

**ANALISA PENEMPATAN *STATIC VAR COMPENSATOR*  
UNTUK MEREDUKSI RUGI – RUGI DAYA  
MENGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM*  
PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV PT.PLN (PERSERO) UPT.MALANG**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*



Disusun Oleh :  
**BAYU KUSUMARANI**  
NIM : 0412034



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

**2010**

ANALISA KEMAMPUAN SISTEM NUTRISI  
UNTUK MEMBUKSI RUCI - RUCI DATA  
MEMBUKSI RUCI METODE GENETIC ALGORITHM  
PADA SARAN TRANSMISI 100 KV PT. PLN (PERSERO) UP. MALANG

## SINGKAT

Ditujukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan  
Gelar Sarjana Teknik Elektro (S-1)

Dibaca Oleh :

WABU KURNIAWATI

NIM : 0412004

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONDISI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2010

# LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENEMPATAN *STATIC VAR COMPENSATOR*  
UNTUK MEREDUKSI RUGI – RUGI DAYA  
MENGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM*  
PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV PT.PLN (PERSERO) UPT.MALANG**

## SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Energi Listrik Strata Satu (S-1)*

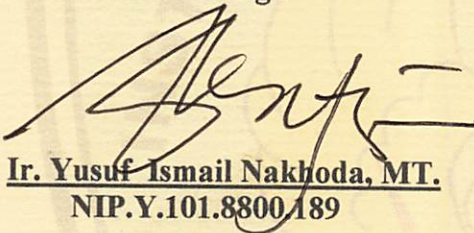
**Disusun Oleh :**

**BAYU KUSUMARANI**

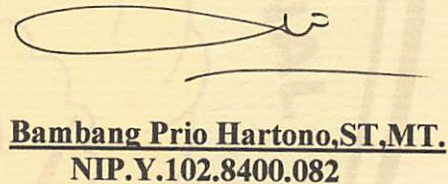
**NIM : 0412034**

**Diperiksa dan Disetujui,**

**Pembimbing I**

  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.**  
**NIP.Y.101.8800.189**

**Pembimbing II**

  
**Bambang Prio Hartono,ST,MT.**  
**NIP.Y.102.8400.082**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**  
  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.**  
**NIP.Y.101.8800.189**

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

**2010**

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucap syukur kehadirat ALLAH SWT yang telah memberikan petunjuk, berkah dan rahmat-Nya, dan juga yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, bimbingan dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :

**ANALISA PENEMPATAN *STATIC VAR COMPENSATOR*  
UNTUK MEREDUKSI RUGI – RUGI DAYA  
MENGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM*  
PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV PT.PLN (PERSERO) UPT.MALANG**

Pembuatan skripsi ini disusun guna memenuhi syarat akhir kelulusan pendidikan jenjang Strata Satu (S-1) di Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan baik moril maupun materiil, saran dan dorongan semangat dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayahanda Abdul Djalal dan Ibunda Sarmini tercinta.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku rektor ITN Malang
3. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
4. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
5. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Bambang Prio Hartono, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II.

7. Semua teman – teman laboratorium SSTE dan pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak yang perlu disempurnakan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata, penulis mohon maaf kepada semua pihak bilamana selama penyusunan skripsi ini penyusun membuat kesalahan secara tidak sengaja dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2010

Penulis

## ABSTRAKSI

### ANALISA PENEMPATAN *STATIC VAR COMPENSATOR* UNTUK MEREDUKSI RUGI – RUGI DAYA MENGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM* PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV PT.PLN (PERSERO) UPT.MALANG

**BAYU KUSUMARANI**  
Konsentrasi Teknik Energi Listrik  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang  
Jl. Raya Karanglo Km 2, Malang  
Email : [Bayu\\_kusumarani@Engineer.com](mailto:Bayu_kusumarani@Engineer.com)

Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
Bambang Prio Hartono.ST,MT

*Peristiwa voltage collapse adalah perubahan penurunan nilai tegangan akibat pembebanan bersifat induktif pada suatu feeder yang dapat merambat ke feeder lainnya, juga disebabkan oleh saluran yang cukup panjang yang selanjutnya diikuti penurunan nilai tegangan secara cepat serta bersamaan yang dapat mengakibatkan pemadaman (black out) pada suatu daerah interkoneksi sistem tenaga listrik. Bagaimana mencari cara alternatif untuk mengurangi akibat dari meningkatnya arus reaktif ini dengan cara memasang Static VAR Compensator di dalam sistem saluran transmisi.*

*Penentuan lokasi penempatan Static VAR Compensator (SVC) sekaligus kapasitasnya untuk pencegahan voltage collapse dapat menggunakan metode Genetic Algorithm (GA). Hasil Simulasi menunjukkan terjadi perbaikan kualitas tegangan setelah pemasangan SVC hingga ke batas-batas toleransi. Adapun variasi tegangan pelayanan yang diizinkan adalah sebesar, maximum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya berdasarkan standar SPLN<sup>[1]</sup>.*

*Setelah melakukan simulasi dan analisis hasil simulasi menunjukkan kompensasi SVC dapat mereduksi rugi – rugi daya dan dapat memperbaiki kualitas tegangan yang diimplementasikan pada saluran Transmisi 150kV UPT.Malang terletak pada bus 8. Pada bus 8 Sengkaling terjadi kenaikan tegangan dari 133,47 kV menjadi 140.068 kV atau perbaikan tegangan sebesar 5,26% setelah dipasang SVC.*

**Kata kunci** : *Voltage Collapse, Static VAR Compensator (SVC), Genetic Algorithm (GA).*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAKSI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penulisan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Metode Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TEORI DASAR .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Umum .....	7
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	8

2.2.1	Sistem Distribusi Primer .....	9
2.3	Daya dalam Sistem Tenaga Listrik .....	10
2.3.1	Daya aktif ( <i>Active Power</i> ) .....	10
2.3.2	Daya Reaktif ( <i>Reactive Power</i> ) .....	10
2.3.3	Daya Semu ( <i>Apparent Power</i> ) .....	11
2.3.4	Power Factor .....	11
2.4	Jatuh Tegangan ( <i>Voltage Drop</i> ) .....	12
2.5	Jatuh Tegangan Dalam Persen .....	14
2.6	Kestabilan Tegangan .....	16
2.6.1	Definisi dan Klasifikasi Kestabilan Tegangan .....	16
2.6.2	Klasifikasi Kestabilan Tegangan .....	17
2.7	Mekanisme <i>Voltage Collapse</i> .....	18
2.8	Transmisi Daya Reaktif .....	19
2.9	Metode Analisis Kestabilan Tegangan .....	22
2.9.1	Analisis Load Flow .....	23
2.9.2	Analisis Modal ( <i>Eigenvalue</i> ) .....	24
2.10	Static VAR Compensator (SVC) .....	27
2.11	Tipe-Tipe Static VAR Compensator .....	29



2.11.1 Thyristor Controlled Reactor (TCR).....	29
2.11.2 Thyristor Switched Capacitor (TSC) .....	31
2.11.3. Prinsip Kerja SVC .....	32
2.12 Pengaturan Tegangan Sistem .....	33
2.13 Rumus Pendekatan untuk Pengaturan Tegangan .....	35
2.14 Genetic Algorithm (GA) .....	37
2.15 Genetic Algorithm (GA) Konvensional .....	38
2.16 Penentuan Parameter Genetic Algorithm (GA) .....	39
2.17 Proses Genetic Algorithm .....	41
2.17.1 Pengkodean .....	41
2.17.2 Fungsi Objektif .....	42
2.17.3 Metode Seleksi .....	43
2.17.4 Pindah Silang (Crossover) .....	44
2.17.5 Mutasi (Mutation) .....	45
2.18 Implementasi Genetic Algorithm pada Voltage Collapse .....	46
2.18.1 Pengkajian Masalah .....	47
2.18.2 Fungsi Obyektif .....	47
2.19 Flowchart Proses Pencarian Genetic Algorithm .....	48

<b>BAB III DATA PT. PLN(PERSERO) UPT MALANG DANSIMULASI.....</b>	<b>50</b>
3.1 Data Bus Transmisi 150 kV .....	53
3.2 Data Saluran .....	51
3.3 Kapasitor Statis Terpasang GI Kebon Agung UPT Malang .....	59
3.4 <i>Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation</i> .....	59
3.5 Memulai <i>PSCAD/EMTDC Power Simulation</i> .....	61
3.6 Input Data Dalam <i>PSCAD/EMTDC Power Simulation</i> .....	64
3.7 <i>Software</i> MATLAB .....	64
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>68</b>
4.1 Data Program PSCAD Setelah Menggunakan SVC .....	68
4.2 Hasil Simulasi Menggunakan <i>Software MATLAB 7.04</i> .....	73
4.3 Hasil perhitungan aliran daya pada Sistem 150kV UPT.MALANG .....	76
4.5 Hasil Simulasi Menggunakan Kompensator SVC .....	77
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>78</b>
5.1 Kesimpulan .....	78
5.2 Saran .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>79</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>80</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penjelasan Istilah Genetic Algorithm .....	39
Tabel 3.1	Data Tegangan Bus Gardu Induk.....	52
Tabel 3.2	Data Pembebanan Bus Gardu Induk.....	54
Tabel 3.3	Data Impedansi Pada Transmisi 150kV UPT.Malang.....	55
Tabel 3.4	Data Penghantar Impedansi Transmisi .....	56
Tabel 3.5	Hasil Penghitungan Impedansi Penghantar .....	58
Tabel 3.6	Data Statis GI Kebun Agung UPT Malang .....	59
Tabel 4.1	Tegangan Pada Bus Sistem 150 kV Sebelum dipasang SVC.....	72
Tabel 4.2	Perbandingan Pembebanan Setelah dipasang SVC .....	75
Tabel 4.3	Tegangan Pada Bus Sistem 150 kV Sebelum dipasang SVC.....	76
Tabel 4.4	Perbedaan Hasil Tegangan Setelah Pemasangan SVC Pada Masing-masing Bus .....	77
Tabel 4.5	Perbedaan Hasil Tegangan Setelah Pemasangan SVC Pada Bus 8 .	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Penyaluran Sistem Transmisi Tenaga Listrik .....	9
Gambar 2.2	Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan .....	10
Gambar 2.3	Segitiga Daya .....	12
Gambar 2.4	Saluran Transmisi Jarak Pendek .....	13
Gambar 2.5	Profil Tegangan Saluran Transmisi Jarak Pendek .....	15
Gambar 2.6	<i>Single line</i> model sistem tenaga .....	20
Gambar 2.7	<i>Static VAR Compensator</i> .....	28
Gambar 2.8	Konfigurasi SVC (TCRs – FC) .....	30
Gambar 2.9	Keadaan steady state karakteristik V – I .....	32
Gambar 2.10	Line diagram <i>Static VAR Compensator</i> .....	33
Gambar 2.11	Rangkaian ekivalen dari beban dan sistem supply .....	34
Gambar 2.12	Karakteristik dari Tegangan Supply Sistem .....	36
Gambar 2.13	Pengkodean dalam <i>Genetic Algorithm</i> .....	42
Gambar 2.14	Roda Roulette ( <i>Roulette Wheel</i> ) .....	44
Gambar 2.15	Single point crossover .....	45
Gambar 2.16	<i>Flowchart</i> Proses Pencarian <i>Genetic Algorithm</i> .....	49
Gambar 3.1	Gambar single Diagram Transmisi 150 kV UPT Malang Sebelum Penambahan Saluran.....	51
Gambar 3.2	Single Diagram Transmisi 150 kV UPT Malang Sesudah Penambahan Saluran.....	51
Gambar 3.3	Tampilan utama <i>Software PSCAD/EMTDC Power Simulation ...</i>	61
Gambar 3.4.	Tampilan <i>Master Library</i> .....	62

Gambar 3.5.	Tampilan Modul Utama.....	62
Gambar 3.6.	Tampilan contoh <i>Single Line</i> dalam <i>PSCAD</i> .....	63
Gambar 3.7.	Tampilan Input Data Fixed Load.....	63
Gambar 3.8..	Flowchart Pemecahan Masalah Menggunakan Software PSCAD	68
Gambar 3.9..	Tampilan Awal MATLAB Versi 7.0.4. ....	66
Gambar 3.10.	Matriks Bilangan Kompleks .....	66
Gambar 3.11.	Flowchart optimasi SVC menggunakan GA.....	67
Gambar 4.1.	Tegangan pada Bus 1 .....	69
Gambar 4.2.	Tegangan pada Bus 2 .....	69
Gambar 4.3.	Tegangan pada Bus 3 .....	69
Gambar 4.4.	Tegangan pada Bus 4 .....	70
Gambar 4.5.	Tegangan pada Bus 5 .....	70
Gambar 4.6.	Tegangan pada Bus 6 .....	70
Gambar 4.7.	Tegangan pada Bus 7 .....	71
Gambar 4.8.	Tegangan pada Bus 8 .....	71
Gambar 4.9.	Tegangan pada Bus 9 .....	71
Gambar 4.10.	Tegangan pada Bus 10 .....	72
Gambar 4.11	Plot Optimasi menggunakan GA .....	73
Gambar 4.12	Penempatan SVC pada Bus 8 Sengkaling menggunakan PSCAD	74
Gambar 4.13	Pembebanan Daya pada Bus system Saluran Transmisi 150 kV PT.PLN(PERSERO) UPT.MALANG .....	74
Gambar 4.14	Perbandingan Tegangan Setelah Pemasangan SVC Pada Bus 8 ..	76
Gambar 4.15	Perbandingan Tegangan Setelah Pemasangan SVC Pada Bus 8 ..	76

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang.

Konsumsi energi listrik di kota Malang terus meningkat, sedangkan kapasitas pembangkit tenaga listrik beserta komponen-komponen lainnya tidak sebanding dengan peningkatan jumlah pertumbuhan beban. Sumber PT.PLN (PERSERO) menunjukkan data pembebanan terjadi peningkatan pemakaian daya reaktif, kenaikan beban reaktif yang tidak seimbang dapat mengakibatkan susut tegangan (*voltage drop*), faktor daya yang rendah sepanjang jaringan, dan panas (*kalor*) di sekeliling kawat penghantar yang secara keseluruhan berpengaruh terhadap berkurangnya kemampuan penyaluran daya oleh pembangkit listrik.

Peningkatan daya listrik yang disalurkan dari sisi pengiriman (*voltage sending*) ke sisi terima (*voltage receiving*) terutama pada jaringan transmisi yang panjang akan berdampak negatif terhadap tegangan lebih (*over voltage*) pada sisi beban yang paling dekat dengan pusat pembangkit, demikian juga sebaliknya akan terjadi penurunan tegangan (*voltage drop*) pada ujung jaringan transmisi, normal (0,95 – 1,05 pu) <sup>[1]</sup>. Adapun variasi tegangan pelayanan yang diizinkan adalah sebesar, maximum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya berdasarkan standar SPLN <sup>[1]</sup>.

