STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN PENEMPATAN *STEP VOLTAGE REGULATOR* HUBUNG *WYE* PADA PENYULANG PAKIS GI MENGGALA

(Skripsi)

Oleh

FANNY SIMATUPANG

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2016

ABSTRACT

THREE-PHASE POWER FLOW STUDY WITH WYE-CONNECTED STEP VOLTAGE REGULATOR AT PAKIS OF MENGGALA SUBSTATION

By

FANNY SIMATUPANG

A long distribution feeder may experience poor voltage profile. In order to correct this problem, a step voltage regulator (SVR) can be installed. SVR can be installed in either Delta or Wye connection to the distribution network. This work addresses SVR with Wye connection model for a three-phase power flow analysis. Type-B SVR is considered in this work as this type is commonly found the distribution system in Lampung Province.

The developed model is then implemented in a three-phase power flor analysis software written in Python Programming Language based on Newton-Raphson method. An actual 20 kV, Pakis Feeder of Menggala Substation is used to examine the developed model. This feeder suffers from high voltage drop along the line and hence installation of SVR should improve its voltage profile. Results are then compared with similar case calculated by OpenDSS of Electric Power Research Institute. Both balanced and unbalanced loads are considered in this work.

Results show that voltage profile is improved after installation of SVR of about ± 10%. Comparison with OpenDSS also reveals that the developed software produces similar results with UnilaPF.

Kata Kunci : Step Voltage Regulator (SVR), Voltage, UnilaPF, OpenDSS,Wye, Menggala Substation.

ABSTRAK

STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN PENEMPATAN *STEP VOLTAGE REGULATOR* HUBUNG *WYE* PADA PENYULANG PAKIS GI MENGGALA

Oleh

FANNY SIMATUPANG

Panjangnya saluran distribusi menyebabkan profil tegangan yang rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut, dengan memasang *Step Voltage Regulator* (SVR). SVR dapat dipasang dengan menggunakan hubung wye atau hubung delta pada jaringan distribusi. Dalam hal ini SVR menggunakan analisis aliran daya tiga fasa dengan hubung *wye*. Pada sistem distribusi Lampung, SVR tipe B yang digunakan untuk pekerjaan ini dan tipe ini umumnya sering ditemukan.

Model yang dikembangkan dan digunakan dalam perangkat lunak analisis aliran daya tiga fasa pada bahasa pemprograman pyton berdasarkan metode Newton-Raphson. Pada jaringan 20 kV, penyulang Pakis pada Gardu Induk Menggala biasa digunakan untuk pengujian dalam pengembangan model. Penyulang ini memikul beban dari tegangan jatuh sepanjang saluran maka dari itu diperlukan pemasangan SVR untuk meningkatkan profil tegangannya. Hasil dari penelitian ini kemudian dibandingkan dengan kasus yang sama dengan OpenDSS dari *Electric Power Research Institute*. Beban setimbang dan tak setimbang di pertimbangkan dalam penelitian ini.

Hasil menunjukkan dengan pemasangan SVR ± 10% dapat memperbaiki profil tegangan. Perbandingan dengan OpenDSS juga menunjukkan hasil yang sama dengan perangkat lunak yang dikembangkan yaitu UnilaPF.

Kata Kunci : *Step Voltage Regulator* (SVR), Tegangan, UnilaPF, OpenDSS, GI Menggala.

STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN PENEMPATAN *STEP VOLTAGE REGULATOR* HUBUNG *WYE* PADA PENYULANG PAKIS GI MENGGALA

Oleh

FANNY SIMATUPANG

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2016

Judul Skripsi	:	**STUDI ALIRAN DAYA TINGGI FASA DENGAN PENEMPATAN *STEP VOLTAGE REGULATOR* HUBUNG *WYE* PADA PENYULANG PAKIS GI MENGGALA**
Nama Mahasiswa	:	**Fanny Simatupang**
Nomor Pokok Mahasiswa	:	1115031029
Jurusan	:	Teknik Elektro
Fakultas	:	Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

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

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 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, 24 Agustus 2016

Fanny Simatupang
NPM. 1115031029

RIWAYAT HIDUP

Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak R. Simatupang dan Ibu L. Siagian. Penulis dilahirkan di Palembang pada tanggal 08 Januari 1994.

Riwayat pendidikan penulis yaitu dimulai dari TK Dharmawanita , pada tahun 1998 hingga tahun 1999, SD Tamansiswa 1 pada tahun 1999 hingga tahun 2005, SMP YKPP 1 Plaju pada tahun 2005 hingga tahun 2008, dan SMA Patra Mandiri 1 pada tahun 2008 hingga tahun 2011.

Tahun 2011 Penulis mendaftar menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung melalui Ujian Mandiri (UM). Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten dosen mata kuliah Etika Profesi, serta menjadi asisten praktikum Transmisi Daya Listrik, Analisa Sistem Tenaga, dan Sistem Proteksi. Selama menjadi mahasiswa penulis juga aktif dilembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro (HIMATRO) yaitu sebagai anggota Informasi dan Komunikasi pada tahun 2012-2013 dan sebagai anggota Divisi Sosial Ekonomi pada tahun 2013-1014. Selain itu penulis juga aktif dilembaga kemahasiswaan Universitas Lampung yaitu Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen (UKMK) penulis sebagai anggota Divisi 1 Pengkaderan pada tahun 2012-2013 dan penulis pernah menjadi Bendahara Umum pada tahun 2013-2014. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT Energi Management Indonesia

(EMI) pada bulan Oktober-November 2014 dan mengambil judul“ *Standard Operating Procedure* (SOP) Audit Energi Studi Kasus Pada Gedung I Fakultas Teknik Universitas Lampung Di PT. Energy Managemment Indonesia (PERSERO)”.

Karya ini kupersembahkan untuk

Papa dan Mama Terkasih

Robert Simatupang dan Lamria Siagian

Kakak dan AdikkuTerkasih

dr. Betharia Veronica Simatupang

Angel Febrianti Simatupang

KeluargaBesar, Dosen, Elevengineer, danAlmamater.

MOTTO

"Segala perkara dapat ku tanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku".

(Filipi 4:13)

"Bertekunlah dalam doa dan dalam pada itu berjaga-jagalah sambil mengucap syukur".

(Kolose 4:2)

"Damai sejahtera Allah, yang melampaui segala akal, akan memelihara hati dan pikiranmu dalam Kristus Yesus".

(Filipi 4:7)

"Setiap hari harus ada ilmu, pengetahuan, pelajaran, dan pengalaman yang didapat karna hidup jangan seperti air yang mengalir".

(Fanny Simatupang S.T.)

SANWACANA

Puji Tuhan, atas kasih karunia Bapa diSorga Tuhan Yesus Kristus dan atas segala hikmat, anugrah, pertolongan, berkat, dan sukacita, yang diberikan kepada penulis. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir yang berjudul " *Studi Aliran Daya Tiga Fasa Dengan Penempatan Step Voltage Regulator Hubung Wye Pada Penyulang Pakis GI Menggala*".
Ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, FakultasTeknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung..
3. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., Msc., selaku Pembimbing Utama yang selalu memberikan bimbingan, nasehat, dan pandangan hidup kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
4. Bapak Herri Gusmedi, S.T. Selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan, saran, dan nasehat kepada penulis

5. Ibu Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji dan sebagai Pembimbing Akademik penulis yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini dengan ramah.
6. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis.
7. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis dalam hal administrasi terutama Mbak Dian Rustiningsih.
8. Kepada orang tua penulis yang tercinta Bapak R. Simatupang dan Ibu L. Siagian serta Kakak dan Adik tersayang, dr. Betharia Veronica Simatupang dan Angel Febrianti Simatupang terimakasih ,atas kasih sayang, cinta, dukungan moril, serta doa yang selalu diberikan kepada penulis.
9. Segenap Penghuni Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik, Pak Abdurrahman, Kak Abe, Kak Afrizal, Kak Agung, Kak Aji, Kak Seto,dan rekan-rekan Tim PLP (Pak Lukman *Project*) yaitu Fikri, Gusmau, Rani, Richard, Alex, Bang Binsar, KakRifqi, Kak Beta dan Kak Toufik, Chandra, dan Riza.
10. Ten Sister Rani, Alin, Annida, Vina, Nurhayati, Octarina, Fenti, Eliza dan Yunita, yang senantiasa memberikan dukungan doa dan canda gurau kepada penulis selama menjalani perkuliahan hingga akhir ini.
11. Partner Richard Manuel, Rani Kusuma Dewi, Mohamad Fikri Ibrahim yang selalu bersama baik suka dan cita, dalam mengerjakan tugas akhir
12. Keluarga besar Elevengineer Aditya, Adit Pratama, Agi, Aji, Alex, Anang, Andi, (Alm) Arief, Arrosyiq, choirudin, Darma, Deden, Dirya, Iyon, Edi, Fadil, Faris, Farid, Havif, Pras, Najib, Bang Petrus, Rei, Ryan, Hajar,Hajri,

Restu, Randi, Abidin, Bastian, Oka, Sigit,Yoga, Yazir, Imam, Made, dan Frisky.Ramos, Bang Habib, Bang iwan, Mas Adit, Denny, Rejani, Frian..

