

STUDI PEMASANGAN STEP VOLTAGE REGULATOR DENGAN MODEL
INJEKSI DAYA PADA JARINGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG KATU
GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG

(Skripsi)

Oleh

Binsar Daniel Sandi



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2016

ABSTRAK

STUDI PEMASANGAN STEP VOLTAGE REGULATOR DENGAN MODEL INJEKSI DAYA PADA JARINGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG

Oleh

BINSAR DANIEL SANDI

Penyulang Katu GI Menggala PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung memiliki panjang saluran sekitar 158 km dengan maksimum beban yang terukur dari GI Menggala sekitar 4,6 MW dan terdiri dari 119 Bus. Kondisi ini mengakibatkan penyulang ini mengalami profil tegangan yang melanggar ketentuan $\pm 5\%$ sebagaimana yang dinyatakan dalam Aturan Penyambungan atau *Grid Code*. Untuk memperbaiki kondisi ini, salah satunya adalah dengan pemasangan *step voltage regulator*. Dalam tugas akhir ini, SVR dimodelkan sebagai injeksi daya yang kemudian dikombinasikan dengan persamaan aliran daya. SVR yang dijadikan obyek dalam penelitian ini adalah dari Type B dimana pemasangan SVR Type B dipasang di dekat sumber. Metode analisa aliran daya yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Newton-Raphson. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan tegangan akibat kontrol yang dilakukan oleh SVR. Sebelum pemasangan SVR, tegangan pada Bus 5 Penyulang Katu adalah 16,9828 kV. Setelah pemasangan SVR, terdapat peningkatan sebesar 1,3837 kV sehingga menjadi 18,3665 kV. Namun demikian, pemasangan SVR saja belum dapat memperbaiki profil tegangan secara keseluruhan akibat terlalu jauhnya drop tegangan di Penyulang Katu ini. Sehingga posisi tap maksimum SVR tidak mampu mengkompensasi tegangan yang jauh di bawah 0.95 p.u. yang terjadi di Penyulang Katu. Hasil perhitungan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan sendiri dan dibandingkan dengan perangkat lunak komersil yaitu ETAP. Selisih hasil perhitungan berada dalam kisaran 0.0108%.

Kata kunci : aliran daya, *step voltage regulator*, tegangan jatuh , tap SVR .

ABSTRACT

A STUDY ON STEP VOLTAGE REGULATOR WITH POWER INJECTION MODEL FOR 20 KV MEDIUM VOLTAGE KATU FEEDER AT GI MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG

By

BINSAR DANIEL SANDI

Katu feeder of GI Menggala PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung is about 158 km length with a maximum measured load from GI Menggala of about 4.6 MW and consists of 119 Buses. These conditions make the feeder suffers voltage profile that violates the limit of +/- 5% as stated in the Connection Code or the Grid Code. In order to correct this condition, installation of a step voltage regulator (SVR) is required. In this thesis, the SVR is modeled as a power injection and combined into the power flow equations. SVR of this research is of Type B where installation this type of SVR is near the source. Power flow analysis method used in this research is the Newton-Raphson method. The results showed an increase in voltage due to the control exercised by the SVR. Before mounting SVR, the voltage on Bus 5 of feeder Katu is 16.9828 kV. After SVR installation, the voltage becomes 18.3665 kV. However, the installation of SVR alone can not fix the overall voltage profile due to the large voltage drop along this feeder although the SVR was set to maximum tap position. The result of the calculation is done by using a self-developed software and compared to a commercial software i.e. ETAP. The difference in calculation results are within the range of 0.0108%.

Keywords : power flow, step voltage regulators, voltage drop, tap SVR.

**STUDI PEMASANGAN STEP VOLTAGE REGULATOR DENGAN MODEL
INJEKSI DAYA PADA JARINGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG KATU
GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG**

Oleh

BINSAR DANIEL SANDI

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 PEMASANGAN STEP VOLTAGE
REGULATOR DENGAN MODEL INJEKSI
DAYA PADA JARINGAN MENENGAH
20 KV PENYULANG KATU GARDU INDUK
MENGGALA PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa

: Binsar Daniel Sandi

Nomor Pokok Mahasiswa : 0915031082

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik



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

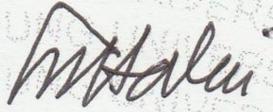
Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

I. Tim Penguji

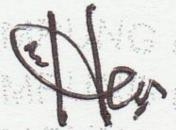
Ketua

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



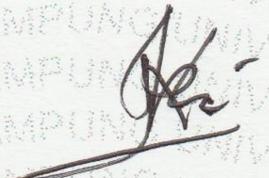
Sekretaris

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



Penguji

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



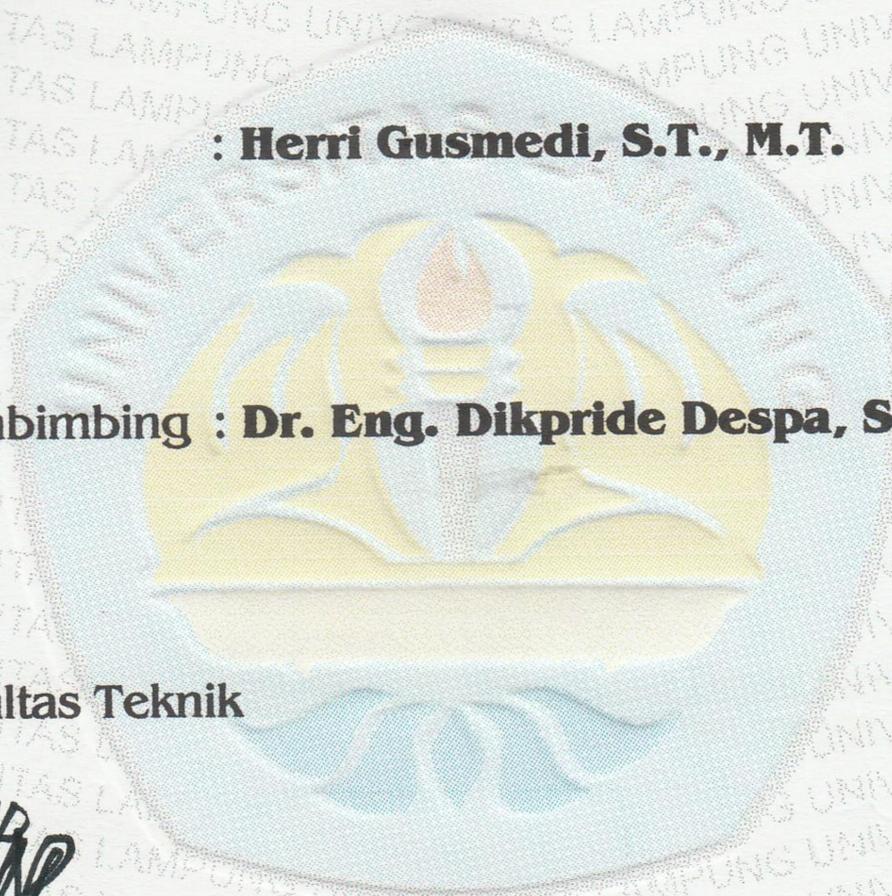
2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Februari 2016



SURAT PERNYATAAN

RIWAYAT DIDIK

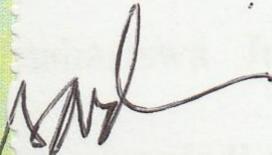
Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Adapun karya orang lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dicantumkan sumbernya pada daftar pustaka.

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

Bandar Lampung,

Maret 2016




Binsar Daniel Sandi
NPM. 0915031082

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung, pada tanggal 15 September 1991, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari Bapak Jusman Togatorop dan Ibu Rumia Sitorus.

Penulis memasuki dunia pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Xaverius Way Halim 4, lulus pada Tahun 2003, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 2 Bandar Lampung, lulus pada tahun 2006, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 3 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2009.

