

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN EKSITASI TERHADAP
DAYA REAKTIF GENERATOR**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

MUHAMMAD SALEH NST

1507220062



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Kampus Utama Umsu, Jln. Kapt.MucktarBasri no.3 Medan 20238, Telp (061) 661059

LEMBARAN ASISTENSI

Nama : MUHAMMAD SALEH NST
NPM : 1507220062
Asistensi : Dosen Pembimbing I
Judul : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN EKSITASI
TERHADAP DAYA REAKTIF GENERATOR

No	Tanggal	Uraian	Paraf
	21/7-'15	Ass. Awal ... gambar 'isi skripsi'	
	1/8-'15	Ass. Bab I & Bab II	
	10/8-'15	Ass. Bab II	
	18/9-'15	Ass. Bab II dgn. mengilahi seminar setelah di arpanca dan & dibuat kesimpulan nya.	

Dosen Pembimbing I

(Ir. Abd. Azis Hutasuht, MM)



LEMBARAN ASISTENSI

Nama : MUHAMMAD SALEH NST
NPM : 1507220062
Asistensi : Dosen Pembimbing II
Judul : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN EKSITASI TERHADAP DAYA REAKTIF GENERATOR

No	Tanggal	Uraian	Paraf
	30/8/2019	Pembalei penulisan	
	05/9/2019	Metode penelitian pembalei	
	10/9/2019	Langkah penelitian akhir	
	12/9/2019	Percobaan dibuat tgl yg berbeda	
	15/9/2019	Camban Penguasaan	
	19/9/2019	Box peralatan tgl digunakan	
	21/9/2019	Ambil data terbaru	
	25/9/2019	Kapasitas generator	

30/9/2019
Ass, ~~partisipasi~~ mengikuti seminar
sebelum data penelitian
Kapasitas & tanggapi

Dosen Pembimbing II

(Elvy Sahnur Nasution, ST, M.Pd)

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Saleh Nasution
NPM : 1507220062
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 09 Oktober 2019

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing I / Pendamping I

Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M.M

Dosen Pembimbing II / Pendamping II

Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd

Dosen Pembanding I

Partaonnan Harahap, S.T, M.T

Dosen Pembanding II

Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Saleh Nasution
Tempat/Tanggal Lahir : Padang Bulan, 5 Agustus 1996
NPM : 1507220062
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator”

Dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di salah satu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Medan, 10 Oktober 2019



Saya yang menyatakan,

Muhammad Saleh Nasution

ABSTRAK

Pada generator terdapat sistem penguatan medan (sistem eksitasi) yang mempunyai fungsi sangat penting untuk proses pembangkitan karena sistem eksitasi lah yang mengatur besarnya tegangan keluaran dari generator supaya tetap stabil terhadap beban. Oleh karena itu suatu generator harus mampu membangkitkan daya listrik sesuai dengan besarnya beban yang selalu berubah – ubah. Di dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada generator dengan menggunakan beban induktif dan resistif. Dalam penelitian ini hanya membahas tentang daya reaktif pada pengujian generator paralel sinkron. Hasil pengujian yang didapatkan pada generator yaitu generator tersebut mengalami kenaikan tegangan sebesar 0,22% sehingga memiliki daya reaktif sebesar 914,12 VAR, pada saat pengujian dengan beban induktif dan pada saat pengujian dengan beban resistif menghasilkan daya reaktif sebesar 1254,36 VAR dan mengalami kenaikan tegangan sebesar 0,46%.

Kata kunci : *Generator, Induktif, Resistif, Daya Reaktif, Tegangan.*

ABSTRACT

In the generator there is a field strengthening system (excitation system) which has a very important function for the generation process because the excitation system regulates the amount of output voltage from the generator so that it remains stable to the load. Therefore a generator must be able to generate electricity in accordance with the amount of load that is always changing. In this study, testing on generators using inductive and resistive loads. In this study only discusses the reactive power in synchronous parallel generator testing. The test results obtained on the generator are the generator experiencing a voltage increase of 0.22% so that it has a reactive power of 914.12 VAR, when testing with inductive loads and when testing with resistive loads generating reactive power of 1254.36 VAR and experiencing voltage increase of 0.46%.

Keywords: *Generator, Inductive, Resistive, Reactive Power, Voltage.*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr.wb

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “***Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator***”.

Selesaiannya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda serta Abangda dan Kakanda tersayang, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro sekaligus Dosen Penguji II.
4. Bapak Partaonan Harahap, S.T, M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro sekaligus Dosen Penguji I.
5. Bapak Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.

7. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Erik Pranata,ST, Aidil Syaputra ST khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2015 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.
10. Aisyah Minda Mora wanita yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alakum wr.wb

Medan, 07 Oktober 2019

Penulis,

Muhammad Saleh Nasution

(1507220062)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Generator Sinkron	7
2.2.2 Komponen Generator Sinkron	8
2.2.3 Prinsip Kerja Generator	14
2.2.4 Jenis Beban Pada Generator Sinkron	15
2.2.5 Rangkaian Equivalen Generator Sinkron	18

2.2.6 Reaksi Jangkar Pada Generator Sinkron	21
2.2.7 Sistem Eksitasi Generator Sinkron	24
2.2.8 Efek Pengaturan Eksitasi Pada Generator	28
2.2.8.1 Hubungan Tegangan Terminal dan Eksitasi	29
2.2.8.2 Hubungan Tegangan Terminal dan Daya Reaktif	31
2.2.9 Pengaruh Beban pada Sistem Eksitasi	32
2.2.10 Daya	33
2.2.11 Segitiga Daya	35
2.2.12 Pengaruh Beban Terhadap Sistem Eksitasi	36
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Lokasi Penelitian	39
3.2 Peralatan Penelitian	39
3.3 Metode Penelitian	40
3.4 Gambar Rangkaian Generator Sinkron	41
3.5 Langkah-Langkah Percobaan	42
3.6 <i>Flowchart</i> Penelitian	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Data Hasil Penelitian	44
4.2 Perhitungan Pengaruh Perubahan Tegangan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif.....	45
BAB V KESIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Hasil Penelitian Pengujian Generator Menggunakan Beban Induktif.....	44
Tabel 4.2. Data Hasil Penelitian Pengujian Generator Menggunakan Beban Resistif.....	44
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Daya Reaktif Pada Generator	45
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Pada Generator	47
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Daya Reaktif Pada Generator	48
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Pada Generator	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konstruksi Generator Sinkron.....	9
Gambar 2.2. Penampang Stator.....	9
Gambar 2.3. Inti Stator.....	10
Gambar 2.4. Bentuk-Bentuk Alut/Slot.....	11
Gambar 2.5. Rotor Kutub Menonjol Generator Sinkron.....	13
Gambar 2.6. Rotor Kutub Silinder	14
Gambar 2.7. Bentuk Gelombang dari Beban Resistif	16
Gambar 2.8. Bentuk Gelombang Beban Induktif.....	17
Gambar 2.9. Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron.....	19
Gambar 2.10. Hubungan Berbagai Jenis Beban pada Generator Terhadap Arus dan Tegangan.....	20
Gambar 2.11. Model Reaksi Jangkar pada Generator Sinkron.....	22
Gambar 2.12. Sistem Eksitasi Dinamik	26
Gambar 2.13. Sistem Eksitasi Statis	27
Gambar 2.14. Sistem Eksitasi tanpa <i>Brush</i>	27
Gambar 2.15. Kurva Tegangan Terminal dan Daya Reaktif	31
Gambar 2.16. Vektor Hubungan Antara Daya Reaktif, Daya Semu, dan Daya Aktif.....	35
Gambar 3.1. Generator Paralel Sinkron	41
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 4.1. Kurva Hubungan I_f Terhadap E_a dan V_f	46
Gambar 4.2. Kurva Hubungan I_f Terhadap Daya Reaktif	46
Gambar 4.3. Kurva Hubungan I_f Terhadap E_a dan V_f	49

Gambar 4.4. Kurva Hubungan If Terhadap Daya Reaktif49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia menjadi masalah yang harus segera diatasi. Dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik tersebut, maka keandalan suatu sistem operasi pembangkit untuk dapat menghasilkan energi listrik memiliki peranan yang sangat penting. Salah satu komponen yang penting dalam sistem tenaga adalah generator, karena peranannya sebagai sumber utama energi listrik. Daya mekanis dalam generator biasanya berasal dari turbin kemudian diubah menjadi energi listrik. Dalam hal ini, perubahan energi tersebut hanya dimungkinkan jika sistem eksitasi pada generator ada dan memiliki pembebanan sistem interkoneksi.

Pembebanan sistem interkoneksi selalu berubah- ubah setiap saat, sehingga unit-unit generator pada masing - masing pembangkit yang berkontribusi pada sistem interkoneksi harus selalu siap menghadapi berbagai kondisi sistem. Perubahan beban itu menyebabkan fluktuasi perubahan tegangan keluaran generator. Perubahan tegangan keluaran bisa menimbulkan bermacam-macam efek ke generator. Kondisi stabilitas generator bisa mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik secara umum. Stabilitas sistem tenaga listrik adalah permasalahan penting dalam menunjang kehandalan sistem tenaga listrik.

Pada generator terdapat sistem penguatan medan (sistem eksitasi) yang mempunyai fungsi sangat penting untuk proses pembangkitan karena sistem eksitasi lah yang mengatur besarnya tegangan keluaran dari generator supaya

tetap setabil terhadap beban. Oleh karena itu suatu generator harus mampu membangkitkan daya listrik sesuai dengan besarnya beban yang selalu berubah – ubah tersebut. Generator dengan sistem eksitasi, besar tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator sebanding dengan besar medan magnet di dalamnya, sedangkan besar medan magnet ini sebanding dengan besar arus eksitasi yang dibangkitkan. Maka, jika arus eksitasi sama dengan nol, maka tegangan listrik juga sama dengan nol. Atas dasar ini, sistem eksitasi dapat dikatakan sebagai sebuah sistem *amplifier*, dimana sejumlah kecil daya dapat mengontrol sejumlah daya yang besar. Prinsip ini menjadi dasar untuk mengontrol tegangan keluaran generator, jika tegangan sistem turun maka arus eksitasi harus ditambah, dan jika tegangan sistem terlalu tinggi maka arus eksitasi dapat diturunkan. Oleh karena itu, dengan diaturnya arus eksitasi pada generator maka akan dapat mengatur daya reaktif yang dibutuhkan pada generator tersebut sehingga dapat menentukan perubahan faktor daya pada generator.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian tentang “*Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator*”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh perubahan tegangan eksitasi terhadap daya reaktif generator ?
2. Bagaimana rugi-rugi daya pada generator ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh perubahan tegangan eksitasi terhadap daya reaktif generator.
2. Mengetahui rugi-rugi daya pada generator.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Membahas tentang faktor daya yang dihasilkan daya reaktif pada generator.
2. Hanya membahas tentang pengaruh tegangan eksitasi terhadap daya reaktif generator.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagi Mahasiswa, dapat mengetahui bagaimana pengaruh tegangan eksitasi terhadap daya reaktif generator sebagai wujud penerapan ilmu yang didapat selama masa perkuliahan.
2. Bagi Universitas, dapat dijadikan sebagai referensi untuk mengetahui kajian mengenai pengaruh tegangan eksitasi terhadap daya reaktif pada generator.

