

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN ARUS EKSTIASI TERHADAP KARAKTERISTIK GENERATOR (APLIKASI LABORATORIUM MESIN-MESIN LISTRIK FAKULTAS TEKNIK-UMSU)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**KIKI UTAMA PUTRA**

**1507220121**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

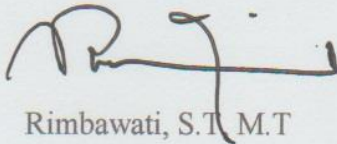
Nama : Kiki Utama Putra  
NPM : 1507220121  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (*Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-UMSU*)  
Bidang ilmu : Sistem Tenaga Listrik

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, 31 Agustus 2019

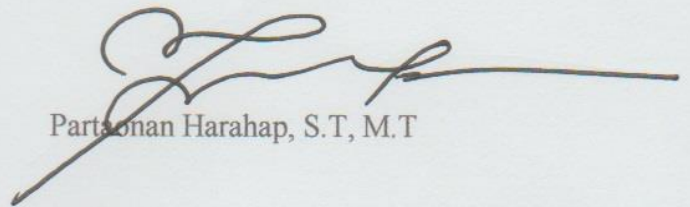
Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing I



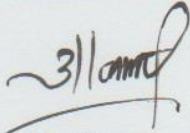
Rimbawati, S.T, M.T

Dosen Pembimbing II




Partoonan Harahap, S.T, M.T

Dosen Pembanding I



Dr. M. Fitra Zambak, S.T, M.Sc

Dosen Pembanding II



Solly Aryza, S.T, M.Eng

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua  
  
Faisal Irfan P, S.T, M.T



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Kiki Utama Putra  
Tempat/Tanggal Lahir : Bandar Setia / 15 Januari 1997  
NPM : 1507220121  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

**“Analisis Pengaruh Perubahan Arus eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-UMSU)”**,

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, 31 Agustus 2019

Saya yang menyatakan,



Kiki Utama Putra

## Abstrak

Pembebanan sistem interkoneksi selalu berubah-ubah setiap saat. Perubahan beban menyebabkan fluktuasi perubahan tegangan keluaran generator dan perubahan pada arus eksitasi generator. Untuk menghasilkan tegangan keluaran generator yang konstan diperlukan suatu pengaturan tegangan keluaran generator. Pengaturan tegangan tersebut dilakukan dengan mengatur arus eksitasinya. Arus eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator atau sebagai pembangkit medan sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi. Pada penelitian ini menggunakan catu daya DC sebagai arus eksitasinya dengan nilai yang bervariasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari generator terhadap perubahan nilai arus eksitasi yang diberikan. Daya reaktif paling tinggi beban R-L dicapai pada pengaturan arus eksitasi sebesar 3,5 ampere dengan nilai daya reaktif sebesar 661,4 var. Sedangkan pada beban R-C daya reaktif yang dihasilkan lebih rendah dari beban R-L yaitu sebesar 616,93 var. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tegangan generator sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus eksitasi yang diberikan. Semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. Hal ini berbanding lurus antara tegangan keluaran generator dengan arus eksitasi yang diberikan. Selain itu, pada pembebanan R-L dan R-C daya reaktif yang dihasilkan juga akan bertambah besar.

Kata kunci : *Arus eksitasi, tegangan generator, daya reaktif*



## Abstract

The loading of the interconnection system is always changing at any time. Changes in load cause fluctuations in changes in generator output voltage and changes in generator excitation currents. To produce a constant generator output voltage a regulation of the generator output voltage is required. The voltage regulation is done by adjusting the current excitation. Excitation current is a DC power supply system as a reinforcement to a generator or as a field generator so that a generator can produce electrical energy with a large generator output voltage depending on the amount of excitation current. In this study, DC power supplies are used as exciter current with varying values. This is done to determine the characteristics of the generator to change the value of the given excitation current. The highest reactive power of the R-L load is achieved at the regulation of the excitation current of 3.5 amperes with a reactive power value of 661.4 var. Whereas at the R-C load the reactive power produced is lower than the R-L load that is equal to 616.93 var. This study concludes that the generator voltage is strongly influenced by the size of the given excitation current. The greater the excitation current given, the greater the generator output voltage. This is directly proportional between the generator output voltage and the given excitation current. In addition, the loading of R-L and R-C reactive power generated will also increase.

Keywords: Excitation current, generator voltage, reactive power

## 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 alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita ucapkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad. SAW karena beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kan kita pesan ilahi untuk dijadikan pedoman hidup agar dapat selamat hidup di dunia hingga nanti kembali keakhirat.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **“ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN ARUS EKSITASI TERHADAP KARAKTERISTIK GENERATOR (APLIKASI LABORATORIUM MESIN-MESIN LISTRIK FAKULTAS TEKNIK-UMSU)”**.

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. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Kedua orang tua tercinta karena berkat doa dan semangat yang kalian berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini guna

memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

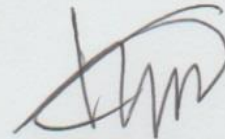
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rimbawati, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang selalu sabar membimbing, mensupport serta motivasi kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Bapak Partaonan Harahap S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi ide-ide dan masukkan dalam penulisan tugas akhir ini.
7. Segenap Bapak & Ibu dosen di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman seperjuangan kelas A2 siang teknik elektro serta keluarga besar teknik elektro 2015 yang selalu memberikan semangat, kebersamaan yang luar biasa.
9. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
10. Keluarga besar Pimpinan Komisariat Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah Fakultas Teknik yang mensupport penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

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 penuli mengucapkan terima kasih.

Medan, 31 Agustus 2019

Penulis



Kiki Utama Putra  
1507220121



## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                                  |             |
| <b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>               |             |
| <b>ABSTRAK</b>   | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>ii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                                      | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI</b>  | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                                       | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b>  | <b>x</b>    |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                             | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang .....                                  | 1           |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                                 | 2           |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....                                | 3           |
| 1.4. Manfaat Penelitian.....                               | 3           |
| 1.5. Batasan Masalah.....                                  | 4           |
| 1.6. Sistematika Penulisan.....                            | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                       | <b>6</b>    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....                         | 6           |
| 2.2 Landasan Teori.....                                    | 9           |
| 2.2.1 Generator Sinkron.....                               | 9           |
| 2.2.2 Komponen Generator Sinkron .....                     | 10          |
| 2.2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron.....                 | 16          |
| 2.2.4 Reaksi Jangkar Pada Generator Sinkron.....           | 18          |
| 2.2.5 Rangkaian Ekuivalen Generator .....                  | 20          |
| 2.2.6 Karakteristik Generator Sinkron .....                | 23          |
| 2.2.6.1 Karakteristik Open Circuit .....                   | 23          |
| 2.2.6.2 Karakteristik Hubung Singkat .....                 | 24          |
| 2.2.7 Sistem Eksitasi Pada Generator Sinkron .....         | 26          |
| 2.2.8 Efek Pengaturan Eksitasi Pada Generator Sinkron..... | 28          |
| 2.2.9 Rangkaian Seri RLC arus AC .....                     | 29          |
| 2.2.9.1 Rangkaian R-L Seri.....                            | 30          |
| 2.2.9.2 Rangkaian R-C Seri.....                            | 31          |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.9.3 Rangkaian RLC Seri .....  | 32        |
| 2.2.10 Daya Reaktif.....  | 33        |
| 2.2.10.1 Daya Semu .....  | 34        |
| 2.2.10.2 Daya Aktif.....  | 34        |
| 2.2.10.3 Daya Reaktif .....   | 35        |
| 2.2.10.4 Faktor Daya.....   | 35        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                                      | <b>36</b> |
| 3.1. Tempat dan Lokasi Penelitian .....                                     | 36        |
| 3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....  | 36        |
| 3.3. Jalannya Penelitian.....   | 37        |
| 3.3.1. Merakit Rangkaian Direct On Line (DOL).....                          | 37        |
| 3.3.2. Pengujian dan Pengukuran.....  | 39        |
| 3.3.2.1 Pengujian dan Pengukuran Tanpa Beban.....                           | 40        |
| 3.3.2.2 Pengujian dan Pengukuran Beban R-L .....                            | 41        |
| 3.3.2.3 Pengujian dan Pengukuran Beban R-C .....                            | 42        |
| 3.4. Diagram Alir Penelitian .....  | 43        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                     | <b>44</b> |
| 4.1. Perhitungan Tegangan Generator Terhadap Perubahan Arus Eksitasi .....  | 44        |
| 4.1.1 Generator Tanpa Beban .....   | 44        |
| 4.1.2 Generator Beban R-L.....  | 48        |
| 4.1.3 Generator Beban R-C.....  | 53        |
| 4.2 Perhitungan Daya Reaktif Beban R-L Terhadap Perubahan Arus Eksitasi ... | 58        |
| 4.3 Perhitungan Daya Reaktif Beban R-C Terhadap Perubahan Arus Eksitasi ... | 62        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>  | <b>66</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....   | 66        |
| 5.2 Saran.....  | 67        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>   |           |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1. Konstruksi Generator Sinkron.....                    | 11 |
| Gambar 2.2. Penampang Stator.....                                | 11 |
| Gambar 2.3. Inti Stator.....                                     | 12 |
| Gambar 2.4. Bentuk-Bentuk Slot.....                              | 13 |
| Gambar 2.5. Rotor Kutub Menonjol.....                            | 14 |
| Gambar 2.6. Rotor Kutub Silinder.....                            | 15 |
| Gambar 2.7. Model Reaksi Jangkar.....                            | 18 |
| Gambar 2.8. Rangkaian Ekuivalen Generator.....                   | 21 |
| Gambar 2.9. Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen Generator.....    | 22 |
| Gambar 2.10 Rangkaian Ekuivalen Generator.....                   | 22 |
| Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen Generator Hubung Y Hubung D..... | 23 |
| Gambar 2.12 Rangkaian Generator Pada Kondisi Open Circuit.....   | 23 |
| Gambar 2.13 Kurva V Terhadap If Pada Kondisi Open Circuit.....   | 24 |
| Gambar 2.14 Rangkaian Generator Hubung Singkat 1 Fasa.....       | 24 |
| Gambar 2.15 Rangkaian Generator Hubung Singkat 3 Fasa.....       | 25 |
| Gambar 2.16 Karakteristik Pada Kondisi Hubung Singkat.....       | 26 |
| Gambar 2.17 Sistem Eksitasi Dinamik.....                         | 27 |
| Gambar 2.18 Sistem Eksitasi Statis.....                          | 27 |
| Gambar 2.19 Sistem Eksitasi Tanpa Brush.....                     | 28 |
| Gambar 2.20 Rangkaian R-L Seri.....                              | 30 |
| Gambar 2.21 Diagram Phasor Rangkaian R-L.....                    | 30 |
| Gambar 2.22 Rangkaian R-C Seri.....                              | 31 |
| Gambar 2.23 Diagram Phasor Rangkaian R-C.....                    | 31 |
| Gambar 2.24 Rangkaian RLC Seri.....                              | 32 |
| Gambar 2.25 Diagram Phasor RLC Seri.....                         | 33 |
| Gambar 3.1 Rangkaian DOL.....                                    | 38 |
| Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Tanpa Beban.....                  | 39 |
| Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Pada Beban R-L.....               | 40 |
| Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Tanpa Beban R-C.....              | 41 |
| Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian.....                          | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.1 Grafik Karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap tegangan generator tanpa beban.....   | 44 |
| Gambar 4.2 Grafik Karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap tegangan generator beban R-L.....     | 49 |
| Gambar 4.3 Grafik Karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap tegangan generator beban R-C.....     | 54 |
| Gambar 4.4 Grafik Karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif generator beban R-L..... | 58 |
| Gambar 4.5 Grafik Karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif generator beban R-C..... | 62 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Generator Tanpa Beban .....       | 41 |
| Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Tegangan Keluaran Generator Tanpa Beban ..... | 43 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Karakteristik Generator Beban R-L.....          | 45 |
| Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Tegangan Keluaran Generator Beban R-L.....    | 48 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Karakteristik Generator Beban R-C .....         | 50 |
| Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Tegangan Keluaran Generator Beban R-C.....    | 53 |
| Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Daya Reaktif Generator Beban R-L.....         | 57 |
| Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Daya Reaktif Generator Beban R-C.....         | 61 |



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin meningkat, kebutuhan akan tenaga listrik setiap hari juga semakin meningkat. Sehingga mendorong peningkatan penyediaan pembangkit energi listrik yang memadai. Generator merupakan salah satu peralatan utama dalam suatu pembangkit tenaga listrik, baik pada pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga gas, pembangkit listrik tenaga uap, dan pembangkit listrik tenaga diesel.

Generator merupakan jenis mesin listrik yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik dengan cara mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada stator. Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan ditimbulkan medan putar pada stator. Kumparan medan rotor diberi arus searah sehingga mendapatkan tarikan dari kutub medan stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama sampai menimbulkan energi listrik (A.C. Putra, 2018).

Pembebanan sistem interkoneksi selalu berubah-ubah setiap saat. Perubahan beban menyebabkan fluktuasi tegangan keluaran generator. Perubahan tegangan keluaran bisa menimbulkan bermacam-macam efek ke generator. Untuk menghasilkan tegangan keluaran generator yang konstan diperlukan suatu pengaturan tegangan keluaran generator. Pengaturan tegangan tersebut dilakukan dengan mengatur arus eksitasinya. Arus eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC

sebagai penguatan pada generator atau sebagai pembangkit medan sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi. Pengaturan arus eksitasi ini akan mempengaruhi tegangan terminal (tegangan keluaran) generator. Arus eksitasi yang tidak dikendalikan akan menyebabkan distribusi fluks menjadi tidak merata (S. Rudi, 2012).

Pengaturan arus eksitasi ini dilakukan dengan sistem berpenguatan bebas dan terpisah yakni menggunakan catu daya DC sebagai sumber arus dc yang digunakan sebagai arus eksiter. Pada saat generator mencapai kecepatan nominal, catu daya DC diinjeksikan ke belitan rotor. Pemberian arus medan ini bertujuan untuk menghasilkan fluks dan medan magnet pada kumparan rotor. Fluks medan yang memotong konduktor menginduksikan GGL pada konduktor jangkar. Besarnya arus eksitasi yang diberikan pada belitan rotor dapat di atur melalui catu daya DC (Nurdin, Azis, & Rozal, 2018).

Berdasarkan analisis diatas maka penelitian ini akan melakukan eksperimen tentang pengaturan perubahan arus eksitasi terhadap generator 3 fasa yang dilakukan di Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimanakah pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap tegangan output generator?

2. Bagaimanakah pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif pada beban R-L?
3. Bagaimanakah pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif pada beban R-C?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian ini yaitu :

1. Menganalisa dan mengetahui pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap tegangan output generator.
2. Menganalisa dan pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif pada beban R-L.
3. Menganalisa dan mengetahui pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif pada beban R-C

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini yaitu :

1. Dapat mengetahui batas arus eksitasi untuk mencapai kestabilan tegangan generator.
2. Dapat memberikan gambaran kinerja dan karakteristik generator terhadap perubahan arus eksitasi
3. Dapat memberikan informasi bagi para peneliti untuk melaksanakan penelitian lanjutan

### **1.5 Batasan Masalah**

Untuk lebih mengarahkan pokok pembahasan dalam penelitian ini, maka peneliti membuat batasan masalah, sebagai berikut :

1. Pembahasan pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap output generator pada pengujian beban nol
2. Pembahasan pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif pada pengujian beban R-L dan R-C

### **1.6 Sistematika Penulisan**

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan mengawali penulisan dengan menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini memuat tentang kutipan dari penelitian terdahulu serta menguraikan tentang teori dasar-dasar umum tentang sistem eksitasi pada generator dan penjelasan tentang karakteristik generator 3 fasa.

#### **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 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini akan menguraikan hasil analisa dari data yang telah diambil di lapangan, lalu menganalisanya. Dalam bab ini setidaknya memberikan jawaban atas pertanyaan pada rumusan masalah.