Tahun 2009, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dilembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro yaitu sebagai anggota Divisi Kerohanian (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) pada tahun 2010-2011, anggota Divisi Sosial dan Ekonomi Himatro pada tahun 2011-2012. Penulis juga aktif sebagai Koordinator Minat dan Bakat pada lembaga kerohanian FKMK – FT (Forum Komunikasi Mahasiswa/i Kristiani Fakultas Teknik) pada tahun 2012 – 2013. Selain itu, penulis juga bergabung di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik sejak 2013 dan menjadi asisten praktikum Sistem Tenaga Elektrik dan Analisa Sistem Tenaga. Pada tahun 2013, Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PLTU Tarahan PT. PLN Lampung. Mengangkat judul

“Relay Frekuensi Kurang (*Under Frequency Relay*) 81G sebagai Sistem Proteksi Generator 125 MVA Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tarahan”.



MOTTO

“Serahkanlah perbuatanmu kepada TUHAN, maka terlaksanalah segala rencanamu”

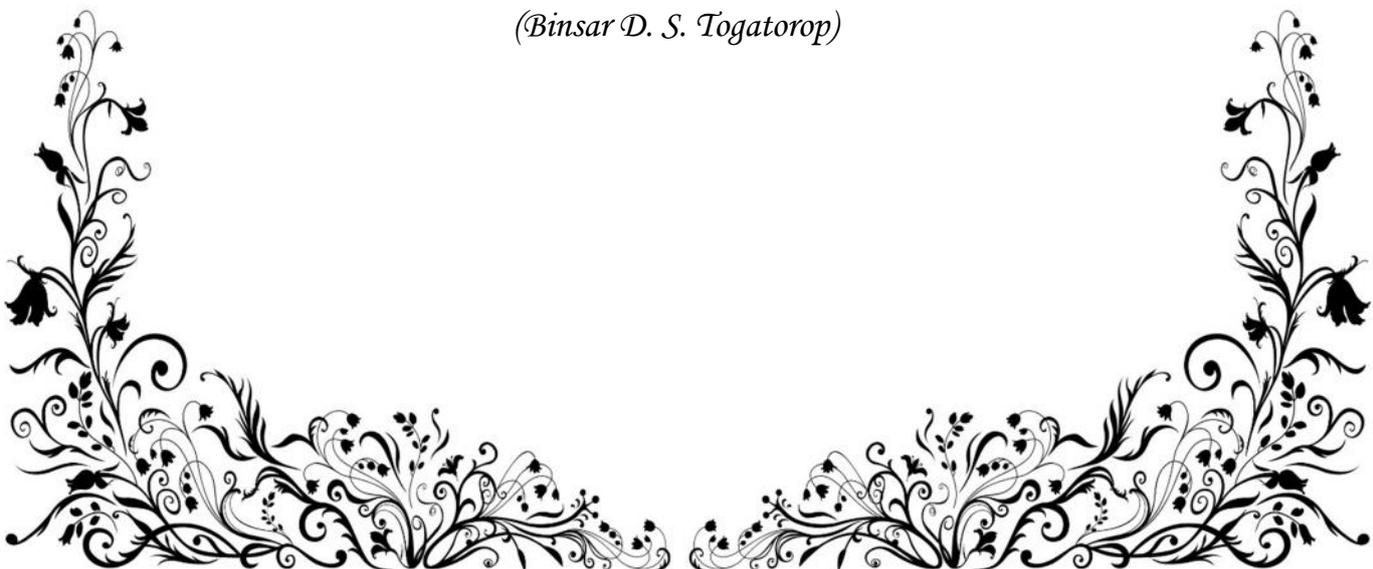
(Amsal 16 : 3)

“Bertekunlah dalam doa dan dalam pada itu berjaga-jagalah sambil mengucap syukur”

(Kolose 4 : 2)

“Jika jatuh itu sakit segeralah bangkit dan mulai berlari, karena bukan orang lain yang akan menuntun hidup mu, namun dirimulah sendiri yang akan menentukan akhir jalan hidup mu”

(Binsar D. S. Togatorop)

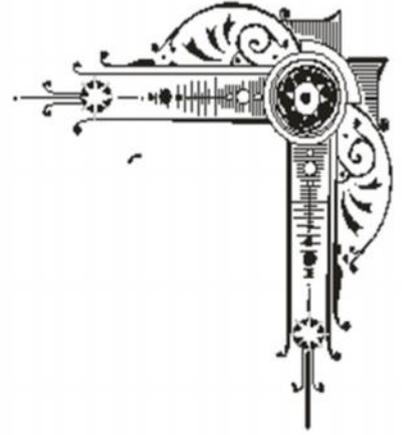




**EVERY FAMILY HAS A STORY
WELCOME TO OURS**

(TEKNIK ELEKTRO 2009)





Karya ini kupersembahkan untuk

Bapak dan Mama Tercinta

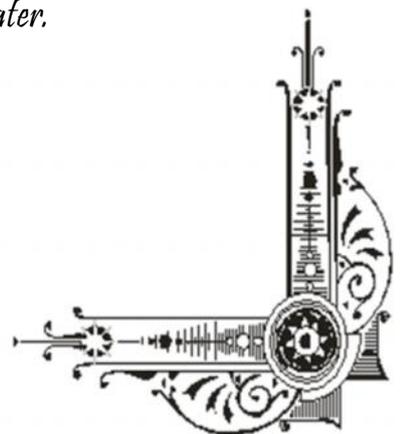
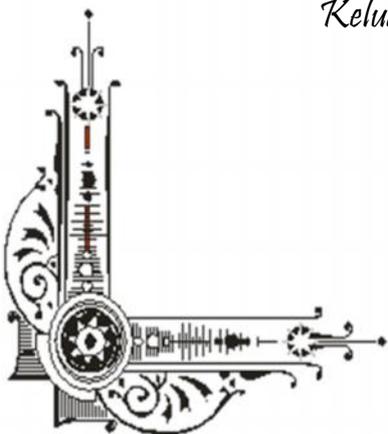
Jusman Togatorop dan Rumia Sitorus

Abang dan Adikku Tersayang

Indra Maruli Parlindungan Togatorop

Andri Samuel Pangihutan Togatorop

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater.



SANWACANA

Puji Tuhan, syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas segala karunia, berkat, serta nikmat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “STUDI PEMASANGAN *STEP VOLTAGE REGULATOR* DENGAN MODEL INJEKSI DAYA PADA JARINGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas oleh dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Phd. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, terima kasih untuk motivasi, kritik dan sarannya.
3. Bapak (Alm). Yulianto Rahardjo. selaku Pembimbing Akademik (PA), terima kasih atas bimbingan, perhatian serta saran yang telah diberikan selama ini.

4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan banyak ilmu, kritik, saran, bimbingan serta segala bantuan yang sudah diberikan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Pendamping yang juga telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing Kerja Praktik dan dosen Penguji yang telah memberikan ilmu, kritik, saran yang membangun penyelesaian studi ini.
7. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, dorongan dan ilmu yang sangat berarti bagi penulis.
8. Keluarga di laboratorium Sistem Tenaga Elektrik: M. Widi Triyatno, S.T., Nurhadi Sukmana, S.T., Luqvi R.S., S.T., terima kasih atas semua canda tawa, dukungan, saran serta bantuan, akhirnya diriku sekarang menyusul kalian mendapatkan gelar S.T., serta adik2 penghuni lab. STE yang telah membantu selama ini.
9. Kepada mas Abdurahman, terima kasih atas kerjasama dan pengalamannya selama beberapa tahun belakangan ini.
10. Sahabat seperjuangan Kerja Praktik dan Skripsi, Rifqi Annora Mulya, S.T. terima kasih atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
11. Sensei yang tak pernah mengenal lelah, Trisno Handoko, S.T. dan M. Wahidi, S.T., terima kasih untuk segala bantuan yang sudah diberikan selama ini.
12. Rekan – rekan Teknik Elektro angkatan 2009, Jumanto S. Panjaitan, S.T. (Pak Jum), Jimmy A. Barus, S.T. (Bedon), Brando Sinaga, Flesi Arnoldi,

Ferydon Nugraha (Idon), Ari Alfian (Uwak), Robert Lie Nasbuck , M. Cahyonyo, S.T. (Nyonyo), Alfi Faizu , dan yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan yang kita miliki beberapa tahun ini, terima kasih telah memberikan banyak warna dalam masa studi ini.