Saat ini, sejalan dengan perkembangan teknologi elektronika daya, *Flexible AC Transmission Systems (FACTS) Device* sudah banyak digunakan sebagai

peralatan kontrol untuk meningkatkan kemampuan transfer daya pada sistem transmisi. SVC adalah salah satu tipe FACTS Device (*Flexible AC Transmission System*) yang terdiri dari komponen reaktor dan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, serta dilengkapi peralatan elektronika daya sebagai *device switching*, berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi berjarak jauh dan berbeban tinggi (*heavily loaded* ). Fungsi SVC diperoleh dengan menggunakan thyristor yang secara cepat dapat menghubungkan atau memutuskan induktor ataupun kapasitor pada jaringan transmisi <sup>[8]</sup>.

Pada penelitian ini digunakan metode *Genetic Algorithm (GA)* yang dapat menjadi salah satu alternatif untuk penempatan SVC pada Sistem Daya PT.PLN (PERSERO) Malang secara optimal. GA digunakan untuk menentukan letak dari SVC yang tepat dan optimal dalam meminimalisasi rugi-rugi pada saluran transmisi, serta mengurangi penyimpangan tegangan pada transmisi untuk mendapatkan profil tegangan yang optimal, dengan demikian kualitas sistem tenaga listrik yang baik dapat dicapai.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan, yaitu:

- Bagaimana mencari cara alternatif untuk mengurangi akibat dari meningkatnya arus reaktif ini dengan cara memasang *Static VAR Compensator* di dalam sistem saluran transmisi .
- Metode *Genetic Algorithm* yang bertujuan untuk mencari letak penempatan yang optimal pada jaringan tenaga listrik transmisi 150kV UPT.Malang.

### **1.3 Tujuan.**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk menganalisa penempatan SVC yang optimal pada sistem dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) agar diperoleh letak penempatan yang optimal dalam memberikan kompensasi daya reaktif sesuai dengan kebutuhan beban sehingga diperoleh profil tegangan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan untuk meningkatkan kualitas daya listrik.

### **1.4 Batasan Masalah**

Agar permasalahan mengarah sesuai dengan tujuan, maka pembahasan skripsi ini dibatasi hal - hal berikut :

- Sistem analisis dilakukan di saluran transmisi 150 kV UPT Malang.
- Analisa penentuan letak SVC dengan metode *Genetic Algorithm* (GA) menggunakan *software* MATLAB / SIMULINK v.7.0.4.
- Pehitungan dan simulasi dilakukan *software* PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation.



## 1.5 Metodologi Pemecahan Masalah

Metode yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah :

1. Studi literatur berupa pengumpulan dan pembahasan referensi yang berkaitan dengan pokok pembahasan masalah ini, sehingga membantu dalam memahami dasar-dasar dari peralatan yang digunakan dalam sistem dan membantu dalam memahami prinsip dan karakteristik setiap parameter elektronika daya yang digunakan.
2. Pengumpulan data lapangan sebagai objek penelitian :
  - Data kuantitatif yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka.
  - Data kualitatif yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini adalah *single line diagram* instalasi pada saluran transmisi 150 kV UPT Malang.
3. Melakukan analisa simulasi dengan menggunakan *software* MATLAB / SIMULINK v.7.0.4
  - Analisa penentuan letak *Static VAR Compensator* (SVC) menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).
  - Analisa pengaruh pemasangan *Static VAR Compensator* (SVC) terhadap sistem, diantaranya perbaikan profil tegangan, dan mengurangi rugi-rugi daya.
4. Melakukan analisis berdasarkan hasil simulasi program PSCAD/EMTDC V42.0 *Power Simulation*.

- Analisis aliran daya aktif dan reaktif.
  - Analisis profil tegangan sistem.
  - Analisa dan pembahasan
5. Mengambil kesimpulan dari perbandingan sistem yang menggunakan alat kompensasi *Static Var Compencator* ( SVC ) dan dengan tanpa menggunakan *Static Var Compencator* ( SVC ).

## **1.6 Sistematika Penulisan.**

Sistematika dari pembahasan didalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

### **A. SISTEMATIKA PENULISAN**

Pada penyusunan skripsi ini terdiri dari lima bab dengan sistematika pembahasan disusun sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi penguraian tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian dan Sistematika Penulisan.

#### **BAB II : LANDASAN TEORI**

Pada bagian ini berisi mengenai pengenalan tentang sistem tenaga listrik arus bolak-balik, sistem penyaluran tenaga listrik, pengertian jatuh tegangan, pengaruh daya reaktif terhadap sistem, perbaikan tegangan, studi aliran daya (*load flow*) dengan metode *Newton Raphson*, tentang

*Static VAR Compensator (SVC)*, *Genetic Algorithm (GA)* sebagai metode optimasi penempatan SVC, dan sekilas tentang *software* MATLAB v.7.0.4 sebagai pendukung.

### **BAB III : DATA TRANSMISI SALURAN 150kV PT. PLN (PERSERO) UPT MALANG DAN SIMULASI**

Pada bab ini akan membahas mengenai data lapangan yang berupa data peralatan dan pembebanan yang akan digunakan sebagai inputan sehingga parameter yang digunakan dalam menganalisis performansi sistem dengan *software* MATLAB / SIMULINK v.7.0.4 dapat dilakukan, kemudian dilakukan validasi program sebagai pembanding.

### **BAB IV : ANALISIS SISTEM DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini membahas tentang studi aliran daya dari sistem Saluran transmisi UPT, Malang dan optimasi penempatan *Static VAR Compensator (SVC)* yang akan dianalisis menggunakan metode *Genetic Algorithm (GA)*, serta perbandingan profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan *Static VAR Compensator (SVC)*.

### **BAB V : PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil simulasi.

## **BAB II**

### **TEORI DASAR**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem yaitu :

1. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai prodaktor energi.
2. Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit ke bagian sistem distribusi.
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

Pada sistem tenaga listrik modern yang terdiri dari multi mesin, jaringan transmisi yang terinterkoneksi yang panjang, serta meliputi areal bus beban yang luas dengan berbagai karakteristik tipe beban yang berbeda-beda, hal tersebut memposisikan kondisi sistem tenaga yang kompleks dan rumit. Bila terjadi perubahan kondisi operasional peningkatan beban berpengaruh kepada penurunan magnitude tegangan (*voltage instability*) yang tidak dapat dikendalikan, maka akan ikut mempengaruhi performansi stabilitas sistem tenaga listrik secara

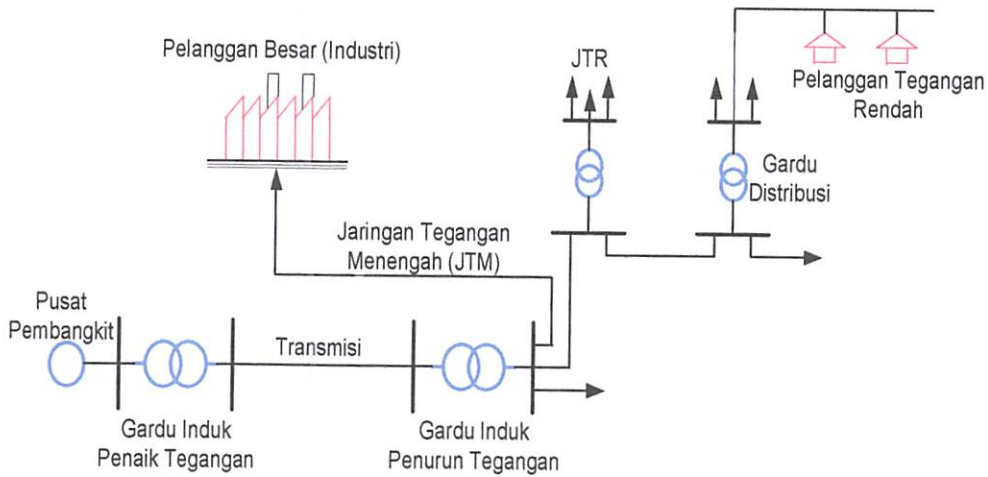
keseluruhan. Solusi untuk mengembalikan magnitude tegangan sistem pada kondisi steady state dibutuhkan peralatan bantu (*compensator*) seperti :

1. FACTS Device.
2. Under – Load Tap Charging (ULTC) Transformer.
3. Generator.

Berdasarkan sifat dan besar gangguan, dikenal tiga jenis kestabilan yaitu; kestabilan transient (*transient stability*), kestabilan dinamik (*dynamic stability*), dan kestabilan mantap (*steady state stability*)<sup>[6]</sup>. Kestabilan transient dimaksudkan sebagai kemampuan sistem untuk mempertahankan sinkronisasi setelah terjadi gangguan yang besar, seperti lepas (*disconnect*) unit pembangkit, gangguan pada jaringan transmisi atau pemutusan (*switching*) saluran, akan menyebabkan perubahan beban yang besar dan seketika. Sedangkan kestabilan mantap dan kestabilan dinamik dimaksudkan sebagai kemampuan sistem untuk mempertahankan sinkronisasi Setelah terjadi gangguan yang kecil dan bertahap.

## **2.2. Sistem Transmisi Tenaga Listrik**

Jaringan transmisi berada pada awal dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke gardu distribusi.



Gambar 2.1  
Skema Penyaluran Tenaga Listrik

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

### 2.3 Saluran Transmisi Tenaga Listrik ( STTL )<sup>[3]</sup>.

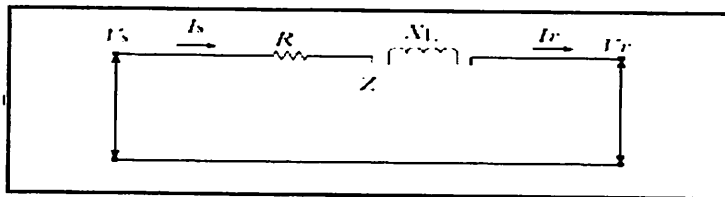
Saluran transmisi direpresentasikan sesuai dengan kelas transmisi.

Representasi saluran transmisi berdasarkan jarak terbagi atas 3 kelas yaitu :

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

Sebenarnya klasifikasi tersebut sangat kabur dan sangat relatif. Klasifikasi STTL harus didasarkan pula atas besar-kecilnya kapasitansi antar fasa atau kapasitansi fasa ke tanah. Dalam hal ini pembagian kelas saluran transmisi

berhubungan dengan besarnya kapasitansi saluran ke tanah. Kapasitansi ke tanah merupakan fungsi jarak dari saluran transmisi. Untuk saluran transmisi pendek maka besarnya kapasitansi ke tanah dapat diabaikan. Untuk saluran menengah besarnya harga kapasitansi tidak diabaikan, namun belum terlalu besar sehingga kapasitansi ke tanah dapat dianggap terpusat (*lumped capacitance*). Untuk transmisi panjang maka besarnya harga kapasitansi tidak dapat dianggap terpusat melainkan terbagi merata disepanjang saluran. Pada saluran transmisi pendek kapasitansi saluran diabaikan sehingga rangkaian pengganti saluran hanya terdiri dari R dan XL.



Gambar 2.2. Rangkaian Setara Saluran Transmisi Pendek

Dimana:  $V_s$  = tegangan pada ujung kirim atau ujung generator.

$I_s$  = arus pada ujung kirim atau ujung generator

$V_r$  = tegangan pada ujung terima atau ujung beban

$I_r$  = arus pada ujung terima atau ujung beban

$Z$  = impedansi saluran

Hubungan antara tegangan dan arus sebagai berikut:

$$V_s = V_r + ZI_r \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$I_r = I_s \dots\dots\dots (2.2)$$

Ada juga klasifikasi berdasarkan tegangan kerja. Makin tinggi tegangan kerja, kemungkinan timbulnya korona juga makin besar. Korona ini akan memperbesar kapasitansi sehingga akan memperbesar arus bocornya pula. Pada transmisi tegangan rendah berkapasitas arus tinggi, akan terjadi jatuh tegangan di jaringan transmisi yang disebabkan oleh rugi-rugi jaringan transmisi. Namun pada transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi (kapasitas arus rendah) kondisi yang berbeda terjadi. Pada transmisi tegangan tinggi, kejatuhan tegangan akan sedikit terkompensasi karena pembangkitan daya reaktif yang disebabkan efek kapasitansi kabel transmisi. Tetapi pada transmisi tegangan ekstra tinggi, efek kapasitansi kabel transmisi lebih dominan terhadap rugi-rugi kabel transmisi yang menyebabkan tegangan akan selalu naik pada sisi penerima.

**2.4 Daya dalam Sistem Tenaga Listrik**

**2.4.1. Daya aktif (*Active Power* )**

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = [ V ] [ I ] \cos \varphi \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

V = tegangan

I = Arus

P = Daya rata-rata yang disebut juga daya aktif.



#### 2.4.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (VAR).

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q = [ V ] [ I ] \sin \varphi \quad (2.2)$$

Dua macam daya reaktif yaitu : daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja, tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat seperti motor induksi, transformator dan sebagainya.

#### 2.4.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

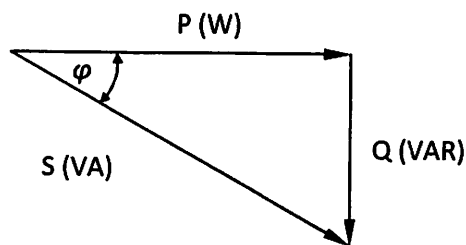
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

#### 2.4.4. Power Factor

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dan daya semu, dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata(kW)}}{\text{Daya Semu(kVA)}}$$

Untuk daya sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vektor berikut:



Gambar 2.3. Segitiga Daya

Dengan Faktor Daya:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{W}{VA}$$

$$W = VA \cdot \cos \varphi$$

$$VAR = VA \cdot \sin \varphi = W \cdot \tan \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{VAR}{W}$$

dengan :

Cos  $\varphi$  = Faktor Daya

P = Daya Nyata (W)

S = Daya Semu (VA)

Q = Daya Reaktif (VAR)

## 2.5 Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)<sup>[2]</sup>

Jatuh tegangan yang terjadi pada saluran transmisi 150 kV diakibatkan oleh nilai resistansi dan reaktansi dari saluran. Gambar 2.7 menerangkan bahwa nilai resistansi terhubung seri terhadap nilai reaktansi. Sehingga besar jatuh tegangan dapat diketahui melalui analisis perhitungan.

Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada:

• Penyulang utama	7%
• Trafo distribusi	4%
• JTR	5%
• Sambungan Rumah	2%
<hr/>	
Jumlah	18%

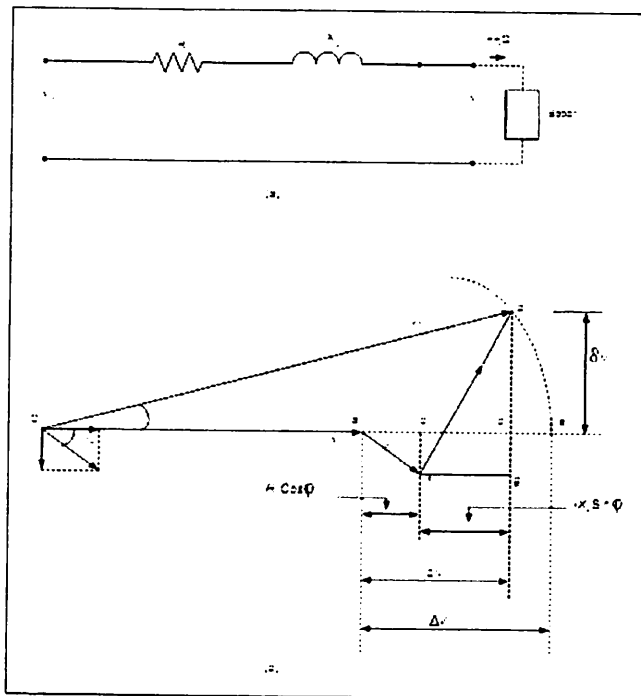
Sesuai dengan definisi, jatuh tegangan adalah :

$$\Delta V = |V_k| - |V_t| \quad (2.1)$$

Dengan,

$V_k$  = nilai mutlak tegangan ujung kirim

$V_t$  = nilai mutlak tegangan ujung terima



Gambar 2.4. Saluran Distribusi Jarak Pendek  
(a) Rangkaian ekivalen, (b) Pasor diagram

Gambar 2.4.(b) merupakan diagram pasor dari Gambar 2.4.(a), dengan titik O sebagai titik pusat dari lingkaran dengan jari-jari  $O_d = V_k$ , kita buat lingkaran, sehingga memotong perpanjangan  $V_t$  pada titik e.

$$\text{Jadi } V_k = Oe = Oa + ac + ce$$

Oleh karena  $ce \ll V_k$ ;  $ce$  dapat diabaikan, sehingga  $V_k \approx ac + Oa$

Selanjutnya,  $Oa = V_t$ ;  $ac = ab + bc$  dimana

$$ab = IR \cos \varphi_t \text{ dan } bc = IX_L \sin \varphi_t ;$$

sehingga:

$$ac = dV = IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t$$

Selanjutnya  $V_k$ , dapat ditulis dalam bentuk:

$$V_k \approx V_t + dV$$

$$\approx V_t + IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t$$

Atau

$$V_k - V_t \approx IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t$$

Sesuai dengan definisi di atas:

$$\Delta V \cong |V_k| - |V_t| \text{ maka didapat :}$$

$$\Delta V \cong IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t \quad (2.2)$$

## 2.6 Jatuh Tegangan Dalam Persen

Jatuh tegangan dalam persen, menurut definisi<sup>[1]</sup> :

$$\left(\frac{\Delta V}{V_t}\right) \% = \frac{|V_k| - |V_t|}{V_t} \times 100\%$$

$V_t$  biasanya diambil tegangan sistem yang bersangkutan, dalam hal ini  $V_f$  yang merupakan tegangan fasa sistem. Jadi persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk :

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = \frac{\Delta V}{V_f} \times 100\%$$

Menurut persamaan (2.1) maka diperoleh:

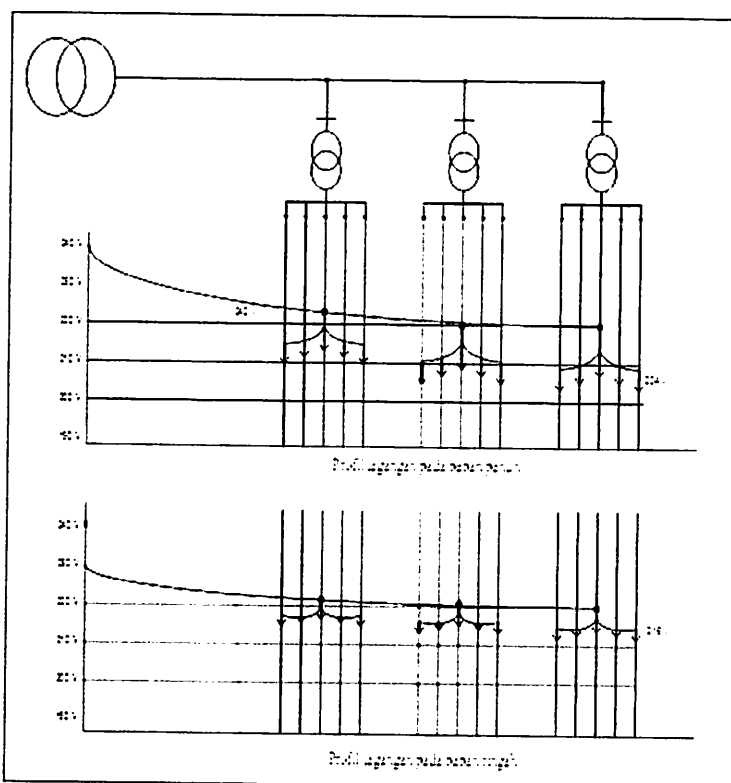
$$\Delta V = |V_k| - |V_t| \cong IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t$$

Sehingga persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = (\Delta V)\% \cong \frac{IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t}{V_f} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan,  $V_f$  adalah tegangan fasa nominal atau tegangan pineal dari sistem yang bersangkutan.

Telah dikatakan sebelumnya bahwa tegangan pelayanan yang diterima oleh pelanggan tidak dapat konstan yang disebabkan oleh banyak faktor.



Gambar 2.5. Profil Tegangan Saluran Distribusi Jarak Pendek

Adapun variasi tegangan pelayanan yang di izinkan adalah sebesar, maximum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya berdasarkan standar SPLN<sup>[1]</sup>.

Dari Gambar 2.5 dapat diketahui variasi tegangan pelayanan pada beban penuh yang terdekat dengan sumber maupun beban yang terjauh dari sumber.

## 2.7 Kestabilan Tegangan

### 2.7.1. Definisi dan Klasifikasi Kestabilan Tegangan <sup>[6]</sup>.

Stabilitas sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan sistem. Kestabilan tegangan juga biasa dikenal dengan kestabilan beban (*load stability*). Pada keadaan operasional yang stabil dari sistem tenaga listrik, terdapat keseimbangan antara daya input mekanis pada penggerak mula (*prime mover*) dengan daya output listrik pada sistem.

Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan adalah ketidakmampuan sistem untuk memenuhi permintaan daya reaktif pada kondisi sistem yang dibebani terlalu berat<sup>[3,6]</sup>. Faktor lain yang memberikan kontribusi pada kestabilan tegangan adalah batas pembangkitan daya reaktif generator, karakteristik beban. Karakteristik peralatan kompensasi daya reaktif dan aksi dari peralatan pengontrol tegangan. Karakteristik reaktif saluran transmisi, transformator, membatasi transfer daya maksimum ke beban<sup>[6]</sup>. Sistem tenaga kurang mampu dalam mentransfer daya reaktif melalui saluran transmisi yang sangat panjang karena rugi-rugi daya yang semakin membesar.

Peningkatan dinamik terhadap pemakaian maupun pelepasan, secara simultan kebutuhan daya reaktif beban ke sistem dalam rating daya yang besar (*heavy loading*) akan menyebabkan fluktuasi tegangan dan frekuensi sistem. Fluktuasi tegangan yang melewati konstrain (0,95 – 1,05 pu) dapat mempengaruhi instability tegangan sistem.

Ketidakstabilan sistem tegangan yang disebabkan oleh over load beban bersifat induktif dapat menurunkan kemampuan daya reaktif, yang pada akhirnya akan menempatkan sistem pada kondisi *voltage collapse* dan akan terjadi kemungkinan terburuk yaitu terjadi pemadaman (*black out*).

### 2.7.2. Klasifikasi Kestabilan Tegangan

Ketidakstabilan tegangan mempunyai jangka waktu dari beberapa mili detik hingga belasan detik.

Klasifikasi dua macam ketidakstabilan tegangan, yang dibagi menjadi tiga skenario :

1. Skenario 1 : Stabilitas tegangan *transient*. Jangka waktu adalah nol hingga sepuluh detik, yang juga merupakan jangka waktu stabilitas transient sudut rotor. *Voltage collapse* disebabkan aksi cepat komponen beban yang tidak diharapkan seperti motor induksi dan converter dc. Untuk beberapa macam kedip tegangan, kebutuhan daya reaktif pada motor induksi meningkat dan hal ini akan menyebabkan terjadinya *voltage collapse*.
2. Skenario 2 : Stabilitas tegangan *mid-term*. Jangka waktu beberapa menit, pada umumnya dua hingga tiga menit. Skenario ini melibatkan beban besar, transfer daya besar dari generator dan gangguan besar yang terjadi

secara tiba-tiba. Sistem ini stabil secara transient karena sensitivitas tegangan terhadap beban. Gangguan disebabkan lepas transfer daya dari salah satu generator (*generator outage*) atau lepas saluran utama transmisi (*transmission line outage*) menyebabkan rugi-rugi daya reaktif yang cukup besar dan tegangan *sags* pada tegangan transmisi lebih jauh lagi. Generator terdekat akan mengalami eksitasi berlebih dan mengalami beban lebih, tapi pembatas eksitasi berlebih akan mengembalikan arus medan ke harga awal.

3. Skenario 3 : Ketidakstabilan tegangan *longer-term*. Ketidakstabilan yang terjadi dalam jangka waktu yang lama, dipengaruhi peningkatan transfer daya ke beban meningkat sangat cepat dapat terjadi pada saat pagi atau siang hari dalam megawatt/menit. Tindakan operator untuk mengoperasikan perlengkapan daya reaktif atau load shedding, sangat diperlukan untuk mencegah ketidakstabilan tegangan. Faktor seperti limit waktu beban berlebih dan kehilangan tegangan akibat tegangan yang terlalu rendah akan menjadi sangat penting. Oleh karena itu diperlukan respon yang cukup cepat untuk menjaga kestabilan tegangan.

### **2. 7.3 Mekanisme *Voltage Collapse***

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga dalam menjaga keseimbangan antara kebutuhan daya beban dengan yang dapat dibangkitkan serta yang dapat di transfer ke pusat beban. Tiga faktor utama yang mempengaruhi ketidakstabilan tegangan sistem tenaga :



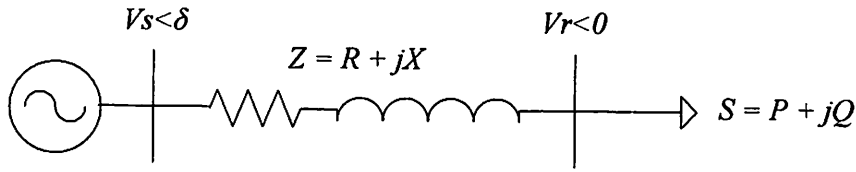
1. Kebutuhan beban (*load demand*),
2. Kemampuan jaringan transmisi (*transmission capacity*),
3. Kemampuan pusat pembangkit (*power station capacity*).

Ketidakstabilan tegangan sistem biasa disebabkan oleh gangguan atau perubahan pada operasional sistem, seperti peningkatan pemakaian daya reaktif. Indikasi peningkatan arus yang mengalir pada jaringan, level tegangan yang rendah dan perbedaan sudut daya relatif besar, hal ini mengindikasikan kondisi operasional pembebanan berat. Akibat pembebanan yang berat menyebabkan drop tegangan (*voltage drop*), hal ini secara perlahan memperkecil besaran tegangan (*voltage magnitude*) pada bus tersebut dan bus yang lain serta pada akhir secara cepat terjadi penurunan besaran tegangan secara bersamaan yang dikenal dengan istilah, *Voltage Collapse* <sup>[6]</sup>.

*Voltage collapse* merupakan indikator ketidakstabilan tegangan sistem, hal ini dapat mengakibatkan pemadaman (*black out*) suatu sistem tenaga listrik dalam wilayah yang sangat luas. Tanggal 18 Agustus 2005 selama 12 jam terjadi *black out* pada PT. PLN sistem 500kV Jawa – Bali yang meliputi Jawa Barat dan Jawa Tengah. Fenomena *voltage collapse* menjadi masalah serius di berbagai belahan dunia dan sudah banyak dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab terjadinya *black out* <sup>[3]</sup>.

## **2.8. Transmisi Daya Reaktif**

Model sistem tenaga listrik sederhana dijelaskan pada Gambar 2.9, sumber tegangan menyuplai daya ke beban melalui satu jaringan transmisi.



Gambar 2.6. Single line model sistem tenaga

Keterangan :

$V_s$  = Tegangan sisi kirim

$Z$  = Impedansi jaringan transmisi

$V_r$  = Tegangan sisi terima

$\delta$  = Perbedaan sudut phasor antara tegangan sumber dengan tegangan beban

$S$  = Daya semu pada sisi beban

Berdasarkan single line diagram pada Gambar 2.6, daya total transmisi dapat dituliskan sebagai berikut :<sup>[6]</sup>

$$\begin{aligned}
 S_r &= P_r + jQ_r = V_r \cdot I^* \\
 &= V_r \left[ \frac{V_s \cos \delta + j V_s \sin \delta - V_r}{jX} \right]^* \\
 &= \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta + j \left[ \frac{V_s V_r \cos \delta - V_r^2}{X} \right] \\
 P_r &= \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta = P_{max} \cdot \sin \delta \tag{2.4}
 \end{aligned}$$

$$Q_r = \left[ \frac{V_s V_r \cos \delta - V_r^2}{X} \right] \tag{2.5}$$

Dan pada sisi kirim :

$$P_s = \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta = P_{max} \cdot \sin \delta \tag{2.6}$$

$$Q_s = \frac{V_s^2 - V_s V_r \cos \delta}{X} \tag{2.7}$$

Dengan menganggap  $\cos \delta = 1$ , maka :

$$Q_r = \frac{V_r (V_s - V_r)}{X} \quad (2.8)$$

$$Q_s = \frac{V_s (V_s - V_r)}{X} \quad (2.9)$$

Dari persamaan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa transmisi daya reaktif bergantung penuh pada magnitudo tegangan dan mengalir dari tegangan yang lebih tinggi ke tegangan yang lebih rendah. Sedangkan daya nyata atau aktif bergantung penuh pada sudut daya.

Daya reaktif tidak bisa ditransmisikan melalui sudut daya yang besar meskipun disertai dengan magnitudo tegangan yang cukup. Kebutuhan akan variasi magnitudo tegangan kurang lebih 5% akan menyebabkan beberapa kesulitan. Berbeda dengan transfer daya nyata, daya reaktif tidak bisa ditransmisikan melalui jarak yang sangat panjang. Ada beberapa alasan untuk meminimalisasi transfer daya reaktif. Rugi daya nyata harus diminimalisasi untuk alasan ekonomi, rugi reaktif harus diminimalisasi untuk mengurangi investasi pada perangkat daya reaktif seperti kapasitor shunt.

