

SKRIPSI

**MESIN SINKRON SEBAGAI GENERATOR PEMBANGKIT
SKALA KECIL DARI ALTERNATOR MOBIL**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro



Oleh :

VEBRIAN SAGITA

191000220201021

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

MESIN SINKRON SEBAGAI GENERATOR PEMBANGKIT SKALA
KECIL DARI ALTERNATOR MOBIL

Oleh

VEBRIAN SAGITA
191000220201021

Dosen Pembimbing I,



Ir. Yulisman, M.T
NIDN. 8808220016

Dosen Pembimbing II,



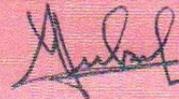
Herry Yamashika, S.T., M.T
NIDN. 1024038202

Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat,



Masril, S.T., M.T
NIDN. 1005057407

Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Ir. Yulisman, M.T
NIDN. 8808220016



LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal 28 Februari 2023 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

Bukittinggi, 28 Februari 2023

Mahasiswa,

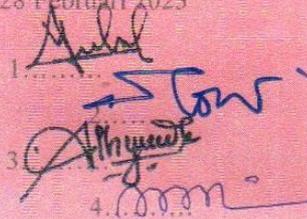


Vebrian Sagita

191000220201021

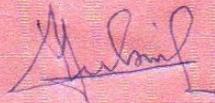
Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 28 Februari 2023

1. Ir. Yulisman, M.T
2. Herris Yamashika, S.T.,M.T
3. Mahyessie Kamil, S.T., M.T
4. Ir. Budi Santosa, M.T



Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Elektro



Ir. Yulisman, M.T

NIDN. 8808220016

LEMBARAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : VEBRIAN SAGITA
Tempat dan Tanggal Lahir : Padangsidempuan, 03 Desember 1998
NIM : 191000220201021
Judul Skripsi : MESIN SINKRON SEBAGAI GENERATOR
PEMBANGKIT SKALA KECIL DARI
ALTERNATOR MOBIL.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai peraturan yang berlaku di UM Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun

Bukittinggi, 28 Februari 2023

Mahasiswa,



VEBRIAN SAGITA
VEBRIAN SAGITA

191000220201021

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pembuatan mesin sinkron sebagai generator pembangkit skala kecil dari alternator mobil bertujuan agar dapat mengetahui kinerja mesin sinkron sebagai generator pembangkit skala kecil dan berapa nilai frekuensi pada generator tiga fasa daya kecil. Penelitian ini dilakukan di laboratorium teknik elektro universitas muhammadiyah sumatera barat. Pembuatan mesin sinkron ini membutuhkan perancangan yang teliti, harus menyediakan data yang akurat dan tepat agar mudah dimengerti. Tujuan percobaan berbeban dilakukan agar dapat mengetahui hasil dari arus dan tegangan dari mesin sinkron yang berputar terhadap nominal putaran disaat mesin sinkron berbeban. Setiap motor arus bolak-balik akan menghasilkan medan magnet putar kedua yang sinkron ketika rotor dengan magnet permanen atau elektromagnet berputar searah dengan medan stator dengan kecepatan yang sama.

Kata kunci : Mesin Sinkron, Generator, Arus, Rotor, Stator.



ABSTRACT

This research focuses on the manufacture of synchronous machines as small-scale generator generators from car alternators. This research was conducted in the electrical engineering laboratory of Muhammadiyah University, West Sumatra. Making this synchronous machine requires careful design, must provide accurate and precise data so that it is easy to understand. The purpose of the loaded experiment was carried out in order to find out the results of the current and voltage of the rotating synchronous machine against the nominal rotation when the synchronous machine is loaded. Any alternating current motor will produce a second rotating magnetic field that is synchronous when the rotor with permanent magnets or electromagnets rotates in the direction of the stator field at the same speed.

Keywords: Synchronous Machine, Generator, Current, Rotor, Stator.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikannya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada :

1. Orang tua dan kakak yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang;
2. Bapak Masril S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat;
3. Bapak Hariyadi, M. Kom., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat;
4. Bapak Ir. Yulisman, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.;
5. Bapak Mahyessi Kamil, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
6. Bapak Herris Yamashika, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
7. Bapak/Ibu Dosen Teknik Elektro Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
8. Bapak/Ibu Civitas Akademik Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
9. Yunita Ruliya yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayang.
10. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa teknik elektro.

Bukittinggi, 3 Januari 2023

Vebrian Sagita



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN i

HALAMAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI ii

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN iii

ABSTRAK iv

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR GAMBAR xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian 2

1.4.1. Tujuan Penelitian 2

1.4.2. Manfaat Penelitian 2

1.5 Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Sinkron 4

2.2. Generator 4

2.3. Generator Sinkron 5

a. Rotor 5

b. Stator 8

2.4. Prinsip Kerja Generator Sinkron 9

2.5. Frekuensi pada Generator Sinkron	12
2.6. GGL Induksi pada Alternator	13
2.7. Daya Keluaran Generator Sinkron.....	13
2.8. Polaritas Transformator	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3. 1. Lokasi Penelitian	16
3. 2. Data Penelitian	16
3.2.1. Jenis Penelitian	16
3.2.2. Sumber Data	16
3. 3. Metode Analisis Data	16
3. 4. Diagram Alir	16

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perhitungan	18
4.1.1. Percobaan Beban Nol	18
4.1.2. Riset Data Percobaan dari beban nol fasa ke Netral	18
4.1.3. Riset Data Percobaan Nol Fasa ke Fasa	18
4.1.4. Riset Data Eksperimen Beban Nol Tegangan Dinaikkan Fasa ke Netral	19
4.1.5. Rangkaian Percobaan Berbeban	19
4.1.6. Analisis Drop Tegangan dan Regulasi Tegangan Beban 15 watt	19
4.1.7. Analisis Drop Tegangan dan Regulasi Tegangan Beban 24 watt	21
4.1.8. Analisis Drop Tegangan dan Regulasi Tegangan	

Beban 36 watt	23
4.1.9. Perhitungan Frekuensi Generator	24
4.2. Pembahasan	26
4.2.1. Percobaan Beban Nol	26
4.2.2. Percobaan Berbeban	26