13. Rekan – rekan penghuni BesBeng (Basecamp Bengkel) dan Klub Cepeda Kejebak, Ranny Dwidayanti (rani item), Much. Rifqi (Mbew), Mardiyah Azzahra (Emak), Riyo Handoko (Cok Gendut), A. Taufik P. (Topik / Arkan Senior), Fedryan R. Fauzie, S.T, (Koped), Dedi Irawan (Bang Botoy), Anisa Rachman (Nisa Ndut), Albet Arifian (Pangeran Zuko), Brilliant Unggul Wicaksono (Ateng), terima kasih untuk canda tawa , serta perjalanan bersepeda yang sudah dilalui selama ini.
14. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar lampung, Februari 2016

Binsar Daniel Sandi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Perumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Step Voltage Regulator	6
2.1.1. Fungsi dan Kegunaan Step Voltage Regulator	8
2.1.2. Jenis Step Voltage Regulator	9
2.2. Penelitian Terdahulu	11
2.2.1. Model Admitansi	13
2.2.2. Model Injeksi	14
2.3. Perangkat Lunak Pendukung	19
2.3.1. UnilaPF	19
2.3.2. Phyton	19
2.3.3. ETAP	20

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.3. Metode Penelitian.....	22
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	24
3.5. Diagram Alir Program	25

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Distribusi Listrik 20 KV Gardu Induk Menggala.....	26
4.2. Hasil Simulasi dan Analisa.....	34
4.2.1. Profil Tegangan Sebelum di Injeksi SVR	36
4.2.1.1. Profil Tegangan 11 bus Sebelum di Injeksi SVR.....	36
4.2.1.2. Profil Tegangan 119 bus Sebelum di Injeksi SVR.....	39
4.2.2. Profil Tegangan Sesudah di Injeksi SVR.....	41
4.2.2.1. Profil Tegangan 11 bus Sesudah di Injeksi SVR	42
4.2.2.2. Profil Tegangan 119 bus Sesudah di Injeksi SVR	46

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	48
5.2. Saran	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Tabel 4.1. Data Beban Penyulang Katu.....	28
2. Tabel 4.2. Data Saluran Penyulang Katu.....	31
3. Tabel 4.3. Data Impedansi 11 Bus.....	35
4. Tabel 4.4. Data Beban 11 Bus	35

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. <i>Step Voltage Regulator</i>	7
2. Gambar 2.2. Indikator Posisi	8
3. Gambar 2.3. <i>Step Voltage Regulator</i> jenis A	10
4. Gambar 2.4. <i>Step Voltage Regulator</i> jenis B.....	11
5. Gambar 2.5. Model Admitansi <i>Step Voltage Regulator</i> di saluran	14
6. Gambar 2.6. Model Injeksi <i>Step Voltage Regulator</i> di jaringan	14
7. Gambar 2.7. Model <i>Step Voltage Regulator</i> dengan tegangan sisi primer lebih rendah dibandingkan dengan sisi sekunder.....	16
8. Gambar 3.1. Gambar Diagram Alir Penelitian	24
9. Gambar 3.2. Gambar Diagram Alir Program	25
10. Gambar 4.1. <i>Single Line</i> Diagram 119 Bus Penyulang Katu Gardu Induk Menggala.....	27
11. Gambar 4.2. <i>Single Line</i> Diagram 11 Bus	34
12. Gambar 4.3. Profil Tegangan Siang 11 bus sebelum di injeksi SVR.....	37

13. Gambar 4.4. Profil Tegangan malam 11 bus sebelum di injeksi SVR.....	38
14. Gambar 4.5. Profil Tegangan 119 Bus sebelum di injeksi SVR	40
15. Gambar 4.6. Profil Tegangan 11 Bus Kondisi Siang dengan penggunaan Tap SVR 8/5%	42
16. Gambar 4.7. Profil Tegangan 11 Bus Kondisi Malam dengan penggunaan Tap SVR 8/5%	44
17. Gambar 4.8. Profil Tegangan 119 Bus Kondisi Siang dengan penggunaan Tap SVR 8/5%	46

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses penyaluran tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama yaitu pembangkit, penghantar (saluran transmisi / distribusi), dan beban. Pada sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari unit – unit pembangkit di berbagai lokasi ke sistem distribusi yang pada akhirnya akan menyuplai beban ^[1]. Saluran transmisi mencatu gardu – gardu induk dimana tegangan diturunkan menjadi tegangan distribusi primer. Jaringan distribusi primer mencatu pelanggan tegangan menengah 20 KV. Kemudian tegangan diturunkan lagi menjadi 380/220 V, jaringan yang melayani pengguna pada tegangan rendah ini merupakan jaringan distribusi sekunder ^[2]. Kebutuhan tenaga listrik dapat diprediksi dari aktivitas permintaan penyaluran tenaga listrik, maka dari itu dibutuhkan kualitas listrik yang baik. Tegangan akhir saluran dapat dikatakan baik apabila tidak kurang dari batas yang ditentukan sebesar -10% (SPLN) dari tegangan nominal saluran. Rugi – rugi daya dan jatuh tegangan akan mempengaruhi kualitas tegangan di sepanjang saluran.

Rugi – rugi daya berasal dari impedansi penghantar di saluran. Impedansi berasal dari kabel penghantar yang digunakan, semakin panjang penghantar dan semakin kecil isolasi penghantar yang digunakan maka akan semakin besar impedansi saluran yang didapatkan. Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Semakin besar impedansi yang ada di saluran maka menyebabkan tingginya nilai jatuh tegangan. Penyaluran tenaga listrik yang belum ditunjang dengan cukupnya suplay tenaga listrik dari produsen menyebabkan saluran distribusi di daerah mengharuskan penggunaan kabel penghantar menjadi sangat panjang. Pada distribusi menggala penghantar dari gardu induk menggala hingga titik beban pertama mencapai 30 KM sehingga mengakibatkan tegangan jatuh yang besar untuk suatu proses awal penyaluran listrik. Dari jatuh tegangan yang sangat besar ini mengakibatkan tegangan akhir yang diterima konsumen terkhusus di ujung saluran menjadi sangat rendah. Kualitas tegangan listrik yang sampai ke titik beban harus memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat – sifat beban, oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*Voltage regulator*) yang bekerja untuk meningkatkan kualitas tegangan sampai ke konsumen stabil ^[3]. Beberapa peralatan perbaikan tegangan yang dapat digunakan di dalam saluran berupa kapasitor, *SVR*, *SVC* (*Static VAR Compensator*), dll. Pemilihan penggunaan *SVR* di dalam saluran berfungsi untuk memperbaiki kualitas tegangan dengan injeksi daya. Lain fungsi dari kapasitor, *SVR* memiliki tap di dalamnya yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan di dalam saluran distribusi dengan perubahan tegangan maksimal sebesar 2 KV. Untuk melakukan simulasi aliran daya

penulis menggunakan program *unilapf (unila power flow)* yang sebelumnya sudah dibangun, namun belum memiliki model *SVR*. Maka selanjutnya penulis memutuskan untuk melakukan pemodelan *SVR*. Kemudian setelah model terbentuk studi pemasangan *SVR* dapat dilakukan serta menerapkan di dalam saluran distribusi penyulang katu gardu induk menggala agar dapat mengamati perubahan kualitas tegangan sebelum dan sesudah pemasangan peralatan perbaikan tegangan ini.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini meliputi :