13. Abang-abang lab Konversi Energi (Bang habib, bang iwan, Mas adit, Denny, Rejani,Frian). Lab Tegangan Tinggi (Yeremia, Bang hajri,Andreas,Mario,). atas kebersamaannya yang luar biasa.
14. Frian Daniel, Nicholas Gata, Reza Naufal, Mohamad Fikri, Rani Kusuma, Mariyo, dan Yeremia terimakasih atas bantuannya selama ini dari awal penulis masuk sampai saat ini karna selalu direpotkan,kalian luar biasa.
15. Untuk keluarga kosan penulis "Griya 45" ibu Erma, Muthi, Nurma,Ira,Anggun, Mbak rut, Mbak septi, Mbak resti, dan Mbak fida untuk kebersamaannya, yang sudah seperti keluarga penulis baik suka dan duka.
16. Kepada saudara terkasih Batara Tobing atas doa, semangat, dan kesabaran yang diberikan sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
17. Semua pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Tuhan memberkati!

Bandar Lampung, 17 Agustus 2016

Penulis,

Fanny Simatupang

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI.....xiv

DAFTAR GAMBAR.....xvii

DAFTAR TABEL.....xx

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....1

1.2. Tujuan Penelitian.....3

1.3. Perumusan Masalah.....3

1.4. Batasan Masalah.....3

1.5. Manfaat Penelitian.....4

1.6. Hipotesis.....4

1.7. Sistematika Penulisan.....4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Aliran Daya.....6

2.1.1. Aliran Daya.....6

2.1.2. Jenis Bus.....7

2.1.3. Metode *Newton Raphson*.....7

2.1.4. Sistem Per – Unit (pu).....10

2.2. *Three Phase Step Voltage Regulator (SVR).*.....10

2.3. Fungsi *Step Voltage Regulator (SVR)*.....11

2.4. Tipe A dan Tipe B *Step Voltage Regulator (SVR)*..13

2.4.1. Tipe A *Step Voltage Regulator (SVR).*.....13

2.4.2. Tipe B *Step Voltage Regulator (SVR)*.. 14
2.5. *Wye Connected Regulators*..... 16
2.6. Model *Nodal Admittance* Tiga Fasa *Step Voltage Regulator (SVR)*... 17
2.7. Perangkat Lunak Pendukung. 18
2.7.1. Python..... 18
2.7.2. UnilaPF..... 19
2.8. Penelitian Terdahulu.....19

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat.. 22
3.2. Alat dan Bahan.. 22
3.3. Tahap Penelitian. 23
3.4. Diagram Alir Penelitian..... 25
3.5. Pemprograman Berorientasi Objek (Object-Oriented Programming).. 26
3.6. Langkah – Langkah Perhitungan Program... 27
3.7. Diagram Alir Program. 35
3.8. Simulasi Program.... 36

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Distribusi pada Penyulang Pakis GI Menggala. 38
4.2. Skenario Simulasi..... 38
4.3.Hasil Simulasi dan Analisa..... 38
4.3.1. Simulasi Sistem 11 Bus Beban Tak Seimbang.. 39
4.3.1.1. Profil Tegangan 11 Bus Sebelum di Injeksi SVR..... 40
4.3.1.2. Profil Tegangan 11 Bus Sesudah di Injeksi SVR.. 43
4.3.2. Simulasi dengan Sistem Penyulang Pakis GI Menggala 191 Bus dengan Beban Tak Seimbang.. 48
4.3.2.1. Profil Tegangan 191 Bus Sebelum di Injeksi SVR..... 49
4.3.2.2. Profil Tegangan 191 Bus Sesudah di Injeksi SVR. 51

BAB V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan. 58

5.2. Saran. 59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

A. Data Input

B. Data Hasil Simulasi

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1. Tabel Admitansi n – Bus.....28

Tabel 3.2. Tabel Persamaan Jacobian Rectangular Riga Fasa.....32

DAFTAR GAMBAR

Halaman

1. Gambar 2.1. Sistem distribusi antara dua bus..... 8
2. Gambar 2.2. Aliran daya pada sistem distribusi dua bus..... 9
3. Gambar 2.3. *Step Voltage Regulator*..... ..11
4. Gambar 2.4. Indikator Posisi Tap..... ..12
5. Gambar 2.5. Tipe A *Step Voltage Regulator (SVR)* posisi raise..... ..13
6. Gambar 2.6. Tipe A *Step Voltage Regulator (SVR)* posisi lower..... ..14
7. Gambar 2.7. Posisi *Step Voltage Regulator (SVR)* tipe A pada sistem distribusi.. ..14
8. Gambar 2.8. Tipe B *Step Voltage Regulator (SVR)* posisi raise..... 15
9. Gambar 2.9. Tipe B *Step Voltage Regulator (SVR)* posisi lower..... 15
10. Gambar 2.10. Posisi *Step Voltage Regulator (SVR)* tipe B pada sistem distribusi. ..16
11. Gambar 2.11. *Wye Connected Regulator* tipe B..... 16
12. Gambar 2.12. Diagram *Admittance* antara antara sisi beban dan pusat beban..... ..17
13. Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian..... 24
14. Gambar 3.2. Struktur Kelas Object-Oriented Programming..... 26
15. Gambar 3.3. Diagram Alir program..... 35

16. Gambar 4.1. Profil tegangan fasa A dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 11 bus tanpa SVR..... 40
17. Gambar 4.2. Profil tegangan fasa B dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 11 bus tanpa SVR..... 41
18. Gambar 4.3. Profil tegangan fasa C dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 11 bus tanpa SVR..... 42
19. Gambar 4.4. Profil tegangan fasa A dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 11 bus dengan SVR..... 43
20. Gambar 4.5. Profil tegangan fasa B dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 11 bus dengan SVR..... 44
21. Gambar 4.6. Profil tegangan fasa C dengan UnilaPFdan OpenDSS pada sistem 11 bus dengan SVR..... 45
22. Gambar 4.7. Nilai perbandingan rugi-rugi daya aktif dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 11 bus..... 46
23. Gambar 4.8. Nilai perbandingan rugi-rugi daya reaktif dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 11 bus..... 47
24. Gambar 4.9. Profil tegangan fasa A dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus tanpa SVR..... 48
25. Gambar 4.10. Profil tegangan fasa B dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus tanpa SVR..... 49
26. Gambar 4.11. Profil tegangan fasa C dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus tanpa SVR..... 50
27. Gambar 4.12. Profil tegangan fasa A dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus dengan SVR..... 51

28. Gambar 4.13. Profil tegangan fasa B dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus dengan SVR..... 53
29. Gambar 4.14. Profil tegangan fasa C dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus dengan SVR..... 54
30. Gambar 4.15. Nilai perbandingan rugi-rugi daya aktif dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus..... 56
31. Gambar 4.16. Nilai perbandingan rugi-rugi daya reaktif dengan UnilaPF dan OpenDSS pada sistem 191 bus..... 57

I. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Pada daerah pedalaman yang menggunakan jaringan listrik distribusi 20 kV memiliki karakteristik khusus dimana sebaran beban dan lokasi pemukiman yang berjauhan. Hal ini menyebabkan panjang saluran distribusi untuk mencapai beban-beban yang ada. Akibat dari panjangnya saluran distribusi mengakibatkan besarnya rugi-rugi baik pada rugi-rugi daya listrik serta *voltage drop* sepanjang saluran distribusi.

Pada tugas akhir yang dilakukan pada jaringan distribusi PT. PLN (PERSERO) memiliki panjang saluran hingga 170 km dengan magnitude tegangan menengah disisi pelanggan berada pada tegangan 9 kV dari yang seharusnya sebesar 20 kV. Kondisi ini menyebabkan tegangan rendah di sisi pelanggan atau beban berada dalam kisaran 100-150 volt saja, dan pada tugas akhir ini dilakukan pada penyulang Pakis GI Menggala.

Pada permasalahan tersebut dapat diatasi dengan pemasangan peralatan regulator yaitu *Step Voltage Regulator (SVR)* yang merupakan peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengatur tegangan (menaikkan atau menurunkan) tegangan sesuai dengan kebutuhan secara manual agar dapat

mempertahankan tegangan keluaran agar tetap pada posisi konstan dengan meletakkan di simpul tertentu pada jaringan distribusi 20 kV Dimana *Step Voltage Regulator* tiga fasa dalam pemasangannya ada dua tipe yaitu tipe A dan tipe B,. Adapun cara untuk menghubungkan antara regulator satu dengan lainnya dengan tiga macam koneksi yaitu *Wye-Connected Regulator, Closed Delta-Connected Regulator,* dan *Open Delta-Connected Regulator*. Untuk menentukan lokasi simpul terbaik terlebih dahulu melakukan perhitungan dan simulasi lokasi pemasangan sampai didapat lokasi terbaik untuk pemasangan. Perhitungan dan simulasi dapat menggunakan perangkat lunak analisa aliran daya

Studi aliran daya berfungsi untuk memberikan informasi tentang aliran daya dan tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Studi aliran daya diperlukan dalam perencanaan sistem tenaga listik dan menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada. Dengan studi aliran daya, kita dapat mengetahui besarnya daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada sistem.

Pada tugas akhir ini, penulis akan membahas tentang *Step Voltage Regulator (SVR)* tiga fasa tipe B dengan menggunakan hubung *Wye-Connected Regulator* dengan membuat simulasi pada jaringan distribusi dengan menggunakan software python agar mendapatkan nilai tegangan yang telah diperbaiki menggunakan *Step Voltage Regulator (SVR)* pada suatu sistem tenaga.

1.2.Tujuan

Adapun tujuan pada tugas akhir ini yaitu :

1. Untuk mengetahui tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif yang dihasilkan sebelum diletakkan dan setelah diletakkan *Step Voltage Regulator (SVR)* pada penyulang Pakis GI Menggala.
2. Untuk mengkompensasi tegangan pada aliran daya tiga fasa dengan menggunakan *Step Voltage Regulator (SVR)*
3. Untuk mengetahui kesesuaian hasil program yang dibuat dengan program pembanding.

