

**STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN PENEMPATAN  
*STEP VOLTAGE REGULATOR* HUBUNG *CLOSED DELTA* PADA  
PENYULANG KATU GI MENGGALA**

(Skripsi)

Oleh

**RICHARD MANUEL**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2016**

## **ABSTRACT**

### ***A Study of Three-phase Power Flow with Closed-Delta Step Voltage Regulator at Katu Feeder, Menggala Substation***

**Richard Manuel**

*Rural electrification in Lampung Province, especially Katu Feeder, voltages at end nodes violate the permitted operational limits of +/- 5%. But in reality, the voltages is below 10-15% from an operational limits.*

*Installation of step voltage regulator (SVR) helps improving the voltage profile. This work studies the model of Closed-delta step voltage regulator and applies the model to solve Katu Feeder voltage problem.*

*There are two types of SVR, i.e. Type-A and Type-B for compensating voltage up to 10 to 15% of the the current voltage level. SVR consists of 32 steps (16 positions and 16 positions raise lower). Value changes each step is equal to 5/8% and 10/16% or 0,125 kV the nominal voltage of 20 kV.*

*The developed model shows to be acceptable for three-phase power flow analysis. Comparison with the well-known OpenDSS of Electric Power Research Institute (EPRI) reveals the difference is insignificant.*

**Keywords:** *feeder Katu Menggala substation, Step Voltage Regulator (SVR), Drop Voltage, Voltage Profile*

## **Abstrak**

### **Studi Aliran Daya Tiga Fasa Dengan Penempatan *Step Voltage Regulator* Hubung *Closed Delta* Pada Penyulang Katu GI Menggala**

**Oleh**

**Richard Manuel**

Sistem kelistrikan di Provinsi Lampung, salah satunya pada penyulang Katu seharusnya memiliki tegangan di ujung saluran  $\pm 5\%$  dari tegangan nominalnya. Tetapi pada kenyataannya, tegangannya dibawah 10-15%.

Pemasangan *Step Voltage Regulator* (SVR) mampu memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi terutama pada Penyulang Katu. *Step Voltage Regulator* dengan Hubung *Closed Delta* di modelkan untuk memperbaiki permasalahan profil tegangan tersebut..

*Step Voltage Regulator* (SVR) itu sendiri memiliki dua tipe yaitu, tipe A dan tipe B dan mampu mengkompensasi tegangan sekitar 10-15% dari tegangan nominalnya. SVR memiliki 32 *step* (16 posisi tap *raise* dan 16 posisi tap *lower*). Nilai yang diberikan pada tiap satu tap adalah 5/8% dan 10/16% atau 0,125 kV pada tegangan nominal 20kV.

Model program yang ditampilkan dapat digunakan untuk menganalisis aliran daya tiga fasa. Sebagai pembanding programnya adalah openDSS dari Electric Power Research Institute (EPRI) dengan hasil perbandingan nilai yang tidak jauh berbeda secara signifikan.

Kata kunci: Penyulang Katu GI Menggala, Step Voltage Regulator (SVR), Tegangan Jatuh, Profil Tegangan.

**STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN PENEMPATAN  
*STEP VOLTAGE REGULATOR* HUBUNG *CLOSED DELTA* PADA  
PENYULANG KATU GI MENGGALA**

Oleh

**RICHARD MANUEL**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai gelar  
Sarjana Teknik

pada

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2016**

**Judul Skripsi** : **STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN  
PENEMPATAN *STEP VOLTAGE REGULATOR*  
HUBUNG *CLOSE DELTA* PADA PENYULANG  
KATU GI MENGGALA**

**Nama Mahasiswa** : **Richard Manuel**

**Nomor Pokok Mahasiswa** : 1115031076

**Jurusan** : Teknik Elektro

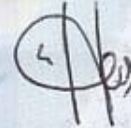
**Fakultas** : Teknik

**MENYETUJUI**

1. **Komisi Pembimbing**

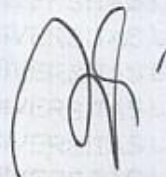


**Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.**  
NIP 19720923 200012 1 002



**Herri Gusmedi, S.T., M.T.**  
NIP 19710810 199903 1 003

2. **Ketua Jurusan Teknik Elektro**

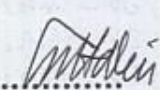


**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19731128 199903 1 005



**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.** ..... 

**Sekretaris : Herri Gusmedi, S.T., M.T.** ..... 

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T.** ..... 

**2. Dekan Fakultas Teknik**



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

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 Agustus 2016**

## SURAT PERNYATAAN


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

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

Bandar Lampung, 8 Agustus 2016

lis,



  
Richard Manuel  
NPM. 1115031076

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 4 November 1992. Penulis merupakan anak pertama dari 6 bersaudara dari pasangan Bapak Ridwan Simamora dan Ibu Yuanita Hutabarat. Riwayat pendidikan penulis yaitu TKK IPEKA Kota Legenda, Bekasi, pada tahun 1997 hingga tahun 1999, SDK IPEKA Kota Legenda, Bekasi, pada tahun 1999 hingga tahun 2005, SMP Fransiskus Bandar Lampung pada tahun 2005 hingga tahun 2008, dan SMAN 9 Bandar Lampung pada tahun 2008 hingga tahun 2011.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2011 melalui Ujian Tertulis SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik dari tahun 2012- 2015. Asisten praktikum Dasar Konversi Energi Elektrik tahun 2012-2013, Asisten praktikum Konversi Energi Elektrik tahun 2013- 2015 dan asisten praktikum Elektronika Daya tahun 2013- 2015. Penulis juga terdaftar menjadi Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (Himatro Unila) Periode 2013 – 2016.. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT PJB UP Muara Karang Blok Dua pada bulan Juli – Agustus 2014 dan mengambil judul “*Starting Generator (GTG) Menggunakan Automatic Voltage Regulator (AVR) Tipe MEC600 di PT PJB UP Muara Karang Blok Dua*”





*Karya ini ku persembahkan untuk*

*Bapak dan Mama Terkasih*

*Ridwan Simamora dan Yvanita Hutabarat*

*Adik-adikku Terkasih*

*Ricky Oktavianus*

*Reynaldo Joshua*

*Rachelita Juniar*

*Ressy Tasya Maria*

*Rudolfo Yeheskiel*

*Keluarga Besar, Dosen, Eleve engineer, HKI Bandarlampung, dan Almamater.*

## MOTTO

*“Bersukacitalah dalam pengharapan, bersabarlah dalam kesesakan, dan bertekunlah dalam doa”.*

*( Roma 12:12)*

*“Dan apa yang telah kamu pelajari dan apa yang telah kamu terima, dan apa yang telah kamu dengar dan apa yang telah kamu lihat padaku, lakukanlah itu. Maka Allah sumber damai sejahtera akan menyertai kamu*

*(Filipi 4:9)*

“

*“Dont Wait Tommorow If You Can Do Today”.*

*“ (Richard Manuel S.T.)*

## SANWACANA

Segala puji bagi Tuhan Yesus Kristus atas nikmat kesehatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini. Ini semua karena berkat kasih dan anugerahNya.

Tugas Akhir dengan judul “*Studi Aliran Daya Tiga Fasa Dengan Penempatan Step Voltage Regulator Hubung Closed Delta Pada Penyulang Katu GI Menggala*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

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

4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., Msc. selaku Pembimbing Utama sekaligus Pembimbing Akademik penulis, yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan pandangan hidup kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
5. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dengan baik dan ramah.
6. Ibu Dr. Eng Dikpride Despa, S.T, M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang sangat baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
7. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis.
8. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal – hal lainnya terutama Mbak Dian Rustiningsih.
9. Ayah dan Ibu tercinta, Bapak Ridwan Simamora dan Ibu Yuanita Hutabarat, serta Adik – Adik tersayang, Ricky Oktavianus, Reynaldo Joshua, Rachelita Juniar, Rossy Tasya Maria, dan Rudolfo Yeheskiel, atas kasih sayang, dukungan, serta doa yang selalu diberikan kepada penulis.
10. Segenap Penghuni Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik, Pak Abdurrahman, Kak Ab, Kak Afrizal, Kak Agung, Kak Aji, Kak Seto, dan rekan – rekan Tim PLP (Pak Lukman *Project*) yaitu Fikri, Rani, Fanny, Gusmau, Alex
11. Teman – Teman Eleveengineer Adit Riski, Adit Tanto, Adit Pratama, Agi, Alex, Alin, Anang, Andi, Andreas, Annida, Apriwan, (Alm) Arief, Arroseyiq, Choi,

Darma, Deden, Denny, Dirya, Iyon, Edi, Eliza, Fadil, Fanny, Faris, Fikri, Havif, Pras, Najib, Habib, Rei, Rani, Gata, Aji, Nur, Vina, Yunita, Ryan, Grienda, Frian, Hajar, Reza, Restu, Randi, Abidin, Bastian, Oka, Farid, Rejani, Sigit, Yoga, Yazir, Imam, Made, Petrus, Frisky, Rina, Hajri, dll

12. Rekan – rekan Himatro Unila, serta Kakak - Kakak dan Adik – Adik Tingkat di Jurusan Teknik Elektro.
13. Rekan – rekan PNB HKI Bandarlampung, Bang Nando, Bang Tobok, Bang Midun, Maria, Risma, Chandra, Desmon, Windy, Tiar, Dewi, dan masih banyak lagi yang belum disebutkan
14. Rekan- Rekan Bahtera Doa HKI, Bang Harry, Nuel, Reta, Ester, Kak Yetty, Bang Winner, Bang Jhon, Amang Pendeta, Bou Iyos, Kiki Pasaribu, ka Devi trimakasi dukungan doanya.
15. Rekan rekan KNM 2016 Ka Ester, Bang Benny, Bang Abe, Ramos, Debo, Yefta, Wida, Ernest, Daus yang terus mendukung dalam doa
16. Semua Pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxi
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan .....	3
1.3. Rumusan Masalah .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Manfaat .....	4
1.6. Hipotesis .....	5
1.7. Sistematika Penulisan .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Studi Aliran Daya.....	7
2.2. Jenis-Jenis Bus .....	8
2.3. Sistem p.u .....	10
2.4. Metode Newton Rhapson .....	10

2.5. Step Voltage Regulator .....	13
2.5.1 Fungsi Step Voltage Regulator (SVR) .....	14
2.5.2 Jenis- Jenis Step Voltage Regulator (SVR) .....	15
2.6. Pemodelan Step Voltage Regulator SVR Hubung Delta .....	20
2.7. Diagram Sistem Distribusi .....	21
2.8. Penyelesaian Persamaan Matriks tegangan dan ar.....	21
2.9. Perangkat Lunak Pendukung .....	23
2.10. Penelitian Terdahulu .....	25

