah terlalu sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin [8].

Tegangan pada generator sinkron akan semakin besar jika celah udara atau *Air Gap* pada generator semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh medan induksi yang dihasilkan juga semakin besar.

Berikut ini merupakan gambar dari celah udara atau *Air Gap* :



Gambar 2.5. Celah udara atau *air gap* [8]

2.3 Prinsip Kerja Generator

Prinsip kerja generator dalam mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik yaitu mengacu pada hukum Faraday dan Lenz. Hukum Faraday menunjukkan jika seutas kawat atau kumparan konduktor berada dalam medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka pada ujung-ujung kawat atau kumparan konduktor akan timbul tegangan atau gaya gerak listrik (GGL) induksi. Hukum Lenz menjelaskan bahwa GGL induksi yang muncul berarah melawan perubahan *fluks* dan menyebabkannya arus mengalir [9].

Hal tersebut sesuai dengan persamaan berikut:

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

e : Tegangan (V)

N : Banyak lilitan dari kumparan

$d\phi$: Perubahan *fluks* magnet dalam satuan (webber)

dt : Perubahan waktu dalam satuan detik

Kaidah tangan kanan *fleming* adalah sebuah metode mneumonik untuk memudahkan menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik [8].

Rumus dari kaidah tangan kangan yaitu:

$$e = B \cdot l \cdot v \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

B : garis gaya magnet

l : arah arus

v : arah gerakan

2.4 *Fluks* Magnetik

Fluks magnetik (Φ_m) adalah ukuran atau jumlah medan magnet (B) yang melewati luas penampang tertentu. Satuan *fluks* magnetik adalah weber (Wb) (Weber turunan dari volt-detik). *Fluks* magnetik yang melalui bidang tertentu sebanding dengan jumlah medan magnet yang melalui bidang tersebut[10].

Rumus *fluks* magnetik yaitu:

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot A \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

B_{\max} = densitas *fluks* maksimum (T)

Φ = *fluks* magnet (Wb)

A = luas magnet (cm^2)

Rumus kerapatan *fluks* magnetik yaitu:

$$B_{\max} = Br \cdot \frac{l_m}{l_m + \delta} \dots\dots\dots(2.4)$$

Br = Densitas *fluks* magnet (Tesla) (Br merupakan nilai ketetapan dari jenis magnet)

l_m = Tebal magnet (cm)

δ = *Air Gap* (cm)

2.5 Kecepatan Putar Generator

Generator untuk dapat menghasilkan tegangan dan arus harus dapat berputar dengan kecepatan tertentu. Kecepatan putar generator mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan. Rumus kecepatan tersebut yaitu:

$$n = \frac{120 F}{P} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

n = Kecepatan putar (rpm)

F = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub magnet

Pada *Software* magnet kecepatan putar (*rpm*) harus diubah menjadi kecepatan angular menggunakan rumus berikut:

$$\omega = \frac{360^\circ}{60 \text{ s}} \times n \dots\dots\dots(2.6)$$

ω = kecepatan angular (deg/s)

n = kecepatan putar rotor (RPM)

2.6 Hubung Belitan Generator 3 Phase

Generator 3 *phase* memiliki 3 kumparan Phase yang menghasilkan tegangan keluaran 380 V, diukur antara phase dengan phase yang berbeda. R, S, T, dan N merupakan simbol dari ketiga phase tersebut. Netral yang dihasilkan dari *Alternator 3 phase* ini, didapat dari hasil ketiga kumparan phase yang dihubungkan secara bintang (*Star*) atau hubung *wye* (Y) [7].

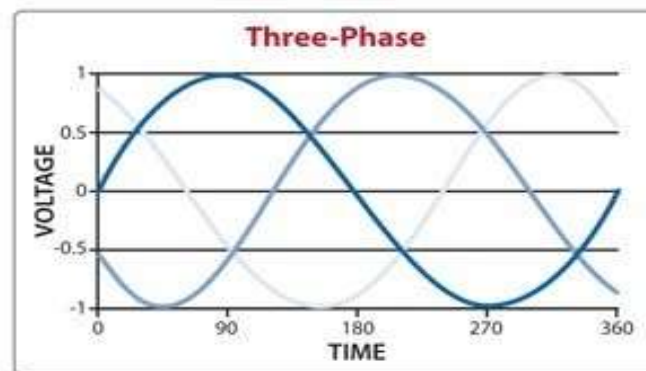
Berikut merupakan gambar dari hubung *wye* (Y) :



Gambar 2.6. Hubung *wye* [4]

Perbedaan nilai tegangan antara ketiga *phase* pada alternator ini disebabkan karena gelombang sinus yang saling mendahului dan memiliki selisih sudut sebesar 120 derajat. Sehingga perbedaan potensial yang

terjadi didapat nilai 380 volt, dengan nilai perbedaan potensial *phase* dengan netral adalah 220 volt. Titik netral pada *alternator 3 phase* memiliki nilai 0 volt. Berikut gambar gelombang yang dihasilkan dari generator 3 *phase*:



Gambar 2.7. Gelombang 3 phase [7]

2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu merupakan Pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga angin sebagai sumber penggerak turbin. Poros turbin angin kemudian dihubungkan dengan generator permanen magnet yang berfungsi mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik [8].

