

**PENEMPATAN SVC (*STATIC VAR COMPENSATOR*)
UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN PADA
JARINGAN TRANSMISI PT.PLN LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

ARYA WIGUNA BANGUN



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

PENEMPATAN SVC (*STATIC VAR COMPENSATOR*) UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN TRANSMISI PT. PLN LAMPUNG

Oleh

ARYA WIGUNA BANGUN

Sistem kelistrikan merupakan salah satu kebutuhan bagi kehidupan masyarakat modern dalam mendukung keberlangsungan aktifitas masyarakat. Kebutuhan listrik terus meningkat seiring pertumbuhan masyarakat, karenanya diperlukan pengaturan sistem transmisi tenaga listrik yang sesuai kebutuhan saat ini. Peningkatan beban pada sistem tenaga listrik dapat menimbulkan jatuh tegangan dan nilai rugi daya yang besar.

FACTS *devices* merupakan salah satu solusi dalam mengatasi jatuh tegangan dan rugi daya. Dalam tugas akhir ini digunakan SVC (*Static Var Compensator*) yang merupakan salah satu FACTS *devices*, yang berfungsi menyerap atau menginjeksikan daya reaktif untuk memperbaiki profil tegangan pada sistem transmisi. Tugas akhir ini adalah studi kasus yang diterapkan pada saluran transmisi PLN 24 bus wilayah Lampung dengan menggunakan metode Newton-Raphson pada simulasi MATLAB.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menerapkan SVC pada *weak bus* pada sistem transmisi maka profil tegangan dapat diperbaiki dalam batas yang diizinkan. Penempatan SVC pada *weak bus* 7 (Manggala) memperbaiki profil tegangan pada *weak bus* 7 (Manggala) dan bus 8 (Gumawang) naik sebesar 1.35% dan 1.45% dari 0.9283p.u dan 0.9012p.u menjadi 0.941p.u dan 0.9145p.u, penempatan SVC pada *weak bus* bus 8 (Gumawang) memperbaiki profil tegangan pada *weak bus* 7 (Manggala) dan bus 8 (Gumawang) naik sebesar 6.18% dan 9,88% dari 0.9283p.u dan 0.9012p.u menjadi 0.9895p.u dan 1p.u.

Kata kunci : SVC (*Static Var Compensator*), *Flexible AC Transmission Systems* (FACTS), Metode Newton-Raphson, Perbaikan Profil Tegangan, Transmisi PLN Lampung

ABSTRACT

THE PLACEMENT OF SVC (STATIC VAR COMPENSATOR) FOR VOLTAGE PROFILE IMPROVEMENT IN PT. PLN LAMPUNG TRANSMISSION

By

ARYA WIGUNA BANGUN

Electricity is one of living commodity in modern society in supporting sustainability of society activity. Electricity consumption keep increase as the growth of society, therefore required an electricity system arrangement according to this current needs. Load increase of the power system could cause the voltage drop and power system losses.

FACTS devices is one of solution to manage the voltage drop and power system losses. This final task use SVC (Static Var Compensator) which is one of FACTS devices that function to absorb or inject the reactive power for voltage profile improvement in transmission system. This final task is a case study that use Newthon-Rhapson method in MATLAB simulation which apply in 24 bus PLN Lampung line transmission.

The result show that applying SVC in weak bus at transmission system could improve the voltage profile whitin admissible. The placement SVC in weak bus 7 (Manggala) improved the voltage profile in weak bus 7 (Manggala) and bus 8 (Gumawang) increase amount 1.35% and 1.45% from 0.9283p.u and 0.9012p.u become 0.941p.u and 0.9145p.u, The placement SVC in weak bus 8 (Gumawang) improved the voltage profile in weak bus 7 (Manggala) and bus 8 (Gumawang) increase amount 6.18% and 9,88% from 0.9283p.u and 0.9012p.u become 0.9895p.u and 1p.u.

Key word : SVC (Static Var Compensator), Flexible AC Transmission Systems (FACTS), Newton-Raphson Method, Voltage Profile Improvement, PLN Lampung Transmission

**PENEMPATAN SVC (*STATIC VAR COMPENSATOR*)
UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN PADA
JARINGAN TRANSMISI PT.PLN LAMPUNG**

Oleh:

ARYA WIGUNA BANGUN

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

: **PENEMPATAN SVC (STATIC VAR COMPENSATOR) UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN TRANSMISI PT.PLN LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **ARYA WIGUNA BANGUN**

Nomor Pokok Mahasiswa : **0815031041**

Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



Disetujui Sekretaris JTC

Herman

Dr. Herman H. Siuaga

Dr. Eng Dikpride Despa, S.T., M.T.
NIP. 19720428 199803 2 001

Herri

Herri Gusmedi, S.T., M.T.
NIP. 19710813 199903 1 003

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ardian

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

MENGESAHKAN

1. Tim Pengudi

an. Dr. Herman H Siuaga

Herman

Ketua

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

Hen

Sekretaris

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

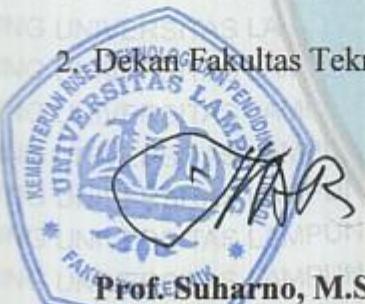
Herri Gusmedi

Pengudi

Bukan Pembimbing : **Ir. Abdul Haris, M.T.**

Abdul Haris

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Suharno, M.Sc., Phd.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **31 Desember 2015**

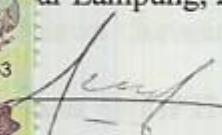
SURAT PERNYATAAN

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.



Surat Lampung, 22 Agustus 2016


Surya Wiguna Bangun
0815031041

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Kabanjahe, Kabupaten Karo, pada tanggal 4 Juni 1990. Penulis lahir dari pasangan Usman Bangun, S.H. dan Ateseh br Ginting, S.H.

Penulis memasuki dunia pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 01 Kabanjahe, lulus pada Tahun 2002, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 01 Kabanjahe, lulus pada tahun 2005, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Kabanjahe dan lulus pada tahun 2008.

Tahun 2008, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di lembaga kemahasiswaan yang ada di Universitas lampung, yaitu sebagai Pengurus Ikatan Mahasiswa Karo (IMKA) dan anggota Himpunan Mahasiswa jurusan Teknik Elektro (Himatro) pada tahun 2008-2010. Pada tahun 2013, Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT FIKA ABADI MANDIRI, Bandar Lampung. Mengangkat judul “**PEMELIHARAAN KOREKTIF PADA JARINGAN SUTM, SUTR DAN APP/SR YANG DILAKUKAN PT. FIKA ABADI MANDIRI DI AREA KERJA PT. PLN (PERSERO) RAYON TANJUNG KARANG**”.

“Ora et Labora”

**“Tiada kata terlambat untuk memulai
kembali”**

SANWACANA

Segala puji syukur pada Tuhan yang Maha Pengasih penulis panjatkan karena atas karunia dan berkat-Nya yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “Penempatan SVC (*Static Var Compensator*) Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Pada Jaringan Transmisi PT.PLN Lampung”

Tugas Akhir 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 terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan. S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung juga sebagai Penguji, terima kasih untuk kritik dan sarannya.
3. Ibu Dr. Eng Dikpride Despa, M.T. selaku dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.

4. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik (PA) dan Pembimbing Pendamping Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, saran dan motivasi, terima kasih atas bimbingan dan perhatiannya.
5. Bapak Ir. Abdul Haris, M.T. selaku dosen penguji yang telah banyak memperikan masukan serta saran yang sangat berguna selama seminar usul, seminar hasil dan seminar komprehensif.
6. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, dorongan dan ilmu yang sangat berarti bagi penulis.
7. Bapak, Mamak, kak Ninda, Bang Daniel dan kak Desi keluargaku tercinta di Kabanjahe karena telah tanpa henti dan tanpa lelah memberikan dukungan, semangat serta doa yang tidak pernah putus dan kesabaran yang tulus.
8. Bapak, Mamak, si Jomblo dan Khania keluargaku disini yaitu keluarga Yessi Febrina Bangun yang selalu memberikan semangat yang luar biasa.
9. Semua bibi-bibiku yang selama ini berusaha membuatku bisa seperti ini.
10. Seninaku Prandika Bangun calon pengacara handal, Turangku dr.Hema Bangun, Apara Chandra Sinaga,S.T yang selalu peduli padaku.
11. Teman-teman dari GSM KAKR GBKP Bandar Lampung, Sena Dika, Hanse, Gaby, k'Alin, Hema, Ditha, Cuke, Hisa, Chietatek, Gagayi, Ina, bik kembar, bang Gelora Sinuhaji dan semua GSM lainnya yang selalu menemani dan mendoakan penulis disetiap waktunya.
12. Teman-teman dari Ikatan Mahasiswa Karo (IMKA), Nuel, Daus, Nio, Rantika dan seluruh anak-anak IMKA yang selalu memberi semangat dalam penyelesaian laporan ini.

