

SKRIPSI

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN GENERATOR
FLUKS RADIAL SATU FASA MENGGUNAKAN LILITAN
KAWAT SEPEDA MOTOR DENGAN VARIASI
DIAMETER KAWAT**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Sarjana (S1)**



**Oleh :
Atria Eka Putra
G1D009006**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
2014**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN GENERATOR FLUKS RADIAL SATU FASA MENGGUNAKAN LILITAN KAWAT SEPEDA MOTOR DENGAN VARIASI DIAMETER KAWAT

Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan hasil duplikasi dari skripsi dan/atau karya ilmiah lainnya yang pernah dipublikasikan dan/atau pernah dipergunakan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Bengkulu, Juni 2014

ATRIA EKA PUTRA

G1D009006

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

- ❖ *Atasi setiap masalah-masalah yang dihadapkan dengan usaha dan do'a, pasti akan selalu ada jalan keluar yang tak terduga. Jangan anggap masalah sebagai musibah, tapi carilah hikmah dan jangan menyerah.*
- ❖ *Tidak ada keberhasilan tanpa perjuangan Dan tidak ada kesungguhan tanpa kesabaran.*
- ❖ *Para pemalas memiliki banyak alasan. Tapi mereka yang akan sukses adalah orang yang merasakan kemalasan yang sama, tapi memaksa diri untuk belajar, berlatih, dan bekerja.*

Persembahan:

Karya sederhana berbentuk skripsi yang dibuat dengan perjuangan tak kenal lelah, tetesan keringat dan air mata dengan kerendahan hati aku persembahkan kepada:

Allah SWT Tuhan semesta alam, pelindung segala umat, pemberi petunjuk dan rahmat dalam segala kesusahan. Keharibaan ke dua orang tuaku yang telah Allah berikan dalam hidupku. Papaku Maryuzar dan Mamaku Rizawanti yang selalu mendo'akanku dan tidak henti-hentinya memotivasi setiap langkahku. Aku menyayangi kalian. Adik-adik yang tersayang Aulia Diani Fitri, Alfi Alfahadi yang telah memberikan semangat dan mendukungku. Tak lupa juga Ku persembahkan untuk Omaiku, Tante, Om dan Keluarga Besar di Padang (Sumatra Barat) yang selalu mendo'akanku.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil' alamin, puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayahNya yang begitu besar maka penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Satu Fasa Menggunakan Lilitan Kawat Sepeda Motor dengan Variasi Diameter Kawat”.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat lulusnya mata kuliah skripsi yang merupakan salah satu mata kuliah wajib dalam kurikulum Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu dan merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan sarjana di Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penyusun sampaikan kepada :

1. Bapak Dr. Ridwan Nurazi,S.E.,M.Sc. selaku Rektor Universitas Bengkulu.
2. Bapak Khairul Amri,S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
3. Bapak Irnanda Priyadi,S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu.
4. Ibu Anizar Indriani,S.T.,M.T sebagai Dosen Pembimbing Utama..
5. Ibu Afriyastuti Herawati, S.T.,M.T sebagai Dosen Pembimbing Pendamping.
6. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro yang telah membekali penulis dengan ilmu dan pengetahuan serta pengalaman, dan juga staf / karyawan di lingkungan Fakultas Teknik UNIB.
7. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Teman-teman Asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dan Pengukuran Dasar semoga tetap terjalin kebersamaan ini, dan
8. Juju Nurul Utami atas semangat dan motivasi yang diberikan dalam penulisan skripsi ini,

9. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2009 khususnya yang selalu membantu dan memberikan semangat serta masukan, Sandi, Reni, Raymon, Rizki, Richardo, Afit, Rahmat, Munadi, Samara, Emilisa, Dana, Hadi, Ahmad, Asri, Rahman, Ajiy, Rolly, Frando, Hasyim, Fachri, Mario, Otoy, Yuliza, Hendri, Tio, Tirta, Sumantra, Dali, dan lainnya .
10. Kepada pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang telah memberikan dorongan baik secara langsung maupun tidak langsung atas kelancaran penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik maupun saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan bisa memberikan nilai tambah bagi Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu.

Bengkulu, Juni 2014

Penulis

ABSTRAK

Kelangkaan ketersediaan minyak bumi mengakibatkan peralatan atau mesin yang menggunakan minyak bumi mengalami kesulitan mendapatkan pasokan bahan bakar sehingga operasi dan kinerja mesin terganggu dan selain itu harga bahan bakar menjadi mahal. Kelangkaan ini menyebabkan adanya pencarian energi alternatif dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), sebagian besar pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan generator sinkron. Untuk itu dilakukan penelitian mengembangkan generator fluks radial dengan magnet permanen memanfaatkan magnet sepeda motor bekas dan belitan kawat sepeda motor bekas sebagai stator. Pengujian menggunakan variasi diameter kawat yang berbeda yaitu 0,15 mm, 0,20 mm dan 0,25 mm. Pengujian tegangan tanpa beban didapat tegangan sebesar 227,42 V untuk diameter kawat 0,15 mm dan 228,71 V untuk diameter kawat 0,25 mm. Stator dengan diameter kawat 0,15 mm mempunyai tahanan jangkar sebesar 357 Ω dan reaktansi sinkron sebesar 354,90 Ω sedangkan stator dengan diameter kawat 0,25 mm memiliki tahanan jangkar sebesar 196,47 Ω dan reaktansi sinkron sebesar 223,63 Ω .

Kata kunci : Generator fluks radial, Magnet permanen, Belitan sepeda motor bekas

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Pernyataan Keaslian Skripsi.....	iii
Motto dan Persembahan.....	iv
Kata Pengantar	v
Abstrak	vii
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Lampiran	xiv
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1 Generator.....	3
2.2 Konstruksi Generator Sinkron	5
2.2.1 Stator	5
2.2.2 Rotor (<i>Magnetic Field</i>)	8
2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron.....	9
2.3.1 Generator Sinkron Tanpa Beban.....	10
2.3.2 Generator Sinkron Berbeban.....	11
2.4 Menentukan Parameter-parameter Generator Sinkron	12
2.5 Mesin Fluks Radial	13
2.6 Daya Listrik	16
2.7 Regulasi Tegangan.....	17

