

**ANALISIS PERBAIKAN KESTABILAN TEGANGAN
MENGUNAKAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)*
PADA SISTEM TRANSMISI 70kV - 150kV
APP MALANG**

SKRIPSI



Disusun Oleh :
Rama Putra
NIM: 1112020

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PERBAIKAN KESTABILAN TEGANGAN MENGGUNAKAN
STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) PADA SISTEM TRANSMISI 70 kV -150 kV
APP MALANG**

SKRIPSI

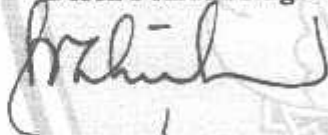
*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh :

**Rama Putra
NIM.1112020**

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE.
NIP.Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II



Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
NIP. P. 1031400472

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



M.Ibrahim Ashari, ST, MT.
NIP.P. 1030100358

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2015

ABSTRAK

ANALISIS PERBAIKAN KESTABILAN TEGANGAN MENGGUNAKAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)* PADA SISTEM TRANSMISI 70 kV-150 kV APP MALANG

Rama Putra (1112020)

Dosen pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE dan
Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT

Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Device adalah peralatan yang dapat meningkatkan kapasitas sistem transmisi dan mengontrol aliran daya secara *flexible*. Penelitian ini menggunakan salah satu peralatan *FACTS Device* yaitu *Static Var Compensator (SVC)* yang disimulasikan dengan *software Electrical Transient Analysis Program (ETAP)*. *SVC* berfungsi untuk meningkatkan kestabilan tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya dengan cara mengontrol daya reaktif sehingga dapat memaksimalkan kapasitas penyaluran daya pada sistem transmisi. Perbaikan tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya tersebut dapat dicapai dengan penempatan dan penentuan kapasitas optimal *SVC* dengan menerapkan metode *algoritma genetika (GA)* yang terintegrasi dengan fasilitas *optimal capacitor placement (OCP)* yang dimiliki oleh *software ETAP*. Sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang digunakan untuk simulasi dalam penelitian ini. Berdasarkan analisis, didapatkan bahwa dengan penempatan dan kapasitas optimal *SVC* pada bus GI Turen 70 kV APP Malang dapat meningkatkan kestabilan tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu 0,95 pu. sampai 1,05 pu yaitu pada bus GI Turen dari 0,9356 pu (65.49 kV) menjadi 0,9596 pu (67.17 kV), GI Gampingan dari 0,9354 pu (65.47 kV) menjadi 0,9613 pu (67.29 kV), GI Sengguruh dari 0,9359 pu (66.51kV) menjadi 0,9614 pu (67.29 kV), GI Karangates dari 0,9356 pu (65.49 kV) menjadi 0,9611 pu (67.27 kV) dan dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi dari 9,250 MW dan 53.34 Mvar menjadi 8.123 MW dan 51.85 Mvar.

Kata kunci : *FACTS Device, SVC, OCP, Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang, ETAP.*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul "**Analisis Perbaikan Kestabilan Tegangan Menggunakan *Static Var Compensator (SVC)* pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang**".

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Dengan selesainya laporan skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang,
2. Ir. H. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang,
3. M. Ibrahim Ashari, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang,
4. Prof. Dr. Eng. Ir Abraham Lomi, MSEE selaku Dosen Pembimbing I,
5. Lauhil Mahfidz Hayusman, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II,
6. Kedua orang tua dan teman-teman yang turut memberi dukungan terhadap penyelesaian laporan skripsi.

Penulis menyadari bahwa masih banyaknya kekurangan yang terdapat pada laporan skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan laporan skripsi dimasa mendatang.

Malang, 02 Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| LEMBAR PERSETUJUAN | i |
| ABTRAK | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah | 3 |
| 1.5. Sistematika Penulisan..... | 3 |
| | |
| BAB II TINJAUAN UMUM | |
| 2.1. Stabilitas Tegangan | 4 |
| 2.2. <i>Static Var Compensator (SVC)</i> | 5 |
| 2.3. Pemodelan Saluran Transmisi..... | 10 |
| 2.4. Aliran Daya (Load Flow)..... | 12 |
| 2.5. Strategi Penempatan dan Kapasitas Optimal..... | 13 |
| 2.6. Algoritma Genetika | 14 |
| | |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian | 17 |
| 3.2. Alat dan Bahan Yang Digunakan..... | 17 |
| 3.3. Alur Penelitian | 17 |
| | |
| BAB IV ANALISIS HASIL | |
| 4.1. Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang | 20 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Analisis Kestabilan Tegangan dan Rugi-rugi Daya Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang kondisi <i>Base Case</i> dan <i>Real Case</i> | 25 |
| 4.3. Analisis Penempatan dan Kapasitas Optimal SVC pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang | 29 |
| 4.4. Analisis Perbandingan Tegangan dan Rugi-rugi Daya Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang Setelah Pemasangan SVC Pada Kondisi <i>Base Case</i> | 30 |
| 4.5. Analisis Perbandingan Tegangan dan Rugi-rugi Daya Pada Sistem APP Malang 70 kV-150 kV Setelah Pemasangan SVC Pada Kondisi <i>Real Case</i> | 35 |
| 4.6. Analisis Perbandingan Kestabilan Tegangan Dengan Pemasangan SVC Pada <i>Real Case</i> dan <i>Base Case</i> Sistem Transmisi 70 kV - 150 kV APP Malang..... | 40 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1. Kesimpulan | 45 |
| 5.2. Saran | 46 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 2.1. | Diagram konfigurasi <i>SVC</i> | 5 |
| Gambar 2.2. | <i>SVC</i> menggunakan <i>TCR</i> dan <i>FC</i> | 9 |
| Gambar 2.3. | <i>SVC</i> menggunakan <i>TCR</i> dan <i>TSC</i> | 9 |
| Gambar 2.4. | <i>SVC</i> menggunakan <i>Self-Commutated Inverter</i> | 10 |
| Gambar 2.5. | Rangkaian Ekuivalen saluran Transmisi | 12 |
| Gambar 2.6. | Pengkodean dalam <i>Genetic Algorithm</i> | 14 |
| Gambar 2.7. | Proses mutasi pada algoritma genetika..... | 16 |
| Gambar 3.1. | <i>Flowchart</i> alur penelitian | 18 |
| Gambar 4.1. | Single line sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang | 23 |
| Gambar 4.2. | Simulasi <i>Single Line</i> Sistem 70 kV-150 kV APP Malang..... | 24 |
| Gambar 4.3. | Pemasangan <i>SVC</i> pada Bus GI Gampingan..... | 30 |
| Gambar 4.4. | Perbandingan Kestabilan Tegangan Dalam Kondisi <i>Base Case</i> dan Pemasangan <i>SVC</i> Pada Sistem 70 kV -150 kV APP Malang | 32 |
| Gambar 4.5. | Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan <i>SVC</i> pada sistem 70 kV-150 kV APP Malang | 34 |
| Gambar 4.6. | Pemasangan <i>SVC</i> Pada Bus GI Turen | 35 |
| Gambar 4.7. | Perbandingan kestabilan tegangan dalam kondisi <i>real case</i> setelah pemasangan <i>SVC</i> pada sistem 70-150 kV APP Malang..... | 37 |
| Gambar 4.8. | Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif (MW) Dalam Kondisi <i>Real Case</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>SVC</i> Pada Sistem 70-150 kV APP Malang..... | 39 |
| Gambar 4.9. | Pemasangan <i>SVC</i> pada Bus GI Gampingan dan GI Turen | 40 |
| Gambar 4.10. | Perbandingan Kestabilan Tegangan Dalam Kondisi <i>Real Case</i> dan Pemasangan <i>SVC</i> Pada Sistem 70-150 kV APP Malang | 42 |
| Gambar 4.11. | Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif (MW) Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>SVC</i> Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang | 44 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabel 4.1. | Data pembangkit sistem APP Malang..... | 20 |
| Tabel 4.2. | Data saluran sistem APP Malang..... | 21 |
| Tabel 4.3. | Data Kapasitor Sistem APP Malang | 21 |
| Tabel 4.4. | Data Trafo Sistem APP Malang..... | 22 |
| Tabel 4.5. | Kestabilan tegangan kondisi <i>base case</i> | 25 |
| Tabel 4.6. | Hasil Rugi-Rugi Daya Kondisi <i>Base Case</i> | 26 |
| Tabel 4.7. | Kestabilan tegangan kondisi <i>real case</i> | 27 |
| Tabel 4.8. | Hasil rugi-rugi daya kondisi <i>real case</i> | 28 |
| Tabel 4.9. | Penentuan Penempatan dan Kapasitas SVC Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang..... | 29 |
| Tabel 4.10. | Perbandingan kestabilan tegangan dalam kondisi <i>base case</i> dan setelah pemasangan SVC pada sistem 70-150 kV APP Malang..... | 31 |
| Tabel 4.11. | Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif (MW) Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>SVC</i> | 33 |
| Tabel 4.12. | Perbandingan Kestabilan Tegangan Setelah Pemasangan <i>SVC</i> Pada Kondisi <i>Real Case</i> | 36 |
| Tabel 4.13. | Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan <i>SVC</i> | 38 |
| Tabel 4.14. | Perbandingan Perbaikan Tegangan Dalam Kondisi <i>Real Case</i> dan Setelah Pemasangan <i>SVC</i> Pada Sistem 70-150 kV APP Malang | 48 |
| Tabel 4.15. | Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan <i>SVC</i> | 50 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan beban yang semakin meningkat, pengiriman daya listrik semakin jauh dari pusat beban dan besarnya rugi-rugi daya pada sistem transmisi, mengakibatkan kemampuan sistem untuk menjaga besarnya nilai tegangan pada batas kestabilannya yaitu $\pm 5\%$ menjadi semakin sulit merupakan permasalahan utama sistem transmisi. Untuk mengatasi masalah tersebut maka pada titik-titik beban dipasang reaktor untuk mengurangi kelebihan daya reaktif pada kondisi beban rendah dan kapasitor daya sebagai sumber daya reaktif lokal guna mengimbangi kenaikan beban pada kondisi beban tinggi sehingga kestabilan tegangan tetap terjaga dan rugi-rugi daya dapat berkurang. Namun dalam sistem transmisi, perubahan beban ini berlangsung selama 24 jam sehingga perlu dilakukan pemasukan dan pengeluaran reaktor dan kapasitor silih berganti dalam 24 jam. Secara operasional hal ini merepotkan dan orang cenderung untuk dapat melakukannya secara otomatis.^[1]

Seiring berkembangnya zaman, muncul suatu alternatif untuk mengatasi permasalahan diatas , yaitu dengan menggunakan *Static Var Compensator* (SVC).

Static Var Compensator atau disebut SVC adalah salah satu peralatan FACTS Device (*Flexible AC Transmission System*) yang terdiri dari komponen reaktor untuk kompensasi daya reaktif yang bersifat induktif dan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, serta dilengkapi peralatan elektronika daya sebagai saklar (*device switching*) yang diatur saatnya membuka dan menutup yaitu diatur sudut penyalanya melalui tegangan kisinya.

Di Indonesia, *SVC* yang sudah terinstalasi berada di GI Jember. Berdasarkan standart PLN, nilai tegangan yang diizinkan pada suatu sistem tenaga listrik berkisar antara 0,95 pu sampai 1,05 pu dari tegangan nominalnya. *SVC* dapat mempertahankan kualitas tegangan tetap konstan pada nilai nominalnya dengan cara menginjeksikan daya reaktif yang dapat dikontrol kedalam sistem. Pemasangan *SVC* pada satu titik atau beberapa tempat dapat memperbaiki tegangan dan mengurangi

rugi - rugi daya (*losses*) pada sistem tenaga listrik. Penentuan tempat dan kapasitas SVC ini didapatkan dari hasil perhitungan fasilitas *Optimal Capacitor placement* atau *OCP* yang ada pada *software Electrical Transient Analisis Program (ETAP)*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana kestabilan tegangan pada sistem APP Malang
- b. Bagaimana menentukan letak dan kapasitas *SVC*.
- c. Bagaimana kestabilan tegangan setelah pemasangan *SVC*

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah :

- a. Melakukan evaluasi kestabilan tegangan pada sistem APP Malang
- b. Menentukan letak dan kapasitas *SVC*
- c. Melakukan evaluasi kestabilan tegangan setelah pemasangan *SVC*

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini:

- a. Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan *software ETAP 12.0 Power Station*
 - b. Studi dilakukan pada PT. PLN Persero APP Malang.
 - c. Penelitian difokuskan pada sistem transmisi 70 kV –150 kV APP Malang.
 - d. Perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson.
 - e. Metode yang digunakan untuk menentukan kapasitas dan letak *SVC* adalah dengan menggunakan metode Algoritma Genetika pada fasilitas *OCP*.
 - f. Tidak membahas faktor biaya.
-

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1. Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan adalah kemampuan sistem untuk dapat menjaga tegangan pada semua bus tetap dalam batas oprasi yang ditentukan yakni $\pm 5\%$ setelah mengalami gangguan. Sedangkan ketidakstabilan tegangan adalah kegagalan kemampuan sistem untuk dapat menjaga tegangan pada semua bus tetap dalam batas oprasi yang ditentukan yakni $\pm 5\%$ setelah mengalami gangguan^[2].

a. *Undervoltage*

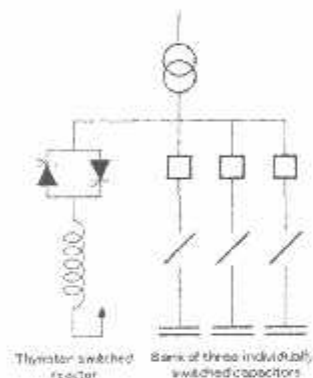
Undervoltage adalah suatu gejala penurunan tegangan rms kurang dari 90 % dari nilai tegangan nominal pada frekuensi daya untuk durasi lebih dari 1 menit. Sebuah operasi pensaklaran beban atau atau memutuskan bank kapasitor dapat menyebabkan *undervoltage*, sampai keadaan di mana peralatan pengaturan tegangan pada sistem tegangan tersebut dapat membawa kembali pada toleransi nilai tegangan yang standar. Keadaan *overload* atau beban lebih pada rangkaian dapat mengakibatkan penurunan tegangan atau *undervoltages*.

b. *Overvoltage*

Overvoltage atau tegangan lebih adalah suatu gejala peningkatan nilai tegangan rms bolak-balik sebesar lebih dari 110 % pada frekuensi daya untuk waktu lebih dari 1 menit. *Overvoltages* biasanya akibat operasi pensaklaran beban (misalnya, switching dari sebuah beban besar atau kapasitor bank). *Overvoltage* dapat dihasilkan oleh terlalu lemahnya pengaturan tegangan yang dikehendaki terhadap sistem tenaga listrik tersebut atau kendali terhadap tegangan tidak memadai. Kesalahan pengaturan pada tap transformner juga dapat mengakibatkan tegangan lebih atau *overvoltages* pada sistem tenaga listrik^[3].