13. Teman-teman dari PERMATA yang selalu memberi semangat, doa, dan pengharapan.
14. Sahabat – sahabatku di laboratorium terpadu teknik elektro: Dapot, Yustinus, Ayub, Rudi H, Agung Tri Ilhami, Ridho A, Rahmat, terima kasih atas semua canda tawa, dukungan dan masa – masa sulit yang pernah kita lewati bersama.
15. Teman-teman seperjuangan yang selalu setia ngopi bareng : Daniel Ginting, Yuki, Kocong, Demis, David, Anton Situmorang dan semua teman yang selalu bersama susah dikampus.
16. Rekan – rekan Teknik Elektro angkatan 2008 : Sigit, Matul, Eko, Wan Novri, Ncing, Adam dan semua teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih telah memberikan banyak warna dalam masa studi ini.
17. 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, 28 September 2016

Arya Wiguna Bangun

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
SANWACANA	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Hipotesis	5
1.7 Sistematika Penulisan	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Daya (<i>PowerFlow</i>).....	8
2.2 <i>Flexible Ac Transmission Systems</i>	15
2.3 <i>Static Var Compensator</i> (SVC).....	19
2.3.1 Teori Dasar dan Prinsip kerja SVC	20
2.3.2 Jenis-Jenis SVC.....	26
2.3.3 Penentuan Kapasitas SVC.....	30
2.4 Penelitian Terdahulu	32

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	34
3.2 Alat Dan Bahan.....	34
3.3 Langkah-langkah yang Digunakan	35
3.4 Simulasi dan Pemodelan Mencari lokasi dan Parameter SVC	37
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	40

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Tenaga Listrik Lampung	41
4.2 Simulasi Aliran Daya Untuk Penempatan SVC.....	46
4.3 Hasil Simulasi	49
4.3.1. Penempatan SVC pada Bus 7.....	49
4.3.2. Penempatan SVC pada Bus 8.....	53
4.3.3. Penempatan SVC pada Bus 12.....	55
4.3.4. Penempatan SVC pada Bus 13.....	59

4.4 Analisa Hasil	62
4.4.1. Analisa Hasil SVC pada Bus 7.....	62
4.4.2. Analisa Hasil SVC pada Bus 8.....	63
4.4.3. Analisa Perbandingan Hasil sebelum dan sesudah Penempatan SVC.....	65

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	68
5.2 Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Klasifikasi Bus Pada Sistem Tenaga Listrik	9
4.1 Nomer Bus pada sistem transmisi Wilayah Lampung	43
4.2 Data Bus kirim dan Bus terima pada sistem transmisi wilayah Lampung	44
4.3 Data Saluran Transmisi Wilayah Lampung	45
4.4 Profil Tegangan dan Sudut tiap Bus tanpa SVC	46
4.5 Rugi-rugi Saluran tanpa SVC.....	46
4.6 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Penempatan SVC pada Bus 7	50
4.7 Perbandingan besar rugi-rugi saluran sebelum dan sesudah Pemasangan SVC pada bus 7	51
4.8 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Penempatan SVC pada Bus 8	53
4.9. Perbandingan besar rugi-rugi saluran sebelum dan sesudah Pemasangan SVC pada bus 8	54
4.10. Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Penempatan SVC pada Bus 12	56
4.11 Nilai rugi-rugi saluran Pemasangan SVC pada bus 12	57

4.12 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Penempatan SVC pada Bus 13	59
4.13 Nilai rugi-rugi saluran Pemasangan SVC pada bus 13	60
4.14 Perbandingan Pesentase Perubahan Profil Tegangan pada bus 7 dan bus 8	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Batas operasi dari saluran transmisi untuk berbagai level tegangan yang berbeda	17
2.2 Peralatan FACTS Utama.....	18
2.3 Static Var Compensator	19
2.4 Rangkaian SVC dengan arus kondensator konstan.....	21
2.5 (a) Saluran belum terkompensasi dan (b) vektor diagram saluran belum terkompensasi	23
2.6 Perbandingan Tegangan dengan Jarak transmisi	24
2.7 (a) Kompensasi shunt dan (b) diagram vektor kompensasi shunt.	24
2.8 Kompensasi shunt saluran transmisi	25
2.9 Pengaruh stabilitas akibat pemasangan kompensasi shunt	26
2.10 SVC yang menggunakan TCR dan FC	27
2.11 SVC yang menggunakan TCR dan TSC	28
2.12 SVC yang menggunakan <i>Self-Commutated Inverters</i>	28
2.13 Pemodelan SVC, (a) model <i>firing angle</i> SVC,	

(b) model <i>total susceptance</i> SVC.....	30
3.1 (a) Topologi dasar SVC, (b) Representasi SVC pada saluran.....	36
3.2 Model <i>total susceptance</i> SVC.....	37
3.3 Diagram alir penelitian.....	39
4.1 Diagram satu garis sistem transmisi 150 KV Lampung.....	42
4.2 Grafik Profil Tegangan Sesudah dan Sebelum penempatan SVC pada Bus 7	63
4.3 Grafik Profil Tegangan Sesudah dan Sebelum penempatan SVC pada Bus 8	64
4.4 Grafik Perbandingan Sebelum dan Sesudah penempatan SVC pada Bus 7 dan Bus 8	65

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem kelistrikan merupakan salah satu kebutuhan utama bagi kehidupan masyarakat modern dalam mendukung keberlangsungan aktifitas masyarakat.

Kebutuhan tenaga listrik terus meningkat seiring pertumbuhan masyarakat saat ini, karenanya diperlukan pengaturan sistem penyaluran listrik yang sesuai kebutuhan saat ini, agar pertumbuhan yang ada dapat terus berlangsung. Gangguan pada sistem tenaga listrik memang tidak dapat dihindari karena jarak transmisi yang panjang dan melingkupi daerah yang luas, serta pertumbuhan masyarakat yang berlangsung lebih cepat daripada peningkatan sistem transmisi listrik yang telah ada, hal ini berpengaruh besar terhadap aliran daya (*power flow*) pada transmisi tenaga listrik sehingga terjadi penurunan tegangan dan rugi daya listrik. Sistem transmisi dipaksa beroperasi pada batas stabilnya agar dapat mengikuti pertumbuhan yang berjalan sehingga sistem sering kali mengalami gangguan maupun kerusakan. Akan tetapi gangguan yang terjadi dapat diminimalisir dengan menerapkan konsep sistem transmisi listrik yang sesuai dengan kebutuhan, dimana pengiriman daya yang dilakukan tidak melebihi batas termal dari sistem transmisi itu sendiri.

Banyak metode yang sudah dilakukan untuk meningkatkan kontrol tenaga listrik seperti, penempatan kapasitor seri dan shunt, menjadwal ulang pembangkit (*Generation rescheduling*), penempatan kondensor sinkron, *Under-Voltage load shedding*, penempatan pengontrol FACTS.

Dengan penempatan pengontrolan FACTS (*Flexible Alternating Current Transmission System*), stabilitas tegangan dari kondisi sistem dapat ditingkatkan secara efektif. Peralatan FACTS tidak memiliki waktu tunda (*no delay*) dan peralatan elektronik daya arus kuat saat ini tersedia untuk respon yang aman (*safe*) dan akurat (*accurate*). FACTS mampu mengontrol parameter seperti magnitudo tegangan dan sudut, impedansi saluran, aliran daya aktif dan reaktif. Ada banyak tipe FACTS seperti *Superconducting magnetic energy storage* (SMES), *Static Var Compensator* (SVC), *Static Synchronous Compensator* (STATCOM), *Static Synchronous Series Compensator* (SSSC), *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC), *Interline Power Flow Controller* (IPFC), dan *Unified Power Flow controller* (UPFC).

Studi penerapan peralatan FACTS dalam meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik pada wilayah Lampung sebelumnya telah dilakukan oleh Eizi Ananta Haili yang membahas “Optimasi Aliran Daya Menggunakan UPFC Pada Sistem Transmisi 150 KV wilayah Lampung” dan Jimmy Alexander Barus yang membahas “Penentuan Lokasi Dan Parameter *Unified Power Flow Controller* (UPFC) Menggunakan Algoritma Genetika Untuk

Meningkatkan Keamanan Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan Transmisi Lampung". Metode aliran daya yang digunakan pada studi tersebut adalah metode Newton-Raphson. Dari studi yang telah dilakukan diatas, maka penulis berinisiatif ingin melakukan studi penerapan peralatan FACTS yang berbeda dari peneliti sebelumnya, yaitu dengan menggunakan SVC (*Static Var Compensator*) dalam memperbaiki profil tegangan pada jaringan transmisi wilayah Lampung.

SVC (*Static Var Compensator*) merupakan salah satu peralatan FACTS yang dapat menghasilkan atau menyerap daya reaktif yang dihubungkan secara pararel dan mempunyai keluaran (*output*) yang bervariasi untuk menjaga atau mengontrol parameter tertentu dari suatu sistem tenaga listrik. Tujuan utama penempatan SVC adalah untuk menjaga perubahan tegangan pada bus dalam jaringan distribusi serta untuk meningkatkan stabilitas tegangan dengan cara menginjeksikan daya reaktif dengan mengendalikan arus kapasitif atau arus induktif. Untuk menentukan posisi penempatan SVC yang tepat, maka digunakan metode optimasi dengan menggunakan fungsi obyektif berdasarkan parameter rugi-rugi daya (P_{loss}), rugi-rugi tegangan (V_{loss}) dan kapasitas SVC. Pada skripsi ini penempatan SVC dilakukan dengan menentukan sebuah bus/cabang (*branch*) yang paling sensitif pada saat terjadinya kontingensi tunggal. Permasalahan utama dalam pengontrolan FACTS adalah mengidentifikasi lokasi dan jumlah tegangan dan sudut yang akan diinjeksikan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui lokasi penempatan yang sesuai untuk penempatan *Static Var Compensator* (SVC).
2. Mengetahui pengaruh penempatan *Static Var Compensator* (SVC) dalam memperbaiki profil tegangan.
3. Menganalisa dan membandingkan pengaruh sebelum dan sesudah penempatan *Static Var Compensator* (SVC)

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang fungsi kerja *Static Var Compensator* (SVC) dan penggunaannya pada sistem transmisi 150 KV.
2. Mengetahui lokasi penempatan *Static Var Compensator* (SVC) dalam memperbaiki profil tegangan pada *weak bus*.
3. Memberikan gambaran tentang teknologi peralatan aliran daya ini, keuntungannya dibandingkan dengan peralatan aliran daya mekanik.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang pada tugas akhir ini, antara lain:

1. Bagaimana kualitas sistem transmisi yang sedang berjalan saat ini?

2. Bagaimana pengaruh penempatan *Static Var Compensator* (SVC) pada sistem transmisi?
3. Menganalisa hasil aliran daya pada hasil simulasi Matlab terutama pengaruh penempatan SVC terhadap profil tegangan.

1.5. Batasan Masalah

Untuk tidak meluasnya pembahasan masalah pada tugas akhir ini dibatasi oleh asumsi sebagai berikut:

1. Peralatan kontrol yang digunakan adalah *Static Var Compensator* (SVC)
2. Program simulasi menggunakan program Matlab R2013b.
3. Sistem yang ditinjau adalah sistem 150 KV wilayah Lampung.
4. Penempatan *Static Var Compensator* (SVC) pada simulasi dibatasi dengan jumlah 1 unit pada lokasi *weak bus* yang telah ditentukan.
5. Penentuan *weak bus* pada sistem dilakukan dengan menghitung aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson.
6. Simulasi dilakukan dengan parameter SVC yang tetap sama dan sistem dalam keadaan normal.