Rugi – rugi sepanjang impedansi seri pada saluran transmisi adalah  $I^2 R$  dan  $I^2 X$ . untuk  $I^2$  dapat ditulis :

$$I^2 = I.I^* = [P - jQ/V^*] [P + jQ/V] = P^2 + Q^2/V^2$$

Dengan,

$$P_{rugi} = I^2 R = P^2 + Q^2/V^2 R \quad (2.10)$$

$$Q_{rugi} = I^2 X = P^2 + Q^2/V^2 X \quad (2.11)$$

Untuk meminimalisasi loses maka transfer daya reaktif harus dikurangi. Tegangan juga harus dijaga agar tetap tinggi, dengan menjaga tegangan tetap tinggi untuk meminimalisasi rugi reaktif agar supaya tegangan tetap stabil.

Meminimalisasi *over voltage* yang bersifat sementara akibat pelepasan beban juga merupakan alasan untuk meminimalisasi transfer daya reaktif. Kasus yang paling sering terjadi adalah terbukanya *circuit breaker* dengan saluran transmisi masih beroperasi.

Tegangan thevenin adalah :

$$E_{th} \angle \delta = V \angle 0 + jXI = V + jX \frac{P_r - jQ_r}{V} = V + \frac{XQ_r}{V} + j \frac{XP_r}{V} \quad (2.12)$$

Dari persamaan tersebut dan diagram fasor, terlihat bahwa kenaikan tegangan yang sephasa dengan V bergantung pada Q. Hal ini tentu akan menentukan nilai  $E_{th}$ . Sedangkan sudut  $\delta$  bergantung penuh pada P.

Kondisi yang paling baik adalah, daya reaktif harus dibangkitkan dekat dengan titik konsumen. Beberapa alasan untuk meminimalisasi transfer daya reaktif :

1. Hal ini tidak efisien selama transfer daya nyata yang tinggi dan membutuhkan gradien magnitudo tegangan substansial.
2. Dapat menyebabkan rugi daya aktif dan reaktif.
3. Dapat menyebabkan tegangan lebih yang merusak apabila terjadi pelepasan beban secara tiba-tiba.
4. Membutuhkan perlengkapan yang lebih besar untuk transformator dan kabel.

## 2.9. Metode Analisis Kestabilan Tegangan

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan tegangan, secara umum dapat dikategorikan untuk analisis kondisi statik dan dinamik. Kedua kondisi tersebut menggunakan analisis load flow untuk

menjelaskan operasional steady state. Metode-metode analisis kestabilan tegangan untuk kondisi analisis steady state meliputi :

1. Analisis Load Flow
2. Kurva P – V
3. Kurva Q – V
4. Modal Analysis
5. Singular Value Decomposition (SVD)

Selain metode-metode deterministic yang disebutkan diatas terdapat beberapa metode *artificial intelligent*. Pada penulisan skripsi ini penulis menggunakan metode *Genetic Algorithm* dengan validasi metode *Modal Analysis*.

### 2.9.1. Analisis Load Flow<sup>[6]</sup>

Metode load flow mengutamakan eksistensi profil tegangan pada jaringan transmisi. Pendekatan ini difokuskan pada kemampuan transfer daya maksimum jaringan atau eksistensi penyelesaian masalah load flow. Dari studi aliran daya dapat diketahui kondisi keadaan Setiap bus secara detail.

$$I = Y \cdot V = \frac{S^*}{V^*} \quad (2.13)$$

Keterangan :

I = Matriks injeksi arus pada bus

Y = Matriks sistem admittansi jaringan

V = Vektor tegangan bus

S = P + jQ = Injeksi daya kompleks

$$P_i - V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) = 0 \quad (2.14)$$

$$Q_i - V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) = 0 \quad (2.15)$$

Dari persamaan aliran daya metode Newton Rapshon diperoleh matriks Jacobian.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial V} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial V} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) + V_i^2 Y_{ij} \sin \phi_{ij} \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) - V_i Y_{ij} \cos \phi_{ij} \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -V_i Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) + V_i^2 Y_{ij} \cos \phi_{ij} \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = V_i V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) + V_i Y_{ij} \sin \phi_{ij} \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -V_i Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) \quad (2.24)$$

### 2.9.2. Analisis Modal (Eigenvalue)

Analisis Modal (Eigenvalue) diusulkan oleh Gao, Morison, dan P Kundur pada 1992, ini merupakan suatu metode analitis yang handal telah teruji untuk memprediksi atau mengetahui mekanisme ketidakstabilan tegangan (voltage collapse) pada suatu kesatuan sistem tenaga yang luas dan kompleks. Penulis

menggunakan metode analisis Eigenvalue untuk mengetahui kestabilan tegangan sistem. Metode ini melibatkan perhitungan jumlah Eigenvalue dan Eigenvector dari reduksi matriks Jacobian. Reduksi matriks Jacobian difokuskan pada karakteristik tegangan dan daya reaktif. Bus yang lemah dapat diketahui dari kenaikan daya reaktif sistem untuk perubahan kenaikan besaran tegangan.

Seperti yang telah dijabarkan pada persamaan (2.16), analisis Eigenvalue diperoleh dari load flow matriks Jacobian.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

$$\Delta P = 0 = J_{11} \Delta \delta + J_{12} \Delta V \quad \text{dan} \quad \Delta \delta = -J_{11}^{-1} \cdot J_{12} \Delta V \quad (2.26)$$

$$\Delta Q = J_{21} \Delta \delta + J_{22} \Delta V \quad (2.27)$$

Substitusi persamaan (2.26) dan (2.27)

$$\Delta Q = J_R \Delta V \quad (2.28)$$

Keterangan :

$$J_R = [J_{22} - J_{21} J_{11}^{-1} J_{12}]$$

$J_R$  = Matriks Jacobian Reduksi

Persamaan (2.28) dapat ditulis dalam bentuk

$$\Delta V = J_R^{-1} \Delta Q \quad (2.29)$$

Matriks Jacobian reduksi ( $J_R$ ) menjelaskan persamaan liner antara perubahan kenaikan tegangan ( $\Delta V$ ) dan injeksi daya reaktif ( $\Delta Q$ ). Analisis Eigenvalue dan eigenvector direduksi dari matriks Jacobian yang digunakan untuk menganalisis karakteristik kestabilan tegangan. Ketidakstabilan tegangan dapat diketahui dari eigenvalue matriks Jacobian. Besaran Eigenvalue menjelaskan pendekatan untuk ketidakstabilan tegangan. Eigenvector menjelaskan kehilangan kestabilan tegangan.

Analisis eigenvector dari matriks Jacobian ( $J_R$ ) menjelaskan :

$$J_R = \Phi \Lambda \Gamma \quad (2.30)$$

Keterangan,  $\Phi$  = eigenvector sisi kanan matriks  $J_R$

$\Gamma$  = eigenvector sisi diagonal matriks  $J_R$

$\Lambda$  = eigenvector sisi kiri matriks  $J_R$

Atau,

$$J_R^{-1} = \Phi \Lambda^{-1} \Gamma \quad (2.31)$$

Dengan,

$$\Phi \Gamma = 1$$

Substitusi persamaan (2.31) dan (2.29) :

$$\Delta V = \Phi \Lambda^{-1} \Gamma \Delta Q \quad \text{atau} \quad \Delta V = \sum_i \frac{Q_i \Gamma_i}{\lambda_i} \Delta Q \quad (2.32)$$

Keterangan :  $\lambda_i$  = jumlah eigenvalue matriks  $J_R$

$Q_i$  = sisi kanan kolom eigenvector matriks  $J_R$

$\Gamma_i$  = sisi kiri baris eigenvector matriks  $J_R$

Setiap eigenvalue ( $\lambda_i$ ) saling terkait sisi kanan dan kiri eigenvector, sedangkan  $\Gamma_i$  sebagai jumlah bus pada sistem. Jumlah bus sumber daya reaktif dijelaskan :

$$\Delta Q = K_i \Phi_i \quad (2.33)$$

Keterangan,  $K_i$  sebagai faktor pengali untuk menormalkan vektor  $\Delta Q_i$

$$K_i^2 \sum_j \Phi_{ji}^2 = 1 \quad (2.34)$$

Keterangan,  $\Phi_{ji}$  adalah elemen  $j^{\text{th}}$  untuk  $\Phi_L$

Keterkaitan variasi tegangan bus yang saling berhubungan adalah :

$$\Delta V = \frac{1}{\lambda_i} \Delta Q_{mi} \quad (2.35)$$



Persamaan (2.35) dapat disimpulkan sebagai berikut :

1.  $\lambda_i = 0$ , tegangan sistem akan collapse sebab banyak perubahan daya reaktif mengakibatkan variasi tegangan menjadi tidak berhingga.
2.  $\lambda_i > 0$ , tegangan sistem stabil.
3.  $\lambda_i < 0$ , tegangan sistem tidak stabil.

Tegangan pada sistem dikatakan stabil bila mempunyai nilai eigenvalue  $J_R$  semua positif. Ini berbeda dari sistem dinamik, dimana bagian real negatif adalah stabil. Persamaan antara kestabilan tegangan sistem dan eigenvalue matriks  $J_R$ , bahwa eigenvalue dengan  $V - Q$  sensitivitas pada setiap bus harus positif untuk stabil. Matriks  $J_R$  adalah simetris selanjutnya akhir eigenvalue positif. Kalau semua eigenvalue positif  $J_R$  dikatakan  $V - Q$  sensitivitas juga positif, mengidentifikasi tegangan sistem stabil. Metode eigenvalue sangat tepat aplikasi pada sistem transmisi, tidak sesuai untuk pemakaian pada sistem distribusi.

## 2.10. Static VAR Compensator (SVC)

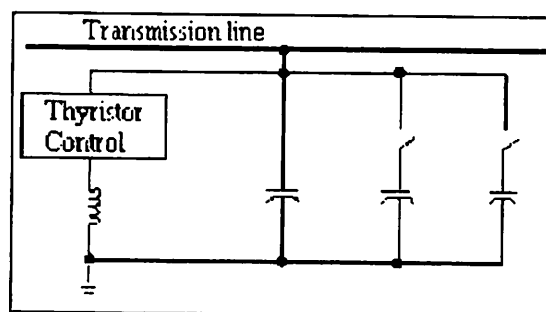
SVC berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi berjarak jauh dan berbeban tinggi (*heavily loaded* ). Fungsi SVC diperoleh dengan menggunakan thyristor yang secara cepat dapat menghubungkan atau memutuskan induktor ataupun kapasitor pada jaringan transmisi [8].

Peningkatan kemampuan saluran transmisi dalam mengirimkan daya reaktif sering digunakan kompensator daya reaktif, yang dipasang pada tempat-tempat tertentu baik saluran transmisi maupun pada bus beban. Hal tersebut

sangat dipengaruhi oleh tujuan pemakaian dan tipe kompensator daya reaktif yang digunakan. Pada umumnya kompensator daya reaktif digunakan untuk mengontrol aliran daya reaktif, kontrol tegangan untuk menjaga stabilitas tenaga<sup>[6]</sup>.

SVC adalah salah satu tipe FACTS Device (*Flexible AC Transmission System*) yang terdiri dari komponen reaktor dan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, serta dilengkapi peralatan elektronika daya sebagai *device switching*. Fungsi utama adalah mempertahankan (*controller*) stabilitas tegangan tetap konstan pada terminalnya yaitu dengan mengatur aliran daya reaktif yang diinjeksikan dan yang diserap dari jaringan. Fungsi lainnya untuk meredam *osilasi damping* pada saluran transmisi yang panjang dan berbeban tinggi.

FACTS Device untuk pertama kali dikembangkan oleh EPRI (*Electric Power Research Institute*) di Palo Alto Negara bagian California di Amerika Serikat. SVC merupakan salah satu tipe FACTS Device yang diletakkan pada bus beban ( $PQ$ ) terhubung shunt dengan jaringan. FACTS Device tidak memiliki komponen mekanis, artinya secara teknis dan ekonomis lebih handal bila dibandingkan kompensator condenser sinkron. Pada skripsi ini SVC berfungsi sebagai kapasitor shunt (*TSC*) sebagai injeksi daya reaktif. Gambar 2.7 menunjukkan contoh dari topologi SVC <sup>[8]</sup>.



Gambar 2.7. Static VAR Compensator

## **2.11. Tipe-Tipe SVC**

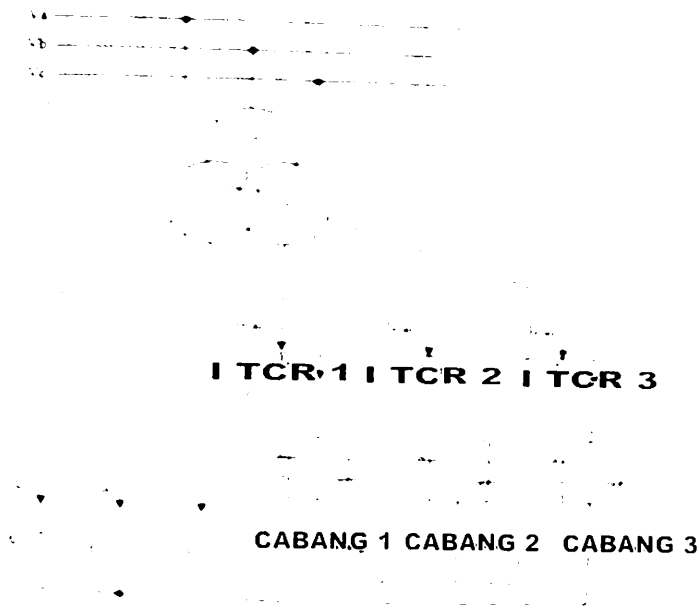
Jenis SVC yang digunakan yang digunakan sangat dipengaruhi pada beberapa faktor seperti kebutuhan daya reaktif, karakteristik rugi-rugi daya, pembangkitan harmonisa dan investasi. Adapun jenis-jenis yang sering dipakai adalah :

1. Thyristor Controlled Reactor (TCR)
2. Thyristor Switched Capacitors (TSC)
3. Thyristor Controlled Reactor / Fixed Capacitor (TCR / FC)

SVC yang digunakan dewasa ini gabungan dari ketiga jenis tersebut diatas, hal tersebut dilakukan sesuai dengan kondisi operasional kompensasi daya reaktif yang dikehendaki dengan batasan induktif atau kapasitif.