1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literature

Meliputi studi definisi Generator, Tegangan Eksitasi dan Daya Reaktif.

2. Data Riset

Meliputi pengumpulan data pada generator.

3. Pengolahan Data dan Analisa

Perhitungan besar pengaruh tegangan eksitasi terhadap daya reaktif pada generator dan menentukan daya reaktif.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan mengawali penulisan dengan menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat tentang kutipan dari penelitian terdahulu serta menguraikan tentang teori dasar - dasar umum tentang Generator, Faktor Daya, dan Daya Reaktif.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tempat dan data riset serta langkah – langkah pemecahan masalah yang akan di bahas, meliputi langkah – langkah pengumpulan data dan cara – cara pengolahan data.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menguraikan perhitungan besar pengaruh tegangan eksitasi terhadap daya reaktif pada generator dan menentukan daya reaktif.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dapat diambil setelah pembahasan seluruh masalah.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia menjadi masalah yang harus segera diatasi. Dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik tersebut, maka keandalan suatu sistem operasi pembangkit untuk dapat menghasilkan energi listrik memiliki peranan yang sangat penting. Salah satu komponen yang penting dalam sistem tenaga adalah generator, karena peranannya sebagai sumber utama energi listrik. Daya mekanis dalam generator biasanya berasal dari turbin kemudian diubah menjadi energi listrik. Dalam hal ini, perubahan energi tersebut hanya dimungkinkan jika sistem eksitasi pada generator ada dan memiliki pembebanan sistem interkoneksi.

Beberapa penelitian tentang Pengaruh Perubahan Tegangan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator yang dilakukan yaitu :

1. Elfizon (2015), meneliti tentang Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar dan Faktor Daya Motor Sinkron Tiga Fasa dapat disimpulkan bahwa, perubahan arus eksitasi mempengaruhi nilai arus jangkar IA pada motor sinkron saat bebannya di variasikan. Arus jangkar memiliki nilai lebih besar saat faktor daya lagging ataupun leading. Pada Motor Sinkron dengan beban ketika beban bertambah dan nilai eksitasi yang diberikan sama, maka arus jangkar akan semakin besar. Motor sinkron untuk beban yang berbeda, dapat dilihat bahwa saat beroperasi pada faktor daya

yang sama, arus eksitasi pada beban penuh lebih besar dari arus eksitasi pada setengah beban penuh dan beban nol.

2. Armansyah (2016), meneliti tentang Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal, dapat disimpulkan bahwa pada hasil analisis diperoleh semakin besar perubahan arus (I_f) apabila penguatan dinaikkan maka tegangan generator yang dibangkitkan akan semakin besar pula, hubungan antara arus dan tegangan pada saat penguatan dinaikkan sebesar 5%, 10% dan 15% adalah berbanding terbalik dimana semakin besar perubahan arus penguatan medan yang dihasilkan maka semakin besar pula tegangan yang dibangkitkan, halini sesuai dengan hukum ohm ($V=I.R$). Pada faktor daya $\cos \phi$ dapat disimpulkan bahwa hubungan antara perubahan pada penguatan medan pada faktor daya itu sendiri yang berbanding terbalik, semakin besar penguatan yang dinaikkan maka semakin kecil faktor daya yang diperoleh.
3. Dwi Septian (2017), meneliti tentang Studi Sistem Eksitasi Pada Generator Sinkron Di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi Bengkulu menjelaskan bahwa “Arus jangkar sebanding dengan arus eksitasi. Pada saat kondisi tegangan terminal pada generator sedang turun maka dibutuhkan injeksi arus eksitasi pada generator. Kondisi injeksi arus eksitasi tersebut berarti naiknya nilai arus eksitasi yang mengakibatkan nilai dari arus jangkar juga akan naik.

4. Terimananda dkk (2016), meneliti tentang Studi Pengaturan Arus Eksitasi Untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2, dapat disimpulkan bahwa pada pengaturan arus eksitasi menggunakan Permanent Magnet Generator hal yang harus diperhatikan salah satunya yaitu sudut penyalaan thyristor. Di mana nilai sudut penyalaan thyristor berbanding terbalik dengan tegangan keluaran generator. Semakin tinggi nilai sudut penyalaan thyristor pada rangkaian semi konverter akan menghasilkan nilai tegangan eksitasi pada eksiter dan tegangan keluaran generator akan semakin kecil, sedangkan semakin mengecil nilai sudut penyalaan thyristor pada rangkaian semi konverter akan menghasilkan nilai tegangan eksitasi pada eksiter dan tegangan keluaran generator akan semakin besar.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Generator Sinkron

Konversi energi elektromagnetik merupakan perubahan energi mekanik ke bentuk energi listrik dan dari energi listrik ke bentuk energi mekanik. Generator sinkron atau disebut juga alternator adalah mesin listrik arus bolak-balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak-balik yang bekerja dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula

akan menghasilkan energi mekanik, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan rotor dan statornya.

Makna sinkron dalam pengertian generator sinkron ialah bahwa frekuensi listrik yang dihasilkan sinkron dengan putaran mekanik generator tersebut. Kecepatan yang sinkron ini dihasilkan dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan magnet generator sinkron terdapat di rotornya sedangkan kumparan jangkar terletak pada rotornya. Rotor pada generator sinkron yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor. Hubungan antara medan magnet dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan oleh persamaan berikut ini:

$$f = \frac{n \times p}{120} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

f = frekuensi (Hz);

n = kecepatan putaran rotor (rpm);

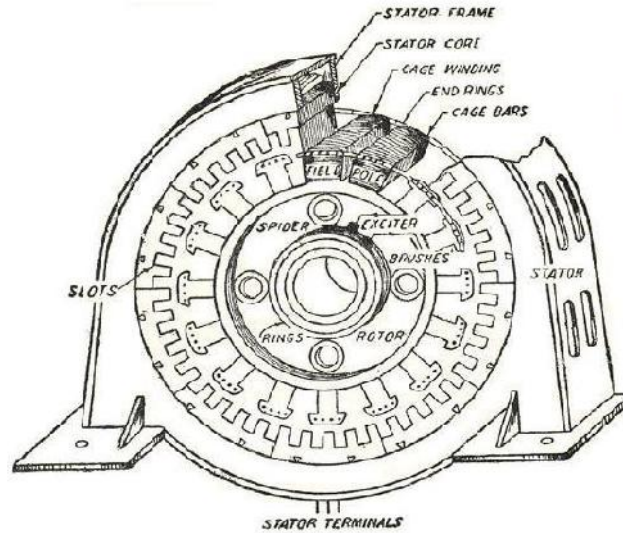
p = jumlah kutub.

2.2.2 Komponen Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron secara umum terdiri dari tiga komponen utama yaitu :

1. Stator, yaitu bagian dari generator yang diam.
2. Rotor, yaitu bagian dari generator yang berputar.

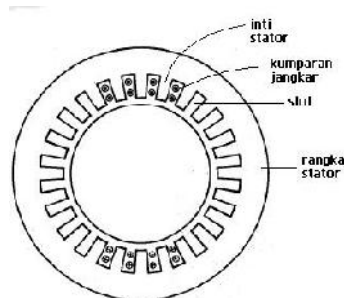
3. Celah udara, yaitu ruang antara stator dan rotor. Konstruksi dari sebuah generator sinkron dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 Konstruksi Generator Sinkron

1. Stator

Stator adalah bagian dari generator yang diam dan mempunyai alur atau *slot* memanjang yang di dalamnya terdapat lilitan yang disebut belitan jangkar (*Armature Winding*). Bentuk penampang stator dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2.2 Penampang Stator

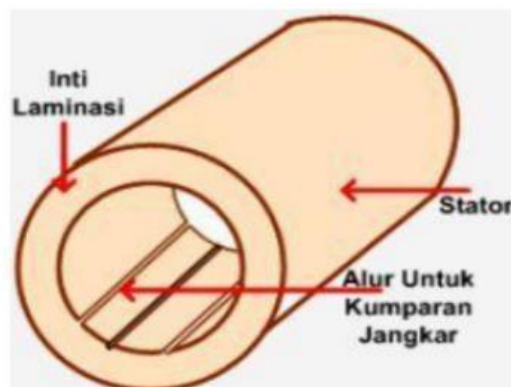
Secara umum stator terdiri dari kerangka stator, inti stator, belitan stator dan *slot*.

a. Rangka Stator

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin di mana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

b. Inti Stator

Inti stator melekat pada rangka stator di mana inti ini terbuat dari laminasi-laminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini dilakukan untuk memperkecil rugi *eddy current*. Tiap laminasi diberi isolasi dan di antaranya dibentuk celah sebagai tempat aliran udara. Gambar 2.3 dibawah ini merupakan bentuk dari inti stator.



Gambar 2.3 Inti Stator

c. Alur (*slot*) dan Gigi

Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Bentuk slot ada 3 jenis yaitu slot terbuka, slot setengah terbuka, dan slot tertutup. Bentuk-bentuk alur atau *slot* dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Bentuk-Bentuk Alur/Slot

d. Kumputan jangkar pada umumnya terbuat dari tembaga. Kumputan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

2. Rotor

Rotor berfungsi sebagai tempat belitan medan (eksitasi) yang membentuk kemagnetan listrik kutub-kutub utara-selatan pada inti rotor. Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

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

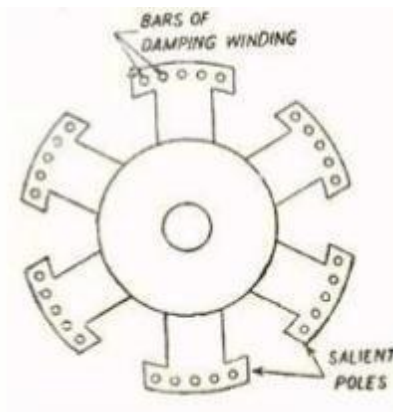
ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada *slip ring*.

- b. Kumputaran Rotor (Kumputaran Medan) merupakan komponen yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumputaran ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.
- c. Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumputaran medan, di mana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara parallel terhadap poros rotor.

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya ialah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa kutub menonjol (*Salient Pole*) dan kutub silindris (*Non Salient Pole*).