2.2. Static Var Compensator (SVC)

Static Var Compensator atau disebut *SVC* adalah salah satu peralatan FACTS Device (*Flexible AC Transmission System*) yang terdiri dari komponen reaktor untuk kompensasi daya reaktif yang bersifat induktif dan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, serta dilengkapi peralatan elektronika daya sebagai *device switching*. Secara garis besar fungsi dari *SVC* yaitu mempertahankan stabilitas tegangan tetap konstan pada nilai nominalnya, yaitu jika sistem beban reaktif kapasitif (*leading*), *SVC* akan menaikkan daya reaktor untuk mengurangi VAR dari sistem sehingga tegangan sistem turun. Pada kondisi reaktif induktif (*lagging*), *SVC* akan mengurangi daya reaktor untuk menaikkan VAR dari sistem sehingga tegangan sistem akan naik^[8].



Gambar 2.1. Diagram konfigurasi *SVC* ^[7]

Gambar diatas merupakan diagram konfigurasi *SVC*, dimana *thyristor* berfungsi sebagai *switching* atau saklar pada komponen reaktor dan kapasitor sesuai yang diperlukan pada tegangan, jika tegangan turun maka *thyristor* akan menutup ke kapasitor sehingga kapasitor yang berkerja dan jika tegangan berlebih maka *thyristor* akan menutup ke reaktor sehingga reaktor yang berkerja.

a. Fungsi *SVC*

SVC berfungsi memberikan supply daya reaktif yang diperlukan dari sistem sehingga besar tegangan pada gardu induk dapat dipertahankan sesuai dengan standar yang diizinkan. Kestabilan tegangan pada gardu induk akan meningkatkan kualitas tegangan yang sampai ke konsumen, mengurangi losses (rugi-rugi daya) dan juga dapat meningkatkan kemampuan penghantar untuk mengalirkan arus.

Secara lebih rinci fungsi SVC (*Static Var Compensator*) adalah :

- a. Meningkatkan kapasitas sistem transmisi dan distribusi.
- b. Kontrol tegangan
- c. Reaktif control power / reaktif kontrol aliran daya
- d. Penurunan dan pembatasan frekuensi *overvoltage power* disebabkan *load rejection*.
- e. Memperbaiki stabilitas jaringan AC
- f. Mencegah terjadinya ketidakstabilan tegangan.

SVC yang berada di gardu induk terdiri dari empat bank *fixed capacitor* perfasa yang dipararel dengan sebuah reaktor utama yang dikendalikan oleh *thyristor*. Pada SVC tersebut juga terpasang tiga buah reaktor yang dipasang secara seri dengan kapasitor bank yang berfungsi sebagai filter harmonik.

Jenis reaktor yang terpasang adalah air core dan jenis kapasitor yang terpasang adalah jenis elektrolit. Pengaturan daya reaktif dilakukan dengan mengontrol besarnya MVAR pada reaktor melalui pengaturan sudut penyulutan pada *thyristor*. Besarnya sudut penyulutan ini tergantung dari variasi tegangan pada gardu induk dengan kata lain semakin besar MVAR reaktif yang dibutuhkan maka sudut penyulutan akan semakin kecil. Karena kontrol sudut penyulutan ini dilakukan secara elektronik maka pengaturan tegangan dapat dilakukan secara lebih halus dan cepat.

b. Prinsip Kerja SVC

Prinsip kerja dari *Static Var Compensator* (SVC) adalah dengan mengatur sudut penyulutan *thyristor*. Sudut pelayanan *thyristor* akan mengatur keluaran daya reaktif dari *Static Var Compensator* (SVC). Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali yang kemudian akan mengatur sudut pelayanan *thyristor*, dengan demikian SVC akan memberikan kompensasi daya reaktif yang sesuai dengan kebutuhan beban. SVC adalah pembangkit/beban VAR statis yang tersambung paralel dimana outputnya diatur untuk pertukaran arus induktif atau kapasitif dengan tujuan untuk menjaga atau mengontrol sistem daya yang dapat divariasi. TCR (*Thyristor Controlled Reactor*) pada frekuensi fundamental dapat diperlakukan sebagaimana induktansi variabel^[7]

$$X_V = X_L \frac{\pi}{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : X_V = reaktansi variabel *SVC*

X_L = reaktansi yang disebabkan oleh frekuensi fundamental tanpa kontrol
thyristor

α = sudut penyulutan

Sehingga impedansi ekivalen total dari kontroler dapat dinyatakan dalam :

$$X_e = X_c \frac{\pi/rx}{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi \left(2 - \frac{1}{rx}\right)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana rx = batas kontroler diberikan oleh batas sudut penyulutan yang bernilai tetap sesuai dengan desain.

X_e = impedansi ekivalen total dari kontroler

X_c = impedansi kapasitor

Hukum kontrol *steady state* tipikal *SVC* adalah :

$$V = V_{ref} + V_{SL} I \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana V = magnitudo tegangan

I = arus rms

V_{ref} = tegangan referensi.

Nilai tipikal untuk slope X_{SL} adalah 2 s.d 5%, terhadap basis *SVC*; nilai tersebut diperlukan untuk menghindari melewati batas dari variasi tegangan bus yang kecil. Nilai tipikal kisaran tegangan yang dikontrol $\pm 5\%$ dari V_{ref} . Pada batas kapasitif, *SVC* menjadi kapasitor shunt. Pada batas induktif, *SVC* menjadi reaktor shunt (arus atau daya reaktif juga bisa dibatasi). Parameter *SVC* harus ditentukan

dengan persyaratan kompensasi dengan kapasitas *SVC* dan tegangan bus, nilai dari kapasitansi dan induktansi *TCR* adalah

$$X_c = \frac{V_{bus}^2}{Q_{SVC}} \text{ dan } X_L = \frac{X_c}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana X_c = impedansi kapasitor

V_{bus}^2 = tegangan bus

Q_{SVC} = daya reaktif *SVC*

X_L = reaktansi yang disebabkan oleh frekuensi fundamental tanpa kontrol *thyristor*

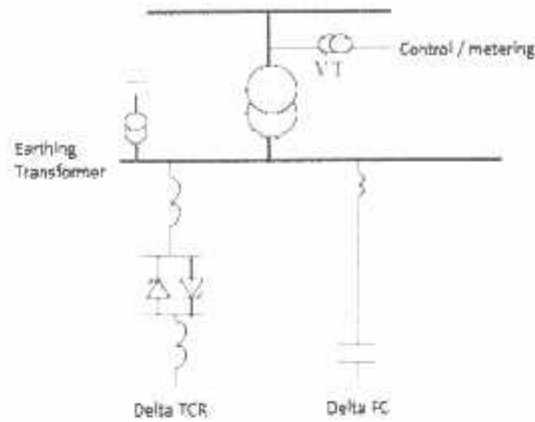
X_e = impedansi ekivalen total dari kontroler

c. Jenis *SVC* Berdasarkan Kontrolnya

Secara umum jenis *SVC* yang digunakan berdasarkan kontrolnya terbagi menjadi tiga, yaitu :

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

Fixed Capacitor bank terhubung ke sistem melalui *step down transformer*. Rating pada reaktor dipilih yang lebih besar ratingnya dari kapasitor dengan jumlah yang diberikan maksimum *lagging vars* yang akan diserap dari sistem. Dengan mengubah *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.

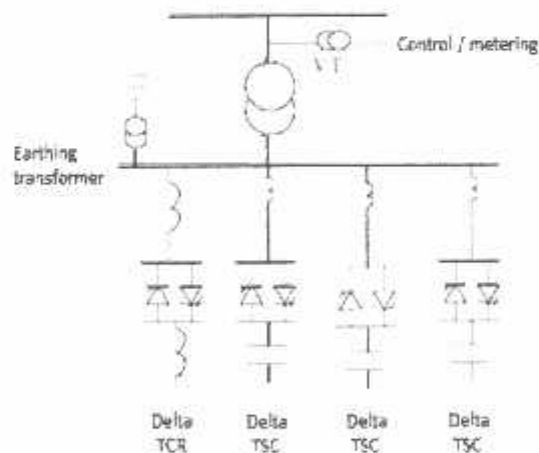


Gambar 2.2. SVC menggunakan TCR dan FC

Gambar diatas adalah konfigurasi SVC menggunakan TCR dan FC yang ditambah dengan rangkaian delta yang difungsikan lebih banyak untuk mengurangi daya reaktif yang lebih besar

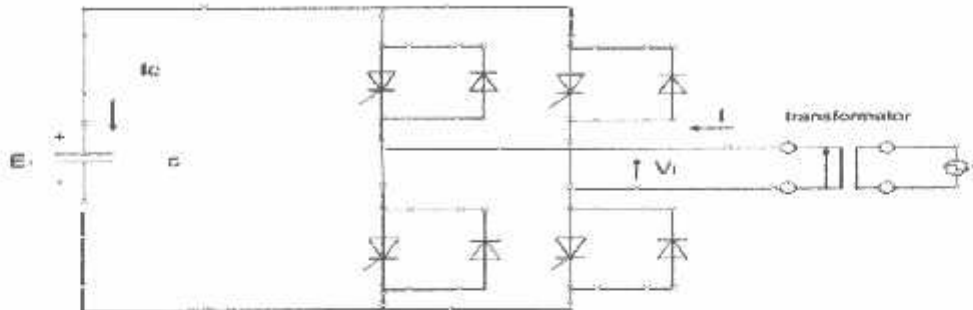
2. SVC menggunakan TCR dan Thyristor Switched Capacitor (TSC)

Kompensator jenis ini berguna untuk mengurangi losses pada kondisi beroperasi dan menjaga kinerja agar lebih baik saat gangguan sistem yang besar. Pada gambar 2.3 menunjukkan pengaturan dari SVC dari satu TCR yang diparalel dengan beberapa bank TSC sehingga akan mengurangi harmonik yang dihasilkan reaktor.



Gambar 2.3 SVC menggunakan TCR dan TSC

SVC ini terdiri dari satu inverter (sumber konverter tegangan dc misalnya *VSC*) menggunakan *gate turn-off (GTO) thyristor*. Untuk inverter ini, sumber dc dapat berupa baterai atau kapasitor yang tegangan terminalnya dapat ditinggikan atau diturunkan oleh pengontrol inverter.



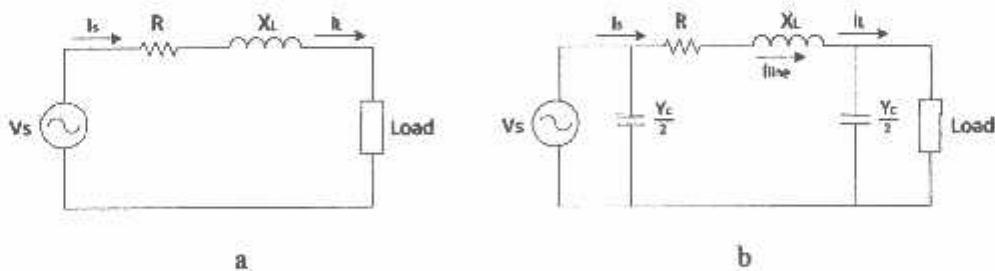
Gambar 2.4. *SVC* yang menggunakan *Self-Commutated Inverters*

Inverter ini dihubungkan ke sistem *supply* melalui reaktansi secara bergantian dan output trafo. Ketiga tegangan inverter V_1 sama dengan tegangan sistem, *SVC* akan *floating*. Ketika V_1 lebih besar dari tegangan sistem, *SVC* akan bertindak sebagai kapasitor, dan jika V_1 kurang dari tegangan sistem, *SVC* akan bertindak sebagai induktor. Dengan menggunakan beberapa inverter dengan sudut fasa berbeda operasi yang diinginkan dapat dicapai.

2.3. Pemodelan Saluran Transmisi

Saluran transmisi di representasikan sesuai dengan kelas transmisi. Representasi saluran transmisi berdasarkan jarak terbagi atas 3 bagian, yaitu :

1. Transmisi pendek ($l < 80$ km / 50 mil)
2. Transmisi menengah (80 km / 50 mil $< l < 240$ km / 150 mil)
3. Transmisi panjang ($l > 240$ km / 150 mil)



Gambar 2.5

- (a) adalah rangkaian ekuivalen saluran transmisi pendek
 (b) adalah rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah dan panjang.

Pada saluran transmisi pendek, memiliki panjang saluran kurang dari 80 km (50 mil) yang diasumsikan bahwa nilai kapasitansi dapat diabaikan dan hanya memperhitungkan nilai resistansi (R) dan reaktansi induktif (X_L). Dengan diasumsikan dalam kondisi yang seimbang (*balanced*), saluran transmisi dapat ditunjukkan dengan menggunakan rangkaian ekuivalen satu fasa dengan nilai resistansi (R) dan reaktansi induktif (X_L) yang dihubungkan seri (*series impedance*)^{[11][12]}, yang mana dapat dilihat pada gambar 2.5.(a) Sedangkan pada saluran transmisi menengah, saluran transmisi memiliki panjang antara 80 km (50 mil) dan 240 km (150 mil). Pada saluran transmisi menengah, nilai kapasitansi penghantar tidak dapat diabaikan sehingga penghantar dapat dimodelkan dengan menggunakan rangkaian ekuivalen satu fasa dalam bentuk nominal π yang dapat dilihat pada gambar 2.5.(b) Namun untuk saluran transmisi panjang, nilai kapasitansi dan impedansi penghantar diasumsikan terdapat pada sepanjang penghantar hingga batas yang tak terhingga^[5].

a. Rugi-rugi Pada Saluran Transmisi

Dalam proses transmisi tenaga listrik sering kali mengalami rugi-rugi pada sistem tenaga listrik yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi ini memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya serta tegangan yang dikirim kepada sisi beban (konsumen). Nilai tegangan yang melebihi batas toleransi dapat menyebabkan tidak optimalnya kerja dari peralatan disisi konsumen^[4]. Secara umum besar rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$P_{Loss} = \sqrt{3} \times I^2 R \dots\dots\dots (2.5)$$

- Dimana : P_{Loss} = rugi-rugi pada saluran (Watt)
 R = resistansi saluran per fasa (Ohm)
 I = arus yang mengalir per fasa (Ampere)

$$V_{Loss} = \sqrt{3} \times L \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

- Dimana :
- V_{Loss} = rugi-rugi pada saluran (Volt)
 - L = panjang rute saluran (km)
 - I = arus yang mengalir per fasa (Ampere)

2.4. Aliran Daya (*Load Flow*)

Aliran daya atau disebut *load flow* merupakan studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak (*steady state*). Studi aliran daya juga memberikan informasi guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkit maupun pembebanan. Didalam menganalisis juga memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat (*critical*)⁽⁴⁾.