Bab 3. Metode Penelitian.....	18
3.1 Alat dan Bahan.....	18
3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	18
3.3 Generator Fluks Radial Satu Fasa.....	18
3.4 Flowchart	21
3.5 Pengujian Karakteristik Generator.....	22
Bab 4. Hasil dan Pembahasan.....	24
4.1 Pengujian Beban Nol	25
4.2 Pengujian Berbeban	27
4.2.1 Pengujian Tegangan <i>Output</i> Beban 1 Lampu Pijar 5 Watt.....	27
4.2.2 Pengujian dengan Beban 12 Lampu Pijar 5 Watt	31
4.2.3 Pengujian dengan Beban Kipas Angin 18 Watt.....	33
4.3 Pengaruh Diameter Kawat Terhadap Karakteristik Generator	35
4.4 Penentuan Parameter Generator Sinkron	37
4.5 Perhitungan Frekuensi Generator	38
4.6 Perhitungan Tegangan Keluaran Generator.....	39
Bab 5. Penutup	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
Daftar Pustaka.....	42
Lampiran	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a). Diagram generator ac satu fasa 2 kutub.....	5
(b). Diagram generator ac tiga fasa 2 kutub.....	5
Gambar 2.2 Inti stator dan alur pada stator	6
Gambar 2.3 Belitan satu lapis generator sinkron tiga fasa.....	7
Gambar 2.4 Belitan berlapis ganda generator sinkron tiga fasa.....	8
Gambar 2.5 Bentuk rotor.....	9
Gambar 2.6 Karakteristik generator sinkron tanpa beban.....	11
Gambar 2.7 Karakteristik generator sinkron berbeban	11
Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen generator sinkron	13
Gambar 2.9 Karakteristik hubung singkat alternator	13
Gambar 2.10 Jenis mesin aksial dan radial	14
Gambar 2.11 GGL timbul akibat perubahan garis gaya magnet.....	14
Gambar 3.1 Stator yang belum dililit.....	19
Gambar 3.2 Gambar rotor	20
Gambar 3.3 Flowchart peneliitian secara umum.....	21
Gambar 4.1 Stator dan ukuran kawat yang digunakan generator	24
Gambar 4.2 Rotor generator fluks radial satu fasa.....	24
Gambar 4.3 Generator fluks radial satu fasa diputar motor induksi	25
Gambar 4.4 Grafik perbandingan tegangan <i>output</i>	26
Gambar 4.5 Grafik perbandingan tegangan berbeban lampu pijar	28
Gambar 4.6 Grafik perbandingan besar arus berbeban lampu pijar.....	29
Gambar 4.7 Grafik perbandingan besar daya berbeban lampu pijar.....	29
Gambar 4.8 Grafik perbandingan tegangan <i>output</i> pada variasi diameter kawat dibebani 12 lampu pijar	32
Gambar 4.9 Grafik perbandingan besar arus pada variasi diameter kawat saat dibebani 12 lampu pijar	32
Gambar 4.10 Grafik perbandingan tegangan <i>output</i> dengan variasi diameter kawat berbeban kipas angin 18 watt	34
Gambar 4.11 Grafik perbandingan besar arus menggunakan stator dengan variasi diameter kawat berbeban kipas angin 18 watt.....	34

Gambar 4.12 Grafik perbandingan besar daya <i>output</i> menggunakan stator dengan variasi diameter berbeban kipas angin 18 watt.....	35
Gambar 4.13 Karakteristik pengaruh diameter kawat terhadap tegangan	36
Gambar 4.14 Karakteristik pengaruh diameter kawat terhadap arus	36

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi stator generator fluks radial	19
Tabel 3.2 Spesifikasi rotor generator fluks radial	20
Tabel 4.1 Hasil pengujian tegangan <i>output</i> generator fluks radial satu fasa beban nol	26
Tabel 4.2 Hasil pengujian berbeban 1 lampu pijar 5 watt.....	28
Tabel 4.3 Hasil perhitungan regulasi tegangan berbeban lampu pijar 5 watt ..	30
Tabel 4.4 Hasil pengujian bebban 12 lampu pijar 5 watt.....	31
Tabel 4.5 Hasil pengujian berbeban kipas angin 18 watt.....	33
Tabel 4.6 Hasil hubung singkat kawat dengan variasi diameter kawat	37
Tabel 4.7 Hasil uji DC dengan variasi diameter kawat.....	37
Tabel 4.8 Hasil perhitungan frekuensi	39
Tabel 4.9 Hasil perhitungan tegangan <i>output</i> generator fluks radial satu fasa	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Foto

Lampiran 2. Hasil Pengujian

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap tahun kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri dan masyarakat dunia. Kebutuhan energi dipenuhi dengan fasilitas ekonomi dan teknologi yang masih menggunakan sumber energi yang tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil yang mengakibatkan pasokan listrik ikut berkurang seperti tidak beroperasinya PLTD, PLTU dengan optimal akibat melonjaknya harga bahan bakar minyak. Kebutuhan energi yang besar mengakibatkan pasokan sumber energi dari bahan bakar fosil mulai berkurang, hal ini sangat mengganggu proses produksi dan distribusi energi listrik. Untuk menanggulangi hal ini maka banyak penelitian yang mengkaji pemanfaatan sumber energi lain seperti air, angin, gelombang laut yang membutuhkan generator putaran rendah tanpa eksitasi tambahan untuk dapat menghasilkan listrik.

Penelitian pengembangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro mempunyai kendala pada pemilihan generator yang digunakan sehingga tegangan yang didapat 1,03 Volt pada putaran 171 rpm dengan daya 0,2 Watt [1]. Penelitian pengembangan desain generator magnet permanen kecepatan rendah untuk pembangkit listrik tenaga angin menghasilkan tegangan keluaran 38 Volt dan arus 114,1 mA pada putaran 1000 rpm [2]. Sulitnya mendapatkan generator sinkron putaran rendah membuat para peneliti terus mengembangkan penelitian untuk merancang dan membuat generator sinkron yang dapat digunakan pada putaran rendah seperti pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan screw turbin dan pembangkit listrik tenaga angin. Pengembangan penelitian generator putaran rendah yang banyak dikembangkan yaitu dengan metode fluks aksial dan radial, pada penelitian ini pengembangan generator yang akan digunakan menggunakan fluks radial yang memanfaatkan stator motor yang akan dirancang dan dibuat menjadi generator sinkron fluks radial tanpa memerlukan eksitasi tambahan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, perumusan masalah penelitian antara lain:

1. Bagaimana cara merancang dan membuat generator fluks radial 1 fasa.
2. Mendapatkan generator yang dapat digunakan dalam putaran rendah, mudah dalam pembuatan dan tidak memerlukan eksitasi tambahan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian adalah:

1. Diameter kawat yang digunakan 0,15 mm, 0,20 mm dan 0,25 mm
2. Pengujian menggunakan beban 12 buah lampu pijar 5 Watt dan kipas angin 18 Watt.
3. Efisiensi generator tidak diperhitungkan.
4. Tidak memvariasikan celah udara.
5. Rugi – rugi generator tidak diperhitungkan.
6. Tidak membahas kontrol tegangan generator fluks radial.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Merancang dan membuat generator fluks radial 1 fasa memanfaatkan stator dan magnet motor bekas.
2. Membandingkan diameter kawat stator generator fluks radial satu fasa.
3. Menentukan besar tegangan keluaran, arus dan daya generator fluks radial satu fasa.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa peneliti mengkaji tentang generator fluks radial untuk putaran rendah secara numerik dan eksperimental. Pudji Irasari, Muhammad Kasim, dan Fitriana mengkaji tentang pengaruh kemiringan magnet pada generator fluks radial untuk kecepatan rendah dimana hasilnya menunjukkan posisi kemiringan akan menghasilkan distorsi harmonik dan bentuk gelombang tegangan yang berbeda [3]. Pada pengujian lain dengan menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui pola distribusi dan fluktuasi dari pengaruh kerapatan fluks celah udara terhadap tegangan yang dibangkitkan. Dimana hasilnya menunjukkan bahwa pola distribusi magnet dapat menghindari terjadinya penumpukan fluks [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Santiago.J dan Bernhoff.H untuk mengetahui pengaruh diameter dan lebar celah udara terhadap generator fluks aksial dan fluks radial. Pada penelitian ini ditunjukkan pengaruh kawat sangat besar pada generator fluks aksial dibanding dengan radial dan generator radial dapat digunakan pada putaran tinggi [5].