1.6. Hipotesis

FACTS tergolong teknologi aliran daya listrik masa depan karena kemampuannya untuk memberikan kemudahan dan kelebihan yang tidak

didapat dari peralatan aliran daya listrik mekanik. Peningkatan kualitas dan kapasitas jaringan listrik baik itu dari segi pemeliharaan maupun pengoperasian. Dengan FACTS, jaringan transmisi listrik akan lebih terjamin kestabilannya, lebih aman dari gangguan, dan yang paling penting adalah lebih meningkatnya efisiensi dari pemakaian jaringan transmisi yang tentunya memberi keuntungan ekonomi karena meningkatnya kapasitas aliran daya listrik tanpa harus membuat jaringan transmisi listrik baru. Keuntungan ekonomi lain juga didapatkan karena FACTS adalah peralatan berbasis elektronika daya sehingga selain reaksinya cepat, juga akan lebih terpercaya dan tahan lama dibandingkan dengan peralatan yang berbasis mekanik. SVC (*Static Var Compensator*) merupakan salah satu jenis perangkat FACTS tipe *impedance variable* yang berfungsi baik untuk menginjeksikan maupun menyerap daya reaktif, prinsip kerja SVC secara umum adalah mengompensasi daya reaktif dengan cara mengatur sudut penyalakan *thyristor* sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC.

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun dengan pembagian masing-masing bagian perbab. Sistematika penulisan skripsi ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori dasar yang digunakan dan yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, yaitu: aliran daya, *Flexible AC Transmision System* (FACTS), *Static Var Compensator* (SVC).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang dilakukan dalam penelitian, waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan, langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ini serta perancangan simulasi menggunakan MATLAB.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan dan pembahasan data-data yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memberikan simpulan berdasarkan hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aliran Daya (*Power Flow*)

Aliran daya merupakan solusi dari kondisi operasi sistem tenaga listrik pada keadaan *steady-state*, yang memberikan gambaran dan dapat dijadikan batasan mengenai operasi sistem tenaga listrik yang dinamis. Pada studi aliran daya dilakukan perhitungan-perhitungan jaringan listrik yang dapat digunakan dalam perencanaan sistem tenaga, perencanaan operasional serta pengontrolan sistem. Melalui studi aliran daya pada sistem tenaga listrik maka akan diperoleh informasi mengenai daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactive Power*), tegangan dan sudut phasa pada sistem.[1]

Studi aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada bus tertentu. Dalam sistem tenaga listrik, bus dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu: [1]

1. Bus PQ (*Load Bus*)

Bus PQ digunakan sebagai bus beban dimana pada bus ini daya aktif (P) dan reaktif (Q) diketahui, besaran yang dapat dihitung pada bus ini adalah tegangan (V) dan sudut ().

2. Bus PV

Pada bus PV merupakan bus dari pembangkit listrik dimana pada bus ini tegangan dapat dikontrol dengan kapasitas daya reaktif yang dibangkitkan.

Pada bus PV, daya aktif (P) dan tegangan (V) ditentukan sebagai variabel yang diketahui dan besaran yang dihitung pada bus ini adalah daya reaktif (Q) dan sudut tegangan ().

3. *Slack Bus*

Pada *Slack Bus* ataupun sering juga disebut *Swing Bus* dapat diketahui besaran tegangan (V) dan sudut (). Didalam suatu sistem tenaga listrik, biasanya sistem didesain memiliki bus yang dijadikan sebagai referensi, yaitu *slack bus*, dan secara umum pada bus ini dapat diketahui besaran dari sudut pada bus adalah nol ($\theta = 0^\circ$). Besaran yang dapat dihitung pada bus ini adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).

Melalui tabel 2.1 diperlihatkan besaran yang diketahui dan besaran yang tidak diketahui pada tiap jenis bus dalam sistem tenaga listrik.

Tabel 2.1 Klasifikasi Bus Pada Sistem Tenaga Listrik

Jenis Bus	Besaran yang Diketahui	Besaran yang tidak diketahui
Bus Beban (PQ)	P (daya aktif), Q (daya reaktif)	V (tegangan), (sudut)
Bus PV	P (daya aktif), V (tegangan)	Q (daya reaktif), (sudut)
<i>Slack Bus</i>	V (tegangan), (sudut) = 0	P (daya aktif), Q (daya reaktif)

Pada saluran transmisi tiga phasa dalam keadaan seimbang yang menghubungkan bus i dan j, dengan mengasumsikan bahwa tegangan bus adalah V_i dan V_j dan impedansi saluran adalah $Z = R + jX$ tiap phasa.

Daya komplek tiap phasa yang dikirim dari bus j ke bus i dapat dinyatakan sebagai

$$S_{ij} = P_{ij} + Q_{ij} = V_i I^* \quad (2.1)$$

$$S_{ij} = P_{ji} + Q_{ji} = V_j (-I)^* \quad (2.2)$$

Dimana:

$$I = \frac{V_i - V_j}{Z} \quad (2.3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan diperoleh

$$\begin{aligned} S_{ij} &= V_i \frac{V_i^* V_j^*}{Z^*} \\ &= \frac{[V_i]^2 - [V_i][V_j] \angle \theta_i - \theta_j}{R + jX} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dan

$$\begin{aligned} S_{ji} &= V_j - \frac{V_j^* - V_i^*}{Z^*} \\ &= \frac{[V_j]^2 - [V_i][V_j] \angle \theta_j - \theta_i}{R + jX} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Sudut phasa antara tegangan dua bus adalah:

$$\gamma = \theta_i - \theta_j \quad (2.6)$$

Maka daya aktif dan reaktif dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P_{ij} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_i|^2 - R|V_i||V_j|) \cos \gamma + X|V_i||V_j| \sin \gamma \quad (2.7)$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_i|^2 - R|V_i||V_j|) \sin \gamma + X|V_i||V_j| \cos \gamma \quad (2.8)$$

Untuk

$$P_{ji} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_j|^2 - R|V_i||V_j|) \cos \gamma + X|V_i||V_j| \sin \gamma \quad (2.9)$$

$$Q_{ji} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_j|^2 - R|V_i||V_j|) \cos \gamma + X|V_i||V_j| \sin \gamma \quad (2.10)$$

Pada umumnya impedansi pada saluran jauh lebih besar daripada reaktansi sehingga dapat diabaikan, maka persamaan menjadi :

$$P_{ji} = \frac{|V_i||V_j|}{x} \sin \gamma \quad (2.11)$$

$$Q_{ji} = \frac{1}{x} (|V_i|^2 - R|V_i||V_j|) \cos \gamma \quad (2.12)$$

Dan

$$P_{ji} = \frac{|V_i||V_j|}{x} \sin \gamma = -P_{ji} \quad (2.13)$$

$$Q_{ji} = \frac{1}{x} (|V_j|^2 - R|V_i||V_j|) \cos \gamma \quad (2.14)$$

Terdapat beberapa metode yang umum digunakan pada sistem multibus, yaitu metode Gauss-Seidel, Fast Decoupled dan Newton-Raphson. Pada skripsi ini digunakan metode Newton-Raphson. Metode Newton-Raphson secara luas digunakan untuk persamaan non-linier pada sistem tenaga yang lebih besar karena penggunaannya yang praktis dimana jumlah iterasi yang dibutuhkan hanya sedikit untuk memperoleh pemecahan berdasarkan ukuran sistem. Metode ini lebih disukai karena konvergensiya lebih cepat dan persamaan aliran dayanya dirumuskan dalam bentuk polar.[1]

Untuk persamaan non-linier yang diasumsikan memiliki sebuah variabel seperti persamaan

$$y = f(x) = 0 \quad (2.15)$$

Dengan menggunakan Deret Taylor persamaan tersebut dapat dijabarkan menjadi

$$\begin{aligned} f(x) &= f(x_0) + \frac{1}{1!} \frac{df(x_0)}{dx} (x - x_0) + \frac{1}{2!} \frac{df^2(x_0)}{dx^2} (x - x_0)^2 + \dots \\ &\dots \frac{1}{n!} \frac{df^n(x_0)}{dx^n} (x - x_0)^n = 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Turunan pertama dari persamaan tersebut diabaikan, untuk pendekatan linier menghasilkan persamaan:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{df(x_0)}{dx} (x - x_0) \quad (2.17)$$

Dari

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{df(x_0)/dx} \quad (2.18)$$

Untuk mengatasi kesalahan notasi, maka persamaan (2.18) dapat dituliskan menjadi persamaan (2.19) yaitu:

$$x^1 = x^0 - \frac{f(x_0)}{df(x_0)/dx} \quad (2.19)$$

Dimana:

$$x^0 = \text{pendekatan mula - mula}$$

$$x^1 = \text{pendekatan pertama}$$

Oleh karena itu, persamaan (2.19) dapat dikembangkan sampai iterasi terakhir (k+1) menjadi persamaan dibawah ini yaitu:

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f(x^{(k)})}{df(x^{(k)})/dx} \quad (2.20)$$

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \quad (2.21)$$

$$x = -\frac{fx^{(k)}}{f'(x^{(k)})} \quad (2.22)$$

$$x = x^{k+1} - x^k \quad (2.23)$$

Pada sistem multi bus persamaan (2.24) daya aktif dan persamaan (2.25) daya reaktif adalah

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad (2.24)$$

$$Q_i^{(k)} = - \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad (2.25)$$

Kedua persamaan diatas merupakan langkah awal perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson dengan penyelesaian aliran daya menggunakan proses iterasi $(k+1)$. Untuk iterasi pertama (1) nilai $k = 0$, merupakan nilai perkiraan awal (*initial estimate*) yang ditetapkan sebelum dimulai perhitungan aliran daya. Hasil perhitungan aliran daya menggunakan persamaan (2.24) dan (2.25) dengan nilai $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$. Hasil nilai ini digunakan untuk menghitung nilai $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ melalui persamaan (2.26).

$$\begin{aligned} P_i^{(k)} &= P_{i,spec} - P_{i,calc}^{(k)} \\ Q_i^{(k)} &= Q_{i,spec} - Q_{i,calc}^{(k)} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Hasil perhitungan $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ digunakan untuk matrik jacobian pada persamaan (2.27) yaitu:

$$\begin{bmatrix} P_2^{(k)} \\ \vdots \\ P_n^{(k)} \\ \hline Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \hline \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \hline \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Melalui persamaan (2.27) dapat dilihat bahwa perubahan daya berhubungan dengan perubahan besar tegangan dan sudut phasa. Secara umum persamaan (2.27) dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{bmatrix} \iota P^{(k)} \\ \iota Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_1 & j_2 \\ j_3 & j_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Besaran elemen matriks jacobian diperoleh melalui persamaan dibawah ini.