### **2.11.1. Thyristor Controlled Reactor (TCR)**

Komponen-komponen kontrol TCR *thyristor* seperti terlihat Gambar 2.8 Dua thyristor yang berlawanan kutub dikonduksikan pada setengah cycle frekuensi suplai. Jika thyristor di trigger tepat pada puncak tegangan suplai akan mengakibatkan konduksi penuh dengan reaktor dan seolah-olah arus yang melewatinya adalah sama dengan jika pengontrol thyristor dihubung singkat. Arus ini pada dasarnya adalah bersifat reaktif, tertinggal terhadap tegangan hampir  $90^\circ$ .



Gambar 2.8. Konfigurasi SVC (TCRs – FC)

Pengaturan fundamental dari arus TCR merupakan susceptansi yang dapat dikontrol, sehingga dapat diterapkan sebagai suatu kompensator statis.

Harga arus sesaat  $i$  adalah sebagai berikut :

$$i = \frac{\sqrt{2}V}{X_L} (\cos \alpha - \cos \omega t), \quad \alpha < \omega t < \alpha + \sigma$$

$$i = 0, \quad \alpha + \sigma < \omega t < \alpha + \pi \quad (2.36)$$

Keterangan :

$V$  = Tegangan efektif (V)

$\omega = 2\pi f$

$X_L$  = Reaktansi reaktor ( $\Omega$ )

$\alpha$  = sudut delay penyalaan

$\sigma$  = Sudut konduksi

Komponen dasar diketahui dari analisis deret Fourier :

$$I_1 = \frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi X_L} \quad (2.37)$$

$$\alpha + \frac{\sigma}{2} = \pi \quad (2.38)$$

Sehingga persamaan (2.38) dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_l = B_L(\sigma) V \quad (2.39)$$

$B_L(\sigma)$  adalah susceptansi yang dapat diatur pada frekuensi fundamental yang dikontrol oleh sudut konduksi sesuai dengan aturan :

$$B_L(\sigma) = \frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi x_L} \quad (2.40)$$

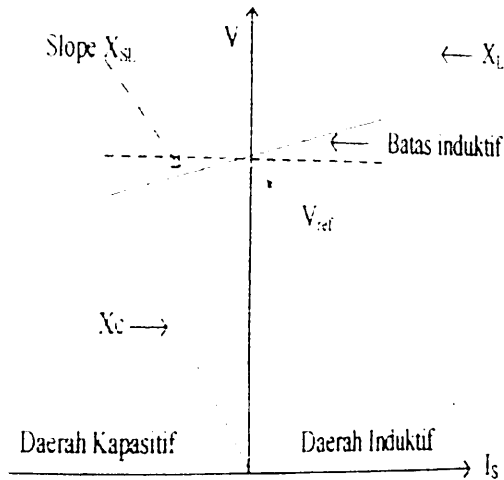
Harga maksimum dari  $B_L$  adalah  $\frac{\sigma}{x_L}$ , diperoleh pada  $\sigma = \pi$ , yaitu konduksi penuh dari kontrol thyristor.

### 2.11.2. Thyristor Switched Capacitor (TSC)

Susceptansi pada jaringan diatur dengan mengontrol jumlah kapasitor paralel yang terhubung dengan  $k$  kapasitor terhubung paralel, masing-masing dikontrol oleh switch (Gambar 2.11), susceptansi total sama dengan jumlah susceptansi suatu kombinasi dari  $k$  susceptansi tunggal pada suatu waktu, dengan demikian susceptansi total berubah-ubah secara bertingkat dengan cara memasang beberapa kapasitor yang dapat di switch masing-masing.

Untuk  $k$  kapasitor, jumlah step maksimum dapat diperoleh bila tidak ada dua kondisi yang sama, diharapkan paling tidak semua susceptansi individu berbeda. Sistem biner, ada  $(k-1)$  susceptansi dengan harga  $B$  dan satu susceptansi berharga  $B/2$ . Susceptansi setengah ( $B/2$ ) merubah jumlah kombinasi  $k$  menjadi  $2k$ . dengan mengabaikan transisi switching, arus ini akan sinusoidal oleh karena itu tidak mengandung harmonisa.

### 2.11.3. Prinsip Kerja SVC



Gambar 2.9. Keadaan steady state karakteristik V – I

SVC dimodelkan sumber VAR yang variable, sehingga dapat diatur batas maksimum dan minimum, daya output reaktif  $Q_{SVC}$  disesuaikan dengan susceptansi induktif ( $B_{ind}$ ) dan susceptansi kapasitif ( $B_{cap}$ ) yang diinginkan.

$$Q_{max} = B_{ind} \cdot V_{ref}^2 \quad (2.41)$$

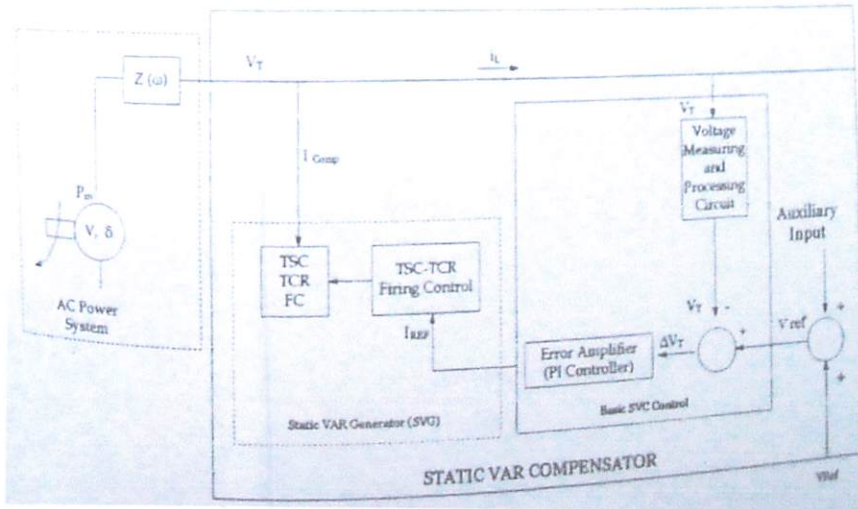
$$Q_{min} = B_{cap} \cdot V_{ref}^2 \quad (2.42)$$

Keterangan :

$$B_{ind} = 1/X_L \quad \text{dan} \quad B_{cap} = 1/X_C$$

*Static VAR Compensator* (SVC ) mengatur aliran daya reaktif yang diinjeksikan dan yang diserap dari jaringan (*grid*), ketika tegangan sistem pada grid rendah (*low voltage*), SVC akan membangkitkan daya reaktif (*SVC Capacitive*), yaitu dengan menginjeksikan daya reaktif yang bersumber dari kapasitor bank, setiap kapasitor bank di switch *on – off* dengan *switch thyristor* (*Thyristor Switched Capacitor / TSC*). Ketika tegangan sistem mengalami *over voltage*, maka SVC akan menyerap daya reaktif (*SVC Inductive*), oleh reaktor di

switch on – off (*Thyristor Switched Reactor / TSR*) atau *control phase (Thyristor Controlled Reactor / TCR)*. Pengaturan daya reaktif diperoleh dari Pengaturan sudut penyalan thyristor pada rangkaian inverter, seperti pada Gambar 2.10.

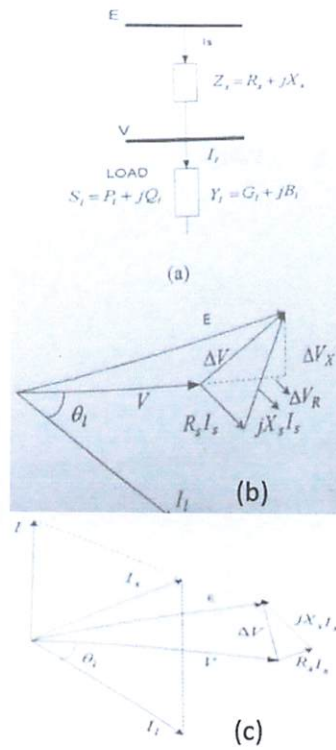


Gambar 2.10. *Line diagram Static VAR Compensator*

Penggunaan FACTS menjadi alternatif baru pada bidang transmisi tenaga listrik yang dapat meningkatkan kemampuan transfer daya tenaga listrik tanpa harus membangun konstruksi jaringan listrik yang baru, dapat meningkatkan batas kemampuan thermal jaringan transmisi. Kefleksibelan, keefektifan dan kehandalan FACTS memberikan keuntungan dalam operasi aliran daya dan kontrol.

## 2.12. Pengaturan Tegangan Sistem

Pengaturan tegangan didefinisikan sebagai perubahan magnitude tegangan (dalam p.u) terhadap perubahan arus beban. Hal ini disebabkan drop tegangan pada impedansi ketika arus menjadi beban, seperti dijelaskan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. (a) Rangkaian ekivalen dari beban dan sistem supply  
 (b) Diagram fasor tanpa kompensator  
 (c) Diagram fasor dengan kompensator

Tanpa kompensator, tegangan supply berubah disebabkan oleh arus beban  $I_l$  seperti ditunjukkan pada gambar 2.11 (b) sebagai  $\Delta V$

$$\Delta V = E - V = Z_s I_l \quad (2.43)$$

Sedangkan nilai,

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (2.44)$$

$$I_l = \frac{P_l - jQ_l}{V} \quad (2.45)$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \Delta V &= (R_s + jX_s) \left[ \frac{P_l - jQ_l}{V} \right] \\ &= \frac{(R_s P_l + X_s Q_l)}{V} + j \frac{X_s P_l - R_s Q_l}{V} \end{aligned} \quad (2.46)$$



$$= \Delta V_R + j\Delta V_X$$

Perubahan tegangan memiliki komponen  $\Delta V_R$  yang sephasa dengan  $V$  dan komponen  $\Delta V_X$  seperti diilustrasikan pada gambar 2.11 (b). Perubahan tegangan tergantung pada daya nyata dan daya reaktif pada beban.

Dengan menambah sebuah kompensator yang paralel dengan beban, sangat mungkin untuk membuat nilai  $|E| = |V|$  yang berarti bahwa membuat nilai perubahan tegangan sama dengan nol, atau untuk menjaga besar tegangan supply  $E$  tetap konstan sampai ke beban. Seperti dijelaskan pada gambar 2.14 (c), daya reaktif  $Q_I$  pada persamaan (2.46) diperoleh dari  $Q_s = Q_y + Q_I$ , dan nilai  $Q_I$  diatur dengan jalan memutar arah phasor dari  $\Delta V$  sehingga  $|E| = |V|$ . Dari persamaan (2.43) dan (2.44) diperoleh :

$$|E|^2 = \left[ V + \frac{R_s P_l + X_s Q_s}{V} \right]^2 + \left[ \frac{X_s P_l - R_s Q_s}{V} \right]^2 \quad (2.47)$$

Dalam kenyataan nilai  $Q_y$  akan diperoleh secara otomatis dengan loop control. Sehingga dapat dikatakan bahwa kompensator daya reaktif dapat menjaga perubahan tegangan yang disebabkan oleh perubahan daya aktif dan reaktif dari beban.

### 2.13. Rumus Pendekatan untuk Pengaturan Tegangan

Jika pada bus beban terjadi hubung singkat, sehingga daya kompleks dari hubung singkat menjadi :

$$S_{sc} = P_{sc} + jQ_{sc} = E I_{sc}^* = \frac{E^2}{Z_{sc}^*} \quad (2.48)$$

Keterangan,  $Z_{sc} = R_s + jX_s$  dan  $I_{sc}$  adalah arus hubung singkat. Jika  $|Z_{sc}^*| = |Z_{sc}|$ , diperoleh :

$$R_s = |Z_{sc}| \cos \phi_{sc} = \frac{E^2}{S_{sc}} \cos \phi_{sc} \quad (2.49)$$

$$X_s = |Z_{sc}| \sin \phi_{sc} = \frac{E^2}{S_{sc}} \sin \phi_{sc} \text{ , dengan } \tan \phi_{sc} = \frac{X_s}{R_s} \quad (2.50)$$

$X : R$  adalah ratio dari supply sistem. Dengan memasukkan nilai  $R_s$  dan  $X_s$  pada persamaan (2.46) dan diasumsikan bahwa  $E/V \equiv 1$ , diperoleh :

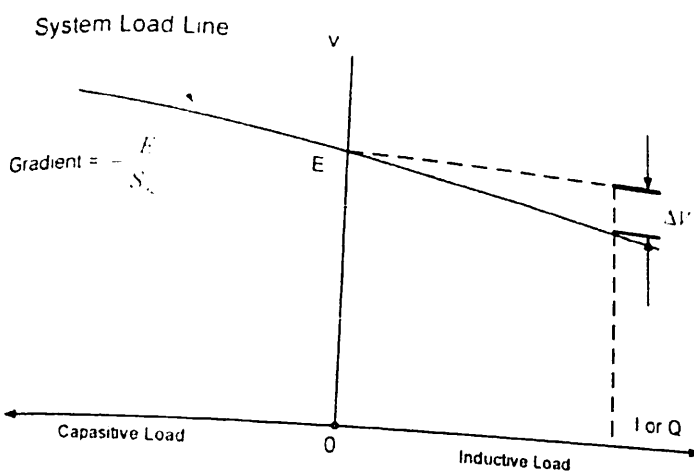
$$\frac{\Delta V_R}{V} \cong \frac{1}{S_{sc}} [P_l \cos \phi_{sc} + Q_l \sin \phi_{sc}] \quad (2.51)$$

$$\frac{\Delta V_X}{V} \cong \frac{1}{S_{sc}} [P_l \sin \phi_{sc} - Q_l \cos \phi_{sc}] \quad (2.52)$$

$\Delta V_X$  sangat sering diabaikan. Jika tahanan supply  $R$ , jauh lebih kecil dibandingkan dengan tahanan  $X_s$ , maka perubahan tegangan diakibatkan oleh perubahan daya real  $\Delta P_l$  dapat diabaikan, sehingga perubahan tegangan dirumuskan sebagai :

$$\frac{\Delta V}{V} \cong \frac{\Delta V_R}{V} = \frac{\Delta Q_l}{S_{sc}} \sin \phi_{sc} \cong \frac{\Delta Q_l}{S_{sc}} \quad (2.53)$$

Hubungan antara perubahan tegangan dan arus beban biasa disebut *huga system load line* atau *supply system voltage characteristic*. Meskipun karakteristik ini hanya pendekatan, kurva ini sangat berguna dalam menjelaskan pengaruh dari kompensator, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Karakteristik dari Tegangan Supply Sistem

## 2.14. Genetic Algorithm

*Genetic Algorithm* (GA) merupakan metode adaptif yang banyak diaplikasikan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Pada penulisan skripsi ini hanya difokuskan pada mencari solusi optimal. Tetapi dalam implementasinya tidak hanya difokuskan pada masalah optimasi juga pada masalah untuk menentukan solusi yang bagus secara cepat untuk masalah-masalah berdimensi tinggi. GA sangat berguna dan efisien untuk masalah dengan karakteristik sebagai berikut <sup>[6]</sup> :

1. Ruang masalah sangat besar, kompleks dan sulit dipahami.
2. Tidak ada pengetahuan yang memadai untuk mempresentasikan masalah ke dalam 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 (disebut Populasi) untuk suatu permasalahan, dalam hal ini perhitungan aliran daya dinyatakan dalam bentuk bilangan real yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom tersebut <sup>[7]</sup>.