Pada penelitian ini generator sinkron magnet permanen dirancang dan dibuat dengan desain berupa generator satu fasa tipe fluks radial memanfaatkan magnet permanen dan stator motor bekas. Generator satu fasa tipe fluks radial terdiri atas beberapa komponen yaitu kumparan stator dan magnet rotor. Pada penelitian ini kumparan stator terdapat pada bagian dalam yang terbuat dari stator motor bekas yang dimodifikasi belitannya untuk dapat digunakan pada putaran rendah. Magnet rotor yang digunakan terletak pada bagian luar stator dengan posisi magnet mengelilingi stator sehingga rotor dapat berputar pada putaran rendah dan tinggi.

2.1 Generator

Generator merupakan suatu komponen mesin yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik merupakan gabungan antara energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial yang dihasilkan oleh sumber

daya seperti air, udara, uap, angin, surya, gelombang laut dan lainnya akan mendorong komponen dalam generator berputar. Putaran pada generator akan diubah menjadi energi listrik melalui kumparan stator dan magnet rotor. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa arus bolak balik (AC) maupun arus searah (DC) [6]. Hal ini tergantung dari konstruksi generator yang digunakan oleh pembangkit tenaga listrik. Misalnya pada generator AC, pada *output*nya langsung didapatkan sementara generator DC memerlukan komutator untuk menyearahkan *output* generator. Perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC adalah letak kumparan jangkar dan kumparan statornya. Pada generator DC, kumparan jangkar terletak pada bagian rotor dan kumparan medan terletak pada bagian stator. Sedangkan pada generator AC, kumparan jangkar terletak pada bagian stator dan kumparan medan terletak pada bagian rotor.

Generator menggunakan prinsip hukum yaitu “bahwa apabila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet yang berubah-ubah, maka dalam kawat terjadi induksi yang dikenal dengan Gaya Gerak Listrik” [6].

Generator berdasarkan kecepatan putarnya terdiri dari beberapa jenis yaitu mesin sinkron dan asinkron. Mesin sinkron bekerja pada kecepatan dan frekuensi konstan pada kondisi *Steady state*. Mesin sinkron dapat beroperasi sebagai generator maupun motor yang mana mesin sinkron akan berfungsi sebagai motor jika berputar dalam kecepatan konstan. *Output* mesin sinkron berupa arus bolak-balik yang dapat mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator arus bolak-balik disebut juga sebagai alternator (*alternating current*) atau generator sinkron [6].

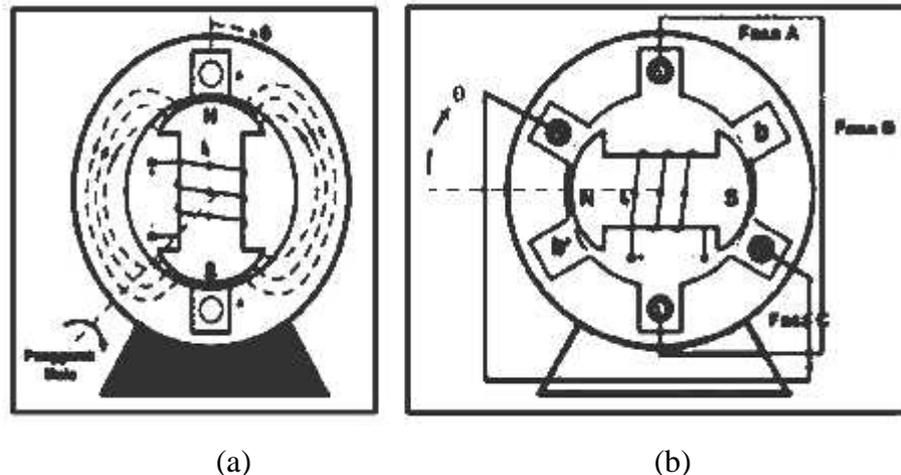
Generator sinkron memiliki jumlah putaran rotor yang sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator sehingga diperoleh kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Generator arus bolak-balik 1 fasa
- b. Generator arus bolak-balik 3 fasa

Gambar 2.1 menunjukkan bentuk generator arus bolak balik 1 dan 3 fasa.

Untuk mengetahui mekanisme kerja dan performance generator sinkron harus

diketahui konstruksi komponen utama dan pendukung serta prinsip kerja dari generator.



(a)
(b)
Gambar 2.1 (a) Diagram Generator AC Satu Fasa Dua Kutub [6]
(b) Diagram Generator AC Tiga Fasa Dua Kutub [6]

2.2 Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron terdiri atas beberapa komponen utama dan pendukung yaitu:

- Stator (Rangka, inti, slot dan gigi, kumparan)
- Rotor (Slip ring, kumparan, poros)
- Prime mover

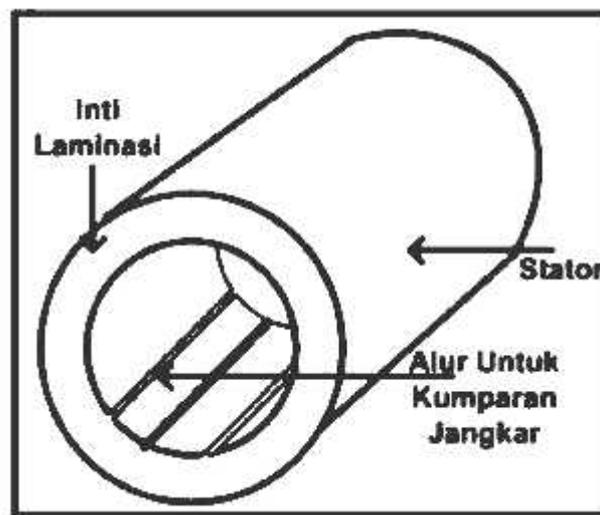
2.2.1 Stator

Stator atau armatur adalah bagian generator yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor yang mana arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui armature. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder yang memiliki lilitan kawat konduktor yang sangat banyak dan armatur ini tidak bergerak. Oleh karena itu, komponen ini juga disebut dengan stator [7]. Lilitan kawat konduktor pada armatur generator dalam wye dan titik netral dihubungkan ke tanah. Lilitan dalam wye dipilih karena dapat:

- Meningkatkan daya *output*.
- Menghindari tegangan harmonik, sehingga tegangan *line* tetap sinusoidal dalam kondisi beban apapun.

Dalam lilitan wye tegangan harmonik ketiga masing-masing fasa saling meniadakan, sedangkan dalam lilitan delta tegangan harmonik ditambahkan. Karena hubungan delta tertutup, sehingga membuat sirkulasi arus harmonik ketiga yang meningkatkan rugi-rugi (I^2R).

Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Kualitas inti ferromagnetik yang baik akan memiliki permeabilitas dan resistivitas bahan tinggi. Gambar 2.2 memperlihatkan inti dan alur stator tempat kumparan jangkar.