1. Menerapkan Model Injeksi Daya pada *Step Voltage Regulator* untuk analisis aliran daya
2. Menerapkan *Step Voltage Regulator* pada analisis aliran daya di penyulang katu GI Menggala PT. PLN (persero)

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas maka peneliti merumuskan permasalahannya sebagai berikut :

1. Jatuh tegangan (*voltage drop*) pada sistem distribusi harus dikompensasi sehingga tegangan pada setiap node dapat diperbaiki

2. Pada tugas akhir ini, perbaikan tegangan dilakukan dengan pemasangan *step voltage regulator* . Untuk itu model *step voltage regulator* untuk aliran daya akan dikembangkan

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diterapkan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian ini meliputi beberapa hal, yaitu :

1. Analisis sistem distribusi dalam kondisi tunak (*steady state*) dan tidak dilakukan analisis dinamis
2. Penyulang yang dianalisis adalah penyulang katu GI Menggala PT. PLN (persero)

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat menyempurnakan penelitian sebelumnya dengan menambahkan model *step voltage regulator* untuk analisa aliran daya

1.6. Hipotesis

Analisis penempatan *SVR (step voltage regulator)* dengan menggunakan program *python* dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas tegangan yang

berada di sepanjang sistem distribusi penyulang katu GI Menggala PT. PLN (persero).

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan akhir ini dibagi ke dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang dan masalah, tujuan penelitian, manfaat penilitan, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori pendukung yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, metode yang digunakan dan diagram penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil dan pembahasan dalam tugas akhir ini.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dalam tugas akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Step Voltage Regulator (SVR)*

Step voltage regulator adalah salah satu contoh peralatan perbaikan tegangan yang digunakan di dalam sistem distribusi. Regulator tegangan adalah perangkat yang menjaga tegangan distribusi dalam rentang tertentu dari nilai yang telah ditetapkan. Regulator tegangan digunakan oleh perusahaan listrik untuk meminimalkan drop tegangan dan untuk memastikan bahwa tegangan yang tepat diberikan kepada pelanggan^[4]. Kendala di dalam saluran distribusi akan mengakibatkan penurunan kualitas tegangan yang tidak bisa dihindari namun dapat diupayakan untuk diperbaiki sehingga proses penyaluran tenaga listrik menjadi lebih baik. Salah satu kendala tersebut adalah jatuh tegangan . Jatuh tegangan terjadi di sepanjang saluran yang menyebabkan pada ujung saluran akan didapatkan nilai akhir tegangan yang telah berkurang dari tegangan nominal awal. Untuk meminimalisir tegangan yang kurang dari normal seperti itu maka sangat diperlukannya peralatan pengatur tegangan seperti *step voltage regulator* . *Step voltage regulator* berfungsi mengkompensasi jatuh tegangan dengan injeksi daya ke dalam saluran.

Penggunaan *step voltage regulator* ditujukan untuk menaikkan kualitas tegangan dan mengurangi rugi – rugi di sepanjang saluran distribusi. Di dalam level tegangan menengah *step voltage regulator* digunakan di saluran distribusi tegangan menengah (20kV) . Pada distribusi tegangan menengah konstruksi *step voltage regulator* dapat terdiri dari 1 phasa dan 3 phasa. Penggunaan *step voltage regulator* berdasarkan kebutuhan di dalam saluran yang mana akan ditambahkan di ketiga phasa ataupun hanya di salah satu phasa saja. Kapasitas *step voltage regulator* 1 phasa berkisar dari 25 – 400 kVA dan untuk *step voltage regulator* 3 phasa berkisar dari 500 – 2000 kVa atau lebih ^[5]. Bentuk fisik dari SVR ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1. *Step Voltage Regulator*

2.1.1. Fungsi dan Kegunaan *Step Voltage Regulator (SVR)*

Step voltage regulator adalah salah satu peralatan pengatur tegangan yang digunakan di dalam sistem distribusi. *Step voltage regulator* pada dasarnya adalah sebuah autotransformator yang memiliki beberapa tap di dalam setiap belitan dengan fungsi mekanisme pengubah tap beban (*load tap changing*)^[6]. Perubahan tegangan didapat dengan mengubah tap dari belitan seri pada autotransformator. Fungsi dari *step voltage regulator* yaitu mengkompensasi injeksi daya akibat tegangan jatuh di saluran dengan bantuan pengubah tap untuk menjadikan tegangan yang diperbantukan menjadi lebih baik. Standar *step regulator* sesuai dengan ketentuan $\pm 10\%$ dari batasan regulator (*regulator range*), terdiri dari 32 *step* (16 *raise* dan 16 *lower*), perubahan untuk setiap *step* sama dengan $5/8\%$ dan $10/16\%$ atau $0,125\text{ kV} / 125\text{ V}$ dalam tegangan nominal 20 kV ^[6]. Bentuk fisik dari indikator posisi tap *SVR* diperlihatkan dalam gambar 2.2.



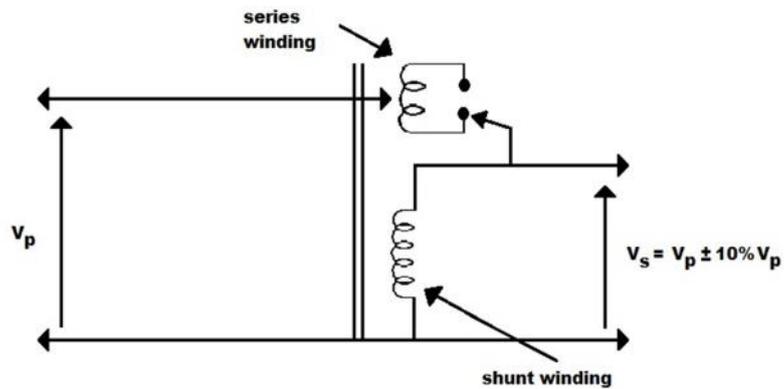
Gambar 2.2. Indikator Posisi

2.1.2. Jenis jenis *Step Voltage Regulator (SVR)*

Produsen *step voltage regulator* saling bersaing untuk mengeluarkan model *step voltage regulator* yang semakin lebih baik, salah satu produsen *step voltage regulator* “*Cooper Power Systems*” jenis *step voltage regulator* terdiri dari 2 jenis yaitu jenis A dan Jenis B ^[7]. Sebagai contoh penggunaan *step voltage regulator* yang ada di sistem distribusi menggal menggunakan jenis B. Perbedaan diantara 2 jenis tersebut yaitu :

➤ Jenis A

Jenis A *step voltage regulator* adalah jenis yang digunakan pada area domestik sesuai dengan asal produsen berada. Jenis A tersebut menggunakan frekuensi 60 Hz, maka dari itu tidak cocok di indonesia dikarenakan sistem kelistrikan yang kita anut menggunakan frekuensi 50 Hz. Penggunaan jenis A bertujuan untuk mengkompensasi jatuh tegangan di bagian penerima. Di dalam setiap jenis dari *step voltage regulator* terdiri dari *raise step* dan *lower step*. Pada jenis A posisi dari belitan seri dan belitan shunt berada di sisi sekunder atau pada posisi penerima. Gambar 2.3. menunjukkan rangkaian *step voltage regulator* untuk jenis A.