#### **BAB V PENUTUP**

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



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Dalam penelitian ini peneliti memaparkan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti yaitu tentang pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap karakteristik generator 3 fasa.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif generator. Pada penelitian tersebut menganalisa operasi paralel generator sinkron dengan sistem daya, perubahan beban, perubahan tegangan, perubahan eksitasi, dan pengontrolan daya reaktif. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu fluktuasi tegangan berkisar  $\pm 0,66\%$  dari tegangan nominal. Tegangan cenderung konstan agar sinkronisasi terjaga dengan sistem. Kenaikan eksitasi awal berkisar  $\pm 3,27\%$ . Adanya perubahan daya reaktif sebesar  $\pm 5,26$  MVAR. Arus medan generator mengontrol daya reaktif yang disuplai generator ke sistem daya (Ridzki, 2013).

Pada penelitian selanjutnya dilakukan penelitian pengaturan arus eksitasi untuk mengatur tegangan keluaran generator di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2. Sistem pengaturan arus eksitasi generator memakai *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan mengatur sudut penyalaan *thyristor* pada rangkaian konverter. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu sudut penyalaan *thyristor* bekerja pada batas minimum  $\alpha = 116,57^{\circ}$  dan batas maksimum sudut penyalaan *thyristor* bekerja pada  $\alpha = 120,96^{\circ}$ , berdasarkan simulasi, sudut penyalaan *thyristor* bekerja pada batas minimum  $\alpha = 100,71^{\circ}$  dan

batas maksimum  $\alpha = 127,15^{\circ}$ . Berdasarkan hasil simulasi sudut penyalaan thyristor pada kondisi beban penuh adalah  $61,73^{\circ}$ . 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 mengecil. Semakin kecil nilai sudut penyalaan thyristor pada rangkaian semi konverter akan menghasilkan nilai tegangan eksitasi pada eksiter dan tegangan keluaran generator membesar (Terimananda & Hariyanto, 2016).

Pada penelitian berikutnya melakukan penelitian tentang pengaruh perubahan beban terhadap karakteristik generator sinkron. Penelitian tersebut mempelajari dan menganalisa kinerja generator sinkron tiga fasa saat terjadi perubahan beban daya reaktif. Generator sinkron yang ditinjau adalah generator sinkron 37 MVA, 10.5 kV, hubungan Y pada PLTG Pauh Limo. Pengoperasian generator dituntut suatu kestabilan agar kinerja generator menjadi optimal. Kestabilan generator dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu beban, arus eksitasi, faktor daya, jumlah putaran generator, dan lain sebagainya. Perubahan besar tegangan terminal akibat dihubungkan ke beban akan menyebabkan ketidakstabilan generator. Dari hasil analisa diperoleh bahwa semakin bertambahnya beban maka GGL induksi juga akan naik dan arus medan juga naik dimana GGL induksi yang di dapat pada saat beban puncak dari factor daya lagging adalah 6397.211 V dan arus medan 304.629 A, GGL induksi pada factor daya leading adalah 6043.474 V dan arus medan 287.784 A (Laksono, Haliman, Danas, & A, 2016).

Pada penelitian berikutnya mengenai pemodelan dan analisa sistem eksitasi generator. Model sistem eksitasi generator yang digunakan meliputi model sistem eksitasi generator tipe arus searah, model sistem eksitasi generator tipe arus searah dengan Rate Output Feedback, model sistem eksitasi generator tipe arus searah dengan Transient Gain Reduction dan model sistem eksitasi generator tipe statik. Untuk analisa sistem eksitasi generator meliputi analisa performansi dalam domain waktu yang meliputi analisa kesalahan dan analisa peralihan, analisa performansi dalam domain frekuensi, analisa kestabilan dan analisa kekokohan. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu Untuk analisa kesalahan, sistem eksitasi generator tipe arus searah dengan Rate Output Feedback dan sistem eksitasi generator tipe statik memiliki nilai kesalahan yang terkecil sebesar 0.0050. (Laksono & Febrianda, 2015).

Pada penelitian berikutnya dilakukan analisa pengaruh eksitasi terhadap efek harmonisa pada hubungan belitan generator sinkron dengan beban Lampu. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan generator menggunakan beban lampu 5 watt dengan hubungan delta-bintang dan bintang-bintang. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa harmonisa arus generator sinkron belitan delta dengan beban lampu 5 watt belitan bintang terjadi mulai pada pengaturan 50% dari arus eksitasinya dan harmonisa arus generator sinkron belitan bintang dengan beban lampu 5 watt belitan bintang terjadi mulai pada pengaturan 20% dari arus eksitasinya (Irmada, 2012)

Setahun berikutnya dilakukan penelitian tentang perilaku tegangan system eksitasi generator dengan metoda penempatan kutub dalam domain waktu. Metoda penempatan kutub menggunakan fungsi alih sistem eksitasi generator

dengan *stabilizer* dan tanpa *stabilizer*, algoritma *Robust Pole Placement dan Stabilizier*. Kemudian fungsi alih tersebut diubah menjadi persamaan keadaan sistem lingkaran terbuka dan tertutup. Perubahan fungsi alih menjadi persamaan keadaan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Dengan menggunakan perangkat lunak matlab diperoleh bahwa dengan menggunakan metoda penempatan kutub perilaku tegangan sistem eksitasi generator menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan performansi perilaku tegangan sistem eksitasi tanpa metoda penempatan kutub dengan stabilizer (Laksono & Yulianto, 2013)

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Generator Sinkron**

Dalam sebuah pembangkit tenaga listrik terdapat berbagai macam alat yang di gunakan. Salah satu komponen utama yang di perlukan yaitu generator. Generator sinkron (sering disebut 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 (Armansyah, 2016).

Generator sinkron bekerja berdasarkan hukum faraday yang secara garis besar menyatakan besar dari gaya listrik yang diinduksikan akan berbanding lurus dengan nilai laju perubahan jumlah dari garis gaya yang melalui kumparan . Generator sinkron mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar

dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan magnet pada generator sinkron terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator. Rotor 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 (Armansyah, 2016). Hubungan antara medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini:

$$f = \frac{n \cdot p}{120} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : f = Frekuensi (Hz)

n = kecepatan putar rotor (rpm)

p = jumlah kutub

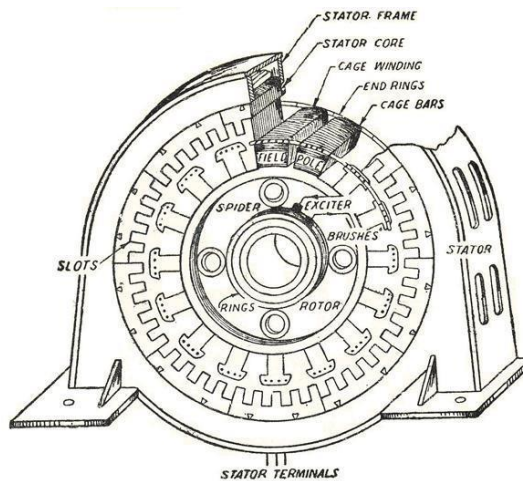
Generator sinkron sering kita jumpai pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas yang relative besar. Misalnya pada PLTA, PLTU, PLTD dan pembangkit listrik lainnya. Selain generator dengan kapasitas besar, kita juga mengenal generator dengan kapasitas yang relative kecil misalnya generator yang digunakan untuk praktikum di laboratorium dan untuk penerangan darurat yang sering disebut generator set.

### 2.2.2 Komponen Generator Sinkron

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

1. stator adalah bagian dari generator yang diam.
2. Rotor adalah bagian dari generator yang berputar.
3. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor.



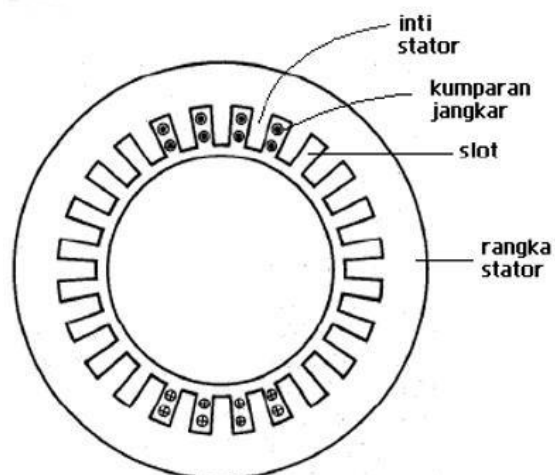


Gambar 2.1 Konstruksi Generator Sinkron

Sumber: <http://ugmmagatrika.wordpress.com>

## 1. Stator

Stator merupakan bagian yang diam atau tidak bergerak pada generator yang didalamnya terdapat belitan jangkar (*armature winding*) (Pamungkas, Mustar, & Syahputra, 2017).



Gambar 2.2 Penampang Stator

Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id>

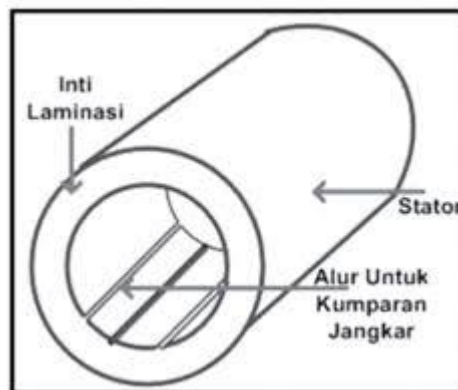
Komponen dari stator terdiri dari rangka stator, inti stator, alur (gigi) dan gigi, serta kumparan stator (kumparan jangkar).

**a. Rangka Stator**

Rangka stator memiliki sebagai rumah kerangka, yaitu sebagai penyangga atau tempat melekatnya inti jangkar pada generator. Pada rangka stator ini terdapat lubang yang berfungsi sebagai pendingin yang berasal dari udara serta gas yang disirkulasikan. Rangka stator ini biasanya terbuat dari plat baja yang dibentuk sedemikian rupa sehingga memiliki bentuk yang sesuai dengan kebutuhan.

**b. Inti Stator**

Inti stator terbuat dari besi magnetic khusus yang melekat pada rangka stator. Tiap laminasi yang ada diberi isolasi serta diantara laminasi-laminasi tersebut di bentuk celah yang berfungsi sebagai tempat aliran udara. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memperkecil kemungkinan atau nilai dari rugi arus *eddy*.



Gambar 2.3 Inti Stator

Sumber: <https://inulinul13.wordpress.com>

**c. Alur (slot) dan Gigi**

*Slot* merupakan tempat dilteakkannya konduktor atau komparan stator dimana letaknya berada pada bagian dalam di sepanjang keliling stator. Bentuk dari slot ini terdapat 3 jenis, yaitu *slot* terbuka, *slot* setengah terbuka, dan *slot* tertutup.



Gambar 2.4 Bentuk-Bentuk Slot  
 Sumber: <http://mylogicmind.blogspot.com>

**d. Kumparan Stator**

Kumparan stator atau kumparan jangka merupakan tempat timbulnya GGL induksi. Kumparan stator ini biasanya terbuat dari jangkar.

**2. Rotor**

Rotor berfungsi sebagai tempat belitan medan yang membentuk kemagnetan listrik kutub utara-selatan pada inti rotor. Rotor terdiri dari tiga 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. Kumparan Rotor

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

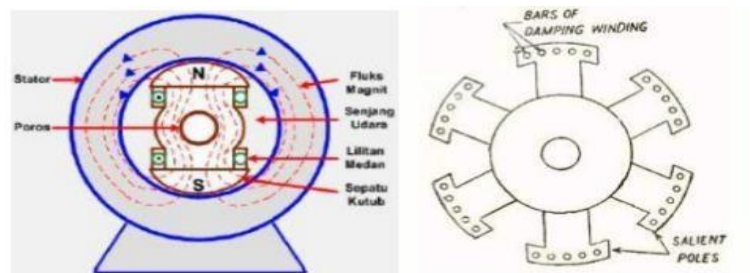
## 3. Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, di mana pada poros rotor tersebut telah terbentuk *slot-slot* secara parallel terhadap poros rotor.

Untuk medan rotor sendiri tergantung dari kecepatan mesin yang di gunakan. Kutub medan magnet yang digunakan ada 2 jenis yaitu :

### 1. Kutub Menonjol (Salient Pole)

Rotor kutub menonjol atau salient pole ini memiliki jumlah yang banyak serta putaran yang rendah serta belitan-belitan yang ada terhubung seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak dan utarannya rendah. Rotor tipe kutub menonjol ditandai dengan ukuran rotor yang besar serta memiliki panjang sumbu yang pendek. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, di mana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy.



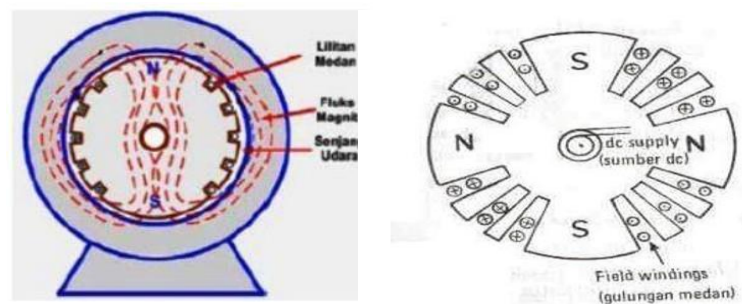
Gambar 2.5 Rotor Kutub Menonjol (Salient Pole)

Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id>

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm) karena Rotor jenis kutub menonjol tidak dapat menahan tekanan mekanis yang dihasilkan apabila rotor diputar dengan kecepatan tinggi karena konstruksinya yang tidak cukup kuat dan Pada saat rotor jenis kutub menonjol ini diputar dengan kecepatan tinggi maka akan menghasilkan rugi-rugi angin yang besar serta akan bersuara bising Oleh sebab itu generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik.

## 2. Kutub Silindris (Non Salient Pole)

Pada jenis *non salient pole*, 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 di 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 berikut :



Gambar 2.6 Rotor Kutub Silindris (Non Salient Pole)

Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id>

Rotor kutub silinder umumnya digunakan untuk kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 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 Sinkron

Suatu mesin listrik dapat bekerja apabila memiliki kumparan medan yang akan menghasilkan medan magnet, kumparan jangkar yang berfungsi untuk menyalurkan GGL pada konduktor yang berada pada jalur-jalur jangkar, serta memiliki celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet (Laksono, Revan, & Rabirahim, 2014).

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron adalah 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 over*) yang sudah terkopel dengan rotor dioperasikan sehingga membuat rotor tersebut berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan yang diharapkan.
3. Rotor yang berputar tersebut akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Kumparan jangkar akan diinduksikan oleh medan putar dari rotor sehingga pada kumparan jangkar yang berada pada stator akan menghasilkan fluks magnetik yang besarnya akan berubah-ubah terhadap waktu. Perubahan fluks magnetik yang terjadi akan menimbulkan GGL

induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut, hal ini sesuai dengan persamaan berikut :

$$E_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$E_{ind} = -N \frac{d\phi_{maks} \sin \omega t}{dt} d\phi$$

$$= -N\omega \phi_{maks} \cos \omega t$$

$$= -N(2\pi f)\phi_{maks} \cos \omega t$$

$$= -N \left( 2\pi \frac{np}{120} \right) \phi_{maks} \cos \omega t$$

$$= -N \left( 2 \times 3.14 \frac{np}{120} \right) \phi_{maks} \cos \omega t$$

$$E_{maks} = N \left( 2 \times 3.14 \frac{np}{120} \right) \phi_{maks}$$

$$E_{eff} = \frac{e_{maks}}{\sqrt{2}} = \frac{N \left( 2 \times 3.14 \frac{np}{120} \right) \phi_{maks}}{\sqrt{2}} = \frac{4.44 Npn\phi}{120} ; \quad \left( \frac{4.44Np}{120} = C \right)$$

$$E_{eff} = Cn\phi \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$E$  = Gaya gerak listrik (volt)

$C$  = Konstanta

$N$  = Jumlah lilitan

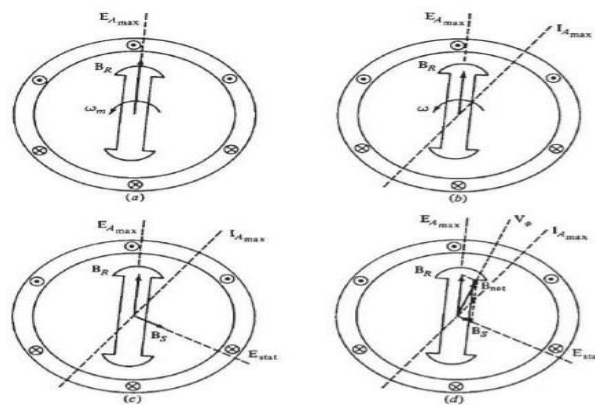
$\phi$  = Fluks magnetik (Weber)

$n$  = Nilai putaran sinkron (rpm)

Generator sinkron tiga fasa digunakan tiga buah kumparan yang posisinya tersebut diletakkan pada stator dan disusun dengan bentuk tertentu, sehingga ketiga kumparan jangkar ini dapat menghasilkan tegangan induksi dengannilai yang sama tetapi tiap kumparan memiliki beda fasa sebesar  $120^0$  (Bandri, 2013).