Studi aliran daya merupakan studi yang paling penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik serta menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada. Studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem dimasa-masa yang akan datang. Karena seiring dengan bertambahnya konsumen akan kebutuhan tenaga listrik, maka akan selalu terjadi perubahan beban, perubahan unit-unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi. Didalam studi aliran daya, bus-bus terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi, *Voltage controller bus* atau bus generator (PV), dan *Load bus* atau bus beban (PQ), yang mana dapat didefinisikan sebagai berikut

- *Slack bus* (Bus referensi)

Pada bus ini, rating tegangan $|v|$ dan sudut fasa tegangan δ sudah ditentukan besarnya sementara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) didapatkan dari perhitungan. Biasanya nilai $|v|$ adalah 1 pu, sedangkan sudut fasa tegangan bernilai nol, karena fasor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi.

- *Voltage controller bus* (Bus generator)

Pada bus ini hanya terdapat daya pembangkit dimana $|v|$ diatur menggunakan regulator tegangan (AVR) dan P diatur dengan govenor.

Sehingga untuk bus ini P dan $|v|$ diketahui. Sementara daya reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) didapatkan dari hasil perhitungan.

- *Load bus* (Bus beban)

Pada bus ini hanya terdapat kebutuhan daya untuk memenuhi kebutuhan beban yang mana daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sudah diketahui, sementara nilai tegangan $|v|$ dan sudut fasa (δ) berubah-ubah menurut kebutuhan beban. Oleh karena itu, nilai tegangan $|v|$ dan sudut fasa (δ) harus ditentukan berdasarkan hasil perhitungan.

2.5. Strategi Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal SVC

Tujuan dari permasalahan penempatan Static Var Compensator adalah untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi total rugi-rugi daya pada sistem tenaga yang terpasang maka digunakanlah *tool optimal capacitor Placement (OCP)*. Tool ini didapatkan dari dua istilah. Yang pertama adalah penempatan SVC dan yang kedua adalah total rugi-rugi daya^[6]. Secara umum permasalahan penempatan dan kapasitas optimal kapasitor dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\min = P_{Loss} + \sum_{j=1}^J Q_j^c \dots\dots\dots (2.7)$$

Subject to :

$$V_{min} \leq |V_j| \leq V_{max} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Q_j^c \leq Q_{max}^c \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

P_{Loss} = Total rugi-rugi daya

J = Jumlah Bus

Q_j^c = Penempatan kapasitas kapasitor pada bus j

V_j = Tegangan rms pada bus j

V_{min} = Tegangan minimum yang diizinkan (p.u.)

V_{max} = Tegangan maksimum yang diizinkan (p.u.)

Q_{max}^c = Kapasitas maksimum kapasitor yang diizinkan

Q_0^c = Kapasitas minimum kapasitor bank

2.6. Algoritma Genetika (GA)

Genetik Algorithm (GA) merupakan metode adiptif yang diaplikasikan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Pada penulisan skripsi ini hanya difokuskan pada mencari solusi optimal saja^[8]. *GA* sangat berguna dan efisien untuk masalah dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Ruang masalah sangat besar, kompleks dan sulit dipahami.
2. Tidak ada pengetahuan yang menandai untuk mempresentasikan masalah kedalam ruang pencarian yang lebih sempit.
3. Tidak tersedianya analisis matematika yang memadai.
4. Metode-metode konvensional sudah tidak mampu lagi untuk menyelesaikannya.

Dalam metode *genetic algorithm*, ada sekumpulan individu (populasi) untuk suatu permasalahan, dalam hal ini dapat diperhitungkan aliran daya dinyatakan dalam bentuk bilangan real yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom.

Populasi dibentuk dari pembangkitan secara acak dan selanjutnya dipilih melalui prosedur operasi genetika yang terdiri dari seleksi *crossover*, dan mutasi. Hasil dari mutasi dievaluasi menggunakan fungsi *fitness* untuk menentukan kromosom mana yang terpilih dilakukan proses perulangan sehingga mencapai nilai tertentu pada suatu kriteria berhenti yang telah ditetapkan sebelumnya (dapat berupa suatu nilai tertentu pada generasi tertentu).

a. Pengkodean

Pada proses *Genetic Algorithm* mengasumsikan sebuah populasi untuk sebuah persoalan dimungkinkan dengan mewakili satu set parameter. Parameter-parameter ini dinamakan gen nilai-nilai (*representasi*) yang bersatu membentuk string (kromosom). Selanjutnya beberapa kromosom sejenis berkumpul membentuk populasi. Dari sebuah populasi tersebut, *genetic algorithm* mulai melakukan pencarian. Ilustrasi pengkodean dapat dilihat pada gambar berikut :

| | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kromoson | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | a. Pengkodean biner | | | | | | | | |
| Kromoson | 1 | 2 | 5 | 6 | 3 | 8 | 4 | 9 | 7 |
| | b. Pengkodean permutasi | | | | | | | | |

Gambar 2.6 Pengkodean dalam *Genetic Algorithm*

Satu hal mendasar *Genetic Algorithm* bekerja pada daerah pengkodean dan solusi. Operasi genetika (pindah silang dan mutasi) bekerja pada daerah pengkodean, sedangkan proses evaluasi dan proses seleksi bekerja pada daerah solusi. Setiap konfigurasi yang memungkinkan (lokasi dan nilai) *SVC* mewakili suatu individu secara umum genetic algorithm dibentuk oleh serangkaian kromosom yang ditandai dengan X_i ($i = 1,2,3,\dots,N$). Setiap elemen dalam kromosom adalah variabel string disebut gen berisi allele. Variabel ini dinyatakan dalam bentuk bilangan biner, real atau abjad. Pengkodean string biner merupakan pendekatan klasik yang digunakan dalam penelitian *genetic algorithm* sederhana.

b. Nilai Fitnes

Nilai fitnes menyatakan seberapa baik nilai dari suatu individu atau solusi yang didapatkan. Didalam evolusi alam, individu yang bernilai fitness tinggi yang akan bertahan hidup. Sedangkan individu yang bernilai fitness rendah akan mati. Dalam masalah optimasi, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi h (dikenal dengan masalah maksimal), maka nilai fitness yang digunakan adalah nilai fungsi h tersebut, yakni $f=h$ (di mana f adalah nilai fitness). Tetapi jika masalahnya adalah meminimalkan fungsi h (masalah minimasi), maka fungsi h tidak bisa digunakan secara langsung dikarenakan adanya aturan bahwa individu yang bernilai fitness tinggi akan mampu bertahan hidup pada generasi berikutnya.

c. Reproduksi

Reproduksi adalah proses pemilihan individu untuk berpindah menuju generasi baru menurut nilai fitnesnya. Metode seleksi alam yang digunakan adalah *roulette wheel*. Sesuai dengan namanya, metode ini menirukan permainan *roulette-wheel* dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda roulette secara proporsional yang memiliki nilai fitnes yang lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai fitnes rendah. Untuk mencegah terjadinya konvergensi pada optimum lokal, maka dilakukan penskalaan fitnes, sehingga fitnes berada pada $[f_{\max}-f_{\min}]$ sebagai berikut :

$$f_i = \frac{1}{N} \left(\eta^+ - (\eta^+ - \eta^-) \times \frac{i-1}{N-1} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

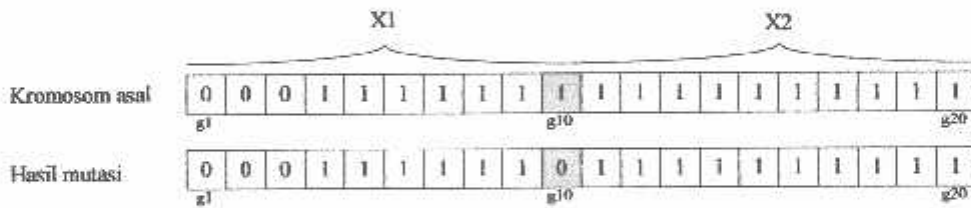
- Dimana : f_i = Nilai fitness individu ke-i
 N = Ukuran populasi
 η^+ = Nilai fitness maksimum
 η^- = Nilai fitness minimum

d. Crossover

Crossover (kawin silang) merupakan proses mengkombinasikan dua individu untuk memperoleh individu-individu baru yang diharapkan mempunyai fitness lebih baik. Titik crossover ditentukan secara random. Gen baru yang lebih panjang dipertahankan sebagai bagian dari individu baru, sedangkan sisanya dipertukarkan.

e. Mutasi

Mutasi dilakukan pada semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_{mut} yang ditentukan maka gen tersebut dirubah menjadi nilai kebalikannya (dalam *binary encoding*, 0 diubah menjadi 1, dan 1 menjadi 0).



Gambar 2.7 Proses mutasi pada algoritma genetika

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua tempat yaitu di Lab. Simulasi Sistem Tenaga Elektrik (SSTE) Jurusan Teknik Elektro ITN Malang dan di PT PLN Area Pemeliharaan Pusat (APP) Malang. Data yang diperlukan untuk mendukung analisis pada penelitian ini meliputi :

- Data *Single Line Diagram* 70 kV-150 kV APP Malang
- Data Pembangkit /Generator
- Data Transformator
- Data Saluran
- Data Beban
- Data Kapasitor

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian ini yaitu selama empat bulan, dari bulan Mei s/d bulan September 2015.

3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan

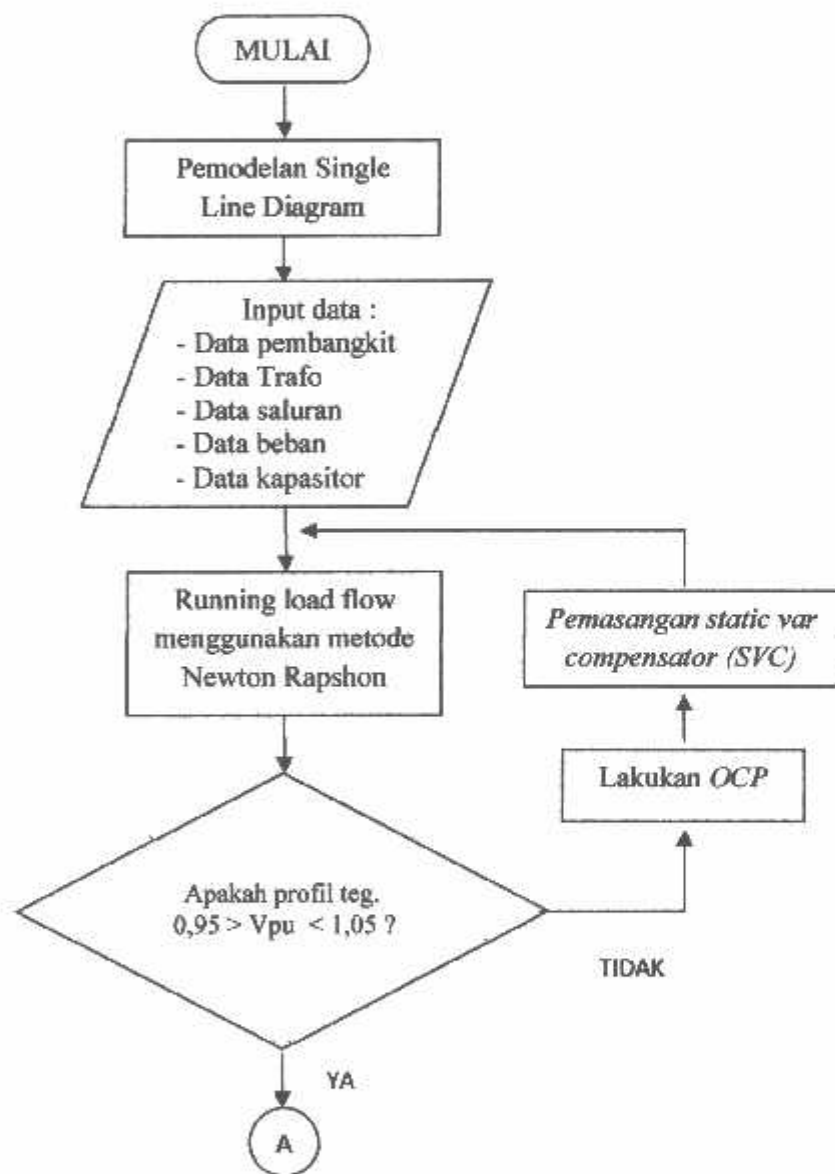
Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

- *Personal Computer*
- *Software ETAP Power Station* Versi 12.0

3.3. Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan *survey* data pada PT. PLN (Persero) APP Malang berupa data sistem transmisi 70 kV-150 kV. Selanjutnya pemodelan *Single Line Diagram* APP Malang menggunakan *software ETAP Power Station*. Dilanjutkan dengan melakukan input data pembangkit (*generator*), data *transformator*, data saluran, data beban dan data kapasitor. Lalu dilakukan menjalankan simulasi *load flow*/aliran daya yang berfungsi untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem pada APP Malang. Jika tegangan pada sistem APP Malang

sudah memenuhi batas yang tentukan yaitu $0.95 > V_{pu} < 1.05$, jika “YA” maka lakukan proses cetak hasil, jika “TIDAK” maka lakukan proses simulasi *Optimal Capacitor Placement (OCP)* yang bertujuan untuk menentukan letak dan kapasitas kapasitor yang kemudian nilai kapasitor digantikan oleh *SVC*, selanjutnya melaukan proses pemasangan *SVC*. Setelah proses *OCP* dan proses pemasangan *SVC* selesai, maka kembali pada proses *Load Flow* untuk menganalisis keadaan sistem setelah dipasang *SVC*. Setelah proses simulasi *Load Flow* selesai dan tegangan telah pada batasan yang ditentukan, kemudian proses cetak hasil simulasi ,alu membuat kesimpulan dan Selesai.



BAB IV ANALISIS HASIL

Simulasi ini membandingkan hasil dari pemasangan *SVC* pada sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang pada kondisi *base case* dan *real case*-nya serta membandingkan pemasangan *SVC* pada kedua tempat tersebut menggunakan *software ETAP*. Kondisi *base case* yaitu kondisi melepas semua sumber daya reaktif pada sistem, sedangkan kondisi *real case* yaitu dengan memasang semua sumber daya reaktif yang ada pada sistem. Lalu jika terjadi ketidakstabilan tegangan maka akan dilakukan pemasangan *SVC* pada kedua kondisi sistem tersebut, Selanjutnya dilakukan analisis bagaimana perbandingan pada sistem APP Malang sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan *SVC*, bagaimana *SVC* mampu memperbaiki kestabilan tegangan pada sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang. Data yang diambil untuk dianalisis adalah data hasil perhitungan *software ETAP power station*.