Persamaan (2.29) dan (2.30) merupakan elemen matrik jacobian j_1

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) j \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_i} = -|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) j \neq i \quad (2.30)$$

Persamaan (2.31) dan (2.32) merupakan elemen matrik jacobian j_2

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = 2|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} + \sum_{j \neq i} |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) j \neq i \quad (2.32)$$

Persamaan (2.33) dan (2.34) merupakan elemen matrik Jacobian j_3

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_i} = -|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) j \neq i \quad (2.34)$$

Persamaan (2.35) dan (2.36) merupakan elemen matrik Jacobian j_4

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = -2 \left| V_i^{(k)} \right| \left| Y_{ij} \right| \sin \theta_{ij} - \sum_{j \neq i} \left| V_j^{(k)} \right| \left| Y_{ij} \right| \sin \left(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)} \right) \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = - \left| V_i^{(k)} \right| \left| Y_{ij} \right| \cos \left(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)} \right) \quad (2.36)$$

Setelah nilai matrik jacobian dimasukkan kedalam persamaan (2.28) maka nilai $\delta_j^{(k)}$ dan $|V|_i^{(k)}$ dapat dicari dengan menginversikan matrik jacobian menjadi persamaan (2.37).

$$\begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_1 & j_2 \\ j_3 & j_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

Setelah nilai $\delta_i^{(k)}$ dan $|V|_i^{(k)}$ diketahui maka nilai $\delta_i^{(k+1)}$ dan $|V|_i^{(k+1)}$ dapat dicari dengan menggunakan nilai $\delta_i^{(k)}$ dan $|V|_i^{(k)}$ kedalam persamaan (2.38) dan (2.39)

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \delta_i^{(k)} \quad (2.38)$$

$$|V|_i^{(k+1)} = |V|_i^{(k)} + |V|_i^{(k)} \quad (2.39)$$

Nilai dari $\delta_i^{(k+1)}$ dan $|V|_i^{(k+1)}$ adalah hasil perhitungan pada iterasi pertama dan selanjutnya digunakan kembali untuk perhitungan sampai iterasi ke- n

2.2. FACTS (*Flexible AC Transmission System*)

Sistem penyaluran tenaga listrik terbagi menjadi dua bagian berbeda yaitu sistem transmisi dan sistem distribusi. Pada sistem transmisi saat ini, telah diketahui bahwa transmisi listrik DC lebih efisien daripada transmisi tenaga listrik AC. Namun pada kenyataannya terdapat lebih banyak saluran transmisi

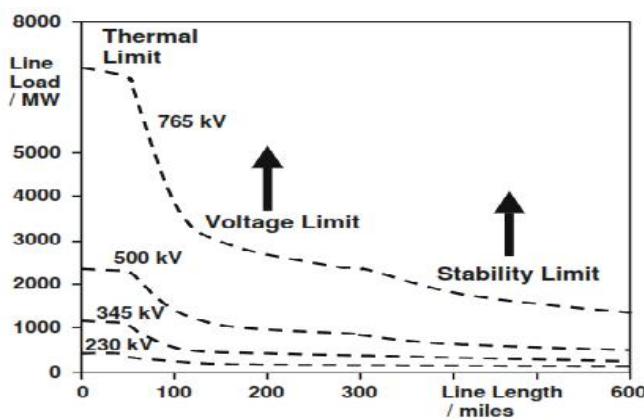
listrik AC daripada transmisi listrik DC, hal ini disebabkan oleh besarnya biaya pembuatan saluran transmisi listrik DC dan untuk mengubah dari saluran transmisi listrik AC yang telah ada menjadi saluran transmisi listrik DC diperlukan waktu dan biaya yang besar, oleh karena itu, pengembangan peralatan yang dapat memaksimalkan transmisi energi listrik AC menjadi solusi utama dalam penyaluran sistem tenaga listrik. Pengembangan *Flexible AC Transmission Systems* (FACTS) merupakan solusi yang dapat dipakai dalam memaksimalkan transmisi listrik AC. Penggunaan FACTS dalam saluran transmisi memiliki tujuan utama yaitu mengoperasikan saluran transmisi sampai batas termalnya. Tanpa FACTS, saluran masih tetap menyalurkan banyak energi listrik tetapi dengan suatu persentasi daya reaktif yang relatif besar. FACTS dapat meningkatkan stabilitas sistem, mengontrol tegangan dan redaman (*damping*) osilasi daya [2]. Hal tersebut menjadi alasan utama mengapa sangat diperlukan mempelajari stabilitas sistem energi listrik dengan mempertimbangkan pemakaian FACTS pada saluran transmisi.

Aplikasi dasar dari peralatan FACTS antara lain:

1. Kontrol aliran daya
2. Meningkatkan kemampuan transmisi
3. Kontrol tegangan
4. Kompensasi daya reaktif
5. Meningkatkan stabilitas
6. Meningkatkan kualitas daya
7. *Power Conditioning*
8. Mitigasi *Flicker*

9. Interkoneksi energi terbarukan,

Pengaruh peralatan FACTS dicapai dengan mengatur kompensasi shunt dan kompensasi seri. Dengan menggunakan komponen elektronika daya, maka reaksi kerja dari FACTS diperoleh dalam waktu singkat yang kurang dari satu detik.

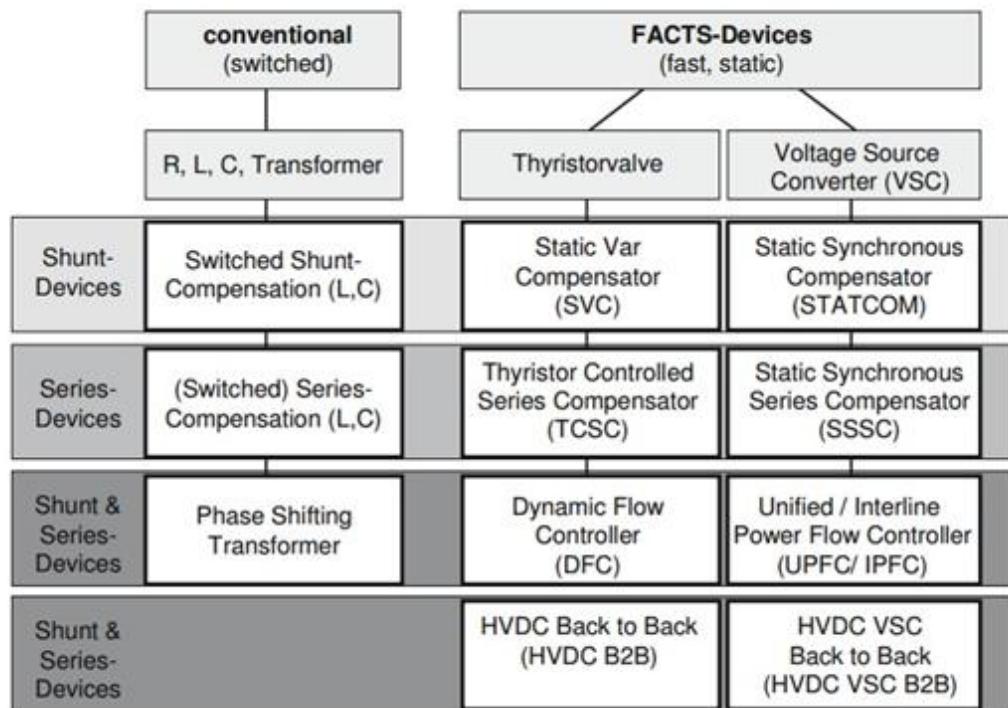


Gambar 2.1. Batas operasi dari saluran transmisi untuk berbagai level tegangan yang berbeda [7]

Batas operasi dari saluran transmisi menunjukkan kemampuan kerja saluran dalam sistem tenaga listrik. Melalui gambar 2.1 dapat dilihat hubungan antara beban saluran dan panjang saluran, batas termal, batas tegangan dan batas stabilitas dari saluran. Semakin besar beban saluran dan semakin panjang saluran transmisi maka tingkat kestabilan transmisi akan menurun, semakin besar beban saluran dan semakin kecil panjang dari saluran maka batas termal saluran akan meningkat. Pada peralatan FACTS terdapat bentuk ‘dinamis’ dan ‘statis’, dimana bentuk ‘dinamis’ pada FACTS digunakan untuk mengekspresikan kecepatan pengendalian peralatan FACTS yang diperoleh dari penggunaan komponen elektronika daya. Ini adalah salah satu faktor

utama yang membedakannya dari peralatan konvensional. Bentuk ‘statis’ berarti peralatan itu tidak mempunyai bagian yang bergerak seperti saklar mekanis untuk melakukan pengendalian dinamis. Oleh karena itu sebagian besar peralatan FACTS dapat berbentuk statis dan dinamis.

Pada gambar 2.2 dapat dilihat jenis-jenis dari FACTS, dimana pada kolom sebelah kiri gambar 2.2 diperlihatkan peralatan konvensional yang dibuat berdasarkan sifat *switch* tetap atau mekanis komponen-komponennya seperti resistansi, induktansi atau kapasitansi bersama dengan transformator.



Gambar 2.2. Peralatan FACTS Utama [7]

Pada kolom sebelah kanan peralatan FACTS berupa peralatan statik yang menggunakan thyristor. Peralatan terhubung shunt untuk mengkompensasi daya reaktif dan kontrol tegangan. Pada dasarnya pengembangan FACTS

sangat berkaitan erat dengan pengaplikasian thyristor untuk elektronika daya. Pada sistem tenaga listrik dalam pengontrolannya, FACTS dapat dihubungkan secara seri, shunt, dan dapat pula dihubungkan kedua-duanya dengan sistem. SVC (*Static Var Compensator*) merupakan salah satu dari peralatan FACTS yang akan dibahas dalam skripsi ini.