### 2.2.4 Reaksi Jangkar pada Generator Sinkron

Reaksi jangkar adalah kondisi dimana arus mengalir pada jangkar yang berada 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). Saat kondisi generator sinkron diberi beban maka yang terjadi adalah arus jangkar ( $I_a$ ) akan mengalir dan membentuk fluks jangkar. Fluksi inilah yang akan mengubah nilai terminal pada generator sinkron karena mempengaruhi fluksi arus medan yang ada. Reaksi jangkar ini dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 2.7 Model Reaksi Jangkar

Sumber: <https://anzdoc.com>

Keterangan diatas terlihat bahwa :

1. Saat medan magnet yang ada berputar maka akan menghasilkan suatu nilai berupa  $E_{amax}$ .
2. Saat generator berbeban induktif maka arus lagging akan dihasilkan oleh tegangan resultan
3. Arus stator yang ada 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 faktor antara  $E_{stat}$  dengan  $E_{amax}$ .

Tegangan induksi  $E_a$  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  $I_f$ .

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 (Amien, 2014). 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 ( $\cos\phi = 1$ )

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 ( $\cos\varphi = 0 \text{ lead}$ )

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

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*.

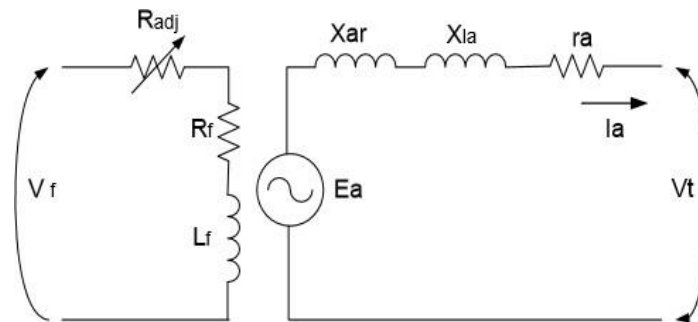
4. Beban induktif murni ( $\cos\varphi = 0 \text{ lag}$ )

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

### 2.2.5 Rangkaian Ekuivalen Generator

Stator terdiri dari belitan konduktor yang berupa tahanan ( $R_a$ ) dan induktansi ( $L$ ), dimana saat motor bekerja maka fluks jangkar ( $\phi_a$ ) akan terbentuk ketika arus mengalir pada konduktor dan akan membangkitkan medan putar, fluks jangkar ( $\phi_a$ ) ini akan berinteraksi dengan fluks medan ( $\phi_m$ ) 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 ( $X_A$ ) (Kamal, 2017). Rangkaian ekuivalen dari suatu generator per fasa

dapat dilihat dari gambar 2.8.



Gambar 2.8 Rangkaian Ekivalen Generator

Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

Keterangan :  $V$  = Tegangan terminal generator (Volt)

$V_f$  = Tegangan eksitasi (Volt)

$R_f$  = Tahanan belitan eksitasi (Ohm)

$L_f$  = Induksi belitan medan (H)

$X_{ar}$  = Reaktansi reaksi jangkar (Ohm)

$X_{la}$  = Reaktansi bocor belitan jangkar (Ohm)

$I_a$  = Arus jangkar (Ampere)

$E$  = Tegangan induksi (Volt)

$R_{adj}$  = Tahanan Variabel(Ohm)

$r_a$  = Tahanan jangkar(Ohm)

Berdasarkan gambar didapatkan persamaan untuk mencari nilai dari tegangan induksi ( $E$ ) serta nilai dari tegangan terminal ( $V$ ) pada generator, sebagai berikut :

$$E = V + jX_{ar}I_a + jX_{la}I_a + r_a I_a \dots \dots \dots (2.3)$$

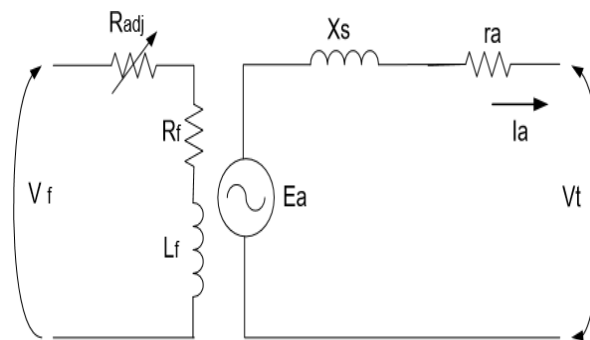
$$V = E - jX_{ar}I_a - jX_{la}I_a - r_a I_a \dots \dots \dots (2.4)$$

Berdasarkan teori sebelumnya yang menyatakan bahwa reaktansi fluks bocor serta reaktansi jangkar dianggap sebagai reaktansi sinkron atau dengan kata lain  $X_s = X_{ar} + X_{la}$ , maka dengan itu diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$E = V + jX_s I_a + r_a I_a \dots \dots \dots (2.5)$$

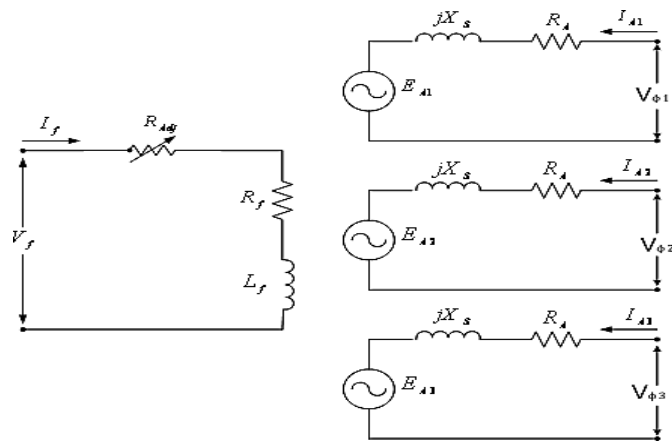
$$V = E - jX_s I_a - r_a I_a \dots \dots \dots (2.6)$$

Dari persamaan yang diperoleh tersebut maka gambar dari rangkaian ekivalen generator dapat disederhanakan sebagai berikut:



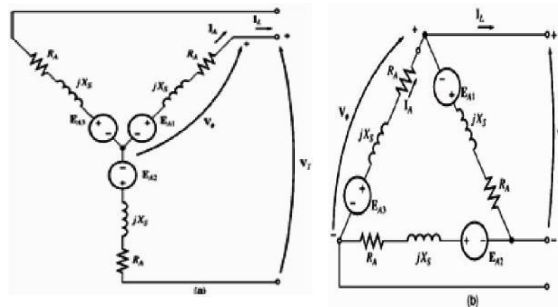
Gambar 2.9 Penyederhanaan Rangkaian Ekivalen Generator  
 Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

Karena tegangan yang dibangkitkan generator sinkron adalah tegangan bolak-balik tiga fasa, maka gambar yang menunjukkan hubungan tegangan induksi perfasa dengan terminal generator akan ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Rangkaian Ekivalen Generator Tiga Fasa  
 Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

Sedangkan untuk generator tiga fasa, rangkaian ekivalen generator sinkron ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 2.11 Rangkaian Ekivalen Generator (a) Hubung-Y (b) Hubung-D

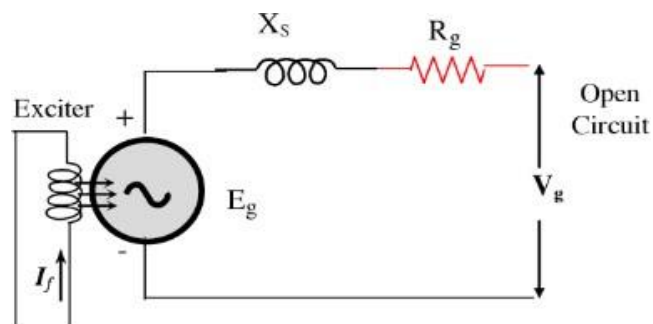
Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

## 2.2.6 Karakteristik Generator Sinkron

Dalam mesin listrik ada dua kurva karakteristik yang digunakan untuk menentukan parameter mesin. Yaitu karakteristik *open circuit* dan karakteristik hubung singkat (*short circuit*).

### 2.2.6.1 Karakteristik *Open Circuit*

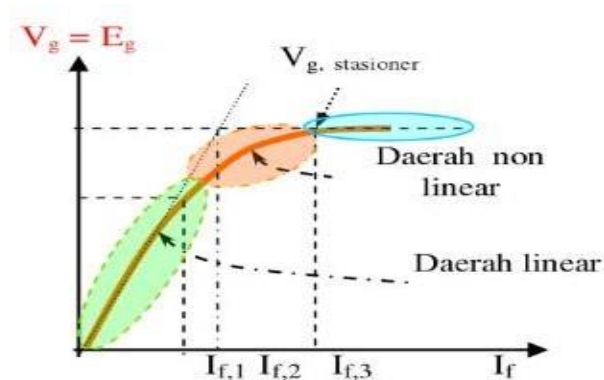
Seperti pada mesin arus searah karakteristik kurva magnetisasi dari mesin sinkron adalah kurva perubahan tegangan terminal atau ggl sebagai fungsi dari perubahan fluks atau arus medan eksitasi.



Gambar 2.12 Rangkaian generator pada kondisi Open Circuit

Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

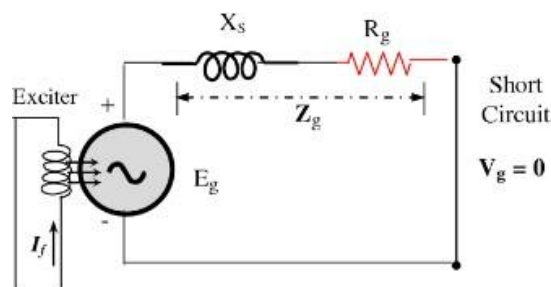
Dengan memperbesar arus medan exciter hingga  $I_f$  tertentu maka tegangan terminal akan naik dari nol dan bertambah secara linear, sampai pada suatu titik arus eksitasi terjadi perubahan arah tegangan yang tidak lagi linear dan menuju suatu kondisi yang stasioner atau kondisi jenuh dan kemudian ketika  $I_f$  terus dinaikkan hingga pada titik tertentu maka tegangan tidak lagi mengalami perubahan harga atau konstan.



Gambar 2.13 Kurva  $V_g$  Terhadap  $I_f$  Pada Kondisi *Open Circuit*  
 Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

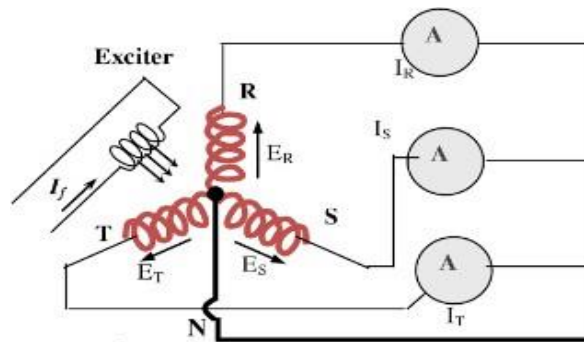
Harga dari  $I_{f2}$  sampai dengan  $I_{f3}$  adalah tambahan arus medan yang diperlukan untuk daerah jenuh. Dan besar tegangan terminal jangkar generator dalam keadaan rangkaian terbuka (*open circuit*) adalah sama dengan besar ggl ( $V_g = E_g$ ). Sesuai dengan  $E_g = C.n.\phi$  dimana  $\phi$  adalah variable dan putaran  $n$  dijaga konstan.

### 2.2.6.2 Karakteristik Hubung Singkat (*Short Circuit*)



Gambar 2.14 Rangkaian Generator Pada Kondisi Hubung Singkat Satu Fasa

Sumber: <http://repository.umy.ac.id>



Gambar 2.15 Rangkaian Generator Pada Kondisi Hubung Singkat Tiga Fasa

Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

Karakteristik hubung singkat merupakan penggambaran dari hubungan antara arus fasa hubung singkat sebagai fungsi arus medan, dimana ketiga fasa generator dihubungkan dengan kecepatan putar yang konstan.

Dari persamaan umum generator diperoleh :

$$E_a = V_g + I_g(R_g + jX_s) \dots \dots \dots (2.7)$$

Karena generator dalam keadaan hubung singkat, nilai tegangan terminalnya menjadi nol, sehingga:

$$E_a = I_g (R_g + jX_s) \dots \dots \dots (2.8)$$

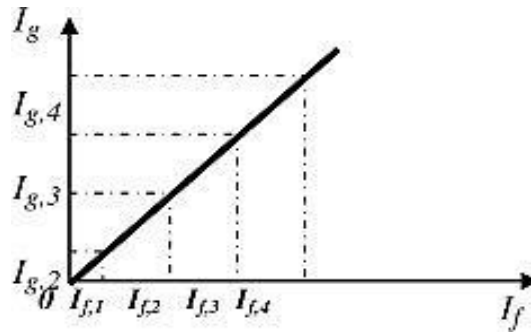
Pada kondisi ini  $(R_g + jX_s)$ , adalah konstan =  $K_2$ , dan  $I_g = I_{hs}$ , sehingga :

$$K_1 I_f = I_{hs} K_2 \dots \dots \dots (2.9)$$

$$I_{hs} = \frac{K_1}{K_2} I_f \dots \dots \dots (2.10)$$

Dari persamaan di atas, pengukuran hubung singkat berdasarkan penambahan arus medan dari kondisi nol hingga batas yang diperlukan.

Karakteristik hubung singkat dapat dilihat pada gambar 2.16 :



Gambar 2.16 Karakteristik Pada Kondisi Hubung Singkat

Sumber: <http://repository.umy.ac.id>

### 2.2.7 Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron

Sistem eksitasi merupakan suatu sistem penguatan yang terdapat pada generator, dengan cara memberikan arus penguat pada kumparan medan generator yang muncul karena adanya medan magnet yang disebabkan oleh bantuan arus searah. Arus eksitasi sendiri adalah suatu arus yang yang diberikan pada kutub magnetik, dengan mengatur besar kecil dari nilai arus eksitasi tersebut maka dapat memperoleh nilai tegangan output generator yang diinginkan serta daya reaktifnya (Supardi, 2014). Sistem eksitasi sendiri dibagi menjadi dua tipe yaitu sistem eksitasi dengan *brush* dan tanpa *brush* (*brushless excitation*).

#### 1. Sistem eksitasi dengan *brush*

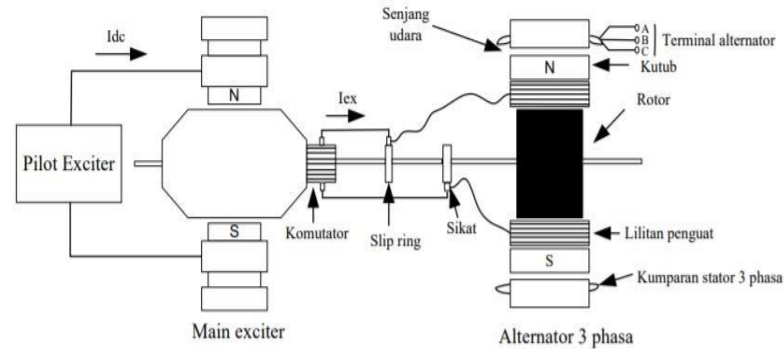
Sistem eksitasi dengan *brush* ini sendiri terbagi menjadi 2 tipe yaitu sistem eksitasi dinamik dan sistem eksitasi statis.