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	27
5.2. Saran	28

DAFTAR PUSTAKA



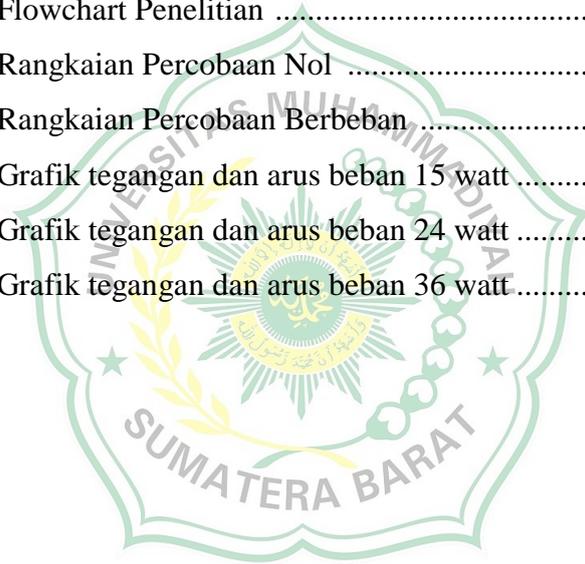
DAFTAR TABEL

No. Tabel		Halaman
Tabel 4.1	Data hasil percobaan beban nol fasa ke netral	18
Tabel 4.2	Riset data percobaan beban nol fasa ke fasa	18
Tabel 4.3	Hasil riset data beban nol tegangan dinaikan fasa ke Netral	19
Tabel 4.4	Riset data percobaan beban 15 watt	19
Tabel 4.5	Riset data percobaan beban 24 watt	21
Tabel 4.6	Riset data percobaan beban 36 watt	23



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar		Halaman
Gambar 2.1	Konstruksi sederhana generator sinkron	5
Gambar 2.2	Rotor <i>salient pole</i> (kutub menonjol) generator sinkron.....	7
Gambar 2.3	Rotor kutub silinder generator sinkron.....	7
Gambar 2.4	Bentuk konstruksi stator pada generator sinkron	9
Gambar 2.5	Proses terbentuknya gelombang AC pada generator sinkron.....	10
Gambar 2.6	Karakteristik hubungan pengaruh arus medan terhadap fluks dan GGL Induksi pada alternator.	13
Gambar 2.7	Tes polaritas transformator	15
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian	17
Gambar 4.1	Rangkaian Percobaan Nol	18
Gambar 4.2	Rangkaian Percobaan Berbeban	19
Gambar 4.3	Grafik tegangan dan arus beban 15 watt	21
Gambar 4.4	Grafik tegangan dan arus beban 24 watt	23
Gambar 4.5	Grafik tegangan dan arus beban 36 watt	25



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa teknik untuk menghasilkan energi untuk memenuhi kebutuhan manusia. Menggunakan generator, yaitu alat yang diputar oleh penggerak utama, adalah salah satu pendekatan. Meskipun mesin sinkron telah digunakan untuk menghasilkan listrik arus bolak-balik sejak lama, pertimbangan mulai diberikan untuk penggunaan mesin asinkron sebagai pembangkit listrik karena kesederhanaan dan ketahanan konstruksinya. Keberhasilan dan pesatnya perkembangan kegiatan industri di masa lalu di negara-negara industri bergantung pada tersedianya energi listrik dalam jumlah yang cukup dan berkualitas tinggi. Hal ini telah menghambat perkembangan ekonomi dan standar hidup di negara-negara tersebut. Hanya dengan generator sinkron konversi energi mekanik berskala besar menjadi energi listrik dapat dilakukan. Meskipun generator yang disinkronkan dapat digunakan sebagai mesin tunggal, mereka seringkali saling berhubungan dalam sistem yang memungkinkannya untuk disinkronkan dengan alternator lain. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin diubah menjadi energi listrik melalui generator. Suatu kondisi yang dikenal sebagai harmonik gigi terkadang dapat muncul pada desain generator sinkron, menyebabkan gelombang keluaran terdistorsi dan tidak menghasilkan gelombang sinus murni.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang yang telah dijelaskan maka dapat dirumuskan masalah yaitu bagaimana hasil pengujian pada rancang bangun mesin sinkron sebagai pembangkit skala kecil.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan ini tidak terlalu menyimpang dari topik yang telah ditentukan maka penulis memberi batasan masalah sebagai berikut :

1. Pembahasan ini dikhususkan untuk mengetahui berapa keluaran yang telah dikeluarkan oleh mesin sinkron tiga fasa.
2. Lampu 5 watt berjumlah 5 buah sebagai beban.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Pembuatan proposal skripsi ini mempunyai tujuan, yaitu :

1. Mengetahui kinerja mesin sinkron sebagai generator pembangkit skala kecil.
2. Agar mengetahui berapa nilai frekuensi pada generator tiga fasa daya kecil yang berkapasitas 500 watt.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini ialah :

a. Manfaat Ilmiah

Manfaat Ilmiah dari penelitian adalah dalam meningkatkan wawasan mahasiswa dalam bidang mesin-mesin listrik terkhususnya mesin sinkron 3 fasa.

b. Manfaat Terapan

Manfaat terapan dari penelitian ini yakni sebagai acuan dalam Sistematika Penulisan dalam melihat keluaran tegangan dan arus terhadap mesin sinkron 3 fasa.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan untuk memudahkan pemahaman pembaca dalam mengambil inti yang terdapat pada skripsi ini, maka skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan sumber bacaan, teori-teori baik dari buku, jurnal dan hasil-hasil penelitian yang terkait dengan permasalahan dan tujuan yang diangkat dalam skripsi ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang rencana dan prosedur penelitian yang dilakukan oleh penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan permasalahan dan tujuan penelitian. Diantaranya penjelasan lokasi penelitian, data penelitian, metode analisis data serta bagan alir penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil perhitungan data penelitian dan pembahasan alat penelitian.

BAB V. PENUTUP

Dalam bab ini berisikan tentang Kesimpulan selama penelitian dan Saran untuk perkembangan jika ada kekurangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Sinkron

Motor sinkron adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah energy listrik menjadi energy mekanik. Motor sinkron mengandung elektro magnet arus bolak-balik multifasa pada stator motor yang menciptakan medan magnet yang berputar dalam waktu dengan osilasi arus garis. Rotor dengan magnet permanen atau electromagnet berputar sejalan dengan bidang stator pada kecepatan yang sama dan sebagai hasilnya, memberikan medan magnet berputar kedua yang disinkronkan dari motor arus bolak-balik manapun. Sebuah motor sinkron disebut dua kali lipat jika dilengkapi dengan electromagnet arus bolak-balik multifasa bebas tereksitasi baik pada rotor. Mesin sinkron dan motor induksi adalah jenis motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan. Prinsip kerja motor sinkron adalah Motor sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya terbentuk sama dengan motor induksi, sedangkan kumparan medan rotor sinkron berbentuk kutub sepatu (salient pole) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin dan sikat. Apabila jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa, maka akan menimbulkan medan putar pada stator. Kutub medan rotor yang diberi penguat arus searah mendapat tarikan dari kutub medan stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama atau sinkron.