2.3. Static Var Compensator (SVC)

Salah satu peralatan FACTS tipe *impedance variable* yang telah dikembangkan saat ini dan akan dipergunakan dalam tugas akhir ini adalah *Static Var Compensator* (SVC).



Gambar 2.3. Static Var Compensator[3]

Pada gambar 2.3 dapat dilihat bentuk nyata dari SVC yang dipasang pada saluran transmisi. SVC bekerja menyediakan kompensasi daya reaktif dengan cepat pada jaringan transmisi tenaga listrik tegangan tinggi. Istilah “*static*” pada SVC berdasarkan kenyataannya bahwa pada saat beroperasi atau melakukan perubahan kompensasi pada jaringan, tidak ada bagian

(part) SVC yang bergerak, karena proses kompensasinya sepenuhnya dikontrol oleh sistem elektronika daya. Secara lebih rinci fungsi dari SVC adalah: [3]

1. Meningkatkan kapasitas sistem transmisi
2. Kontrol tegangan
3. Kontrol aliran daya reaktif
4. Penurunan dan pembatasan frekuensi *over voltage power* disebabkan *load rejection*
5. Memperbaiki stabilitas jaringan AC
6. Mencegah terjadinya ketidakstabilan tegangan

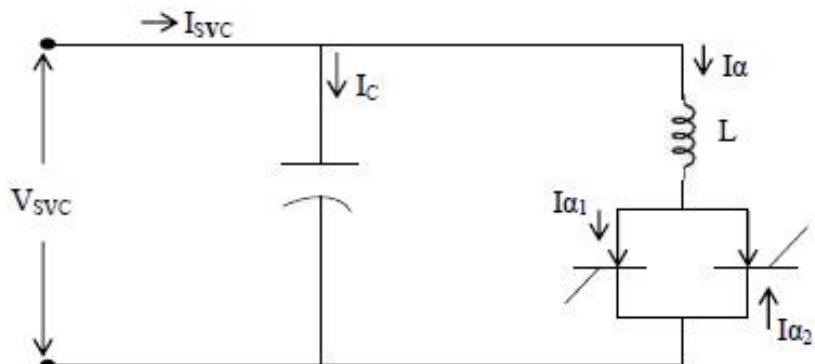
2.3.1 Teori Dasar dan Prinsip Kerja SVC

SVC berfungsi untuk menginjeksi atau menyerap daya reaktif statis yang terkendali dan mempunyai keluaran (*output*) yang bervariasi untuk mempertahankan atau mengontrol variabel tertentu pada sistem tenaga listrik terutama tegangan bus. SVC terdiri dari TCR (*Thyristor Controlled Reactor*), TCS (*Thyristor Capacitor Switched*) dan filter. Filter berfungsi untuk mengatasi besarnya harmonisa yang dihasilkan oleh TCR.

Kelemahan lain dari kompensasi shunt dibandingkan dengan kompensasi seri (disamping untuk jumlah variasi daya aktif yang sama tidak sebanyak injeksi daya reaktif yang dibutuhkan) adalah menentukan lokasi peralatan kompensasi shunt pada saluran. Penentuan lokasi penempatan SVC sangat penting dalam mempertimbangkan

keefektifannya. Sebenarnya, semua kompensator shunt ditempatkan di titik tengah (*midpoint*) secara tepat. Sudut tegangan di titik tengah mempunyai perbedaan separuh dari kedua ujung saluran. Penempatan SVC menentukan keefektifannya dalam menjalankan fungsi sebagai kompensator daya reaktif.

Secara garis besar sebuah *Stativ VAR Compensator* (SVC) terdiri dari kapasitor, reaktor dan thyristor yang bekerja sebagai sakelar. Thyristor yang bekerja sebagai sakelar yang diatur waktu untuk membuka dan menutup dengan mengontrol sudut penyalaan melalui tegangan kisinya. Melalui gambar 2.4 dapat dilihat rangkaian SVC dengan arus kondensator konstan.



Gambar 2.4. Rangkaian SVC dengan arus kondensator konstan

V_{SVC} = Tegangan yang dipasangkan pada SVC.

I_1 dan I_2 = Arus yang melalui sakelar Thyristor

C = Kondensator

L = Kumparan

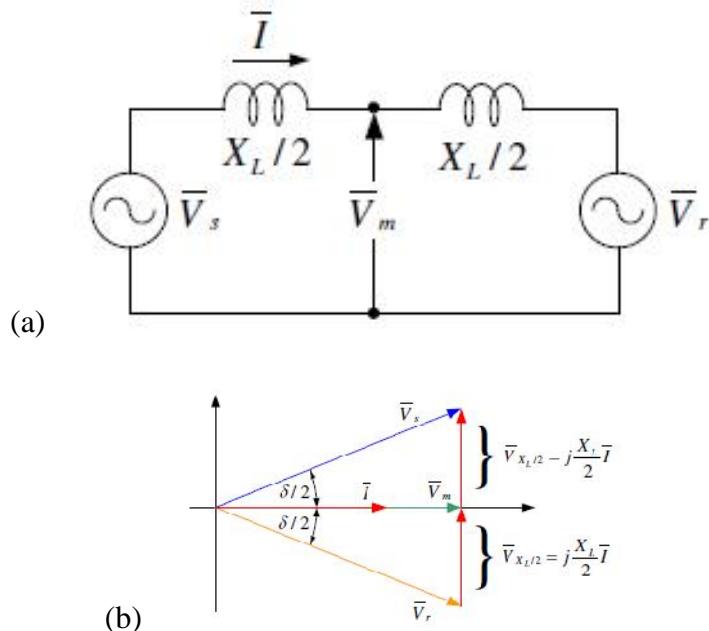
I_{SVC} = Arus total yang melalui SVC.

Pengaturan sudut penyalaan sakelar thyristor dapat mengatur besarnya arus reaktor. Jumlah arus yang diambil SVC adalah $I_c + I$. Kondisi I_c saat ini adalah konstan (*fixed capacitor*) sedangkan arus yang melalui reaktor diatur besar kecilnya oleh sakelar thyristor yang menghasilkan komponen I_1 dan I_2 . Sedangkan I_1 dan I_2 pada gambar masing-masing adalah penyalaan thyristor 1 dan thyristor 2. Dengan mengatur I_1 dan I_2 maka I_1 dan I_2 juga diatur, selanjutnya dengan demikian $I = I_1 + I_2$ juga diatur. Seperti terlihat pada gambar, I adalah arus yang melalui reaktor. Arus total yang melalui SVC adalah $I_c + I$, dengan memilih nilai reaktor yang tepat dan pengaturan melalui sakelar thyristor, arus SVC dapat diatur dari mulai kapasitif sampai induktif. Dengan demikian SVC dapat diatur agar menginjeksikan atau menyerap daya reaktif dari sistem.

Elemen yang sangat penting dalam operasi SVC adalah sakelar thyristor yang harus dapat menyala dan berhenti tepat pada waktunya sesuai sudut penyalaan yang diinginkan. Sakelar thyristor hanya mengalirkan arus dalam satu arah, oleh karenanya dipakai dua thyristor seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Sakelar thyristor harus mampu memblokir tegangan yang berlawanan dengan arah yang diinginkan. Sebaliknya pada waktu tegangan sama arahnya dengan arah operasinya, sakelar thyristor harus mampu mengalirkan arus.[8]

Melalui gambar 2.5 dapat dilihat saluran yang belum terkompensasi dan juga vektor diagram dari saluran tersebut. Pada saluran yang belum terkompensasi, daya aktif diberikan oleh persamaan (2.40)

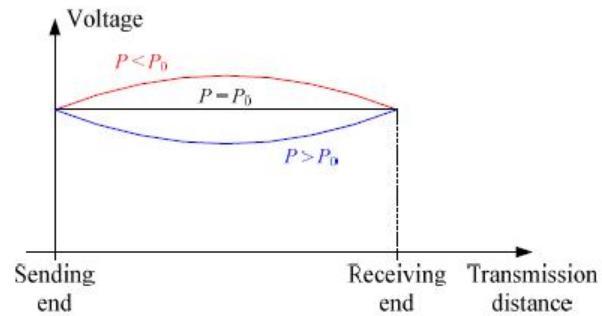
$$P = \frac{V_s V_r}{X_L} \sin \delta = \frac{V^2}{X_L} \sin \delta \quad (2.40)$$



Gambar 2.5. (a) Saluran belum terkompensasi dan (b) vektor diagram saluran belum terkompensasi

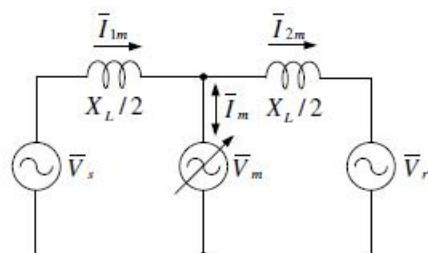
Pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa magnitudo tegangan diantara tegangan kirim dan tegangan terima sangat dipengaruhi oleh reaktansi sepanjang saluran. Fungsi SVC adalah untuk meningkatkan magnitudo tegangan di lokasi yang ditempatinya untuk menyamakan nilai ujung kirim dan ujung terima sehingga menimbulkan pengurangan rugi-rugi daya, idealnya suatu saluran akan besifat seperti sebuah saluran berbeban alami (*naturally loaded line*) jika mempunyai SVC.

Perbandingan antara tegangan dan jarak transmisi pada sistem ditunjukkan melalui gambar 2.6 dibawah ini.

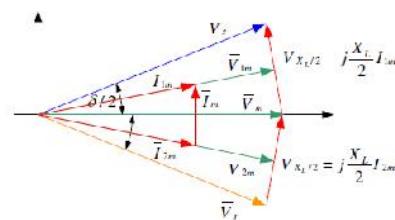


Gambar 2.6. Perbandingan Tegangan dengan Jarak transmisi

Melalui gambar 2.6 dijelaskan saluran ideal merupakan saluran yang memiliki daya kirim dan daya terima yang sama ($P=P_0$). Melalui gambar 2.7 dapat dilihat saluran dengan kompensasi shunt beserta vektor diagram dari kompensasi shunt.