##### 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.



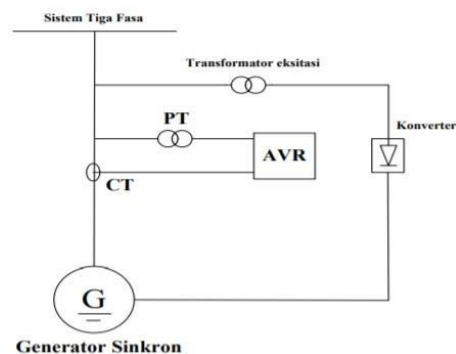
Gambar. 2.17 Sistem Eksitasi Dinamik

Sumber: <https://vdocuments.mx/eksitasi-brushless-generator.html>

#### b. Sistem Eksitasi Statis

Sistem eksitasi statis ini juga disebut 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.

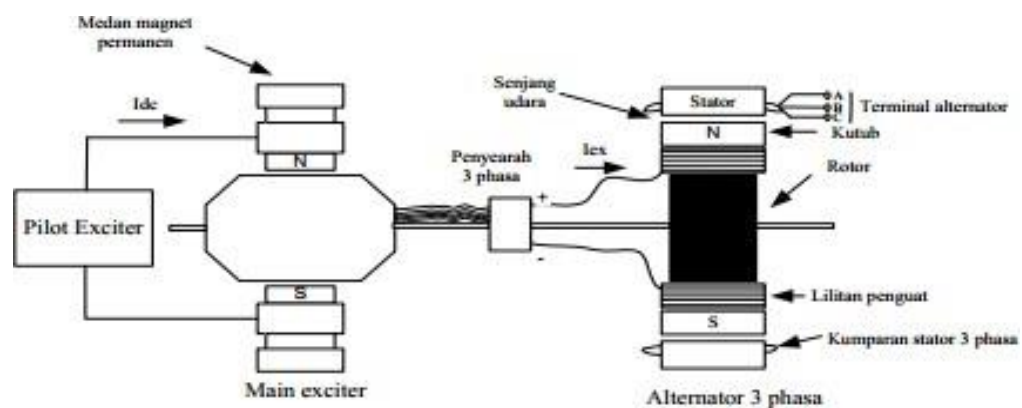


Gambar 2.18 Sistem Eksitasi Statis

Sumber: <http://repository.usu.ac.id>

## 2. Sistem Eksitasi Tanpa Brush

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. Berikut gambar diagram prinsip kerja pada eksitasi system tanpa *brush* :



Gambar 2.19 sistem Eksitasi tanpa brush

Sumber: <https://vdocuments.mx/eksitasi-brushless-generator.html>

### 2.2.8 Efek Pengaturan Eksitasi Pada Generator Sinkron

Sistem eksitasi yang diubah-ubah maka akan mempengaruhi nilai dari fluks magnetic ( $\phi$ ) seiring dengan naiknya nilai dari arus eksitasi tersebut. Hal ini diperjelas dalam persamaan berikut:

$$E = Cn\phi \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :  $E$  = Tegangan induksi (Volt)

$\phi$  = Fluks magnetic (Weber)

$n$  = Putaran (rpm)

$C$  = Konstanta mesin

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 (G1 dan G2) 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 G1), 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 ( $I_s$ ).

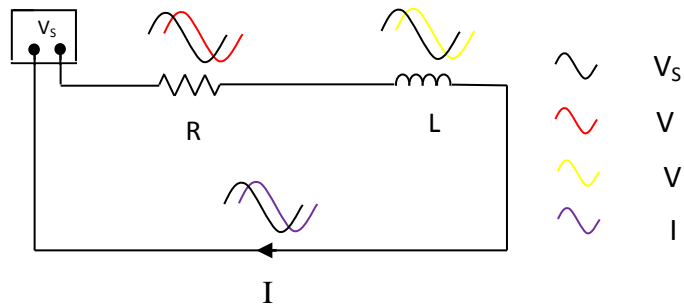
$$I_s = \frac{E_1 - E_2}{Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2.12)$$

### 2.2.9 Rangkaian Seri RLC arus AC

Sumber arus yang sering digunakan di dunia kelistrikan yaitu sumber arus bolak – balik (AC) dan arus searah (DC). Selain itu, kita juga dapat mengenal kapasitor dan induktor, dimana keduanya merupakan komponen pasif elektronika. Kedua komponen ini merupakan komponen penyimpan, dan keduanya dapat disusun secara seri maupun paralel. Untuk selanjutnya, kedua komponen ini dapat dirangkain bersama dengan resistor sehingga menjadi rangkaian RL dan RC. Rangkaian RL merupakan rangkaian resistor dan induktor, sedangkan rangkaian RC merupakan rangkaian resistor dan kapasitor. Untuk aplikasi dari rangkain seri

RLC arus AC yang sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari yaitu penyangkal sinyal tv, speaker, buzzer atau bel dan lain- lain (Aini, Eldion, & Endarko, 2016).

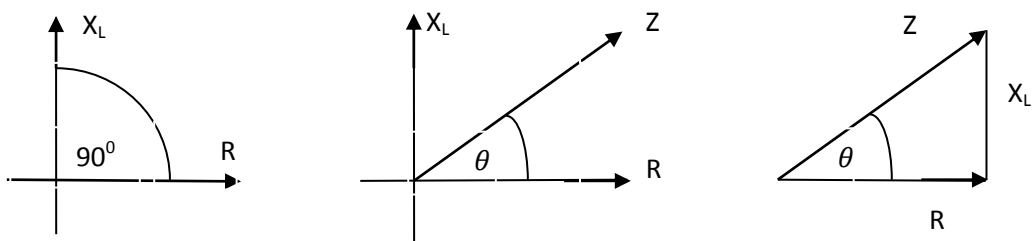
**2.2.9.1 Rangkaian R-L seri**



Gambar 2.20. Rangkaian R-L Seri

Pada rangkaian RL seri dapat diketahui bahwa  $V_s$  mendahului  $I$ , pada resistor ( $R$ )  $V_s$  mendahului  $V_R$ , dan pada inductor ( $L$ )  $V_s$  mendahului  $V_L$ . Posisi  $V_s$  terhadap  $V_R$  dan  $V_L$  adalah diantara keduanya.

Posisi impedansi ( $Z$ ) terhadap  $X_L$  dan  $R$  adalah seperti gambar dibawah ini, yaitu terletak diantara  $X_L$  dan  $R$ .  $\theta$  antara  $0^\circ$  sampai  $90^\circ$ .



Gambar 2.21. Diagram fasor rangkaian R-L

Untuk mencari  $\theta$ ,  $V_s$ ,  $Z$ , dan  $I$  dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_L = 2 \pi \cdot f \cdot L \dots \dots \dots (2.13)$$

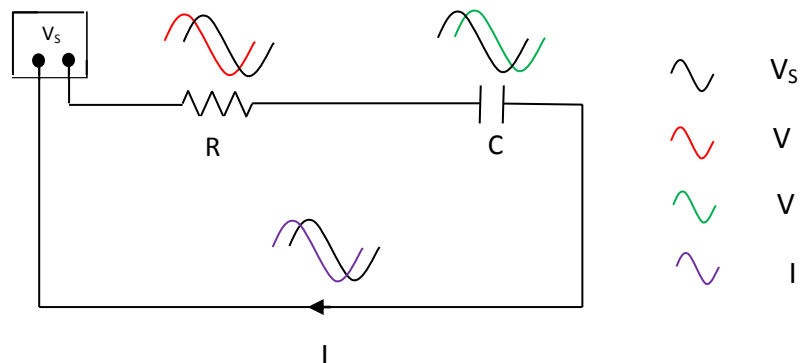
Maka besar resultasn,  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots \dots \dots (2.14)$

Nilai sudut phasa,  $\tan \phi^{-1} = \frac{X_L}{R}$ .....(2.15)

$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$ .....(2.16)

$I = \frac{V_S}{Z}$ .....(2.17)

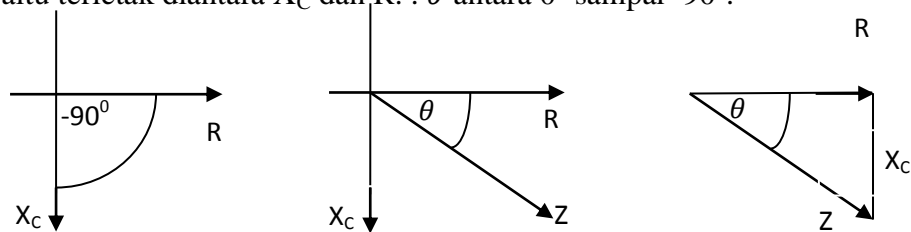
**2.2.9.2 Rangkaian R-C seri**



Gambar 2.22. Rangkaian R-C Seri

Pada rangkaian RC Seri (lihat Gambar 4) dapat diketahui bahwa arus mendahului  $V_s$ , pada resistor (R)  $V_R$  mendahului  $V_s$ , dan pada kapasitor (C)  $V_C$  tertinggal oleh  $V_s$ . Posisi  $V_s$  terhadap  $V_R$  dan  $V_C$  adalah sama seperti pada rangkaian RL seri yaitu diantara keduanya.

Posisi impedansi (Z) terhadap  $X_C$  dan R adalah seperti gambar dibawah ini, yaitu terletak diantara  $X_C$  dan R. .  $\theta$  antara  $0^0$  sampai  $-90^0$ .



Gambar 2.23. Diagram fasor rangkaian R-C

Untuk mencari  $\theta$ ,  $V_s$ ,  $Z$ , dan  $I$  dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_C = 1/2.\pi.f.C \dots\dots\dots(2.18)$$

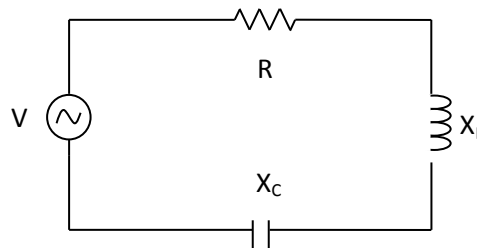
Maka besar resultasn,  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \dots\dots\dots(2.19)$

Nilai sudut phasa,  $\tan \phi^{-1} = \frac{X_C}{R} \dots\dots\dots(2.20)$

$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$I = \frac{V_s}{Z} \dots\dots\dots(2.22)$$

### 2.2.9.3 Rangkaian RLC Seri



Gambar.2.24. Rangkaian RLC seri

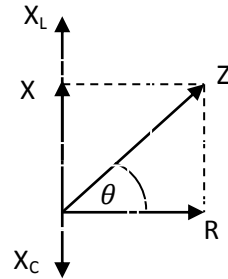
Seperti pada rangkaian seri pada umumnya, pada rangkaian RLC seri nilai arus pada setiap komponen sama tetapi nilai tegangannya berbeda. Nilai tegangan akan besar jika nilai komponennya besar, begitu pun sebaliknya (Yani, 2013).

Rangkaian bisa bersifat induktif, kapasitif, ataupun resonansi. Sifat rangkaian tergantung pada perbandingan besar nilai  $X_L$  dan  $X_C$ , antara lain:

- a. Jika  $X_L > X_C$ , maka rangkaian bersifat induktif.
- b. Jika  $X_C > X_L$ , maka rangkaian bersifat kapasitif.
- c. Jika  $X_L = X_C$ , maka rangkaian bersifat resonansi.

Perbandingan nilai  $X_L$  dan  $X_C$  selain menentukan sifat rangkaian, juga mempengaruhi besar frekuensi.

1. Jika  $X_L$  besar dan  $X_C$  kecil, maka nilai frekuensinya besar.
2. Jika  $X_L$  kecil dan  $X_C$  besar, maka nilai frekuensinya kecil.



Gambar.2.25. Diagram fasor RLC seri

Dari diagram fasor di atas dapat diketahui bahwa X (reaktansi) adalah  $X_L$  dikurang  $X_C$  dan nilai Z adalah akar dari jumlah  $R^2$  dan  $X^2$ . Hal ini dapat diperjelas melalui persamaan sebagai berikut:

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots(2.23)$$

Maka besar resultasn,  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots(2.24)$

Nilai sudut fasa,  $\tan \phi^{-1} = \frac{X}{R} \dots\dots\dots(2.25)$

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.27)$$

**2.2.10 Daya Generator**

Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada satu titik jaringan listrik tiap satu satuan waktu. Dengan satuan Watt atau Joule per detik dalam SI, daya listrik menjadi besaran terukur adanya produksi energi listrik oleh pembangkit, maupun adanya penyerapan energi listrik oleh beban listrik.

Daya listrik menjadi pembeda antara beban dengan pembangkit listrik, dimana beban listrik bersifat menyerap daya sedangkan pembangkit listrik

bersifat mengeluarkan daya. Berdasarkan kesepakatan universal, daya listrik yang mengalir dari rangkaian masuk ke komponen listrik bernilai positif. Sedangkan daya listrik yang masuk ke rangkaian listrik dan berasal dari komponen listrik, maka daya tersebut bernilai negatif (Priyatna, Haryanto, & Munarto, 2016). Untuk penggunaan sistem arus AC satu fasa dan tiga fasa dikenal 3 daya yaitu :

### 2.2.10.1 Daya Semu

Daya semu dikatakan daya total dari kapasitas daya maksimal generator atau diartikan sebagai penjumlahan daya aktif dan daya reaktif.

$$S = V \times I \text{ (VA) (satu fasa)} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (VA) (tiga fasa)} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$\text{atau } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (2.30)$$

dimana : V = Tegangan (Volt)

I = Arus (A)

P = Daya aktif

Q = Daya reaktif

### 2.2.10.2 Daya Aktif

Daya aktif sering disebut daya nyata yang memiliki satuan Watt dan merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Daya ini sering digunakan secara umum oleh konsumen dan sebagai satuan yang digunakan untuk daya listrik dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Dimana dalam perhitungan phasa yaitu :

$$P = V \times I \times \text{Cos } \varphi \text{ (satu fasa)} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi \text{ (tiga fasa)} \dots \dots \dots (2.32)$$



### 2.2.10.3 Daya Reaktif

Daya reaktif dengan satuan Volt Ampere Reactive (VAR), merupakan daya yang disupply oleh komponen reaktif, atau disebut juga jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet tersebut akan terbentuk fluks-fluks magnet. Dimana dalam perhitungan fasa yaitu :

$$Q = V \times I \times \sin \phi \text{ (satu fasa)} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \text{ (tiga fasa)} \dots \dots \dots (2.34)$$

### 2.2.10.4 Faktor daya

Faktor daya yang sering disebut sebagai  $\cos \phi$  didefinisikan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) atau sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian. Adanya nilai faktor daya pada sistem tegangan AC disebabkan adanya beban yang mengalir dan nilainya bergantung pada karakteristik beban tersebut (Zuhal, 2000).

$$\text{Persamaan faktor daya : } \cos \phi = \frac{P (W)}{S (VA)}$$

Dimana :

$$P = \text{Daya aktif (Watt)}$$

$$S = \text{Daya semu (Volt Ampere)}$$

“Faktor daya ( $\cos \phi$ ) merupakan rasio besarnya daya aktif yang bisa kita manfaatkan terhadap daya tampak (semu) yang dihasilkan sumber”. Faktor daya rendah juga merugikan karena mengakibatkan arus beban menjadi lebih tinggi. Daya reaktif yang tinggi menyebabkan meningkatnya sudut segitiga daya sehingga menghasilkan faktor daya yang rendah, begitu pula sebaliknya.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada Bab ini akan dijelaskan tempat dan lokasi penelitian serta langkah-langkah pemecahan masalah yang akan di bahas, meliputi langkah-langkah pengumpulan data , langkah-langkah percobaan dan cara-cara pengolahan data.

#### **3.1 Tempat dan lokasi Penelitian**

Adapun tempat dan lokasi penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan.

#### **3.2 Alat Dan Bahan Penelitian**

Adapun alat dan bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### **1. Bahan penelitian :**

- a. Trainer kit star-delta merupakan bahan penelitian yang digunakan untuk starting awal mengoperasikan motor 3 $\phi$  (sebagai penggerak mula).
- b. Power supply berfungsi sebagai arus eksitasi. Power Supply yang digunakan dalam penelitian ini adalah power supply variabel yang memiliki output 0-250 vdc.
- c. Generator yang digunakan dalam penelitian ini adalah generator sinkron 3 fasa yang dikopel dengan motor induksi.
- d. Kabel penghubung yang digunakan dalam penelitian ini adalah kabel penghubung berjenis banana plug.