### **III. METODE PENELITIAN**

3.1. Waktu dan Tempat .....	28
3.2. Alat dan Bahan .....	28
3.3. Tahap Penelitian.....	29
3.4. Diagram Alir Penelitian .....	31
3.5. Pemrograman Berorientasi Object .....	32
3.6. Langkah- Langkah Perhitungan Program .....	33
3.7. Diagram Alir Program .....	43
3.8. Simulasi Program .....	44

### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Pemodelan Sistem .....	46
4.2. Simulasi Dengan Sistem 11 Bus Dengan Beban Tak Seimbang.....	46
4.2.1 Profil Sistem 11 Bus Dengan Beban Tak Setimbang.....	46
4.2.2. Skenario Simulasi Pada Sistem 11 Bus .....	47
4.2.3. Hasil Simulasi Pada Sistem 11 Bus .....	47

4.2.3.1 Hasil Simulasi Perbandingan Profil Tegangan Dengan Model Beban Constan Power Dengan Python 2.7 dan openDSS.....	47
4.2.3.2 Hasil Simulasi Perbandingan Profil Tegangan Dengan Model Beban Constan Power Dengan Python 2.7 dan openDSS.....	55
4.3 Simulasi Dengan Sistem Penyulang Katu GI Menggala 119 Bus dengan Beban tak setimbang.....	60
4.3.1 Profil Sistem Penyulang Katu GI Menggala 119 Bus pada Beban Tak seimbang.....	60
4.3.2 Skenario Simulasi Pada Sistem Penyulang Katu.....	60
4.3.3 Hasil Simulasi Aliran Daya Pada Penyulang Katu GI Menggala 119 Bus Dengan Beban Tak seimbang dan Pemodelan Beban Constant Impedance.....	61
4.4 Simulasi Perbandingan Pemodelan Hubung Delta Dan Hubung Wye Pada Studi Aliran Daya 3 Fasa Penyulang Katu GI Menggala.....	68

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan .....	73
5.2. Saran .....	74

## **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN A**

### **LAMPIRAN B**

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Tabel admitansi n-bus .....	35
Tabel 3.2. Tabel Persamaan Jacobian rectangular tiga fasa.....	41

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Rangkaian Type A Step Voltage Regulator.....	15
2. Gambar 2.2 Posisi SVR tipe A pada sistem distribusi.....	16
3. Gambar 2.3. Rangkaian <i>Type B Step- Voltage Regulator</i> .....	17
4. Gambar 2.4. Posisi SVR tipe B pada sistem distribusi.....	18
5. Gambar 2.5. Step Voltage Regulator Hubung Delta.....	19
6. Gambar 2.6. Diagram sederhana Load Flow Sistem Distribusi.....	21
7. Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	31
8. Gambar 3.2. Struktur Kelas <i>Object-Oriented Programming</i> .....	32
9. Gambar 3.3. Diagram alir program.....	43
10. Gambar 4.1. Profil tegangan fasa A pada sistem 11 bus constant power .....	48
11. Gambar 4.2. Profil tegangan fasa B pada sistem 11 bus constant power.....	49
12. Gambar 4.3. Profil tegangan fasa C pada sistem 11 bus constant power.....	50
13. Gambar 4.4. Nilai rugi- rugi saluran pada sistem 11 Bus dengan model beban constant power.....	52
14. Gambar 4.5. Nilai rugi- rugi saluran	



	pada sistem 11 Bus dengan model beban constant power.....	53
15.	Gambar 4.6. Profil tegangan fasa A pada sistem 11 bus constant impedance.....	54
16.	Gambar 4.7. Profil tegangan fasa B dengan pada sistem 11 bus constant impedance.....	55
17.	Gambar 4.8. Profil tegangan fasa C pada sistem 11 bus constant impedance.....	57
18.	Gambar 4.9. Nilai rugi- rugi saluran pada sistem 11 bus dengan model beban <i>constant</i> <i>impedance</i> .....	58
19.	Gambar 4.10. Nilai rugi- rugi saluran pada sistem 11 bus dengan model beban <i>constant</i> <i>impedance</i> .....	59
20.	Gambar 4.11. Profil tegangan fasa A pada sistem Penyulang Katu <i>constant impedance</i> .....	62
21.	Gambar 4.12. Profil tegangan fasa B pada sistem Penyulang Katu <i>constant impedance</i> .....	63
22.	Gambar 4.13. Profil tegangan fasa C pada sistem Penyulang Katu <i>constant impedance</i> .....	65
23.	Gambar 4.14. Nilai rugi- rugi sistem pada sistem Penyulang Katu dengan model beban <i>constant impedance</i> .....	66
24.	Gambar 4.15. Nilai rugi- rugi daya reaktif pada sistem Penyulang Katu dengan model beban <i>constant impedance</i> .....	67

25.	Gambar 4.16. Profil tegangan fasa A pada sistem Penyulang Katu <i>constant impedance</i> .....	68
26.	Gambar 4.17. Profil tegangan fasa B pada sistem Penyulang Katu <i>constant impedance</i> .....	70
27.	Gambar 4.18. Profil tegangan fasa C pada sistem Penyulang Katu <i>constant impedance</i> .....	71

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi diiringi dengan meningkatnya kebutuhan energi. Kebutuhan energi mendorong produsen listrik memproduksi listrik. Pembangkit adalah produsen listrik. Pembangkit berperan menyuplai Energi secara kontinyu untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Energi listrik yang dihasilkan dikonversikan oleh Transformator ke saluran transmisi. Transformator yang biasa digunakan adalah transformator *Step Up*.

Jaringan distribusi tegangan menengah di Indonesia, memiliki karakteristik pusat beban berjauhan dengan sumber dan antara beban juga saling berjauhan. Kondisi ini mengakibatkan panjangnya saluran distribusi untuk menjangkau pusat beban sehingga terjadi rugi- rugi saluran yang besar. Selain rugi- rugi saluran dampak yang diakibatkan adalah *voltage drop* pada saluran. *Voltage drop* atau Drop tegangan membuat kualitas listrik pada tingkat konsumen menjadi buruk, sebagai contoh salah satu penyulang atau feeder listrik di jaringan distribusi PT PLN (Persero) Distribusi Lampung memiliki panjang saluran hingga 170 km dengan magnitude tegangan menengah sebesar 9 kV. Nilai tegangan lebih kecil dari nilai nominal tegangan menengah yaitu 20 kV

[20]. Kondisi ini menyebabkan tegangan memiliki nilai yang rendah di sisi pelanggan/ beban yaitu berada pada nilai 100-150 volt atau lebih kecil dari nilai nominal jaringan tegangan rendah 380/220 volt.

Provinsi Lampung merupakan salah satu provinsi di Ujung Selatan Pulau Sumatera dan berbatasan dengan Pulau Jawa. Secara Geografis, Provinsi Lampung terletak diantara  $105^{\circ}45'$ - $103^{\circ}48'$  BT dan  $3^{\circ}45'$ - $6^{\circ}45'$  LS dengan luas wilayah  $35.376,50 \text{ km}^2$  dengan beberapa pulau kecil disekelilingnya. Wilayah Provinsi Lampung sendiri merupakan salah satu dari provinsi di Indonesia yang meliputi 14 Kabupaten/ Kota yang terdiri dari 213 Kecamatan dan 2.492 desa. Dalam perhitungan Pemerintah Provinsi Lampung, sampai Februari 2013 jumlah penduduk di Provinsi Lampung sebanyak 9,8 juta jiwa. Provinsi Lampung saat ini dilayani oleh PT PLN (Persero) Distribusi Wilayah Lampung yang meliputi 3 (tiga) area pelayanan, yaitu PLN Area Tanjung Karang, PLN Area Metro dan PLN Area Kotabumi serta dibagi ke dalam 20 rayon.

*Drop* tegangan yang terjadi disebabkan saluran yang terlalu panjang. *Drop* tegangan di area di Lampung berdampak besar bagi pelanggan. Pelanggan kurang bisa menikmati kualitas tegangan di setiap rumah. Di sistem ketenagalistrikan, *drop* tegangan bisa diatasi dengan berbagai cara. Mulai dari membangun pembangkit untuk menambah suplai daya di sisi sumber, memasang kapasitor di titik efisien pada *feeder* yang drop, dan memasang

*voltage regulator* sebagai kompensator tegangan saat terjadi drop tegangan di sisi penerima. *Voltage regulator* yang digunakan adalah *Step Voltage Regulator* tiga fasa dengan variabel hubung belitan dan tap sebagai *autotransformer* pada sistem tenaga.

Pada tugas akhir ini, dilakukan simulasi aliran daya tiga fasa tak seimbang di jaringan distribusi dengan menggunakan Metode Newton Raphson sebagai pembuktian model matematis dari step voltage regulator terhadap perhitungan aliran daya pada jaringan. Kemudian pada perhitungannya, persamaan aliran daya menggunakan bentuk persamaan *rectangular*, untuk mempermudah dalam perhitungannya.

## **1.2. Tujuan**

Tujuan tugas akhir ini yaitu :

1. Untuk Mengetahui fungsi dari Three Phase *Step Voltage Regulator* hubung closed Delta
2. Untuk mengetahui tegangan, sudut tegangan, daya aktif, daya reaktif pada sistem tiga fasa tak seimbang pada Penyulang Katu GI Menggala.
3. Untuk mengetahui kesesuaian hasil program yang dibuat dengan program pembandingan pada berbagai kasus.
4. Untuk mengkompensasi tegangan jatuh pada aliran daya 3 fasa.



### **1.3. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah pada tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana persamaan aliran daya Metode Newton Raphson yang diperoleh dengan menambahkan Three Phase Step Voltage Regulator di bus tertentu.
2. Bagaimana menghitung aliran daya tiga fasa dengan metode Newton Raphson dalam bentuk rectangular.
3. Bagaimana hasil konvergensi yang diperoleh pada simulasi aliran daya tiga fasa pada kondisi tertentu.

### **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada tugas akhir ini yaitu :

1. Penelitian ini hanya membahas aliran daya tiga fasa tak seimbang yang mengalir pada jaringan distribusi.
2. Penelitian hanya menggunakan metode Newton Raphson dalam bentuk rectangular dengan batas error 0.00001
3. Tidak membahas gangguan yang terjadi di sistem tenaga.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari tugas akhir ini yaitu :

1. Dapat memberikan informasi pengaruh penempatan Three Phase Step Voltage Regulator pada aliran daya tiga fasa tak seimbang pada sistem distribusi agar dapat digunakan untuk menyimulasikan sistem tenaga yang

ada di lapangan serta dapat menjadi acuan untuk mengevaluasi dan mengembangkan sistem yang ada.

2. Dapat membantu memahami studi aliran daya di perkuliahan dan praktikum.
3. Dapat dikembangkan oleh mahasiswa yang lain agar dapat lebih menyempurnakan tugas akhir ini.