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 diikutkan proses perulangan hingga mencapai nilai yang diinginkan sekaligus menghentikan perulangan pada nilai tertentu pada suatu

kriteria berhenti yang telah ditetapkan sebelumnya (dapat berupa suatu nilai tertentu atau pada generasi tertentu) [7].

### 2.15. *Genetic Algorithm (GA) Konvensional*

Pada tahun 1970-an penelitian GA dan pengembangannya oleh para akademis dan insinyur menjadi sangat luas. Pada tahun 1975 John Holland dan muridnya dari Michigan of University mempercepat perkembangannya. John Holland terinspirasi oleh mekanisme seleksi alam, individu yang lebih kuat merupakan pemenang pada kompetisi lingkungan. GA menggunakan analogi secara langsung seperti seleksi alam. John Holland memulai bekerja dengan algoritma yang dibentuk dari string-string biner 1 dan 0 yang disebut *kromosom*. Algoritma ini tidak mengetahui tipe permasalahan yang akan diselesaikannya, hanya informasi yang telah diberikan dari evaluasi berupa nilai fitness setiap kromosom dengan nilai fitness terbaik yang bertahan hidup dan selalu diproduksi.

Sebelum GA digunakan, maka sebuah kode yang sesuai untuk persoalan harus dirancang, masalah dikodekan dalam bentuk kromosom (*string*) yang terdiri dari komponen genetik terkecil yaitu *gen*. pemakaian bilangan seperti integer, floating point dan abjad sebagai *allele* (nilai gen) memungkinkan penerapan operator genetika yaitu proses produksi (*reproduction*), pindah silang (*crossover*), dan mutasi (*mutation*) untuk menciptakan himpunan penyelesaian. Pemeriksaan hasil optimasi, memerlukan fungsi fitness yang menandakan gambaran solusi yang sudah dikodekan. Selama proses, induk harus digunakan untuk reproduksi, pindah silang dan mutasi untuk menciptakan keturunan (*offspring*). Jika GA

didesain dengan baik, populasi akan mengalami konvergen dan akan mendapatkan sebuah solusi yang optimum.

GA memiliki empat tahap dasar penyelesaian, yaitu <sup>[6]</sup> :

1. Bekerja dengan mengkodekan parameter-parameter permasalahan dan tidak bekerja secara langsung dengan parameter tersebut.
2. Penyelesaian masalah dari sejumlah populasi kandidat solusi, tidak hanya memproses satu solusi saja.
3. Perhitungan nilai fungsi fitness dari setiap kandidat solusi hanya untuk mendapatkan hasil optimum global.
4. Penggunaan aturan transisi secara probabilistik.

### 2.16. Penentuan Parameter *Genetic Algorithm* (GA)

Penentuan parameter kontrol dalam genetic algorithm yaitu, ukuran populasi (*popsiz*e), peluang *crossover* (pc) dan peluang mutasi (pm), dengan memperhatikan kompleksitas dari genetic algorithm, parameter meliputi :

Tabel 2.1  
Penjelasan Istilah Genetic Algorithm

ISTILAH GA	KETERANGAN
Kromosom	Gabungan gen-gen yang membentuk nilai tertentu
Gen	Bagian dari string
Loci	Posisi dari gen
Allele	Nilai yang dimasukkan dalam gen
Phenotype	String yang merupakan solusi terakhir
Gemotype	Sejumlah string hasil perkawinan yang berpotensi sebagai solusi

### **1. Jumlah Generasi (MAXGEN)**

Merupakan jumlah iterasi dilakukannya rekombinasi dan seleksi, jumlah generasi ini mempengaruhi kestabilan output dan lama waktu proses genetic algorithm. Jumlah generasi yang besar dapat mengarahkan solusi yang optimal, tetapi membutuhkan waktu yang lama. Sedangkan jika jumlah generasinya terlalu sedikit maka solusi akan terjebak pada lokal optimum.

### **2. Ukuran Populasi (Popsize)**

Ukuran populasi mempengaruhi performansi dan efektifitas genetic algorithm. Jika ukuran populasi kecil maka populasi tidak menyediakan cukup materi untuk mencakup ruang permasalahan, sehingga pada umumnya performansi genetic algorithm menjadi jelek. Oleh karena itu dibutuhkan ruang kerja yang lebih besar untuk mempresentasikan keseluruhan ruang permasalahan. Selain pemakaian populasi yang besar dapat mencegah terjadinya konvergensi pada wilayah lokal. De Jong merekombinasikan untuk nilai parameter kontrol (popsize ; pc ; pm) = (50 ; 0,6 ; 0,001).

### **3. Probabilitas Crossover (pc)**

Probabilitas Crossover digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator crossover. Semakin besar nilai probabilitas crossover, maka semakin cepat struktur baru yang diperkenalkan dalam populasi, tetapi jika probabilitas crossover terlalu besar maka struktur dengan nilai fungsi objektif yang baik akan dapat hilang dengan lebih cepat dari seleksi. Sebaliknya jika probabilitas crossover terlalu kecil akan menghalangi proses pencarian dalam proses genetic algorithm. Grefenstette merekombinasikan aplikasi genetic

algorithm mempergunakan angka probabilitas crossover pada range (popsize ; pc ; pm) = (30 ; 0,95 ; 0,01).

#### **4. Probabilitas Mutasi (Pm)**

Mutasi digunakan untuk meningkatkan variasi populasi dan tingkat mutasi yang terjadi. Karena frekuensi terjadinya mutasi menjadi  $P_m \times \text{POPSIZE} \times N$ ,  $N$  adalah panjang struktur/gen dalam satu individu. Probabilitas mutasi yang rendah akan menyebabkan gen-gen yang berpotensi tidak dicoba. Namun sebaliknya tingkat mutasi yang tinggi akan menyebabkan keturunan yang semakin mirip dengan induknya.

#### **5. Panjang Kromosom**

Panjang kromosom berbeda-beda sesuai dengan permasalahan. Penyelesaian permasalahan dikodekan dalam bentuk kromosom/string yang terdiri dari komponen genetik terkecil yaitu gen. Pengkodean dapat memakai bilangan biner, integer, floating point dan abjad [6].

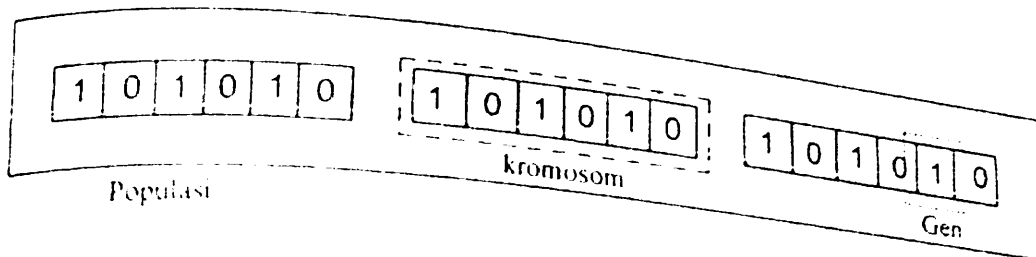
### **2.17. Proses *Genetic Algorithm***

Program optimasi dalam proses genetic algorithm dapat dijabarkan sebagai berikut :

#### **2.17.1. Pengkodean**

Pada proses genetic algorithm mengasumsikan sebuah solusi untuk sebuah persoalan dimungkinkan dengan diwakili satu set parameter. Parameter-parameter ini dinamakan gen berisi nilai-nilai/allele (representasi) yang bersatu membentuk string (kromosom). Selanjutnya beberapa kromosom yang sejenis

berkumpul membentuk populasi, dari sebuah populasi tersebut genetic algorithm mulai melakukan pencarian, ilustrasi pengkodean dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Pengkodean dalam *Genetic Algorithm*

Suatu hal mendasar genetic algorithm bekerja pada daerah Pengkodean dan solusi. Operasi genetika (pindah silang dan mutasi) bekerja pada daerah Pengkodean, sedang proses evaluasi dan proses seleksi evaluasi dan proses seleksi bekerja pada daerah solusi. Setiap konfigurasi yang memungkinkan (lokasi dan nilai) SVC mewakili satu 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 variable string yang disebut gen, berisi allele, variable ini dinyatakan dalam bentuk bilangan biner, real atau abjad. Pengkodean string biner merupakan Pendekatan klasik yang digunakan dalam penelitian genetic algorithm sederhana.

### 2.17.2. Fungsi Obyektif

Fungsi obyektif merupakan mekanisme pengukuran yang digunakan untuk menguji status kromosom. Ini adalah penghubung yang sangat penting untuk menghubungkan GA dengan sistem yang dipelajari. Suatu individu dievaluasi berdasarkan fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya. Pada masalah optimasi dalam genetic algorithm harus dirancang untuk masing-masing



permasalahan yang akan diselesaikan dengan menggunakan kromosom tertentu, fungsi obyektif akan mengevaluasi status masing-masing kromosom. Setiap gen  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3 \dots N$ ) dipergunakan untuk menghitung  $f_k(x)$  ( $k = 1, 2, 3 \dots \text{Popsiz}$ ).

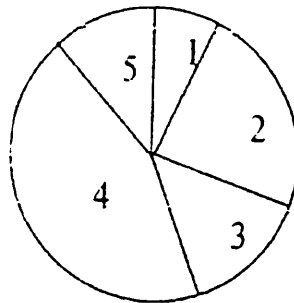
Pada kondisi awal optimasi, nilai fitness pada individu mempunyai rentang yang lebar panjang. Seiring bertambah besar generasi, ada beberapa kromosom mendominasi populasi dan mengakibatkan rentang nilai fitness semakin kecil, hal ini dapat mengakibatkan konvergen dini (*premature convergence*), hal ini dapat diatasi dengan operasi mutasi yang mampu menghasilkan kromosom yang relatif baru dan merupakan cara untuk menghindari kromosom tertentu mendominasi populasi dan konvergen dini <sup>[6]</sup>.

### 2.17.3. Metode Seleksi

Pada *genetic algorithm* untuk membuat keturunan (*offspring*) yang baik, perlu mekanisme seleksi induk yang baik, yaitu proses pemilihan kromosom yang akan di *crossover* kan dengan kromosom dari individu lain. Tujuannya untuk memberikan kesempatan reproduksi yang paling besar bagi anggota populasi yang paling fit. Peluang dalam memilih sebuah kromosom sebagai induk harus proporsional dengan jumlah keturunan yang di buat.

Pada proses seleksi dapat menggunakan banyak metode seperti, *Rank – based fitness assignment*, *roulette wheel selection*, *stochastic universal sampling*, *lokal selection*, dan lainnya. Metode seleksi yang paling umum digunakan adalah seleksi *Roulette Wheel*, bertujuan untuk memberikan kesempatan reproduksi yang lebih besar anggota populasi yang memiliki fitness untuk melakukan reproduksi. Pada gambar 2.13, lingkaran roda Roulette merupakan  $F_{\text{sum}}$  dari 5 kromosom yang

ada. Kromosom 4 adalah kromosom yang paling baik dan menempati interval yang paling besar. Kromosom 1 merupakan kromosom yang paling tidak sesuai dan menempati interval yang paling kecil pada roda Roulette. Untuk memilih kromosom, angka acak dibuat dalam interval  $(0, F_{\text{sum}})$  dan individu yang menempati segmen yang terletak pada angka acak yang dipilih. Siklus evolusi terus berulang dan berakhir sampai kriteria yang diinginkan tercapai. Kriteria dapat dibentuk oleh angka siklus evolusi (*iterasi*), atau banyaknya variasi individu antar generasi yang berbeda atau nilai fitness yang diinginkan [6].

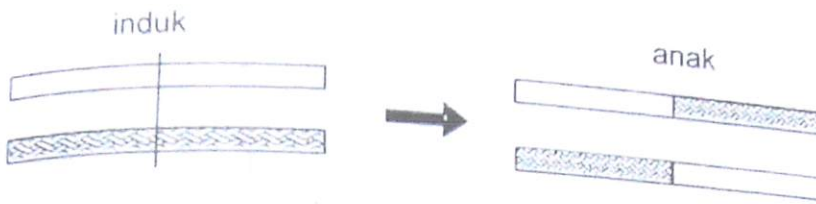


Gambar 2.13. Roda Roulette (*Roulette Wheel*)

#### 2.17.4. Pindah Silang (*Crossover*)

Crossover dilakukan pada 2 kromosom untuk menghasilkan anak (*offspring*). Kromosom anak yang terbentuk akan mewarisi sebagian sifat kromosom induknya. Metode crossover yang paling sering digunakan pada genetic algorithm, kromosom berbentuk string biner adalah crossover satu titik (*one point crossover*), selain multi point crossover, uniform crossover dan permutation crossover. Pada penyilangan satu titik, untuk penentuan Posisi penyilangan  $k$  ( $k = 1, 2, 3 \dots N-1$ ) dengan  $N =$  panjang kromosom diseleksi secara

random. Variabel-variabel ditukar antar kromosom pada titik tersebut untuk mendapatkan anak <sup>[6]</sup>.



Gambar 2.14. Single point crossover

Misalkan ada 2 kromosom dengan panjang 12 :

Induk 1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
Induk 2	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1

Posisi penyilangan yang terpilih misalnya 5

Setelah proses penyilangan, diperoleh kromosom-kromosom baru :

Anak 1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
Anak 2	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1

**2.17.5. Mutasi (Mutation)**

Setelah mengalami proses rekombinasi, pada offspring dapat dilakukan mutasi, untuk memodifikasikan satu atau lebih nilai gen dalam satu individu. Mutasi dengan menggantikan gen 0 dengan 1 atau sebaliknya, gen 1 dengan 0. Pada mutasi ini sangat dimungkinkan muncul kromosom baru yang semula belum muncul dalam populasi awal. Pada mutasi satu parameter yang sangat penting yaitu peluang mutasi (pm). Peluang mutasi menunjukkan prosentasi jumlah total gen pada populasi yang akan mengalami mutasi. Untuk melakukan mutasi terlebih dahulu harus menghitung jumlah total gen pada populasi tersebut. Kemudian

bangkitkan bilangan random yang akan menentukan Posisi mana yang akan dimutasi (gen keberapa dan pada kromosom berapa). Misalkan ukuran populasi (popsize = 100), setiap kromosom memiliki panjang gen 20 gen, maka total gen adalah  $100 \times 20 = 2000$  gen. Jika peluang mutasi ( $pm = 0,01$ ), berarti diharapkan ada  $(0,01) \times 2000 = 20$  gen yang akan mengalami mutasi.