- e. Motor induksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor induksi 3 fasa dan memiliki putaran 1450 rpm.
- f. Kit rangkaian beban R-L-C sebagai beban.

## **2. Alat Penelitian**

- a. Satu buah multimeter digital berfungsi untuk mengukur tegangan output generator pada saat pengujian beban nol dan pengujian pada saat berbeban
- b. Satu buah Tang amper berfungsi untuk mengukur perubahan arus eksitasi pada saat pengujian beban nol dan arus beban pengujian pada saat berbeban.
- c. Alat pelengkap yang menjadi sarana pendukung selama penelitian seperti tools kit.

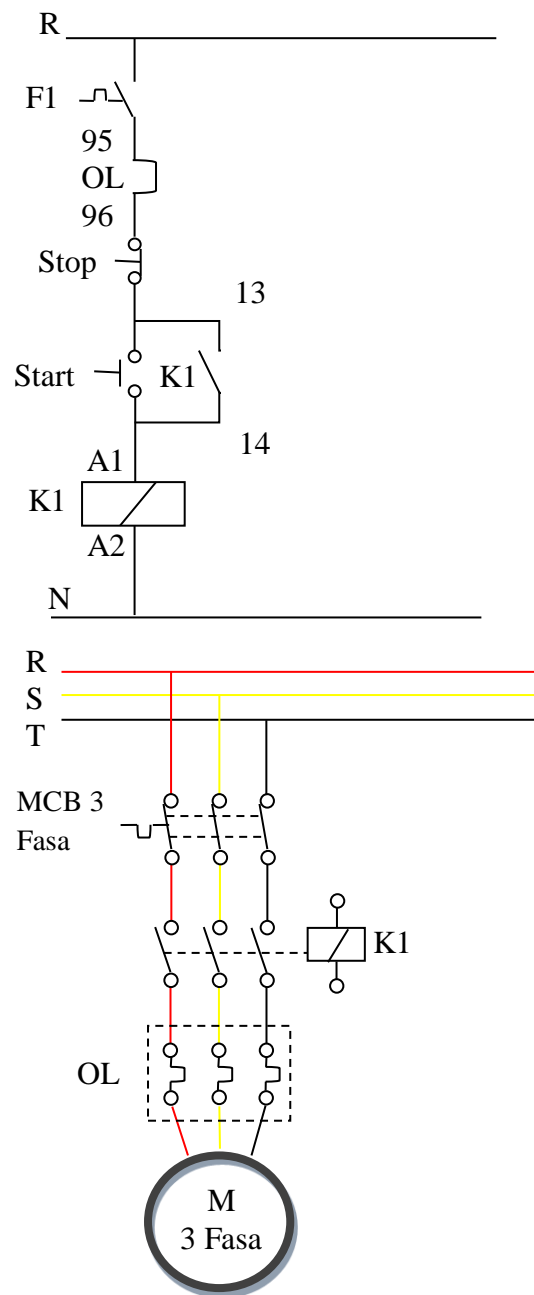
## **3.3 Jalannya Penelitian**

### **3.3.1 Merakit rangkaian Direct On Line (DOL)**

Mengingat besarnya lonjakan arus listrik saat sebuah motor listrik dioperasikan, maka digunakan berbagai sistem untuk meminimalkan lonjakan arus starting tersebut. Salah satu sistem rangkaian starting untuk motor listrik dengan daya yang kecil adalah dengan menggunakan rangkaian direct on line (dol). Berikut cara merakit rangkaian direct on line (dol) :

1. Pertama menghubungkan kabel dari MCB 1 fasa menuju push botton stop yang tentu berkontak NC atau Normali close.
2. Pada push botton stop kabel diteruskan ke kontak hubung push botton start yang pastinya berkontak hubung NO (Normaly Open) dan pada push botton start diteruskan ke kontak hubung A1 pada kontaktor

3. Membuat rangkaian pengunci dengan menghubungkan kabel dari push botton stop dan push botton start ke kontak 13 kontaktor dan kontak 14 kontaktor di teruskan ke push botton start
4. Memasang kabel netral dari sumber ke A2 kontaktor.
5. Guna memperjelas rangkaian, dapat dilihat pada gambar 3.1.

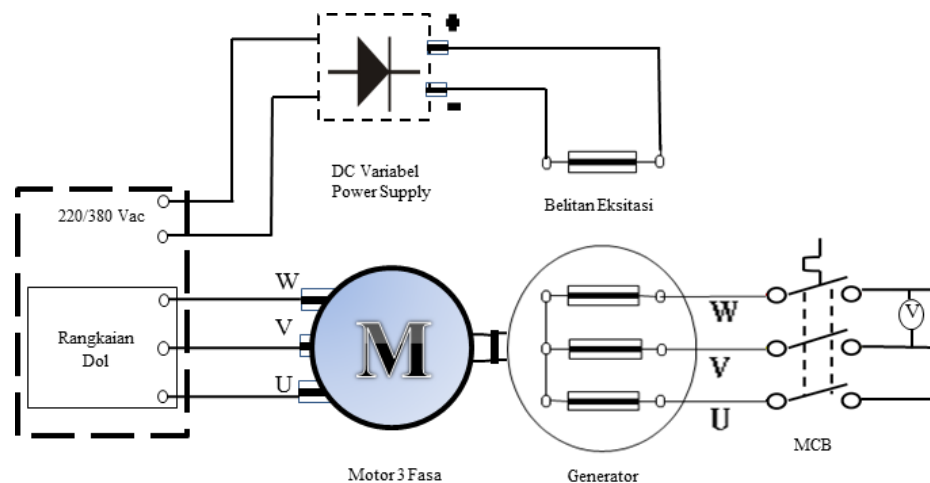


Gambar 3.1 Rangkaian DOL

### 3.3.2 Pengujian dan pengukuran

#### 3.3.2.1 Pengujian dan Pengukuran Tanpa Beban

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian beban nol dengan mengatur arus eksitasinya. Pengujian pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator dilakukan dengan metode seperti ditampilkan pada gambar 3.2



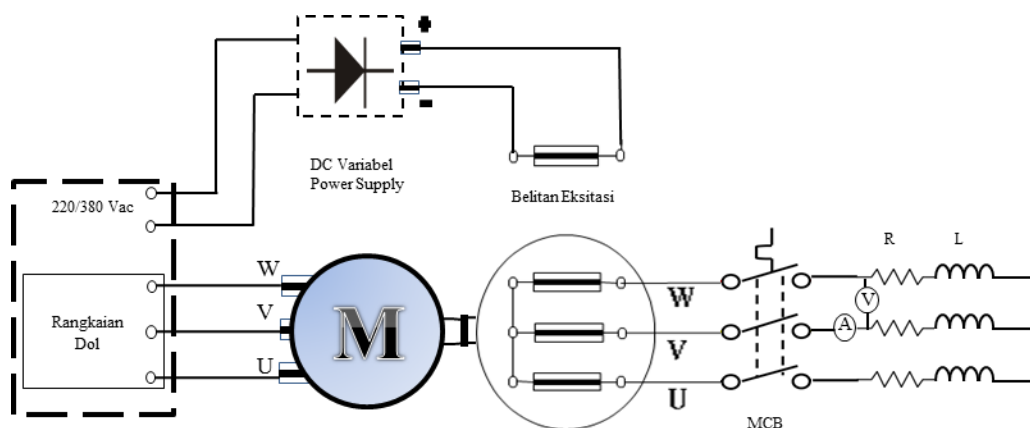
Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Tanpa Beban

Pada penelitian ini menggunakan DC variabel power supply sebagai arus eksitasinya. Power supply tersebut dihubungkan dengan belitan eksitasi generator menggunakan kabel penghubung. Nilai arus eksitasi yang di berikan pada pengujian ini bervariasi yakni sebesar 0,5 ampere sampai dengan 3,5 ampere. Setelah pengujian dilakukan dilanjutkan dengan melakukan pengukuran. Adapun yang diukur pada pengujian ini yakni mengukur tegangan output generator. Alat yang digunakan dalam melakukan pengukuran yakni menggunakan multimeter untuk mengetahui nilai tegangan output generator serta menggunakan tachometer untuk mengetahui jumlah putaran generator. Tegangan keluaran generator akan mengalami fluktuasi seiring dengan perubahan arus

eksitasi yang diberikan. Pengujian ini ingin melihat sejauh mana pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap tegangan *output* generator dengan cara memberikan catu daya arus searah (*direct current*).

### 3.3.2.2 Pengujian dan Pengukuran Pada Beban R-L

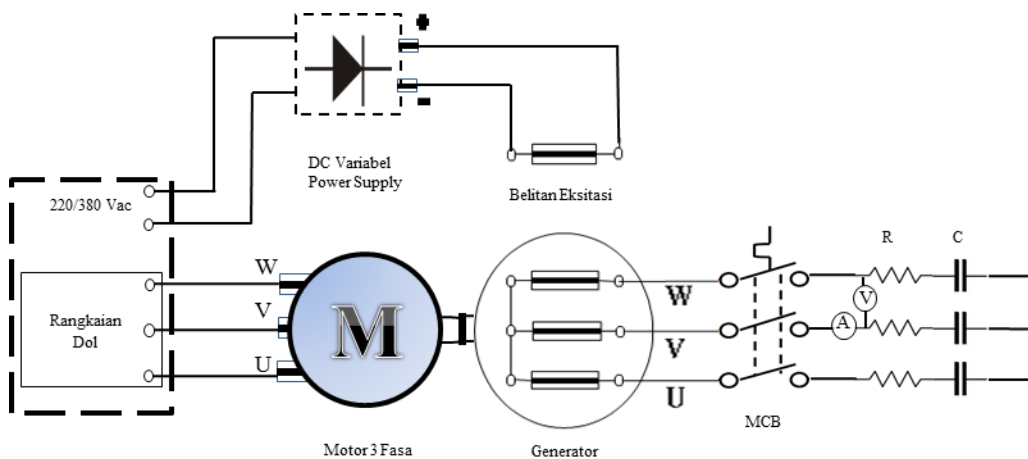
Pada pengujian ini menggunakan beban resistif sebesar 102 ohm dan beban induktif sebesar 0,3 henry yang terhubung seri. Metode yang digunakan sama seperti pada pengujian tanpa beban yaitu menggunakan DC variabel power supply sebagai arus eksitasinya. Nilai arus eksitasi yang di berikan pada pengujian ini bervariasi yakni sebesar 0,5 ampere sampai dengan 3,5 ampere. Setelah pengujian dilakukan dilanjutkan dengan melakukan pengukuran. Adapun yang diukur pada pengujian ini yakni mengukur tegangan output generator dan arus beban pada keadaan berbeban R-L. Alat yang digunakan dalam melakukan pengukuran yakni menggunakan tang amper untuk mengetahui nilai dari arus beban dan multimeter untuk mengetahui nilai tegangan output generator. Setelah didapatkan data pengukuran tegangan keluaran generator dan arus beban, maka dapat dihitung besar daya reaktif generator pada beban R-L.



Gambar 3.3 Rangkaian pengujian pada beban R-L

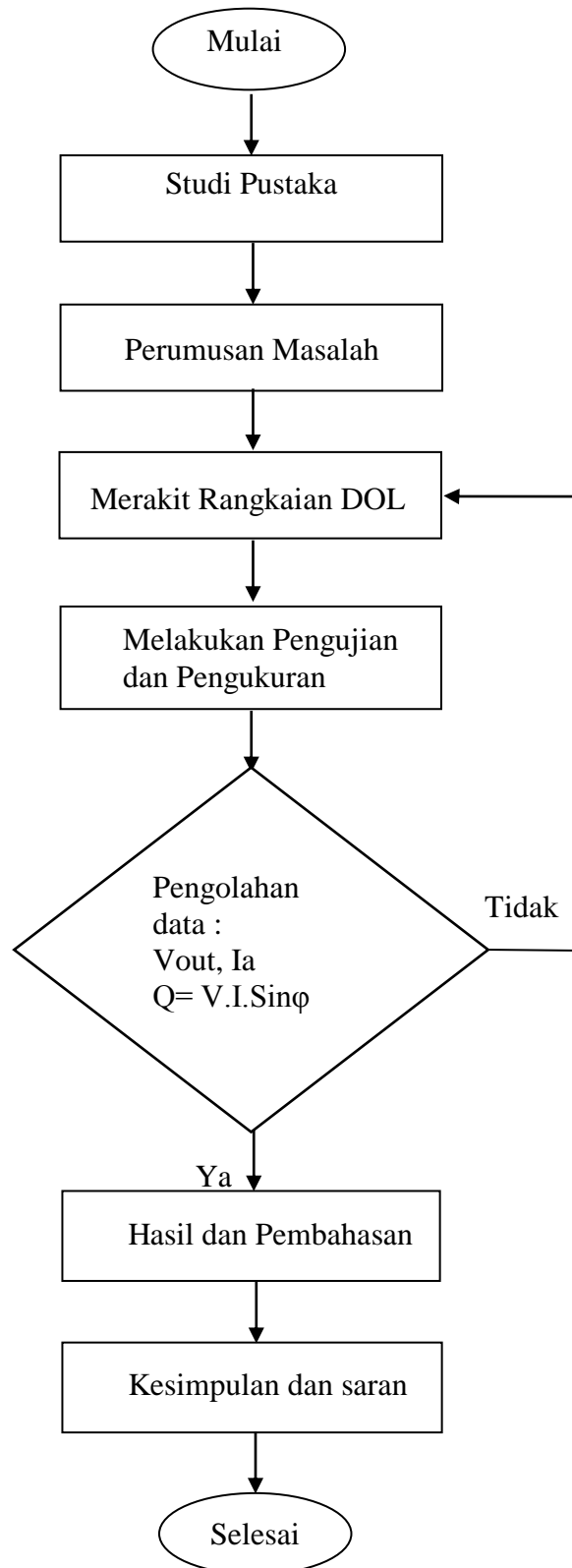
### 3.3.2.3 Pengujian dan Pengukuran Pada Beban R-C

Pada pengujian beban R-C menggunakan beban resistif sebesar 102 ohm dan beban kapasitif sebesar 50 uf yang terhubung seri. Metode yang dilakukan pada pengujian ini sama seperti pada pengujian tanpa beban dan beban R-L yakni menggunakan DC variabel power supply serta nilai arus eksitasi yang diberikan juga sama pada pengujian tersebut. Pengukuran yang dilakukan yaitu mengukur tegangan output generator dan arus beban R-C. Alat yang digunakan dalam melakukan pengukuran yakni menggunakan tang amper untuk mengetahui nilai dari arus beban dan multimeter untuk mengetahui nilai tegangan output generator. Setelah didapatkan data pengukuran tegangan keluaran generator dan arus beban, maka dapat dihitung besar daya reaktif generator pada beban R-C.