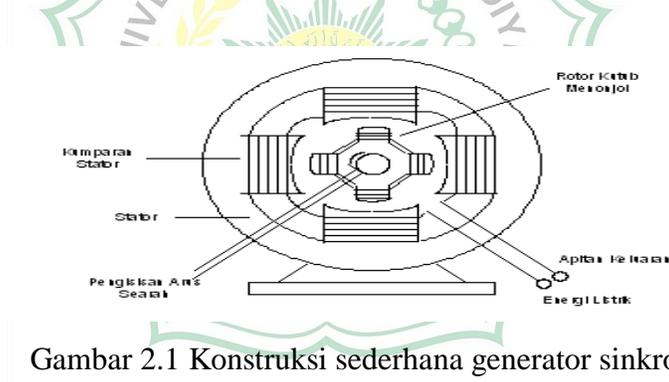
2.2 Generator

Generator sinkron (sering disebut alternator) merupakan sebuah mesin sinkron yang berfungsi mengubah energi mekanik berupa putaran menjadi energi listrik bolak-balik (AC). Generator AC (*Alternating Current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah

putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin sinkron tidak dapat start sendiri karena kutub-kutub tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala-jala. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron satu fasa.

2.3 Generator Sinkron

Pada prinsipnya, konstruksi Generator sinkron sama dengan motor sinkron. Secara umum, konstruksi generator sinkron terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris. Selain itu generator sinkron memiliki celah udara ruang antara stator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotor ke stator.



Gambar 2.1 Konstruksi sederhana generator sinkron

a. Rotor

Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang kemudian tegangan dihasilkan dan akan di induksikan ke stator.

Rotor terdiri dari beberapa komponen utama yaitu :

1) Slip Ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasangkan

ke-slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.

2) Sikat

Sebagian dari generator sinkron ada yang memiliki sikat ada juga yang tidak memiliki sikat. Sikat pada generator sinkron berfungsi sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus DC ke kumparan medan pada rotor generator sinkron. Sikat terbuat dari bahan karbon tertentu.

3) Kumparan Rotor (kumparan medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peran utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

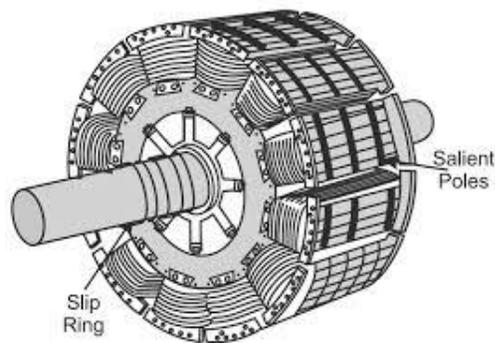
4) Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

1. Rotor Kutub Menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus *Eddy*, kumparan-kumparan medannya terdiri dari bilah lembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek.

Selain itu jenis kutub salient pole, kutub magnetnya menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medan dihubungkan seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub yang berlawanan.

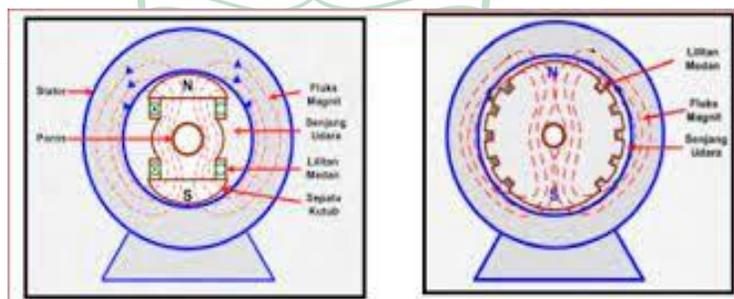


Gambar 2.2 Rotor *salient pole* (kutub menonjol) generator sinkron

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik.

2. Rotor Kutub Tak Menonjol (Rotor Silinder)

Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan juga kumparan medan yang terletak pada rotor maka jumlah kutub pun sedikit yang dapat dibuat. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur disisi luarnya dan terhubung seri yang di energjais oleh eksiter. Gambar bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Rotor kutub silinder generator sinkron

Rotor ini biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi

anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol (*salient pole rotor*). Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran tinggi (1500 atau 3000 rpm) biasanya digunakan untuk pembangkit listrik berkapasitas besar misalnya pembangkit listrik tenaga uap dan gas. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan tinggi karena :

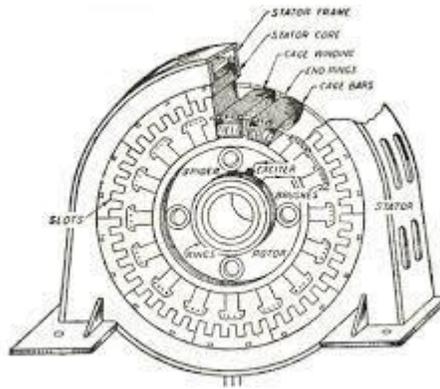
- 1) Distribusi disekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.
- 2) Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik pada kecepatan putar tinggi.

b. Stator

Stator adalah bagian generator yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui armatur, komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Armatur selalu diam (tidak bergerak). Oleh karena itu, komponen ini juga disebut dengan stator. Lilitan armatur generator dalam wye dan titik netral dihubungkan ke tanah. Lilitan dalam wye dipilih karena :

1. Meningkatkan daya output
2. 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.



Gambar 2.4 Bentuk konstruksi stator pada generator sinkron

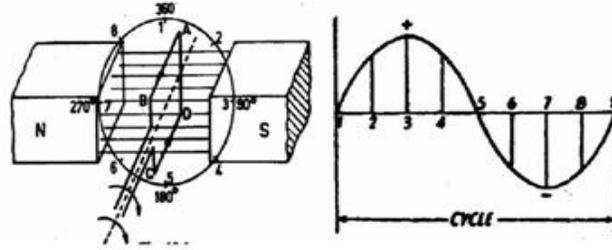
Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan ini ferromagnetik yang bagus berarti permeabilitas dan resistivitas dari bahan tinggi. Ada dua jenis belitan stator yang banyak digunakan untuk generator sinkron 2 fasa, yaitu :

- 1) Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*).
- 2) Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*).

2.4 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Generator dapat menghasilkan energi listrik karena adanya pergerakan relatif antaran medan magnet homogen terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang bergerak dan kumparan jangkar diam, atau sebaliknya magnet diam sedangkan kumparan jangkar bergerak). Jadi, jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet homogen ini bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Contoh bentuk gambaran sederhana proses pembangkitan energi listrik pada generator sinkron dapat diperlihatkan seperti pada gambar.