1.3.Perumusan Masalah

Pada sistem tenaga listrik, tentunya energi listrik yang dihasilkan harus efisien dan andal. Pada jaringan distribusi 20 kV yang panjang akan menyebabkan rugi-rugi daya yang menyebabkan jatuhnya tegangan sehingga tegangan yang dihasilkan tidak andal. Untuk mengatasi agar tegangan yang dihasilkan baik maka digunakan *Step Voltage Regulator (SVR)* yang berfungsi untuk menaikan atau menurunkan tegangan saat tegangan jatuh atau berlebih. Dengan adanya *Step Volatge Regulator (SVR)* diharapkan dapat memperbaiki tegangan pada penyulang Pakis

1.4.Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini yaitu :

1. Tugas akhir ini hanya membahas tentang *Wye-Connected* pada *Step Voltage Regulator (SVR)* tipe B
2. Tugas akhir ini hanya membahas pengaruh *Step Voltage Regulator (SVR)*
3. Tidak membahas gangguan yang terjadi di sistem tenaga.

1.5.Manfaat

Adapun manfaat pada tugas akhir ini yaitu :

1. Dapat memberikan informasi tegangan yang dihasilkan pada saat di pasang *Step Voltage Regulator (SVR)* dengan tidak ada pemasangan *Step Voltage Regulator (SVR).*
2. Dapat Memperbaiki tegangan dengan pemasangan *Step Voltage Regulator (SVR)*
3. Dapat dikembangkan oleh mahasiswa lain agar dapat menyempurnakan tugas akhir ini.

1.6. Hipotesi

Program yang akan digunakan berfungsi untuk mendapatkan nilai tegangan yang andal dengan meletakkan *Step Voltage Regulator (SVR).* Dimana saat kita dapat melihat pengaruh yang dihasilakan saat *Step Voltage Regulator (SVR)* digunakan dengan tanpa *Step Voltage Regulator (SVR)*. Dengan mencoba menentukan nilai tap yang akan di masukkan.

1.7.Sistematika Penulisan

Laporan akhir ini dibagi menjadi lima bab yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, 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 TUGAS AKHIR

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

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan dari tugas akhir ini.

BAB V. KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Aliran Daya

2.1.1. Aliran Daya

Studi aliran daya bekerja untuk keadaan yang tunak (*steady state*). Studi aliran daya berfungsi dalam perencanaan dan desain perluasan suatu sistem tenaga dan menentukan operasi terbaik pada sebuah jaringan yang sudah ada. Studi aliran daya juga berfungsi untuk memberikan suatu informasi evaluasi regulasi kinerja suatu sistem tenagan yang bertujuan untuk menentukan daya aktif dan daya reaktif. Dalam penyelesaian aliran daya dapat diselesaikan dengan beberapa metode persamaan aliran daya. Metode yang umum digunaka, yaitu metode : *Newton-Raphson, Gauss-Seidel,* dan *Fast Decoupled*[1].

Pada metode *Newton-Raphson* dan *Fast Decoupled* lebih umum digunakan terlebih pada jaringan yang besar karna kecepatan konvergensi pada metode. Sedangkan metode *Gauss-Seidel* bisa digunakan pada jaringan yang besar hanya saja pada konvergensinya lambatdan kadang tidak konvergen[3].

2.1.2. Jenis Bus

Untuk menyelesaikan persamaan aliran daya,variabel yang dapat kita temukan yaitu tegangan komplek dan daya komplek. Dalam metode *node voltage*, karenanya tiga jenis simpul (BUS) pada analisis aliran daya didefinisikan sebagai berikut :

1. Simpul Beban (*Load Bus*)

Pada simpul beban, daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) adalah peubah yang diketahui, sementara tegangan bus (V) dan sudut fasa (θ) adalah peubah yang dihitung

2. Simpul Generator (Generator Bus)

Pada simpul generator, dengan adanya governor dan exciter, keluaran daya aktif (P) dan tegangan (V) dapat dikontrol dan sehingga dapat dijaga konstan. Peubah yang dihitung adalah daya reaktif (Q) dan sudut tegangan (θ).

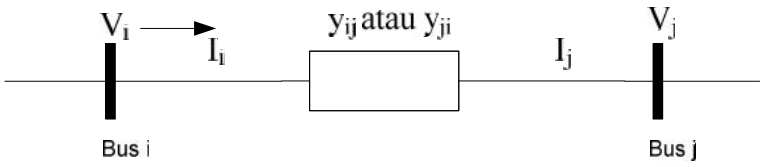
3. Simpul Ayun (*Swing* Bus/*Slack* Bus)

Pada simpul generator yang menjadi referensi atau Swing Bus, tegangan (V) dan sudutnya (θ) ditentukan sehingga peubah yang dihitung adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).

2.1.3. Metode *Newton Raphson*

Penyelesaian yang lebih cepat diperoleh dengan menggunakan metode Newton-Raphson. Metode ini banyak dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan aliran daya pada sistem tenaga yang besar dengan jumlah simpul hingga ribuan simpul.

Langkah pertama untuk menyelesaikan persamaan aliran daya dengan menggunakan metode *Newton-Raphson* adalah sebagai berikut[7] :



Gambar 2.1. Sistem distribusi antara dua bus[6]

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

Dima :

r = Resistansi

x = Reaktansi

Sedangkan arus pada bus I pada gambar diatas adalah :

$$I_i = \sum_{j\epsilon i}^{n} V_i . Y_{ij} \quad (2)$$

Dimana :

$$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \quad (3)$$

Keterangan :

Y_{ij} = Admitansi di bus i ke j

I_i = Arus di bus i

V_i = Tegangan di bus i

G_{ij} = Konduktansi di bus i ke j

B_{ij} = Suseptansi di bus i ke j

Sedangkan tegangan kompleks pada bus i dalam bentuk rectangular yaitu :

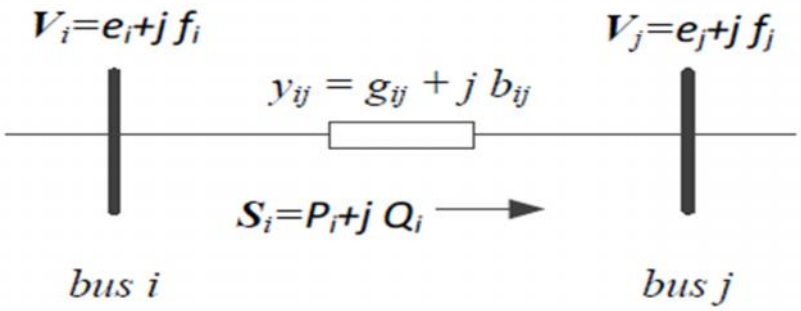
$V_i = e_i + jf_i$ (4)

Sehingga persamaan daya pada bus I pada gambar diatas adalah :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (5)$$

$$S_i = V_i \sum_{j\epsilon i}^{n} (V_j . Y_{ij})^* \quad (6)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{j\epsilon i} (G_{ij} - j.B_{ij})(e_i - jf_i) \quad (7)$$



Gambar 2.2 Aliran daya pada sistem distribusi dua bus[8]

Untuk PQ bus :

$$P_i^{rect} = e_i \sum_{j\epsilon i}^{n} (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) + f_i \sum_{j\epsilon i}^{n} (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (8)$$

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

Sedangkan untuk PV bus, nilai Qi diganti dengan Vi yaitu :

$$V_i^{rect} = e_i^2 + f_i^2 \quad (11)$$

Keterangan :

V_i = Tegangan di bus i

V_j = Tegangan di bus j

e_i = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan rill di bus i

e_j = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan rill di bus j

f_i = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

f_j = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan imajiner di bus j

S_i = Daya semu di bus i

I_i^* = Arus konjuget di bus i

$P_i + jQ_i$ = Tegangan dalam bentuk bilangan rectangular

G_{ij} = Konduktansi di bus i ke j

B_{ij} = Suseptansi di bus i ke j

V_i^{rect} = Tegangan di bus i dalam bentuk rektangular

Q_i^{rect} = Daya reaktif di bus i dalam bentuk rectangular

P_i^{rect} = Daya aktif di bus i dalam bentuk rectangular

P_i = Daya aktif di bus i

Q_i = Daya reaktif di bus i

2.1.4. Sistem Per-Unit (pu)

Dalam mempermudah proses perhitungan sebuah sistem daya listrik digunakan sistem per unit (pu). Dimana sistem per unit (pu) dapat didefinisikan perbandingan nilai yang sebenarnya dengan nilai dasar (base value) . Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut[7] :

$$\text{Besaran per – unit} = \frac{Nilai\ Sebenarnya}{Nilai\ dasar} \quad (12)$$

2.2. *Three Phase Step Voltage Regulator (SVR)*

Step Voltage Regulator merupakan sebuah komponen dalam sistem tenaga yang berfungsi untuk memperbaiki tegangan secara manual agar saat tegangan sampai pada terima tetap.

Pada Gambar 2.3. adalah bentuk fisik dari *Step Voltage Regulator* pada tugas akhir ini :

Gambar 2.3. *Step Voltage Regulator* (SVR)

2.3. Fungsi Step Voltage Regulator (SVR)

Pada *Step Voltage Regulator (SVR)* perubahan tegangan didapat dengan mengubah posisi keran yang ditentukan oleh sirkuit kontrol pada keran *Step Voltage Regulator (SVR)* memiliki 32 tap dengan range tegangan ± 10% tap maksimu 16 . Posisi tap di bagi menjadi dua yaitu 16 pada posisi *lower* dan 16 pada posisi *raise*. Dimana jika jarum pada tap bergeser pada posisi ke arah kanan maka tap berada pada keadaan *lower* dan pada saat jarum tap pada posisi kiri maka tap berada pada keadaan *raise*.