4.1. Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang

Berdasarkan hasil *survey* data yang bertempat di APP Malang, berikut adalah data yang sudah didapatkan:

Tabel 4.1. Data Pembangkit Sistem APP Malang

| Sub Sistem APP Malang | Kapasitas |
|-----------------------|-----------|
| | MVA |
| PLTA Medalan | 28.75 |
| PLTA Sengguruh | 32.4 |
| PLTA Solorejo | 5.6 |
| PLTA Sutami | 117 |
| PLTA Wlingi | 60 |
| PLTA Siman | 18.9 |

Sumber : (APP Malang,2015)

Tabel 4.2. Data Saluran Sistem APP Malang

| Dari Gardu Induk | Ke Gardu Induk | Sirkuit | Jarak (Km) | Jenis Konduktor |
|------------------|----------------|---------|------------|-----------------|
| Wlingi | Sutami | 1 | 23.6 | ACSR HAWK |
| Sutami | Kebonagung | 1 | 28 | ACSR AW |
| Kebonagung | Sengkaling | 1 | 15 | ACSR HAWK |
| Sengkaling | Solorejo | 1 | 29.6 | ACSR PIGEON |
| Kebonagung | Lawang | 1 | 25.8 | ACSR AW |
| Lawang | Balekandang | 1 | 20.9 | ACSR AW |
| Balekandang | Bangil | 1 | 27.7 | ACSR AW |
| Lawang | Bangil | 2 | 34 | ACSR AW |
| Bangil | Sukorejo | 1 | 20 | ACSR PIGEON |
| Sukorejo | Blimbing | 1 | 20 | ACSR PIGEON |
| Bangil | Blimbing | 2 | 40 | ACSR PIGEON |
| Blimbing | Polehan | 1 | 12.2 | ACSR PIGEON |
| Polehan | Kebonagung | 1 | 11,4 | ACSR OSTRICH |
| Sengkaling | Blimbing | 2 | 8.6 | ACSR PIGEON |
| Kebonagung | Turen | 1 | 20.3 | TACSR |
| Turen | Gampingan | 1 | 27.1 | TACSR |
| Gampingan | Sengguruh | 2 | 1.3 | TACSR |
| Sengguruh | Karangates | 1 | 12.7 | ACSR PIGEON |
| Kebonagung | Sengguruh | 2 | 25.6 | TACSR |
| Pakis | Kebonagung | 1 | 12.9 | ASCR ZEBRA |

Sumber : (APP Malang,2015)

Tabel 4.3. Data Kapasitor Sistem APP Malang

| NO | Gardu Induk | Kapasitas (Mvar) |
|----|-------------|------------------|
| 1 | Kebonagung | 50 |
| 2 | Lawang | 25 |
| 3 | Sengkaling | 25 |

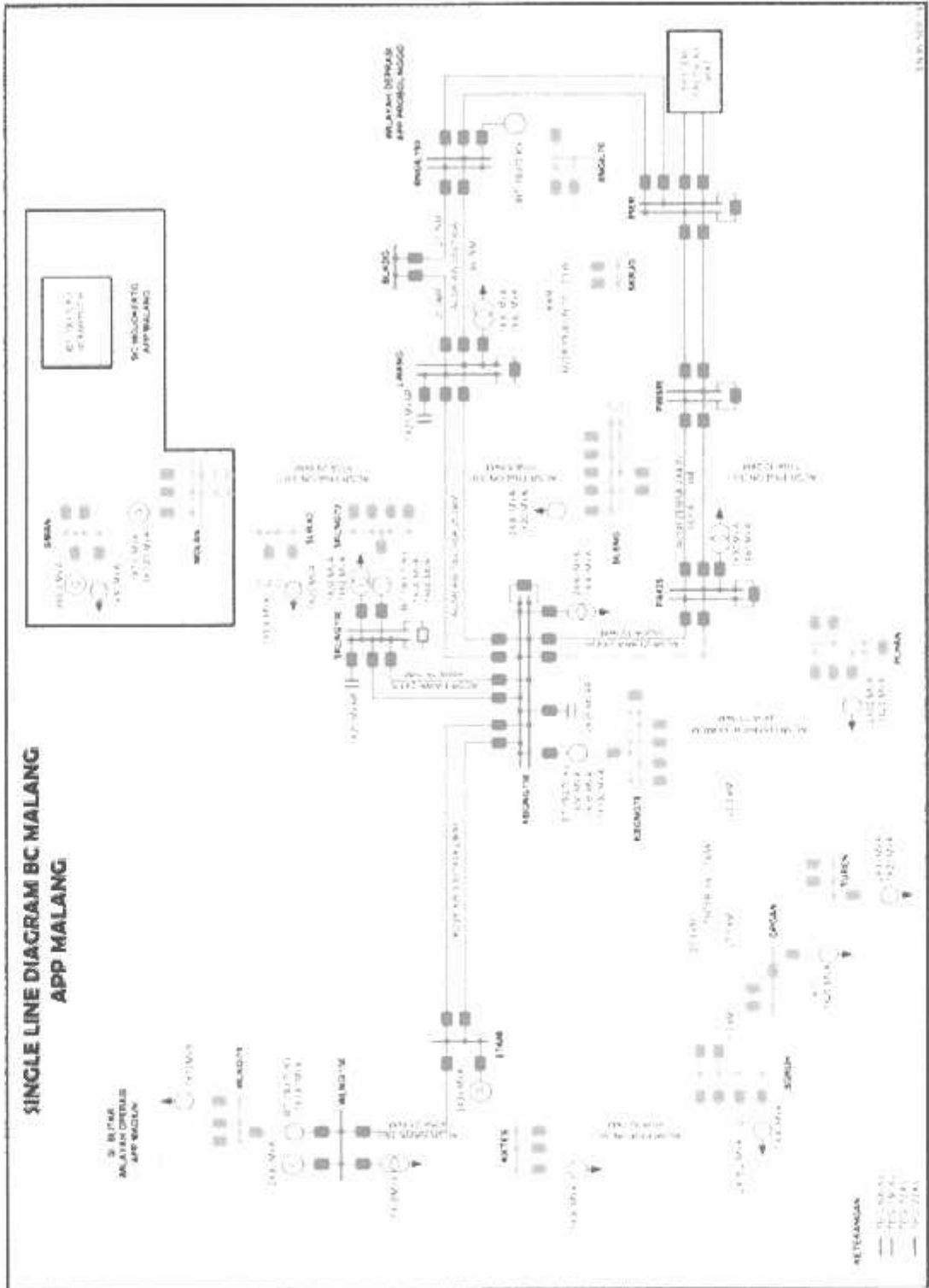
Sumber : (APP Malang,2015)

Tabel 4.4. Data Trafo Sistem APP Malang

| NO | Gardu Induk | Kapasitas (MVA) | | Kapasitas (MVA) | |
|----|-------------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| | | 150/70 | jumlah | 150/20 | jumlah |
| 1 | Kebonagung | 185 | 3 | 90 | 3 |
| 2 | Pakis | - | - | 90 | 2 |
| 3 | Wlingi | 100 | 1 | 40 | 2 |
| 4 | Sengkaling | 90 | 2 | 90 | 2 |
| 5 | Solorejo | - | - | 20 | 1 |
| 6 | Siman | - | - | 30 | 1 |
| 7 | Lawang | - | - | 90 | 2 |
| 8 | Bangil | 80 | 2 | - | - |
| 9 | Blimbing | - | - | 50 | 2 |
| 10 | Polehan | - | - | 80 | 3 |
| 11 | Turen | - | - | 80 | 3 |
| 12 | Gampingan | - | - | 20 | 1 |
| 13 | Sengguruh | - | - | 30 | 1 |
| 14 | Karangates | - | - | 30 | 1 |

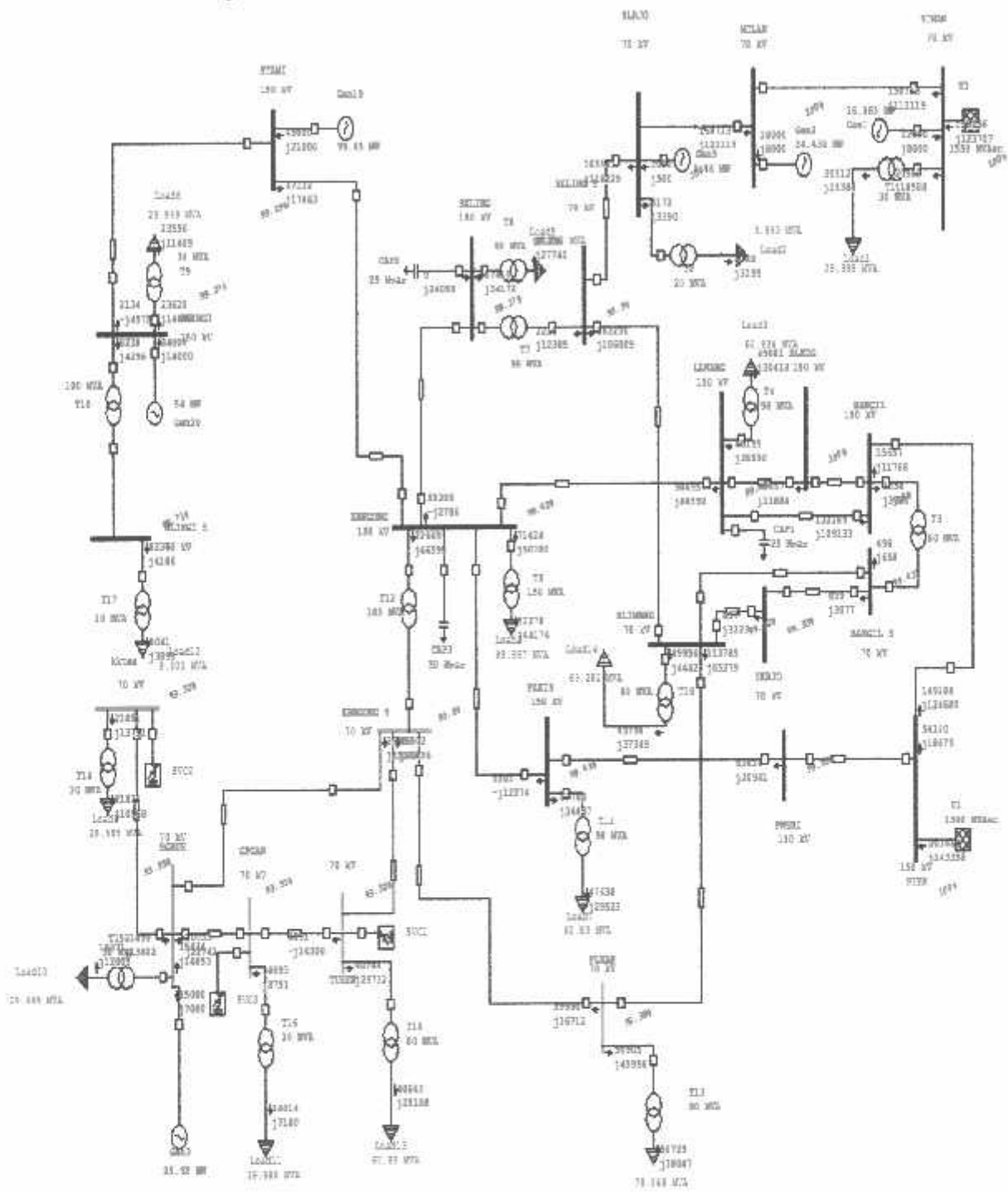
Sumber : (APP Malang,2015)

berikut adalah data *single line* diagram transmisi 70 kV-150 kV APP Malang:



Gambar 4.1. *Single line* sistem 70 kV-150 kV APP Malang

Berikut adalah gambar *Single Line Diagram* APP Malang yang sudah disimulasikan di *software ETAP* :



Gambar 4.2
 Simulasi *Single Line* Sistem 70 kV-150 kV APP Malang

4.2. Analisis Kestabilan Tegangan dan Rugi-rugi Daya Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang dalam Kondisi *Base Case* dan *Real Case*

Tabel 4.5. menunjukkan hasil perhitungan aliran daya menggunakan *software ETAP*, yang bertujuan untuk mengetahui kondisi *base case* sistem transmisi 70 kV-150 APP Malang kV. Hasil perhitungannya sebagai berikut :

Tabel 4.5. Kestabilan tegangan kondisi *base case*

| No | Gardu Induk | Bus pu |
|-----|--------------|--------|
| 1. | Bangil | 1 |
| 2. | Bangil S | 0.9981 |
| 3. | Balekandang | 1 |
| 4. | Blimbing | 0.9932 |
| 5. | Gampingan | 0.9354 |
| 6. | Kebonagung S | 0.9524 |
| 7. | Kebonagung | 0.9830 |
| 8. | Karangates | 0.9356 |
| 9. | Lawang | 0.9982 |
| 10. | Medalan | 1 |
| 11. | Pakis | 0.9865 |
| 12. | Pier | 1 |
| 13. | Polehan | 0.9690 |
| 14. | Purwosari | 0.9914 |
| 15. | Sengguruh | 0.9359 |
| 16. | Siman | 1 |
| 17. | Sengkaling | 0.9742 |
| 18. | Sengkaling S | 0.9990 |
| 19. | Sukorejo | 0.9935 |
| 20. | Solorejo | 1 |
| 21. | Sutami | 0.9953 |
| 22. | Turen | 0.9356 |
| 23. | Wlingi | 0.9952 |
| 24. | Wlingi S | 0.9896 |

Pada gardu induk yang berwarna merah diatas adalah gardu induk yang mengalami pelanggaran tegangan diluar margin yang sudah ditentukan yakni $\pm 5\%$ (66.5 kV untuk tegangan 70 kV dan 142.5 kV untuk tegangan 150 kV), yaitu pada GI Gampingan sebesar 0,9354 pu (65.47 kV), GI Karangates sebesar 0, 9356 pu (65.49

kV), GI Sengguruh sebesar 0,9359 pu (65.51 kV) dan GI Turen sebesar 0,9356 pu (65.49 kV).

Tabel 4.6. menunjukkan hasil perhitungan rugi-rugi daya dalam kondisi *base case* menggunakan *software ETAP* :

Tabel 4.6. Hasil Rugi-Rugi Daya Kondisi *Base Case*

| Gardu Induk | P_{Loss}(MW) | Q_{Loss}(kVAR) |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Kebonagung – Stami | 0.86 | 198 |
| Kebonagung S– Pakis | 0.02 | 777.7 |
| Sengkaling - Slorejo | 0.1 | 1644 |
| Bangil– Balekandang | 0.03 | 97 |
| Kebonagung – Lawang | 1.19 | 558 |
| Sengkaling- Blimbing | 0.58 | 769 |
| Bangil–Lawang | 0.14 | 1945 |
| Stami– Wlingi | 0.02 | 1.9 |
| Purwosari– Pakis | 0.56 | 110 |
| Kebonagung S – Sengguruh | 1.65 | 917 |
| Blimbing– Polehan | 1.92 | 1614 |
| Kebonagung S– Polehan | 1,16 | 496 |
| Kebonagung S –Turen | 1.67 | 430 |
| Gampingan - Sengguruh | 0.04 | 6.6 |
| Gampingan - Turen | 0.48 | 506 |
| Karangates-Sengguruh | 0.03 | 149 |
| Balekandang- Lawang | 0.14 | 1244 |
| Bangil-Sukorejo | 0.06 | 195 |
| Sukorejo- Blimbing | 0.04 | 97 |
| Pier - Purwosari | 0.08 | 227 |
| Kebonagung -Sengkaling | 0.25 | 711 |

Tabel diatas adalah hasil rugi-rugi daya pada saluran transmisi APP Malang kondisi *base case* adalah 9,260 MW dan 1,488 Mvar.