### **1.6. Hipotesis**

Program yang ini digunakan untuk menghitung aliran daya pada sistem distribusi tiga fasa tak setimbang dengan menempatkan Three Phase Step Voltage Regulator pada saluran distribusi. Dapat ditampilkan berapa besar daya yang dikompensasikan terhadap sistem tenaga listrik. Kemudian terlihat tegangan di tiap – tiap fasa pada saluran dan *feeder* yang *drop*. Pada kasus normal, *Step Voltage Regulator* mampu mengkompensasi tegangan yang jatuh dan menyerap tegangan yang tidak sesuai dengan tegangan nominal pada saluran.

### **1.7. Sistematika Penulisan**

Laporan akhir ini dibagi menjadi lima bab yaitu :

#### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang teori – teori pendukung dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

## **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, metode penelitian yang digunakan, serta pelaksanaan dan pengamatan penelitian.

## **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini berisi hasil pembahasan dari simulasi program. Hasil simulasi ini berupa pembahasan kasus 11 bus dan penyulang Katu GI Menggala. Selain itu membahas hasil simulasi dengan membandingkan Hubung *closed Delta* dan hubung *wye*.

## **BAB V KESIMPULAN**

Bab ini berisi simpulan dari pembahasan yang telah dibahas pada setiap bab

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Studi Aliran Daya

Persamaan jaringan dapat diformulasikan secara matematis dengan berbagai metode. Salah satunya adalah metode tegangan simpul. Metode tegangan simpul (*node-voltage method*) adalah metode yang banyak digunakan pada analisa aliran daya.<sup>[18]</sup> Dalam sistem tenaga, daya lebih familiar dibandingkan dengan arus.<sup>[18]</sup> Dengan demikian, persamaan yang digunakan untuk menganalisanya adalah persamaan aliran daya dengan sifat nonlinier sehingga penyelesaiannya dengan teknik iterasi. Studi aliran daya, sering disebut sebagai aliran beban (*load flow*), pada kondisi ini, aliran daya adalah tulang punggung dari analisis sistem tenaga dan desain sistem tenaga. Studi aliran daya diperlukan untuk perencanaan, pengoperasian, penjadwalan yang ekonomis, dan pertukaran daya antara utilitas yang ada. Selain itu, analisis aliran daya diperlukan untuk menganalisis kasus lain seperti stabilitas transien dan kontingensi studi.<sup>[19]</sup>

Dalam sistem tenaga yang besar, diperlukan studi aliran daya untuk memperhitungkan tegangan yang dihasilkan di semua bus dalam

Sistem tenaga. Beberapa metode yang digunakan pada penyelesaian persamaan aliran daya adalah Metode *Gauss Seidel*, Metode *Newton Raphson*, dan Metode *Fast Decoupled*. Sistem yang terdiri dari banyak busbar, sirkuit, dan generator diselesaikan dalam waktu yang cukup lama dengan akurasi yang sesuai. Meskipun Metode *Gauss-Seidel* dapat digunakan untuk jaringan besar, namun konvergensi yang dihasilkan lambat dan kadang-kadang gagal untuk konvergen. Untuk sistem listrik yang besar, Metode *Newton-Raphson* atau Metode *Fast Decoupled* yang lebih umum digunakan. Kecepatan konvergensi merupakan kelebihan dari kedua metode ini sehingga metode ini sering digunakan dalam skema analisis sistem tenaga.

## 2.2. Jenis – Jenis Bus

Dalam permasalahan aliran daya pada sistem tenaga listrik, variabel – variabel yang ditemukan yaitu tegangan kompleks dan daya kompleks. Pada umumnya, dua variabel diketahui, sementara dua variabel lainnya diselesaikan. Dalam metode *node voltage*, nodal atau bus dalam sistem tenaga dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis:

### 1. PQ Bus atau Bus Beban

Bus beban merupakan bus yang langsung terhubung ke beban. Untuk PQ Bus, daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) ditetapkan sebagai parameter yang diketahui, sedangkan tegangan bus (V) dan sudut fasa (  $\delta$  ) adalah *variable* yang akan diselesaikan. Pada umumnya, bus gardu digunakan sebagai *PQ bus*..<sup>[3]</sup>



## 2. PV bus atau Bus Generator

Bus generator merupakan bus yang memberikan suplai daya di sistem tenaga. Untuk PV bus, daya aktif ( $P$ ) dan besarnya tegangan ( $V$ ) ditentukan sebagai variabel yang diketahui, sedangkan daya reaktif ( $Q$ ) dan sudut fasa ( $\delta$ ) menjadi variabel yang akan diselesaikan. PV bus memiliki daya reaktif yang dapat dikontrol sehingga mampu mempertahankan tegangan pada nilai yang diinginkan. Secara umum, bus dari pembangkit listrik digunakan sebagai PV bus dengan generator sebagai sumber pembangkitannya. Selain itu generator mengontrol besaran daya aktif dan reaktif yang dibutuhkan untuk kestabilan aliran daya.<sup>[3]</sup>

## 3. Slack Bus

Dalam studi aliran daya, ditentukan bus utama yang difungsikan sebagai *swing bus* dalam sistem tenaga. Tegangan ( $V$ ) dan sudut fasa ( $\delta$ ) diberikan sebagai variabel yang diketahui di *slack bus*, sedangkan daya aktif ( $P$ ) dan daya reaktif ( $Q$ ) adalah variabel yang akan diselesaikan.<sup>[3]</sup>

### 2.3. Sistem pu

Sistem per-unit (pu) adalah perbandingan nilai yang sebenarnya dengan nilai acuan (base value). Pada studi aliran daya, sistem per-unit (pu) biasa digunakan sebagai satuan pada sistem tenaga. Sistem per-unit (pu) mempermudah kita dalam proses perhitungan dan menganalisis sistem tenaga. Peralatan sistem tenaga yang berbeda-beda akan memiliki orde yang sama meskipun memiliki tegangan dan daya yang berbeda-beda apabila diubah kedalam satuan per-unit (pu). Pada persamaan (1) besaran per-unit adalah nilai sebenarnya per nilai acuan yang ditetapkan.<sup>[19]</sup>

$$\text{Besaran per – unit} = \frac{\text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai acuan}} \quad (1)$$

### 2.4. Metode *Newton Raphson*

Metode yang paling banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan aljabar nonlinier simultan adalah metode *Newton Raphson*. Bila dibandingkan dengan metode *Gauss Seidel*, metode pertama yang populer digunakan dalam perhitungan load flow, metode *Newton Raphson* memiliki karakteristik konvergensi yang lebih cepat. Metode *Newton Rapshon* memiliki waktu yang lebih cepat dan iterasi yang lebih sedikit dibandingkan metode *Gauss Seidel*.

Langkah pertama dalam menyelesaikan persamaan aliran daya yaitu membentuk matrik admitansi bus ( $Y$  bus). Rumus menghitung admitansi bus ditunjukkan pada persamaan (2).<sup>[18]</sup>

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (2)$$

Keterangan:

$y_{ij}$  : admitansi saluran dari bus i ke bus j

$z_{ij}$  : impedansi saluran dari bus i ke bus j

$r_{ij}$  : resistansi saluran dari bus i ke bus j

$jx_{ij}$  : reaktansi saluran dari bus i ke bus j

Setelah menghitung admitansi bus, nilai admitansi di konversikan ke model *rectangular* pada persamaan (4) selanjutnya membuat persamaan arus yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$I_i = \sum_{j \in i}^n V_i \cdot Y_{ij} \quad (3)$$

Dimana :

$$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \quad (4)$$

Keterangan:

$I_i$  : Arus yang mengalir dari bus i

$V_i$  : Tegangan di bus i

$Y_{ij}$  : admitansi saluran antara bus i dan bus j

Seperti pada persamaan (4), yaitu bentuk *rectangular* dari admitansi, pada persamaan (5) merupakan bentuk *rectangular* dari tegangan.

$$V_i = e_i + jf_i \quad (5)$$

Keterangan:

$V_i$  : tegangan pada bus i

$(e_i + jf_i)$  : Komponen *rectangular* tegangan

Setelah didapatkan persamaan (3) dan (5), selanjutnya dimasukan ke persamaan aliran daya. Persamaan (6) adalah persamaan aliran daya.

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (6)$$

$$S_i = V_i \sum_{j \in i} (V_j \cdot Y_{ij})^* \quad (7)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{j \in i} (G_{ij} - j \cdot B_{ij})(e_i - jf_i) \quad (8)$$

Persamaan (7) dan (8) merupakan hasil substitusi persamaan (3) dan (5) ke persamaan (6) pada perhitungan daya.

Keterangan:

$S_i$  : Kapasitas pada bus i

$P_i$  : Daya aktif pada bus i

$jQ_i$  : Daya reaktif pada bus i

$(G_{ij} - j \cdot B_{ij})$ : Komponen *rectangular* pada admitansi saluran

Setelah menghitung persamaan aliran daya pada persamaan (8), dilakukan hasil pemecahan persamaan (8) ke dalam 2 persamaan yaitu persamaan daya aktif dan daya reaktif.

Daya aktif ditunjukkan pada persamaan (9) dan persamaan (10)

$$P_i^{rect} = e_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) + f_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (9)$$

$$Q_i^{rect} = f_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) - e_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (10)$$

Keterangan:

$P_i^{rect}$  : Daya aktif pada bus i dengan komponen rectangular

$Q_i^{rect}$  : Daya reaktif pada bus i dengan komponen rectangular

## 2.5. Step Voltage Regulator

*Step voltage regulator* adalah salah satu contoh peralatan perbaikan tegangan yang digunakan dalam sistem distribusi. Regulator tegangan adalah perangkat yang menjaga tegangan distribusi tetap pada nilai tegangan nominal. Regulator tegangan digunakan oleh perusahaan listrik untuk meminimalkan drop tegangan serta memastikan tegangan sampai kepada pelanggan. *Drop* tegangan merupakan penurunan tegangan nominal dengan nilai dibawah tegangan minimalnya. *Drop* tegangan mengakibatkan penurunan kualitas tegangan pada ujung saluran sehingga nilai tegangan tidak sesuai dengan nilai nominalnya. Untuk meminimalisir *drop* tegangan, maka diperlukan peralatan pengatur tegangan, yaitu *Step Voltage Regulator*.