Pada setiap kenaikan tap maksimum 16 tap sebesar 2 KV dan nilai tegangan dimasing – masing tap 125 V. Gambar 2.4 merupakan bentuk fisik pada indikator posisi tap pada tugas akhir ini :

Gambar 2.4. Indikator Posisi Tap

Untuk membentuk *regulator* tiga fasa maka *regulator* dihubung secara *eksternal*, ketiga *regulator* satu fasa terhubung secara bersamaan, dan setiap *regulator* memiliki sirkuit kompensator dan tap sendiri .

Ada beberapa cara untuk menghubungkan *Step Voltage Regulator (SVR)* satu fasa menjadi tiga fasa yaitu :

1. *Wye Connected Regulators*
2. *Close Delta-Connected Regulators*
3. *Open Delta-Connected Regulators*

2.4. Tipe A dan Tipe B *Step Voltage Regulator (SVR)*

Menurut standar ANSI/IEEE C57.15-1957 *Step Voltage Regulator (SVR)* memiliki dua koneksi yaitu tipe A dan tipe B.

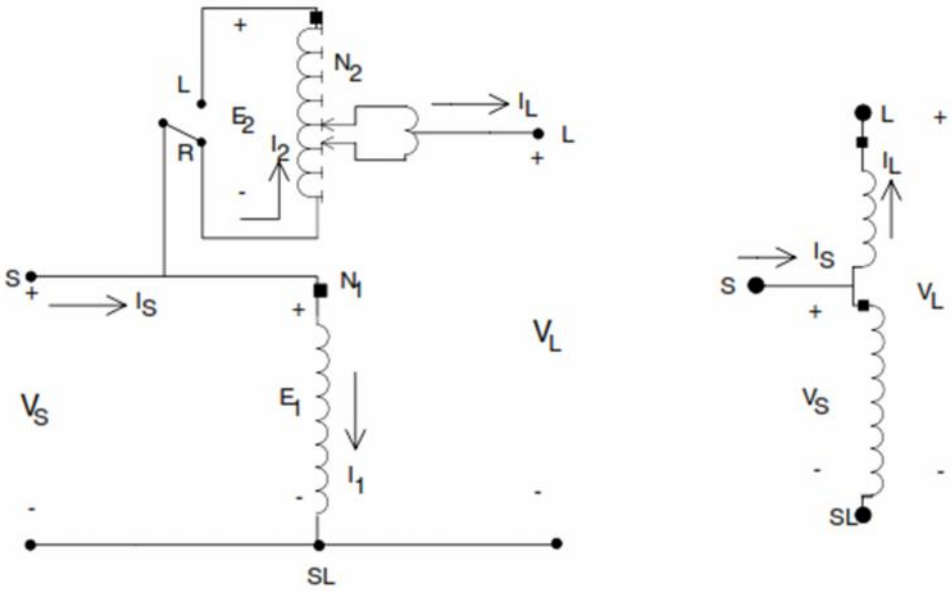
2.4.1. Tipe A *Step Voltage Regulator (SVR)*

- Posisi *Raise*

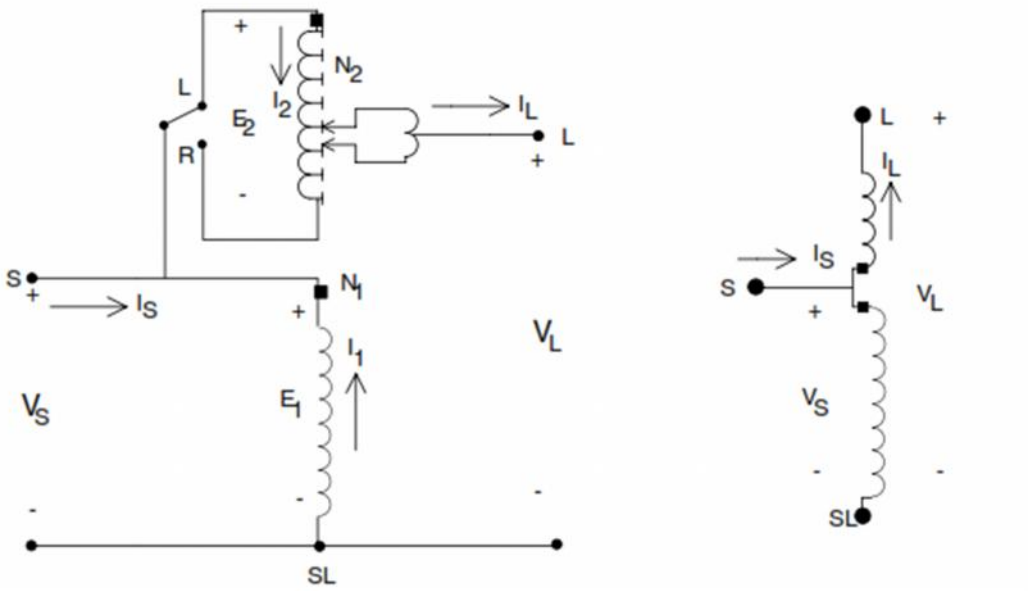
  Tipe A pada *Step Voltage Regulator (SVR)* pada sisi primer terhubung langsung dengan belitan shunt, dimana belita seri dihubungkan ke belitan shunt dan turun melalui tap ke *regulator.*

- Posisi *Lower*

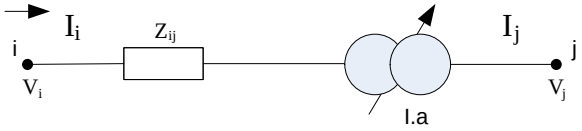
  Tipe A pada koneksi *lower* saklar akan membalikkan dan terhubung ke terminal L . Efek pada pembalikan ini untuk mengembalikan arah arus dalam seri dan belitan shunt[4].



Gambar 2.5. Tipe A *Step Voltage Regulator (SVR)* Posisi *Raise*



Gambar 2.6. Tipe A *Step Voltage Regulator (SVR)* Posisi *Lower*



Gambar 2.7. Posisi *Step Voltage Regulator (SVR)* Tipe A pada sistem distribusi

Pada *Step Voltage Regulator (SVR)* Tipe A dimana (SVR) diletakkan pada ujung saluran yang berfungsi untuk memberikan tegangan saat terjadi drop di ujung saluran.

2.4.2. Tipe B *Step Voltage Regulator (SVR)*

Pada *Voltage Regulator (SVR)* tipe B ini lebih umum digunakan, karna memiliki frekuensi 50 Hz

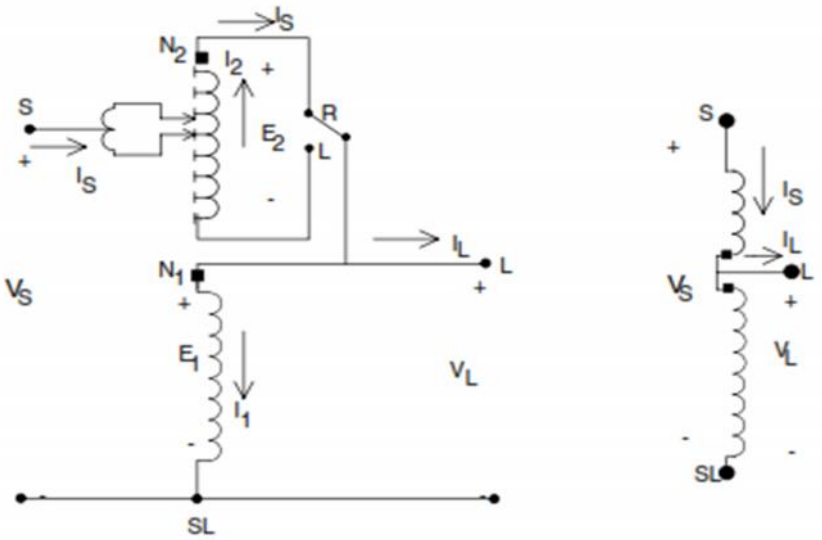
- Posisi *Raise*

  Sisi primer sistem terhubung melalui tap ke belitan hubung seri, kemudian belitan seri dihubung ke belitan shunt dengan koneksi

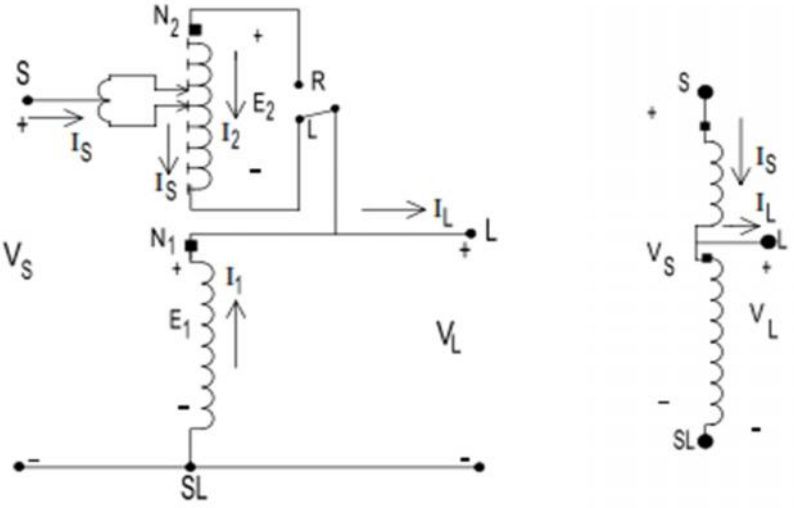
langsung ke *regulator*. *Regulator* tipe B ini eksitasi konstan karna belita shunt terhubung dengan semua *regulator*

- Posisi *Lower*

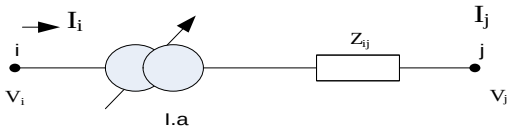
  Arah arus dari seri dan belitan shunt berubah, tetapi polaritas tegangan dua belitan tetap sama[4].