Gambar 3.4 Rangkaian pengujian pada beban R-C

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram alir Penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Tegangan Generator Terhadap Perubahan Arus Eksitasi

##### 4.1.1 Generator Tanpa Beban

Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur multimeter, ampere meter dan tachometer sebagai pengukur putaran generator. Pengujian dilakukan sebanyak tujuh kali dengan variasi arus eksitasi yang berbeda-beda. Hasil pengujian karakteristik generator yang di peroleh dari penelitian ini adalah seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian karakteristik generator tanpa beban

| Putaran (Rpm) | If (Amper) | Vf (Volt) | Fluxi ( $\phi$ ) (m-weber) | V out (Volt) |
|---------------|------------|-----------|----------------------------|--------------|
| 1500          | 0,5        | 5         | 6,0                        | 82,9         |
| 1500          | 1          | 10        | 14,0                       | 161,4        |
| 1500          | 1,5        | 15        | 20,0                       | 228,2        |
| 1500          | 2          | 20        | 25,0                       | 278          |
| 1459          | 2,5        | 25        | 28,0                       | 310,2        |
| 1455          | 3          | 30        | 31,0                       | 332,6        |
| 1450          | 3,5        | 35        | 34,0                       | 359,8        |

Berdasarkan data yang di peroleh dari pengujian pada generator, maka dapat dianalisa tegangan keluaran generator tanpa beban dengan persamaan.

$$E=Cn\phi \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk mencari nilai konstanta dapat diperoleh dengan persamaan 2.2:

$$C = \frac{4.44Np}{120} \dots\dots\dots(2.2)$$

Berdasarkan tabel 4.1 yang diperoleh , maka dapat dianalisa tegangan keluaran generator tanpa beban sebagai berikut:

1. Dengan nilai putaran sebesar 1500 rpm, jumlah kutub sebanyak 4, memiliki 50 lilitan, dan nilai flux magnetik sebesar 6 m-weber, maka dapat diperoleh :

$$C = \frac{4.44Np}{120} = \frac{4.44 \times 50 \times 4}{120} = 7,4$$

$$E = C.N.\phi$$

$$E = 7,4 \times 1500 \times 0,006$$

$$E = 66,6 \text{ volt}$$

2. Dengan nilai putaran sebesar 1500 rpm, nilai konstanta sebesar 7,4, dan nilai flux magnetik sebesar 14 m-weber, maka dapat diperoleh :

$$E = C.N.\phi$$

$$E = 7,4 \times 1500 \times 0,014$$

$$E = 155,4 \text{ volt}$$

3. Dengan nilai putaran sebesar 1500 rpm, nilai konstanta sebesar 7,4, dan nilai flux magnetik sebesar 20 m-weber, maka dapat diperoleh :

$$E = C.N.\phi$$

$$E = 7,4 \times 1500 \times 0,02$$

$$E = 222 \text{ volt}$$

4. Dengan nilai putaran sebesar 1500 rpm, nilai konstanta sebesar 7,4, dan nilai flux magnetik sebesar 25 m-weber, maka dapat diperoleh :

$$E = C.N.\phi$$

$$E = 7,4 \times 1500 \times 0,025$$

$$E = 277,5 \text{ volt}$$

5. Dengan nilai putaran sebesar 1459 rpm, nilai konstanta sebesar 7,4, dan nilai flux magnetik sebesar 28 m-weber, maka dapat diperoleh :

$$E = C.N.\phi$$

$$E = 7,4 \times 1459 \times 0,028$$

$$E = 302,3 \text{ volt}$$

6. Dengan nilai putaran sebesar 1455 rpm, nilai konstanta sebesar 7,4, dan nilai flux magnetik sebesar 31 m-weber, maka dapat diperoleh :

$$E = C.N.\phi$$

$$E = 7,4 \times 1455 \times 0,031$$

$$E = 332,63 \text{ volt}$$

7. Dengan nilai putaran sebesar 1450 rpm, nilai konstanta sebesar 7,4, dan nilai flux magnetik sebesar 34 m-weber, maka dapat diperoleh :

$$E = C.N.\phi$$

$$E = 7,4 \times 1450 \times 0,034$$

$$E = 364,82 \text{ volt}$$

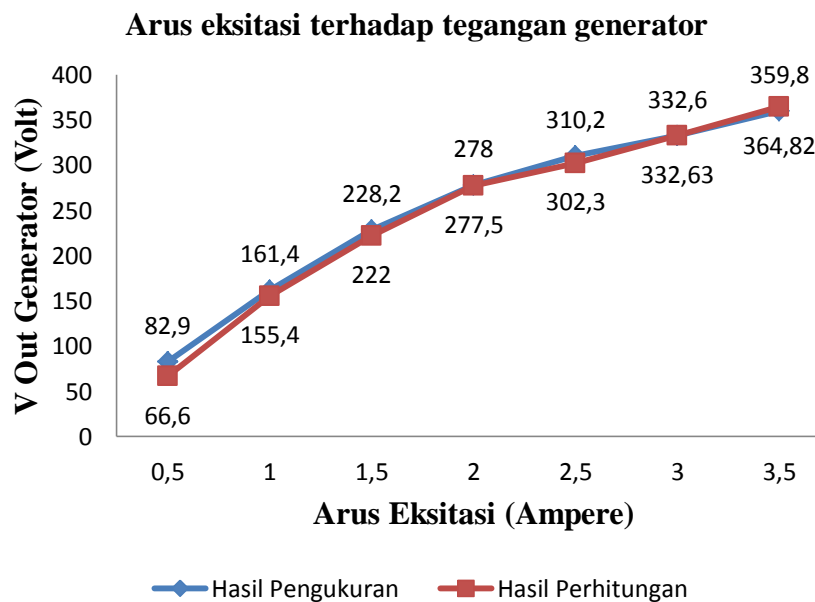
Dari perhitungan yang dilakukan di peroleh data hasil analisa tegangan keluaran generator tanpa beban seperti yang tertera pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil perhitungan tegangan keluaran generator tanpa beban.

| <b>Putaran<br/>(Rpm)</b> | <b>If<br/>(Amper)</b> | <b>Vf<br/>(Volt)</b> | <b>Fluxi (<math>\phi</math>)<br/>(m-weber)</b> | <b>V out<br/>(Volt)</b> |
|--------------------------|-----------------------|----------------------|--|-------------------------|
| 1500                     | 0,5                   | 5                    | 6,0  | 66,6                    |
| 1500                     | 1                     | 10                   | 14,0   | 155,4                   |
| 1500                     | 1,5                   | 15                   | 20,0   | 222                     |
| 1500                     | 2                     | 20                   | 25,0   | 277,5                   |
| 1459                     | 2,5                   | 25                   | 28,0   | 302,3                   |
| 1455                     | 3                     | 30                   | 31,0   | 332,63                  |
| 1450                     | 3,5                   | 35                   | 34,0   | 364,82                  |

Dari hasil yang di peroleh pada tabel 4.2 dapat dilihat nilai tegangan generator pada setiap perhitungan. Perubahan arus eksitasi mempengaruhi nilai fluxi dan tegangan generator. Semakin besar nilai eksitasi yang di berikan maka nilai fluxi dan tegangan juga akan semakin bertambah nilainya. Tegangan tertinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi 3,5 ampere dengan nilai fluxi sebesar 34 m-weber menghasilkan tegangan sebesar 364,82 volt, sedangkan nilai terendah dicapai pada pengaturan arus eksitasi 0,5 ampere dengan nilai fluxi sebesar 6,0 m-weber menghasilkan tegangan sebesar 66,6 volt.

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 diperoleh hubungan grafik antara arus eksitasi dengan  $V_{out}$  seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik karakterisitk perubahan arus eksitasi terhadap  $V_{out}$  generator tanpa beban

Gambar 4.1 kurva grafik menunjukkan perbedaan tegangan generator pada setiap pengukuran dan perhitungan yang dilakukan. Pada saat pengukuran dengan pengaturan arus eksitasi 0,5 A serta fluksi magnetik sebesar 6 m-weber

didapatkan tegangan sebesar 82,9 volt, sedangkan pada perhitungan tegangan sebesar 66,6 volt dan tegangan tersebut memiliki selisih sekitar 16,3 volt. Hal ini disebabkan karena alat ukur yang tidak presisi sehingga pembacaan alat ukur tidak teliti.

#### 4.1.2 Generator Beban R-L

Pengujian selanjutnya melakukan pengujian karakteristik generator menggunakan beban R-L. Pengujian karakteristik generator beban R-L pada penelitian dilakukan sebanyak tujuh kali. Dalam pengujian ini menggunakan beban resistif dengan nilai 102 ohm dan beban induktif sebesar 0,3 H. Setiap pengujian dilakukan pada arus eksitasi yang berbeda-beda. Dari penelitian yang dilakukan di peroleh data hasil pengujian karakteristik generator dengan beban R-L seperti yang tertera pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil pengujian karakteristik generator beban R-L

| <b>Putaran<br/>(Rpm)</b> | <b>If<br/>(Ampere)</b> | <b>Vf<br/>(Volt)</b> | <b>Ia<br/>(Ampere)</b> | <b>V out<br/>(Volt)</b> |
|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| 1494                     | 0,5                    | 5                    | 0,56                   | 80,2                    |
| 1494                     | 1                      | 10                   | 1,05                   | 150,8                   |
| 1494                     | 1,5                    | 15                   | 1,57                   | 223,4                   |
| 1494                     | 2                      | 20                   | 1,93                   | 271,2                   |
| 1459                     | 2,5                    | 25                   | 2,03                   | 288,2                   |
| 1455                     | 3                      | 30                   | 2,15                   | 304,8                   |
| 1450                     | 3,5                    | 35                   | 2,27                   | 321,4                   |

Berdasarkan data yang di peroleh dari pengujian pada generator, maka dapat dianalisa tegangan keluaran generator yang menggunakan beban R-L dengan persamaan.

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.17)$$

Untuk mencari nilai impedansi dapat diperoleh dengan persamaan 2.14:

$$Z = \sqrt{R^2 + xL^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\text{Dengan : } XL = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots (2.13)$$

Berdasarkan tabel 4.1 yang diperoleh , maka dapat dianalisa tegangan keluaran generator beban R-L sebagai berikut:

1. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan beban resistif sebesar 102  $\Omega$ , induktif sebesar 0,2 H, dan I sebesar 0,56 A, maka di peroleh:

$$XL = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$XL = (2) \cdot (3,14) \cdot (50) \cdot (0,3)$$

$$XL = 94,2 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + xL^2}$$

$$Z = \sqrt{102^2 + 94,2^2}$$

$$Z = \sqrt{19277,64}$$

$$Z = 138,84 \Omega$$

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 0,56 \times 138,84$$

$$V = 77,75 \text{ v}$$

2. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 138,84  $\Omega$ , dan I sebesar 1,05 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 1,05 \times 138,84$$

$$V = 145,78 \text{ v}$$

3. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 138,84  $\Omega$ , dan I sebesar 1,57 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 1,57 \times 138,84$$

$$V = 217,98 \text{ v}$$

4. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 138,84  $\Omega$ , dan I sebesar 1,93 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 1,93 \times 138,84$$

$$V = 267,96 \text{ v}$$

5. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 138,84  $\Omega$ , dan I sebesar 2,03 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 2,03 \times 138,84$$

$$V = 281,84 \text{ v}$$

6. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan  $Z$  sebesar  $138,84 \Omega$ , dan  $I$  sebesar  $2,11 \text{ A}$ , maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 2,11 \times 138,84$$

$$V = 298,5 \text{ v}$$

7. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan  $Z$  sebesar  $138,84 \Omega$ , dan  $I$  sebesar  $2,27 \text{ A}$ , maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 2,27 \times 138,84$$

$$V = 315,16 \text{ v}$$

Dari perhitungan yang dilakukan di peroleh data hasil analisa tegangan keluaran generator dengan beban R-L seperti yang tertera pada tabel 4.4.

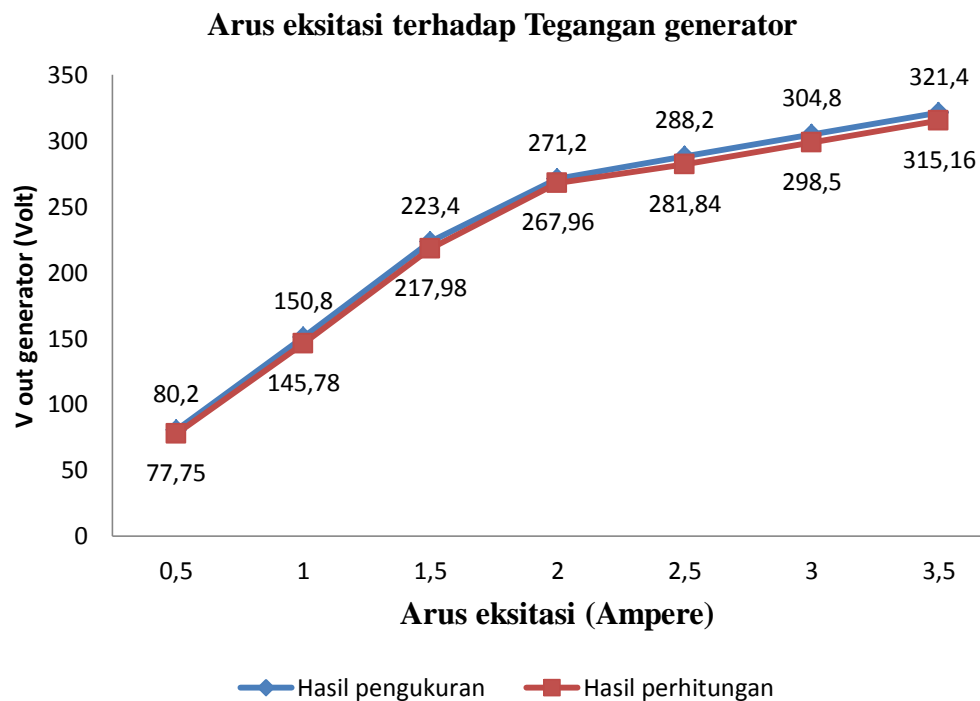
Tabel 4.4. Hasil perhitungan tegangan keluaran generator beban R-L.

| <b>Putaran<br/>(Rpm)</b> | <b>If<br/>(Ampere)</b> | <b>Vf<br/>(Volt)</b> | <b>Ia<br/>(Ampere)</b> | <b>V out<br/>(Volt)</b> |
|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| 1494                     | 0,5                    | 5                    | 0,56                   | 77,75                   |
| 1494                     | 1                      | 10                   | 1,05                   | 145,78                  |
| 1494                     | 1,5                    | 15                   | 1,57                   | 217,98                  |
| 1494                     | 2                      | 20                   | 1,93                   | 267,96                  |
| 1459                     | 2,5                    | 25                   | 2,03                   | 281,84                  |
| 1455                     | 3                      | 30                   | 2,15                   | 298,5                   |
| 1450                     | 3,5                    | 35                   | 2,27                   | 315,16                  |



Dari hasil yang di peroleh pada tabel 4.4 dapat dilihat perbedaan arus jangkar ( $I_a$ ) dan tegangan ( $v_{out}$ ) generator yang dihasilkan oleh generator pada setiap perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini. Arus jangkar dan  $v_{out}$  yang dihasilkan bervariasi dari yang terendah sampai yang tertinggi.  $I_a$  dan  $V_{out}$  tertinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi 3,5 ampere dengan nilai  $I_a$  sebesar 2,27 ampere dan  $v_{out}$  sebesar 315,16 volt, sedangkan nilai terendah dicapai pada pengaturan arus eksitasi 0,5 ampere dengan nilai  $I_a$  sebesar 0,56 ampere dan  $v_{out}$  sebesar 77,75 volt.

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 diperoleh hubungan grafik antara arus eksitasi dengan  $v_{out}$  seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap  $V_{out}$  generator beban R-L

Gambar 4.2 kurva grafik menunjukkan perbedaan tegangan generator pada setiap pengukuran dan perhitungan yang dilakukan. Pada saat pengukuran dengan

pengaturan arus eksitasi 0,5 A didapatkan tegangan sebesar 80,2 volt, sedangkan pada perhitungan tegangan sebesar 77,75 volt dan tegangan tersebut memiliki selisih sekitar 2,45 volt. Hal ini disebabkan karena alat ukur yang tidak presisi sehingga pembacaan alat ukur tidak teliti.

#### 4.1.3 Generator Beban R-C

Pengujian berikutnya melakukan pengujian karakteristik generator menggunakan beban R-C. Pengujian karakteristik generator beban R-C pada penelitian dilakukan sebanyak tujuh kali. Dalam pengujian ini menggunakan beban resistif dengan nilai 102 ohm dan beban kapasitif sebesar 50,2 uf. Setiap pengujian dilakukan pada arus eksitasi yang berbeda-beda. Dari penelitian yang dilakukan di peroleh data hasil pengujian karakteristik generator dengan beban R-C seperti yang tertera pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil pengujian karakteristik generator beban R-C

| <b>Putaran<br/>(Rpm)</b> | <b>If<br/>(Ampere)</b> | <b>Vf<br/>(Volt)</b> | <b>Ia<br/>(Ampere)</b> | <b>V out<br/>(Volt)</b> |
|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| 1494                     | 0,5                    | 5                    | 0,58                   | 73,2                    |
| 1494                     | 1                      | 10                   | 1,07                   | 131,8                   |
| 1494                     | 1,5                    | 15                   | 1,6                    | 196,2                   |
| 1494                     | 2                      | 20                   | 2,04                   | 246,5                   |
| 1459                     | 2,5                    | 25                   | 2,10                   | 258,4                   |
| 1455                     | 3                      | 30                   | 2,18                   | 272,2                   |
| 1450                     | 3,5                    | 35                   | 2,33                   | 289,8                   |

Berdasarkan data yang di peroleh dari pengujian pada generator, maka dapat dianalisa tegangan keluaran generator yang menggunakan beban R-C dengan persamaan.