Sebuah kumparan rotor berputar di sekitar medan magnet homogen yang dihasilkan stator, kemudian tegangan keluaran pada rotor diambil/dilewatkan melalui sepasang *slip ring* (cincin sikat) yang bisa dihubungkan ke beban. Proses terbentuknya gelombang AC yang dihasilkan pada keluaran rotor ini lebih jelasnya diperlihatkan pada gambar.



Gambar 2.5 Proses terbentuknya gelombang AC pada generator sinkron

Dengan memperlihatkan gambar diatas, proses timbulnya GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi pada generator dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kumparan tembaga berputar diantara magnet permanen N-S.
2. Kedua ujung kumparan dihubungkan dengan *Slip Ring* (cincin sikat).
3. GGL induksi akan menghasilkan arus (karena adanya beban pada generator) yang mengalir melalui sikat-sikat arang ke beban yang tersambung dengan generator.

Ketika kumparan diputar ke kanan, satu sisi kumparan dari kutub warna merah (kita anggap sisi kumparan warna merah) bergerak ke atas sedangkan sisi lainnya (kumparan dari sisi kutub warna biru, dianggap kumparan warna biru) bergerak ke bawah. Kumparan mengalami perubahan garis gaya magnet yang makin sedikit, sehingga pada kedua sisi kumparan akan dibangkitkan tegangan yang semakin sedikit pula. Bila alternator diberi beban, maka akan mengalir pula arus listrik yang semakin mengecil mengitari kumparan hingga mencapai posisi kumparan vertical dengan arus menjadi nol karena tegangan yang dibangkitkan juga nol. Pada posisi vertikal kumparan tidak mengalami perubahan garis gaya magnet sehingga

tidak ada listrik yang mengalir pada kumparan (gelombang listrik AC beroda pada posisi nol).

Untuk generator berkapasitas kecil, medan magnet dapat diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / *external pole generator*) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumparan rotor. Jika cara ini digunakan untuk generator berdaya besar, maka hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip ring dan karbon sikat. Untuk mengatasi permasalahan ini, maka pada generator berkapasitas besar digunakan tipe generator dengan kutub internal (*internal pole generator*), yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika dapat fluks magnet pada celah konstan. Bagian dari kumparan generator yang membangkitkan tegangan disebut kumparan jangkar, sedangkan bagian dari kumparan generator yang membangkitkan medan magnet disebut kumparan medan.

Adapun prinsip kerja dari suatu generator sinkron adalah :

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perputaran fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

Untuk 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 tapi berbeda fasa 120° satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

2.5 Frekuensi pada Generator Sinkron

Kecepatan perputaran generator sinkron akan mempengaruhi frekuensi listrik yang dihasilkan generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC untuk membentuk medan magnet pada rotor. Medan magnet rotor ini bergerak pada searah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada rotor dengan frekuensi elektrik pada stator adalah :

$$f_e = \frac{NrP}{120} \quad (1)$$

Dimana :

f_e = Frekuensi listrik (Hz)

Nr = Kecepatan putar rotor (rpm)

P = Jumlah kutub magnet pada rotor

Dari rumus di atas terlihat bahwa frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub magnet pada generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Perubahan kecepatan rotor ini secara langsung akan mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan generator.

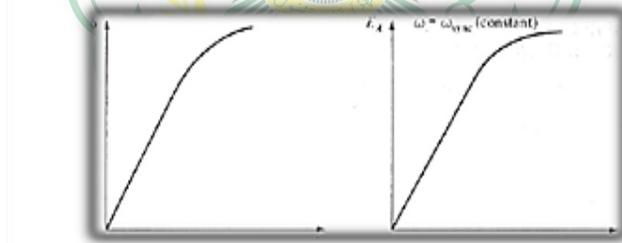
Kecepatan perputaran rotor pada generator sinkron akan sama dengan kecepatan magnet generator. Oleh karena itu rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnetnya, maka generator ini disebut generator sinkron atau lebih dikenal dengan nama *Alternator*. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz (sesuai standard suatu negara, di Indonesia adalah 50 Hz), maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub magnet yang telah

ditentukan yang dapat dihitung melalui rumus tersebut sebagai contoh untuk membangkitkan frekuensi 50 Hz pada generator dua kutub, maka rotor harus berputar dengan kecepatan 3000 rpm, atau untuk membangkitkan frekuensi 50 Hz pada generator empat kutub, maka rotor harus berputar pada kecepatan 1500 rpm.

2.6 GGL Induksi pada Alternator

GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi pada alternator akan terinduksi pada kumparan jangkar alternator (misalnya kumparan jangkar ditempatkan di stator) bila rotor diputar di sekitar stator (misalnya kumparan medan di rotor). Besarnya kuat medan pada rotor dapat diatur dengan cara mengatur arus medan yang diberikan pada rotor.

Arus medan pada alternator biasanya diatur dengan menggunakan rangkaian kontrol agar diperoleh tegangan pembangkitan yang sesuai dengan kebutuhan. Bentuk gambaran pengaturan sederhana arus medan terhadap E_a yang dibangkitkan alternator dan apabila karakteristik pengaruh arus medan terhadap fluks dan GGL yang dihasilkan alternator digambarkan bila kondisi kecepatan tetap, maka keadaan ini dapat digambarkan seperti yang dibawah ini.



Gambar 2.6 Karakteristik hubungan pengaruh arus medan terhadap fluks dan GGL Induksi pada alternator

2.7 Daya Keluaran Generator Sinkron

Bila ketiga kumparan armetur tidak dihubungkan atau saling terpisah maka tiap fasa atau rangkaian membutuhkan dua konduktor sehingga jumlah konduktor enam, artinya setiap kabel transmisi enam konduktor. Sistem ini menjadi rumit dan malah tidak sesuai dengan keadaan untuk penghematan konduktor. Metode penghubung kumparan ini meliputi antara lain :