*Step voltage regulator* (SVR) berfungsi mengkompensasi *drop* tegangan dengan injeksi daya ke dalam saluran. SVR digunakan untuk meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran pada distribusi jaringan tegangan menengah. Dari sisi peralatan, konstruksi SVR dibuat dalam bentuk tabung setipe *autotransformer* yang setiap tabungnya mewakili satu fasa *step voltage regulator*. Karena sistem distribusi terdiri dari 3 kawat fasa, maka digunakan 3 buah tabung *Step Voltage Regulator* (SVR) dengan berbagai kombinasi hubungannya. Ada hubung delta tertutup (*Closed Delta*), delta terbuka (*Open Delta*) dan hubung *Wye*. *Step voltage regulator* (SVR) memiliki kapasitas 500- 2000 kVA. <sup>[5]</sup>

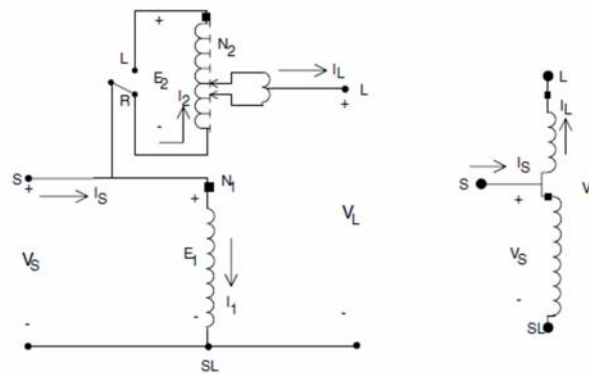
### **2.5.1. Fungsi *Step Voltage Regulator* (SVR)**

*Step voltage regulator* menggunakan mekanisme *autotransformer* dan *load tap changer* dimana tegangan berubah sesuai penempatan tap pada kumparan SVR. Posisi tap dikontrol oleh *line compensator* yang fungsinya mengkompensasi tegangan yang dibutuhkan untuk menstabilkan sistem tenaga listrik pada jaringan distribusi. Selain mengkompensasi tegangan, SVR menginjeksi daya pada bus yang mengalami *drop* tegangan. Standar *step voltage regulator* sesuai dengan ketentuan  $\pm 10-15\%$  dari batasan regulator dan terdiri dari 32 *step* ( 16 posisi *raise* dan 16 posisi *lower* ). Nilai perubahan setiap *step* sama dengan  $5/8\%$  dan  $10/16\%$  atau 0,125 kV dalam tegangan nominal 20 kV. <sup>[17]</sup>

### 2.5.2. Jenis- Jenis *Step Voltage Regulator (SVR)*

Secara umum, SVR diklasifikasikan menjadi 2 Tipe. Tipe A dan tipe B.

Gambar 2.1 merupakan rangkaian sederhana voltage regulator tipe A.



Gambar 2.1 Rangkaian *Type A Step- Voltage Regulator*<sup>[13]</sup>

Keterangan gambar:

$V_s$  : Tegangan yang terukur dari sumber ( V source)

$V_L$ : Tegangan yang terukur pada line keluaran dari komponen SVR

$I_s$  : Arus dari sumber sebelum masuk ke komponen SVR

L : switch *lower condition* atau posisi lower

R : switch *raise condition* atau posisi raise

$E_1$  : GGL (gaya gerak listrik) pada belitan primer

$E_2$  : GGL (gaya gerak listrik) pada belitan sekunder

$N_1$  : Jumlah belitan pada sisi primer

$N_2$  : Jumlah belitan pada sisi sekunder

Berikut penjelasan tentang *Step Voltage Regulator* tipe A dan B

❖ *Step voltage regulator* tipe A

Tipe A *Step voltage regulator* adalah jenis yang digunakan pada area domestik sesuai asal produsen yang menggunakan frekuensi 60 Hz. Tipe A SVR mengkompensasi *drop* tegangan pada sisi penerima. *Step voltage regulator* terdiri dari *raise step* dan *lower step*. Gambar 2.2 merupakan model sederhana hubungan SVR terhadap saluran. Pada tipe A, posisi dari belitan seri dan belitan shunt berada di sisi sekunder atau pada posisi penerima.



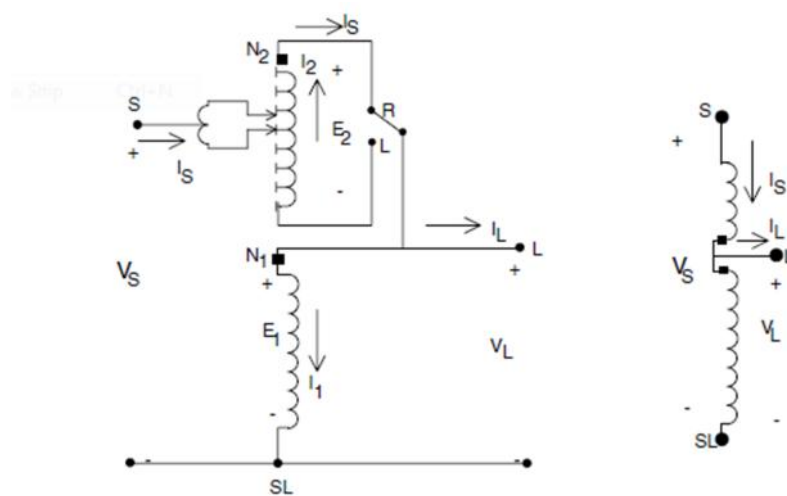
Gambar 2.2 Posisi SVR tipe A pada sistem distribusi

*Type A Step- Voltage Regulator* atau pada gambar 2.2, letak SVR berada pada ujung saluran, fungsinya adalah memberikan tegangan ketika terjadi drop pada saluran sebelumnya



### ***Type B Step- Voltage Regulator***

Gambar 2.3 merupakan rangkaian sederhana dari SVR dengan tipe B. Perbedaan yang signifikan adalah arah  $I_2$  pada tap di belitan SVR. Yang berbeda dengan tipe A.



Gambar 2.3 Rangkaian *Type B Step- Voltage Regulator*<sup>[13]</sup>

Keterangan gambar:

$V_s$  : Tegangan yang terukur dari sumber ( *V source* )

$V_L$  : Tegangan yang terukur pada line keluaran dari komponen SVR

$I_s$  : Arus dari sumber sebelum masuk ke komponen SVR

L : *Switch lower condition* atau posisi *lower*

R : *Switch raise condition* atau posisi *raise*

$E_1$  : GGL (gaya gerak listrik) pada belitan primer

$E_2$  : GGL (gaya gerak listrik) pada belitan sekunder

$N_1$  : Jumlah belitan pada sisi primer

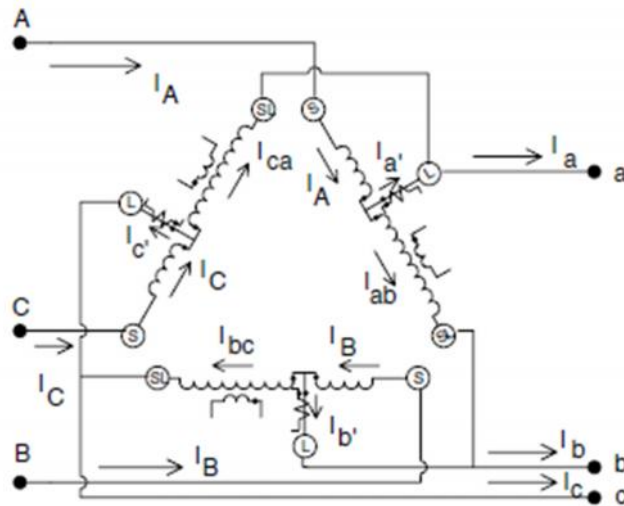
Rangkaian Gambar 2.3 menggambarkan rangkaian sederhana SVR dari belitan, arah arus dan simpul tegangan, tetapi pada gambar 2.4 digambarkan model sederhana ketika SVR dihubungkan ke saluran.



Gambar 2.4 Posisi SVR tipe B pada sistem distribusi

SVR dengan tipe B digunakan oleh sistem tenaga di dunia. <sup>[13]</sup> SVR dengan tipe B memiliki frekuensi 50 Hz. Frekuensi ini digunakan di sistem tenaga umumnya. SVR memiliki posisi *step*, *raise step* dan *lower step*. SVR tipe B, menaikkan dan menurunkan tegangan untuk menstabilkan tegangan yang ada pada saluran. Komponen SVR memiliki trafo arus sebagai alat ukur dan mendeteksi arus di saluran. Saat tegangan di saluran  $> 20\text{kV}$ , maka SVR akan menaikkan tegangan dengan pergeseran nilai tap *raise position*. Ketika tegangan kembali normal, tap kembali pada posisi normal. Begitu juga sebaliknya, saat tegangan  $< 20\text{kV}$ , maka SVR akan menurunkan tegangan dari sisi sumber dengan pergeseran nilai tap (*lower position*). Dan saat tegangan kembali normal, tap kembali pada posisi normal. Hubung SVR yang digunakan pada penelitian ini adalah SVR dengan tipe B dengan hubungan delta (*closed delta connected*).

*Step Voltage Regulator* (SVR) hubung delta merupakan kombinasi hubung dari 3 perangkat SVR 1 fasa, menjadi hubung 3 fasa Gambar 2.5 adalah rangkaian *Step Voltage Regulator* (SVR) hubung *Close Delta*



Gambar 2.5 *Step Voltage Regulator* Hubung *Close Delta* <sup>[13]</sup>

Keterangan gambar:

$I_{A,B,C}$  : Arus yang mengalir dari tiap fasa sebelum SVR

$I_{a',b',c'}$  : Arus yang dipengaruhi tap SVR pada fasa tiap fasa

$I_{ab,bc,ca}$  : Arus yang saling mempengaruhi pada tiap fasa

Hubung delta merupakan hubung sistem tanpa pentanahan atau netral pada saluran. *Closed Delta* mengurangi dan menghindari SVR terkena gangguan satu fasa atau 3 fasa ke tanah, sehingga saat bekerja, SVR memiliki *autotransformator* yang tidak dihubungkan ke tanah.

## 2.6. Pemodelan SVR

SVR dimodelkan dengan persamaan matriks. Persamaan matriks digunakan untuk mempermudah perhitungan pada program. SVR memiliki 2 model persamaan matematis yang digunakan untuk perhitungan persamaan aliran daya. Persamaannya yaitu Persamaan tegangan dan persamaan arus. Persamaan (12) merupakan persamaan tegangan dan persamaan (13) merupakan persamaan arus<sup>[13]</sup>

$$\begin{bmatrix} V_{AB} \\ V_{BC} \\ V_{CA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{RAB} & 1 - a_{RBC} & 0 \\ 0 & a_{RBC} & 1 - a_{RCA} \\ 1 - a_{RAB} & 0 & a_{RCA} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{RAB} & 0 & 0 \\ 1 - a_{RAB} & a_{RBC} & 1 - a_{RCA} \\ 0 & 1 - a_{RBC} & a_{RCA} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

Keterangan:

$V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$  = Tegangan yang berasal dari sumber.

$V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$  = Tegangan keluaran dari SVR .