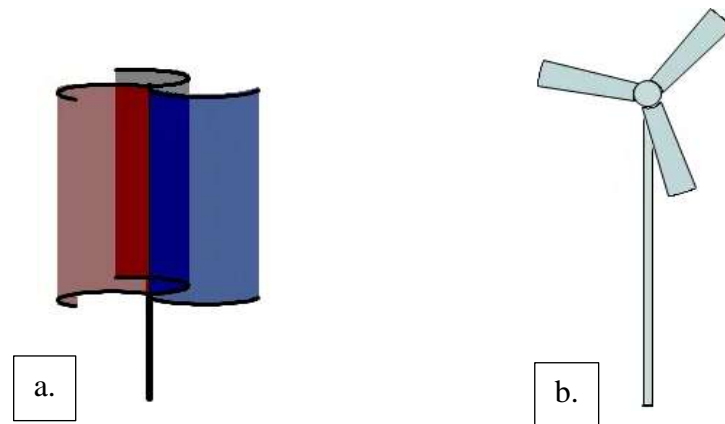
Berikut ini merupakan gambar dari PLTB :



Gambar 2.8. Kincir angin PLTB di PT.LAN

Rotor pada turbin angin pada prinsipnya dapat dibedakan atas dua jenis. *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*, *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* [11].

Berikut ini merupakan gambar dari *VAWT* dan *HAWT*:



Gambar 2.9. (a) *VAWT* (b) *HAWT* [11]

2.8 Software Magnet 7.5

Software MagNet merupakan bagian dari Infolytica Corporation. Infolytica Corporation terdapat di Canada. *Software MagNet* dapat melakukan simulasi dalam membuat desain model 2D dan 3D untuk *magnetostatic*, *time-harmonic*, *transient* atau *transient* dengan analisis *motion*.

Struktur yang dapat disimulasikan dengan *Software MagNet* diantaranya :

1. Mesin : *DC*, universal, 3-fasa IM
2. Solenoids
3. Pengeras Suara
4. Transformator

Model MagNet dibuat dari model geometris untuk material, kondisi boundary, dan eksitasi. Model geometris dibangun dari tiga blok bangunan dasar, yaitu *edges* yang terdiri dari garis dan busur, *surface* (permukaan) yang dibuat dari *edges* yang harus tertutup untuk membuat tiga dimensi, dan komponen yang dibuat dari permukaan yang tertutup.

Kondisi *boundary* menentukan perilaku medan magnet pada batas-batas model. *Boundary* diterapkan pada permukaan model, atau permukaan kotak udara yang mewakili batas yang mengelilingi model.

Software Magnet menyediakan enam syarat kondisi Boundary, antara lain :

1. *Field Normal*, medan dibuat normal (tegak lurus) ke *boundary*.
2. *Flux Tangential*, *flux* dibuat mengalir searah (sepanjang sisi) *boundary*.
3. *Even Periodic*, digunakan jika dalam kondisi simetri.
4. *Odd Periodic*, digunakan jika dalam kondisi simetri.
5. *Surface impedance*, menggunakan nilai yang dihitung atau nilai spesifik, untuk mewakili *Ohmic Losses* dari komponen konduktor.
6. *Thin Plate*, diimplementasikan dalam MagNet sebagai properti permukaan. Dalam analisis finite element method, model dibagi menjadi elemen *mesh*. Analisis finite element merupakan solusi dari himpunan persamaan untuk koefisien yang tidak diketahui. Keakuratan tergantung dari sifat medan dan ukuran elemen *mesh*.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dimulai pada bulan November 2017 sampai Maret 2018 bertempat di Laboratorium Konversi Energi *Elektrik* Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Satu unit laptop Asus tipe K42F processor intel(R) Pentium(R) CPU P6200 @2.13GHz. Memory 4Gb RAM. Operating System Windows 7 Ultimate 64-bit.
2. *Software* Magnet versi 7.5 (64-bit)
3. *Software* Microsoft Excel 2010

3.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan laptop Asus K42F untuk simulasi serta melakukan desain generator permanen magnet sebagai tujuan utama dari tugas akhir ini dan untuk mengerjakan laporan dan file presentasi penelitian.
2. Menggunakan *Software Magnet versi 7.5 (64-bit)* sebagai aplikasi dalam melakukan desain dan simulasi pembuatan generator dengan *finite element*

method (FEM). Aplikasi ini dapat mencari hasil output generator yaitu tegangan, arus, berat, torsi, *fluks* dari desain yang telah dibuat.