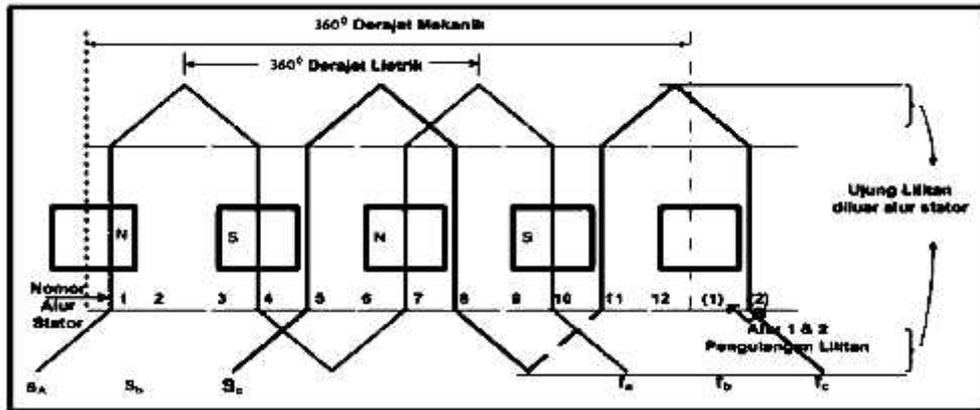
Gambar 2.2 Inti Stator dan Alur pada Stator [7]

Belitan jangkar (stator) yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa terdiri atas dua tipe yaitu [6]:

- a. Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*).

Gambar 2.3 memperlihatkan belitan satu lapis karena hanya ada satu sisi lilitan di dalam masing-masing alur.

Dimana pada gambar ditunjukkan hubungan antara S dan F. Pada kumparan tiga fasa hubungan dimulai pada S_a , S_b , dan S_c dan berakhir di F_a , F_b , dan F_c yang disatukan dengan hubungan segitiga dan bintang.



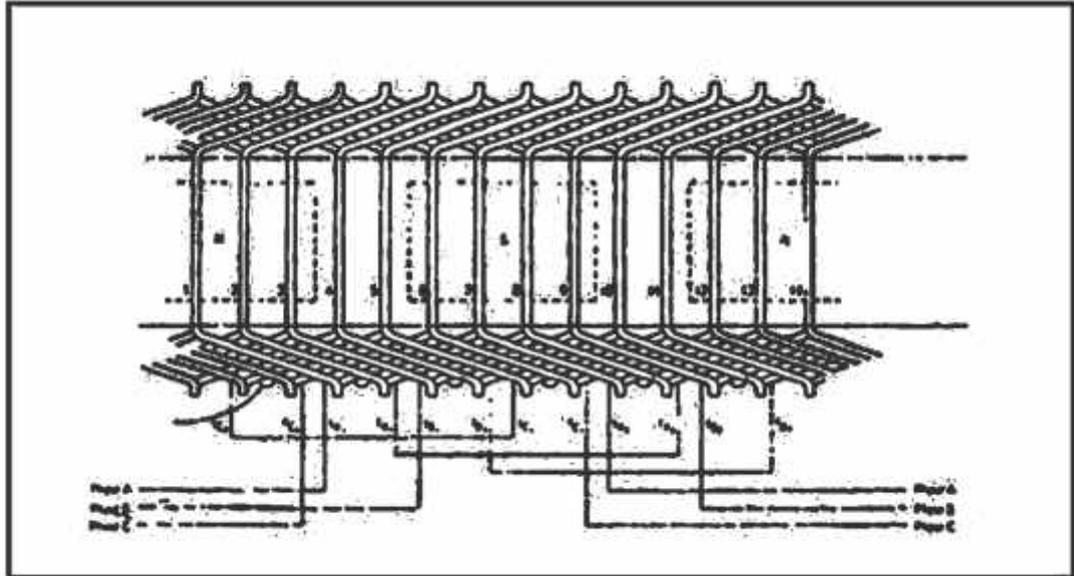
Gambar 2.3 Belitan Satu Lapis Generator Sinkron Tiga Fasa [6]

b. Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*).

Kumparan jangkar yang diperlihatkan pada hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing-masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama. Masing-masing tegangan fasa akan sama untuk menghasilkan tegangan per penghantar dan jumlah total dari penghantar per fasa.

Dalam kenyataannya cara seperti ini tidak menghasilkan cara yang efektif dalam penggunaan inti stator, karena variasi kerapatan fluks dalam inti dan juga melokalisir pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik. Untuk mengatasi masalah ini, generator praktisnya mempunyai kumparan terdistribusi dalam beberapa alur per kutub per fasa.

Gambar 2.4 menunjukkan bagian dari sebuah kumparan jangkar pada belitan berlapis ganda generator sikron tiga fasa yang banyak digunakan. Pada masing masing alur ada dua sisi lilitan yang memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak di dalam alur disebut dengan *winding overhang* dimana tidak ada tegangan dalam *winding overhang* [6].



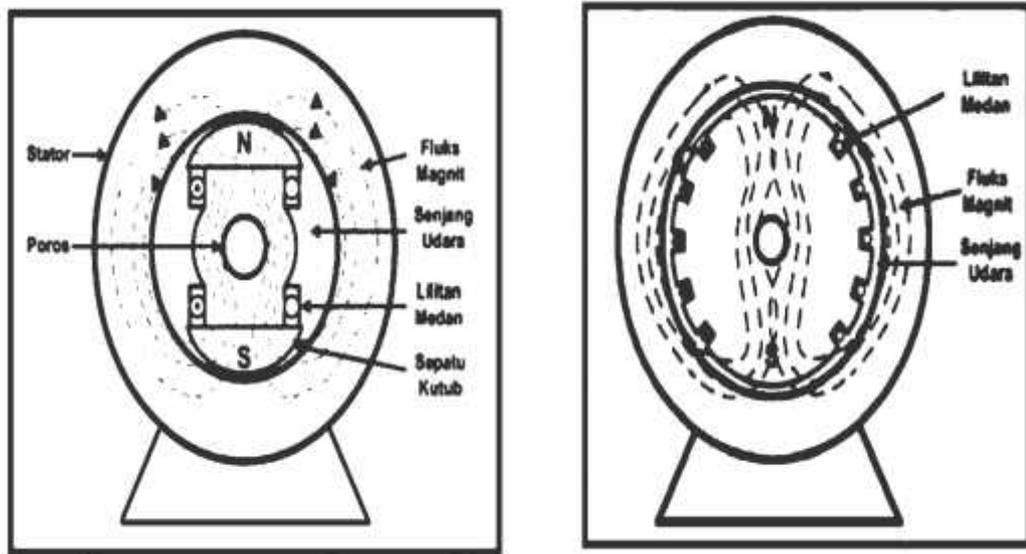
Gambar 2.4 Belitan Berlapis Ganda Generator Sinkron Tiga Fasa [6]

2.2.2 Rotor (*Magnetic Field*)

Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang menghasilkan tegangan dan diinduksikan ke stator. Rotor pada generator sinkron terdiri atas:

- (1) Rotor berbentuk kutub sepatu (*salient pole*)
- (2) Rotor berbentuk kutub dengan celah udara sama rata (*cylindrical*)

Dimana perbedaan utama antara keduanya adalah turbin penggerakannya. *Salient pole rotor* digerakkan oleh turbin hidrolik putaran rendah sedangkan *cylindrical rotor* digerakkan oleh turbin uap dengan putaran tinggi. Sebagian besar turbin hidrolic harus berputar pada putaran rendah (50-300 rpm). *Salient pole rotor* dihubungkan langsung ke roda kincir dengan frekuensi yang diinginkan 60 Hz. Jumlah kutub yang dibutuhkan di rotor jenis ini sangat banyak dan membutuhkan diameter yang besar untuk memuat kutub yang sangat banyak tersebut. *Cylindrical rotor* lebih kecil dan efisien daripada turbin kecepatan rendah. Untuk 2 kutub dengan frekuensi 60 Hz putarannya adalah 3600 rpm, sementara pada 4 kutub putarannya adalah 1800 rpm. Bentuk rotor yang terdapat pada generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.5. Dimana pada Gambar 2.5 terlihat bentuk rotor dengan kutub menonjol dan silinder [7].