(a)



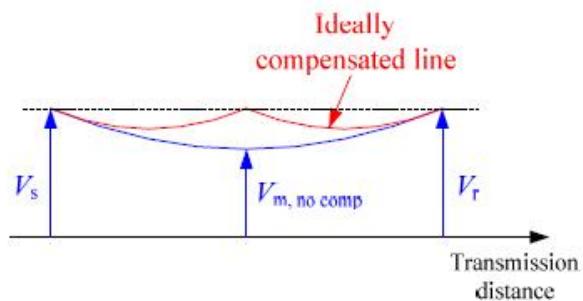
(b)

Gambar 2.7. (a) Kompensasi shunt dan (b) diagram vektor kompensasi shunt

Persamaan (2.41) adalah modifikasi aliran daya aktif ketika dilengkapi dengan sebuah SVC. Ketika $V_m = V_s = V_r$, maksimum daya aktif meningkat dua kali lipat.

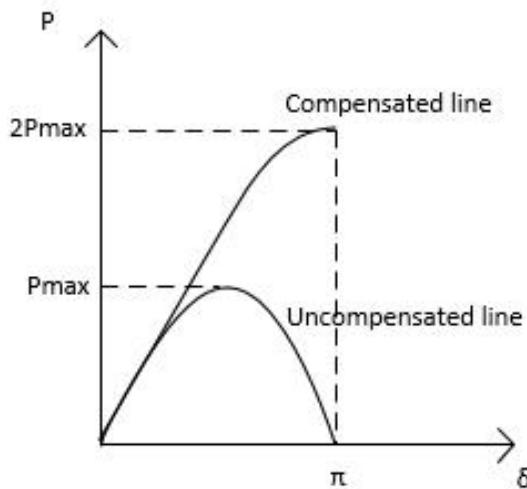
$$P = \frac{V_s V_r}{\frac{X_L}{2}} \sin \frac{\delta}{2} = \frac{2V^2}{X_L} \sin \frac{\delta}{2} \quad (2.41)$$

Dari gambar 2.8 dapat dijelaskan pengaruh kompensasi yang terjadi pada gambar 2.7.



Gambar 2.8. Kompensasi shunt saluran transmisi

Pengaruh pemasangan kompensasi shunt sebagian besar mempengaruhi stabilitas sudut tegangan, juga daya maksimum daya aktif yang disalurkan menjadi dua kali lipat. Dari kriteria luasan sama (*equal-area*), dapat digambarkan seperti pada gambar 2.9



Gambar 2.9. Pengaruh stabilitas akibat pemasangan kompensasi shunt

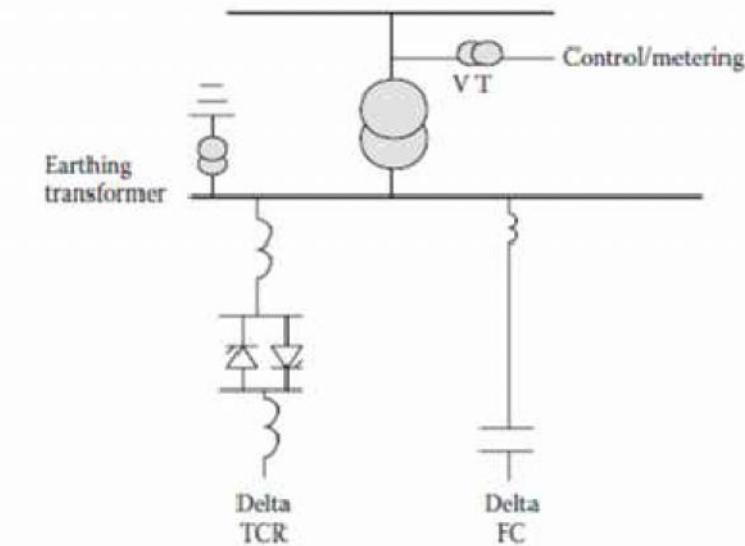
Melalui gambar 2.9 dapat dilihat pengaruh pemasangan kompensasi shunt meningkatkan daya aktif sebesar dua kali lipat dari daya aktif pada saluran yang belum terkompensasi. SVC dapat digunakan untuk kompensasi yang bersifat induktif dan kapasitif. Pada kompensasi yang bersifat induktif, SVC menyerap kelebihan daya reaktif dari sistem sedangkan pada kompensasi yang bersifat kapasitif, SVC menginjeksikan daya reaktif ke sistem.

2.3.2 Jenis – Jenis SVC

Jenis SVC berdasarkan kontrol yang digunakan dapat dibedakan menjadi :

1. SVC menggunakan TCR dan *Fixed Capacitor* (FC)

Skema rangkaian SVC dengan TCR dan FC ditunjukkan pada gambar 2.10.

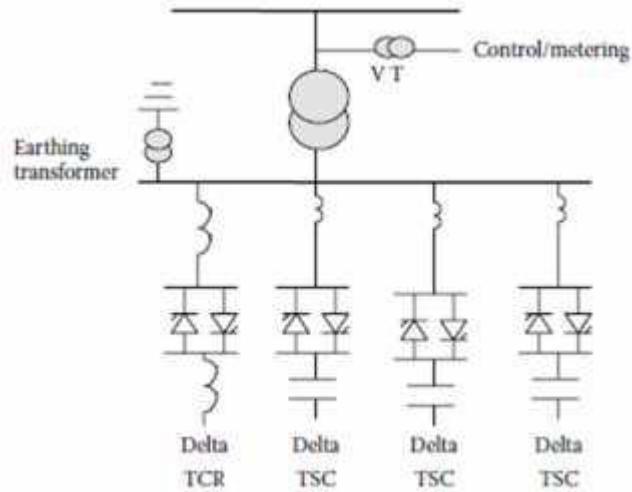


Gambar 2.10. SVC yang menggunakan TCR dan FC [11]

Fixed Capacitor bank terhubung ke sistem melalui *step down transformator*. Rating pada reaktor dipilih yang lebih besar ratingnya dari kapasitor dengan jumlah yang diberikan maksimum lagging VARs yang akan diserap dari sistem. Pasangan thyristor yang dipasang pararel dan berlawanan kutub berfungsi sebagai sebuah saklar yang akan menutup apabila tegangan anoda lebih besar dari tegangan katoda dan diberikan *trigger* (pemicu) yang biasa disebut sudut penyalaan. Dengan mengubah sudut penyalaan (*firing angle*) dari thyristor akan mengontrol reaktor dari 90° menjadi 180° , maka sifat kompensasi akan berubah dari lagging ke leading. Kerugian dari konfigurasi ini adalah harmonik yang dihasilkan karena besarnya *partial conduction* dari reaktor dibawah kondisi operasi sinusoidal *steady-state* normal ketika SVC menyerap zero MVAR. [11]

2. SVC menggunakan TCR dan *Thyristor Switched Capacitor* (TSC)

Skema rangkaian SVC dengan TCR dan TSC ditunjukkan pada gambar 2.11

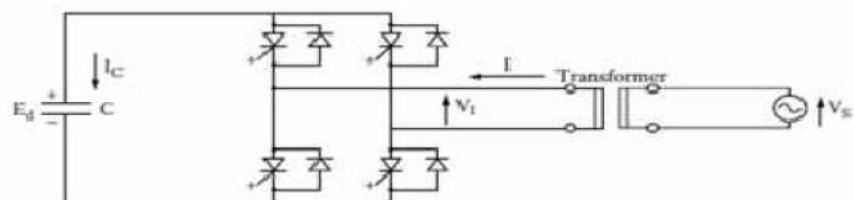


Gambar 2.11.SVC yang menggunakan TCR dan TSC [11]

Kompensator jenis ini berguna untuk mengurangi *losses* pada kondisi beroperasi dan menjaga kinerja agar lebih baik saat gangguan sistem yang besar.[11]

3. SVC menggunakan *Forced Commutation Inverters*

Skema rangkaian SVC dengan *Forced Commutation Inverters* ditunjukkan pada gambar 2.12



Gambar 2.12 SVC yang menggunakan *Selt-Commutated Inverters*[11]

SVC ini terdiri dari satu inverter (sumber konverter tegangan DC misalnya VSC) menggunakan *gate turn-off* (GTO) thyristor. Untuk inverters ini, sumber DC dapat berupa batere atau kapasitor yang tegangan terminalnya dapat ditinggikan atau diturunkan oleh pengontrol inverter. Inverter ini dihubungkan ke sistem melalui reaktansi secara bergantian dan output trafo. Ketiga tegangan inverter V1 sama dengan tegangan sistem, SVC akan berjalan. Ketika V1 lebih besar dari tegangan sistem, SVC akan bertindak sebagai kapasitor, dan jika V1 kurang dari tegangan sistem, SVC akan bertindak sebagai induktor. Dengan menggunakan beberapa inverter dengan sudut phasa berbeda operasi yang diinginkan dapat dicapai. [11]

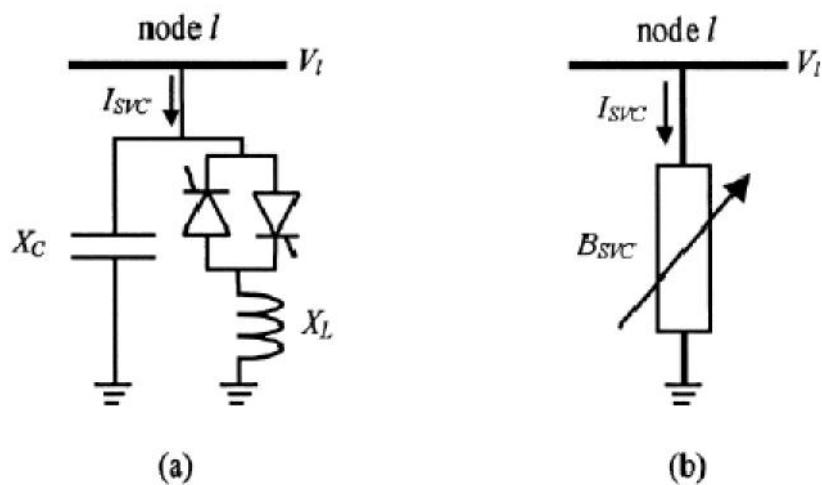
Untuk menganalisa injeksi daya reaktif SVC pada suatu sistem tenaga listrik, SVC dapat dimodelkan dengan beberapa cara sebagai berikut, yaitu [12]:

1. Model *Firing Angle* SVC

Pemodelan SVC berupa reaktansi ekuivalen X_{SVC}, yang merupakan fungsi dari perubahan sudut penyalaan α , yang terdiri dari kombinasi paralel admitansi ekuivalen *thyristor controlled reactor* (TCR) dan reaktansi kapasitif tetap, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13(a). Model ini memberikan informasi mengenai sudut penyalaan SVC yang diperlukan untuk mencapai tingkat kompensasi tertentu.