Tabel 4.7. menunjukkan hasil perhitungan aliran daya menggunakan *software ETAP*, yang bertujuan untuk mengetahui kondisi *real case* 70 kV-150 kV APP Malang. Hasil perhitungannya sebagai berikut :

Tabel 4.7. Kestabilan tegangan kondisi *real case*

| | Gardu Induk | Bus pu |
|-----|--------------------|---------------|
| 1. | Bangil | 1 |
| 2. | Bangil S | 0.9941 |
| 3. | Balekandang | 1 |
| 4. | Blimbing | 0.9932 |
| 5. | Gampingan | 0.9354 |
| 6. | Kebonagung S | 0.9524 |
| 7. | Kebonagung | 0.9867 |
| 8. | Karangates | 0.9356 |
| 9. | Lawang | 0.9986 |
| 10. | Medalan | 1 |
| 11. | Pakis | 0.9865 |
| 12. | Pier | 1 |
| 13. | Polehan | 0.9640 |
| 14. | Purwosari | 0.9914 |
| 15. | Sengguruh | 0.9359 |
| 16. | Siman | 1 |
| 17. | Sengkaling | 0.9842 |
| 18. | Sengkaling S | 0.9990 |
| 19. | Sukorejo | 0.9935 |
| 20. | Solorejo | 1 |
| 21. | Sutami | 0.9953 |
| 22. | Turen | 0.9356 |
| 23. | Wlingi | 0.9952 |
| 24. | Wlingi S | 0.9896 |

Pemasangan kapasitor sebesar 100 Mvar pada sistem tidak bisa memperbaiki bus yang mengalami gangguan karena jauh dari bus yang bermasalah. Pada tabel diatas, bus yang berwarna merah adalah bus yang sama pada hasil aliran daya kondisi *base case* yaitu bus yang mengalami pelanggaran tegangan diluar margin yang sudah

ditentukan, yaitu pada GI Gampingan sebesar 0.9454 (66.17 kV) pu, GI Karangates sebesar 0,9460 (66.2 kV) pu, GI Sengguruh sebesar 0,9463 (66.24 kV)pu dan GI Turen sebesar 0,9439 (66.05kV) pu.

Tabel 4.8. menunjukan hasil perhitungan rugi-rugi daya dalam kondisi *base case* pada sistem APP Malang 70 kV-150 kV menggunakan *software ETAP* :

Tabel 4.8. Hasil rugi-rugi daya kondisi *real case*

| Gardu Induk | $P_{Loss}(MW)$ | $Q_{Loss}(Kvar)$ |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Kebonagung – Stami | 0.86 | 198.3 |
| Kebonagung S– Pakis | 0.02 | 777 |
| Sengkaling - Slorejo | 0.10 | 164 |
| Bangil– Balekandang | 0.02 | 102 |
| Kebonagung – Lawang | 1.19 | 558 |
| Sengkaling- Blimbing | 0.58 | 769 |
| Bangil–Lawang | 0.14 | 1945 |
| Stami– Wlingi | 0.02 | 1.44 |
| Purwosari– Pakis | 0.49 | 135 |
| Kebonagung S – Sengguruh | 1.65 | 908 |
| Blmbing– Polehan | 1.92 | 1893 |
| Kebonagung S– Polehan | 1.16 | 496 |
| Kebonagung S –Turen | 1.67 | 430 |
| Gampingan - Sengguruh | 0.04 | 150 |
| Gampingan - Turen | 0.47 | 489 |
| Karangates-Sengguruh | 0.03 | 149 |
| Balekandang- Lawang | 0.14 | 124 |
| Bangil-Sukorejo | 0.06 | 145 |
| Sukorejo- Blimbing | 0.04 | 97 |
| Pier - Purwosari | 0.08 | 227 |
| Kebonagung -Sengkaling | 0.02 | 308 |

Terlihat pada tabel diatas kerugian daya pada saluran transmisi kondisi *real case* adalah 9,250 MW tidak berbeda jauh dengan kondisi *base case* yaitu 9,260 MW, dapat disimpulkan bahwa pemasangan kapasitor dari sistem dengan kapasitas total 100 Mvar tidak berpengaruh besar terhadap bus tegangan dan kerugian daya karena terpasang jauh dari bus yang mengalami gangguan *under voltage*.

4.3. Analisis Penempatan dan Kapasitas Optimal SVC Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang

Pada table 4.9. menunjukan bus yang menjadi kandidat untuk penempatan *SVC* yang ditandai dengan warna biru, kandidat ini didapatkan dari hasil perhitungan *load flow* dari kondisi *base case* dan *real case* pada *tool* OCP.

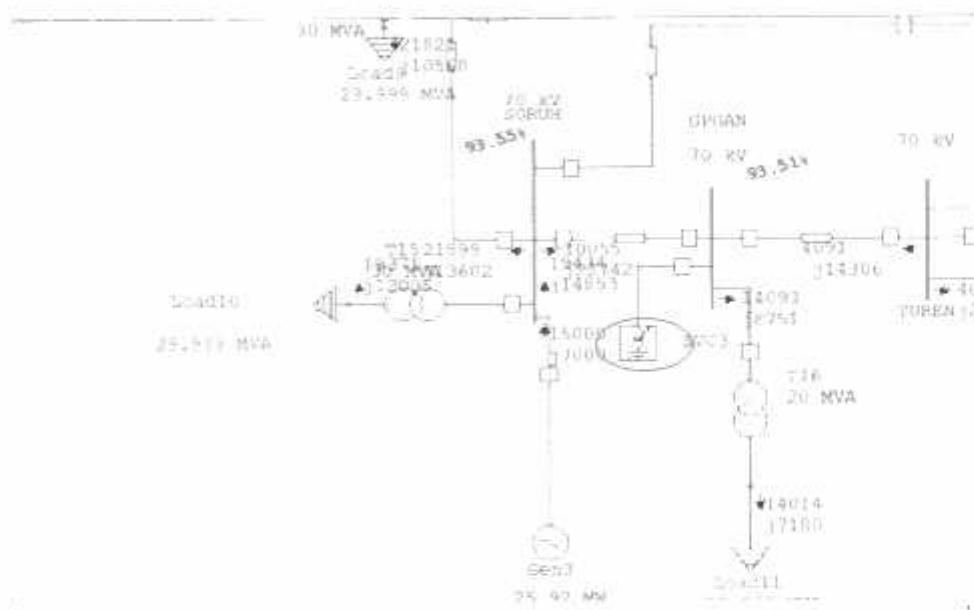
Tabel 4.9.
Penentuan Penempatan dan Kapasitas SVC Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang

| Sistem 70 kV-150 kV APP Malang | | | | | |
|--------------------------------|-------------|------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Kasus | Gardu Induk | Jumlah Bus | Total Q_c (Mvar) | P_{Loss} (MW) | Q_{Loss} (Mvar) |
| <i>Base case</i> | Turen | 1 | 91,23 | 13.11 | 85.73 |
| | Gampingan | 1 | 82.05 | 13.12 | 85.77 |
| | Karangates | 1 | 82.21 | 13.16 | 85.80 |
| <i>Real case</i> | Turen | 1 | 81.55 | 12.44 | 85.31 |
| | Gampingan | 1 | 82.19 | 12.47 | 85.47 |
| | Karangates | 1 | 82.21 | 12.50 | 85.51 |

Berdasarkan hasil perhitungan *load flow* OCP, dapat diketahui bahwa pada sistem 70-150 kV APP Malang terapat perbedaan penempatan dan kapasitas optimal SVC yang terdapat pada *base case* dan *real case*. Pada kondisi *base case*, penempatan yang paling optimal SVC yaitu Bus GI Gampingan dengan kapasitas Q_c paling minimum yaitu 82.05 Mvar. Sedangkan pada *real case* yaitu Bus GI Turen dengan kapasitas Q_c paling minimum yaitu 81.55 Mvar

4.4. Analisis Perbandingan Tegangan dan Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang Kondisi *Base Case* dan Setelah Pemasangan *SVC*

Berikut ini hasil pemasangan *SVC* pada *software* ETAP Power Station di bus GI Gampingan dengan kapasitas *SVC* sebesar 82.05 Mvar untuk memperbaiki kestabilan tegangan dan penurunan rugi-rugi daya pada sistem 70 kV-150 kV APP Malang.



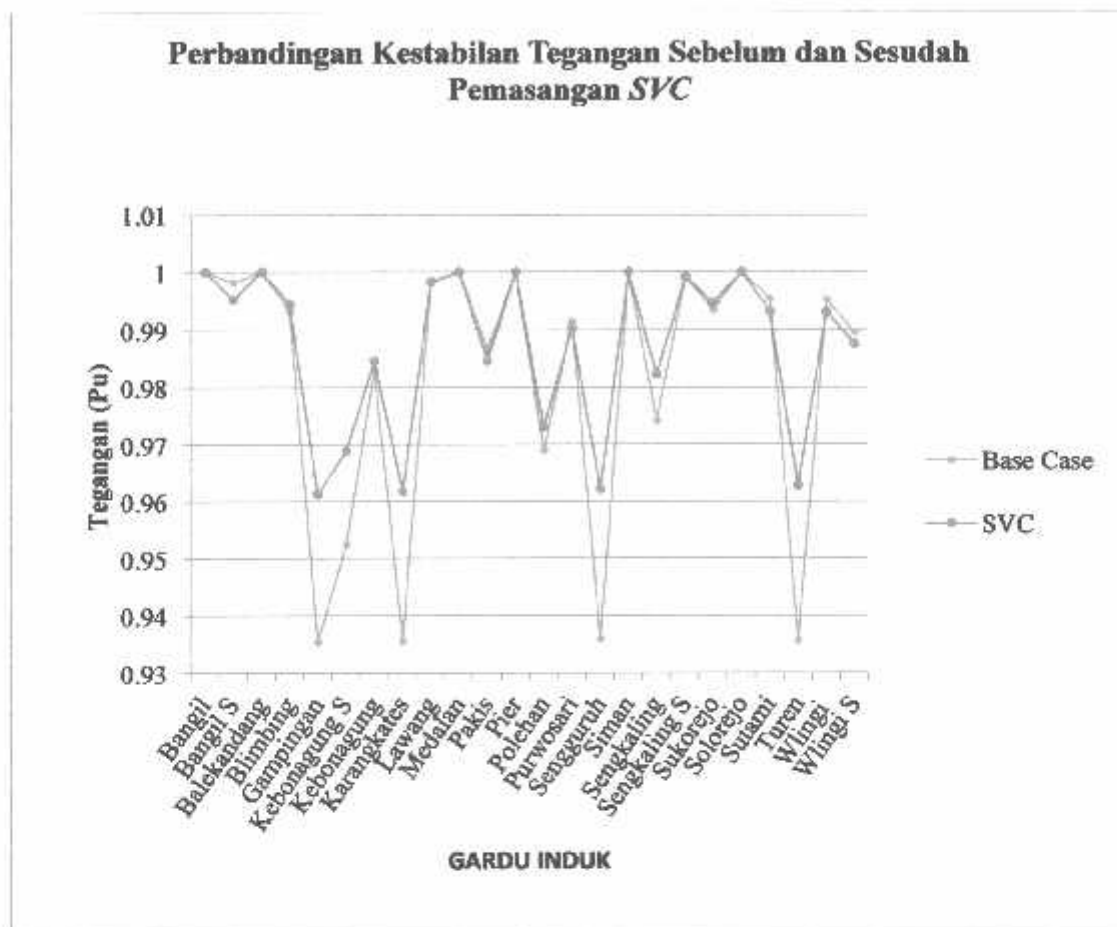
Gambar 4.3 Pemasangan *SVC* pada Bus GI Gampingan

Setelah melakukan pemasangan *SVC* pada tempat yang di tentukan oleh analisa *OCP* pada kondisi *base case* APP Malang 70 kV-150 kV, berikut adalah hasil perbandingan tegangan dan rugi-rugi dayanya terdapat pada tabel 4.10. menunjukkan hasil perbandingan tegangan kondisi *base case* pada APP Malang 70 kV-150 kV sebelum dan sesudah pemasangan *SVC* yang disimulasikan menggunakan *Software ETAP*.

Tabel 4.10.
Perbandingan kestabilan tegangan dalam kondisi *base case* dan setelah pemasangan SVC pada sistem 70-150 kV APP Malang.

| No | Gardu Induk | Tegangan (Pu) | |
|----|--------------|------------------|--------|
| | | <i>Base Case</i> | SVC |
| 1 | Bangil | 1 | 1 |
| 2 | Bangil S | 0.9981 | 0.9952 |
| 3 | Balekandang | 1 | 1 |
| 4 | Blimbing | 0.9932 | 0.9944 |
| 5 | Gampingan | 0.9354 | 0.9613 |
| 6 | Kebonagung S | 0.9524 | 0.9689 |
| 7 | Kebonagung | 0.9830 | 0.9846 |
| 8 | Karangates | 0.9356 | 0.9618 |
| 9 | Lawang | 0.9982 | 0.9983 |
| 10 | Medalan | 1 | 1 |
| 11 | Pakis | 0.9865 | 0.9846 |
| 12 | Pier | 1 | 1 |
| 13 | Polehan | 0.9690 | 0.9731 |
| 14 | Purwosari | 0.9914 | 0.9903 |
| 15 | Sengguruh | 0.9359 | 0.9621 |
| 16 | Siman | 1 | 1 |
| 17 | Sengkaling | 0.9742 | 0.9822 |
| 18 | Sengkaling S | 0.9990 | 0.9992 |
| 19 | Sukorejo | 0.9935 | 0.9947 |
| 20 | Solorejo | 1 | 1 |
| 21 | Sutami | 0.9953 | 0.9932 |
| 22 | Turen | 0.9356 | 0.9628 |
| 23 | Wlingi | 0.9952 | 0.9931 |
| 24 | Wlingi S | 0.9896 | 0.9875 |

Tabel diatas menjelaskan perbandingan tegangan pada kondisi *base case*. Pada bus yang berwarna biru adalah bus yang mengalami perubahan tegangan setelah pemasangan SVC pada kondisi base case yaitu pada GI Gampingan, GI Karangates, GI Sengguruh dan GI Turen yang semula di bawah batas yang diizinkan yaitu diatas 0.95 pu berubah menjadi diatas batas yang diizinkan setelah pemasangan SVC.