$I_A, I_B, I_C$  = Arus sumber yang masuk ke SVR, sedangkan

$I_a, I_b, I_c$  = Arus keluaran dari SVR

## 2.7. Diagram Sistem Distribusi

Sistem distribusi dimodelkan dengan *node* sumber dan keluaran.  $Y_L$  merupakan model admitansi saluran. Gambar 2.6 merupakan gambar arah aliran daya pada sistem distribusi.



Gambar 2.6 Diagram sederhana Load Flow Sistem Distribusi<sup>[13]</sup>

Pada diagram,  $I_{Labc}$  adalah arus yang mengalir menuju saluran.  $Y_L$  merupakan admitansi saluran, sehingga  $I_{La}$  adalah arus yang mengalir dari sumber ke ujung saluran dan  $I_{LCabc}$  adalah pengaruh admitansi saluran terhadap arah arus dari ujung saluran (Beban).

## 2.8. Penyelesaian Persamaan Matrix Tegangan Dan Arus

Dalam penyelesaian perhitungan aliran daya dengan penambahan komponen SVR, perlu disubstitusikan persamaan tegangan (12) terhadap persamaan arus.(13) Hal ini dilakukan untuk menemukan persamaan aliran daya. Persamaan (14) merupakan penyederhanaan dari Persamaan (12), dan persamaan (15) merupakan penyederhanaan dari persamaan (13).<sup>[13]</sup>

$$V_L = C V_S \quad (14)$$

$$I_L = D I_S \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} I_L \\ I_{LC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_L & -Y_L \\ -Y_L & Y_L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_L \\ V_{LC} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} I_S \\ I_{LC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_L & -Y_L \\ -Y_L & Y_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ V_{LC} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Keterangan:

$V_L$ : Matriks Tegangan *Line to line*

$I_L$  : Matriks Arus pada tiap fasa

$V_s$  : Matriks Tegangan pada sisi sumber

$I_s$  : Matriks Arus dari sumber

$D$  : Matriks Tap pada persamaan arus

$C$  : Matriks Tap pada persamaan tegangan

$Y_L$  : Matriks admitansi saluran

Persamaan (16) dan (17) merupakan substitusi dari kedua persamaan yaitu persamaan tegangan dan persamaan arus. Arus yang mengalir dari SVR ke saluran dan beban sama dengan admitansi saluran dikali dengan tegangan keluaran dari SVR (disebut tegangan sumber pada saluran). Arus yang diakibatkan admitansi saluran dari sisi beban ke sumber

berasal dari hasil perkalian admitansi saluran dengan tegangan di sisi beban

## 2.9. Perangkat Lunak Pendukung

Pada tugas akhir ini, perangkat lunak yang mendukung adalah UnilaPF. UnilaPF merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk perhitungan aliran daya listrik yang berbasis pemrograman *python 2.7*. *Python* adalah bahasa pemrograman interpretatif multiguna dengan filosofi perancangan yang berfokus pada tingkat keterbacaan kode. Perangkat lunak python dapat diperoleh secara bebas dan tidak berbayar. Perangkat lunak python memungkinkan pengguna untuk membuat dan memodifikasi kode secara bebas. Beberapa fitur – fitur perangkat lunak python diantaranya yaitu :

1. Memiliki kepustakaan yang luas
2. Memiliki aturan layout kode sumber yang memudahkan pengecekan, pembacaan kembali, dan penulisan ulang kode sumber
3. Berorientasi Obyek
4. Dapat membuat banyak kasus untuk kode yang telah dibuat

Pemrograman berorientasi obyek (*object-oriented programming* disingkat *OOP*) merupakan paradigma pemrograman yang berorientasikan kepada obyek. Pemrograman berorientasi obyek adalah jenis pemrograman di mana programmer mendefinisikan tidak hanya tipe data dari sebuah struktur data, saja tetapi juga jenis operasi (fungsi) yang dapat diterapkan pada struktur data. Dengan cara ini, struktur data menjadi obyek yang meliputi data dan

fungsi. Selain itu, pemrogram dapat membuat hubungan antara satu benda danlainnya. Sebagai contoh, obyek dapat mewarisi karakteristik dari obyek lain. Salah satu keuntungan utama dari teknik pemrograman berorientasi obyek adalah bahwa memungkinkan programmer untuk membuat modul yang tidak perlu diubah ketika sebuah jenis baru obyek ditambahkan. Seorang pemrogram hanya dapat membuat obyek baru yang mewarisi banyak fitur dari obyek yang sudah ada. Hal ini membuat program *object-oriented* lebih mudah untuk memodifikasi

UnilaPF secara struktur dibuat untuk menghitung aliran daya dan beberapa problem dalam dunia kelistrikan. Pada konteks ini, perlu adanya simulasi mengenai hasil aliran daya yang didapat ketika terjadi penambahan SVR pada sistem distribusi. Untuk itu perlu digunakan UnilaPF. Selain mampu menghitung aliran daya, UnilaPF juga memiliki kode kode yang lebih mudah sehingga dapat dikembangkan dengan mudah. Selain UnilaPF, *OpenDSS juga digunakan* sebagai program pembanding dari UnilaPF.

OpenDSS merupakan perangkat lunak pemrograman yang dibuat oleh Electric Power Research Institute (EPRI) perangkat lunak mampu menghitung aliran daya. Selain menghitung, openDSS juga memiliki *Interface* yang lebih baik dibanding UnilaPF. OpenDSS merupakan perangkat lunak yang sudah diakui di internasional terkhusus pada sistem distribusi. Oleh karena itu, tidak hanya UnilaPF sebagai perangkat lunak



perhitungannya, perlu juga menambah pembanding agar hasil yang didapat bisa lebih valid.

UnilaPF atau Universitas Lampung Power Flow terkhususnya Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik digagas oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung<sup>19</sup>

## **2.10. Penelitian Terdahulu**

Penelitian tentang *Step Voltage Regulator* ini sebelumnya pernah dibahas oleh William H. Kersting (*Distribution System Modelling and analysis, 2001*), kemudian oleh Mancheol Lim, Chulwoo Park, Jaesung Jung, Kernjoong Kim dan Seongmin So dalam paper (“*Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulator and Their Applications*”, 2013) dan oleh Rahardjo dalam paper (“*Justification on the Application of Automatic Voltage Regulator and Capacitor on Long Medium Voltage Distribution Feeders*”, 2002, *IEEE*). Maka pada kesempatan ini, peneliti akan melakukan penelitian tentang “*Studi Aliran Daya Tiga Fasa Dengan Penempatan Step Voltage Regulator Hubung Closed Delta Pada Penyulang Katu GI Menggala*”. Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan SVR pada program aliran daya UnilaPF yang menggunakan software Python yang sebelumnya telah dimulai oleh Muhamad Wahidi, S.T dengan judul “*Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang Pada Penyulang Kangkung PT PLN (Persero) Distribusi Lampung*”, 2014.

Dalam buku yang ditulis oleh William H. Kersting dipaparkan mengenai penjelasan *Step Voltage Regulator* dengan 2 tipe yaitu tipe A dan tipe B. Pada penelitian yang berkaitan, semua penulis mengacu pada referensi paper dan bersumber dari penelitian yang sudah dilakukan oleh William H. Kersting.

Di Dalam paper “ *Nodal Admittance Modelling of Three Phase Step Voltage Regulators and Their Application*, dimodelkan voltage regulator di dalam hubungan 1 fasa dan 3 fasa. Kemudian di dalam paper menjabarkan hubung yang bisa digunakan sebagai aplikasi dalam sistem distribusi yaitu hubung *delta*, *wye*, dan *open delta*. Di dalam paper di penelitian ini, peneliti menggunakan model *Step Voltage Regulator* dengan tipe B dan dalam posisi raise. Peneliti meneliti tipe B dikarenakan secara internasional dan umumnya, sistem ketenagalistrikan menggunakan frekuensi 50 Hz dengan penempatan *Step Voltage Regulator* mendekati sumber tenaga.

Kemudian penelitian pada tahun 2016 oleh Binsar Daniel Sandi yang berjudul “Studi Pemasangan Step Voltage Regulator Dengan Model Injeksi Daya Pada Jaringan Menengah 20 KV Penyulang Katu GI Menggala PT PLN (Persero) Distribusi Lampung, menjelaskan pengaruh penempatan *Step Voltage Regulator* terhadap aliran daya nya. Penggunaan

tap posisi raise untuk mengkompensasi tegangan dan tap posisi lower untuk mengurangi kelebihan daya pada sistem distribusi. Selain posisi tap, dijelaskan pengaruh nilai dari tap terhadap tegangan yang dikompensasi. Tugas akhir yang dilakukan sebelumnya oleh Binsar Daniel Sandi hanya mampu memodelkan kasus satu fasa *step voltage regulator*. Pada kondisi nyata, aliran daya yang dihitung adalah aliran daya tiga fasa. Sehingga perlu dilakukan pengembangan dari tugas akhir. Dengan membuat model tiga fasa pada perhitungan aliran daya diharapkan mampu mengatasi tidak hanya perhitungan aliran daya tetapi berbagai kasus gangguan tiga fasa dalam pengembangannya.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat**

Tugas akhir ini dilaksanakan pada bulan Desember 2015 – April 2016 di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE), Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.

#### **3.2. Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu :

1. Satu Unit Laptop dengan spesifikasi Intel Pentium, prosesor 2.13 GHz, dan sistem operasi Windows 7 Ultimate 32 bit sebagai media perancangan dan pengujian simulasi.
2. Perangkat Lunak *Python 2.7.9* sebagai perangkat lunak utama untuk perancangan dan perhitungan.
3. Perangkat Lunak *OpenDSS* sebagai alat bantu untuk membandingkan perhitungan pada program utama.
4. Data – data bus pembangkit, bus beban, serta diagram penyulang Katu pada PLN GI Menggala

### 3.3. Tahapan Tugas Akhir

Tahapan atau sistematika yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir yaitu ini adalah :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu mempelajari materi yang berkaitan dengan tugas akhir. Materi berasal dari berbagai referensi atau sumber – sumber ilmiah lainnya seperti jurnal ilmiah, skripsi – skripsi, buku – buku yang terkait dengan tugas akhir, serta website resmi terkait perangkat lunak yang digunakan.

#### 2. Studi Bimbingan

Penulis juga melakukan studi bimbingan yaitu dengan cara berdiskusi dan tanya jawab dengan dosen pembimbing guna menambah wawasan dan menyelesaikan kendala yang terjadi saat melaksanakan tugas akhir.

#### 3. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pada tahap ini, penulis melakukan pengambilan data yang akan diolah dan dianalisa menggunakan perangkat lunak. Data yang akan digunakan yaitu :

1. Data beban tiap fasa di trafo distribusi pada GI Menggala.
2. Data *One-line* diagram sistem distribusi 20 KV pada GI Menggala.