2. Model *Total Susceptance* SVC

SVC dilihat sebagai sebuah reaktansi yang dapat diatur melalui perubahan susceptansi BSVC, yang melambangkan nilai susceptansi SVC total yang diperlukan untuk mempertahankan besar tegangan bus pada nilai tertentu, seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 (b).



Gambar 2.13. Pemodelan SVC, (a) model *firing angle* SVC, (b) model *total susceptance* SVC[12]

Model *total susceptance* inilah yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Untuk pemodelan *total susceptance*, akan dibahas lagi pada bab selanjutnya.

2.3.3 Penentuan Kapasitas SVC (*Static Var Compensator*)[11]

Berdasarkan teori, indikasi bus yang berkandidat sebagai tempat penempatan SVC (*Static Var Compensator*) adalah bus yang memiliki profil tegangan dibawah tegangan yang diizinkan, yaitu turun melebihi 5% dari tegangan nominal sesuai SPLN 1 tahun 1995. Hal ini

diupayakan agar mendapatkan tegangan pada ujung beban sama dengan ujung sumber atau $V_R = Vs$. Bila nilai daya aktif pada ujung beban mendekati 1 ($pf=1$) dan $V_R = Vs$ maka dapat dicari nilai δ , dengan rumus berikut:

$$P_R = \frac{|V_R| = |Vs|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|A|}{|B|} |V|^2 \cos(\beta - \alpha) \quad (2.40)$$

Kapasitas kapasitor (Q_R) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_R = \frac{|V_R| = |Vs|}{|B|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|A|}{|B|} |V|^2 \sin(\beta - \alpha) \quad (2.41)$$

Berdasarkan faktor daya yang diketahui dan faktor daya yang diinginkan, maka besar dari Q (daya reaktif) dapat diperoleh dengan persamaan (2.42) dan (2.43).

kVAR sebelum SVC (*Static Var Compensator*):

$$Q_1 = P \tan \theta_1 \quad (2.42)$$

kVAR yang diinginkan berdasarkan PF=0.999

$$Q_2 = P \tan \theta_2 \quad (2.43)$$

Berdasarkan persamaan (2.42) dan persamaan (2.43) maka dapat disempurnakan nilai Q dengan persamaan (2.44) dibawah berikut:

$$Q = Q_1 - Q_2 \quad (2.44)$$

Dimana, $Q_1 = \text{kVAR sebelum SVC}$

$Q_2 = \text{kVAR yang diinginkan berdasarkan PF=0.999}$

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang membahas penerapan peralatan FACTS dalam meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik wilayah Lampung, dan menggunakan metode Newton Raphson adalah :

1. Ananta Haili, Eizi. *Optimasi Aliran Daya Menggunakan UPFC Pada Sistem Transmisi 150 KV wilayah Lampung*. UNILA. 2013.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi tentang optimasi aliran daya menggunakan salah satu peralatan FACTS yaitu *Unified Power Flow Controller* (UPFC). UPFC dapat mengontrol aliran daya pada transmisi dengan mengatur parameter yang mempengaruhi aliran daya sehingga dicapai aliran daya yang optimal. Untuk menentukan lokasi pemasangan UPFC, maka dihitung profil tegangan dan mencari profil tegangan yang berada dibawah tegangan standar (*under voltage*) yang telah ditetapkan.

2. Alexander Barus, Jimmy. *Penentuan Lokasi Dan Parameter Unified Power Flow Controller (UPFC) Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Meningkatkan Keamanan Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan Transmisi Lampung*. UNILA. 2016.

Dalam Penelitian ini, Analisis aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson. Parameter *Unified Power Flow controller* (UPFC), dimodelkan kedalam persamaan aliran daya untuk menentukan injeksi daya dalam bentuk tegangan dan sudut daya. Metode Algoritma Genetika (AG)

digunakan untuk mencari lokasi dan parameter tegangan optimal UPFC. Simulasi Algoritma Genetika menggunakan perangkat lunak MATLAB. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya.

Berdasarkan tugas akhir Ananta Haili, Eizi, dan Alexander Barus, Jimmy, penulis merasa perlu dilakukan studi penerapan peralatan FACTS lainnya pada transmisi Lampung agar mengetahui kerja FACTS lebih mendalam dan melihat pengaruhnya pada transmisi. SVC sebagai salah satu peralatan FACTS dipilih dalam tugas akhir ini. Melalui tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya, penulis dapat mempelajari studi aliran daya dan transmisi wilayah lampung.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dan mulai dilaksanakan bulan Desember 2015.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

- a. Laptop Acer Aspire 4736, intel CoreTM 2 Duo, ~2.0 GHz
- b. Perangkat lunak (*Software*) MATLAB R2013b

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data berupa data-data dalam perhitungan aliran daya pada saluran transmisi lampung. Data-data yang dibutuhkan antara lain:

- a. Diagram satu garis saluran (*single line diagram*) sistem tenaga listrik Provinsi Lampung.
- b. Data saluran transmisi 150 KV dan Data bus (KV)
- c. Data dari pembangkit dan data beban (aktif dan reaktif)

3.3. Langkah-langkah yang digunakan

Dalam proses penggerjaan skripsi ini, untuk menentukan penempatan SVC digunakan perhitungan dengan menggunakan metode Newton-Raphson dari data-data yang ada untuk memperoleh *weak* bus pada saluran transmisi.

Adapun beberapa tahapan yang akan dilakukan adalah:

a. Studi Pustaka

Dalam studi pustaka dilakukan pencarian informasi mengenai SVC, FACTS, dan aliran daya yang berkaitan dalam perbaikan profil tegangan.

b. Pengumpulan data

Pada tahap ini dimaksudkan untuk mengambil data yang nantinya akan diolah dan dianalisis.. Adapun data yang digunakan adalah:

a. Data sistem tenaga listrik provinsi Lampung 150 kV berupa resistansi (R), reaktansi (X), suseptansi (B) jaringan transmisi, data Transformer berupa data beban (MVA dan MVAR) dan data tap transformer.

b. Data masing-masing pembangkitan berupa data voltage magnitude (V), daya terbangkit (MVA dan MVAR), beserta batasan pembangkitan (constraint generator).

c. Pengolahan data

Dari data - data yang diperoleh dilakukan simulasi dengan menggunakan simulasi aliran daya Newthon-Raphson, simulasi dilakukan menggunakan Matlab.

d. Metode yang digunakan

Metode yang digunakan dalam mencari lokasi dan parameter SVC pada jaringan transmisi energi listrik wilayah Lampung menggunakan metode Newton-Rhapson

e. Membuat analisis dari hasil pembelajaran

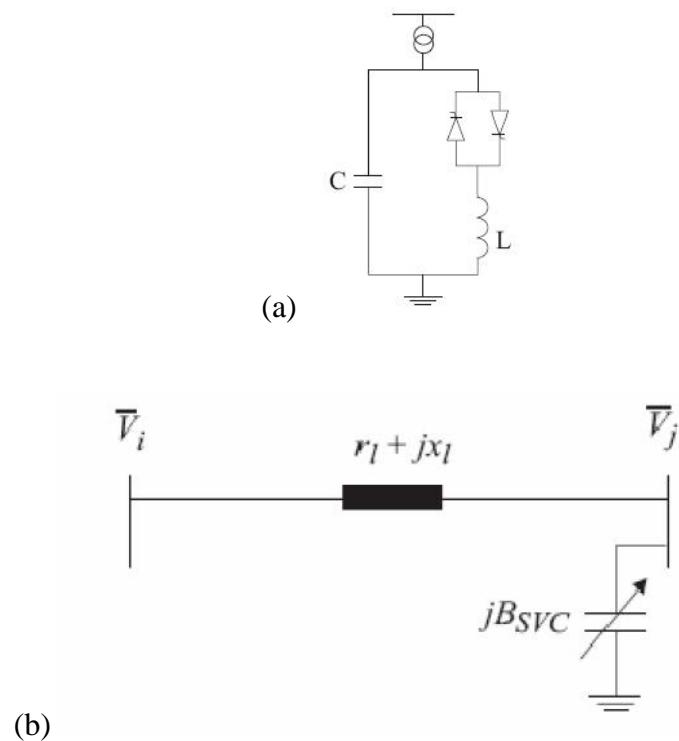
Melalui data hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan Matlab, maka dilakukan analisis dan pembandingan data hasil penempatan SVC. Proses analisis data dari hasil simulasi ini dilakukan agar dapat diketahui manfaat dari pemasangan SVC pada sistem tenaga listrik.

f. Penulisan Laporan

Dalam tahap ini dilakukan penulisan laporan hasil dari penelitian secara lengkap mencakup tinjauan pustaka hingga proses simulasi yang dilakukan dan analisis serta simpulan dan saran.