3. Menggunakan *Software Microsoft Excel 2010* sebagai *Software* penunjang untuk aplikasi pengolah data hasil dari desain dan simulasi.
4. Menggunakan *Microsoft Office 2010* membuat laporan penelitian, file presentasi dan pengolah data penelitian.

3.4 Prosedur Penelitian

Pembuatan tugas akhir ini dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

3.4.1 Studi Literatur

Tahap pertama ini merupakan tahapan dimana penulis mengumpulkan dan mempelajari tentang pembangkit listrik tenaga angin, generator permanen magnet, generator 3 *phase*, dan generator permanen magnet putaran rendah. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari hal-hal terkait dengan cara mencari referensi atau teori, seperti buku, situs *website*, jurnal, dan skripsi yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir.

3.4.2 Pemodelan generator permanen magnet

Tahap ini merupakan penentuan bagian-bagian yang akan didesain. Model yang akan dibuat yaitu berupa model generator permanen magnet 24 *slot* 8 *pole* dan 12 *slot* 4 *pole*. Mencari referensi pembanding untuk menentukan diameter bagian rotor, stator, celah udara, jumlah lilitan (*coil/slot*).

3.4.3 Pengujian

Tahap pengujian ini dilakukan pada saat model desain telah dibuat dan untuk mengetahui apakah desain secara keseluruhan bekerja dengan baik atau tidak.

Pengujian ini meliputi hal sebagai berikut:

a. Pengujian 2D dan 3D *Mesh*

Pengujian 2D dan 3D *mesh* dilakukan untuk mengetahui kerapatan *mesh* dari desain yang telah dibuat. Pada *Software* magnet kita dapat mengetahui dan mengatur kerapatan tersebut.

b. Pengujian *Fluks*

Pengujian *fluks* dilakukan untuk mengetahui *fluks* yang terbentuk. Pada pengujian ini akan diketahui desain yang telah dibuat benar atau tidak dari hasil *fluks* yang terbentuk. Dapat diketahui jumlah fasa dari hubung belitan yang di rangkai.

c. Pengujian Hubung Belitan pada Sator

Pengujian hubung belitan dilakukan untuk mengetahui apakah belitan (*coil*) sudah tersambung dengan benar. Pada pengujian ini kita dapat mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan pada hubung belitan (*coil*) dengan memasang amperemeter serta voltmeter pada *circuit* rangkaian

d. Pengujian Model Generator

Pengujian model generator ini merupakan bagian utama dari penelitian ini. Akan muncul hasil dan tidak terdapat eror jika desain sudah benar. Pada menu *result* akan tampil bentuk *fluks*, tegangan dan arus.

Untuk perhitungan efisiensi dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Efisiensi\ Daya = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{V \times I}{\left(\frac{1000 \times 2\pi}{60 \times T}\right)} \times 100\% \dots\dots\dots(3.1)$$