Gambar 2.8. Tipe B *Step Voltage Regulator (SVR)* Posisi *Raise*



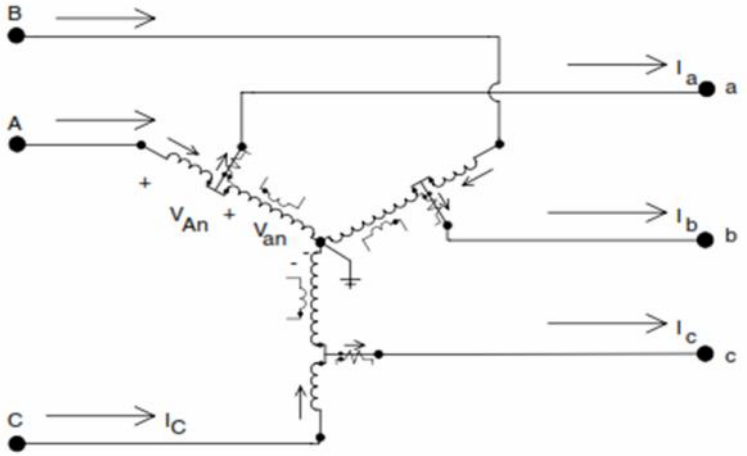
Gambar 2.9. Tipe A *Step Voltage Regulator (SVR)* Posisi *Lower*



Gambar 2.10. Posisi *Step Voltage Regulator (SVR)* Tipe B pada sistem distribusi

Pada *Step Voltage Regulator (SVR)* Tipe B dimana (SVR) diletakkan dekat dengan sumber.

2.5. *Wye-Connected Regulators*



Gambar 2.11. *Wye-Connected Regulator* tipe B

Hubung wye pada *voltage regulator* dimana setiap fasa dihubungkan ke netral [4].

- *Voltage Regulator Equations*

$$\begin{bmatrix} V_{An} \\ V_{Bn} \\ V_{Cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{Ra} & 0 & 0 \\ 0 & a_{Rb} & 0 \\ 0 & 0 & a_{Rc} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

- *Current Regulator Equation*

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a_{Ra}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{a_{Rb}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{a_{Rc}} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (14)$$

Dimana :

a_{Ra} , a_{Rb} , a_{Rc} = rasio dimasing – masing fasa A, B, dan C.

Jadi dapat ditulis dalam bentuk matrix masing – masing yaitu[4] :

$V_L = A \cdot V_S$ (15)

$I_L = B \cdot I_S$ (16)

Keterangan :

V_L = Tegangan di sisi beban

I_L = Arus di sisi beban

V_S = Tegangan di sisi sumber

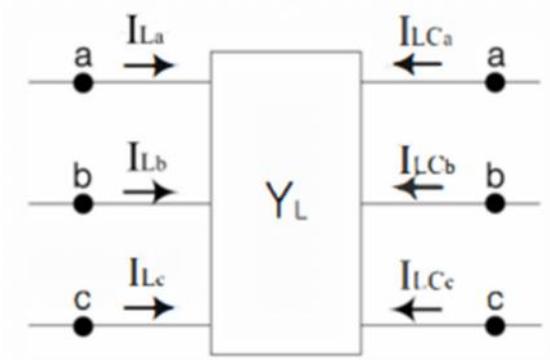
I_S = Arus di sisi sumber

2.6. Model *Nodal Admittance* Tiga Fasa *Step Voltage Regulator (SVR)*

$$Y_L = Z_L^{-1} = \begin{bmatrix} y_{aa} & y_{ab} & y_{ac} \\ y_{ba} & y_{bb} & y_{bc} \\ y_{ca} & y_{cb} & y_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{aa} & y_{ab} & y_{ca} \\ y_{ab} & y_{bb} & y_{bc} \\ y_{ca} & y_{bc} & y_{cc} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Dimana $y_{ab} = y_{ba}$ dan $y_{ac} = y_{ca}$

Diagram Admittance antara sisi beban (L) dan pusat beban (LC) pada *Step Voltage Regulator (SVR).* Dimana I_{Labc} merupakan arus yang mengalir dari sisi beban (L) ,Y_L adalah admitansi saluran dan I_{LCabc} merupakan arus yang mengalir dari pusat beban (LC)[5].



Gambar 2.12. Diagram *Admittance* antara sisi beban dan pusat beban

Penyelesaian arus dan tegangan tiga fasa Step Voltage Regulator tiga fasa pada nodal admittance.[5]

$$\begin{bmatrix} I_L \\ I_{LC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_L & -Y_L \\ -Y_L & Y_L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_L \\ V_{LC} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_S \\ I_{LC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_L & -Y_L \\ -Y_L & Y_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ V_{LC} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} I_S \\ I_{LC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_L & -Y_L \\ -Y_L & Y_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ V_{LC} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Dimana :

I_S = Arus sumber (A)

I_{LC} = Atus pusat beban (A)

V_S = Tegangan sumber (v)

V_{LC} = Tegangan pusat beban (v)

Y_L = Admitansi saluran (ʊ)

2.7. Perangkat Lunak Pendukung

2.7.1. Python

Pada tugas akhir ini penulis menggunakan perangkat lunak yaitu Python. Python adalah open source software dimana keuntungan dari Python adalah gratis dan memungkinkan dalam penggunaan kode secara bebas untuk memodifikasi dan dapat dikembangkan.

Python merupakan bahasa pemrograman komputer yang menyediakan fitur mendukung pemrograman yang berorientasi objek.Ada beberapa karakteristik untuk menjelaskan pemrograman yang berorientasi objek yakni:

1. Program dibuat dari pendefinisian objek dan fungsi dimana perhitungan komputasi diekspresikan dalam operasi pada objek.
2. Pendefinisian objek merujuk ke beberapa konsep yang sebenarnya dan fungsi objek dianalogikan sebagai interaksi pada objek.

Ide dasar dalam OOP (Objek Orientasi Program) adalah Program yang berorientasi pada objek power sistem didunia nyata sebagai objek data dalam program[6].

2.7.2. UnilaPF (Unila *Power Flow*)

UnilaPF merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan sebagai perhitungan aliran daya listrik pada saluran distribusi yang berbasiskan pemrograman python. Bahasa pemrograman python selanjutnya oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung dikembangkan dan digunakan khususnya di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik menjadi UnilaPF.[9]

2.8. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang *Step Voltage Regulator* sebelumnya telah dibahas oleh William H. Kersting (*Distribution System Modeling and Analysis*, 2001),dan kemudian oleh Mancheol Shin, Chulwoo Park, Jaesung Jung, Kernjoong Kim, dan Seongmin So dalam paper ("*Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulator and Their Applications*" 2013). Pada buku yang dituliskan oleh William H. Kersting mengenai penjelasan tentang *Step Voltage Regulator* seperti prinsip kerja *SVR*, tipe *SVR* yakni tipe A dan tipe

B, perbedaan tipe A dan tipe B, serta nilai rasio belitan yang digunakan. Dari berbagai refrensi paper yang digunakan para peneliti mengacu pada William H. Kersting sebagai dasar teori mengenai *Step Voltage Regulator*.

Dalam paper "*Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulator and Their Applications*", dimodelkan *Step Voltage Regulator* dalam hubungan 1 fasa dan 3 fasa, dan dalam paper tersebut dijelaskan saat *Step Voltage Regulator* dihubungkan dalam hubung *Wye,* hubung *Close Delta*, dan hubung *Open Delta*. Dalam paper tersebut peneliti menggunakan tipe B dengan hubung *Wye* dalam posisi *raise*. Peneliti menggunakan *SVR* tipe B dikarenakan tipe B adalah jenis *SVR* dengan cakupan *internasional* yang umumnya menggunakan frekuensi 50 Hz.,dengan menempatkan posisi *SVR* mendekati sumber tenaga. Dengan menggunakan hubung *wye* dimana dapat menaikkan tegangan ± 10% dari tegangan nominalnya. Dan juga diteliti dengan posisi *raise* karena posisi tersebut dapat menaikkan nilai tegangan[9].

Pemodelan *SVR* dengan software *phyton,* sebelumnya telah dilakukan oleh Muhamad Wahidi, S.T. dengan menyempurnakan komponen *Step Voltage Regulator* tiga fasa dalam program *phyton* yang selanjutnya disebut sebagai *"Unila Optimal Power Flow (UnilaPF).* Analisa *Step Voltage Regulator* juga telah dilakukan oleh Binsar Daniel Sandi, S.T.[9].