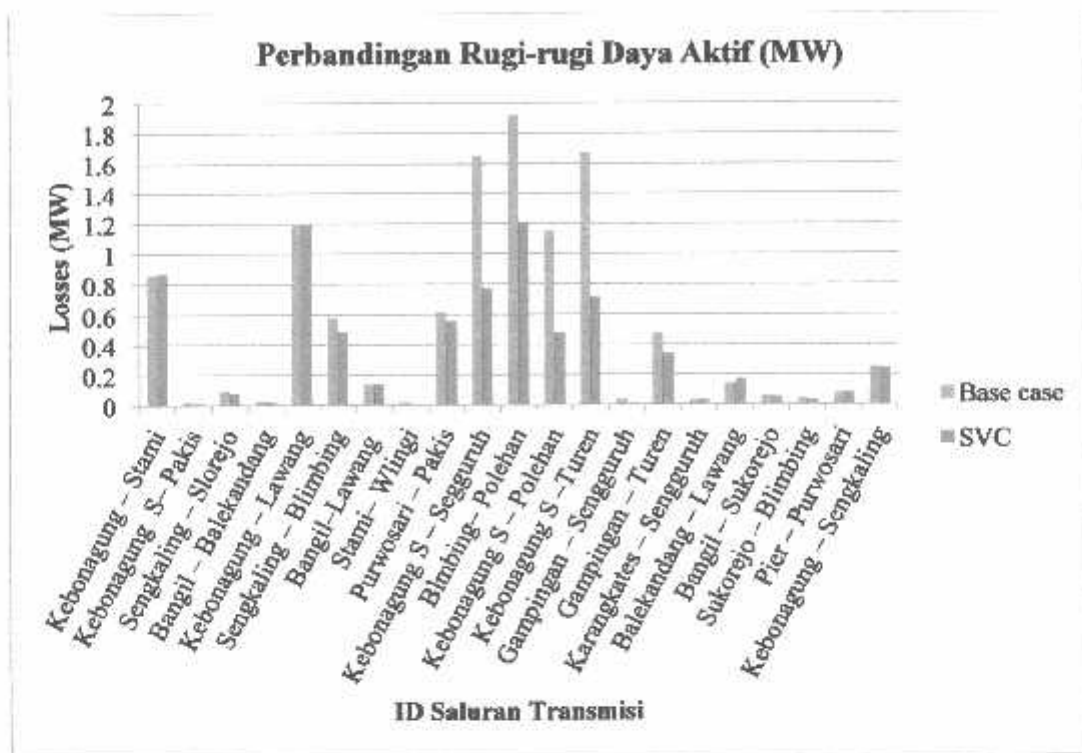
Gambar 4.4.
Perbandingan Kestabilan Tegangan Dalam Kondisi *Base Case* dan Pemasangan *SVC* Pada Sistem 70 kV-150 kV APP Malang.

Tabel 4.11. menunjukkan perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) dalam kondisi *base case* dan pemasangan *SVC* yang telah disimulasikan di *software ETAP*.

Tabel 4.11.
Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif (MW) Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC

| Gardu Induk | P _{Loss} (MW) | |
|--------------------------|------------------------|------|
| | Base case | SVC |
| Kebonagung – Stami | 0.86 | 0.87 |
| Kebonagung S– Pakis | 0.02 | 0.01 |
| Sengkaling - Slorejo | 0.1 | 0.08 |
| Bangil – Balekandang | 0.03 | 0.02 |
| Kebonagung – Lawang | 1.19 | 1.19 |
| Sengkaling - Blimbing | 0.58 | 0.49 |
| Bangil–Lawang | 0.14 | 0.14 |
| Stami– Wlingi | 0.02 | 0.01 |
| Purwosari – Pakis | 1.56 | 0.56 |
| Kebonagung S – Sengguruh | 1.65 | 0.77 |
| Blimbing– Polehan | 1.92 | 1.21 |
| Kebonagung S – Polehan | 1,16 | 0.48 |
| Kebonagung S –Turen | 1.67 | 0.71 |
| Gampingan - Sengguruh | 0.04 | 0.01 |
| Gampingan - Turen | 0.48 | 0.34 |
| Karangates - Sengguruh | 0.03 | 0.03 |
| Balekandang - Lawang | 0.14 | 0.17 |
| Bangil - Sukorejo | 0.06 | 0.05 |
| Sukorejo - Blimbing | 0.04 | 0.03 |
| Pier - Purwosari | 0.08 | 0.08 |
| Kebonagung - Sengkaling | 0.25 | 0.24 |

Berdasarkan tabel diatas diatas perbedaan rugi-rugi daya pada kondisi *base case* dan setelah pemasangan SVC pada sistem transmisi APP Malang adalah 0.774 MW.

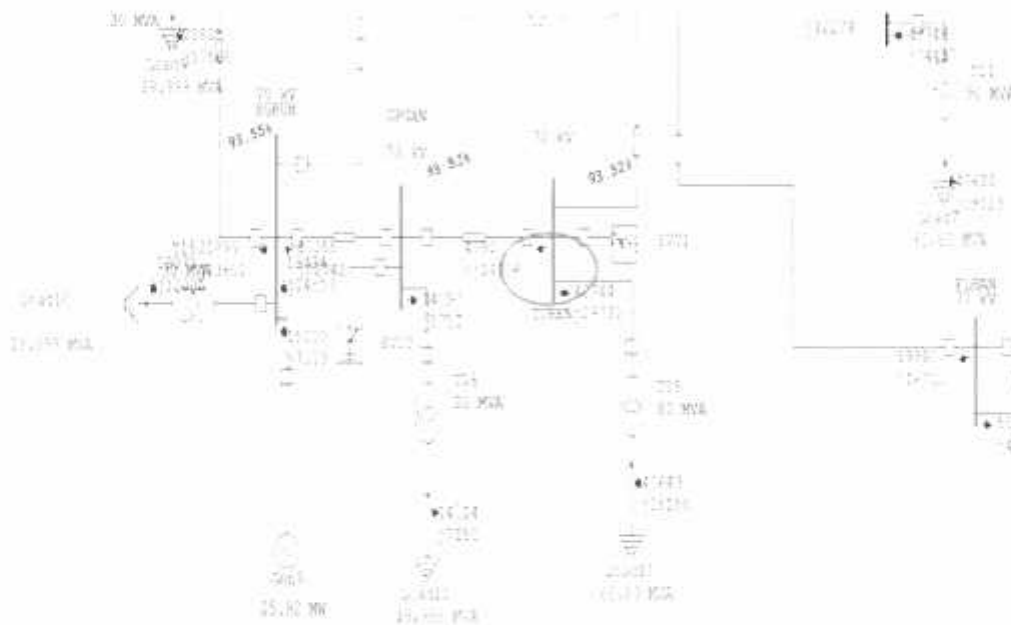


Gambar 4.5. Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan SVC pada sistem 70 kV-150 kV APP Malang.

Berdasarkan hasil analisis, dapat diketahui bahwa setelah pemasangan SVC dapat meningkatkan profil tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu pada GI Turen dari 0,9356 pu (65.449 kV) menjadi 0,9628 pu (67.36 kV), GI Gampingan dari 0,9354 pu (65.47 kV) menjadi 0,9611 pu (67.27 kV), GI Segguruh dari 0,9359 pu (65.51 kV) menjadi 0,9614 pu (67.29 kV), GI Karangates dari 0,9356 pu (65.49 kV) menjadi 0,9611 pu (67.27 kV), Serta dapat mengurangi rugi-rugi daya pada sistem transmisi dari 9.260 MW dan 53.34 Mvar menjadi 8.486 MW dan 52.85 Mvar.

4.5. Analisis Perbandingan Tegangan dan Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang kV Kondisi *Real Case* dan Setelah Pemasangan *SVC*

Sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang terdapat beberapa sumber daya reaktif yang terinterkoneksi pada sistem yaitu pada GI Kebonagung, GI Sengkaling dan GI Lawang dengan kapasitas total daya reaktif sebesar 100 MVar. Berdasarkan hasil *load flow* dalam kondisi *real case*, penempatan *SVC* yang paling optimal berada pada Bus GI Turen dengan Q_c terkecil yaitu 81.55 Mvar.



Gambar 4.6. Pemasangan *SVC* Pada Bus GI Turen

Berikut ini hasil perbandingan kestabilan tegangan dan rugi-rugi daya sesudah pemasangan *SVC* pada sistem 70 kV-150 kV APP Malang kondisi *real case*.

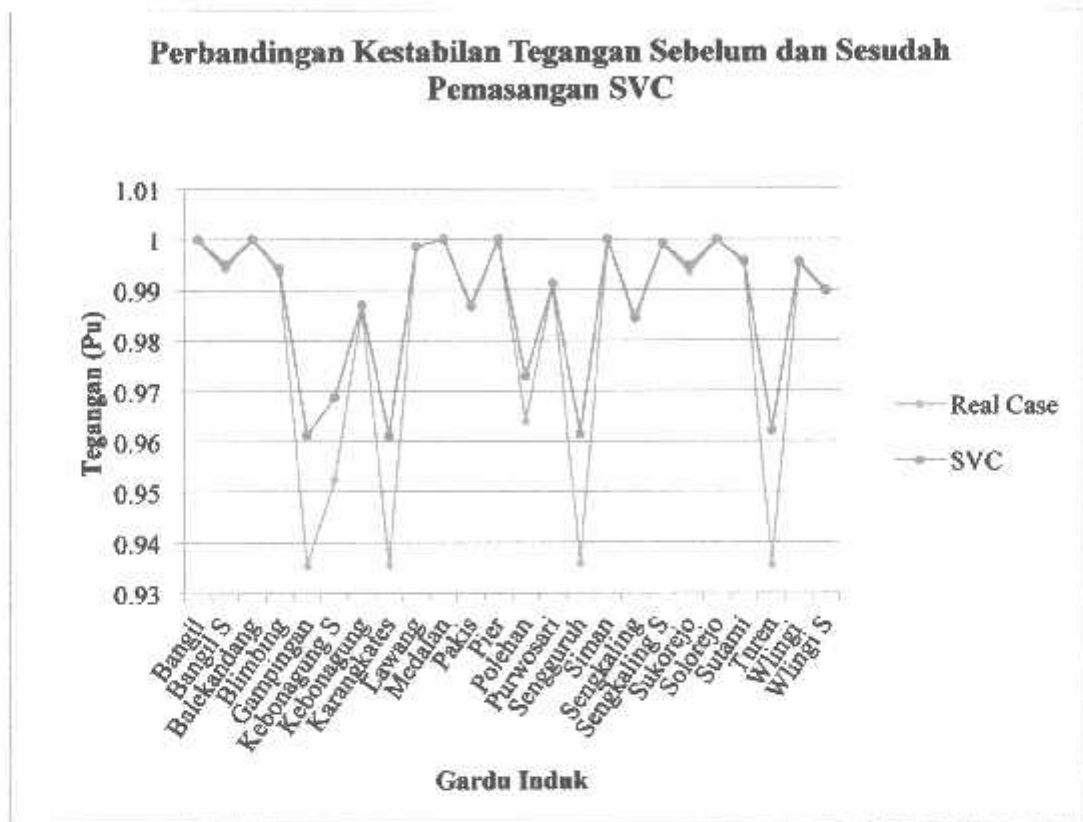
Tabel 4.12. menunjukkan hasil perbandingan tegangan kondisi *real case* pada sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang sebelum setelah pemasangan *SVC* yang disimulasikan menggunakan *Software ETAP*.

Tabel 4.12.
Perbandingan Kestabilan Tegangan Setelah Pemasangan *SVC* Pada Kondisi *Real Case*

| No | GARDU INDUK | Tegangan (Pu) | |
|----|--------------|------------------|------------|
| | | <i>Real Case</i> | <i>SVC</i> |
| 1 | Bangil | 1 | 1 |
| 2 | Bangil S | 0.9941 | 0.9952 |
| 3 | Balekandang | 1 | 1 |
| 4 | Blimbing | 0.9932 | 0.9944 |
| 5 | Gampingan | 0.9354 | 0.9613 |
| 6 | Kebonagung S | 0.9524 | 0.9687 |
| 7 | Kebonagung | 0.9867 | 0.9871 |
| 8 | Karangates | 0.9356 | 0.9611 |
| 9 | Lawang | 0.9986 | 0.9986 |
| 10 | Medalan | 1 | 1 |
| 11 | Pakis | 0.9865 | 0.9869 |
| 12 | Pier | 1 | 1 |
| 13 | Polehan | 0.9640 | 0.9729 |
| 14 | Purwosari | 0.9914 | 0.9913 |
| 15 | Sengguruh | 0.9359 | 0.9614 |
| 16 | Siman | 1 | 1 |
| 17 | Sengkaling | 0.9842 | 0.9847 |
| 18 | Sengkaling S | 0.9990 | 0.9992 |
| 19 | Sukorejo | 0.9935 | 0.9947 |
| 20 | Solorejo | 1 | 1 |
| 21 | Sutami | 0.9953 | 0.9957 |
| 22 | Turen | 0.9356 | 0.9621 |
| 23 | Wlingi | 0.9952 | 0.9956 |
| 24 | Wlingi S | 0.9896 | 0.9899 |

Tabel diatas menjelaskan perbandingan tegangan pada kondisi *base case*. Pada bus yang berwarna biru adalah bus yang mengalami perubahan tegangan setelah

pemasangan SVC pada kondisi base case yaitu pada GI Gampingan, GI Karangates, GI Sengguruh dan GI Turen yang semula di bawah batas yang diizinkan yaitu diatas 0.95 pu berubah menjadi diatas batas yang diizinkan setelah pemasangan SVC



Gambar 4.7.