(a) Rotor kutub menonjol (b) Rotor Silinder
Gambar 2.5 Bentuk Rotor [7]

2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh *prime mover*, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak-balik atau fluks putar. Fluks putar ini akan memotong kumparan stator sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik yang disebabkan oleh induksi dari fluks putar tersebut. Gaya gerak listrik (GGL) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor [8].

Frekuensi elektrik yang dihasilkan oleh generator sinkron adalah serempak dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC dimana dalam elektromagnet terdapat medan magnet. Medan magnet yang ditimbulkan oleh rotor bergerak searah putaran rotor. Hubungan antara putaran medan magnet pada mesin dengan frekuensi elektrik pada stator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 yaitu:

$$f = \frac{NrP}{120} \tag{2.1}$$

Dimana:

f = frekuensi listrik (Hz)

N_r = kecepatan putar rotor (rpm)

P = jumlah kutub magnet

Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet maka persamaan diatas juga dapat digunakan untuk mencari hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub mesin yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk membangkitkan frekuensi 60 Hz pada mesin dua kutub, rotor arus berputar dengan kecepatan 3600 rpm. Untuk membangkitkan frekuensi 50 Hz pada mesin empat kutub, maka rotor harus berputar pada 1500 rpm [6].

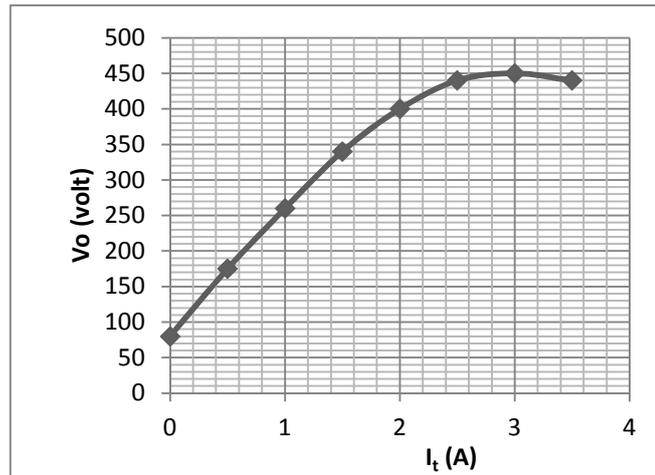
Pada generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tetapi berbeda fasa 120° satu sama lain. Setelah itu ketiga kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

2.3.1 Generator Sinkron Tanpa Beban

Pada saat generator sinkron diputar dengan kecepatan yang serempak dengan rotor yang diberi arus medan (I_f), maka tegangan (E_0) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator [9].

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f) dimana apabila arus medan (I_f) diubah harganya maka akan diperoleh harga E_0 seperti yang terlihat pada kurva di Gambar 2.6.

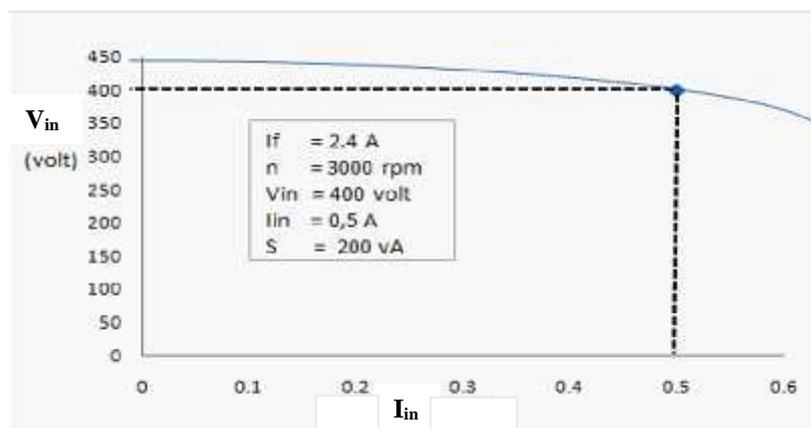
Bila besarnya arus medan dinaikkan maka tegangan *output* juga akan naik sampai mencapai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Karakteristik Tanpa Beban Generator Sinkron

2.3.2 Generator Sinkron Berbeban

Pada saat generator dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar yang terjadi bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi pemagnet (X_m) ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s). Karakteristik generator sinkron berbeban diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian Generator Sinkron Berbeban [6]

Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan oleh adanya:

- Jatuh tegangan karena resistansi jangkar (R_a)

Resistansi jangkar per fasa R_a yang dialiri oleh arus jangkar I_a menyebabkan terjadinya tegangan jatuh per fasa $I_a R_a$ yang sefasa dengan arus jangkar I_a . Akan tetapi, pada praktiknya jatuh tegangan ini diabaikan karena pengaruhnya sangat kecil [8].

- Jatuh tegangan karena reaktansi bocor jangkar

Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak memotong *air-gap*, melainkan mengambil jalur yang lain dan menghubungkan sisi-sisi kumparan [6]. Fluks-fluks tersebut dinamakan fluks bocor (*leakage fluxes*). Fluks bocor tersebut bergerak dengan arus jangkar dan memberikan induktansi diri (*self-inductance*) belitan yang disebut dengan reaktansi bocor jangkar.

- Jatuh tegangan karena reaksi jangkar

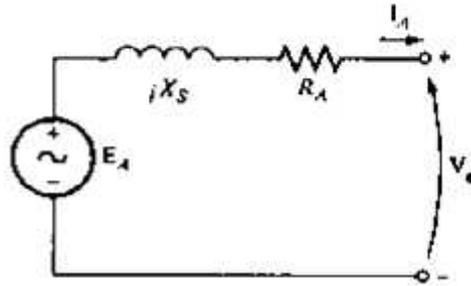
Pada saat generator sinkron bekerja pada beban nol tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator), sehingga yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun jika generator sinkron diberi beban, arus jangkar I_a akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian mempengaruhi fluksi arus medan dan akhirnya menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron yang dikenal sebagai reaksi jangkar. Pengaruh yang ditimbulkan oleh fluksi jangkar dapat berupa distorsi, pelemahan medan magnet pada celah udara.