1. Hubungan Bintang (Y)

Pada hubungan ini ujung coil dihubungkan bersama ketitik netral. Tegangan yang diinduksikan tiap belitan disebut tegangan fasa dan arusnya arus fasa. Sedangkan antara dua terminal disebut tegangan line (V_L). Dan arus yang mengalir adalah arus line (I_L), maka daya keluaran generator adalah :

$$\text{Daya Total (P}_t\text{)} = 3 \times \text{Daya Fasa} \quad (2)$$

$$P_{\text{fasa}} = V_{\text{ph}} \times I_L \cos \phi \quad (3)$$

$$P_t = 3 \times V_{\text{ph}} \times I_L \cos \phi \quad (4)$$

Dimana :

$$V_{\text{ph}} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

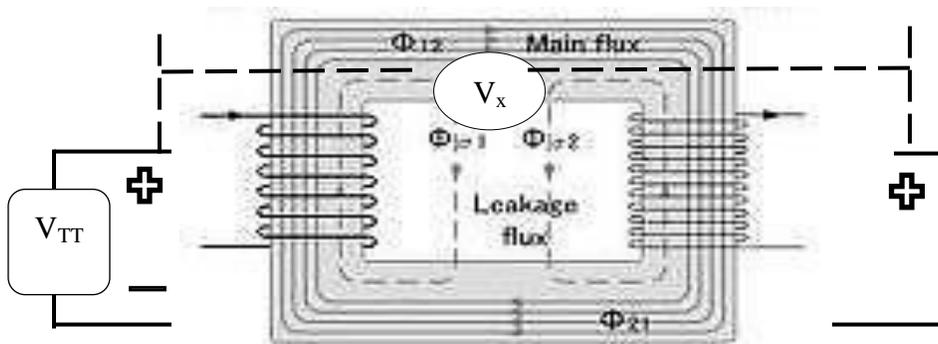
Maka daya total menjadi :

$$P_t = 3 \times \frac{V_L}{\sqrt{3}} \times I_L \cos \phi \quad (6)$$

$$P_t = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \cos \phi \quad (7)$$

2.8 Polaritas Transformator

Dengan melihat cara melilit kumparan transformator dapat ditentukan arah tegangan induksi yang dibangkitkan serta polaritas transformator tersebut. Bila kumparan primer yang merupakan kumparan tegangan tinggi diberi tegangan, cara melihat seperti Gambar 2.7 akan menghasilkan arah tegangan induksi seperti ditunjukkan masing-masing anak panah. Artinya terminal $T_1(+)$ mempunyai polaritas yang sama dengan terminal $R_1(+)$, sedangkan $T_2(-)$ mempunyai polaritas yang sama $R_2(-)$, bentuk polaritas diatas dikenal dengan polaritas pengurangan. Bila polaritas $T_1(+)$ = $R_2(+)$ dan $T_2(-)$ = $R_1(-)$, berarti cara melilit kumparan tegangan rendah $R_1 R_2$ sebaliknya dari Gambar 2.14, dan hubungan ini disebut polaritas penjumlahan.



Gambar 2.7 Tes polaritas transformator

Untuk mengetahui apakah suatu transformator mempunyai polaritas pengurangan atau penjumlahan, dilakukan pengukuran sebagai berikut :

1. Berilah masukan tegangan pada kumparan tegangan tinggi.
2. Ukurlah tegangan terminal tersebut (V_{TT})
3. Hubungkan terminal T_1 dengan R_1 .
4. Ukurlah tegangan antara terminal T_1 dengan R_2 (V_x).

Maka :

$V_x < V_{TT}$ disebut polaritas pengurangan

$V_x > V_{TT}$ disebut polaritas penjumlahan

Perbandingan jumlah lilitan dan tegangan antara kumparan primer dan kumparan sekunder pada trafo dinyatakan dalam rumus berikut :

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (8)$$

Dimana N adalah jumlah lilitan dan V adalah tegangan listrik

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. Dalam jangka waktu tiga bulan.

3.2. Data Penelitian

Pada data penelitian diuraikan mengenai jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data serta metode yang digunakan, dengan uraian masing-masing sebagai berikut :

3.2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan oleh penulis yakni jenis penelitian kuantitatif yang bertujuan untuk melihat kinerja Motor Sinkron ketika dihubungkan ke Motor tiga fasa dan berapa jumlah putarannya.

3.2.2. Sumber Data

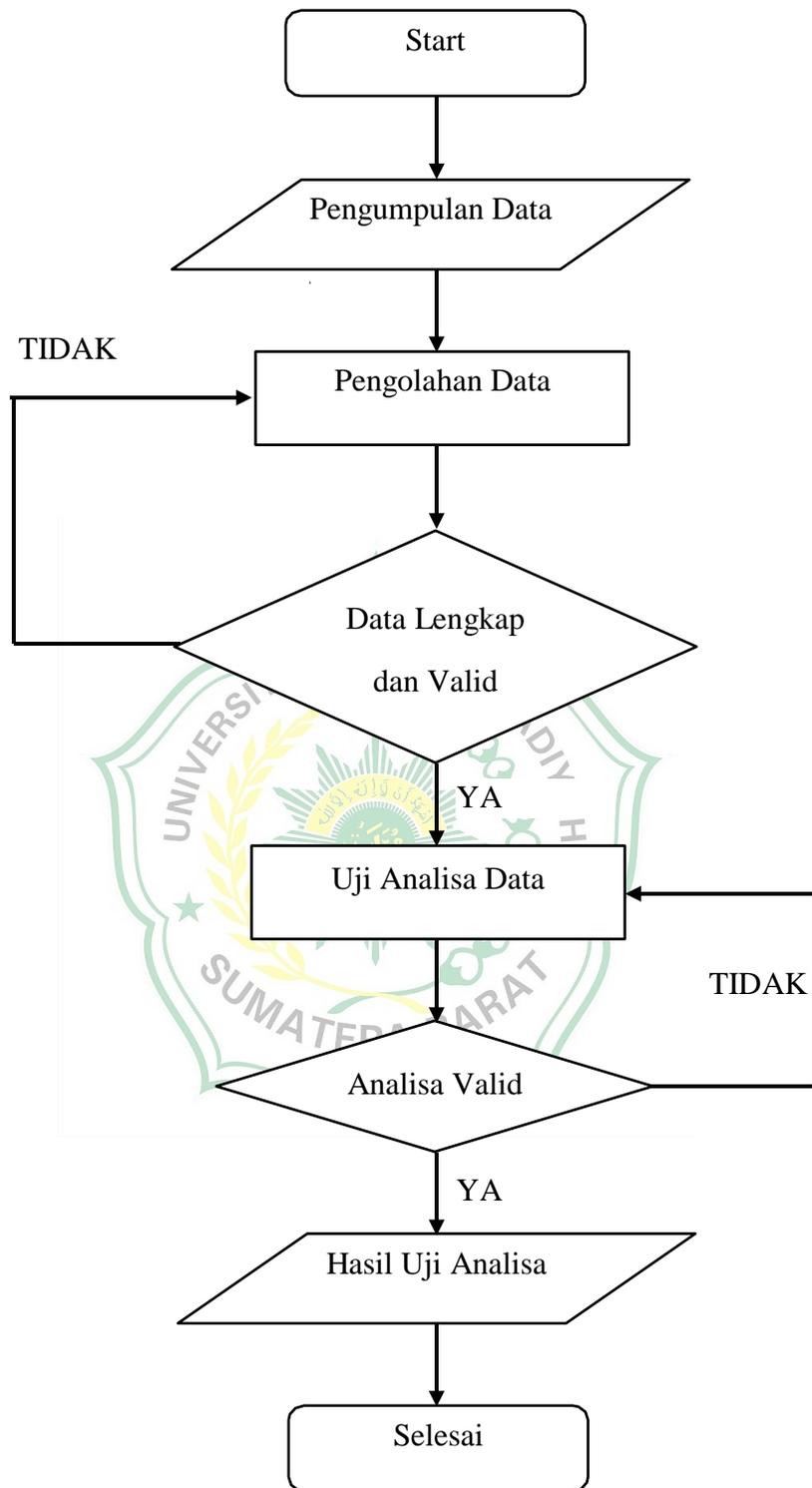
Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui jumlah putaran dan keluaran tegangan terhadap motor tiga fasa. Adapun data yang digunakan adalah berupa primer yang diperoleh secara langsung.