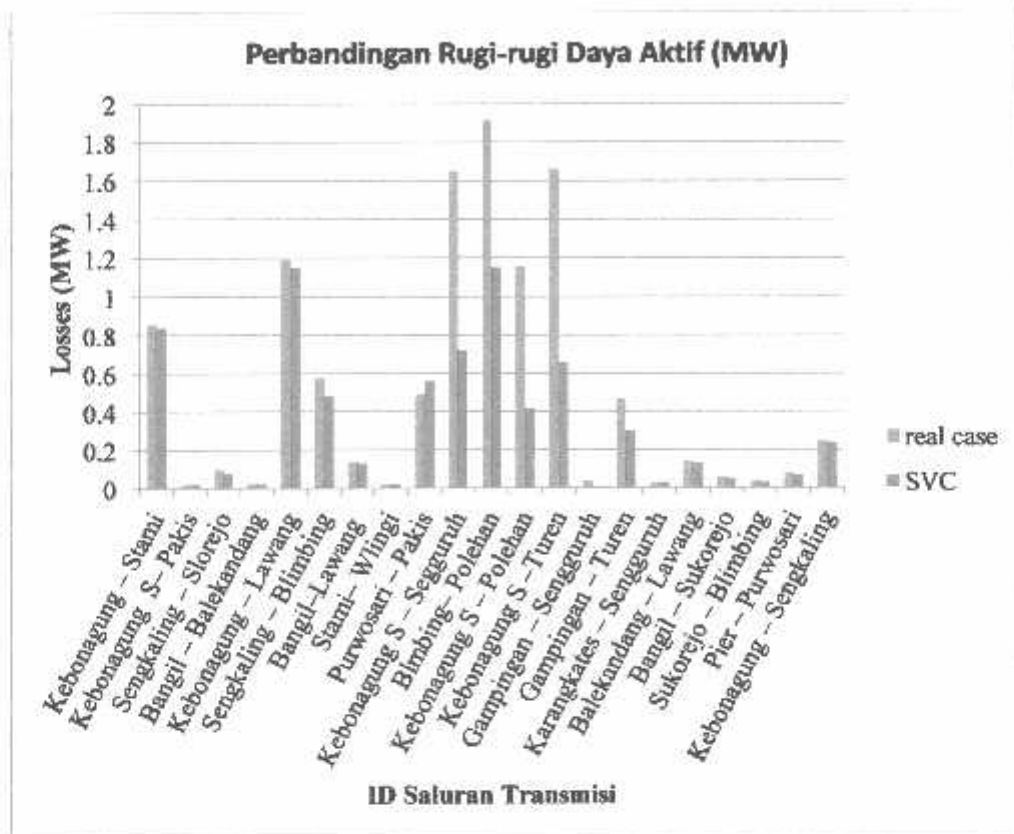
Perbandingan kestabilan tegangan dalam kondisi *real case* setelah pemasangan SVC pada sistem 70-150 kV APP Malang

Tabel 4.13. menunjukkan perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) dalam kondisi *real case* dan pemasangan *SVC* yang telah disimulasikan di *software ETAP*

Tabel 4.13.
Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan *SVC*

| Gardu Induk | P_{Loss} (MW) | |
|--------------------------|------------------|------------|
| | <i>Real case</i> | <i>SVC</i> |
| Kebonagung – Stami | 0.86 | 0.87 |
| Kebonagung S– Pakis | 0.02 | 0.01 |
| Sengkaling - Slorejo | 0.10 | 0.08 |
| Bangil– Balekandang | 0.02 | 0.02 |
| Kebonagung – Lawang | 1.19 | 1.19 |
| Sengkaling- Blimbing | 0.58 | 0.49 |
| Bangil–Lawang | 0.14 | 0.14 |
| Stami– Wlingi | 0.02 | 0.01 |
| Purwosari– Pakis | 0.49 | 0.56 |
| Kebonagung S – Sengguruh | 1.65 | 0.77 |
| Blimbing– Polehan | 1.92 | 1.21 |
| Kebonagung S– Polehan | 1.16 | 0.48 |
| Kebonagung S –Turen | 1.67 | 0.71 |
| Gampingan - Sengguruh | 0.04 | 0.01 |
| Gampingan - Turen | 0.47 | 0.30 |
| Karangates-Sengguruh | 0.03 | 0.03 |
| Balekandang- Lawang | 0.14 | 0.17 |
| Bangil-Sukorejo | 0.06 | 0.05 |
| Sukorejo- Blimbing | 0.04 | 0.03 |
| Pier - Purwosari | 0.08 | 0.08 |
| Kebonagung -Sengkaling | 0.25 | 0.24 |

Berdasarkan tabel diatas diatas perbedaaan rugi-rugi daya pada kondisi *real case* dan setelah pemasangan *SVC* pada sistem transmisi APP Malang adalah 1.127 MW.



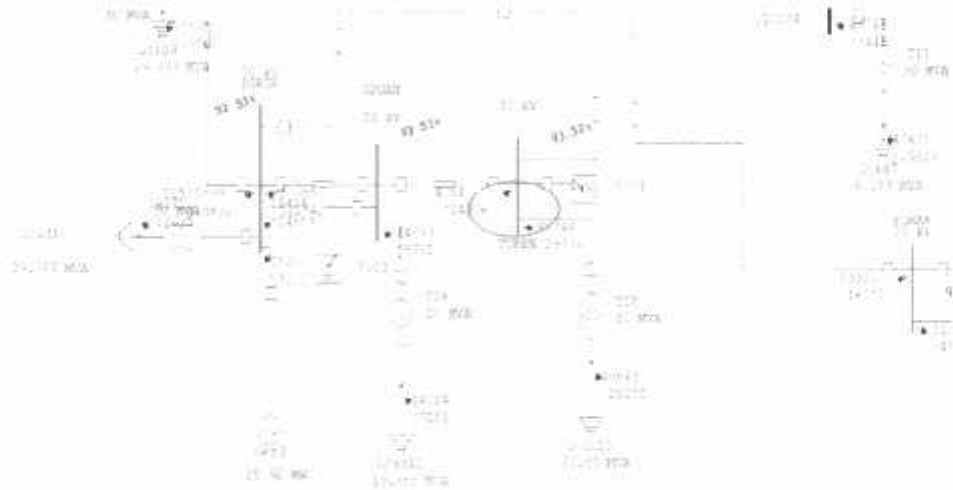
Gambar 4.8.

Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif (MW) Dalam Kondisi *Real Case* Sebelum dan Sesudah Pemasangan *SVC* Pada Sistem 70-150 kV APP Malang.

Berdasarkan hasil analisa, setelah pemasangan *SVC* dapat meningkatkan kestabilan tegangan pada GI Turen yang sebelumnya dalam kondisi *under voltage* 0,9356 pu (65.49 kV). menjadi kondisi normal 0,9621 pu (67.34 kV), GI Gampingan dari 0,9354 pu (65.47 kV) menjadi 0,9613 pu (67.29 kV), GI Sengguruh dari 0,9359 pu (66.51kV) menjadi 0,9614 pu (67.29 kV), GI Karangates dari 0,9356 pu (65.49 kV) menjadi 0,9611 pu (67.27 kV) dan dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi dari 9,250 MW dan 53.34 Mvar menjadi 8.123 MW dan 51.85 Mvar.

4.6 Analisis Perbandingan Kestabilan Tegangan Dengan Pemasangan SVC Pada *Real Case* dan *Base Case* Sistem Transmisi 70 kV - 150 kV APP Malang

Berikut ini hasil pemasangan SVC pada *software ETAP Power Station* di bus GI Gampingan dengan kapasitas SVC sebesar 82.05 Mvar dan GI Turen dengan kapasitas 81.55 Mvar untuk memperbaiki kestabilan tegangan dan penurunan rugi-rugi daya pada sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang.



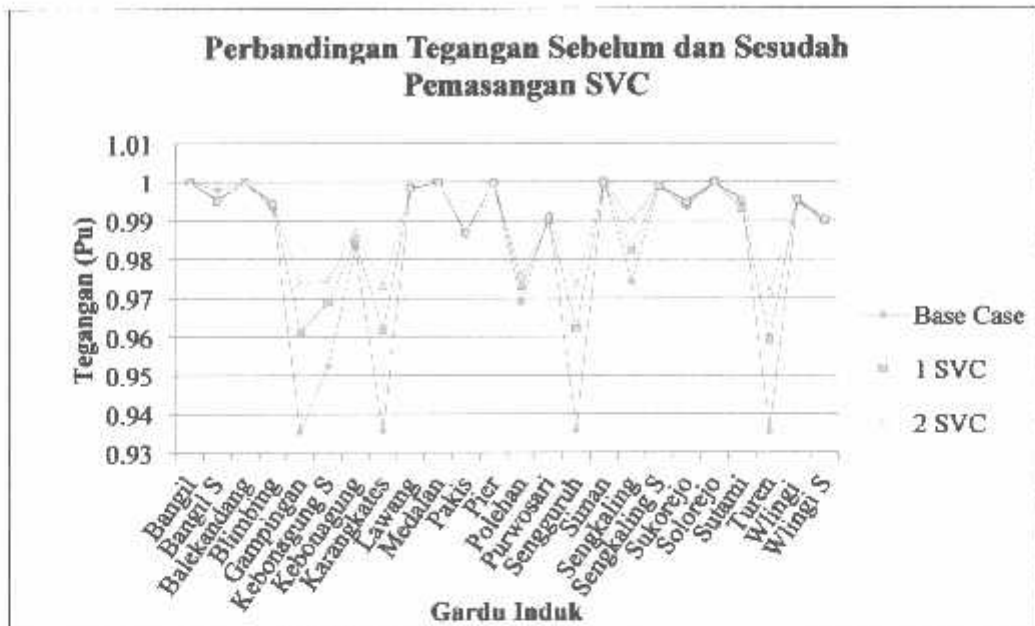
Gambar 4.9. Pemasangan SVC pada Bus GI Gampingan dan GI Turen

Setelah melakukan pemasangan SVC pada tempat yang di tentukan oleh analisa OCP pada sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang, berikut adalah hasil perbandingan tegangan dan rugi-rugi dayanya pada tabel 4.14. menunjukkan hasil perbandingan tegangan kondisi *real case* pada sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang sebelum dan sesudah pemasangan 1 SVC dan 2 SVC yang disimulasikan menggunakan *Software ETAP*.

Tabel 4.14.
Perbandingan Perbaikan Tegangan Dalam Kondisi *Real Case* dan Setelah
Pemasangan *SVC* Pada Sistem 70-150 kV APP Malang.

| No | Gardu Induk | Tegangan (Pu) | | |
|----|--------------|------------------|--------------|--------------|
| | | <i>Real Case</i> | 1 <i>SVC</i> | 2 <i>SVC</i> |
| 1 | Bangil | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Bangil S | 0.9981 | 0.9952 | 0.9956 |
| 3 | Balekandang | 1 | 1 | 1 |
| 4 | Blimbing | 0.9932 | 0.9944 | 0.9948 |
| 5 | Gampingan | 0.9354 | 0.9613 | 0.9736 |
| 6 | Kebonagung S | 0.9524 | 0.9689 | 0.9747 |
| 7 | Kebonagung | 0.9830 | 0.9846 | 0.9872 |
| 8 | Karangkates | 0.9356 | 0.9618 | 0.9732 |
| 9 | Lawang | 0.9982 | 0.9983 | 0.9986 |
| 10 | Medalan | 1 | 1 | 1 |
| 11 | Pakis | 0.9865 | 0.9869 | 0.9870 |
| 12 | Pier | 1 | 1 | 1 |
| 13 | Polehan | 0.9690 | 0.9731 | 0.9762 |
| 14 | Purwosari | 0.9914 | 0.9903 | 0.9913 |
| 15 | Sengguruh | 0.9359 | 0.9621 | 0.9735 |
| 16 | Siman | 1 | 1 | 1 |
| 17 | Sengkaling | 0.9742 | 0.9822 | 0.9899 |
| 18 | Sengkaling S | 0.9990 | 0.9992 | 0.9993 |
| 19 | Sukorejo | 0.9935 | 0.9947 | 0.9951 |
| 20 | Solorejo | 1 | 1 | 1 |
| 21 | Sutami | 0.9953 | 0.9932 | 0.9958 |
| 22 | Turen | 0.9356 | 0.9628 | 0.9717 |
| 23 | Wlingi | 0.9952 | 0.9956 | 0.9957 |
| 24 | Wlingi S | 0.9896 | 0.9899 | 0.9908 |

Tabel diatas menjelaskan perbandingan tegangan pada kondisi *real case*. Pada bus yang berwarna biru adalah bus yang mengalami perubahan tegangan setelah pemasangan *SVC* pada kondisi base case yaitu pada GI Gampingan, GI Karangkates, GI Sengguruh dan GI Turen yang semula di bawah batas yang diizinkan yaitu diatas 0.95 pu berubah menjadi diatas batas yang diizinkan setelah pemasangan *SVC*.



Gambar 4.10.

Perbandingan Kestabilan Tegangan Dalam Kondisi *Real Case* dan Pemasangan *SVC* Pada Sistem 70-150 kV APP Malang.

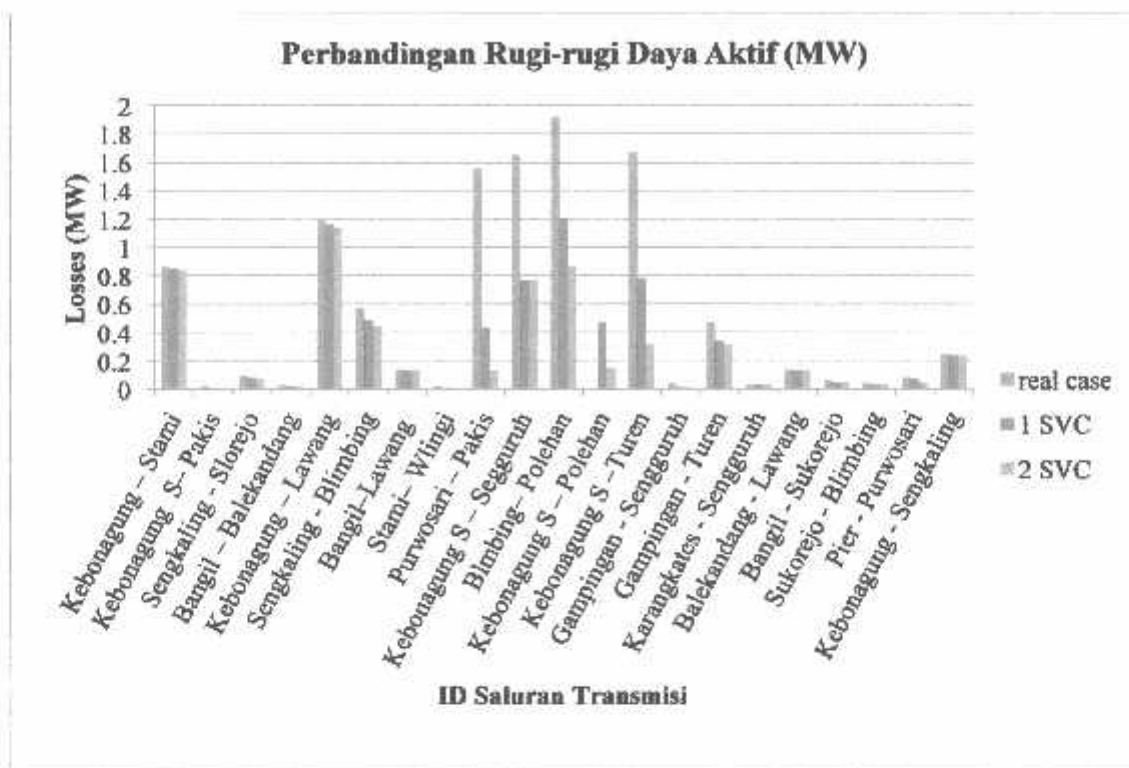
Grafik diatas menjelaskan perbandingan tegangan pada kondisi *real case* dan setelah pemasangan *SVC*. Setelah pemasangan 2 *SVC* pada sistem, tegangan pada GI Gampingan, GI Karangates, GI Sengguh dan GI Turen semakin membaik yaitu yang semula diatas 0.96 pu menjadi di atas 0.97 pu setelah pemasangan 2 *SVC*.

Tabel 4.15. menunjukkan perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) dalam kondisi *base case* dan pemasangan *SVC* yang telah disimulasikan di *software ETAP*.