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.17)$$

Untuk mencari nilai impedansi dapat diperoleh dengan persamaan 2.19:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Dengan : } X_C = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot c) \dots\dots\dots (2.18)$$

Berdasarkan tabel 4.5 yang diperoleh , maka dapat dianalisa tegangan keluaran generator beban R-C sebagai berikut:

1. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan beban resistif sebesar 102  $\Omega$ , induktif sebesar 50,2  $\mu\text{f}$ , dan  $I_a$  sebesar 0,58 A, maka di peroleh:

$$X_C = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)$$

$$X_C = 1/(2) \cdot (3,14) \cdot (50) \cdot (50,2 \cdot 10^{-6})$$

$$X_C = 63,69 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$Z = \sqrt{102^2 + 63,69^2}$$

$$Z = \sqrt{14460,41}$$

$$Z = 120,2 \Omega$$

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 0,58 \times 120,2$$

$$V = 69,7 \text{ v}$$

2. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 120,2  $\Omega$ , dan I sebesar 1,07 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 1,07 \times 120,2$$

$$V = 128,61 \text{ v}$$

3. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 120,2  $\Omega$ , dan I sebesar 1,6 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 1,6 \times 120,2$$

$$V = 192,32 \text{ v}$$

4. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 120,2  $\Omega$ , dan I sebesar 2,04 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 2,04 \times 120,2$$

$$V = 245,2 \text{ v}$$

5. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan z sebesar 120,2  $\Omega$ , dan I sebesar 2,10 A, maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 2,10 \times 120,2$$

$$V = 252,42 \text{ v}$$

6. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan  $z$  sebesar  $120,2 \Omega$ , dan  $I_a$  sebesar  $2,18 \text{ A}$ , maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 2,18 \times 120,2$$

$$V = 262 \text{ v}$$

7. Perhitungan tegangan keluaran generator dengan  $z$  sebesar  $120,2 \Omega$ , dan  $I_a$  sebesar  $2,33 \text{ A}$ , maka di peroleh:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$V = I \times Z$$

$$V = 2,33 \times 120,2$$

$$V = 280 \text{ v}$$

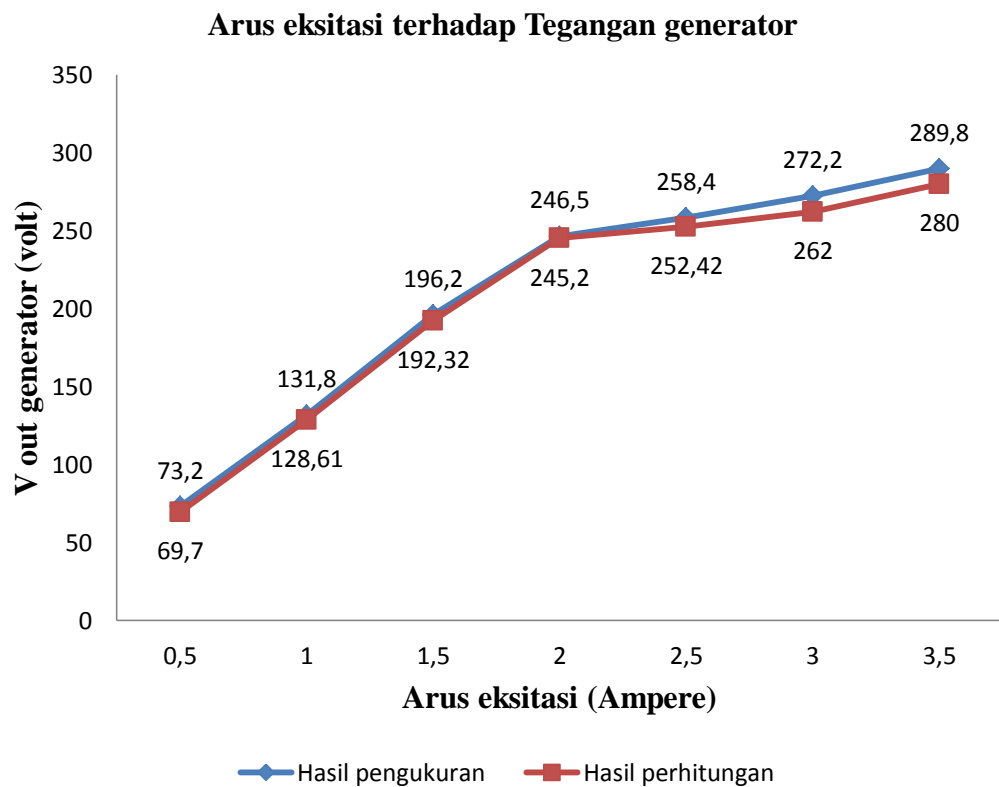
Dari perhitungan yang dilakukan di peroleh data hasil analisa tegangan keluaran generator dengan beban R-C seperti yang tertera pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil perhitungan tegangan keluaran generator beban R-C.

| <b>Putaran<br/>(Rpm)</b> | <b>If<br/>(Ampere)</b> | <b>Vf<br/>(Volt)</b> | <b>Ia<br/>(Ampere)</b> | <b>V out<br/>(Volt)</b> |
|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| 1494                     | 0,5                    | 5                    | 0,58                   | 69,7                    |
| 1494                     | 1                      | 10                   | 1,07                   | 128,61                  |
| 1494                     | 1,5                    | 15                   | 1,6                    | 192,32                  |
| 1494                     | 2                      | 20                   | 2,04                   | 245,2                   |
| 1459                     | 2,5                    | 25                   | 2,10                   | 252,42                  |
| 1455                     | 3                      | 30                   | 2,18                   | 262                     |
| 1450                     | 3,5                    | 35                   | 2,33                   | 280                     |

Dari hasil yang di peroleh pada tabel 4.6 dapat dilihat perbedaan arus jangkar ( $I_a$ ) dan tegangan ( $v_{out}$ ) generator yang dihasilkan oleh generator pada setiap perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini. Arus jangkar dan  $v_{out}$  yang dihasilkan bervariasi dari yang terendah sampai yang tertinggi.  $I_a$  dan  $V_{out}$  tertinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi 3,5 ampere dengan nilai  $I_a$  sebesar 2,33 ampere dan  $v_{out}$  sebesar 280 volt, sedangkan nilai terendah dicapai pada pengaturan arus eksitasi 0,5 ampere dengan nilai  $I_a$  sebesar 0,58 ampere dan  $v_{out}$  sebesar 69,7 volt.

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 diperoleh hubungan grafik antara arus eksitasi dengan  $v_{out}$  seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap  $V_{out}$  generator beban R-C

Gambar 4.3 kurva grafik menunjukkan perbedaan tegangan generator pada setiap pengukuran dan perhitungan yang dilakukan. Pada saat pengukuran dengan pengaturan arus eksitasi 0,5 A didapatkan tegangan sebesar 73,2 volt, sedangkan pada perhitungan tegangan sebesar 69,7 volt dan tegangan tersebut memiliki selisih sekitar 3,5 volt. Hal ini disebabkan karena alat ukur yang tidak presisi sehingga pembacaan alat ukur tidak teliti.

#### 4.2 Perhitungan Daya Reaktif Beban R-L Terhadap Perubahan Arus Eksitasi

Berdasarkan data yang di peroleh dari penelitian pada generator, maka dapat ditentukan daya reaktif generator dengan menggunakan persamaan 2.32 .

$$Q = \sqrt{3}.V.I.\text{Sin } \varphi \dots\dots\dots (2.32)$$

Untuk mencari sudut  $\varphi$  beban R-L dapat diperoleh dengan persamaan 2.15:

$$\tan \varphi^{-1} = \frac{Xl}{R} = \frac{2.\pi.f.L}{R} \dots\dots\dots (2.15)$$

Berdasarkan data yang diperoleh , maka dapat dihitung daya reaktif beban R-L sebagai berikut:

- a. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa nilai resistansi sebesar 102  $\Omega$ , induktansi sebesar 0,3 H, tegangan sebesar 80,2 v, dan arus sebesar 0,56 A, maka di peroleh :

$$\tan \varphi^{-1} = \frac{Xl}{R} = \frac{2.\pi.f.L}{R} = \frac{(2).(3,14).(50).(0,3)}{102} = \frac{62,8}{102} = 0,61$$

$$\varphi = 31,6^{\circ}$$

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \text{Sin } \varphi \\ &= \sqrt{3} (80,2). (0,56). \text{Sin } (31,6) \\ &= 40,7 \text{ var} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,6^0$ , tegangan sebesar 150,8 v, dan arus sebesar 1,05 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (150,8). (1,05). \sin (31,6) \\ &= 143,52 \text{ var} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,6^0$ , tegangan sebesar 223,4 v, dan arus sebesar 1,57 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (223,4). (1,57). \sin (31,6) \\ &= 317,9 \text{ var} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,6^0$ , tegangan sebesar 271,2 v, dan arus sebesar 1,93 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (271,2). (1,93). \sin (31,6) \\ &= 474,5 \text{ var} \end{aligned}$$

- e. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,6^0$ , tegangan sebesar 288,2 v, dan arus sebesar 2,03 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (288,2). (2,03). \sin (31,6) \\ &= 530,33 \text{ var} \end{aligned}$$



- f. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,6^0$ , tegangan sebesar 304,8 v, dan arus sebesar 2,15 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \sin \phi \\ &= \sqrt{3} (304,8). (2,15). \sin (31,6) \\ &= 594,03 \text{ var} \end{aligned}$$

- g. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,6^0$ , tegangan sebesar 321,4 v, dan arus sebesar 2,27 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \sin \phi \\ &= \sqrt{3} (321,4). (2,27). \sin (31,6) \\ &= 661,4 \text{ var} \end{aligned}$$

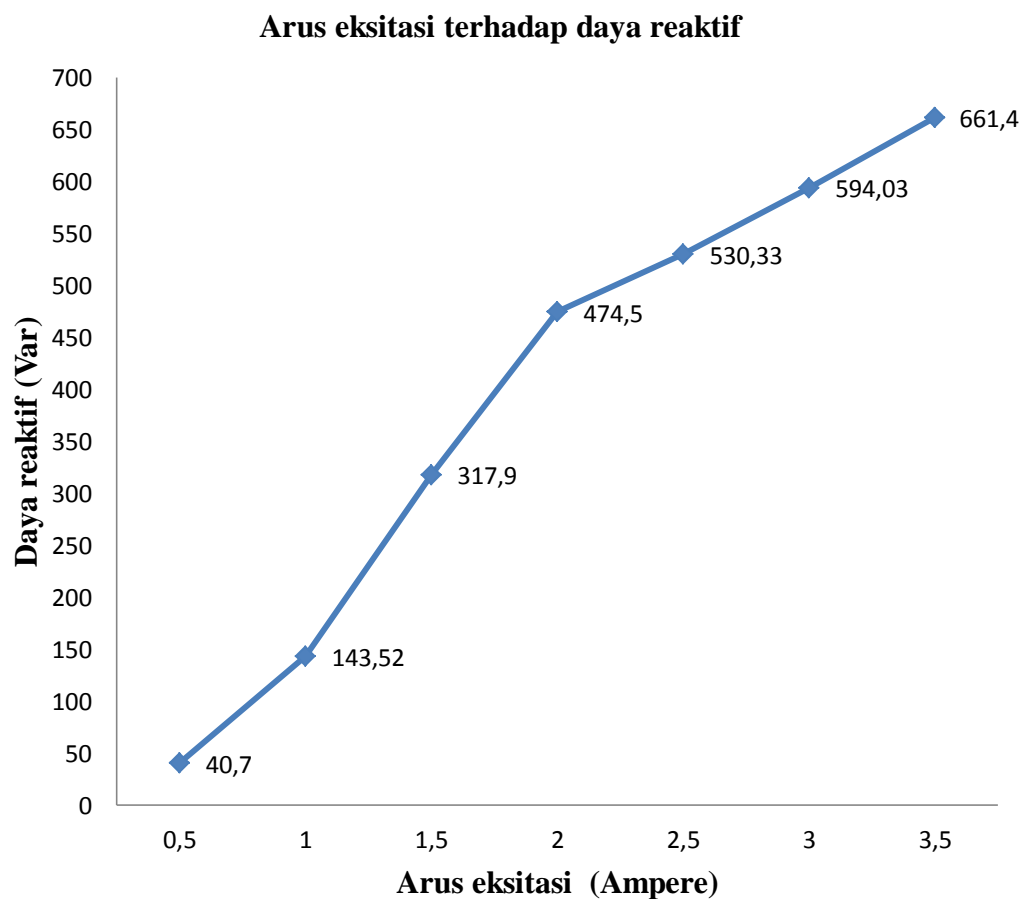
Berdasarkan perhitungan diatas maka diperoleh data daya reaktif generator seperti pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil perhitungan daya reaktif generator beban R-L

| <b>Putaran<br/>(Rpm)</b> | <b>If<br/>(Ampere)</b> | <b>Ia<br/>(Ampere)</b> | <b>V out<br/>(Volt)</b> | <b>Q<br/>(VAR)</b> |
|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1494                     | 0,5                    | 0,56                   | 80,2                    | 40,7               |
| 1494                     | 1                      | 1,05                   | 160,8                   | 143,52             |
| 1494                     | 1,5                    | 1,57                   | 223,4                   | 317,9              |
| 1494                     | 2                      | 1,93                   | 277,2                   | 474,5              |
| 1459                     | 2,5                    | 2,03                   | 308,2                   | 530,33             |
| 1455                     | 3                      | 2,15                   | 328,9                   | 594,03             |
| 1450                     | 3,5                    | 2,27                   | 355,4                   | 661,4              |

Dari data tabel 4.7 maka dapat diperoleh bahwa semakin besar  $i_f$  maka nilai  $v_{out}$  pun juga semakin besar. Hal ini juga mempengaruhi nilai daya reaktif yang mengalami penaikan akibat dari perubahan arus eksitasi. Nilai daya reaktif paling tinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi sebesar 3,5 A dengan nilai daya reaktif sebesar 661,4 var, sedangkan nilai daya reaktif terendah di peroleh pada pengaturan arus eksitasi sebesar 0,5 A dengan nilai sebesar 40,7.

Berdasarkan data pada tabel 4.7 maka di peroleh grafik perubahan daya reaktif pada setiap pengujian seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif generator beban R-L

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat perubahan nilai daya reaktif yang di peroleh pada beban R-L dengan pengaturan arus eksitasi yang berbeda-beda. Daya reaktif pada pengaturan arus eksitasi 1,5 A mengalami kenaikan yang cukup signifikan yakni sebesar 178, 38 Var.