3.3. Metode Analisis Data

Penelitian ini akan merancang Dinamo 3 Fasa dihubungkan terhadap motor 3 fasa yang berada di laboratorium.

3.4. Diagram Alir (Flowchart)

Berikut ini adalah Diagram Alir (Flowchart) dari penelitian ini :



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

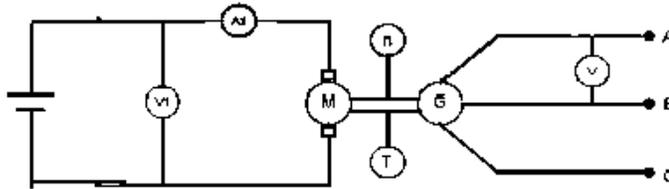
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL PERHITUNGAN

4.1.1. Percobaan Beban Nol

Berikut rangkaian percobaan beban nol terlihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Rangkaian Percobaan Beban Nol

4.1.2. Riset Data dari Beban Nol Fasa ke Netral

Riset dilakukan Mesin Sinkron 3 Fasa dengan perputaran tetap dari Beban Nol Fasa ke Netral.

Tabel 4.1 Data Hasil Riset beban nol fasa ke netral

Perputaran (rpm)	Keluaran Tegangan (v)		
	R-N	S-N	T-N
1434	6,5	6,6	6,7

4.1.3. Riset Data dari Nol Fasa ke Fasa

Riset mesin sinkron tiga fasa dengan beban nol fasa ke fasa.

Tabel 4.2 Riset data beban nol fasa ke fasa.

Perputaran (rpm)	Keluaran Tegangan (v)		
	Phasa R-S	Phasa R-T	Phasa S-T
1436	14,1	14,3	14,4

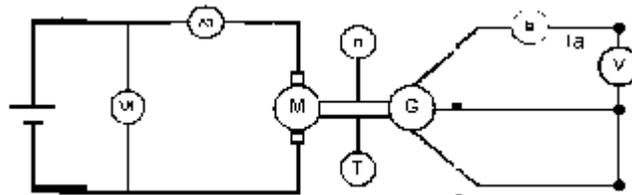
4.1.4. Riset Data Eksperimen Beban Nol Tegangan Dinaikkan Fasa ke Netral

Riset data Eksperimen Nol Fasa ke Netral yang Tegangan Dinaikkan dengan perputaran tetap.

Tabel 4.3 Hasil riset data Beban Nol tegangan dinaikkan fasa ke netral

Perputaran (rpm)	Keluaran Tegangan (v)		
	Phasa R	Phasa S	Phasa T
1436	221	226	228

4.1.5 Rangkaian Percobaan Berbeban



Gambar 4.2 Rangkaian percobaan berbeban

4.1.6. Analisa Drop Tegangan dan Regulasi Tegangan Beban 15 Watt

Berikut analisa tegangan dan regulasi tegangan beban 15 watt.

Tabel 4.4 Riset Data Beban 15 Watt

Perputaran (rpm)	Keluaran Tegangan (v)			Arus (A)		
	Phasa R	Phasa S	Phasa T	R	S	T
1409	207	212	216	1,61	1,65	1,66

Persamaan yang dilakukan adalah :

$$\%reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

Fasa R

Tegangan Jatuh

$$\Delta V = V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 221 - 207$$

$$= 15 \text{ volt}$$

$$= 7,47\%$$

Reg Tegangan

$$\%reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$\%reg = \frac{221 - 207}{207} \times 100\%$$

$$= 7,9\%$$

Fasa S

Tegangan Jatuh

$$\Delta V = V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 226 - 212$$

$$= 17 \text{ volt}$$

$$= 8,05\%$$

Reg tegangan

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{226 - 212}{212} \times 100\%$$

$$Reg = 8,6 \%$$

Fasa T

Jatuh Tegangan

$$\Delta V = V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 228 - 216$$

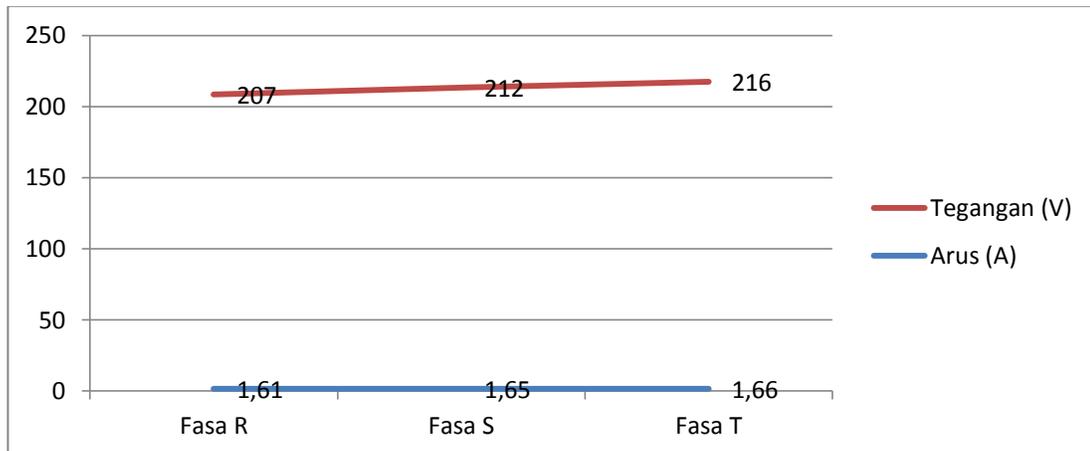
$$= 14 \text{ volt}$$

$$= 6,11 \%$$

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{228-216}{216} \times 100\%$$

$$= 6,51\%$$



Gambar 4.3. Grafik hubungan tegangan dan arus beban 15 watt

4.1.7. Analisa Drop Tegangan dan Regulasi Tegangan Beban 24 Watt

Berikut analisa drop tegangan dan regulasi tegangan beban 24 watt.