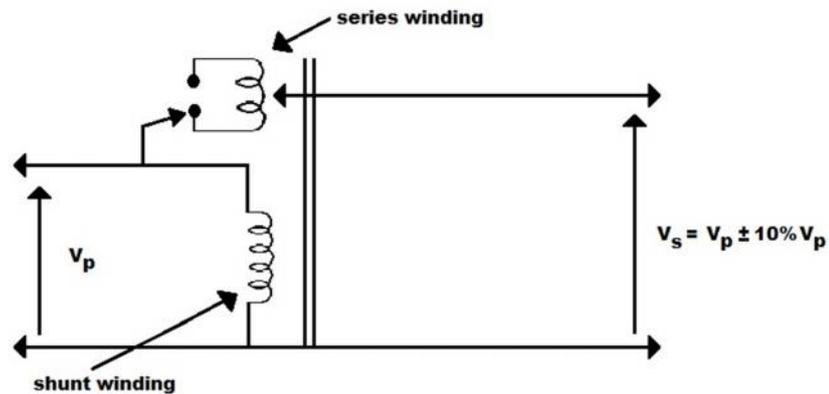


Gambar 2.3. *Step Voltage Regulator* jenis A ^[10]

Tegangan yang masuk dari sisi primer akan diteruskan ke sisi sekunder. Pada sisi sekunder ini tegangan akan dinaikan atau diturunkan sesuai dengan pengaturan tap (*raise* atau *lower*) sehingga tegangan pada sisi sekunder akan mengalami perubahan.

➤ Jenis B

Step voltage regulator jenis B dapat digunakan di sistem kelistrikan Indonesia dikarenakan jenis B termasuk yang diciptakan untuk pemakaian internasional yang menganut penggunaan frekuensi 50 Hz. Penggunaan jenis B ditujukan untuk mengkompensasi jatuh tegangan mendekati sumber, sehingga diharapkan kualitas tegangan yang masuk ke konsumen menjadi lebih baik. Untuk penggunaan SVR jenis B pun sama dengan jenis A yang mana terdiri dari *raise step* dan *lower step*. Gambar 2.4. menunjukkan rangkaian *step voltage regulator* untuk jenis B.



Gambar 2.4. *Step Voltage Regulator* jenis B ^[10]

Tegangan yang masuk dari sisi primer akan dinaikan atau diturunkan sesuai dengan pengaturan tap (*raise* atau *lower*) dengan mengalir melewati belitan series dan belitan shunt sehingga tegangan pada sisi sekunder akan mengalami perubahan. Selanjutnya tegangan yang sudah mengalami perubahan tersebut akan diteruskan kembali ke arah sisi sekunder.

2.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai *step voltage regulator* ini sebelumnya sudah pernah dibahas oleh William H. Kersting (*Distribution System Modeling and Analysis*, 2001), kemudian oleh Mancheol Shin, Chulwoo Park, Jaesung Jung, Kernjoong kim dan Seongmin So dalam paper (“*Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulators and Their Applications*”, 2013), dan oleh Rahardjo dalam paper (“*Justification on the Applications of Automatic Voltage Regulator and Capacitor on Long Medium Voltage Distribution Feeders*”, 2002, IEEE). Maka pada kesempatan ini peneliti akan

melakukan penelitian tentang “ Studi Pemasangan *Step Voltage Regulator* dengan Model Injeksi Daya pada Jaringan Menengah 20 KV Penyulang Katu Gardu Induk Menggala PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung”. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan *SVR* dengan menggunakan software *python*, yang mana penelitian menyempurnakan komponen voltage regulator di dalam program *python* “ *Unila Optimal Power Flow* ”. Penelitian tersebut sebelumnya sudah dimulai oleh saudara Muhamad Wahidi, S.T^[11].

Di dalam buku yang ditulis oleh William H. Kersting dipaparkan mengenai penjelasan tentang *step voltage regulator* seperti prinsip kerja *SVR* jenis A dan B, perbedaan antara *SVR* jenis A dan B, dan mengenai nilai rasio belitan yang digunakan. Dari berbagai referensi paper yang penulis perhatikan bahwa para penelitian yang sudah dilakukan mengacu kepada William H. Kersting sebagai dasar teori mengenai *step voltage regulator*.

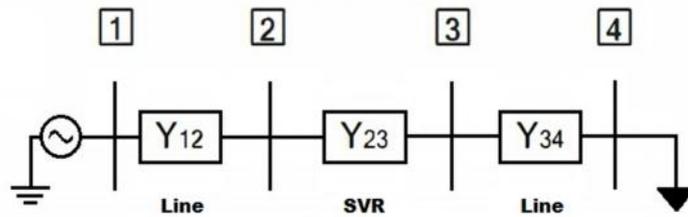
Di dalam paper “*Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulators and Their Applications*”, dimodelkan *step voltage regulator* di dalam hubungan 1 fasa dan hubungan 3 fasa, kemudian di dalam paper tersebut dijelaskan ketika *step voltage regulator* dihubungkan dalam hubung *Y*, hubung *close delta* dan hubung *open delta*. Di dalam paper ini peneliti tersebut menggunakan jenis B dalam posisi *raise*. Peneliti tersebut meneliti *SVR* jenis B dikarenakan jenis B adalah jenis *SVR* yang diperuntukkan dengan cakupan *international* yang mana umumnya menggunakan frekuensi 50 Hz, dengan menempatkan posisi *SVR* mendekati sumber tenaga. Dan juga diteliti dengan posisi *raise* dikarenakan posisi tersebut diharapkan dapat menaikkan nilai tegangan. Peneliti tersebut juga melakukan kalkulasi

pengontrolan SVR di dalam aliran daya menggunakan metode *Implicit Zbus* (IZ) .

Kemudian, di dalam paper “*Justification on the Applications of Automatic Voltage Regulator and Capacitor on Long Medium Voltage Distribution Feeders*” peneliti tersebut melakukan penelitian tentang pengaplikasian *automatic voltage regulator* dan *capacitor* sebagai peralatan perbaikan tegangan untuk memperbaiki kualitas daya dan mengurangi rugi – rugi yang ada di saluran. Pada penelitian tersebut direpresentasikan model AVR saluran distribusi tegangan menengah, model AVR ketika ditempatkan di bus sumber dan bus terima, kemudian terdapat juga contoh pengaplikasian AVR dengan beban *constan power* dan *constant impedance* serta pengaplikasian *capacitor* dengan beban *constan power* dan *constant impedance*. Peneliti tersebut mencari hasil keefektifan dari penggunaan kedua peralatan perbaikan tegangan itu.

2.2.1. Model Admitansi

Menurut William H. Kersting, dikarenakan nilai impedansi seri dan nilai admitansi shunt dari *step voltage regulator* terlalu kecil, nilai admitansi step voltage regulator akan diabaikan di dalam rangkaian equivalent ^[6]. Seperti pada gambar 2.5. diperlihatkan admitansi di sepanjang saluran 4 bus, namun perlu diperhatikan bahwa admitansi tersebut adalah admitansi dari saluran.

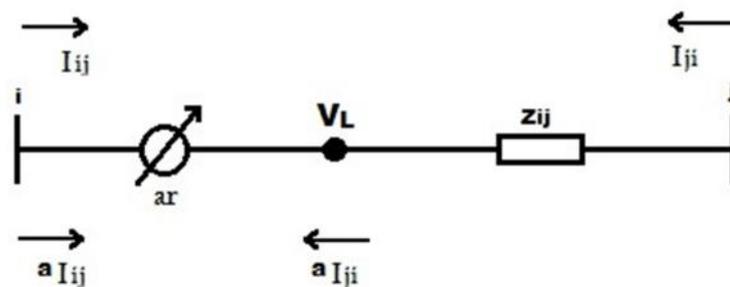


Gambar 2.5. Model Admitansi *step voltage regulator* di saluran^[8]

Pemodelan admitansi *step voltage regulator* didalam saluran berupa Y_{12} , Y_{34} adalah admitansi dari saluran. Y_{23} adalah admitansi dari *step voltage regulator* namun dikarenakan nilai admitansi sendiri sangatlah kecil sehingga kemudian nilai admitansi dari *step voltage regulator* akan dapat diabaikan^[9].