Misalkan,

$$V_1' \quad 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1$$

Tekena mutasi gen ke-1, 3, 7, 11 dan 12

$$V_2' \quad 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0$$

Probabilitas mutasi ( $pm$ ) ditentukan dan digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator mutasi. Apabila nilai random  $r_k, Pm$  maka gen ke- $k$  kromosom tersebut terpilih untuk mengalami mutasi. Peluang mutasi ( $Pm$ ) didefinisikan sebagai prosentasi dari jumlah total gen pada populasi yang mengalami mutasi. Peluang mutasi mengendalikan banyak gen baru yang akan dimunculkan untuk dievaluasi. Jika peluang mutasi terlalu kecil, banyak gen yang mungkin berguna tidak pernah dievaluasi. Tetapi bila peluang mutasi terlalu besar, maka akan terlalu banyak gangguan acak, sehingga anak akan kehilangan kemiripan dari induknya dan juga akan kehilangan kemiripan belajar dari histori pencarian [6].

## 2.18. Implementasi *Genetic Algorithm* pada *Voltage Collapse*

*Genetic algorithm* bekerja berdasarkan mekanisme seleksi ilmiah. Individu sebuah populasi dikodekan secara biner, populasi pertama dibangkitkan secara random. Generasi baru dibangkitkan dengan mengimplementasikan 3

operator terhadap sebuah populasi yaitu ; *reproduction*, *crossover* dan *mutation*.  
Reproduksi sangat tergantung dari *fitness function*.

Pemilihan lokasi SVC untuk perbaikan kualitas tegangan dari *voltage collapse*, penentuan lokasi dan kapasitas SVC dengan memperhatikan *voltage index stability* berdasarkan *minimum singular value*.

### 2.18.1. Pengkajian Masalah

Implementasi *genetic algorithm* untuk memperbaiki keamanan voltage collapse dengan mengoptimalkan nilai *Voltage Stability Index (Minimum Singular Value)* pasca pemasangan SVC, pada bus beban yang paling kritis, Tujuannya dapat meningkatkan level keamanan bus kritis tersebut terhadap terjadinya *black out* (pemadaman).

### 2.18.2. Fungsi Obyektif <sup>[6]</sup>

Fungsi obyektif adalah parameter yang penting dalam genetic algorithm. Salah satu indikator *Voltage Stability Index (VSI)* adalah *Singular Value Decomposition (SVD)* yang berfungsi sebagai fungsi obyektif. SVD diperoleh dari nilai matriks Jacobian reduksi.

$$J_R = U \Sigma V^T$$

Keterangan :  $J_R$  = Matriks Jacobian Reduksi

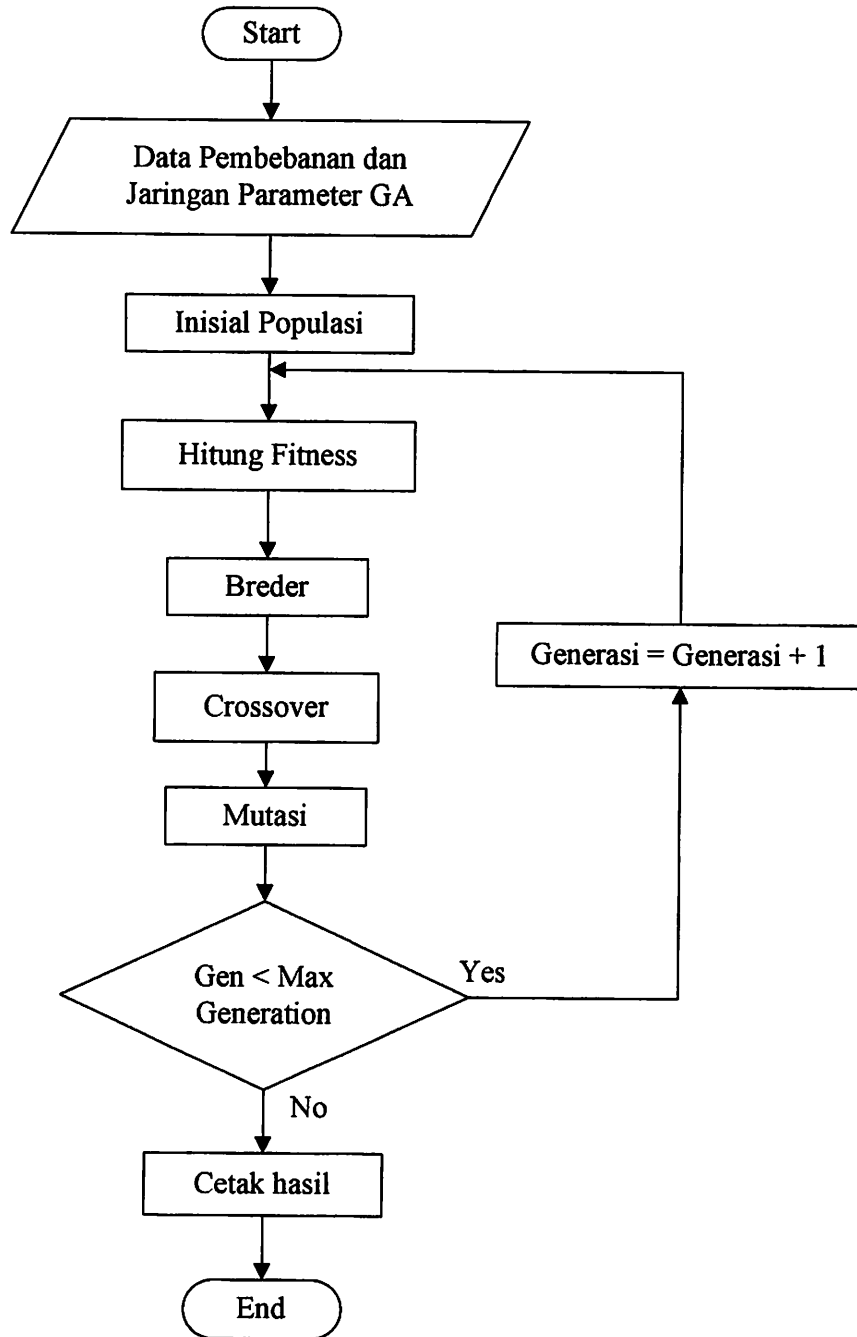
$U$  = Matriks orthogonal  $U$

$V^T$  = Matriks orthogonal  $V^T$

$\Sigma$  = Matriks diagonal

Nilai minimum singular value ( $\Sigma$ ) dari matriks  $J_R$ , digunakan untuk mengukur indeks kestabilan tegangan seberapa dekat ke titik voltage collapse, dari titik operasional.

### 2.19. Flowchart Proses Pencarian Genetic Algorithm



Gambar 2.15. Flowchart Proses Pencarian Genetic Algorithm

## **BAB III**

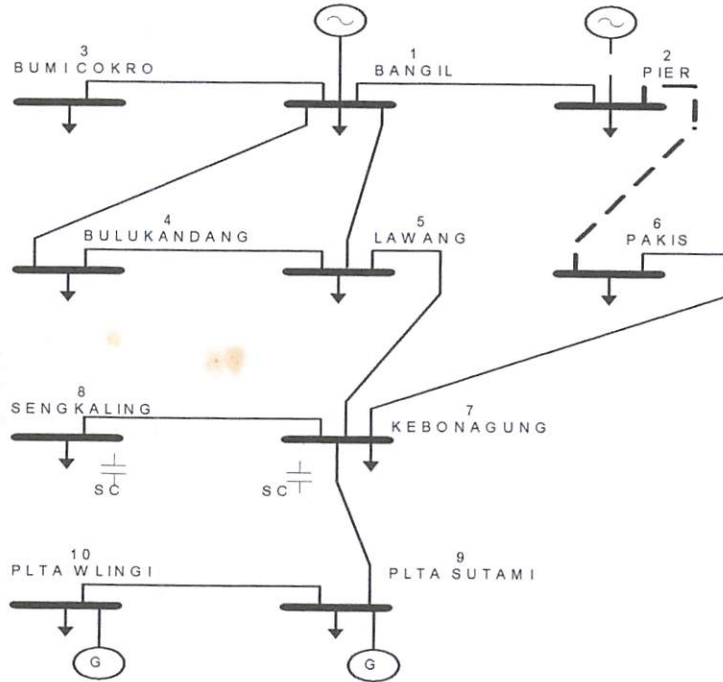
### **DATA PT. PLN (PERSERO) UPT MALANG DAN SIMULASI**

Pada bab ini akan membahas tentang proses pengolahan data lapangan sebagai inputan, dimana data tersebut diperoleh dari survey pada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur Khususnya UPT.Malang.

Proses pengolahan data lapangan dilakukan agar parameter yang digunakan dalam menganalisis performansi sistem tenaga listrik dengan dapat dilakukan. Data lapangan di sini meliputi jumlah bus, pembebanan dan data saluran yang menghubungkan tiap-tiap bus. data saluran transmisi, tegangan tiap saluran, pembebanan dan data saluran ke tiap beban (penyulang). Sedangkan data yang di analisis pada skripsi ini dititik beratkan pada saat terjadi beban puncak pada bulan Juni 2007.

#### **3.1. Data Bus Transmisi 150kV**

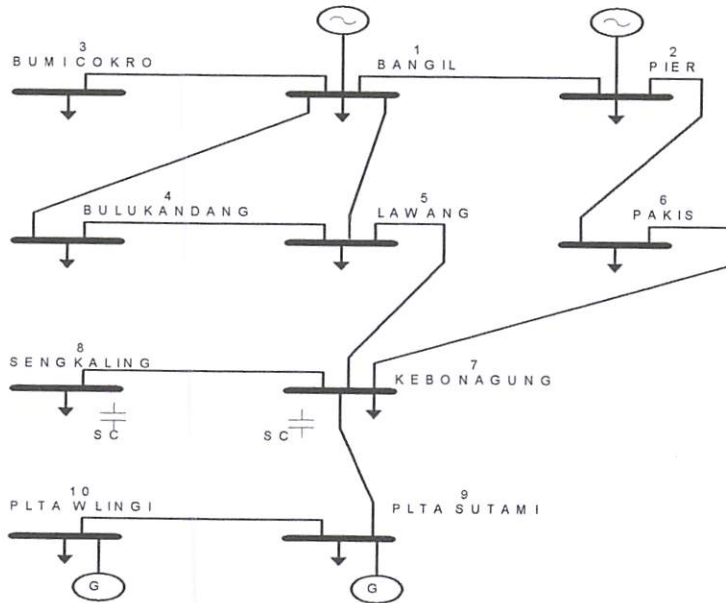
Pada wilayah kerja UPT.Malang mempunyai 10 bus transmisi 150kV, dimana wilayah kerja tersebut dapat digambarkan secara single line diagram berikut ini :



Sumber :PT.PLN (PERSERO) P3B Region Jawa Timur dan Bali

### 3.1 Gambar single Diagram Transmisi 150 kV UPT Malang Sebelum

#### Penambahan Saluran Pier-Pakis



Sumber :PT.PLN (PERSERO) P3B Region Jawa Timur dan Bali

### 3.2 Gambar single Diagram Transmisi 150 kV UPT Malang

#### Sesudah Penambahan Saluran Pier-Pakis



### 3.2. Data Tegangan dan Pembenan Bus

Data beban yang akan di Analisa dalam penulisan penelitian adalah data tegangan Bus Gardu Induk Pada pada bulan Juni 2007.

Tabel 3-1 Data Tegangan Bus Gardu Induk pada 14 Juni 2007

Sumber :PT.PLN (PERSERO) P3B Region Jawa Timur dan Bali

TGL	BANGIL		PIER	BLKDNG	LWANG	KBAGUNG	SKLNG	WLINGI	SUTAMI	BMCKRO	PAKIS
	A	B									
1	149.4		149.4	148.4	148.6	146.5	141.1	143	141.5	150.5	147
2	148.9		148.6	147.6	147.8	145.2	145	145	140.3	150.3	146.2
3	147.8		147	146	146.8	144	144	145	139	149	144.6
4	146		146	145	145.2	143	142	144	138	147	143.6
5	146.5		147	149	144.9	142.2	142	142	137	147.6	144.6
6	146.8		146.5	145	144.8	141.9	142	141	136.6	17.6	144.1
7	148.1		147.6	146	146.6	143.8	142	143	139	149	145.2
8	147		146.8	145.7	146.6	143	137.7	141	139	149	144.4
9	148		147.8	146.8	146.6	144	13	144	139	149	145.4
10	149.9		150	149.2	149.6	146.5	140.9	145	141.1	150.8	147.6
11	148.4		147.6	146.6	147	144.1	138.6	143	139.9	149.2	145.2
12	148.6		148.6	147.3	147.8	145.2	146	144	140.3	149.7	146.2
13	146		146.2	145	145	143	143	142	138	147	143.8
14	147.6		148	147	146.5	143.8	144	140	139	148.9	145.4
15	147.1		148	146.5	145.7	143	143	139	138.2	147.6	145.4
16	147.6		147.3	146.5	147	144.4	144	139	140.3	148.6	144.7
17	147.6		146.8	146	147	144.4	139.3	143	140.3	149.5	144.2
18	147.4		147.5	146.2	147	144	138.8	142	139.4	148.2	144.9
19	146.5		146.2	145.4	148.5	143	138	139	138.5	147.3	143.6
20	145.2		144.6	143.3	143.6	141.1	133.7	142	136.6	145.7	142
21	148.9		148	148	147.8	145	145	146	141	149	145.4
22	147		147	145	146	143	143	142	138	148	144.4
23	146.5		146	145	145.2	142	143	142	138	148	143.4
24	146.5		146	145	145.2	142.5	143	142	138	147	143.4
25	145.2		144.6	143.7	144.2	141.4	138	142	137	145.5	142
26	147		146.8	145.7	146	143.5	144	140	138.8	147	144.2
27	147		146.8	145.2	146	143	137.2	140	138.8	148	144.2
28	147.1		147.6	146.2	146.8	143.7	139	141.7	139	148.4	145
29	146.8		146.5	145.2	145.4	142.5	143	143	138.5	147.6	143.9
30	146.8		146.5	146	145.4	142.5	143	142	137.1	147.6	143.9
MIN	145.2	0	144.6	143.3	143.6	141.1	133.7	139	136.6	145.5	142
MAX	149.9	0	150	149.2	149.6	146.5	146	146	141.5	150.8	147.6

Dari data yang diperoleh dari P3B Jawa Bali,Region Jawa Bali,Regio Jawa Timur dan Bali bahwa Beban Puncak pada Bulan Juni pada tanggal 14,sehingga aliran daya difokuskan pada aliran daya tersebut.Hal ini dilakukan agar tercapai suatu kondisi dimana transmisi 150 kV bekerja pada pembenan yang maksimal,sehingga dapat diketahui unjuk kerja dari sistem transmisi tersebut.