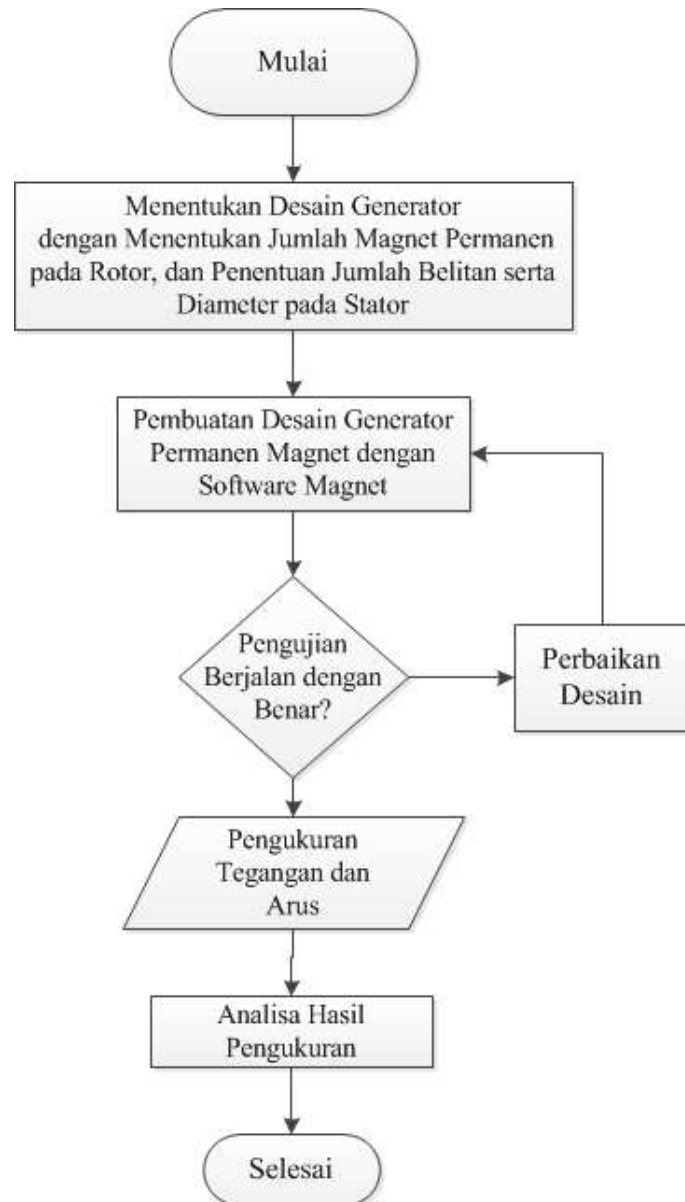
3.5 Analisa Data Hasil Pengujian

Pada bagian ini data yang telah didapat akan dianalisa dan dibandingkan dengan teori yang ada sehingga penelitian ini dapat dikatakan berhasil atau tidak. Kemudian pada akhirnya dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan yang sesuai dengan teori yang ada.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dimulai dari studi literatur, menentukan desain, melakukan desain, pengujian, dan diakhiri dengan analisa hasil dari pengambilan data. Semua tahapan ini dilakukan agar penelitian berjalan dengan teratur sesuai dengan tahapan yang telah dibuat sehingga meminimalisir terjadinya kesalahan dikemudian hari.

Adapun *flowchart* dari diagram alir pada penelitian tugas akhir ini adalah :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Generator permanen magnet model 24 *slot* 8 *pole* dan 12 *slot* 4 *pole* dapat menghasilkan daya 500 Watt dengan putaran 1000 rpm.
2. Generator model 24 *slot* 8 *pole* menghasilkan daya lebih besar dari daya yang dihasilkan model 12 *slot* 4 *pole*.
3. Tidak semua model pada variasi jumlah *pole* dapat menghasilkan tegangan dan arus, model 24 *slot*, dengan variasi jumlah *pole* 8 dan 16 saja yang dapat menghasilkan tegangan dan arus.
4. Generator permanen magnet 500 Watt pada penelitian ini yang paling optimal memiliki efisiensi daya sebesar 68.33%
5. Efisiensi tertinggi dari variasi panjang dihasilkan oleh generator yang memiliki panjang 10 cm, dan efisiensi terendah dihasilkan oleh generator generator dengan panjang 3 cm.

5.2 Saran

Sebagai masukan dan memudahkan dalam penelitian yang akan dilakukan selanjutnya, berikut ini saran-saran yang perlu diperhatikan:

1. Pembuatan desain dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan metode yang berbeda yaitu magneto quasistatik.
2. Untuk mendapatkan efisiensi lebih tinggi pada generator 500 Watt, perlu dilakukan percobaan variasi dimensi dari bagian-bagian generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdillah, R. Luthfi, Gilang, Muliandari, W. Megatroika, “Kuliah Energi Angin dan Matahari”, Bandung, Meteorologi ITB, 2010.
- [2]. Nakhoda, I. Yusuf, dan S. Choirul. “Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen”, *Journal of Science inovatid industri. Volume 5(2): 19-24, 2015.*
- [3]. Prasetijo, Hari, Ropiudin, Dharmawan, dan Budi, “Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah”. *Dinamika Rekayasa. Volume 8(2): 70-77, 2012.*
- [4]. Indriani, dan Anizar, “Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial”, *Jurnal Elektronik Rekayasa dan Teknologi, Volume 9(2): 62-71, 2015.*
- [5]. Chapman, dan J. Stephen, “Electric Machinery Fundamentals”, Amerika: *McGraw Hill Companies, 2005.*
- [6]. Charles, Jr, Kingsley, “Electric Machinery”, Singapur: *McGraw Hill Book., 1992*
- [7]. L. A. Nusantara, “Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin”, PT. Lentera Angin Nusantara, 2014.
- [8]. Miller, Tje, Jr. Hendershot, “Design Of Brushless Permanent-Magnet Motors”. Oxford: *Megna Physics Publishing, 1994.*

- [9]. A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, Jr. Stephen D. "Electric Machinery". *North America: International Edition McGraw-Hill Companies*, 2003.
- [10]. Daryanto, "Dasar-Dasar Teknik Mesin", Jakarta: Rineka Cipta, 2007.
- [11]. Alqodri, F. Mohammad, Rustana, E. Cecep, Nesbey, dan Hadi, "Rancang Bangun Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius", *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, Volume 4: 135-141 ISSN: 2339-0654, 2015.