2.2.2. Model Injeksi

Di dalam penelitian ini sebelumnya *step voltage regulator* akan dimodelkan pada jaringan distribusi. Terlihat pada gambar di bawah ini yang menunjukkan pemodelan letak *SVR* jika di tempatkan di dalam jaringan distribusi. Konstruksi *SVR* umumnya terdiri dari 3 *SVR* yang mewakili tiap fasa. Model injeksi *SVR* ditampilkan dalam gambar 2.6.



Gambar 2.6. Model Injeksi *SVR* pada jaringan

Dari gambar 2.6. SVR (a_r) ditempatkan antara bus i dan bus j sedangkan Z_{ij} tersebut adalah impedansi dari saluran. Terlihat I_{ij} adalah arah arus dari bus i ke bus j dan I_{ji} adalah arus yang mengalir dari bus j ke bus i .

Ketika *step voltage regulator* tersebut sudah dimodelkan maka dapat dilakukan perencanaan aliran daya di saluran distribusi dengan menambahkan fungsi *step voltage regulator* di dalamnya. Dengan menambahkan *step voltage regulator* maka persamaan aliran daya akan sedikit mengalami perubahan, seperti terlihat pada persamaan dibawah ini :

Persamaan aliran daya sebelum penambahan *step voltage regulator* :

$$S_i = V_i \cdot I_i^* \quad \text{.....(2.1)}$$

$$S_i = P_i + jQ_i \quad \text{.....(2.2)}$$

Dengan menambahkan fungsi SVR persamaan 2.1. menjadi :

$$S_i = S_i + \Delta S_{ij} \quad \text{.....(2.3)}$$

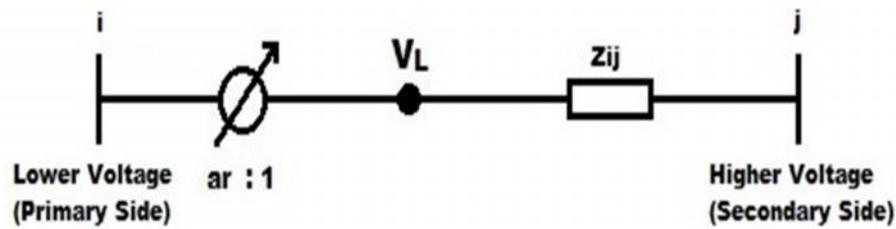
Fungsi injeksi dari *step voltage regulator* :

$$\Delta S_{ij} = \Delta P_{ij} + j\Delta Q_{ij} \quad \text{.....(2.4)}$$

$$\Delta P_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n f a_{ij} \cdot \Delta^a P_{ij} \quad , i = 1, \dots, N \quad \text{.....(2.5)}$$

$$\Delta Q_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n f a_{ij} \cdot \Delta^a Q_{ij} \quad , i = 1, \dots, N \quad \text{.....(2.6)}$$

Ketika SVR diasumsikan mempunyai 2 sisi (primer dan sekunder). Sisi primer berada pada tegangan yang lebih rendah dibandingkan sisi sekunder. Pada gambar 2.7. ditunjukkan model SVR dengan perbandingan sisi sekunder dan primer.



Gambar 2.7. Model SVR dengan tegangan sisi primer lebih rendah dibandingkan dengan sisi sekunder

Ketika bus i terhubung pada sisi primer SVR maka persamaannya :

$$P_i = P_i + \Delta^a P_{ij} \quad \text{.....(2.7)}$$

$$Q_i = Q_i + \Delta^a Q_{ij} \quad \text{.....(2.8)}$$

$$\Delta^a P_{ij} = \left(\frac{1}{a_r^2} - 1\right) (e_i^2 + f_i^2) G_{ij} - \left(\frac{1}{a_r} - 1\right) [(e_i e_j + f_i f_j) G_{ij} + (e_j f_i - e_i f_j) B_{ij}] \quad \text{.....(2.9)}$$

$$\Delta^a Q_{ij} = - \left(\frac{1}{a_r^2} - 1\right) (e_i^2 + f_i^2) B_{ij} + \left(\frac{1}{a_r} - 1\right) [(e_i e_j + f_i f_j) B_{ij} - (e_j f_i - e_i f_j) G_{ij}] \quad \text{... (2.10)}$$

Ketika bus i terhubung pada sisi sekunder SVR, maka persamaannya :

$$\Delta^a P_{ij} = \left(\frac{1}{a_r} - 1\right) [(e_i e_j + f_i f_j) G_{ij} - (e_j f_i - e_i f_j) B_{ij}] \quad \text{.....(2.11)}$$

$$\Delta^a Q_{ij} = - \left(1 - \frac{1}{a_r}\right) [(e_j f_i - e_i f_j) G_{ij} + (e_i e_j + f_i f_j) B_{ij}] \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana :

$\Delta^a P_{ij}$ = Injeksi Daya Aktif dengan Fungsi SVR dari bus i ke bus j

$\Delta^a Q_{ij}$ = Injeksi Daya Reaktif dengan Fungsi SVR dari bus i ke bus j

Selanjutnya persamaan (2.9., 2.10., 2.11., 2.12.) dimasukkan ke dalam persamaan injeksi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) :

$$P_i = P_i \text{ (tanpa SVR)} + \Delta^a P_{ij} \text{ (dengan SVR)} \quad \text{.....(2.13)}$$

$$Q_i = Q_i \text{ (tanpa SVR)} + \Delta^a Q_{ij} \text{ (dengan SVR)} \quad \text{.....(2.14)}$$

Substitusikan persamaan 2.9. kedalam persamaan 2.13., sehingga total injeksi daya aktif di bus i ketika terhubung pada sisi primer *Step Voltage Regulator* :

$$P_i = \sum_{j \neq i}^n e_i (e_j G_{ij} - f_j B_{ij}) + f_i (e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) + e_i^2 G_{ii} + f_i^2 G_{ii} \\ + \sum_{j \neq i}^n f a_{ij} \cdot \Delta^a P_{ij} \quad , \quad i = 1, \dots, N \quad \text{.....(2.15)}$$

$$P_i = \sum_{j \neq i}^n e_i (e_j G_{ij} - f_j B_{ij}) + f_i (e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) + e_i^2 G_{ii} + f_i^2 G_{ii} \\ + \sum_{j \neq i}^n f a_{ij} \cdot \left(\frac{1}{a_r^2} - 1 \right) (e_i^2 + f_i^2) G_{ij} \\ - \left(\frac{1}{a_r} - 1 \right) [(e_i e_j + f_i f_j) G_{ij} + (e_j f_i - e_i f_j) B_{ij}] \quad \text{.....(2.16)}$$

Substitusikan persamaan 2.10. kedalam persamaan 2.14., sehingga total injeksi daya reaktif di bus i terhubung pada sisi primer *Step Voltage Regulator* :

$$Q_i = - \sum_{j \neq i}^n e_i (e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) - f_i (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i^2 B_{ii} - f_i^2 B_{ii} \\ + \sum_{j \neq i}^n f a_{ij} \cdot \Delta^a Q_{ij} \quad , \quad i = 1, \dots, N \quad \text{.....(2.17)}$$

$$Q_i = - \sum_{j \neq i}^n e_i (e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) - f_i (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i^2 B_{ii} - f_i^2 B_{ii} \\ + \sum_{j \neq i}^n f a_{ij} \cdot \left(\frac{1}{a_r^2} - 1 \right) (e_i^2 + f_i^2) B_{ij} \\ + \left(\frac{1}{a_r} - 1 \right) [(e_i e_j + f_i f_j) B_{ij} - (e_j f_i - e_i f_j) G_{ij}] \quad \text{.....(2.18)}$$