Tabel 4.5 Riset data percobaan beban 24 watt

Perputaran (rpm)	Tegangan Keluaran (v)			Arus (A)		
	Phasa R	Phasa S	Phasa T	R	S	T
1409	204	206	208	1,42	1,44	1,47

Persamaan yang digunakan adalah :

$$\%reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

Fasa R

Tegangan Jatuh.

$$\Delta V = V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 221 - 204$$

$$= 18 \text{ volt}$$

$$= 7,73 \%$$

Tegangan Regulasi

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{221 - 204}{204} \times 100\%$$

$$= 8,4$$

Fasa S

Tegangan Jatuh

$$\Delta V = V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 228 - 206$$

$$= 22 \text{ volt}$$

$$= 8,79 \%$$

Reg Tegangan

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{228 - 206}{206} \times 100\%$$

$$= 11,72 \%$$

Fasa T

Tegangan Jatuh

$$\Delta V = V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 228 - 208$$

$$= 21 \text{ volt}$$

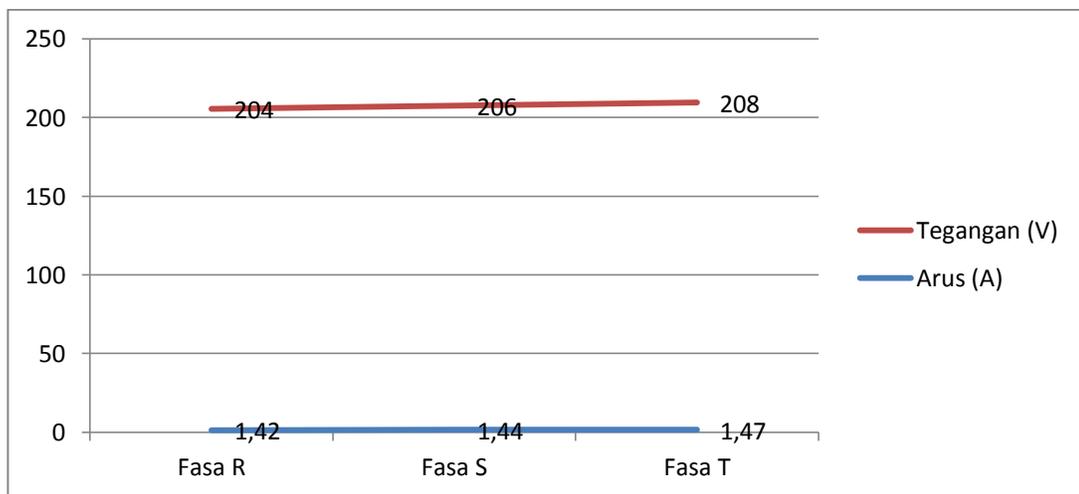
$$= 7,78 \%$$

Reg Tegangan

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{228 - 208}{208} \times 100\%$$

$$= 8,67 \%$$



Gambar 4.4. Grafik hubungan tegangan dan arus beban 24 watt

4.1.8. Analisa Drop Tegangan dan Regulasi Tegangan Beban 36 Watt

Berikut hasil perhitungan drop tegangan dan regulasi tegangan beban 36 watt.

Tabel 4.6 Riset hasil data percobaan beban 36 watt

Putaran (rpm)	Tegangan Keluaran (v)			Arus (A)		
	Phasa R	Phasa S	Phasa T	R	S	T
1409	201	204	209	1,23	1,25	1,26

Persamaan yang digunakan adalah :

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

Fasa R

Tegangan Jatuh

$$\Delta V = V (\text{beban nol}) - V (\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 221 - 201$$

$$= 21 \text{ volt}$$

$$= 10,08 \%$$

Tegangan Regulasi

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V (\text{berbeban})}{V (\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{221 - 201}{201} \times 100\%$$

$$= 9 \%$$

Fasa S

Tegangan Jatuh

$$\Delta V = V (\text{beban nol}) - V (\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 228 - 204$$

$$= 25 \text{ volt}$$

$$= 10,68 \%$$

Tegangan Regulasi

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V (\text{berbeban})}{V (\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{228 - 204}{204} \times 100\%$$

$$= 11,93 \%$$

Fasa T

Tegangan Jatuh

$$\Delta V = V (\text{beban nol}) - V (\text{berbeban})$$

$$\Delta V = 228 - 209$$

$$= 22 \text{ volt}$$

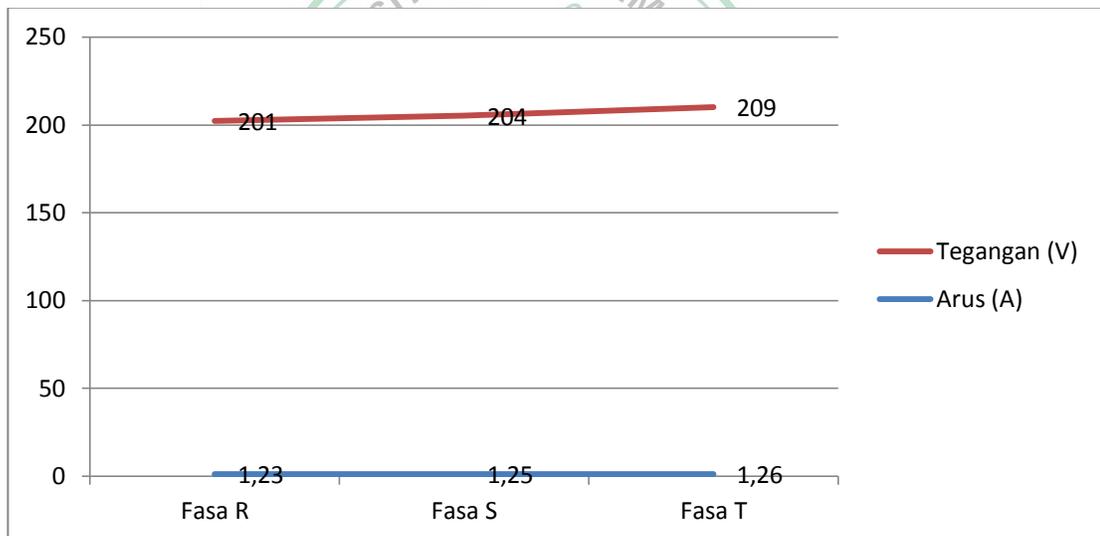
$$= 9,28 \%$$

Reg Tegangan

$$reg = \frac{V(\text{beban nol}) - V(\text{berbeban})}{V(\text{berbeban})} \times 100\%$$

$$reg = \frac{228 - 209}{209} \times 100\%$$

$$= 11 \%$$



Gambar 4.5. Grafik hubungan tegangan dan arus beban 36 watt

4.1.9. Perhitungan Frekuensi Generator

a. Saat Beban Nol

Diketahui kecepatan generator : 1435

Jumlah kutub : 4 Kutub

Maka :