3.4. Simulasi dan Pemodelan Mencari Lokasi dan Parameter SVC

Topologi dasar SVC dan representasi permodelan SVC yang terhubung pada saluran i dan j ditunjukkan pada gambar 3.1(a) dan (b)



Gambar 3.1(a) Topologi dasar SVC, (b) Representasi SVC pada saluran[15]

Pada gambar 3.1 menunjukkan model injeksi SVC, dimana sebuah arus reaktif diinjeksikan pada titik j , sedangkan V_i dan V_j tegangan pada titik i dan j secara berturut – turut. Daya reaktif yang diinjeksikan pada titik j dituliskan dalam persamaan berikut :

$$Q_j = -V_j^2 B_{SVC} \quad (3.1)$$

Dimana:

Q_j = daya reaktif pada titik j

V_j = tegangan pada titik j

$B_{SVC} = B_C - B_L$, B_C dan B_L adalah suseptansi pada *fixed capacitor* dan TCR

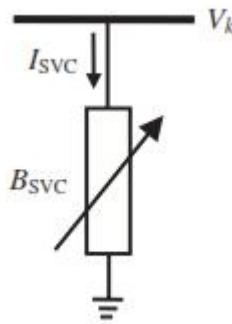
Untuk operasi diluar batas, SVC memiliki sebuah suseptansi tetap (*fixed susceptance*) berkaitan dengan daya reaktif dan karena itu hanya satu bus yang mewakili model

$$B_{SVC} = -\frac{Q_{lim}}{V_{SVC}^2} \quad (3.2)$$

Dimana V_{SVC} adalah tegangan bebas baru akibat kelebihan batas daya reaktif Q_{lim} .

Kelemahan utama dari representasi kombinasi generator-suseptansi adalah SVC membutuhkan dua model menggunakan sebuah nomer bus yang berbeda. Sebagai akibatnya, jacobian jaringan selalu berdimensi kembali (*re-dimensioned*) dan menata kembali (*reordered*) sebagai verifikasi melihat apakah SVC di luar atau di dalam batas.

Model suseptansi variabel shunt dapat disesuaikan dengan dua cara: batas sudut penyalaan (*firing-angle limit*) atau batas reaktansi (*reactance limit*). Model suseptansi shunt batas reaktansi lebih sering digunakan karena lebih sederhana daripada Model suseptansi batas sudut penyalaan. Penggunaan model sudut penyalaan memerlukan usaha komputasi yang lebih sulit karena dihitung dari suseptansi SVC dan keduanya adalah nonlinear. Model *total susceptansi* ditunjukkan melalui gambar 3.2.



Gambar 3.2. Model *total susceptance* SVC[14]

Aliran daya membutuhkan persamaan linear SVC untuk menggabungkan dan kemudian memperbarui suseptansi shunt pada setiap iterasi.[14]

$$I_{SVC} = jB_{SVC}V_k \quad (3.3)$$

Dari Gambar daya reaktif yang diinjeksikan pada bus k

$$Q_{SVC} = Q_k = -V_k^2 B_{SVC} \quad (3.4)$$

Karena peralatan digambarkan oleh sebuah suseptansi murni, hanya daya reaktif yang diinjeksikan. Sepanjang iterasi injeksi daya reaktif harus terus diperbarui melalui persamaan (3.5).

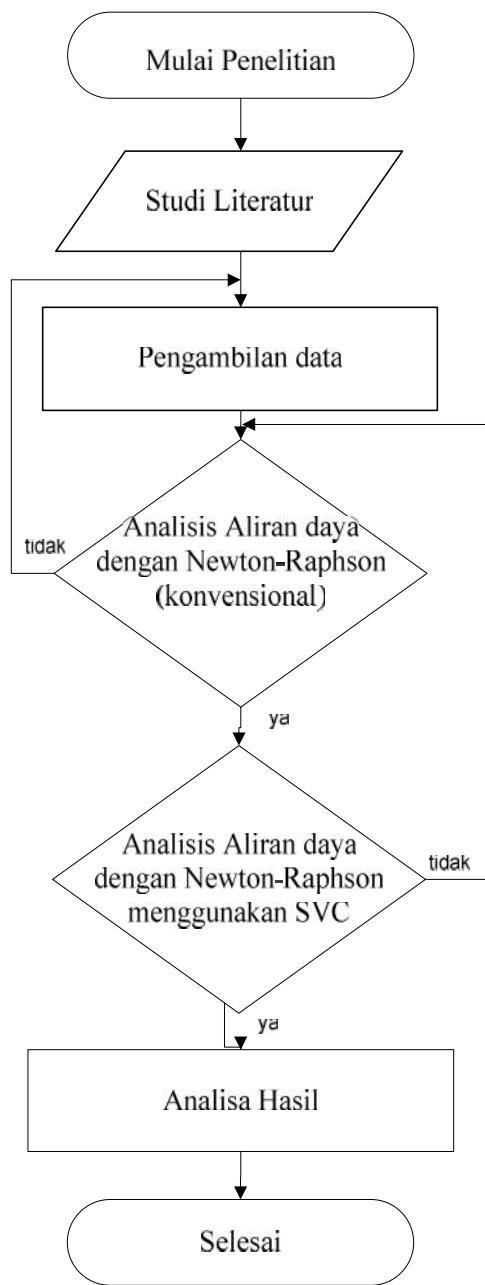
$$\begin{bmatrix} \Delta P_k \\ \Delta Q_k \end{bmatrix}^{(i)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & Q_k \end{bmatrix}^{(i)} \begin{bmatrix} \Delta \theta_k \\ \Delta B_{SVC}/B_{SVC} \end{bmatrix}^{(i)} \quad (3.5)$$

Pada akhir masing-masing, B_{SVC} diperbarui sesuai dengan persamaan (3.6). Dengan cara ini tegangan yang dikehendaki pada bus yang terhubung dengan SVC dapat dipenuhi[14]:

$$B_{SVC}^{(i)} = B_{SVC}^{(i-1)} + \left(\frac{\Delta B_{SVC}}{B_{SVC}} \right)^{(i)} B_{SVC}^{(i-1)} \quad (3.6)$$

3.5. Diagram Alir Penelitian (*Flow Chard*)

Adapun diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Simulasi penempatan Static Var Compensator (SVC) secara efektif dapat memperbaiki profil tegangan dan meningkatkan stabilitas tegangan pada jaringan tenaga listrik. Penempatan SVC pada bus 7 (Manggala) mengalami kenaikan profil tegangan sebesar 1.35% dari tegangan semula sedangkan pada saat penempatan SVC pada bus 8 (Gumawang) profil tegangan sendiri naik sebesar 9,88% dari profil tegangan sebelumnya
2. Penempatan SVC pada bus 8 (Gumawang) memperbaiki profil tegangan *weak bus* pada sistem transmisi, dimana pada bus 7 (Manggala) profil tegangan naik sebesar 6.18% dan pada bus 8 (Gumawang) profil tegangan naik sebesar 9,88%.
3. Penempatan SVC pada bus 7 (Manggala) memperbaiki profil tegangan *weak bus* pada sistem transmisi, dimana pada bus 7 (Manggala) profil tegangan naik sebesar 1.35% dan pada bus 8 (Gumawang) profil tegangan naik sebesar 1.45%.
4. Penempatan SVC dilakukan pada bus 7 (Manggala) dan pada bus 8 (Gumawang) yang memiliki nilai profil tegangan paling rendah (*weak bus*), dan setelah dilakukan simulasi, ternyata penempatan SVC pada bus 8

(Gumawang) mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan penempatan SVC pada bus 7 (Manggala). Walaupun terdapat kenaikan ataupun penurunan profil tegangan pada bus lain, hal ini masih dalam batas yang diizinkan.

B. Saran

Dari hasil penelitian dan simulasi yang telah dilakukan maka disarankan:

1. Menggunakan Metode yang lain seperti algoritma genetika, PSO, Artificial Bee Colony (ABC) untuk mencari lokasi optimal SVC.
2. Perlu dilakukannya Penelitian mengenai Penempatan SVC yang lebih dari 1 unit pada saluran transmisi.
3. Pada penelitian fokus kepada profil tegangan , maka diperlukan simulasi lain.
4. Melakukan penelitian dengan SVC model *firing angle*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saadat, Hadi. *Power System Analysis*. Milwaukee: Mc Grow Hill. New York, United States Of America. 1999.
- [2] Enrique Acha, Claudio R. Fuerte-Esquivel, Hugo Ambriz-Pérez, César Angeles-Camacho. *FACTS Modelling and Simulation in Power Networks*. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [3] PT.PLN PERSERO. *Buku Pedoman Pemeliharaan Kompensasi Daya Reaktif Statik (SVC)*. PT.PLN PERSERO. Jakarta Selatan. 2010
- [4] Stevenson, William D., and John J. Grainger. *Power System Analysis*. Singapore: Mc Grow Hill. 1994.
- [5] <http://www.pln.co.id/lampung/?p=62> diakses pada 26 Desember 2015
- [6] Othman, Ahmed, Mohamed. *Enhancing the Performance of Flexible AC Transmission Systems*. Aalto University publication series. Helsinki, Finland. 2011.
- [7] Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal. *Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

- [8] Marsudi, Ditjeng. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta. Graha Ilmu. 2006.
- [9] Ananta Haili, Eizi. *Optimasi Aliran Daya Menggunakan UPFC Pada Sistem Transmisi 150 KV wilayah Lampung*. Jurnal. UNILA. 2013.
- [10] Alexander Barus, Jimmy. *Penentuan Lokasi Dan Parameter Unified Power Flow Controller (UPFC) Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Meningkatkan Keamanan Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan Transmisi Lampung*. Jurnal. UNILA. 2016.
- [11] Titin T, Ricky. *Studi Pengendalian Tegangan Sistem Tenaga Listrik Wilayah Sulawesi Selatan Dengan Menggunakan Static Var Compensator (SVC)*. Universitas Hasanuddin. 2013.
- [12] Anwar, Syarifil. *Optimisasi Penempatan SVC untuk Memperbaiki Profil Tegangan dengan Menggunakan Algoritma Genetika*. Universitas Brawijaya. 2012.
- [13] Hirdesh Chaturvedi, Paramjeet Kaur. *Power Quality Enhancement using Different “FACTS” Devices*. International Journal of Engineering Research and Development Vol. 10, pp. 51-57. 2014
- [14] Abdillah, Muhammad ,Juningtijastuti1. *Optimal Sizing of Static Var Compensators (SVCs) for Reducing Power Losses in 500 kV JAMALI Grid Power System*. Bacteria Foraging Algorithm (BFA). ITS Surabaya.2009.

[15] Surya, Priya. *Optimisasi Kapasitas dan Posisi SVC Pada Sistem 6 Bus Dengan Metode Artificial Bee Colony Algorithm*. Institut Teknologi Bandung. 2015.