2.4 Menentukan Parameter-parameter Generator Sinkron

Parameter generator sinkron dibutuhkan untuk menggambarkan rangkaian ekuivalen beserta karakteristiknya seperti Gambar 2.8 [9]. Parameter yang dibutuhkan untuk menggambarkan karakteristik generator sinkron dalam penulisan ini yaitu tahanan jangkar (R_a) dan reaktansi sinkron (X_s).

Nilai (R_a) dapat dihitung dengan melakukan pengujian tahanan jangkar dimana kumparan jangkar dihubungkan pada sumber tegangan arus searah (dc)

ketika mesin dalam keadaan diam lalu diukur besar arus yang mengalir pada kumparan jangkar.



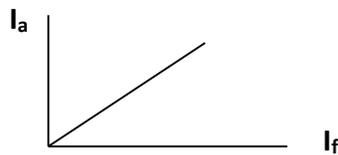
Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen generator sinkron [9].

Tahanan jangkar dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 [9].

$$R_a = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \quad (2.2)$$

$$\sqrt{R_a^2 + X_s^2} = \frac{E_a}{I_a} \quad (2.3)$$

Untuk mendapatkan nilai (X_s) dilakukan dengan percobaan tanpa beban dan percobaan hubung singkat. Pada pengujian tanpa beban, generator diputar pada kecepatan ratingnya sehingga didapat nilai $E_A = V$. Pada pengujian hubung singkat, mula-mula arus medan dibuat menjadi nol dan terminal jangkar dihubungkan singkat melalui amperemeter. Kemudian arus jangkar (I_a) diukur dengan mengubah arus eksitasi medan sehingga didapat hubungan antara arus jangkar (I_a) dan arus medan (I_f) yang berbentuk linear karena tidak adanya efek saturasi seperti Gambar 2.9.

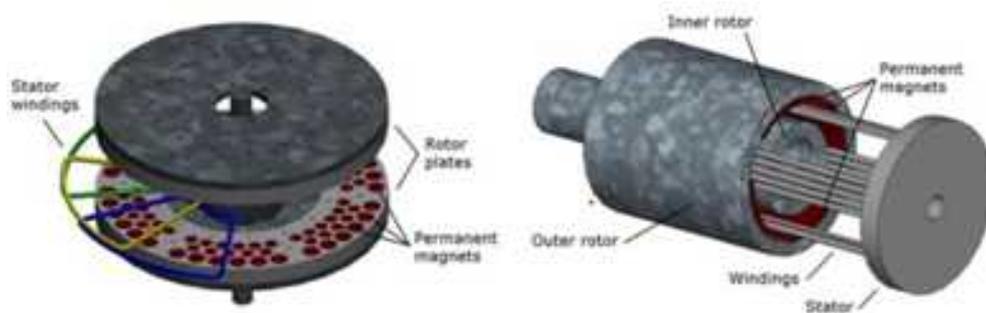


Gambar 2.9 Karakteristik Hubung Singkat Alternator[9]

2.5 Mesin Fluks Radial

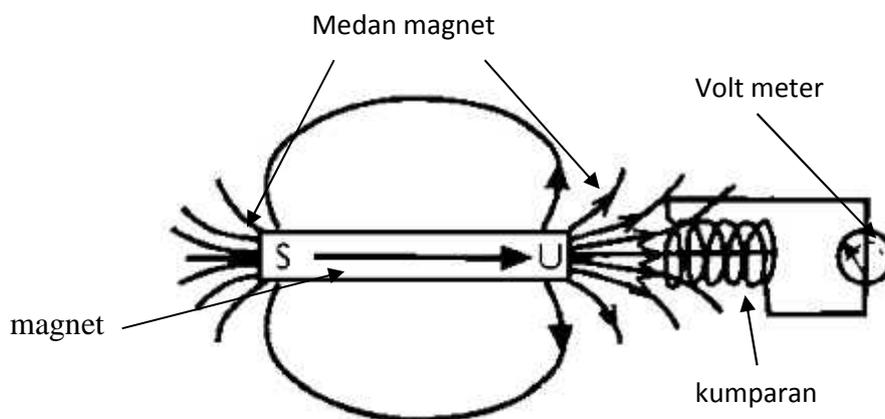
Kebutuhan generator disaat ini semakin meningkat dalam memenuhi ketersediaan listrik. Penelitian-penelitian mulai banyak dikembangkan untuk

mendapatkan sebuah generator yang mampu dioperasikan pada putaran tinggi dan rendah [5]. Mesin fluks radial merupakan salah satu tipe mesin fluks selain mesin silinder fluks aksial. Mesin jenis ini memiliki struktur yang kuat dan bentuk yang sederhana. Mesin fluks radial merupakan mesin sinkron dimana medan magnet memberikan arah radial dengan menempatkan stator di sekitar rotor. Mesin fluks radial bisa digunakan untuk putaran rendah dan tinggi. Gambar 2.10 menunjukkan jenis mesin aksial dan radial.



Gambar 2.10 Jenis mesin aksial dan radial [5]

Gambar 2.10 menunjukkan konstruksi aksial stator yang ditempatkan diantara piringan rotor dengan magnet. Medan magnet yang ada pada mesin fluks aksial bersumber pada piringan rotor. Pada mesin radial, stator bisa ditempatkan pada bagian dalam dan rotor pada bagian luar dimana magnet ditempatkan disekeliling pinggiran jari-jari rotor.



Gambar 2.11 Gaya gerak listrik timbul akibat perubahan garis gaya magnet [10]

Gaya gerak listrik ditunjukkan pada Gambar 2.11 dimana gaya gerak listrik timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet yang disebut dengan GGL induksi, sedangkan arus yang mengalir dinamakan arus induksi dan peristiwanya disebut induksi elektromagnetik [10]. Besar GGL induksi pada generator fluks radial dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.4) [4]:

$$E_{ph} = 4,44 f N_{ph} k_w k_s \phi_{max} \quad (2.4)$$

Dimana :

E_{ph} = Tegangan induksi yang dibangkitkan (V)

f = frekuensi (Hz)

ϕ_{max} = fluks magnet (Wb)

N_{ph} = Jumlah belitan kumparan

K_w = faktor lilit (1)

K_s = faktor kemiringan (0,984)

Beberapa faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu [10]:

1. Kecepatan perubahan medan magnet

Semakin cepat perubahan medan magnet, maka GGL induksi yang timbul semakin besar.

2. Banyaknya lilitan

Semakin banyak lilitan, maka GGL induksi yang timbul semakin besar.