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

$$1435 = \frac{120 \times f}{4}$$

$$f = \frac{1435 \times 4}{120}$$

$$f = \frac{5740}{120}$$

$$f = 47,83 \text{ Hz}$$

b. Frekuensi pada saat Berbeban

Kecepatan putar generator (n) = 1409

Jumlah kutub (p) = 4 kutub

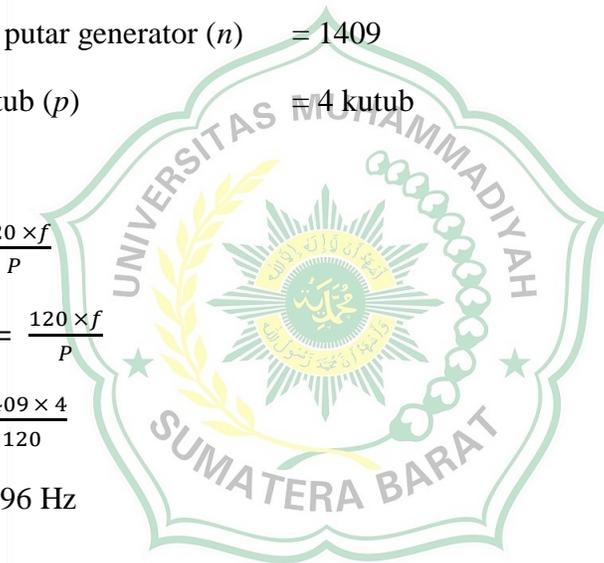
Maka :

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

$$1409 = \frac{120 \times f}{p}$$

$$f = \frac{1409 \times 4}{120}$$

$$f = 46,96 \text{ Hz}$$



4.2. PEMBAHASAN

4.2.1. Proses Perancangan

Adapun tahapan proses perancangan mesin sinkron, ialah :

Dinamo Stator dibuka dan dimodifikasi dengan cara dioda yang dibuka. Selanjutnya tarik kabel 3 fasa beserta eksitasinya. Agar bisa disandingkan dengan Motor 3 Fasa yang berada di Laboratorium, maka diperlukan dudukan buatan besi. Kabel 3 fasa yang telah dikeluarkan dari dinamo stator disambungkan ke Motor Sinkron 3 fasa agar dapat menyala. Kemudian setelah menyala maka alat dapat diuji agar dapat mengetahui jumlah tegangan keluar dan arus. Penggerak mula ialah motor sinkron lalu dikopel dengan motor 3 fasa, generator sinkron memerlukan sumber penguat medan dengan transformator, lalu menghasilkan nilai tegangan dan arus yang diterima oleh beban.

4.2.2. Percobaan Beban Nol

Tujuan percobaan beban nol dilakukan agar dapat mengetahui mesin sinkron penggerak kumparan medan diberi arus satu arah. Dengan perputaran rotor mesin sinkron maka tegangan di induksikan dengan kumparan jangkar yang ada di stator. Jika mesin sinkron tidak ada beban, maka arus tidak akan mengalir. Karenanya beban nol tidak ada pengaruh reaksi jangkarnya.

4.2.3. Percobaan Berbeban

Tujuan percobaan berbeban dilakukan agar dapat mengetahui hasil dari arus dan tegangan dari mesin sinkron yang berputar terhadap nominal putaran disaat mesin sinkron berbeban.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah banyaknya dilakukan pembahasan tentang Rancang Bangun Mesin Sinkron sebagai Generator Pembangkit Skala Kecil maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Setiap motor arus bolak-balik akan menghasilkan medan magnet putar kedua yang sinkron ketika rotor dengan magnet permanen atau elektromagnet berputar searah dengan medan stator dengan kecepatan yang sama.
2. Kutub magnet rotor, yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator, adalah yang menghasilkan kecepatan sinkron.
3. Generator dapat menghasilkan energi listrik sebagai akibat kedekatan medan magnet homogen dengan kumparan jangkar generator (magnet yang bergerak dan kumparan yang diam, atau sebaliknya, magnet yang diam saat kumparan jangkar bergerak).
4. Untuk generator berkapasitas kecil, generator kutub eksternal (perangkat yang menghasilkan medan magnet pada stator di mana energi listrik dihasilkan dalam kumparan rotor) dapat digunakan.
5. Kumparan jangkar, yang diposisikan di stator, akan diinduksi oleh medan putar yang dihasilkan di rotor, menghasilkan fluks magnet yang besarnya berubah seiring waktu.

5.2. Saran

Setelah dilakukannya penelitian Rancang Bangun Mesin Sinkron Sebagai Generator Pembangkit Skala Kecil, maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Penelitian ini dapat dikembangkan semakin berkembangnya zaman industrial dan kelistrikan, agar dapat mengedukasikan seluruh mahasiswa dan masyarakat.
2. Karena tidak sampainya putaran hingga 1500rpm, maka diharapkan untuk penelitian selanjutnya mendapati atau mendekati putaran tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Denny R. Pattiapon, Jacob J. Rikumahu, Marselin Jamlaay, (2009). Penggunaan Motor Sinkron Tiga Fasa Tipe Silent Pole Sebagai Generator Sinkron. *Jurnal Simetrik* Vol.9 (2), hal. 199
- Hasyim Asy'ari, Jatmiko, Aziz Ardiyatmoko. 2012. *Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB)*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Jarkovic, V., Miklosevic, K., Zejko, S., 2010, *Excitation System Models of Synchronus Generator*, Faculty of Electrical Engineering Osijek, Croatia.
- Margana, Oong Iban S. 2009. *Perancang dan Pembuatan Generator Aksial Putaran Rendah dengan Kontrol Switch Proses Charging*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Sulasno, DRS, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*, Edisi Pertama, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1993.



LAMPIRAN



Dinamo Stator



Motor 3 Fasa



Pengujian Alat



Perakitan Alat