Namun sistem analisia hanya dilakukan pada sistem satu fasa , sedangkan untuk tiga fasa tidak dilakukan. Pada kenyataannya sistem tiga fasa perlu

dipertimbangkan mengingat kondisi tiap fasa yang berbeda. Secara matematis perlu dilakukan perhitungan aliran daya tiga fasa. Karena itu penelitian ini masih perlu dilanjutkan kedalam sistem tiga fasa.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Tugas akhir 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

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu :

1. Satu Unit Laptop dengan spesifikasi Intel Corei3, prosesor 2.20 GHz, dan sistem operasi Windows 7 Ultimate sebagai media perancangan dan pengujian simulasi.
2. Perangkat Lunak *Python* sebagai perangkat lunak utama untuk perancangan dan perhitungan.
3. Perangkat Lunak *OpenDSS* sebagai alat bantu untuk membandingkan perhitungan pada program utama.
4. Data – data line, beban, generator, bus pembangkit, bus beban, serta diagram penyulang Pakis pada PLN GI Menggala

3.3. Tahap Penelitian

Adapun langkah kerja yang dilakukan dalam penyelesian tugas akhir ini yaitu :

1. Studi Literatur

   Studi literatur yang dimaksut yaitu mempelajari materi yang berkaitan dengan tugas akhir, baik yang bersumber dari refrensi atau sumber ilmiah lainnya seperti jurnal ilmiah, skripsi, buku yang terkait dengan tugas akhir, serta website resmi terkait *software* yang digunakan.

2. Studi Bimbingan

   Pada tugas akhir ini studi bimbingan yang dilakukan dengan berdiskusi, dan tanya jawab dengan dosen pembimbing guna menambah wawasan dan mengenai masalah-masalah yang dihadapi selama mengerjakan tugas akhr ini

3. Pengambilan Data

   Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam tugas akhir ini yang akan digunakan untuk dianalisa menggunakan perangkat lunak. Data yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu :

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

   Setelah data terkumpul maka data tersebut akan diolah dengan dua tahap yaitu dengan menggunakan program utama dan dengan program

pembanding yang berfungsi untuk menunjukan kesesuaian antara program yang dibuat dengan program yang sudah ada.

4. Simulasi

   Tahapan selanjutnya proses simulasi aliran daya tiga fasa. Data – data yang telah dikumpulkan berfungsi untuk mengetahui penempatan letak *Step Voltage Regulator (SVR)* yang tepat dengan menggunakan program utama *Python* dan OpenDss. Adapun langkah-langkah simulasi yang dilakukan yaitu :

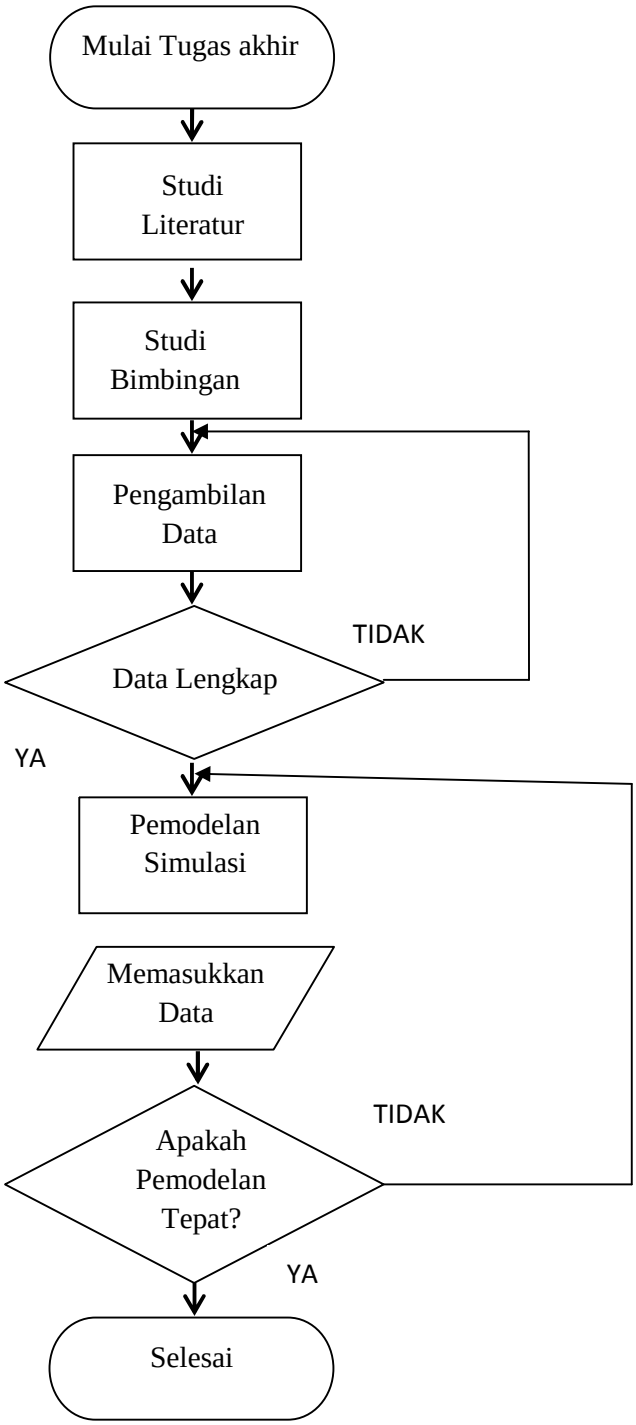
   a. Memasukkan data yang telah didapat.Menjalankan simulasi aliran daya setelah memasukkan data dengan menggunakan *software Python.*
   b. Mengamati bus yang mengalami *drop* tegangan yang paling besar dan menambahkan *Step Voltage Regulator (SVR)*
   c. Membuat program pada OpenDss dengan mealukan langkah – langkah yang sama yaitu memasukkan data dan disimulasikan
   d. Membandingkan hasil yang didapat pada *software Python* dengan program pembanding OpenDss.

5. Pembuatan Laporan

   Pada tahapan ini berfungsi untuk menuliskan hasil yang telah didapatkan dan sebagai saran pertanggungjawaban terhadap tugas akhir yang dilakukan. Laporn dibagi menjadi dua tahap , yaitu tahap pertama untuk seminar usul dan tahap kedua laporan akhir untuk seminar hasil.

3.4. Diagram Alir Penelitian

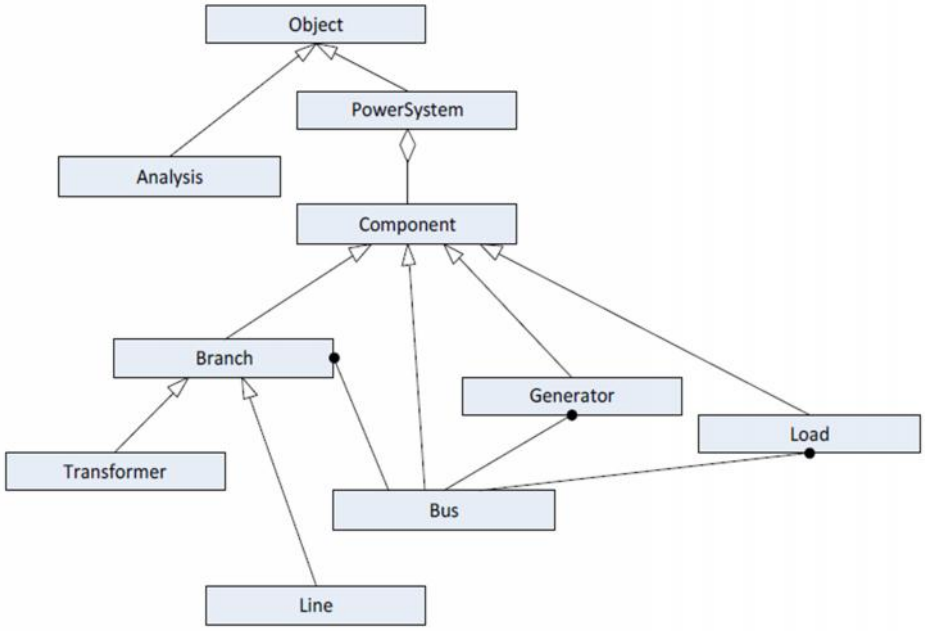
Adapun diagram alir pada tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1. Diagram alir tugas akhir

3.5. Pemprograman Berorientasi Obyek (*Object-Oriented Programming*)

Pada tugas akhir dalam studi aliran daya sistem dimodelkan dalam keadaan *steady-state*. Pendekatan program yang memudahkan dalam menyatakan objek model power system dalam dunia nyata ke dalam model komputasi disebut dengan pemprograman berorientasi objek. Pada Gambar 3.2 adalah diagram model kelas dalam sistem tenaga pada tugas akhir ini :



Gambar 3.2. Struktur Kelas *Object-Oriented Programming*[8]

Kelas – kelas pada program yaitu :

1. Kelas *Power System*

   Pada Kelas *Power System* ini dimana berisikan tentang pembacaan format data yang telah ada.Kelas *power system* dimana proses pengolahan data akan dilakukan kemudian setiap komponen akan dipanggil oleh kelas *power system* dan akan diolah kedalam sebuah fungsi.

2. Kelas *Analysis*

   Pada Kelas *Analysis* berisikan tentang rumus – rumus aliran daya tiga fasa tak seimbang. Dimana pada kelas analysis mulai membuat matriks admitansi, memhgitung mismatch, membuat matriks Jacobian, dan menyelesaikan persamaan matriks. Kelas analiysis juga membuat iterasi hingga nilai yang didapat konvergen dan nilai tegangan, sudut fasa, daya aktif, serta daya reaktif.