Substitusikan persamaan 2.11. kedalam persamaan 2.13., sehingga total injeksi daya aktif di bus i ketika terhubung pada sisi sekunder *Step Voltage Regulator* :

$$P_i = \sum_{j \neq i}^n e_i(e_j G_{ij} - f_j B_{ij}) + f_i(e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) + e_i^2 G_{ii} + f_i^2 G_{ii} \\ + \sum_{j \neq i}^n f a_{ij} \cdot \Delta^\alpha P_{ij} \quad , \quad i = 1, \dots, N \quad \dots\dots(2.19)$$

$$P_i = \sum_{j \neq i}^n e_i(e_j G_{ij} - f_j B_{ij}) + f_i(e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) + e_i^2 G_{ii} + f_i^2 G_{ii} \\ + \left(\frac{1}{a_r} - 1\right) [(e_i e_j + f_i f_j) G_{ij} - (e_j f_i - e_i f_j) B_{ij}] \quad \dots\dots(2.20)$$

Substitusikan persamaan 2.12. kedalam persamaan 2.14., sehingga total injeksi daya reaktif di bus i terhubung pada sisi primer *Step Voltage Regulator* :

$$Q_i = -\sum_{j \neq i}^n e_i(e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) - f_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i^2 B_{ii} - f_i^2 B_{ii} \\ + \sum_{j \neq i}^n f a_{ij} \cdot \Delta^\alpha Q_{ij} \quad , \quad i = 1, \dots, N \quad \dots\dots(2.21)$$

$$Q_i = -\sum_{j \neq i}^n e_i(e_j B_{ij} + f_j G_{ij}) - f_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i^2 B_{ii} - f_i^2 B_{ii} \\ - \left(1 - \frac{1}{a_r}\right) [(e_j f_i - e_i f_j) G_{ij} + (e_i e_j + f_i f_j) B_{ij}] \quad \dots\dots(2.22)$$

Sehingga dari persamaan (2.16),(2.18),(2.20),(2.22) diatas didapat persamaan injeksi daya aktif dan injeksi daya reaktif yang baru dengan penjumlahan antara persamaan aliran daya (tanpa *SVR*) dengan persamaan aliran daya dengan *SVR*.

2.3. Perangkat Lunak Pendukung

2.3.1. UnilaPF (Unila *Power Flow*)

Universitas Lampung terkhususnya laboratorium Sistem Tenaga Elektrik yang digagas oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, telah membangun suatu perangkat lunak yaitu UnilaPF (Unila *Power Flow*) sebagai penghitung aliran daya listrik di saluran distribusi berbasis pemrograman *python*.

2.3.2. Python

Python merupakan bahasa pemrograman dengan kelebihan *open source software* dimana keuntungan dari python adalah tidak berbayar sehingga memungkinkan penggunaan program ini digunakan oleh khalayak ramai dalam artian, tidak ada batasan dalam penyalinan atau pendistribusiannya. Bahasa pemrograman python menjadi umum digunakan untuk kalangan *engineer* seluruh dunia dalam pembuatan bermacam – macam perangkat lunak. Bahasa pemrograman python dapat digunakan untuk analisis sistem tenaga listrik. Dalam teori yang akan diterapkan menggunakan bahasa pemrograman python, langkah untuk mempelajari sistem tenaga listrik terbagi menjadi beberapa tahap yaitu memodelkan rangkaian sistem tenaga listrik, mengatur persamaan matematika, memodelkan ke dalam perangkat lunak, kemudian mengaplikasikan program serta analisis dan simulasi.

2.3.3. ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) adalah perangkat lunak *power system* yang bekerja berdasarkan *project*. Setiap *project* harus menyediakan pemodelan peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Seperti data generator, motor, kabel, dan peralatan tenaga listrik lainnya. Sebuah *project* terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang saling berhubungan. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya antara lain untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP dapat melakukan penggambaran *single line* diagram suatu sistem dan melakukan beberapa analisa/studi yaitu analisa aliran daya (*load flow analysis*), hubung singkat (*short circuit analysis*), Harmonisa, *transient stability*, dan beberapa fungsi lainnya.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Mei 2015 – Desember 2015

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada:

- Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
- PT. PLN (Persero)

3.2. Alat dan Bahan

1. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan antara lain:

- Single line diagram penyulang
- Data trafo distribusi penyulang

2. Alat Penelitian

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan antara lain:

- Seperangkat Laptop dengan spesifikasi Intel Core 2 Duo 2,2GHz
- Software PYTHON

3.3. Metode Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini ada beberapa langkah kegiatan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori (buku dan internet) yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir.

2. Studi Bimbingan

Berbentuk tanya jawab dengan dosen pembimbing mengenai masalah-masalah yang timbul selama pengerjaan serta penulisan penelitian tugas akhir berlangsung.

Diagram Alir Penelitian

3. Mengidentifikasi Masalah

Di tahap ini penulis mengidentifikasi permasalahan yaitu belum adanya permodelan *step voltage regulator*, maka dalam penelitian ini akan dibuat permodelannya.

4. Pembuatan Permodelan dan Simulasi

Penelitian tahap berikutnya berlanjut ke proses pembuatan permodelan dan simulasi.

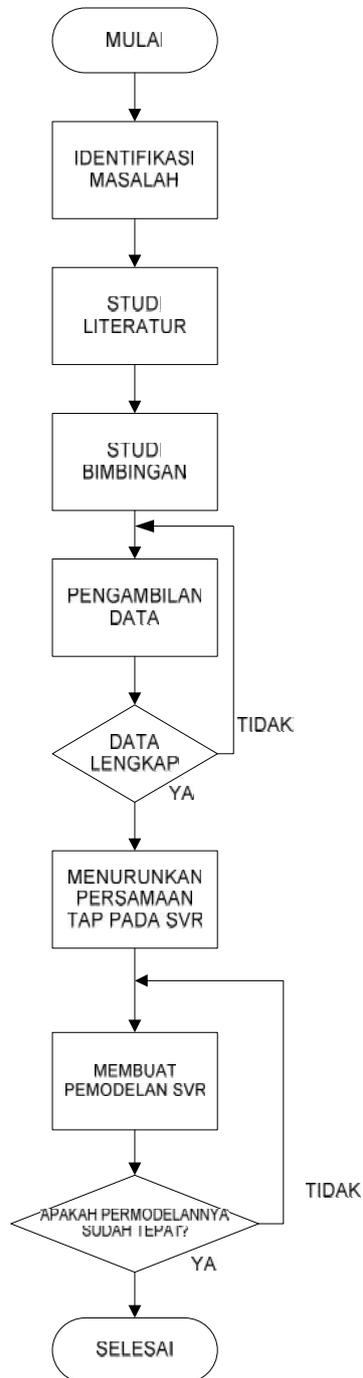
Data – data yang telah terkumpul sebelumnya untuk membentuk model selanjutnya akan dilaksanakan simulasi untuk mengetahui hasil dari permodelan tersebut.

5. Analisa

Langkah berikut adalah tahapan terakhir dalam tugas akhir ini. Dari hasil simulasi akan didapatkan hasil tambahan injeksi daya pada saluran lalu menganalisa hasil permodelan dan simulasi yang telah dilakukan.