- a. Kutub Menonjol (*Salient Pole*)

Pada jenis ini, Kutub magnet tampak menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan medannya dihubungkan secara seri. Ketika kumputaran medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Rotor jenis ini mempunyai kutub yang berjumlah banyak dan utaranya rendah. *Salient Pole* ditandai dengan rotor yang berdiameter besar dan sumbunya pendek. Kumputaran dibelitkan pada tangkai kutub, di mana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*. Tampilan fisik rotor kutub menonjol ditunjukkan pada gambar 2.5.



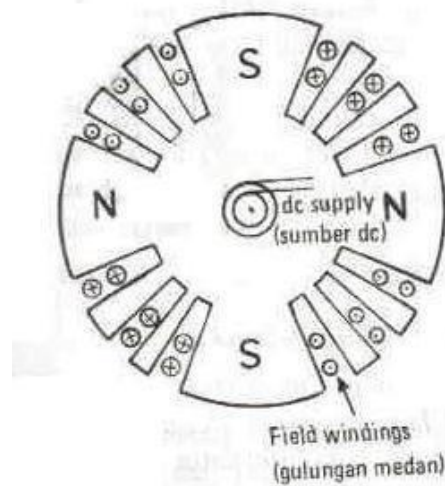
Gambar 2.5 Rotor Kutub Menonjol Generator Sinkron

Rotor jenis ini umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah hingga sedang (120-400 rpm). Oleh karena itu generator sinkron jenis ini biasanya akan dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol ini baik digunakan untuk putaran rendah hingga sedang karena kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi. Selain itu konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.

b. Kutub Silindris (*Non Salient Pole*)

Pada jenis ini, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat dari sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur tersebut dan terhubung seri dengan slip yang terhubung dengan eksiter. Gambaran

bentuk kutub silindris generator sinkron adalah seperti pada Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Rotor Kutub Silinder (*Non Salient Pole*)

Rotor kutub silinder umumnya digunakan untuk kecepatan putar tinggi (1500 atau 300 rpm). Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar tinggi karena konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi. Selain itu distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

2.2.3 Prinsip Kerja Generator

Suatu mesin listrik akan berfungsi apabila memiliki hal-hal sebagai berikut:

1. Kumbaran medan untuk menghasilkan medan magnet
2. Kumbaran jangkar untuk mengimbaskan ggl pada konduktor-konduktor yang terletak pada alur-alur jangkar.

3. Celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet.

Adapun sistem kerja dari generator sinkron secara umum ialah sebagai berikut:

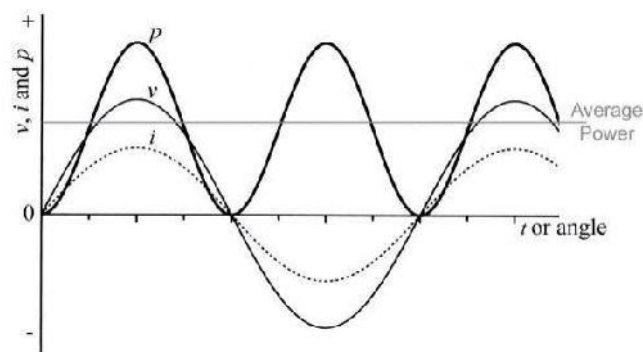
1. Kumparan medan yang diletakkan di rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan yang diharapkan.
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 kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

2.2.4 Jenis Beban pada Generator Sinkron

Jenis beban yang berpengaruh pada generator sinkron antara lain sebagai berikut:

1. Beban Resistif

Beban resistif adalah beban yang dihasilkan oleh alat listrik yang memiliki sifat tahanan alami, sebagai contohnya yaitu elemen pemanas dan juga lampu pijar. Beban seperti ini mempunyai sifat pasif yang artinya tidak mampu menghasilkan energi listrik dan akan mengonsumsi energi listrik. Beban resistif juga bisa mengakibatkan energi listrik berubah menjadi panas, karena resistor bersifat menghambat aliran elektron yang melewatinya dengan cara menurunkan tegangan listrik yang mengalir. Resistorpun tidak akan mengubah sifat listrik arus bolak-balik yang mengalirinya. Bentuk gelombangnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.

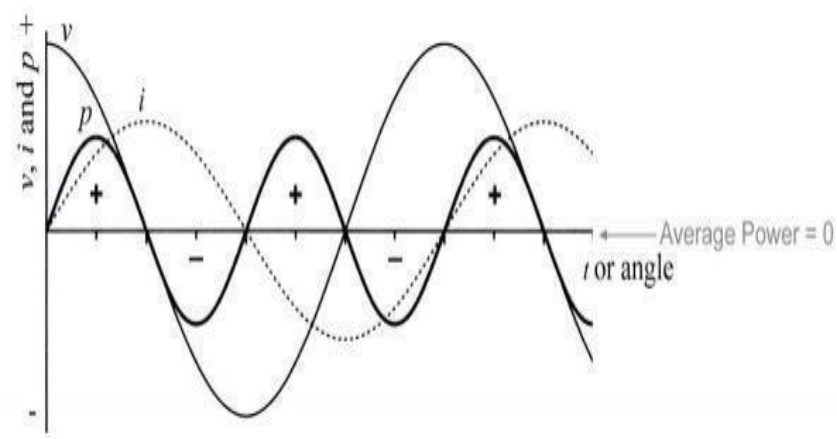


Gambar 2.7 Bentuk Gelombang dari Beban Resistif

Dapat dilihat pada gambar 2.7 Diatas bahwa gelombang antara arus dan tegangan berada dalam kondisi sefasa, sehingga daya listrik bernilai positif dan beban akan ditopang 100% oleh daya nyata.

2. Beban Induktif

Beban induktif dihasilkan oleh peralatan listrik yang memiliki belitan seperti transformator, motor induksi, dan peralatan lainnya. Sifat belitan ialah menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik. Gelombang *sinusoidal* dibentuk oleh listrik arus bolak-balik karena memiliki nilai arus yang naik dan turun. Belitan yang terdapat pada peralatan listrik itulah yang membuat nilai arus listrik terhalang, sehingga menyebabkan arus tertinggal 90° dari tegangan listrik (AC). Bentuk gelombangnya dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Bentuk Gelombang Beban Induktif

3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan beban yang mempunyai kemampuan kapasitansi. Kemampuan kapasitansi ialah kemampuan untuk menyimpan energi yang dihasilkan dari *electrical discharge* atau pengisian elektrik pada suatu sirkuit. Arus pun akan bersifat *leading* terhadap tegangan akibat komponen ini. Arus *leading* itu sendiri merupakan keadaan dimana sudut fase arus relatif

terhadap tegangan dimana arus mendahului tegangan. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan dari daya aktif untuk jenis beban induktif ialah sebagai berikut:

$$P = V I \cos \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

P = Daya Aktif (VA);

V = Tegangan (Volt);

I = Arus (A);

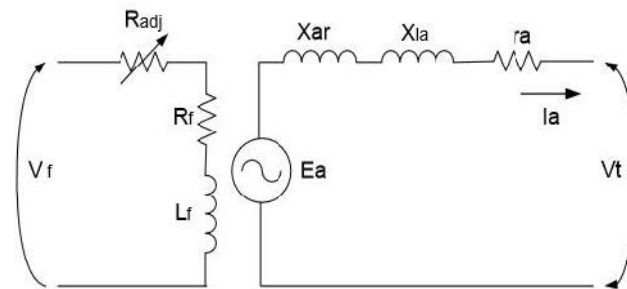
Cos = Sudut Fasa.

Fluks yang dihasilkan arus jangkar searah dengan fluks medan, hal itu akan menyebabkan reaksi jangkar bersifat magnetising dimana pengaruhnya ialah reaksi jangkar akan menguatkan fluks arus medan. Akan terjadi fluksi medan pada kumparan generator, maka mengakibatkan naiknya tegangan terminal generator. Tegangan jaringan interkoneksi harus dijaga sama dengan tegangan terminal generator, untuk itu arus eksitasi yang dialirkan ke kumparan medan pada rotor di generator akan dikurangi. Jadi, apabila penggunaan beban kapasitif bertambah, maka akan dilakukan pengurangan suplai arus eksitasi.

2.2.5 Rangkaian Equivalen Generator Sinkron

Stator terdiri dari belitan konduktor yang berupa tahanan (R_a) dan induktansi (L), dimana saat motor bekerja maka fluks jangkar (ϕ_a) akan terbentuk ketika arus mengalir pada konduktor dan akan membangkitkan medan putar, fluks

jangkar(a)ini akan berinteraksi dengan fluks medan (m) sehingga konversi energi mekanik menjadi energi listrik terjadi. Pada kondisi ini akan ada fluks sisa yang tidak dapat berinteraksi dengan fluks medan yang disebut dengan reaktansi bocor (XA). Rangkaian ekivalen dari suatu generator per fasa dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron

Dimana :

V_t = Tegangan Terminal Generator (Volt);

V_f = Tegangan Eksitasi (Volt);

R_f = Tahanan Belitan (Ohm);

L_f = Induksi Belitan (H);

X_{ar} = Reaktansi Jangkar (Ohm);

X_{la} = Reaktansi Bocor Jangkar (Ohm);

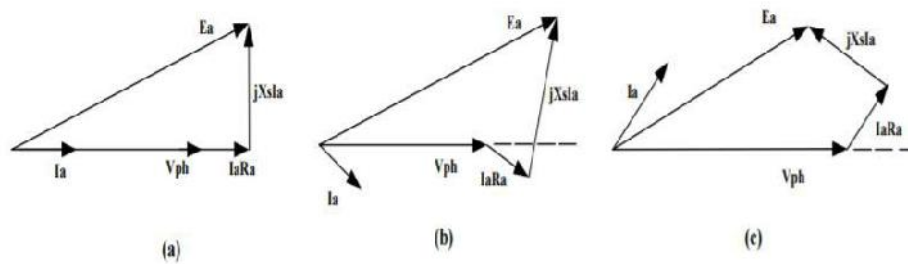
I_a = Arus Jangkar (A);

E_a = Tegangan Induksi (Volt);

R_{adj} = Tahanan Variabel (Volt);

R_a = Tahanan Jangkar (Ohm).

Pada penjelasan sebelumnya secara garis besar dapat ditarik kesimpulan bahwa sifat umum dari generator atau alternator ini berdasarkan sifat beban yang dipikulnya. Arus yang ada dapat bersifat sefasa, mendahului ataupun tertinggal dari tegangan. Gambar 2.10 adalah diagram fasor pada generator untuk lebih menjelaskan teori tersebut.