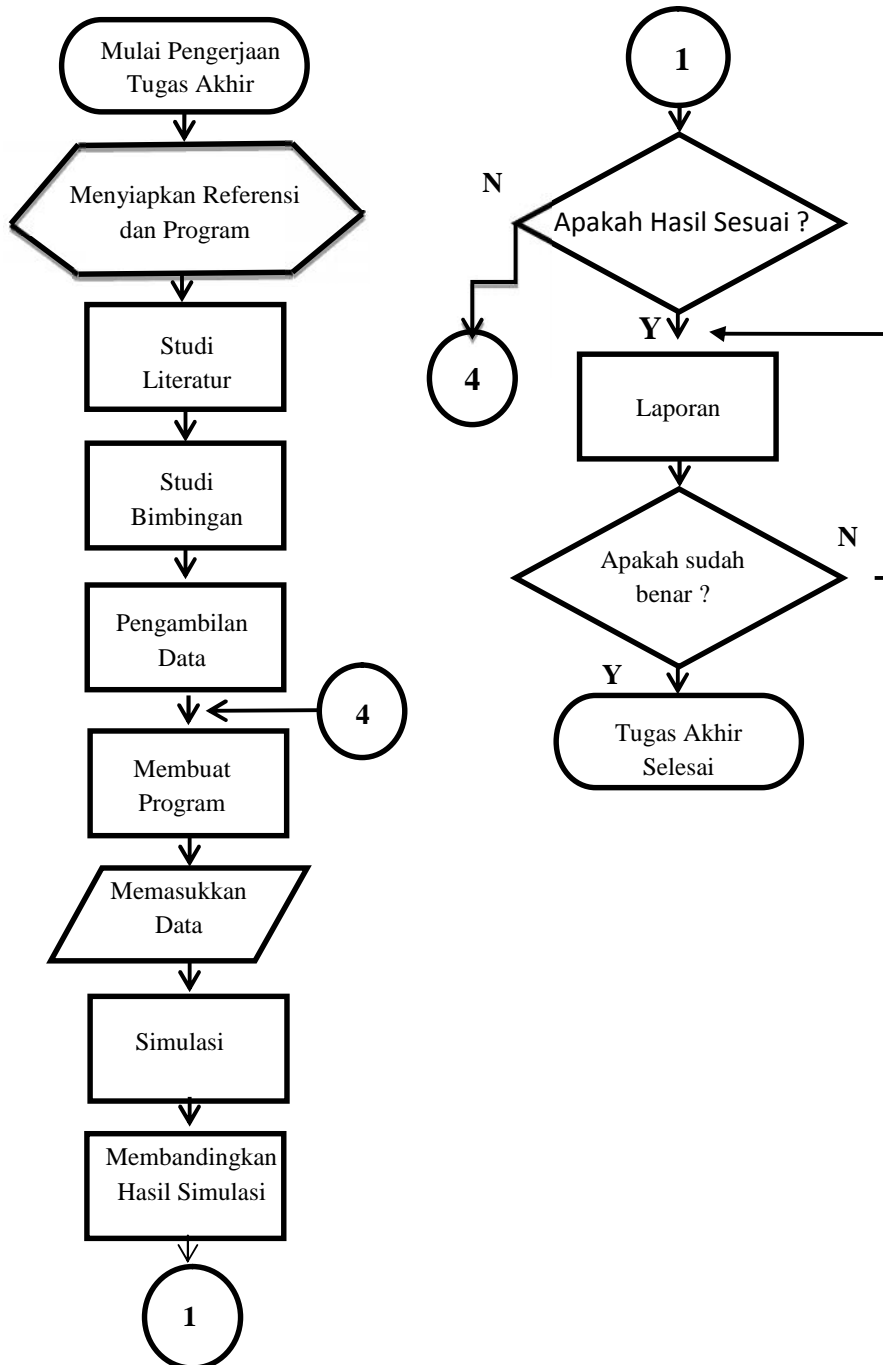
Kemudian data akan diolah dalam dua tahap, yaitu diolah menggunakan program utama. Kemudian hasil pengolahan data akan dibandingkan dengan program pembanding untuk menunjukkan kesesuaian antara program yang dibuat dengan program yang sudah ada.

#### 4. Pembuatan Laporan

Tahap ini berfungsi untuk menuliskan hasil yang telah didapat dan sebagai sarana pertanggung jawaban terhadap tugas akhir yang dilakukan. Laporan dibagi kedalam dua tahap, yaitu laporan awal yang digunakan untuk seminar usul dan laporan akhir yang digunakan untuk seminar hasil.

### 3.4. Diagram Alir Tugas Akhir

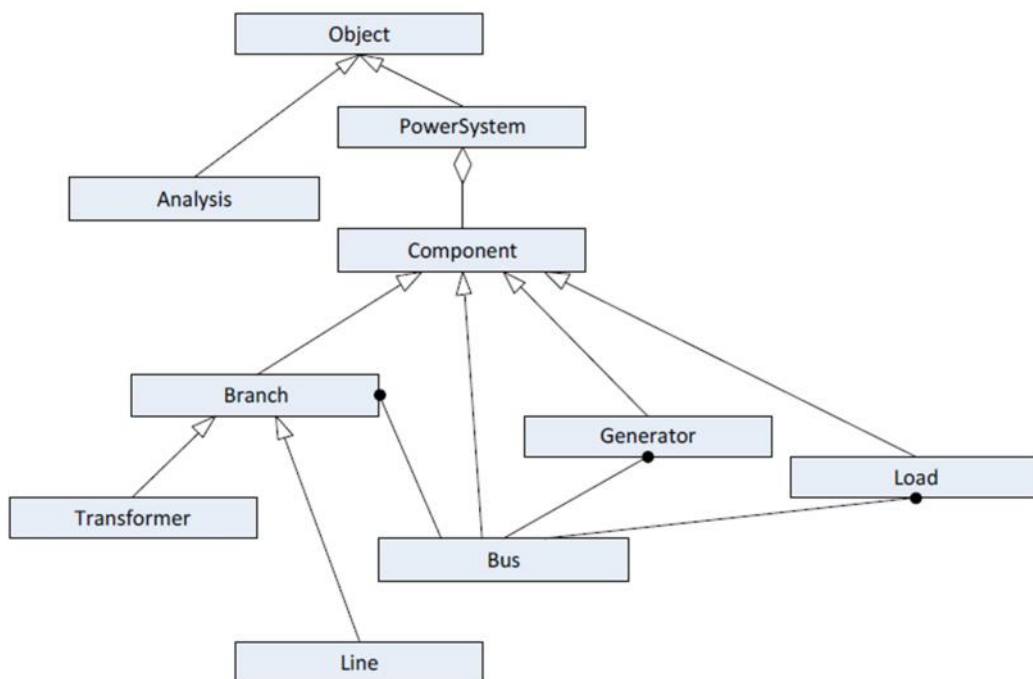
Adapun diagram alir dari tugas akhir ini;



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

### 3.5. Pemrograman Berorientasi Obyek (*Object-Oriented Programming*)

Pada studi aliran daya, semua model sistem dinyatakan dalam keadaan steady-state. Pemrograman berorientasi obyek adalah pendekatan program yang memberikan kemudahan dalam menyatakan obyek, sehingga dapat memberi keleluasaan untuk memodifikasi. Format data yang digunakan pada penelitian ini berupa format teks. Data – data yang digunakan diantaranya data bus, data beban, dan data line. Gambar 3.2 merupakan struktur kelas *object-oriented programming*. Gambar 3.2 kelas- kelas objek yang dimasukan secara berkaitan untuk mengolah data secara bertahap dan dihitung oleh solver sehingga didapatkan object yang diinginkan. <sup>[15]</sup>



Gambar 3.2 Struktur Kelas *Object-Oriented Programming*<sup>[15]</sup>



Secara detail gambar 3.2 adalah Kelas – kelas yang terdapat pada program ;

#### 1. Kelas Power system

Kelas Power System merupakan kelas yang berisikan pembacaan format data yang ada. Kemudian dilaksanakan proses pengolahan data. Seluruh data disetiap komponen akan dipanggil oleh kelas power system dan kemudian diolah kedalam fungsi.

#### 2. Kelas Analysis

Kelas Analysis adalah kelas yang berisikan rumus – rumus aliran daya tiga fasa tak seimbang. Mulai membuat matriks admitansi, menghitung nilai mismatch, membuat matriks Jacobian , serta menyelesaikan persamaan matriks dari rumus – rumus. Di kelas ini juga terjadi proses iterasi yang terus dilakukan hingga nilai yang diperoleh sudah konvergen, yaitu nilainya lebih kecil dari nilai mismatch yang telah ditetapkan. Di kelas ini juga ditunjukkan hasil yang didapat, yaitu berupa besarnya tegangan dan sudut fasa pada tiap bus dan besarnya daya aktif dan daya reaktif.

### **3.6. Langkah - langkah Perhitungan Program**

Langkah – langkah yang dilakukan pada Tugas Akhir tentang perhitungan aliran daya tiga fasa tak seimbang ini yaitu :

1. Memasukkan data yang ada ke dalam proses analisis
2. Membentuk Matriks admitansi bus ( $Y_{abc}$ )

Dalam perhitungan studi aliran daya, matriks admitansi diperoleh dari besarnya hambatan pada saluran. Pada sistem tiga fasa terdapat tiga buah variabel yaitu A menunjukkan fasa A, B menunjukkan fasa B, dan C menunjukkan fasa C. Sehingga persamaan matriks impedansi jaringan 3 fasa yang saling terhubung antara bus i dan j adalah ditunjukkan oleh persamaan (18).<sup>[19]</sup>

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Keterangan

$Z_{abc}$  : impedansi saluran dari setiap fasa

$Z_{aa}, Z_{bb}, Z_{cc}$  : impedansi fasa sendiri.

$Z_{ab}, Z_{ac}, Z_{ba}, Z_{bc}, Z_{ca}, Z_{cb}$  : bentuk impedansi fasa bersama.