3. Kekuatan magnet

Semakin kuat gejala kemagnetannya, maka GGL induksi yang timbul semakin besar. Besar kekuatan medan magnet atau fluks yang dihasilkan dengan nilai celah udara yang diketahui dapat dihitung dengan Persamaan (2.5) [4]:

$$B_{max} = Br \frac{lm}{lm + u} \quad (2.5)$$

Dimana :

B_r = Kerapatan fluks (T)

l_m = Tinggi magnet (m)

= Lebar celah udara (m)

B_{max} = Fluks magnet maksimal (T)

Luasan magnet dihitung dengan Persamaan (2.6) [4]:

$$A_m = \frac{f (r_o^2 - r_i^2) - f (r_o - r_i) N_m}{N_m} \quad (2.6)$$

Dimana:

A_{magn} = luasan magnet (m²)

r_o = radius luar magnet (m)

r_i = radius dalam magnet (m)

N_m = jumlah magnet

f = jarak antar magnet (m)

Maka diperoleh fluks maksimum yang dihasilkan dengan Persamaan (2.7)

adalah[3]:

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \quad (2.7)$$

Dimana :

A_{magn} = luasan magnet (m²)

B_{max} = Fluks magnet maksimal (T)

Φ_{max} = Fluks maksimum (Wb)

2.6 Daya Listrik

Daya adalah energi persatuan waktu dengan satuan joule per detik (1 Watt =1 joule per detik). Daya sesaat dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.8) [11]:

$$P = V \cdot I \quad (2.8)$$

Dimana :

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.7 Regulasi Tegangan

Regulasi tegangan merupakan persentase perubahan tegangan terminal alternator dari kondisi beban nol menjadi kondisi beban penuh.

Regulasi tegangan dapat dihitung dengan Persamaan (2.9) yaitu [12]:

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \quad (2.9)$$

Dimana :

V_{NL} = Tegangan tanpa beban

V_{FL} = Tegangan bebebhan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan generator fluks radial satu fasa yaitu:

1. Magnet motor bekas
2. Stator motor bekas
3. Kawat tembaga
4. Selongsong kawat
5. Solder
6. Penyedot solder
7. Multimeter
8. Kabel penghubung

3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat generator fluks radial satu fasa dengan memanfaatkan barang bekas yang masih layak digunakan. Penelitian akan dilakukan di lingkungan gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.

Penelitian akan direncanakan selama 2 bulan dengan tahap awal mempelajari metode dan teori-teori yang berhubungan dengan generator, putaran dan hal lain yang terkait didalamnya kemudian dilanjutkan dengan perencanaan, pembuatan alat dan analisa.

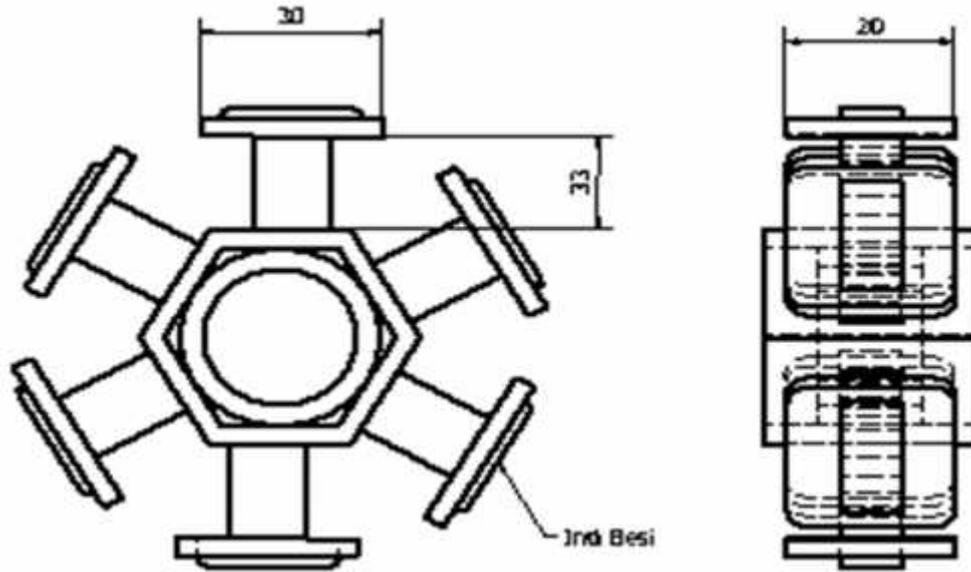
3.3 Generator Fluks Radial Satu Fasa

Generator fluks radial satu fasa memiliki komponen yang utama yaitu bagian diam (stator) dan bagian berputar (rotor). Pada generator yang akan dibuat, stator diletakan pada bagian dalam dan rotor pada bagian luar.

a) stator

stator yang digunakan memanfaatkan stator motor yang dimodifikasi belitannya, stator pada Gambar 3.1 terdiri dari 6 kumparan dengan jumlah 4000

belitan pada kawat 0,15, 0,20 mm dan kawat 0,25 mm. Belitan stator terhubung seri dengan tegangan keluaran satu fasa dan kumparan dibuat pada ukuran maksimal belitan yang bisa digulung pada stator.



Gambar 3.1 Stator yang belum dililit (dimensi dalam mm).

Pada stator terdapat inti besi yang berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Stator yang digunakan berdiameter 0,15 mm, 0,20 mm dan 0,25 mm dengan arah lilitan tiap kumparan yang berbeda, hal ini agar arah arus yang mengalir sama dan tegangan yang dihasilkan besar. Pada Tabel 3.1 menjelaskan spesifikasi generator yang akan dibuat.

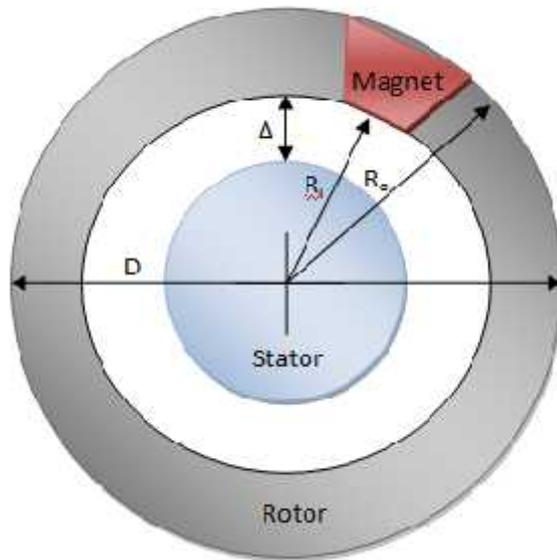
Tabel 3.1 Spesifikasi stator generator fluks radial

Parameter	Lambang	Nilai
Dimensi kumparan Stator	P	33 mm
	L	30 mm
	T	20 mm
Jumlah kumparan	Nm	6
Jumlah lilitan kawat 0,15	Ns	650
Jumlah lilitan kawat 0,20	Ns	650
Jumlah lilitan kawat 0,25	Ns	650
Jumlah fasa	Nph	1

b) Rotor

Rotor generator fluks radial yang digunakan memanfaatkan magnet motor bekas yang terdapat 6 magnet didalamnya. Rotor kemudian dihubungkan ke poros penggerak mula yaitu motor ac. Rancangan rotor generator fluks radial dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan data spesifikasi rotor dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Pada Tabel 3.2 menjelaskan data spesifikasi rotor generator fluks radial yang digunakan sebagai pembangkit medan magnet . Kecepatan putaran rotor mempengaruhi besar tegangan yang dibangkitkan dan frekuensi yang dihasilkan.