Gambar 2.10 Hubungan Berbagai Jenis Beban pada Generator Terhadap Arus dan Tegangan

Keterangan : (a) Beban resistif (sefasa)

(b) Beban induktif (terbelakang)

(c) Beban kapasitif (mendahului)

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa pada saat generator melayani beban yang bersifat induktif tegangan induksi (E) yang dibutuhkan lebih besar dibandingkan dengan jenis beban lainnya dimana kondisi arus jangkar serta tegangan terminal sama. Karena itu jenis beban induktif ini membutuhkan arus

medan dengan nilai yang besar untuk menghasilkan tegangan terminal yang sama.

Hal ini sesuai persamaan berikut :

$$E = Cn \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

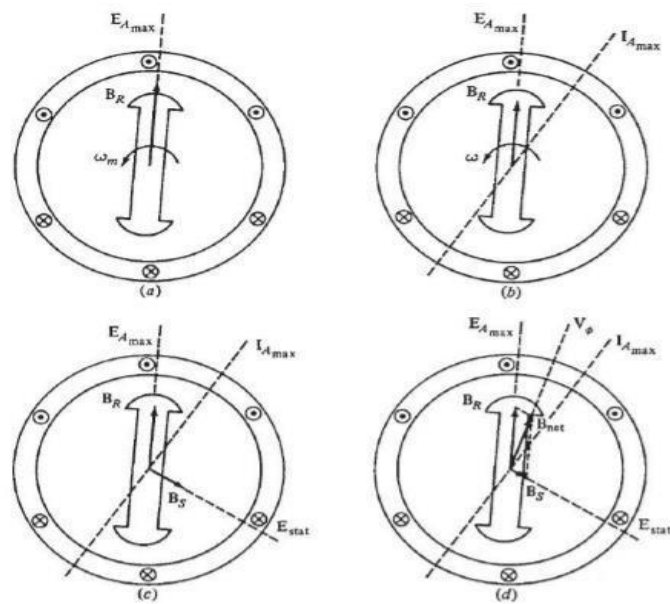
E = Tegangan Induksi (Volt);

n = Jumlah Putaran (Rpm);

= Fluks Medan Magnet.

2.2.6 Reaksi Jangkar pada Generator Sinkron

Reaksi jangkar ialah kondisi dimana arus mengalir pada jangkar yang terletak pada medan magnet. Pada celah udara generator hanya akan terjadi arus medan rotor apabila generator sinkron yang ada bekerja pada beban nol sehingga tidak ada arus yang mengalir dan melalui kumparan jangkar (stator). Pada saat kondisi generator sinkron berbeban maka yang terjadi adalah arus jangkar (I_a) akan mengalir dan membentuk fluks jangkar. Fluks tersebut akan mengubah nilai terminal pada generator sinkron karena mempengaruhi fluksi arus medan yang ada. Model reaksi jangkar ini dapat dilihat dari Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Model Reaksi Jangkar pada Generator Sinkron

Dari Gambar 2.11 diatas terlihat bahwa :

1. Saat medan magnet yang ada berputar maka akan menghasilkan suatu nilai berupa E_{Amax} .
2. Saat generator dibebani beban induktif maka arus lagging akan dihasilkan oleh tegangan resultan.
3. Arus stator akan menghasilkan tegangan stator berupa E_{stat} pada belitan stator serta menghasilkan medan magnetnya sendiri berupa B_s .
4. Bagian output terdapat B_{net} akan dihasilkan dari penjumlahan vektor B_s dan B_r serta V_f akan dihasilkan dari penjumlahan fektor antara E_{stat} dengan E_{Amax} .

Tegangan induksi akan dibangkitkan pada belitan stator generator saat generator diputar. Bila beban dihubungkan ke terminal generator maka akan ada arus jangkar (I_a) yang mengalir pada belitan stator. Tegangan fasa pada medan magnet rotor akan berubah karena pengaruh dari medan magnet stator (arus jangkar). Karena itu medan magnet pada rotor harus diperbesar untuk mendapatkan tegangan terminal yang konstan dengan cara meningkatkan arus medan. Reaktansi generator bergantung dari jenis beban yang terpasang pada generator atau reaktansi generator tersebut bergantung dari sudut fase antara arus jangkar dengan tegangan induksi yang ada. Arus jangkar akan mengalir dan menimbulkan reaksi jangkar yang bersifat reaktif saat kondisi generator berbeban. Reaktansi ini disebut dengan reaktansi pemagnetan yang bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor disebut sebagai reaktansi sinkron. Pengaruh yang dapat ditimbulkan oleh fluks jangkar dapat berupa distorsi, penguatan (*magnetising*), maupun pelemahan (*demagnetising*) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh oleh arus jangkar bergantung dari jenis beban yang terpasang dan faktor dayanya, yaitu:

1. Beban resistif ($\cos \varphi = 1$)

Pada beban resistif ini fluksi jangkar mempengaruhi fluksi medan yang ada hanya sebatas dari medistorsinya saja tanpa mempengaruhi penguatannya (*cross magnetising*).

2. Beban kapasitif murni ($\cos \varphi = 0$ lead)

Pada beban jenis kapasitif murni ini akan terjadi penguatan (*magnetising*). Hal ini terjadi dikarenakan fluks yang di hasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan dengan fluksi medan. Artinya arus jangkar akan menguatkan fluksi medan dimana arus yang ada akan mendahului tegangan sebesar 90° .

3. Beban tidak murni (induktif/kapasitif)

Pada beban jenis ini reaksi jangkar akan menjadi sebagian penguatan (*magnetising*) dan sebagian pelemahan (*demagnetising*). Saat beban kapasitif maka reaksi jangkar akan sebagian *distorsi* dan sebagian *magnetising*. Apabila kondisi beban induktif maka reaksi jangkar yang ada akan sebagian *distorsi* dan sebagian *demagnetising*.

4. Beban induktif murni ($\cos \varphi = 0$ lag)

Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar pada beban induktif murni akan melawan fluksi medan. Hal ini akan membuat reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan (*demagnetising effect*).

2.2.7 Sistem Eksitasi Generator Sinkron

Sistem eksitasi merupakan sistem penguatan yang terdapat pada generator. Sistem penguatan tersebut dilakukan dengan cara memberi pasokan listrik arus searah (DC) pada generator agar terjadi penguatan pada medan magnet sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik. Arus eksitasi sendiri ialah suatu arus yang dialirkan pada kutub magnetik, dengan mengatur

besar kecil dari nilai arus eksitasi tersebut. maka dapat memperoleh nilai tegangan output generator yang diinginkan serta daya reaktifnya.

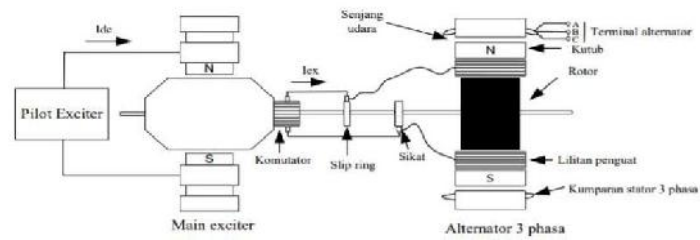
Sistem ini merupakan hal yang sangat vital pada proses pembangkitan energi listrik dan perkembangannya, sistem eksitasi itu sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*) dan eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*).

1. Sistem eksitasi dengan sikat (*brush excitation*)

Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat ini dibedakan menjadi dua tipe yaitu tipe eksitasi dinamik dan tipe eksitasi statis.

- a. Sistem eksitasi dinamik

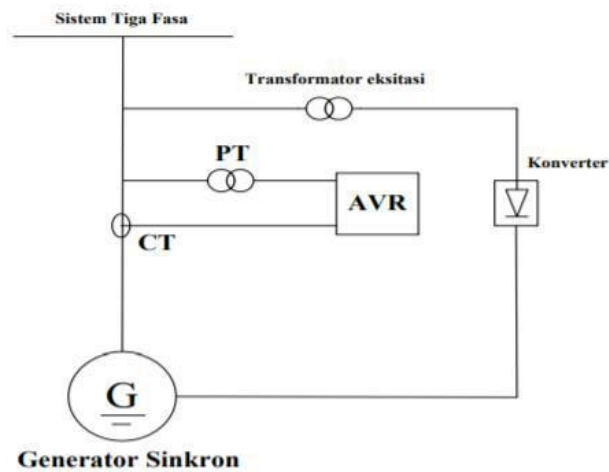
Sistem eksitasi dinamik merupakan sistem eksitasi yang arus eksitasinya disuplai oleh mesin eksiter (mesin penggerak). Pada sistem eksitasi ini dapat menggunakan generator DC ataupun generator AC tetapi terlebih dahulu disearahkan oleh *rectifier* karena arus yang digunakan pada sistem eksitasi merupakan arus searah. Arus tersebut akan disalurkan ke slipring kemudian disalurkan ke medan penguat generator kedua. Gambar sistem eksitasi dinamik dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Sistem Eksitasi Dinamik

b. Sistem eksitasi statis

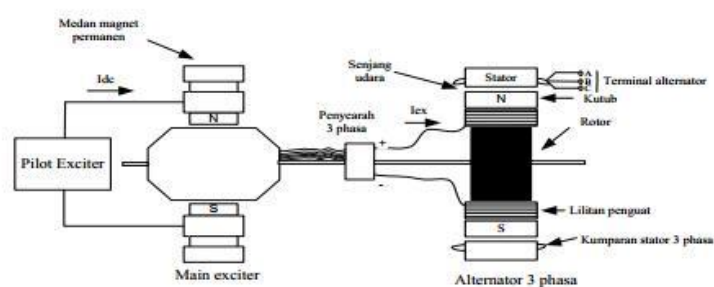
Sistem eksitasi statis ini juga disebut sebut sebagai self excitation karena sistem eksitasi ini disuplai dari generator sinkron itu sendiri tetapi perlu disearahkan oleh rectifier terlebih dahulu. Pada rotor terdapat sedikit medan magnet yang tersisa dan akan menimbulkan tegangan pada stator. Tegangan tersebut selanjutnya akan dimasukkan kembali ke rotor dimana sebelumnya telah disearahkan oleh rectifier, akibatnya medan magnet yang dihasilkan semakin besar dan membuat tegangan terminal yang ada ikut naik. Gambar 2.13 merupakan gambar dari sistem eksitasi statis.



Gambar 2.13 Sistem Eksitasi Statis

2. Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*)

Sistem eksitasi ini mengutamakan kinerja dari pilot exciter serta sistem yang akan menyalurkan arus eksitasi pada generator utama. Pilot exciter terdiri dari generator arus bolak-balik yang memiliki kumparan tiga fasa pada stator serta medan magnet yang terpasang pada poros rotor. Diagram prinsip kerja pada eksitasi system tanpa brush ditunjukkan pada Gambar 2.14 di bawah ini.