Dari persamaan (18), kemudian dihitung admitansi saluran. Cara menghitungnya yaitu dengan membuat matriks admitansi urutan nol, positif dan negatif menjadi bentuk admitansi saluran per fasa, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (19). Dan nilai matriks admitansi bus per fasa di sistem tiga fasa tak seimbang yaitu :

$$\begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{aa} & Y_{aa} \\ Y_{aa} & Y_{aa} & Y_{aa} \\ Y_{aa} & Y_{aa} & Y_{aa} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} y_p & y_q & y_r \\ y_r & y_p & y_q \\ y_q & y_r & y_p \end{bmatrix} \quad (19)$$

Dimana :

$$y_p = (y_0 + y_1 + y_2) \quad (20)$$

$$y_q = (y_0 + a \cdot y_1 + a^2 \cdot y_2) \quad (21)$$

$$y_r = (y_0 + a^2 \cdot y_1 + a \cdot y_2) \quad (22)$$

Keterangan:

$y_0$  : admitansi saluran pada urutan nol

$y_1$  : admitansi saluran pada urutan positif

$y_2$  : admitansi saluran pada urutan negatif

$y_p, y_q, y_r$  : admitansi pada tiap fasa

Dari perhitungan admitansi urutan pada persamaan (20), (21), dan (22) maka didapat admitansi per fasa yang ditunjukkan ke dalam tabel 3.1 yaitu tabel admitansi dengan n bus. Sehingga nilai admitansi untuk n bus pada tabel 3.1 adalah sebagai berikut :

Tabel 3 1. Tabel admitansi n-bus

BUS FASA		Bus j		
		Fasa a	Fasa b	Fasa c
Bus i	Fasa a	$Y_{ij}^{aa}$	$Y_{ij}^{ab}$	$Y_{ij}^{ac}$
	Fasa b	$Y_{ij}^{ba}$	$Y_{ij}^{bb}$	$Y_{ij}^{bc}$
	Fasa c	$Y_{ij}^{ca}$	$Y_{ij}^{cb}$	$Y_{ij}^{cc}$

### 3. Menentukan Nilai Awal Tegangan $e^{(0)}$ dan $f^{(0)}$ .

Nilai tegangan awal merupakan nilai yang digunakan pada slack bus dan bus beban (PQ) dan diasumsikan sebagai nilai tegangan awal, yang ditunjukkan oleh gambar (23) <sup>[18]</sup>:

$$|V_i^{abc}| \angle \theta^{abc} = 1 \ 0^\circ \quad (23)$$

Keterangan :

$V_i^{abc}$  : Tegangan pada bus i komponen polar

$\theta^{abc}$  : Sudut tegangan bus i pada fasa A, B, C dengan komponen polar

Persamaan (23) diubah ke dalam bentuk *rectangular* untuk mempermudah dalam proses perhitungan. Bila diubah kedalam bentuk *rectangular* maka persamaanya adalah seperti persamaan (24).

$$e_i^{abc} + jf_i^{abc} = 1 + j0 \quad (24)$$

### 4. Menentukan Iterasi $n = 0$

Penentuan iterasi awal diperlukan untuk proses perhitungan awal sebelum dilakukan mismatch.

5. Menghitung Mismatch(  $P_i^{abc}$ ,  $Q_i^{abc}$ ,  $V_i^{abc}$ )

Didapat persamaan (23) dan (24), Dihitung nilai mismatch nya. Penentuannya dengan menghitung Nilai selisih daya aktif (  $P_i^{abc}$  ) ditunjukkan oleh persamaan (25) dan (26) :

$$P_i^{abc} = P_{ispec}^{abc} - P_{inj}^{abc} \quad (25)$$

$$P_i^{abc} = P_{gen}^{abc} - P_{load}^{abc} - P_{inj}^{abc} \quad (26)$$

Keterangan:

$\Delta P_i^{abc}$  : Selisih daya aktif fasa A, B, C

$P_{ispec}^{abc}$  : Daya aktif pada fasa A, B, C

$P_{inj}^{abc}$  : Daya aktif yang diinjeksikan pada fasa A, B, C

$P_{gen}^{abc}$  : Daya aktif yang berasal dari pembangkit

$P_{load}^{abc}$  : Beban daya aktif pada fasa A,B,C

Selisih daya aktif sama dengan daya aktif dikurangi daya aktif yang diinjeksikan terlihat pada persamaan (25) dan (26). Sedangkan Pload dan P inj itu sendiri berasal dari persamaan (27) dan (28) di bawah ini.

Dimana :

$$P_{load}^{abc} = \left( P_{Lo} \left( a \left( (e_i^{abc})^2 + (f_i^{abc})^2 \right) + b \left( (e_i^{abc})^2 + (f_i^{abc})^2 \right)^{\frac{1}{2}} + c \right) \right) \quad (27)$$

$$P_{inj}^{abc} = (e_i^{abc} \sum_{j,i} (G_{ij}^{abc} e_j^{abc} - B_{ij}^{abc} f_j^{abc}) + f_i^{abc} \sum_{j,i} (G_{ij}^{abc} f_j^{abc} + B_{ij}^{abc} e_j^{abc})) \quad (28)$$

Keterangan:

$P_{load}^{abc}$  : Beban daya aktif pada fasa A,B,C

$P_{inj}^{abc}$  : Daya aktif yang diinjeksikan pada fasa A, B, C

Kemudian dihitung selisih daya reaktif sebagai perhitungan mismatchnya, seperti ditunjukkan pada persamaan (29) dan (30). Persamaan nilai selisih daya reaktif ( $Q_i^{abc}$ ) ditunjukkan oleh persamaan (29) dan (30) di bawah ini :

$$Q_i^{abc} = Q_{ispec}^{abc} - Q_{inj}^{abc} \quad (29)$$

$$Q_i^{abc} = Q_{gen}^{abc} - Q_{load}^{abc} - Q_{inj}^{abc} \quad (30)$$

Keterangan:

$\Delta Q_i^{abc}$  : Selisih daya reaktif fasa A, B, C

$Q_{ispec}^{abc}$  : Daya reaktif pada fasa A, B, C

$Q_{inj}^{abc}$  : Daya reaktif yang diinjeksikan pada fasa A, B, C

$Q_{gen}^{abc}$  : Daya reaktif yang berasal dari pembangkit

$Q_{load}^{abc}$  : Beban daya reaktif pada fasa A,B,C

Selisih daya reaktif sama dengan daya reaktif dikurangi daya reaktif yang diinjeksikan pada persamaan (29) dan (30). Sedangkan  $Q_{load}$  dan  $Q_{inj}$  itu sendiri berasal dari persamaan (31) dan (32) di bawah ini.

Dimana :

$$Q_{load}^{abc} = \left( Q_{Lo} \left( a \left( (e_i^{abc})^2 + (f_i^{abc})^2 \right) + b \left( (e_i^{abc})^2 + (f_i^{abc})^2 \right)^{\frac{1}{2}} + c \right) \right) \quad (31)$$

$$Q_{inj}^{abc} = (f_i^{abc} \sum_{j \in i} (G_{ij}^{abc} e_j^{abc} - B_{ij}^{abc} f_j^{abc}) - e_i^{abc} \sum_{j \in i} (G_{ij}^{abc} f_j^{abc} + B_{ij}^{abc} e_j^{abc})) \quad (32)$$

Keterangan:

$Q_{inj}^{abc}$  : Daya reaktif yang diinjeksikan pada fasa A, B, C

$Q_{load}^{abc}$  : Beban daya reaktif pada fasa A,B,C

Untuk nilai PV bus nilai Q diganti dengan  $V^2$

dengan persamaan (32) di bawah ini :

$$V_i^{abc} = (e_i^{abc})^2 + (f_i^{abc})^2 \quad (32)$$

Keterangan:

$V_i^{abc}$  : selisih tegangan pada bus i fasa A, B, C

6. Selanjutnya Memeriksa nilai  $P_i^{abc}$ ,  $Q_i^{abc}$ ,  $V_i^{abc}$  apakah sudah mencapai nilai toleransi yang ditentukan. Jika belum mencapai nilai toleransi, maka dilanjutkan ke langkah 7. Jika sudah mencapai nilai toleransi, dilanjutkan ke langkah 10.

#### 7. Menghitung matriks Jacobian

Tahap selanjutnya dari perhitungan pada persamaan (25) dan (26) serta persamaan (29) dan (30), dibuat Matriks Jacobian seperti ditunjukkan oleh persamaan berikut (33). Hal ini dilakukan untuk mencari nilai objek yang diinginkan.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta f \end{bmatrix} \quad (33)$$

Persamaan (33) diatas kemudian dibuat ke dalam tabel matriks persamaan jacobian yang ditunjukan oleh tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel ini digunakan untuk mengklasifikasikan persamaan berupa matriks agar bisa dihitung dalam program.



Tabel 3.2. Tabel Persamaan Jacobian Rectangular Tiga Fasa

$\Delta P_j^{abc}$		$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$		$\Delta e_j^{abc}$
$\Delta Q_j^{abc}$		$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$		$\Delta f_j^{abc}$
$\Delta P_k^{abc}$	=	$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$	X	$\Delta e_k^{abc}$
$\Delta V_k^{abc}$		$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$		$\Delta f_k^{abc}$

### 8. Menghitung Tegangan Bus Baru

Setelah dihitung jacobian-nya, maka akan didapat nilai komponen rectangular dari tegangan yaitu yang ditunjukkan pada persamaan (34) dan (35).

$$e_i^{abc(n+1)} = e_i^{abc(n)} + e_i^{abc(n)} \quad (34)$$

$$f_i^{abc(n+1)} = f_i^{abc(n)} + f_i^{abc(n)} \quad (35)$$

Keterangan:

$e_i^{abc(n+1)}$  : Komponen rectangular aktif pada tegangan

$f_i^{abc(n+1)}$  : Komponen rectangular reaktif pada tegangan

9. Proses perhitungan diulang ke langkah 5 yaitu menghitung mismatch untuk mendapatkan nilai tegangan yang match dari hasil iterasinya.

#### 10. Menghitung Aliran Daya di Slack Bus dan Bus Beban

Setelah didapatkan nilai yang match dari langkah 9, selanjutnya mendefinisikan nilai P dan Q pada persamaan (36) dan (37) di bus slack dan Bus Beban dengan proses hitung aliran daya

$$P_i^{abc} = P_{gen}^{abc} - P_{load}^{abc} - P_{inj}^{abc} \quad (36)$$

$$Q_i^{abc} = Q_{gen}^{abc} - Q_{load}^{abc} - Q_{inj}^{abc} \quad (37)$$

Keterangan:

$\Delta P_i^{abc}$  : Selisih daya aktif fasa A, B, C

$P_{ispec}^{abc}$  : Daya aktif pada fasa A, B, C

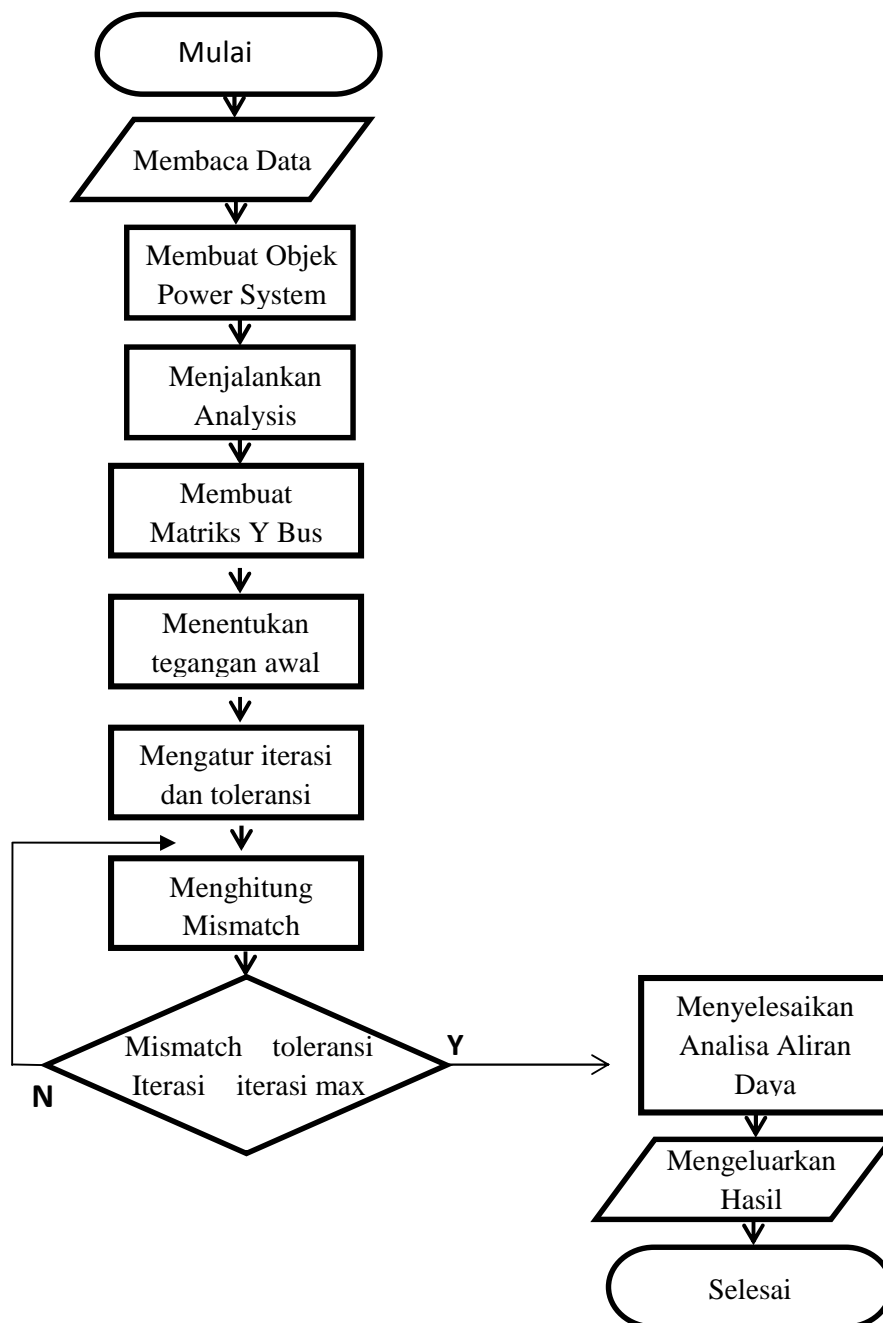
$P_{inj}^{abc}$  : Daya aktif yang diinjeksikan pada fasa A, B, C

$P_{gen}^{abc}$  : Daya aktif yang berasal dari pembangkit

$P_{load}^{abc}$  : Beban daya aktif pada fasa A,B,C

### 3.7. Diagram Alir Program

Pada diagram dibawah ini, gambar 3.3, merupakan diagram alir program pada pembuatan tugas akhir ini.



Gambar 3.3 Diagram Alir Program

### 3.8. Simulasi Program

Simulasi aliran daya tiga fasa tak seimbang pada GI mengkala dilakukan dengan perangkat lunak UnilaPF. Langkah – langkah simulasi yang dilakukan yaitu :

1. Membuat data kedalam format text atau notepad. Adapun data yang akan dibuat yaitu :

a. MVA Base (Daya Referensi)

MVA Base yang digunakan pada program yaitu 100MVA.

b. Data Bus

Untuk mengidentifikasi bus yang ada pada jaringan, diberikan data berupa tegangan dan sudut fasa yang merupakan asumsi awal pada setiap fasa di setiap bus.

c. Data Beban

Data beban yang diberikan yaitu nama beban, hubungan antara beban dengan bus,serta daya aktif dan daya reaktif setiap fasa.

d. Data Line

Data line yang diberikan yaitu hubungan antara bus ke bus lainnya serta resistansi dan reaktansi urutan positif, negatif, dan nol.

2. Menjalankan program *python*

Program UnilaPF yang telah diinstal ke dalam komputer digunakan untuk simulasi program. Kemudian perlu menginstal numpy 1.9.0 dan scipy 0.16.0b2 sebagai library perhitungan.

### 3. Simulasi

Langkah selanjutnya adalah menjalankan program simulasi. Pertama – tama dibuat terlebih dahulu studi kasus yang disimulasikan berdasarkan data yang telah dibuat di notepad. Kemudian studi kasus yang telah dibuat disimulasikan dengan memasukkan nama studi kasus didalam program yang telah dibuat.

### 4. Membandingkan Hasil Simulasi

Setelah data diolah, maka program akan menunjukkan hasil simulasi. Kemudian hasil simulasi dianalisa dengan membandingkan dengan software *OpenDSS*. Langkah – langkah yang dilakukan yaitu dengan menuliskan kembali data – data yang disimulasikan ke dalam format *OpenDSS*. Setelah itu, data disimulasikan di program *OpenDSS* dan kemudian hasil simulasi di program *OpenDSS* serta dibandingkan dengan hasil simulasi yang dilakukan.

### 5. Membuat Analisa dari Seluruh Hasil Simulasi

Setelah itu, hasil simulasi dari program UnilaPF dan *OpenDSS* ditampilkan dan dianalisa.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu :

1. Program simulasi aliran daya tiga fasa murni tanpa SVR dengan Metode Newton Raphson bentuk *rectangular* dapat diterapkan untuk model beban, dan memiliki kesesuaian dengan program *OpenDSS* yang menggunakan Metode Newton Raphson bentuk *polar*,
2. Nilai *magnitude* tegangan dan sudut tegangan, pada masing – masing fasa tanpa penempatan SVR dan saat SVR yang ditempatkan pada bus awal, telah didapatkan dengan nilai yang hampir sama dengan *OpenDSS*.
3. Nilai total rugi – rugi daya aktif, dan total rugi – rugi daya reaktif di setiap bus pada masing – masing fasa telah didapatkan tetapi nilainya belum sepenuhnya sama dengan *OpenDSS*
3. SVR mampu mengkompensasi tegangan  $\pm 10\% - 15\%$  dari tegangan 20 kV sehingga mampu memperbaiki tegangan pada sistem.
4. SVR hubung *closed delta* mampu mengkompensasi tegangan 5% lebih besar dibandingkan dengan hubung *wye*, hal ini dikarenakan pada hubung delta, setiap fasa saling terhubung serta berdampak besar pada kompensasinya.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada Tugas Akhir ini adalah

1. Penelitian ini sebaiknya diteruskan oleh mahasiswa yang akan mengerjakan tugas akhir khususnya Power Flow
2. Pemodelan selanjutnya lebih otomatis dan mampu menempatkan SVR pada posisi yang efisien.
3. Pemodelan selanjutnya harus mampu menghitung Kapasitas SVR nya agar variabel nilai didapat dengan mudah dan bisa di gunakan dalam berbagai situasi sistem tenaga.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] American National Standar Requirement, Terminology, and Test Code For Step-Voltage and Induction Voltage Regulators
- [2] *Analysis Based on Rectangular Voltage Using Python Software Package*. Yogyakarta : 6<sup>th</sup> International Conference on Information Technology and Electrical Engineering.
- [3] B.M.Weedy, B.J.Cory, N.Jenkins, J.B.Ekanayake, G.Strbac. 2012. *Electric Power Systems Fifth Edition*. West Sussex : John Wiley and Sons, Ltd.
- [4] Bishop,MT, et al. 1996 “Single Phase Voltage Regulators and Three Phase System. IEEE July-August.
- [5] Crvalho,MR, et al. “ Automatic Tap Voltage Regulator Connected in Closed Delta. IEEE
- [6] Edison, Mac Graw. 1993. “ How To Step Voltage Regulator”. Copper Power System. Waukesha
- [7] Edison, Mac Graw. 2001. “ VR-32 Regulator and CL-5 Series Control Instalation, operation and maintenance Instruction and parts Replacement Information”. Copper Power System. Waukesha
- [8] Eminoglu, Ulas, M Hakan Hocaoglu.” Three Phase Transformer and Voltage Regulator Modeling For Forward/ Backward Sweep-Based Distribution System Power Flow Algorithms. IEEE vol 46/1



- [9] Galego,L,A, Padilha Feltrin. 2008.“ Voltage Regulator Modelling For The Three Phase Power Flow In Distribution Network. IEEE august
- [10] Gangel, M,W. 1961. “32-Step Voltage Regulator Performance”. IEEE. Oktober
- [11] Hakim,L. Wahidi,M. Handoko,T. Gusmedi,H. Soedjarwanto,N. Milano,F. 2014. *Development of a Power Flow Software for Distribution System Analysis Based on Rectangular Voltage Using Python Software Package*.Yogyakarta : 6<sup>th</sup> International Conference on Information Technology and Electrical Engineering.
- [12] Howard Industries. 2012. “ Instruction step Voltage Regulator”. Howard Industries.
- [13] Kersting, William. 2002. “Distribution System Modelling and Analysis”. CRC press. Mexico
- [14] Linden,Kerstin and Segerqvist,Inger. 1992. *Modelling of Load Devices and Studying Load/System Characteristics*.Göteborg : Chalmers University of Technology
- [15] Milano,Federico. 2010. *Power System Modelling and Scripting*.London:Springer - Verlag
- [16] Shahgholian,Ghazanfar, Shirin Soltani. 2013. “Modeling and Application of step Voltage Regulators in Radial-Meshed Network”. IEEE vol 3 no 4: July
- [17] Shin, Macheol, et al. 2013. “Nodal Admittance Modeling of Three-Phase Step Voltage Regulators and Their Applications. IEEE Oct 26-29, Busan: Korea

- [18] Saadat,Hadi. 1999. *Power System Analysis*. New York:The McGraw-Hill Companies
- [16] Sandi, Binsar D. 2016 “ Studi Pemasangan *Step Voltage Regulator* dengan model injeksi daya pada jaringan menengah 20KV Penyulang Katu Gardu Induk Menggala Pt PLN (Persero) distribusi Lampung: universitas Lampung.
- [17] Siemens. *Distribution Voltage Regulator*.
- [18] Subriyantoro,Eko. 2013. *Pemrograman Berorientasi Objek*. Indonesia : Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan
- [19] Wang,X.F. Song,Y. Irving ,M. 2008. *Modern Power System Analysis*. New York : Springer Science + Business Media, LLC.
- [20] Wahidi, Muhamad. 2014. *Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang Pada Penyulang Kangkung PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung*.Bandar Lampung : Universitas Lampung