3.4. Diagram Alir Penelitian

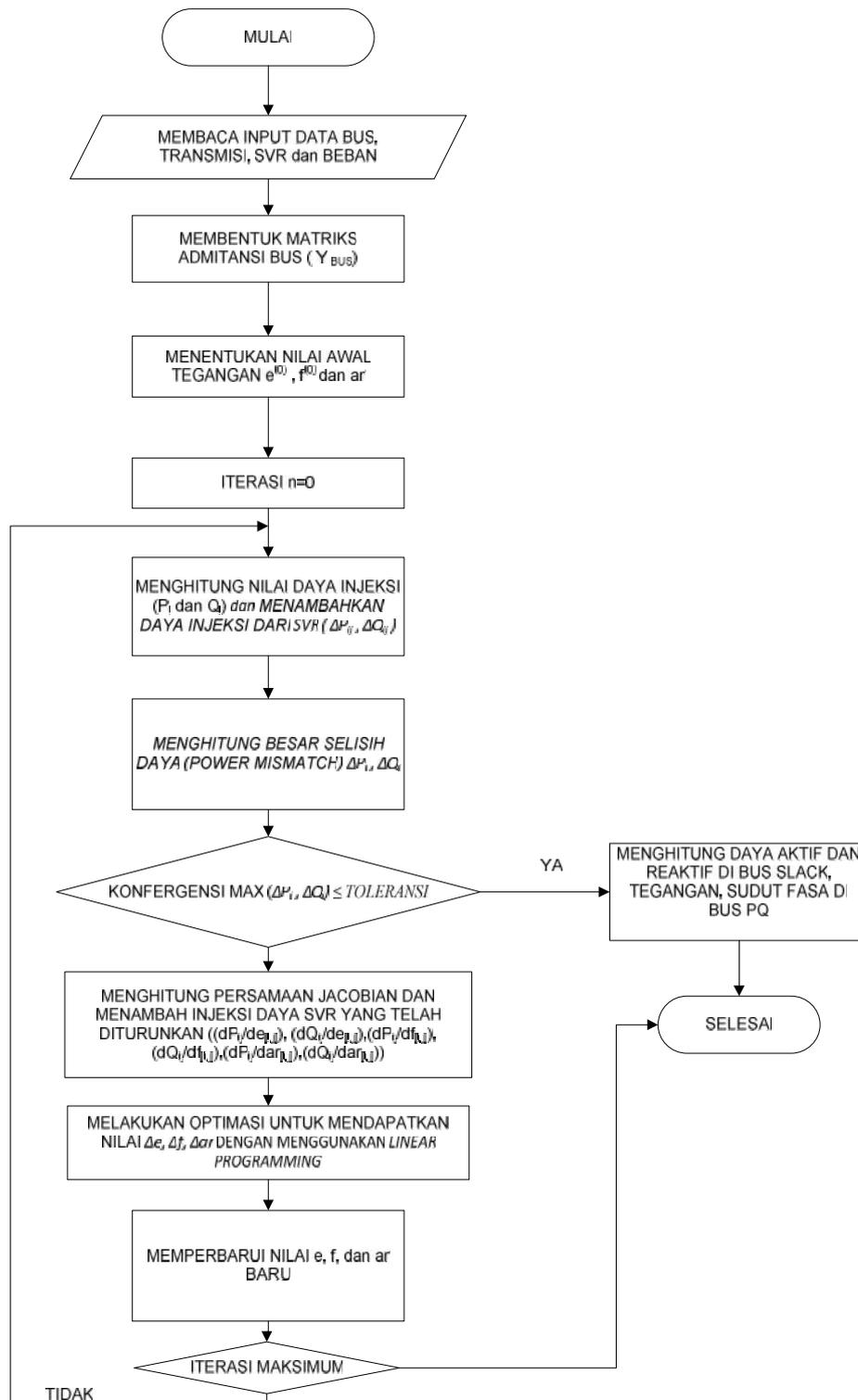
Berikut pada gambar 3.1. merupakan diagram alir dari penelitian yang penulis lakukan:



Gambar 3.1. Gambar diagram alir penelitian

3.5. Diagram Alir Program

Berikut pada gambar 3.2. merupakan diagram alir dari program penelitian ini :



Gambar 3.2 Diagram Alir Program

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian ini, penulis mendapatkan beberapa kesimpulan :

1. Studi pemasangan model *step voltage regulator* pada penyulang katu dilakukan untuk melihat perbaikan tegangan oleh *SVR* di dalam suatu penyulang, karenanya perlu dilakukan justifikasi awal program dengan menyandingkan hasil program unilapf dengan program *etap* yang sudah umum digunakan.
2. Justifikasi awal kasus 11 bus dengan penempatan *SVR*, dimana ditambahkan *SVR* diantara bus 1 dan bus 2 . Hasil penggunaan program unilapf berhasil menaikkan tegangan sebesar 1,14 KV dari 17,873 KV hingga 19,013 KV. Untuk pembebanan malam, hasil penggunaan unilapf berhasil menaikkan tegangan sebesar 1,097 KV dari 15,94 KV naik hingga 17,037 KV.
3. Dengan penambahan *SVR* pada penyulang katu 119 bus menggunakan hasil unilapf didapatkan tegangan di bus 5 jenis pembebanan siang mengalami kenaikan dari 16,982 KV hingga 18,366 KV atau berhasil menaikkan sebesar 1,384 KV.

4. Dari hasil simulasi, diperoleh bahwa sebelum dan sesudah penambahan SVR di penyulang katu nilai tegangan sesudah ditambahkan SVR lebih baik dibandingkan tidak ditambahkan SVR seperti ditunjukkan pada kesimpulan nomor 1 dan 2.
5. Tap SVR 8/5% adalah tap yang digunakan berjumlah 8 langkah dengan kenaikan maksimal 5% dari tegangan nominal (20 KV) yaitu sebesar 1 KV. Pada penelitian ini kenaikan tegangan bus 2 di kasus 11 bus sebesar 1,14 KV (pembebanan siang) atau sebesar 5,7 % dari tegangan nominal. Selanjutnya sebesar 1,097 KV (pembebanan malam) atau 5,485 % dari tegangan nominal, dan kenaikan tegangan untuk bus 5 penyulang katu sebesar 1,384 KV (pembebanan siang) atau sebesar 6,92% dari tegangan nominal.
6. SVR (*Step Voltage Regulator*) termasuk jenis *voltage regulator* yang dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas tegangan dengan injeksi daya di dalam saluran namun untuk mendapatkan mutu tegangan yang lebih baik penggunaan *step voltage regulator* dapat dikombinasikan dengan beberapa macam peralatan pengatur tegangan yang umum digunakan.

5.2. Saran

Berdasarkan simulasi, pembahasan dan kesimpulan, maka ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penyempurnaan penelitian ini yaitu :

1. Perlunya analisis lebih lanjut mengenai *step voltage regulator* agar penggunaan tap lebih maksimal dan hasil yang diinginkan lebih baik atau mendekati kesesuaian teori, begitu pun diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk model *step voltage regulator* 3 phasa.
2. Perlu adanya *software* lain yang digunakan untuk membandingkan hasil yang telah dicapai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Djiteng, Operasi sistem tenaga listrik, Jakarta: Balai Penerbit & Humas ISTN, 1990.
- [2] S. Sudirham, Analisis Sistem Tenaga, Darpublic – Edisi Juli, 2012.
- [3] D. Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik.
- [4] “*Automating power distribution system*” Diakses dari [http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/automating power distribution system.pdf](http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/automating_power_distribution_system.pdf) , pada tanggal 22 Juli 2015.
- [5] Rahardjo, “*Justification on the Applications of Automatic Voltage Regulator and Capacitor on Long Medium Voltage Distribution Feeders*”, IEEE, 2002, pp. 839 – 843.
- [6] W.H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2002.
- [7] Cooper Power Systems, “*Voltage Regulators*”, Cooper Power Systems, inc., 2007.
- [8] M. Shin, C. Park, J. Jung, K. Kim, S. So, “*Wave Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulator and Their Applications*”, International Conference on Electrical Machines and Systems, Busan, Korea, 2013.

- [9] T.A. Short, *Electric Power Distribution Handbook*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2004.
- [10] J.C. Das, *Power System Analysis Short Circuit Load Flow and Harmonics*, Marcell Dekker, Inc. USA. 2002.
- [11] Wahidi, M. 2014. *Studi Kasus Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang di PLN Distribusi Lampung Menggunakan Metode Newton-Raphson dalam Bentuk Rectangular*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.