3.6. Langkah - langkah Perhitungan Program

Adapun langkah – langkah dalam perhitungan aliran daya tiga fasa tak seimbang dalam program sebagai berikut :

1. Memasukkan data
2. Membentuk Matriks admitansi bus (Y_{abc})

   Pada studi aliran daya matriks admitansi didapat dari besarnya hambatan pada saluran. Persamaan matriks impedansi jaringan antara bus i dan bus j dengan persamaan berikut :

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} Z_{aa} Z_{ab} Z_{ac} \\ Z_{ba} Z_{bb} Z_{bc} \\ Z_{ca} Z_{cb} Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (21)$$

   Dimana :

   Z_{abc}: impedansi saluran pada masing - masing fasa

   Zaa, Zbb, Zcc : impedansi fasa sendiri.

   Zab, Zac, Zba, Zbc, Zca, Zcb : impedansi fasa bersama.

Matriks admitansi bus per fasa pada sistem tiga fasa tak seimbang sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{aa} & Y_{aa} \\ Y_{aa} & Y_{aa} & Y_{aa} \\ Y_{aa} & Y_{aa} & Y_{aa} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} y_p & y_q & y_r \\ y_r & y_p & y_q \\ y_q & y_r & y_p \end{bmatrix} \quad (22)$$

Dimana :

$$y_p = (y_0 + y_1 + y_2) \quad (23)$$

$$y_q = (y_0 + a.y_1 + a^2.y_2) \quad (24)$$

$$y_r = (y_0 + a^2.y_1 + a.y_2) \quad (25)$$

Nilai admitansi n bus seperti pada tabel 3.1. berikut :

Tabel 3.1. Tabel admitansi n-bus

Bus i	Bus j		
	Fasa a	Fasa b	Fasa c
Fasa a			
Fasa b			
Fasa c			

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

Pada slack bus dan bus beban (PQ) nilai tegangan awalnya diasumsikan yaitu :

$$\left|V_i^{abc}\right| \angle \theta^{abc} = 1\angle 0^o \quad (26)$$

Diubah kedalam bentuk *rectangular* yaitu :

$$e_i^{abc} + jf_i^{abc} = 1 + j0 \quad (27)$$

Dimana :

e_i^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus i

f_i^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

V_i^{abc} = Tegangan fasa a,b,c di bus i

4. Menentukan Iterasi n = 0

5. Menghitung Mismatch(ΔP_i^{abc} , ΔQ_i^{abc} , ΔV_i^{abc})

Persamaan nilai Selisih daya aktif (ΔP_i^{abc})

$$\Delta P_i^{abc} = P_{i\,spec}^{abc} - P_{inj}^{abc} \quad (28)$$

$$\Delta P_i^{abc} = P_{gen}^{abc} - P_{load}^{abc} - P_{inj}^{abc} \quad (29)$$

Keterangan :

P_{inj}^{abc} = Daya aktif injeksi fasa a,b,c

P_{load}^{abc} = Daya aktif beban fasa a,b,c

P_{gen}^{abc} = Daya aktif generator fasa a,b,c

$P_{i\,spec}^{abc}$ = Nilai nominal daya aktif dibus i pada fasa a,b,c

ΔP_i^{abc} = Rugi-rugi daya aktif fasa a,b,c di bus i

Dimana :

$$P_{load}^{abc} = \left(P_{to} \left(a \left((e_i^{abc})^2 + (f_i^{abc})^2 \right) + b \left((e_i^{abc})^2 + (f_i^{abc})^2 \right)^{\frac{1}{2}} + c \right) \right) \quad (30)$$

$$P_{inj}^{abc} = \left(e_i^{abc} \sum_{j \square i} \left(G_{ij}^{abc} e_j^{abc} - B_{ij}^{abc} f_j^{abc} \right) + f_i^{abc} \sum_{j \square 1} \left(G_{ij}^{abc} f_j^{abc} + B_{ij}^{abc} e_j^{abc} \right) \right) \quad (31)$$

Keterangan :

P_{inj}^{abc} = Daya aktif injeksi fasa a,b,c

P_{load}^{abc} = Daya aktif beban fasa a,b,c

P_{LO} = Daya aktif beban awal

e_i^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus i

e_j^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus j

f_i^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

f_j^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus j

G_{ij}^{abc} = Konduktansi fasa a,b,c di bus i ke j

B_{ij}^{abc} = Suseptansi fasa a,b,c di bus i ke j

Persamaan selisih nilai daya reaktif (ΔQ_i^{abc})

$$\Delta Q_i^{abc} = Q_{i\,spec}^{abc} - Q_{inj}^{abc} \quad (32)$$

$$\Delta Q_i^{abc} = Q_{gen}^{abc} - Q_{load}^{abc} - Q_{inj}^{abc} \quad (33)$$

Keterangan :

Q_{inj}^{abc} = Daya reaktif injeksi fasa a,b,c

Q_{load}^{abc} = Daya reaktif beban fasa a,b,c

Q_{gen}^{abc} = Daya reaktif generator fasa a,b,c

$Q_{i\,spec}^{abc}$ = Nilai nilai daya reaktif dibus i fasa a,b,c

ΔQ_i^{abc} = Rugi-rugi daya reaktif fasa a,b,c di bus i

Dimana :

$$Q_{load}{}^{abc} = \left(Q_{LO} \left(a \left((e_i{}^{abc})^2 + (f_i{}^{abc})^2 \right) + b \left((e_i{}^{abc})^2 + (f_i{}^{abc})^2 \right)^{\frac{1}{2}} + c \right) \right) \quad (34)$$

$$Q_{inj}{}^{abc} = \left(f_i{}^{abc} \sum_{j \square i} \left(G_{ij}{}^{abc} e_j{}^{abc} - B_{ij}{}^{abc} f_j{}^{abc} \right) - e_i{}^{abc} \sum_{j \square 1} \left(G_{ij}{}^{abc} f_j{}^{abc} + B_{ij}{}^{abc} e_j{}^{abc} \right) \right) \quad (35)$$

Keterangan :

$Q_{inj}{}^{abc}$ = Daya reaktif injeksi fasa a,b,c

$Q_{load}{}^{abc}$ = Daya reaktif beban fasa a,b,c

Q_{LO} = Daya reaktif beban awal

$e_i{}^{abc}$ = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus i

$e_j{}^{abc}$ = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus j

$f_i{}^{abc}$ = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

$f_j{}^{abc}$ = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus j

$G_{ij}{}^{abc}$ = Konduktansi fasa a,b,c di bus i ke j

$B_{ij}{}^{abc}$ = Suseptansi fasa a,b,c di bus i ke j

Pada PV bus, nilai Q diganti menjadi V^2 dengan persamaan :

$$\Delta V_i{}^{abc} = \left(e_i{}^{abc} \right)^2 + \left(f_i{}^{abc} \right)^2 \quad (36)$$

Keterangan :

$e_i{}^{abc}$ = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus i

$f_i{}^{abc}$ = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

V_i^{abc} = Tegangan fasa a,b,c di bus i

6. Memeriksa nilai ΔP_i^{abc} , ΔQ_i^{abc} , ΔV_i^{abc} apakah sudah sesuai dengan nilai toleransi yang ditetapkan, jika belum maka lanjut ke langkah 7 dan jika sudah mencapai nilai toleransi yang ditetapkan makan ke langkah 10.

7. Menghitung matriks Jacobian

Persamaan matriks Jacobian

$$\begin{bmatrix}\Delta P\\ \Delta Q\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}H & N\\ J & L\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta e\\ \Delta f\end{bmatrix} \quad (37)$$

Tabel 3.2. Tabel Persamaan Jacobian rectangular tiga fasa[6]

ΔP_j^{abc}	=	$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial P_j^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$	•	Δe_j^{abc}
ΔQ_j^{abc}		$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial Q_j^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$		Δf_j^{abc}
ΔP_k^{abc}		$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial P_k^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$		Δe_k^{abc}
ΔV_k^{abc}		$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial e_j^{abc}}$	$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial f_j^{abc}}$	$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial e_k^{abc}}$	$\frac{\partial V_k^{abc}}{\partial f_k^{abc}}$		Δf_k^{abc}

Elemen Diagonal (i = j)

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial e_i} =$$

$$-\left(P_{L0}\left(a.\,2e_i + \frac{b.e_i}{(e_i^2+f_i^2)^{\frac{1}{2}}}\right)\right) - \left(\left(\sum_{j\in i}\left(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j\right)\right) + G_{ii}e_i + B_{ii}f_i\right) \quad (38)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial f_i} =$$

$$-\left(P_{L0}\left(a.\,2f_i + \frac{b.f_i}{(e_i^2+f_i^2)^{\frac{1}{2}}}\right)\right) - \left(\left(\sum_{j\in i}\left(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j\right)\right) + G_{ii}f_i - B_{ii}e_i\right) \quad (39)$$

$$\frac{\partial \Delta Q_i}{\partial e_i} =$$

$$-\left(Q_{L0}\left(a.2e_i + \frac{b.e_i}{(e_i^2+f_i^2)^{\frac{1}{2}}}\right)\right) + \left(\left(\sum_{j\in i}\left(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j\right)\right) - G_{ii}f_i + B_{ii}e_i\right) \quad (40)$$

$$\frac{\partial \Delta Q_i}{\partial f_i} =$$

$$-\left(Q_{L0}\left(a.2f_i + \frac{b.f_i}{(e_i^2+f_i^2)^{\frac{1}{2}}}\right)\right) - \left(\left(\sum_{j\in i}\left(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j\right)\right) - G_{ii}e_i - B_{ii}f_i\right) \quad (41)$$

$$\frac{\partial {V_i}^2}{\partial e_i} = 2e_i \quad (42)$$

$$\frac{\partial {V_i}^2}{\partial f_i} = 2f_i \quad (43)$$

Elemen Non diagonal ($i \neq j$):