Gambar 2.14 Sistem eksitasi tanpa *brush*

Beberapa keuntungan sistem eksitasi tanpa sikat yaitu:

- a. Keandalannya tinggi karena energi untuk eksitasi diperoleh dari poros utama.
- b. Biaya perawatan lebih sedikit karena tidak terdapat sikat arang, slip ring dan komutator.
- c. Mengurangi kerusakan akibat udara buruk (*bad atmosphere*) karena semua peralatan diletakkan pada ruang tertutup.
- d. Tidak diperlukan lagi peralatan seperti pemutus medan generator (*Generator field breaker*), *bus exciter* dan *field generator*.
- e. Tidak akan terjadi kerusakan isolasi akibat melekatnya debu karbon pada *furnish* akibat sikat arang.

2.2.8 Efek Pengaturan Eksitasi Pada Generator

Sistem eksitasi yang diubah – ubah akan mempengaruhi nilai dari fluksi magnetic () sejalan dengan naiknya nilai dari arus eksitasi tersebut. Hal ini diperjelas dalam persamaan 2.3 di atas.

Arus eksitasi yang diatur pada generator yang bekerja secara paralel dimana kondisi dari putaran (n) tetap maka nilai dari fluks magnetik akan naik serta daya reaktif yang dibutuhkan juga akan mengalami kenaikan namun nilai dari daya aktif yang tidak akan berubah sehingga akan mempengaruhi nilai dari factor daya.

Generator yang bekerja paralel (G_1 dan G_2) akan memasok masing-masing setengah beban dari daya reaktif, jadi tiap generator akan memasok arus sebesar nilai I jadi arus yang harus dipasok pada sistem generator yang bekerja secara paralel adalah senilai $2I$.

Pada generator yang bekerja paralel dan salah satu penguatan generator dinaikkan (misalnya G_1), maka akan terjadi kenaikan nilai dari tegangan induksi generator 1 (E_1) yang membuat $E_1 > E_2$ hal ini akan mengakibatkan adanya arus sirkulasi (I_s). Arus sirkulasi tersebut memiliki persamaan sebagai berikut :

$$I_s = \frac{E_1 - E_2}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

I_s = Arus Sirkulasi (A);

E_1, E_2 = Tegangan Induksi Generator (Volt);

Z_1, Z_2 = Impedansi Generator (Volt).

2.2.8.1 Hubungan Tegangan Terminal dan Eksitasi

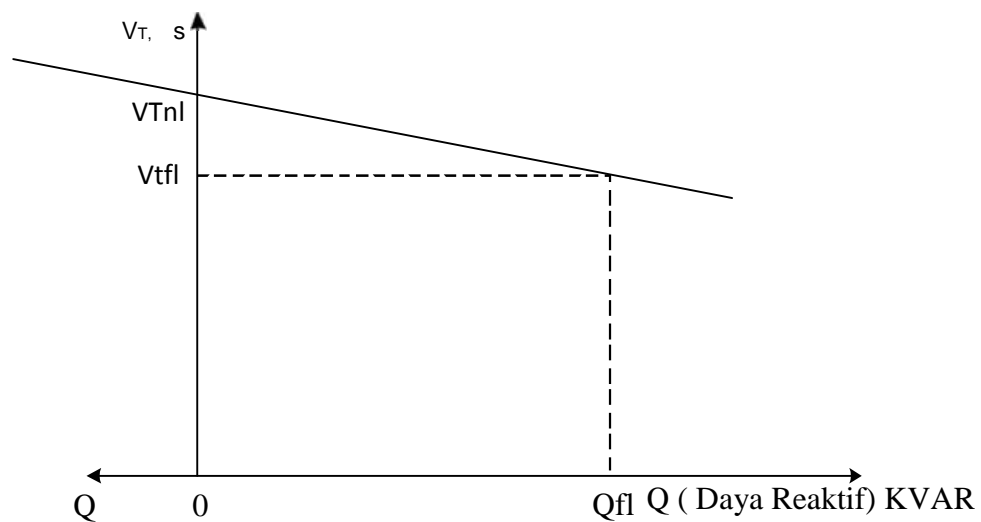
Eksitasi adalah bagian dari sistem dari generator yang berfungsi membentuk/menghasilkan fluksi yang berubah terhadap waktu, sehingga dihasilkan satu GGL induksi. Setelah generator AC mencapai kecepatan nominal, medannya dieksitasi dari catu DC. Ketika kutub lewat di bawah konduktor jangkar, fluksi medan yang memotong konduktor menginduksikan GGL pada konduktor jangkar. Besarnya GGL yang dibangkitkan tergantung pada laju pemotongan garis gaya (kecepatan rotor) dan kuat medan. Karena generator kebanyakan berkerja pada

kecepatan konstan, maka besarnya GGL yang dibangkitkan menjadi bergantung pada eksitasi medan. Eksitasi medan dapat langsung dikendalikan dengan mengubah besarnya tegangan eksitasi yang dikenakan pada kumparan medan generator.

Arus medan merupakan arus searah yang diberikan pada belitan rotor. Pemberian arus medan ini bertujuan untuk menghasilkan fluks dan medan pada kumparan rotor. Berdasarkan hukum Faraday, jika suatu penghantar yang dialiri arus listrik yang digerakkan di sekitar kumparan, maka pada kumparan tersebut timbul GGL induksi. Sama halnya dengan kumparan rotor (kumparan medan) yang dialiri arus listrik kemudian diputar, maka medan di sekitar kumparan medan akan memotong batang-batang konduktor pada stator (kumparan jangkar) (Azis, 1984: 46). Apabila pada ujung-ujung kumparan stator (terminal stator) diberi beban, maka akan timbul GGL induksi pada kumparan stator dan menghasilkan tegangan listrik pada terminal stator yang dihubungkan ke beban tadi. Tegangan induksi yang dihasilkan tergantung dari rata-rata perubahan fluksi yang melingkupi. Tegangan yang dihasilkan terdapat pada kumparan jangkar dan tergantung dari kuat medan pada rotor dan kecepatannya. Besar kecilnya fluksi tergantung dari arus medan yang diberikan pada kumparan medan. Jika dalam pelaksanaannya putaran generator dibuat tetap, maka tegangan generator tergantung pada kuat lemahnya arus pada kumparan medan.

2.2.8.2 Hubungan Tegangan Terminal dan Daya Reaktif

Pada generator juga ada hubungan antara tegangan terminal V_T dan daya reaktif Q . Ketika muatan lambat ditambahkan pada generator sinkron, tegangan terminalnya akan menurun. Sebaliknya, ketika muatan utama ditambahkan pada generator sinkron, maka tegangan terminalnya akan naik. Hal ini dimungkinkan membuat kurva tegangan terminal terhadap daya reaktif, dan plot itu memiliki karakteristik menurun seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15 dibawah ini.



Gambar 2.15 Kurva tegangan terminal (V_T) dan daya reaktif (Q)

Karakteristik ini tidak linier, tetapi banyak regulator tegangan generator memasukkan fitur untuk melinierkan. Kurva karakteristik dapat dinaikkan dan diturunkan dengan mengubah tegangan terminal tanpa muatan poin yang ditetapkan pada regulator tegangan. Seperti dengan karakteristik daya frekuensi,

kurva ini memainkan peran penting dalam operasi parallel generator sinkron. Maka penting merealisasikan bahwa satu generator beroperasi sendiri, daya nyata P dan daya reaktif Q yang disuplai dengan generator akan menjadi jumlah yang diminta oleh muatan yang dicantumkan pada generator P dan Q yang disuplai tidak dapat dikontrol dengan kontrol generator. Karena itu, untuk daya nyata tertentu, pengatur menetapkan poin kontrol frekuensi operasi generator f_e , dan daya reaktif tertentu, kontrol medan arus voltase terminal generator V_T .

2.2.9 Pengaruh beban pada Sistem Eksitasi

Saat generator sinkron beroperasi dalam keadaan beban nol atau tanpa beban, maka yang terjadi ialah tak ada arus yang mengalir melewati kumparan jangkar stator, sehingga yang ada pada celah udara hanyalah fluksi arus medan rotor. Berbeda dengan apabila generator bekerja dalam keadaan berbeban, dimana arus jangkar akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi tersebut akan memengaruhi fluksi medan sehingga akhirnya menyebabkan harga tegangan terminal pada generator sinkron berubah. Reaksi ini kemudian dikenal dengan reaksi jangkar. Fluksi jangkar menimbulkan akibat seperti distorsi penguatan maupun pelemahan atau *magnetising* dan *demagnetising*. Pengaruh dari fluksi jangkar bergantung pada beban dan juga faktor daya beban.

2.2.10 Daya

Daya dalam sistem tenaga listrik merupakan jumlah energi listrik yang digunakan dalam suatu usaha, dan daya tersebut merupakan nilai suatu perkalian antara tegangan dengan arus yang mengalir. Secara sistematis sesuai dengan persamaan berikut :

$$P = V \times I \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

P = Daya (VA);

V = Tegangan (Volt);

I = Arus (Ampere).

Pada sistem penggunaan arus bolak-balik (AC) 3 fasa, terdapat 4 jenis daya, yaitu daya reaktif (*reactive power*), daya semu/tampak (*apparent power*), daya aktif (*active power*), dan daya kompleks.

1. Daya reaktif (*reactive power*)

Daya reaktif merupakan suatu daya rugi-rugi dengan kata lain merupakan suatu yang tidak diinginkan dan semaksimal mungkin dapat dihindari. Daya ini bersumber dari komponen reaktif dan memiliki satuan VAR. Dalam perhitungan fasa, daya reaktif ini merupakan perkalian antara teganga efektif dengan arus efektif serta nilai sin. Secara sistematis menggunakan persamaan berikut :

$$Q = V \times I \times \sin \quad (\text{Untuk 1 Fasa}) \dots\dots\dots 2.6$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \quad (\text{Untuk 3 Fasa}) \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR);

V = Tegangan (Volt);

I = Arus (A);

Sin = Sudut fasa;

$\sqrt{3}$ = 3 fasa.

2. Daya semu/tampak (*apparent power*)

Daya semu merupakan suatu daya nyata, dengan kata lain daya semu ini adalah daya yang sebenarnya dihasilkan oleh gengerator. Daya semu merupakan penjumlahan antara daya aktif dengan daya reaktif. Daya semu ini memiliki persamaan yaitu VA. Berikut adalah persamaan sistematis pada daya semu/tampak (*apparent power*) :

$$S = V \times I \dots\dots\dots 2.8$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA);

P = Daya Aktif (Watt);

Q = Daya Reaktif (VAR).