Tabel 4.15.
Perbandingan rugi-rugi daya aktif (MW) sebelum dan sesudah pemasangan *SVC*

| Gardu Induk | P _{Loss} (MW) | | |
|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|
| | <i>real case</i> | 1 <i>SVC</i> | 2 <i>SVC</i> |
| Kebonagung – Stami | 0.86 | 0.85 | 0.84 |
| Kebonagung S– Pakis | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Sengkaling – Storejo | 0.1 | 0.08 | 0.07 |
| Bangil – Balekandang | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| Kebonagung – Lawang | 1.19 | 1.16 | 1.14 |
| Sengkaling – Blimbing | 0.58 | 0.49 | 0.45 |
| Bangil–Lawang | 0.14 | 0.13 | 0.13 |
| Stami– Wlingi | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Purwosari – Pakis | 1.56 | 0.44 | 0.13 |
| Kebonagung S – Sengguruh | 1.65 | 0.77 | 0.77 |
| Blimbing– Polehan | 1.92 | 1.21 | 0.86 |
| Kebonagung S – Polehan | 1,16 | 0.48 | 0.15 |
| Kebonagung S –Turen | 1.67 | 0.78 | 0.31 |
| Gampingan – Sengguruh | 0.04 | 0.01 | 0.01 |
| Gampingan – Turen | 0.48 | 0.34 | 0.31 |
| Karangates – Sengguruh | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Balekandang – Lawang | 0.14 | 0.13 | 0.13 |
| Bangil – Sukorejo | 0.06 | 0.05 | 0.05 |
| Sukorejo – Blimbing | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| Pier – Purwosari | 0.08 | 0.07 | 0.05 |
| Kebonagung – Sengkaling | 0.25 | 0.24 | 0.24 |

Berdasarkan tabel diatas diatas perbedaan rugi-rugi daya pada kondisi *real case* dan setelah pemasangan *SVC* pada sistem transmisi APP Malang adalah 0.774 MW.



Gambar 4.11.

Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif (MW) Sebelum dan Sesudah Pemasangan *SVC* Pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang.

Berdasarkan hasil analisis, dapat diketahui bahwa setelah pemasangan 2 *SVC* dapat meningkatkan profil tegangan menjadi lebih baik dari pada pemasangan 1 *SVC* yaitu pada GI Turen dari 0,9596 pu (67.17kV) menjadi 0,9717 pu (68.01 kV), GI Gampingan dari 0,9613 pu (67.29 kV) menjadi 0,9736 pu (68.15 kV), GI Sengguruh dari 0,9607 pu (67.24 kV) menjadi 0,9735 pu (68.14 kV), GI Karangates dari 0,9609 pu (67.26 kV) menjadi 0,9732 pu (68.12 kV), Serta dapat mengurangi rugi-rugi daya pada sistem transmisi dari 8.150 MW dan 51.84 Mvar menjadi 7.486 MW dan 52.21 Mvar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dengan diperolehnya hasil analisis penempatan dan kapasitas optimal *Static Var Compensator (SVC)* dengan menggunakan metode algoritma genetika pada *software ETAP Power Station* maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil pengujian sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang pada kondisi *base case* dan *real case* ada beberapa bus tegangan yang di bawah margin batas kestabilannya yaitu GI Turen, GI Gampingan, GI Sengguruh dan GI Karangates.
2. Berdasarkan hasil pengujian sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang, penempatan dan penentuan kapasitas optimal *SVC* dilakukan menggunakan *tool optimal capacitor placement (OCP)* dengan menerapkan metode algoritma genetika yaitu dengan *SVC* dan kapasitas Q_c paling minimum, yang mana setelah pemasangan *SVC* dapat meningkatkan kestabilan tegangan hingga berada pada margin yang diizinkan yaitu 0,95 pu sampai 1,05 pu, Serta dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi pada kondisi *base case* dari 9.260 MW dan 53.347 Mvar menjadi 8.486 MW dan 52.050 Mvar dan pada kondisi *real case* dari 9.260 MW dan 53.347 Mvar menjadi 8.122 MW dan 51.855 Mvar. Penempatan dan kapasitas optimal *SVC* menggunakan 2 kasus. Pada kasus 1 menggunakan kondisi *base case* dan kasus 2 menggunakan kondisi *Real case*. Dari hasil analisis sistem 70 kV-150 kV APP Malang, penempatan dan kapasitas optimal *SVC* yang ada pada kasus 1 yaitu Bus GI Gampingan dengan kapasitas Q_c paling minimum yaitu 82.057 Mvar. Sedangkan pada kasus 2 yaitu Bus GI Turen dengan kapasitas Q_c paling minimum yaitu 81.55 Mvar. Setelah dilakukan pemasangan *SVC* kinerja sistem menjadi lebih baik dan dapat memaksimalkan kapasitas sistem transmisi serta mengontrol aliran daya, yang mana dengan pemasangan *SVC* pada sistem *real case* dapat meningkatkan kestabilan tegangan hingga berada pada margin

yang diizinkan yaitu pada GI Turen yang sebelumnya dalam kondisi *under voltage* 0,9356 pu (65.49 kV). menjadi kondisi normal 0,9596 pu (67.17 kV), GI Gampingan dari 0,9354 pu (65.47 kV) menjadi 0,9613 pu (67.29 kV), GI Sengguruh dari 0,9359 pu (66.51kV) menjadi 0,9614 pu (67.29 kV), GI Karangates dari 0,9356 pu (65.49 kV) menjadi 0,9611 pu (67.27 kV) dan dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi dari 9,250 MW dan 53.34 Mvar menjadi 8.123 MW dan 51.85 Mvar

3. Berdasarkan pengujian pada sistem transmisi 70 kV-150 kV APP Malang saat pemasangan 2 *SVC* pada kedua tempat yang telah ditentukan dari OCP didapatkan hasil tegangan yang lebih baik yaitu yang semula di GI Turen dari 0,9596 pu (67.17kV) menjadi 0,9717 pu (68.01 kV), GI Gampingan dari 0,9613 pu (67.29 kV) menjadi 0,9736 pu (68.15 kV), GI Sengguruh dari 0,9607 pu (67.24 kV) menjadi 0,9735 pu (68.14 kV), GI Karangates dari 0,9609 pu (67.26 kV) menjadi 0,9732 pu (68.12 kV), tetapi terjadi perbedaan rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada sistem transmisi masih lebih baik saat dipasang 1 *SVC* yaitu dari 8.150 MW dan 51.84 Mvar menjadi 7.486 MW dan 52.21 Mvar saat dipasang 2 *SVC*, hal ini disebabkan oleh setting *SVC* yang dibatasi yakni $\pm 5\%$.

5.2. Saran

Jumlah kebutuhan akan energi listrik akan terus bertambah mengikuti perkembangan zaman, begitu juga dengan beban ,setiap tahunnya akan pasti bertambah juga, karna bertambahnya beban berdampak juga pada kualitas sistem untuk menjaga kestabilan tegangannya juga semakin sulit khususnya di daerah Malang masih sangat perlu untuk meningkatkan kualitas tegangan yang dijabarkan dalam penelitian ini. Penggunaan *Static Var Compensator (SVC)* merupakan pemecahan masalah atau solusi untuk memperbaiki sistem yang sudah di perbaiki namun belum mendapatkan hasil yang lebih baik, respon yang cepat dan praktis untuk meningkatkan kualitas tegangan, karena tidak menutup kemungkinan untuk beberapa tahun mendatang kebutuhan beban listrik di Malang juga akan bertambah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsudi, D. "Oprasi Sistem Tenaga Listrik".2005.
 - [2] Taylor, C. W. "Reactive Power Compensation and Voltage Stability". 1994.
 - [3] Dugan, R. C. "Electrical Power Systems Quality ".2012.
 - [4] Ambriz Perez H, Acha E, and Fuerte Esquivel C. R. 2000. "*Advanced SVC Models for Newton-Raphson Load Flow and Newton Optimal Power Flow Studies*". IEEE Transaction on Power System, Vol. 15, No. 1, February
 - [5] Cekdin Cekmas, 2007. "*Sistem Tenaga Listrik*". Andi : Yogyakarta. Hal 4-11.
 - [6] Sayed Ahmad Galal, and Youssef Hosam K. M. "*Optimal Capacitor Placement on Interconnected Distribution System in Presence of Nonlinier Load Using Genetic Algorithms*". Electric power and machine Dept. Cairo Universty, Egypt.
 - [7] Kundur, Prabha, 1994. "*Power System Stability and Control*". Mc Graw-Hill Inc.
 - [8] Abidin, A. Z, "Analisis Penempatan Dan Penentuan Kapasitas *Static Var Compensator (SVC)* Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Dan Penurunan Rugi-Rugi Daya Pada Sistem 150 kV Bali", ITN Malang, Skripsi 2015.
-

LAMPIRAN



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : RAMA PUTRA
2. NIM : 1112020
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **ANALISIS PERBAIKAN KESTABILAN TEGANGAN
MENGUNAKAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)* PADA
SISTEM TRANSMISI 70 kV - 150 kV APP MALANG**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

- Hari : Selasa
Tanggal : 18 Agustus 2015
Dengan Nilai : 77,1 (B+)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

(M. Ibrahim Ashari, ST. MT.)

NIP.P.1030100358

Sekretaris Majelis Penguji

(Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST. MT.)

NIP. P. 1030100361

Anggota Penguji

Penguji I

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda. MT)

NIP. Y. 1018800189

Penguji II

(Ir. M. Abdul Hamid. MT.)

NIP. P. 1018800188



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari/Tanggal : Rabu, 18 Februari 2015

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : Rama Putra
NIM : 1112020
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : Analisis Perbaikan Kestabilan Tegangan
Menggunakan *Static Var Compensator (SVC)*
Pada Sistem Transmisi 70 kV -150 kV APP Malang

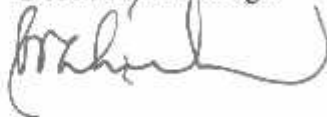
| No | Materi Perbaikan | Ket |
|----|---|-----|
| 1. | Judul tabel rata tengah | B4 |
| 2. | Analisa sesuai dengan rekomendasi setelah di load flow dan OCP dengan pemasangan SVC di Gampingan dan SVC di turen serta SVC di Gampingan dan Turen | B4 |
| 3. | Semua menggunakan huruf times new roman | B4 |
| 4. | Kesimpulan disesuaikan dengan yang dianalisa | B4 |

Dosen Penguji I


Ar. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.

NIP. Y. 1018800189

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

NIP.Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II



Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.

NIP. P. 1031400472



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari/Tanggal : Rabu, 18 Februari 2015

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : Rama Putra
NIM : 1112020
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **Analisis Perbaikan Kestabilan Tegangan
Menggunakan *Static Var Compensator (SVC)*
Pada Sistem Transmisi 70 kV -150 kV APP Malang**

| No | Materi Perbaikan | Ket |
|----|--|-----|
| 1. | Abstrak ; Batasan masalah diperbaiki sesuai saran dosen penguji | |
| 2 | Istilah sistem Transmisi APP Malang 70-150 kV diganti sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang | |

Dosen Penguji II

Ir. M. Abdul Hamid, MT.
NIP. Y. 1018800189

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP. Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
NIP. P. 1031400472



MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI

SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2014-2015

Nama : Rama Putra
Nim : 1112020
Masa Bimbingan : Semester Genap 2014 – 2015
Judul : Analisis Perbaikan Kestabilan Tegangan Menggunakan
Static Var Compensator (SVC) Pada Sistem Transmisi
70 kV -150 kV APP Malang

| No. | Tanggal | Uraian | Paraf Pembimbing |
|-----|------------|--|------------------|
| 1 | 20-05-2015 | Konsultasi judul tentang SVC. | |
| 2 | 26-05-2015 | Konsultasi software pembuatan single line | |
| 3 | 29-05-2015 | Revisi judul SVC untuk perbaikan tegangan | |
| 4 | 01-06-2015 | ACC laporan | |
| 5 | 06-06-2015 | Konsultasi kapasitas SVC | |
| 6 | 09-07-2015 | Konsultasi penempatan dan langkah rekab hasil | |
| 7 | 13-07-2015 | ACC laporan progres | |
| 8 | 29-07-2015 | Konsultasi step rekab hasil dari pemasangan SVC dan penjabaran base case dan real case | |
| 9 | 06-08-2015 | Revisi konten laporan | |

Malang, Juli 2015

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE.
NIP.Y. 1018500108

Form.S-4b



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NIM : 1112020
Nama : Rama Putra
Masa bimbingan : Semester Genap Genap 2014 - 2015
Judul : Analisis Perbaikan Kestabilan Tegangan Menggunakan *Static Var Compensator (SVC)* pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang

| Tanggal | Uraian | Paraf |
|---------|--------|-------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Malang ,
Dosen pembimbing

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.Y. 1018500108



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

II (PERSERO) MALANG
NK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417838 Fax. (0341) 417834 Malang

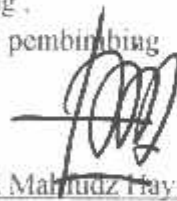
FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NIM : 1112020
Nama : Rama Putra
Masa bimbingan : Semester Genap Genap 2014 - 2015
Judul : Analisis Perbaikan Kestabilan Tegangan Menggunakan *Static Var Compensator (SVC)* pada Sistem Transmisi 70 kV-150 kV APP Malang

| Tanggal | Uraian | Paraf |
|----------------|--|-------|
| 20 Mei - 15 | - konsultasi judul tentang svc - perbaikan penulisan makedalah | p. |
| 26 Mei - 15 | - konsultasi software perubahan surge line | p. |
| 29 Mei - 15 | Revisi judul untuk perbaikan kestabilan tegangan | p. |
| 1. Juli - 05 | - uraian permasalahan yg terjadi pada app malang - solusi yg dilakukan | } |
| | - solusi yg dilakukan ? - solusi yg di kawatirkan ? | |
| | - apabila ingin mengimplementasikan svc pada lebar busbar yang berkaitan ke urutan svc | |
| | - cara atau metode yg di gunakan untuk menentukan lebar dan kapasitas svc | |
| 8 Juli - 15 | - Acc Bab I | p. |
| 9 Juli - 15 | - Revisi Abstrak makedalah seminar Progres - Revisi penamaan Garuda yang dgn di tingkat | p. |
| 13 - Juli - 15 | - Acc makedalah seminar Progres | p. |

| | | |
|-----------|---|----|
| 29-Jul-15 | - bab II Landasan teori harus relevan dgn topik yg diangkat yaitu sva | p. |
| 3-Aug-15 | - Revisi penulisan bab IV - urutan Rekab Long Flow | p. |
| 9-Aug-15 | - Revisi penulisan bab IV | p. |
| 15 Aug-15 | ACC bab IV - Semunar hasil | p. |
| 20 Aug-15 | - Revisi kesimpulan bab V - Revisi penulisan ke semua bab | p. |
| 22 aug-15 | - Revisi abstrak dan pendahuluan - Revisi jurnal sebelum kompre | p. |
| 29 aug-15 | - Revisi daftar pustaka - Revisi dan penulisan daftar isi | p. |
| 3-sept-15 | - Revisi daftar gambar dan penjelasan Aturan pada gambar laporan. | p. |
| | | |

Malang,
Dosen pembimbing



Lauhil Mahidz Hayusman, ST, MT
NIP.P.1031400472