Gambar 3.2 Gambar Rotor

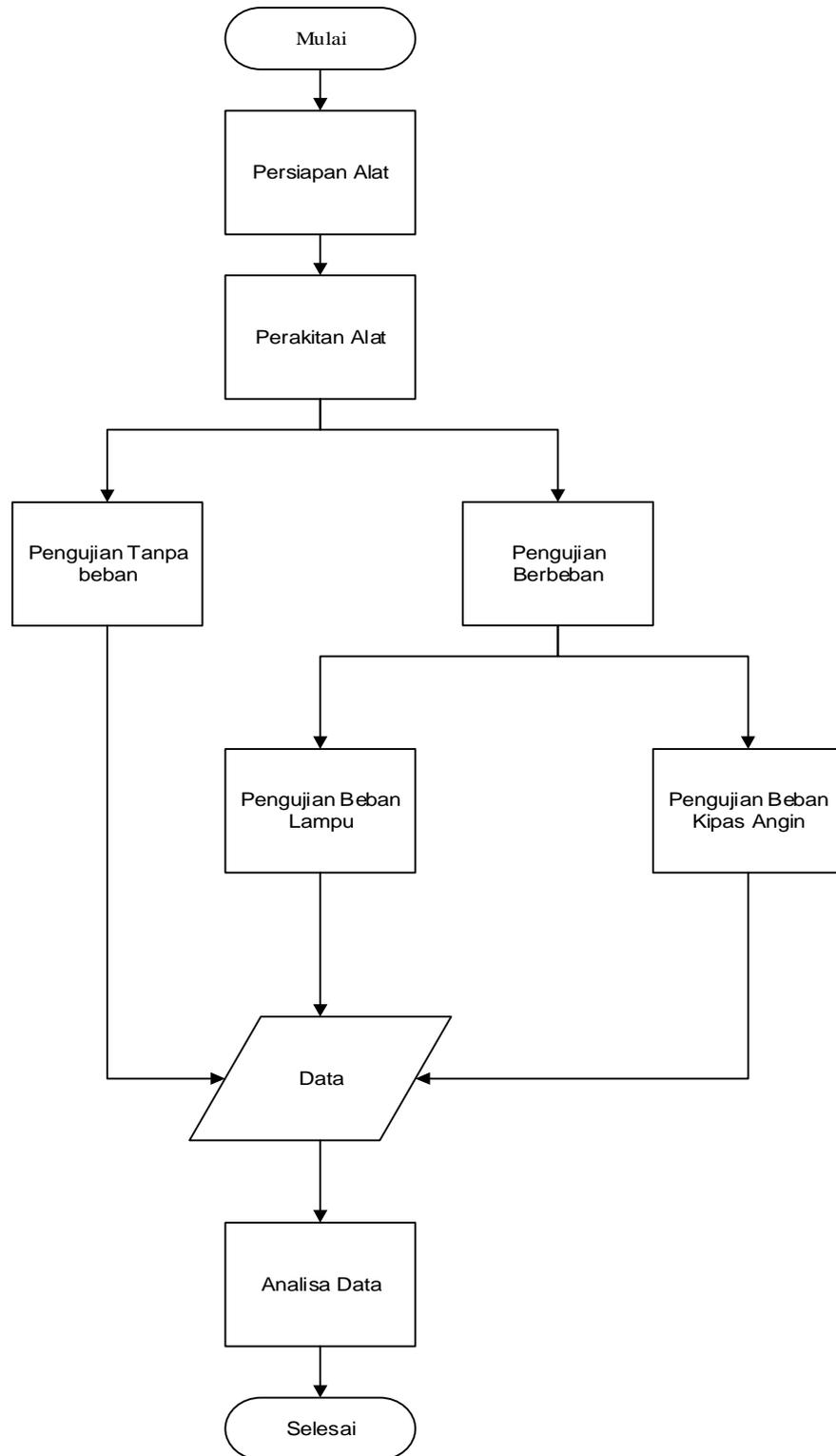
Tabel 3.2 Spesifikasi rotor generator fluks radial

Parameter	Lambang	Nilai
Kerapatan fluks	Br	1,2 T
Dimensi magnet	P	3,4 cm
	L	2,2 cm
	T	6 mm
Jumlah magnet	Nm	6
Radius dalam magnet	R_i	3,2 cm
Radius luar magnet	R_o	4,3 cm
Jarak antar magnet	f	1 cm
Celah udara		2 mm
Diameter rotor	D	11,1 cm

Rotor generator fluks radial terdiri atas 6 buah magnet permanen jenis ferrit yang disusun secara radial pada sebuah bidang yang berbentuk silinder.

3.4 Flowchart

Gambaran secara umum proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Flowchart penelitian secara umum

3.5 Pengujian Karakteristik Generator

Pengujian tegangan keluaran generator fluks radial yang dilakukan yaitu:

1. Pengujian generator fluks radial Beban Nol

Pengujian generator fluks radial tanpa beban dilakukan untuk mengetahui besar tegangan keluaran generator pada saat tanpa beban. Rangkaian pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.

Pengujian generator fluks radial tanpa beban dilakukan untuk mendapatkan tegangan pada putaran yang telah diatur dari jangkar motor induksi. Langkah – langkah pengujian yaitu:

a) Generator diputar pada kecepatan nominal (n).

Putaran yang diatur dimulai dari 200 rpm sampai 1400 rpm dengan kenaikan tiap 200 rpm. Pengujian dilakukan untuk 2 ukuran diameter kawat yang yaitu 0,15 mm dan 0,25 mm.

b) Tidak ada beban yang terhubung pada terminal generator.

c) Catat nilai tegangan terminal generator.

2. Pengujian berbeban

Pengujian dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dan arus keluaran generator pada saat kondisi berbeban. Pengujian generator fluks radial satu fasa berbeban dilakukan seperti Gambar 8 dengan menambahkan beban pada tegangan *output* generator yang menggunakan stator dengan ukuran diameter yang berbeda yaitu 0,15 mm dan 0,25 mm. Pengujian dilakukan dengan variasi putaran generator dimulai pada 200 rpm sampai 1400 rpm dengan kenaikan 200 rpm tiap kenaikan putaran. Beban yang digunakan pada pengujian yaitu beban lampu pijar 5 Watt 12 buah dan kipas angin 18 Watt. Rangkaian pengujian tegangan fluks radial satu fasa berbeban lampu pijar 5 Watt seperti pada gambar 2.8 dan pengujian tegangan fluks radial berbeban kipas angin 18 Watt dilakukan dengan mengganti beban lampu menjadi beban kipas angin 18 Watt.

Tegangan keluaran generator yang didapat dibandingkan dengan tegangan keluaran pada saat pengukuran dan perhitungan secara teori menggunakan persamaan 2.4 selanjutnya dihitung regulasi tegangan menggunakan persamaan 2.9, hal ini untuk mengetahui besar nilai tegangan jatuh pada generator saat

dibebani . Pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban dilakukan dengan variasi putaran generator yang kemudian dianalisa hubungan tegangan keluaran dan putaran yang didapat.

3. Pengujian tahanan jangkar (R_a)

Pengujian tahanan jangkar (R_a) dilakukan dengan memberikan tegangan dc ke kumparan jangkar generator ketika mesin dalam keadaan diam lalu diukur arus yang mengalir pada kumparan jangkar.

4. Pengujian hubung singkat

Pada pengujian mula-mula arus medan dibuat menjadi nol dan terminal jangkar dihubung singkat melalui amperemeter. Lalu arus jangkar diperbesar dengan menaikkan arus medan secara bertahap hingga tercapai nilai arus jangkar maksimum yang masih aman sekitar 125% - 150 %.