3. Daya aktif (*active power*)

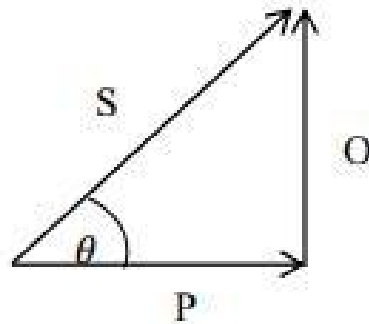
Daya aktif adalah daya yang digunakan untuk energi sebenarnya dengan kata lain daya ini merupakan daya yang terpakai atau terserap. Daya aktif ini merupakan daya yang tercatat pada kwh meter yang terdapat di rumah-rumah dan daya tersebut merupakan daya yang harus dibayar oleh pelanggan. Daya aktif ini sendiri memiliki satuan yaitu Watt (W). Berikut adalah persamaan sistematis pada daya aktif (*active power*) :

$$P = VxIx \sin \quad (\text{Untuk 1 Fasa}) \dots\dots\dots 2.10$$

$$P = \sqrt{3}xVxIx \sin \quad (\text{Untuk 3 Fasa}) \dots\dots\dots 2.11$$

2.2.11 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan hubungan antara daya reaktif (Q), daya semu (S), dan daya aktif (P). Hubungan dari ketiga daya ini dapat digambarkan dalam bentuk vektor seperti pada Gambar 2.16 di bawah ini :



Gambar 2.16 Vektor Hubungan Antara Daya Reaktif, Daya Semu, dan Daya Aktif

2.2.12. Pengaruh Beban Terhadap Sistem Eksitasi

Pada saat generator sinkron bekerja pada keadaan tanpa beban atau beban nol maka tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar stator, akibatnya yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun apabila generator sinkron diberi beban, maka arus jangkar akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian akan mempengaruhi fluksi medan dan akhirnya akan menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron. Reaksi ini yang kemudian dikenal dengan reaksi jangkar. Pengaruh yang timbul akibat dari fluksi jangkar dapat berupa distorsi penguatan (*magnetising*) maupun pelemahan (*demagnetising*) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh yang ditimbulkan fluksi jangkar tergantung pada beban dan faktor daya beban. Berikut pengaruh beban terhadap pengaturan sistem eksitasi :

a. Beban Resistif

Untuk beban resistif dengan $\cos \phi = 1$, maka pengaruh fluksi jangkar terhadap fluksi medan hanya sebatas mendistorsi tanpa mempengaruhi kekuatannya (*cross magnetising*). pada beban resistif, fluksi medan dari arus eksitasi hanya mempengaruhi terhadap besarnya tegangan terminal dari generator. Untuk beban resistif ini hanya mengkonsumsi daya nyata atau daya aktif saja. Sehingga ketika suatu generator dibebani oleh beban resistif, maka tegangan terminal dan putaran *prime mover* akan menurun. Dan untuk menjaga agar

tegangan terminal generator tetap pada tegangan jaringan interkoneksi maka dapat diatasi dengan memperbesar fluksi medan dengan cara menambahkan besarnya arus eksitasi yang di injeksikan ke dalam kumparan medan. Selain itu untuk mengatasi itu dapat dengan memperbesar bukan dari *inlet valve* air.

b. Beban Induktif

Untuk beban induktif murni dengan $\cos \phi = 0$ dan bersifat *lagging*, maka arus akan tertinggal sebesar 90° dari tegangan. Hal ini menyebabkan fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Hal itu akan menyebabkan reaksi jangkar bersifat *demagnetising* yang artinya pengaruh reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan. Seperti yang sudah dijelaskan, bahwa beban yang bersifat induktif hanya mengkonsumsi daya reaktif saja. Oleh karenanya pada pembangkit, untuk meningkatkan besarnya daya reaktif (MVAR) yang dibangkitkan, maka dapat dilakukan dengan cara memperkuat fluksi medan yakni dengan menambahkan besarnya arus eksitasi yang di injeksikan ke dalam kumparan medan pada generator.

c. Beban Kapasitif

Pada beban yang bersifat kapasitif murni dengan $\cos \phi = 0$ dan bersifat *leading*, maka arus akan mendahului tegangan sebesar 90° . Dan fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan, sehingga akan menyebabkan reaksi jangkar bersifat *magnetising* yang artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan. Dengan terjadinya penguatan fluksi

medan di kumparan generator, maka akan mengakibatkan terjadinya kenaikan tegangan terminal pada generator. Untuk menjaga agar tegangan terminal generator ini sama dengan tegangan jaringan interkoneksi, maka arus eksitasi yang disuplai ke kumparan medan rotor generator akan dikurangi. Sehingga apabila pemakaian beban kapasitif meningkat, maka arus eksitasi yang disuplai ke rotor pada generator sinkron akan dikurangi.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik pada bulan April sampai Agustus 2019 yang berada di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan waktu selama empat bulan.

3.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis di dalam penelitian Pengaruh Perubahan Tegangan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator , yaitu :

1. Satu Unit Laptop
Merk : ACER Aspire 4739 series
Processor : Intel (R) Core TM i3 CPU M 380 @ 2.53 GHz
Installed memory (RAM) : 2.00 GB
System tytpe : 32-bit Operating System
2. Dua unit Generator 3 fasa.
3. Satu unit Tang Ampere.
4. Satu unit modul kit percobaan generator.
5. Satu unit multimeter.
6. Enam puluh unit kabel penghubung.
7. Satu unit speedmeter.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan cara-cara teknik / penjabaran suatu analisa/perhitungan yang dilakukan dalam rangka mencapai suatu tujuan dalam penelitian. Adapun langkah-langkah metode penelitian ini, yaitu :

1. Studi Literatur

Meliputi studi definisi pengaruh perubahan tegangan eksitasi, daya reaktif, dan yang berkaitan dengan penelitian ini.

2. Pengumpulan Data

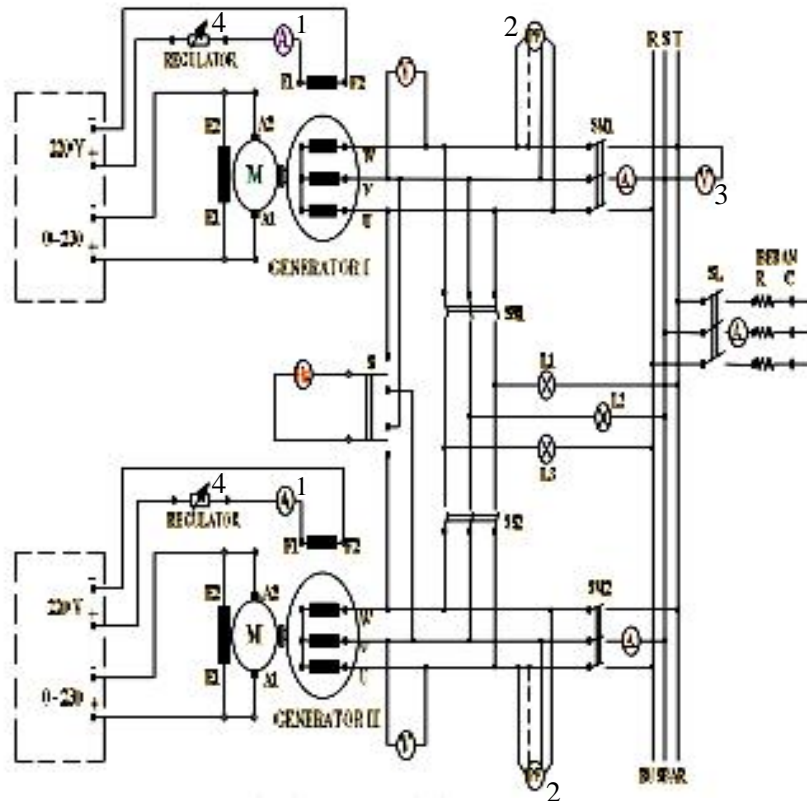
Meliputi pengambilan dan pengumpulan data yang didapat pada Laboratorium Konversi Energi Listrik UMSU.

3. Pengolahan Data dan Analisa

Menganalisis pengaruh perubahan tegangan eksitasi terhadap daya reaktif generator yang berdasarkan formula yang ada sehingga didapat nilai-nilai. Dan data tersebut dapat juga disajikan dalam bentuk grafik.

3.4 Gambar Rangkaian Generator Sinkron

Rangkaian generator sinkron dapat dilihat pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1. Generator Paralel Sinkron

Dimana :

1. Ampere Meter
2. Cos phi meter
3. Volt meter
4. Voltage regulator

3.5 Langkah-Langkah Percobaan

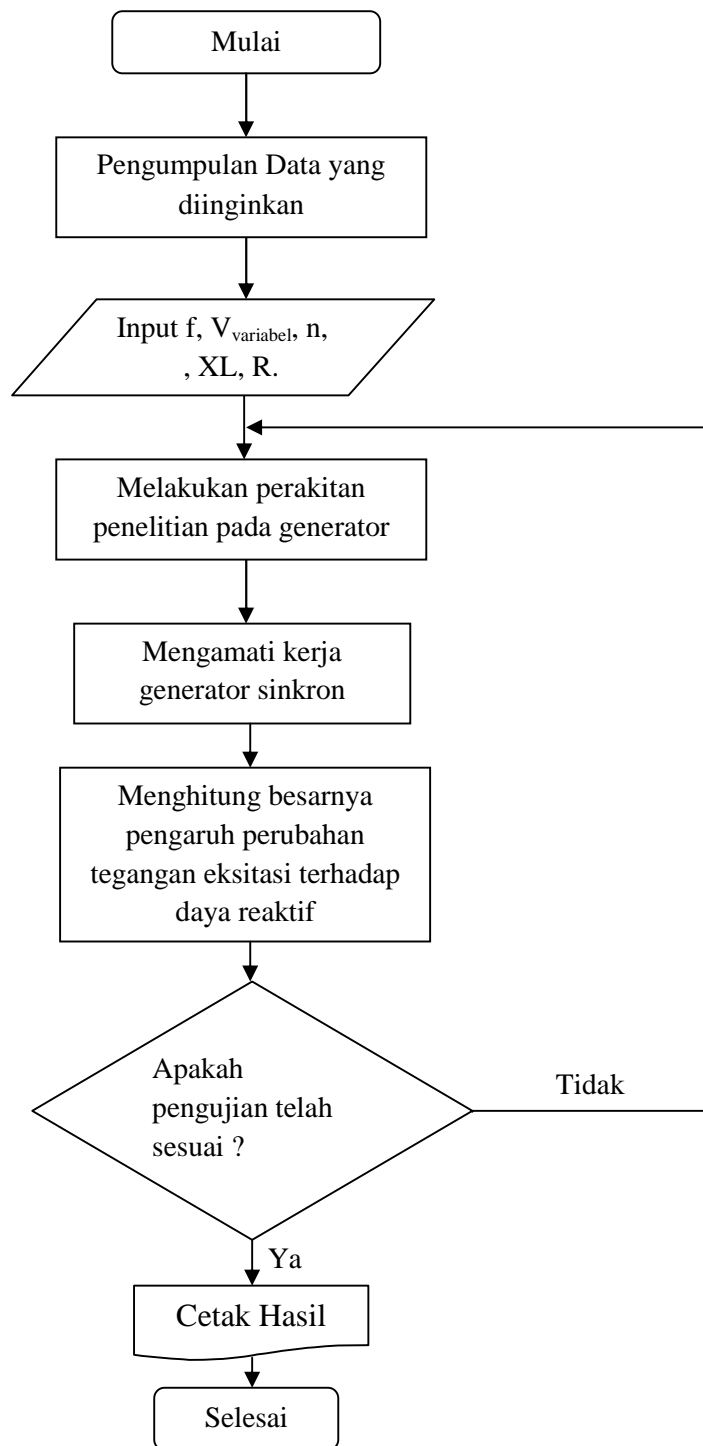
Adapun langkah kerja pada percobaan pengujian generator sinkron