### 4.3 Perhitungan Daya Reaktif Beban R-C Terhadap Perubahan Arus Eksitasi

Berdasarkan data yang di peroleh dari penelitian pada generator, maka dapat ditentukan daya reaktif generator dengan menggunakan persamaan 2.32.

$$Q = \sqrt{3}.V.I.\text{Sin } \phi \dots\dots\dots (2.32)$$

Untuk mencari sudut  $\phi$  beban R-L dapat diperoleh dengan persamaan 2.20:

$$\tan \phi^{-1} = \frac{XC}{R} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\text{dimana : } XC = \frac{1}{2.\pi.f.c}$$

Berdasarkan data yang diperoleh , maka dapat dihitung daya reaktif beban R-C sebagai berikut:

- a. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa nilai resistansi sebesar  $102 \Omega$ , induktansi sebesar  $50 \mu\text{f}$ , tegangan sebesar  $73,2 \text{ v}$ , dan arus sebesar  $0,58 \text{ A}$ , maka di peroleh :

$$XC = \frac{1}{2.\pi.f.c} = \frac{1}{(2)(3,14)(50)(50,2 \times 10^{-6})} = \frac{1 \times 10^6}{15762,8} = 63,44 \Omega$$

$$\tan \phi^{-1} = \frac{XC}{R} = \frac{63,44}{102} = 0,623$$

$$\phi = 31,88^{\circ}$$

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}.V.I. \text{Sin } \phi \\ &= \sqrt{3} (73,2). (0,58). \text{Sin } (31,88) \end{aligned}$$

$$= 38,79 \text{ var}$$

- b. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,88^0$ , tegangan sebesar 131,8 v, dan arus sebesar 1,07 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3} V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (131,8). (1,07). \sin (31,88) \\ &= 128,85 \text{ var} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,88^0$ , tegangan sebesar 196,2 v, dan arus sebesar 1,6 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}. V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (196,2). (1,6). \sin (31,88) \\ &= 286,82 \text{ var} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,88^0$ , tegangan sebesar 246,5 v, dan arus sebesar 2,04 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}. V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (246,5). (2,04). \sin (31,88) \\ &= 459,45 \text{ var} \end{aligned}$$

- e. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,88^0$ , tegangan sebesar 258,4 v, dan arus sebesar 2,10 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}. V.I. \sin \varphi \\ &= \sqrt{3} (258,4). (2,10). \sin (31,88) \end{aligned}$$

$$= 495,8 \text{ var}$$

- f. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,88^0$ , tegangan sebesar 272,2 v, dan arus sebesar 2,18 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \\ &= \sqrt{3} (272,2) \cdot (2,18) \cdot \sin (31,88) \\ &= 542,16 \text{ var} \end{aligned}$$

- g. Perhitungan daya reaktif 1, dengan diketahui bahwa sudut fasa sebesar  $31,88^0$ , tegangan sebesar 289,8 v, dan arus sebesar 2,33 A, maka di peroleh :

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \\ &= \sqrt{3} (289,8) \cdot (2,33) \cdot \sin (31,88) \\ &= 616,93 \text{ var} \end{aligned}$$

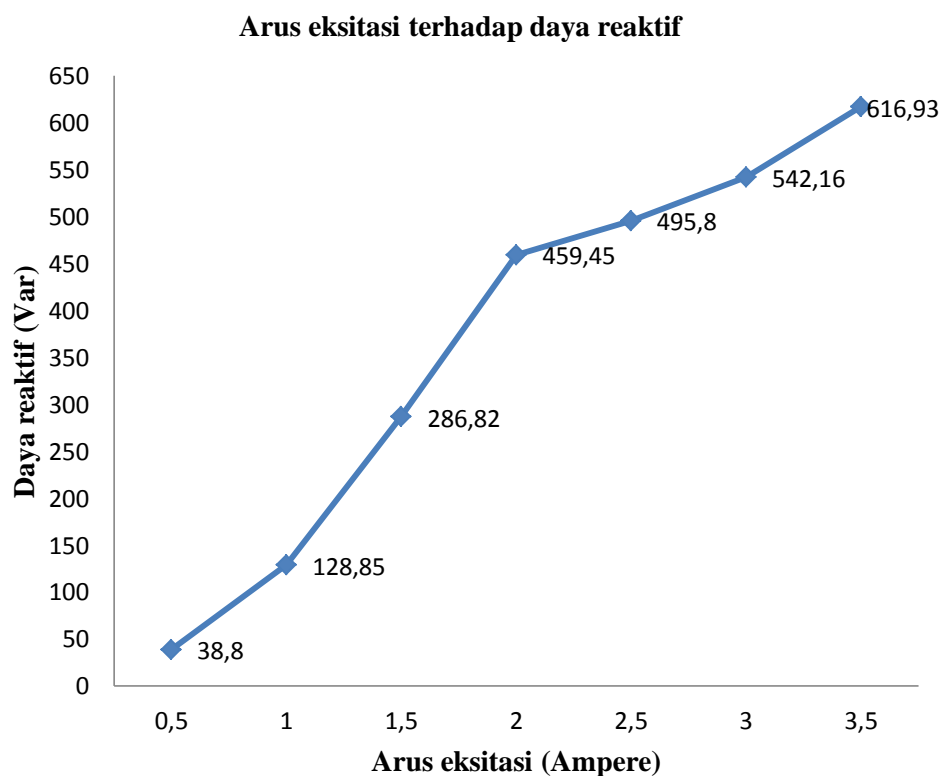
Berdasarkan perhitungan diatas maka diperoleh data daya reaktif generator seperti pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil perhitungan daya reaktif generator beban R-C

| <b>Putaran<br/>(Rpm)</b> | <b>If<br/>(Ampere)</b> | <b>Ia<br/>(Ampere)</b> | <b>V out<br/>(Volt)</b> | <b>Q<br/>(Var)</b> |
|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1494                     | 0,5                    | 0,58                   | 73,2                    | 38,8               |
| 1494                     | 1                      | 1,07                   | 131,8                   | 128,85             |
| 1494                     | 1,5                    | 1,6                    | 196,2                   | 286,82             |
| 1494                     | 2                      | 2,04                   | 246,5                   | 459,45             |
| 1459                     | 2,5                    | 2,10                   | 258,4                   | 495,8              |
| 1455                     | 3                      | 2,18                   | 272,2                   | 542,16             |
| 1450                     | 3,5                    | 2,33                   | 289,8                   | 616,93             |

Dari data tabel 4.8 maka dapat diperoleh bahwa semakin besar  $i_f$  maka nilai  $v_{out}$  pun juga semakin besar. Hal ini juga mempengaruhi nilai daya reaktif yang mengalami penaikan akibat dari perubahan arus eksitasi. Nilai daya reaktif paling tinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi sebesar 3,5 A dengan nilai daya reaktif sebesar 616,93 var, sedangkan nilai daya reaktif terendah di peroleh pada pengaturan arus eksitasi sebesar 0,5 A dengan nilai sebesar 38,79.

Berdasarkan data pada tabel 4.8 maka di peroleh grafik perubahan daya reaktif pada setiap pengujian seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik karakteristik perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif generator beban R-C

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat perubahan nilai daya reaktif yang di peroleh pada beban R-C dengan pengaturan arus eksitasi yang berbeda-beda. Daya reaktif pada pengaturan arus eksitasi 2,5 A mengalami kenaikan yang cukup signifikan yakni sebesar 172,63 var.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang di peroleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengaturan arus eksitasi pada generator mempengaruhi nilai tegangan keluaran generator. Tegangan tersebut sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus eksitasi yang diberikan. Semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. Hal ini berbanding lurus antara tegangan keluaran generator dengan arus eksitasi yang diberikan.
2. Semakin besar tegangan yang dihasilkan akibat dari pengaruh pengaturan arus eksitasi maka daya reaktif yang dihasilkan juga akan besar dikarenakan daya reaktif berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan. Pada beban R-L daya reaktif paling tinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi sebesar 3,5 ampere dengan nilai daya reaktif sebesar 661,4 var. Sedangkan daya reaktif terendah di dapat pada pengaturan arus eksitasi sebesar 0,5 ampere dengan nilai sebesar 40,7 var.
3. Pada beban R-C tegangan yang dihasilkan dari pengaturan arus eksitasi lebih rendah dari beban R-L sehingga daya reaktif yang dihasilkan juga lebih rendah. Pada beban R-C daya reaktif paling tinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi sebesar 3,5 ampere dengan nilai daya reaktif

sebesar 616,93 Var. Sedangkan daya reaktif terendah di dapat pada pengaturan arus eksitasi sebesar 0,5 ampere dengan nilai sebesar 38,8 Var.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh saran sebagai berikut :

1. Untuk keakurasian pengukuran sebaiknya digunakan alat ukur yang memiliki ketelitian cukup tinggi.
2. Untuk mendapatkan tegangan yang maksimal sebaiknya menggunakan arus dc yang lebih besar lagi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aini, A. N., Eldion, M. B., & Endarko. (2016). *Rangkaian RLC Seri Arus AC (E7)*. *Jurnal Elektronika Dasar II*. NRp:1114-094
- Amien. I. S, Basofi. (2014). *Studi Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Yang Bekerja Paralel Terhadap Perubahan Faktor Daya*, 7(1), 8-5
- Armansyah, S. (2016). *Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal*. *Jurnal Teknik Elektro UISU*, 1(3), 48–55.
- Azhar, Kamal, M., & Subhan. (2017). *Penerapan Automatic Voltage Regulator pada Sistem Eksitasi Harmonik Generator Satu Fasa*. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2017* Bandah Aceh, 18-19 Oktober 2017.
- Bandri, S. (2013). *Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik generator Sinkron ( Aplikasi PLTG Pauh Limo Padang )*. 2(1), 42–48.
- Irnanda, P (2012). *Analisis Pengaruh Eksitasi Terhadap Efek Harmonisa Pada Hubungan Belitan Generator Sinkron Dengan Beban LHE*. 2(1), 40-44.
- Laksono, H. D., & Yulianto, N. F. (2013). *Evaluasi Pola Tingkah Laku Tegangan sistem Eksitasi Generator Dengan Metoda Penempatan Kutub Menggunakan Algoritma Bass-Gura*, 2 (2), 18-26.
- Laksono, H. D., & Febrianda, A. (2015). *Analisa Performansi Tanggapan Tegangan Sistem Eksitasi Generator Terhadap Perubahan Parameter*. 4(1), 63-3.
- Laksono, H. D., Haliman, D., Danas, A., & W. D. A. (2016). *Analisa Kekokohan Tanggapan Tegangan Sistem Eksitasi Generator Terhadap Perubahan Parameterkonstanta Penguatan Generator dengan Berbagai Pengendali*.

13(1), 9–18.

Laksono, H. D., Revan, M., & Rabirahim, A. (2014). *Pemodelan dan Analisa Sistem Eksitasi Generator*. 21(1), 60–69.

Nurdin, A., Azis, A., & Rozal, R. A. (2018). *Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator*. 3(1), 163–173.

Pamungkas, R. C., Mustar, M. Y., & Syahputra, R. (2017). *Analytical Studies of the Excitation System of Synchronous Generator in Steam Power Plant Unit 3 and 4 at PJB UP Gresik*. 1(3), 148–156.

Priyatna, A., Haryanto, H., and Munarto, R. (2016). *Pengujian Karakteristik Generator Sinkron Megnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), The 3<sup>rd</sup> National conference on Industrial Electrical and Electronics (NCIEE) Proceedings ISBN:978-602-98211-0-9*

Putra, A.C. (2018). *Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron*. Skripsi, Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

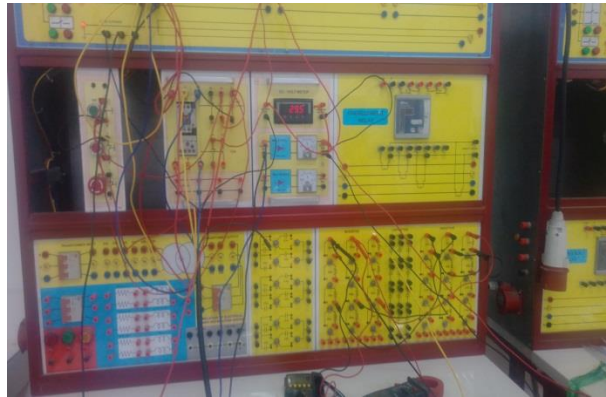
Ridzki, I. (2013). *Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif generator*. 11(2), 31–41.

Rudi, S. (2012). *Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron*. 12(2), 85–88.

Supardi, A., Prasetya, D.A., & Susilo, J. (2014). *Pengaruh Ukuran Kapasitor Terhadap Karakteristik Keluaran Generator Induksi 1 Fase*. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014 Yogyakarta, 15 November 2014 ISSN: 1979-911X*. (November), 71–78.

- Terimananda, R. G., & Hariyanto, N. (2016). *Studi Pengaturan Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2*. 4(1), 51–62.
- Yani, H. (2013). *Studi Penggunaan Komponen RLC Pada Filter Harmonik Tiga Fasa Untuk Perbaikan Kualitas daya Dengan Matlab Simulink*. 5(1), 1–6.
- Zuhal. (2000). *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama

## Lampiran



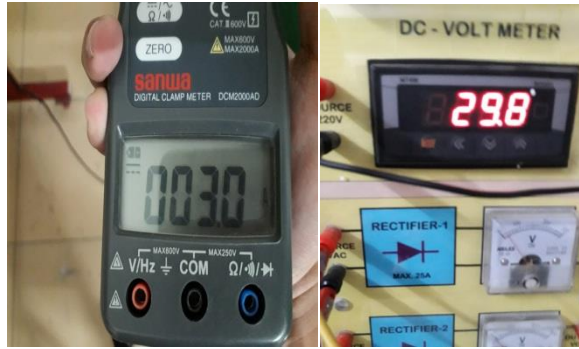
Gambar merakit rangkaian DOL



Gambar pengujian tanpa beban dan berbeban



Gambar hasil pengukuran tegangan generator



Gambar pemberian arus eksitasi menggunakan dc power supply



Gambar konstruksi sistem eksitasi generator

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : KIKI UTAMA PUTRA  
 NPM : 1507220121  
 Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik Umsu)

| No | Tanggal   | Catatan  | Paraf |
|----|-----------|--|-------|
| 1  | 29/1/2019 | Perbaiki Penulisan pada Bab I  |       |
| 2  | 12/2/2019 | Lanjut ke bab II   |       |
| 3  | 11/4/2019 | Tambahkan Landasan teori, perbaiki rumus, gambar                         |       |
| 4  | 8/5/2019  | Konsultasi Bab III   |       |
| 5  | 15/5/2019 | Perbaiki flowchart dan gambar rangkaian                                  |       |
| 6  | 27/7/2019 | Konsultasi Bab IV  |       |
| 7  | 30/7/2019 | Perbaiki rumus dan grafik, pada perhitungan rumus harus sesuai di bab II |       |
| 8  | 01/8/2019 | Perbaiki Bab V, Kesimpulan harus menjawab rumusan masalah.               |       |
|    |           | Atk seminar 3/8/2019   |       |

Pembimbing I

RIMBAWATI, ST, M.T





**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : KIKI UTAMA PUTRA  
NPM : 1507220121  
Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator 3 Fasa (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik Umsu)

| No | Tanggal    | Catatan  | Paraf |
|----|------------|--|-------|
| 1  | 15/1/2019. | perbaikan penulisan pada Bab 1<br>Rumus, gambar. |       |
| 2. | 31/1/2019. | Beban BAB III, perbaikan<br>Flowchart dan gambar |       |
| 3. | 9/2/2019.  | perbaikan pada BAB III tabel                     |       |
| 4. | 28/3/2019  | layut penguraian Bab IV.                         |       |
| 5. | 25/4/2019. | Konsul Keperubing I                              |       |
| 6. | 20/5/2019. | Revisi- perbaikan selisihan                      |       |
| 7. | 19/7/2019. | buat daftar pustaka, abstrak<br>dan daftar isi.  |       |
| 8. | 2/8/2019   | Revisi untuk diseminasi.                         |       |
|    |            | layut keperubing I                               |       |

Pembimbing II

PARTAONAN HARAHAP, S.T, M.T

## BIODATA PENULIS



### I. Data Pribadi

Nama : Kiki Utama Putra  
Tempat/Tgl. Lahir : Bandar Setia / 15 Januari 1997  
Jenis kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Nama Ayah : Rianto  
Nama Ibu : Rusmalia  
Email : [kikiputratama007@gmail.com](mailto:kikiputratama007@gmail.com)

### II. Riwayat Pendidikan

| Jenjang Pendidikan       | Tahun     |
|--------------------------|-----------|
| SDN 104202 Bandar Setia  | 2003-2009 |
| SMP N 1 Percut Sei Tuan  | 2009-2012 |
| SMK Swasta Teladan Medan | 2012-2015 |
| S1 Teknik Elektro UMSU   | 2015-2019 |

### III. Riwayat Organisasi

| Jenjang Organisasi                           | Tahun     |
|--|-----------|
| Sekretaris Bidang Keilmuan PK IMM FATEK UMSU | 2016-2017 |
| Ketua Bidang Keilmuan PK IMM FATEK UMSU      | 2017-2018 |
| Ketua Bidang ON-MIPA PERMADIKSI UMSU         | 2017-2018 |