$$H_{ij} = \frac{\partial P_i}{\partial e_j} = G_{ij}e_i + B_{ij}f_i \quad (44)$$

$$N_{ij} = \frac{\partial P_i}{\partial f_j} = G_{ij}f_i - B_{ij}e_i \quad (45)$$

$$J_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = G_{ij}f_i - B_{ij}e_i \quad (46)$$

$$L_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial f_j} = -G_{ij}e_i - B_{ij}f_i \quad (47)$$

$$R_{ij} = \frac{\partial {V_i}^2}{\partial e_j} = 0 \quad (48)$$

$$S_{ij} = \frac{\partial {V_i}^2}{\partial f_j} = 0 \quad (49)$$

Keterangan :

e_i = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan rill di bus i

e_j = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan rill di bus j

f_i = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

f_j = Nilai tegangan dalam bentuk bilangan imajiner di bus j

G_{ij} = Konduktansi di bus i ke j

B_{ij} = Suseptansi di bus i ke j

Q_{LO} = Daya reaktif beban awal

P_{LO} = Daya aktif beban awal

8. Menghitung Tegangan Bus Baru

$$e_i^{abc(n+1)} = e_i^{abc(n)} + \Delta e_i^{abc(n)} \quad (50)$$

$$f_i^{abc(n+1)} = f_i^{abc(n)} + \Delta f_i^{abc(n)} \quad (51)$$

Keterangan :

e_i^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus i

f_i^{abc} = Nilai tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

Δe_i^{abc} = Rugi-rugi tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan rill di bus i

Δf_i^{abc} = Rugi-rugi tegangan fasa a,b,c dalam bentuk bilangan imajiner di bus i

9. Kembali ke langkah 5

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

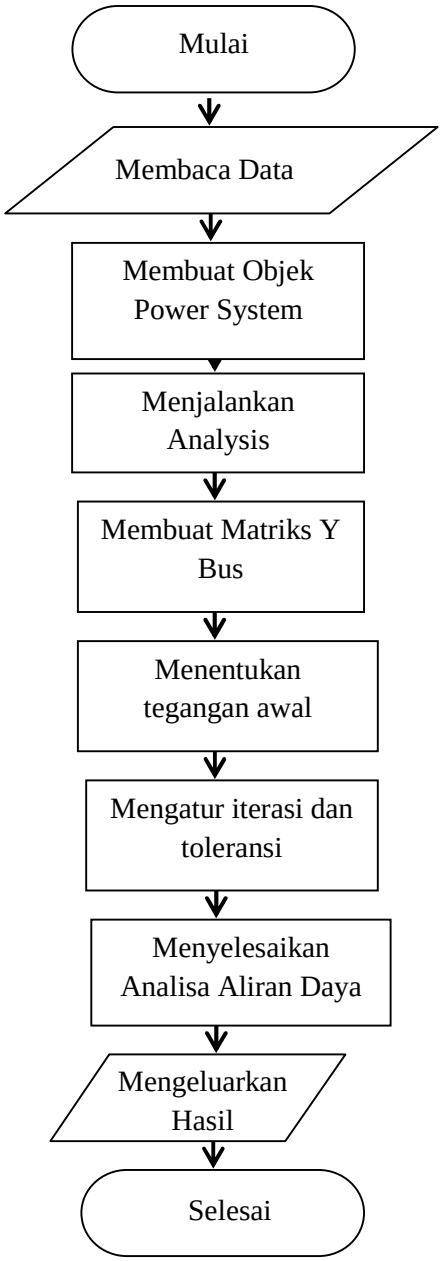
Kemudian menghitung aliran daya pada P dan Q di bus slack dan Bus Beban.

$$P_i^{abc} = P_{gen}{}^{abc} - P_{load}{}^{abc} - P_{inj}{}^{abc} \quad (52)$$

$$Q_i^{abc} = Q_{gen}{}^{abc} - Q_{load}{}^{abc} - Q_{inj}{}^{abc} \quad (53)$$

3.7. Diagram Alir Program

Adapun diagram alir pada program tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.3. Diagram alir program

3.8. Simulasi Program

Pada simulasi aliran daya tiga fasa tak seimbang pada GI Menggala dengan menggunakan program UnilaPF. Berikut adalah langkah – langkah simulasi sebagai berikut :

1. Membuat data:
   a. *MVA Base* (Daya Referensi)

      MVA Base pada program yaitu 100MVA.

   b. Data Bus

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

   c. Data Beban

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

   d. Data Line

      Data line yaitu hubungan antara bus ke bus lainnya

2. Menjalankan program Python

   Program python yang diinstal dalam komputer untuk simulasi program serta menginstal numpy 1.9.0 dan scipy 0.16.0b2 sebagai library perhitungan.

3. Simulasi

   Langkah selanjutnya simulasi program UnilaPF, dimana terlebih dahulu studi kasus yang akan digunakan yang dan telah dibuat di nontepad. Setelah itu studi kasus yang telah dibuat disimulasikan dengan memasukkan nama didalam program yang telah dibuat.

4. Membandingkan Hasil Simulasi

   Setelah hasil simulasi didapat maka hasil simulasi tersebut perlu dibandingkan dengan program OpenDSS. Langkah yang dilakukan sama seperti UnilaPF dengan menuliskan data – data dalam format OpenDSS yang akan disimulasikan Setelah disimulasikan didapat hasil simulasi pada OpenDSS dan dibandingkan dengan hasil simulasi pada UnilaPF

5. Membuat Analisa dari Hasil Simulasi

   Setelah dilakukan simulasi dari program UnilaPF dan OpenDSS maka perlu dianalisa untuk mengetahui hasil yang didapat pada kedua program tersebut.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah di lakukan tugas akhir dan simulasi maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai tegangan, sudut tegangan, di setiap bus pada masing – masing fasa adalah hampir sama atau mendekati antara program *UnilaPF* dengan program pembanding *OpenDSS* pada saat ditambahkan *SVR* dengan tidak ditambahkan *SVR*.
2. Nilai pada total rugi – rugi daya aktif dan total rugi – rugi daya reaktif yang didapatkan tidak sama atau berbeda dengan program *UnilaPF* terhadap program pembanding *OpenDSS*,karna solver pada UnilaPF dan OpenDSS menggunakan pendekatan cara berbeda tetapi metode yang digunakan sama tetapi pada total rugi-rugi daya reaktif saat ditambahkan *SVR* nilainya sama antara program *UnilaPF* dengan program pembanding *OpenDSS* sebesar 0,0205 Kvar.
3. Tegangan yang dikompensasi saat ditambahkan *SVR* tap maksimal sebesar 0,9 terjadi kenaikan ± 2-2,1 kV atau 10% dari tegangan 20 kV, hal ini membuktikan bahwa *SVR* dapat memperbaiki tegangan.

4. Terdapat kesesuaian tegangan saat ditambahkan *SVR* dengan tidak ditambahkan *SVR* antara program *UnilaPF* dengan program pembandingnya *OpenDSS*.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan maka saran yang dapat di berikan untuk tugas akhir yang selanjutnya adalah :

1. Perlu adanya pengembangan tugas akhir lebih lanjut untuk menggunakan macam – macam model beban *constant power* dan *constant current* dengan menggunakan hubung *Wye* pada *Step Voltage Regulator*.
2. Perlu adanya pengembangan tugas akhir lebih lanjut untuk membandingkan ketiga koneksi yang dapat digunakan pada *Step Voltage Regulator* 3 phasa.
3. Perlu adanya pengembangan penempatan tap secara otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Destiarini, Titin. 2009. *Studi &Analisa Aliran Daya Pada Sistem Sumatera Utara – Nangroe Aceh Darussalam Dengan Menggunakan Program Power System Simulation Engineering (PSS/E) Versi 31.0.0*. Medan : Universitas Sumatera Utara

[2] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis. New York* : The McGraw-Hill Companies

[3] B.M. weedy, B.J.Cory, N. Jenkins, J.B. Ekanayake, G.Strbac. 2012. *Electric Power System Fifth Edition*. West Sussex : John Wiley and Sons, Ltd.

[4] Kersting, W.H. Distribusion System Modeling and Analysis, CRC Press, Boca Raton, FL, 2007.

[5] Shin Mancheol, Chulwoo Park, Jaesung jung, Kernjoong Kim, Seongmin So. 2013. *Nodal Admittance Modeling of Three - Phase Step – Voltage Regulators and their Aplication*. Korea : 2013 International Conference on Elektrical Machines and Systems

[6] Wahidi, Muhamad. 2014. *Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang Pada Penyulang Kangkung PT.PLN (Persero) Distribusi* Lampung. Bandar Lampung : Universitas Lampung

[7] L. Hakim, *Buku Ajar Matakuliah Analisa Sistem Tenaga*. Bandar Lampung : Universitas Lampung : 2013

[8] 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 Pyton Software Package.* Yogyakarta : 6th Internasional Conference on Information Technology and Electrical Engineering.

[9]. Daniel, Binsar. 2016. Studi Pemasangan Step Voltage Regulator Dengan Model Injeksi Daya Pada Jaringan Menengah 20 KV Penyulang Katu Gardu Induk Menggala PT.PLN (PERSERO) Distribusi Lampung Lampung. Bandar Lampung: Universitas Lampung

[10] Lembaga Penelitian Universitas Lampung, "Kajian dan Studi Perbaikan Tegangan *Drop* Penyulang Kangkung pada PT. PLN (PERSERO) Rayon Menggala", Penelitian Universitas Lampung. 2014