3 phasa adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat pengujian sesuai dengan daftar kebutuhan serta memeriksanya.
2. Melakukan perakitan wiring control pada peralatan penelitian atau pengujian.
3. Melakukan perakitan wiring daya pada peralatan penelitian atau pengujian.
4. Mengecek kerja rangkaian kontrol sebelum melakukan pengujian.
5. Melakukan pengujian seluruh rangkaian yang telah dilakukan.
6. Mengamati selama proses percobaan berlangsung.
7. Menulis data hasil pengamatan atau pengujian.

3.6 *Flowchart* Penelitian

Adapun proses berlangsungnya pelaksanaan penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk alur diagram *flowchart* berikut ini :



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Adapun data hasil penelitian tentang pengaruh perubahan tegangan eksitasi terhadap daya reaktif generator yang didapatkan dengan melakukan pengujian pada generator dapat terlihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian Pengujian Generator Paralel Sinkron Menggunakan Beban Induktif

Data Ke -	V_f (V)	I_f (A)	I_a (A)	Cos /	$V_t = E_a$ (V)	Rpm
1	33,1	0,15	1,35	0,99 / 8,1	213,3	1000
2	40,5	0,35	2,87	0,98 / 11,4	218,7	1100
3	44,2	0,60	4,3	0,98 / 11,4	221,0	1200
4	47,7	0,85	6	0,96 / 16,2	222,1	1300
5	50,3	1,20	7,76	0,95 / 18,1	380	1400

Tabel 4.2 Data Hasil Penelitian Pengujian Generator Paralel Sinkron Menggunakan Beban Resistif

Data Ke -	V_f (V)	I_f (A)	I_a (A)	Cos /	$V_t = E_a$ (V)	Rpm
1	33,1	0,15	1,65	0,96 / 16,2	210,4	995
2	40,5	0,35	3,02	0,96 / 16,2	213,3	1080
3	44,2	0,60	4,85	0,95 / 18,2	219,5	1160
4	47,7	0,85	6,88	0,95 / 18,2	221,7	1280
5	50,3	1,20	7,96	0,91 / 24,5	380	1370

4.2 Perhitungan Pengaruh Perubahan Tegangan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif

1. Pengujian Generator Menggunakan Beban Induktif

Berdasarkan dari Tabel 4.1 diatas, maka akan dihitung daya reaktif pada generator. Perhitungan daya reaktif dengan menggunakan persamaan :

Perhitungan Data ke - 1

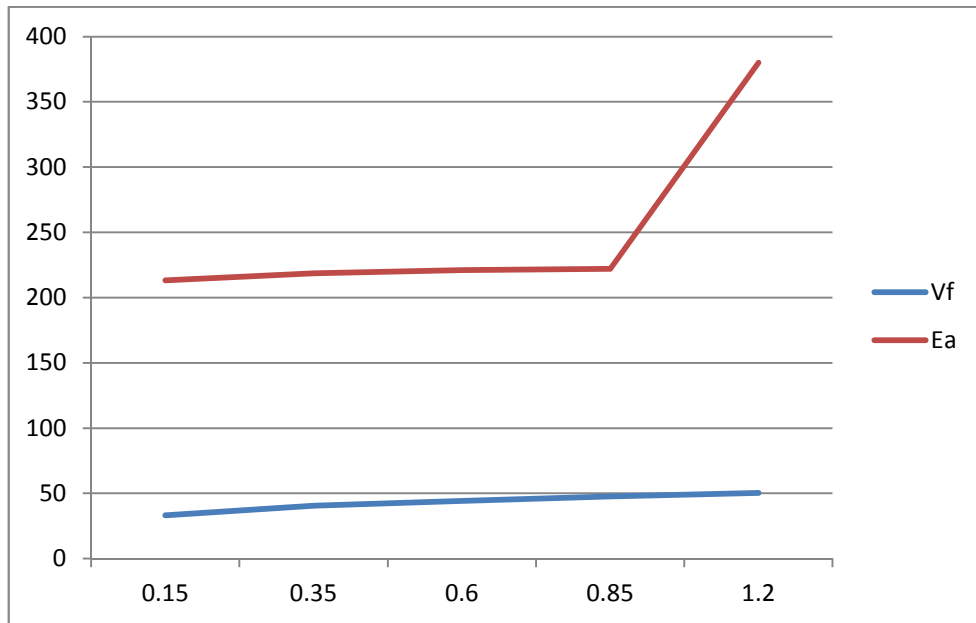
$$Q = V_t \times I \times \sin \delta = 213,3 \times 1,35 \times \sin 8,1 = 40,31 \text{ VAR}$$

Untuk perhitungan data ke 2 sampai ke 5 akan ditampilkan pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Daya Reaktif Pada Generator

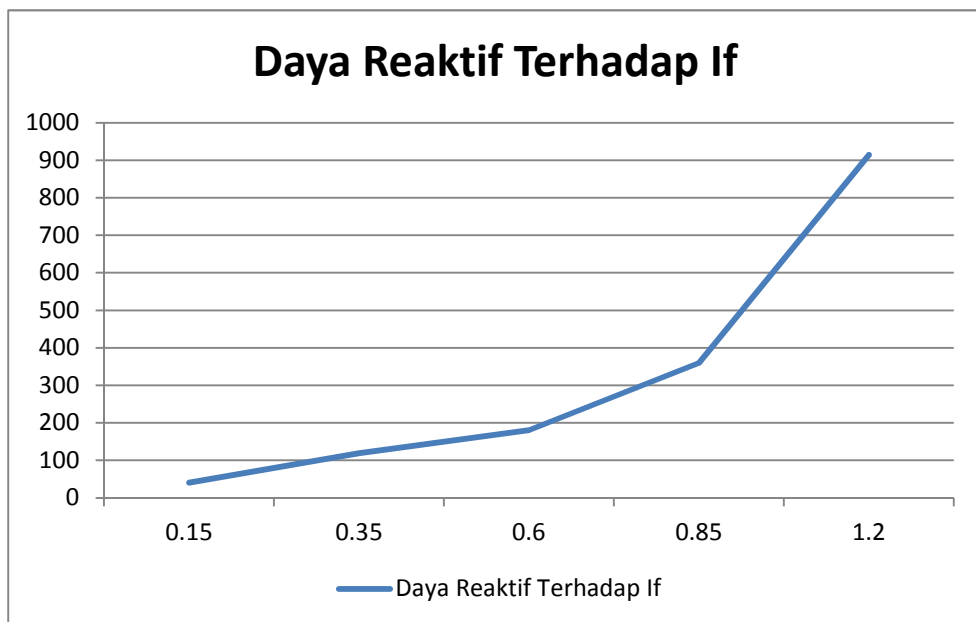
Data Ke -	Daya Reaktif (Q) (VAR)
1	40,31
2	119,25
3	180,55
4	359,80
5	914,12

Dari data Tabel 4.1 dan Tabel 4.3 diatas, pada perhitungan titik tertentu, maka akan diperoleh bahwa semakin tinggi nilai I_f maka nilai V_t nya semakin besar juga. Kenaikan yang signifikan nampak pada hasil pengujian data ke 5 yaitu dengan I_f sebesar 1,20 A dan E_a sebesar 380 V. Maka akan menyebabkan kenaikan tegangan sebesar 0,22% dari tegangan nominal. Untuk itu pengaruh perubahan tegangan eksitasi terhadap daya reaktif pada generator akan ditampilkan pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Kurva If Terhadap Ea dan Vf

Dan untuk melihat perbandingan antara If terhadap Q, maka akan ditampilkan pada Gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Kurva Hubungan If Terhadap Daya Reaktif (Q)

Penyebab perbedaan kurva hubungan If dan Ea ideal dengankurva hasil perhitungan adalah:

1. Karena adanya rugi-rugi pada eksitasi. Meskipun rugieksitasi dianggap kecil, tetapi masih berpengaruh terhadap nilai E_a . Semakin besar arus eksitasi yang disuplai, maka lilitan pada rotor juga akan panas. Hal ini akan berakibat arus eksitasi juga berkurang dan E_a juga akan turun sedikit.
2. Karena kurva ideal diambil pada generator masih keadaan baru (dalam keadaan ideal). Pada generator yang sudah dioperasikan begitu lama, kinerjanya juga akan menurun.
3. Karena perubahan beban yang disuplai generator.

Setelah itu, akan dihitung daya reaktif negatif pada generator.

Perhitungan daya reaktif dengan menggunakan persamaan :

Perhitungan Data ke - 1

$$Q = V_t \times I \times \sin \theta = 213,3 \times 1,35 \times \sin - 8,1 = - 40,31 \text{ VAR}$$

Untuk perhitungan data ke 2 sampai ke 5 akan ditampilkan pada Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Daya Reaktif Negatif Pada Generator

Data Ke -	Daya Reaktif (Q) (VAR)
1	- 40,31
2	-119,25
3	-180,55
4	-359,80
5	-914,12

Kemudian akan dihitung rugi-rugi yang ada pada generator 3 fasa yang telah diuji dan diketahui data-datanya. Perhitungan rugi-rugi generator 3 fasa akan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Perhitungan Data ke 1

$$\begin{aligned} \text{Rugi-rugi} &= (V_t \times I_a) - (V_f \times I_f) = (213,3 \times 1,35) - (33,1 \times 0,15) \\ &= 287,95 - 4,96 = 282,99 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan data ke 2 sampai ke 5 akan ditampilkan dalam bentuk Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Pada Generator

Data Ke	Rugi-Rugi (Losses) (Watt)
1	282,99
2	613,49
3	923,78
4	1292,05
5	2888,44

2. Pengujian Generator Menggunakan Beban Resistif

Berdasarkan dari Tabel 4.2 diatas, maka akan dihitung daya reaktif pada generator. Perhitungan daya reaktif dengan menggunakan persamaan :

Perhitungan Data ke - 1

$$Q = V_t \times I \times \sin \theta = 210,4 \times 1,65 \times \sin 16,2 = 96,85 \text{ VAR}$$

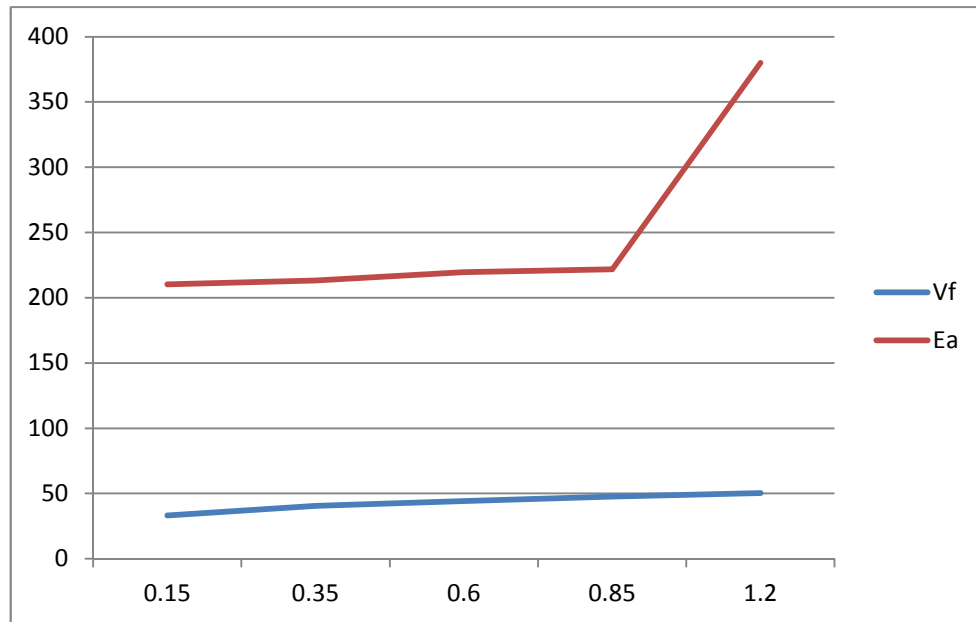
Untuk perhitungan data ke 2 sampai ke 5 akan ditampilkan pada Tabel 4.6 dibawah ini :

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Daya Reaktif Pada Generator

Data Ke -	Daya Reaktif (Q) (VAR)
1	96,85
2	179,71
3	332,50
4	476,40
5	1254,36

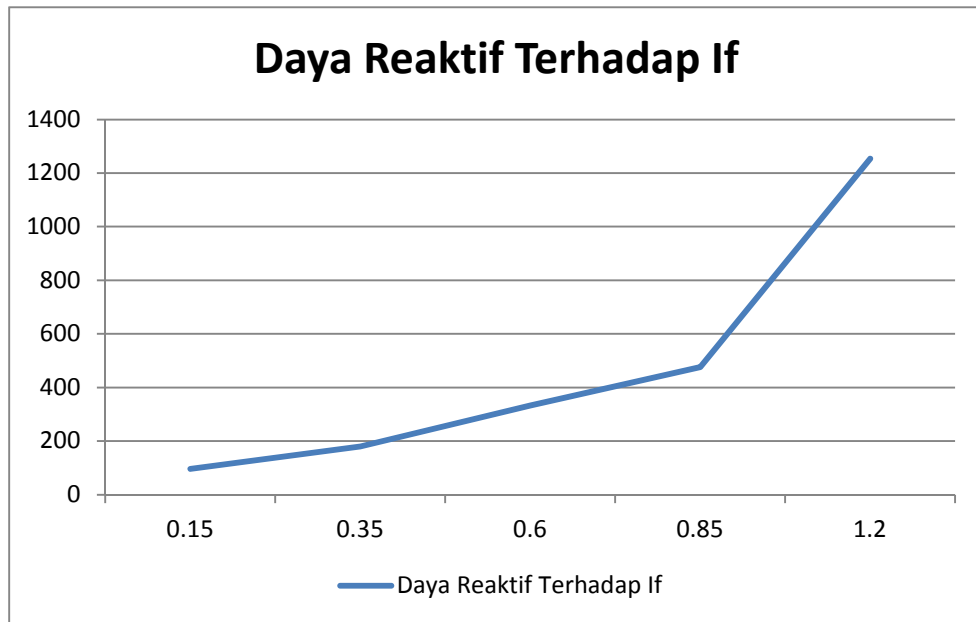
Dari data Tabel 4.2 dan Tabel 4.6 diatas, pada perhitungan titik tertentu, maka akan diperoleh bahwa semakin tinggi nilai I_f maka nilai V_t nya semakin

besar juga. Kenaikan yang signifikan nampak pada hasil pengujian data ke 5 yaitu dengan I_f sebesar 1,20 A dan E_a sebesar 380 V. Maka akan menyebabkan kenaikan tegangan sebesar 0,46% dari tegangan nominal. Untuk itu pengaruh perubahan tegangan eksitasi terhadap daya reaktif pada generator akan ditampilkan pada Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Kurva I_f Terhadap E_a dan V_f

Dan untuk melihat perbandingan antara I_f terhadap Q , maka akan ditampilkan pada Gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Kurva Hubungan If Terhadap Daya Reaktif (Q)

Penyebab perbedaan kurva hubungan If dan E_a ideal dengan kurva hasil perhitungan adalah:

1. Karena adanya rugi-rugi pada eksitasi. Meskipun rugi eksitasi dianggap kecil, tetapi masih berpengaruh terhadap nilai E_a . Semakin besar arus eksitasi yang disuplai, maka lilitan pada rotor juga akan panas. Hal ini akan berakibat arus eksitasi juga berkurang dan E_a juga akan turun sedikit.
2. Karena kurva ideal diambil pada generator masih keadaan baru (dalam keadaan ideal). Pada generator yang sudah dioperasikan begitu lama, kinerjanya juga akan menurun.
3. Karena perubahan beban yang disuplai generator.

Setelah itu, akan dihitung daya reaktif negatif pada generator. Perhitungan daya reaktif dengan menggunakan persamaan :

Perhitungan Data ke - 1

$$Q = V_t \times I \times \sin \phi = 210,4 \times 1,65 \times \sin -16,2 = -96,85 \text{ VAR}$$

Untuk perhitungan data ke 2 sampai ke 5 akan ditampilkan pada Tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Daya Reaktif Negatif Pada Generator

Data Ke -	Daya Reaktif (Q) (VAR)
1	-96,85
2	-179,71
3	-332,50
4	-476,40
5	-1254,36

Kemudian akan dihitung rugi-rugi yang ada pada generator 3 fasa yang telah diuji dan diketahui data-datanya. Perhitungan rugi-rugi generator 3 fasa akan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Perhitungan Data ke 1

$$\begin{aligned} \text{Rugi-rugi} &= (V_t \times I_a) - (V_f \times I_f) = (210,4 \times 1,65) - (33,1 \times 0,15) \\ &= 347,16 - 4,96 = 342,2 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan data ke 2 sampai ke 5 akan ditampilkan dalam bentuk Tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Pada Generator

Data Ke	Rugi-Rugi (Losses) (Watt)
1	342,2
2	629,98
3	1038,05
4	1484,74
5	2964,44

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis data yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Daya reaktif dapat diketahui pada saat kita melakukan pengujian pada generator. Dan generator tersebut diberi beban resistif dan induktif.
2. Pengaruh dari pembebanan induktif dan resistif terhadap daya reaktif pada generator, antara lain :
 - a. Adanya rugi-rugi pada eksitasi. Meskipun rugieksitasi dianggap kecil, tetapi masih berpengaruh terhadap nilai E_a . Semakin besar arus eksitasi yang disuplai, maka lilitan pada rotor juga akan panas. Hal ini akan berakibat arus eksitasi juga berkurang dan E_a juga akan turun sedikit.
 - b. Karena kurva ideal diambil pada generator masih keadaan baru (dalam keadaan ideal). Pada generator yang sudah dioperasikan begitu lama, kinerjanya juga akan menurun.
 - c. Karena perubahan beban yang disuplai generator.

5.2 Saran

1. Untuk pengembangan tugas akhir ini dapat dikaji lebih rinci lagi tentang perbandingan pengaruh rugi-rugi daya pada generator terhadap penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Imron, "Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Generator," *ELTEK J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 02, pp. 31–41, 2013.
- [2] Armansyah, Sudaryanto, "Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal," *Journal of Electrical Technology.*, vol. 1, no. 3, *UISU*, 2016.
- [3] I. Yudhistira Heri, "Analisis Pengaruh Eksitasi Pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan di PLTA WLINGI PT PJB BRANTAS," *Jurnal Qua Teknika.*, vol. 9, no. 1, *Unisbablitar*, 2019.
- [4] T. R. Gerha, et.al., "Studi Pengaturan Arus Eksitasi Untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2," *J. Reka Elkomika, Itenas*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [5] Basofi, et.al., "Studi Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Yang Bekerja Paralel Terhadap Perubahan Faktor Daya," *Singuda Ensikom, USU*, vol. 7, no. 1, pp. 8-15, 2014.
- [6] S. Annas Alatas, "Simulasi Pemodelan Sistem Eksitasi Statis Pada Generator Sinkron Terhadap Perubahan Beban," *UII*, 2018.
- [7] C. Oktien Dwi, "Analisa Unjuk Kerja Pemanfaatan Motor Induksi Sebagai Generator," *UMSU*, 2018.
- [8] B. Esa, "Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Pada Generator Sinkron Yang Bekerja Paralel," *UGM*, 2016.
- [9] A. Jordy, "Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Gas Turbin Blok 2 Unit 3 (Studi Pada PT. Indonesia

Power UBP Tanjung Priok),” UNJ, 2016.

- [10] Riduan, “*Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Sinkron di PLTD Merawang Kabupaten Bangka Induk Sungailiat*” UBB, 2017.
- [11] S. Bandri, “*Analisa Pengaruh Pembebanan Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron,*” UNDIP, 2013.
- [12] Q. Ahmad Hada, “*Analisa Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar Dan Faktor Daya Pada Motor Sinkron 3 Fasa,*” PolSri, 2017.
- [13] H. Nailul, “*Pemodelan Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif Terhadap Arus Eksitasi Dan Tegangan Keluaran Generator Sinkron,*” Unissula, 2017.
- [14] Annisa, et.al, “*Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron,*” *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37-53 2019.