Tabel 3-2

Data Pembebanan Bus Gardu Induk pada 14 Juni 2007 UPT.Malang

Sumber :PT.PLN (PERSERO) P3B Region Jawa Timur dan Bali

No.Bus	Gardu Induk	Pembebanan		Generator	
		P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q(MVAR)
1	Bangil	80.2	32.6	-	-
2	Pier	9	2.8	-	-
3	Bumi Cokro	28.1	9.4	-	-
4	Bulukandang	9	2.8	-	-
5	Lawang	22.7	7	-	-
6	Pakis	15.6	4.7	-	-
7	Kebun Agung	22.9	55.9	-	-
8	Sengkaling	57.3	37.8	-	-
9	Stami	0.15	0	75	32.2
10	Wlingi	69.6	36.4	20	5.1

### 3.3. Data Saluran

Tabel 3-3  
Data Impedansi Penghantar Terpasang Pada Transmisi 150kV UPT.Malang

Sumber :PT.PLN (PERSERO) P3B Region Jawa Timur dan Bali

Dria	Ke	Data Penghantar			No.Sirkit	I Nom (Amp)
		Teg (kV)	Jarak (km)	Jenis		
KBAGN5	LWANG5	150	25,805	ACSR. AW 330 mm <sup>2</sup>	1	740
KBAGN5	LWANG5	150	25,805	ACSR. AW 330 mm <sup>2</sup>	2	740
KBAGN5	SKLING5	150	15,100	ACSR. HAWK 477 MCM	1	600
KBAGN5	SKLING5	150	15,100	ACSR. HAWK 477 MCM	2	600
KBAGN5	PAKIS5	150	12,900	ACSR. ZEBRAHAWK 2 x 435 mm <sup>2</sup>	1	1600
KBAGN5	PAKIS5	150	12,900	ACSR. ZEBRAHAWK 330 mm <sup>2</sup>	2	1600
KBAGN5	STAMI5	150	27,950	ACSR. AW 330 mm <sup>2</sup>	1	740
KBAGN5	STAMI5	150	27,950	ACSR. AW 330 mm <sup>2</sup>	2	740
STAMI5	WLNGI5	150	23,600	ACSR. AW 160 mm <sup>2</sup>	1	435
LWANG5	BNGIL5	150	34,680	ACSR. AW 330 mm <sup>2</sup>	1	740
BNGIL5	LWANG5	150	34,680	ACSR. AW 330 mm <sup>2</sup>	1	740
BNGIL5	BLKDN5	150	22.770	ACSR. AW 2 x 435 mm <sup>2</sup>	2	740
BNGIL5	PIER5	150	5.150	ACSR. ZEBRA 2 x 435 mm <sup>2</sup>	1	1620
BNGIL5	PIER5	150	5.150	ACSR. ZEBRA 2 x 435 mm <sup>2</sup>	2	1620
PAKIS	PIER5	150	52.507	ACSR. ZEBRA 2 x 435 mm <sup>2</sup>	1	1620
PAKIS	PIER5	150	52.507	ACSR. ZEBRA 2 x 435 mm <sup>2</sup>	2	1620
BNGIL5	BCKR05	150	6.200	ACSR. ZEBRA 2 x 435 mm <sup>2</sup>	1	1620
BNGIL5	BCKR05	150	6.200	ACSR. ZEBRA 2 x 435 mm <sup>2</sup>	2	1620

Tabel 3-4

## Data Penghantar Impedansi Transmisi 150 kV UPT Malang

Sumber :PT.PLN (PERSERO) P3B Region Jawa Timur dan Bali

Dria	Ke	Data Penghantar		No. Sirkuit	R (Ohm/km)	X (Ohm/km)
		Teg (kV)	Jarak (km)			
KBAGN5	LWANG5	150	25,805	1	0.1172	0.4003
KBAGN5	LWANG5	150	25,805	2	0.1172	0.4003
KBAGN5	SKLING5	150	15,100	1	0.1370	0.3966
KBAGN5	SKLING5	150	15,100	2	0.1370	0.3966
KBAGN5	PAKIS5	150	12,900	1	0.0387	0.2807
KBAGN5	PAKIS5	150	12,900	2	0.0387	0.2807
KBAGN5	STAMI5	150	27,950	1	0.1172	0.4003
KBAGN5	STAMI5	150	27,950	2	0.1172	0.4003
STAMI5	WLANGI5	150	23,600	1	0.2136	0.4080
LWANG5	BNGIL5	150	34,680	1	0.1172	0.4003
BNGIL5	LWANG5	150	34,680	1	0.1172	0.4003
BNGIL5	BLKDN5	150	22,770	2	0.1172	0.4003
BNGIL5	PIER5	150	5.150	1	0.0387	0.2807
BNGIL5	PIER5	150	5.150	2	0.0387	0.2807
PAKIS	PIER5	150	52.507	1	0.0387	0.2807
PAKIS	PIER5	150	52.507	2	0.0387	0.2807
BNGIL5	BCKR05	150	6.200	1	0.0387	0.2807
BNGIL5	BCKR05	150	6.200	2	0.0387	0.2807

Dari table dia tas dapat di hitung nilai impedansi per – unit

Menjadi :<sup>[3]</sup>

$$Z_{act} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(0.1172)^2 + (0.4003)^2} = 0.4176 \Omega$$

$$Z_{bus} = \frac{kV^2}{100MVA} = \frac{(150)^2 kV^2}{1000MVA} = 225 \Omega$$

$$Z_{PU} = \frac{Z_{ACT}}{Z_{BUS}} = \frac{0.4176}{225} = 0.001856 pu$$

Untuk nilai resistansi saluran dari nilai tiap – tiap bus

sebagai berikut :<sup>[3]</sup>

$$R_{O pu} = \frac{R \times \text{jarak}(km)}{Z_{BUS}} = \frac{0.1172 \times 25.805}{225} = 0.0134 pu$$

Untuk nilai Reaktansi saluran yang menghubungkan dari tiap- tiap bus

adalah dengan rumusan sebagai berikiut :<sup>[3]</sup>

$$X_{O pu} = \frac{X \times \text{jarak}(km)}{Z_{BUS}} = \frac{0.4003 \times 25.805}{225} = 0.0459 pu$$

Sedangkan untuk nilai kapasitansi pada saluran yang menghubungkan tiap – tiap bus diabaikan karena sistem tergolong pada saluran pendek dalam klasifikasi saluran transmisi

Klasifikasi saluran transmisi mendasari besar kecilnya kapasitansi ke tanah. Bila kapasitansi kecil, dengan demikian arus bocor ke tanah kecil terhadap arus beban, maka dalam hal ini kapasitansi ke tanah diabaikan. Saluran transmisi diklasifikasikan saluran pendek apabila jarak antar bus kurang dari 80 km.<sup>[9]</sup>

Tabel 3-5


Hasil Penghitungan Impedansi Penghantar Pada Transmisi 150kV UPT.Malang

Dria	Ke	Data Penghantar		No. Sirkuit	Ro (pu)	Xo (pu)
		Teg (kV)	Jarak (km)			
KBAGN5	LWANG5	150	25,805	1	0.0134	0.0459
KBAGN5	LWANG5	150	25,805	2	0.0134	0.0459
KBAGN5	SKLING5	150	15,100	1	0.0092	0,0266
KBAGN5	SKLING5	150	15,100	2	0.0092	0,0266
KBAGN5	PAKIS5	150	12,900	1	0.0022	0.0161
KBAGN5	PAKIS5	150	12,900	2	0.0022	0.0161
KBAGN5	STAMI5	150	27,950	1	0.0146	0.0497
KBAGN5	STAMI5	150	27,950	2	0.0146	0.0497
STAMI5	WLANG5	150	23,600	1	0.0224	00428
LWANG5	BNGIL5	150	34,680	1	0.0181	0.0617
BNGIL5	LWANG5	150	34,680	1	0.0181	0.0617
BNGIL5	BLKDN5	150	22.770	2	0.0145	0.0494
BNGIL5	PIER5	150	5.150	1	0.0089	0.0064
BNGIL5	PIER5	150	5.150	2	0.0089	0.0064
PAKIS	PIER5	150	52.507	1	0.0903	0.0655
PAKIS	PIER5	150	52.507	2	0.0903	0.0655
BNGIL5	BCKR05	150	6.200	1	0.0107	0.0077
BNGIL5	BCKR05	150	6.200	2	0.0107	0.0077

### 3.5. Kapasitor Statis Terpasang GI Kebon Agung UPT Malang

Tabel 3- 6

Data Kapasitor Statis GI Kebon Agung UPT Malang

	<b>PT.PLN (PERSERO) P3B REGION JAWA TIMUR DAN BALI UNIT PELAYANAN TRNASMISI MALANG</b>
Gardu Induk :	Kebon Agung
Capasitor Bank :	150 kV 25MVAR
CAPASITOR	
Merk :	Cooper Power System
Type :	X -7L
No Seri :	-
Rated Tegangan :	50/125kV
Cr Td :	14.15mf
Co cr :	14.25 mf
S/p :	6/3
Jumlah :	48 Buah
Keterangan :	1Phasa 16 capasitor di hubungkan seri

### 3.6 *Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation*

PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi sistem menggunakan PSCAD/EMTDC:

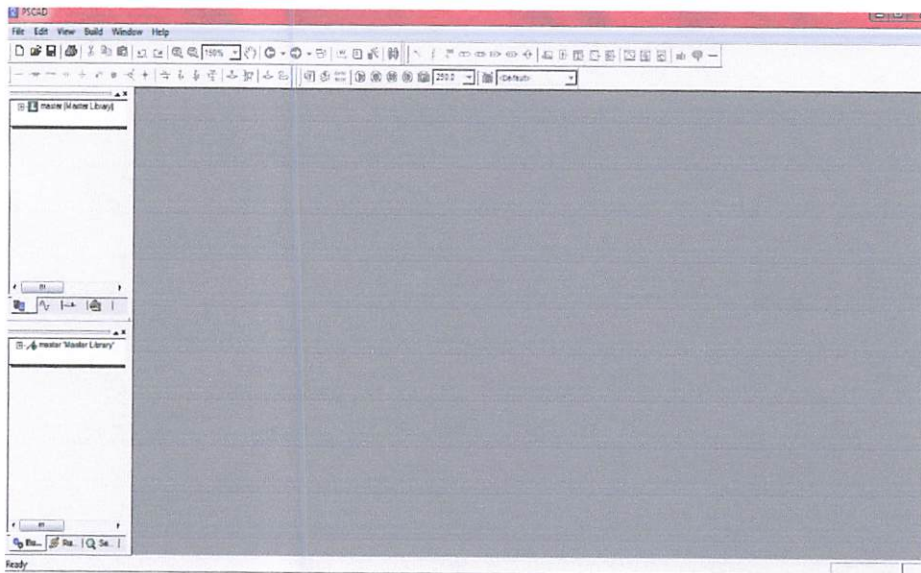
- *Resistors, inductors, capacitors*

- *Mutually coupled windings, such as transformers*
- *Frequency dependent transmission lines and cables (including the most accurate time domain line model in the world)*
- *Current and voltage sources*
- *Switches and breakers*
- *Protection and relaying*
- *Diodes, thyristors, GTOs, IGBTs*
- *Analog and digital control functions*
- *AC and DC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models*
- *Meters and measuring functions*
- *Generic DC and AC controls*
- *HVDC, SVC, and other FACTS controllers*
- *Wind source, turbines and governors*



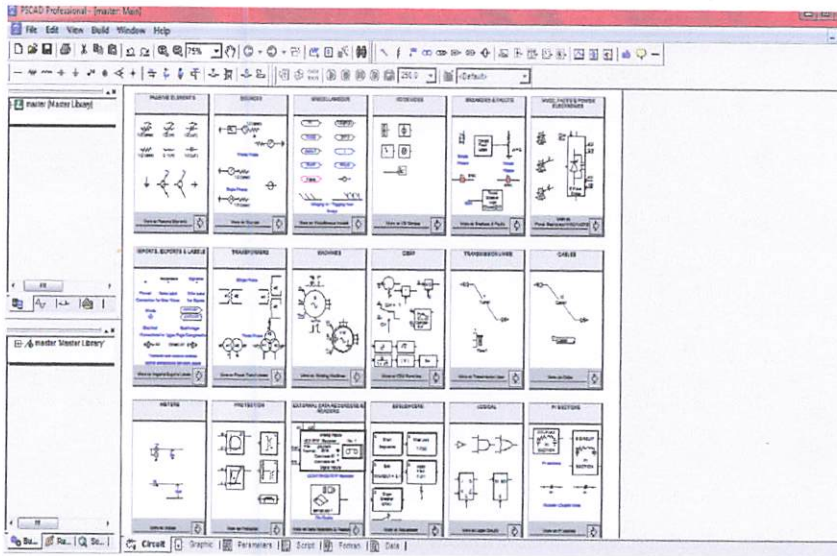
### 3.7 Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation

Tampilan Utama PSCAD Power Simulation adalah sebagai berikut :



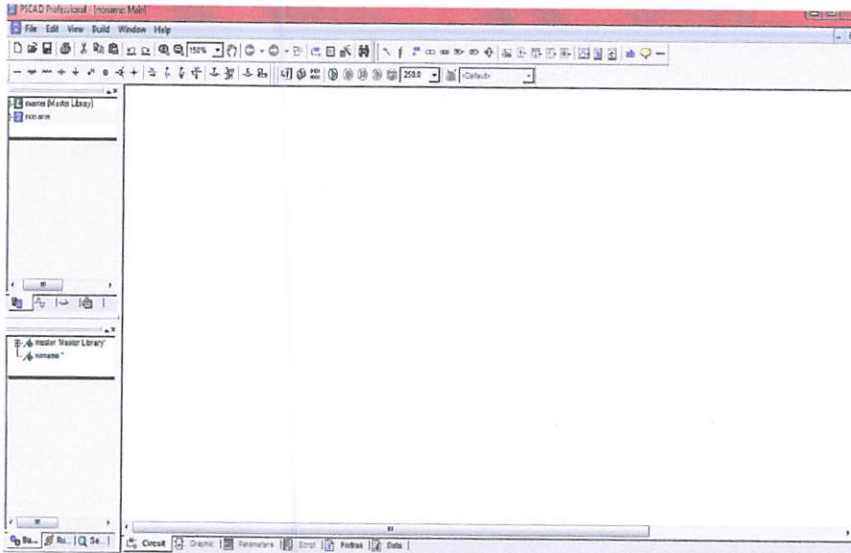
Gambar 3.3. Tampilan utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik : File > New > case. Setelah melakukan prosedur di atas secara *default* PSCAD akan memberi nama *file* baru yang kita buat dengan nama “noname”. Kemudian kita klik nama *file*-nya maka akan muncul tampilan seperti Gambar 4.2.
- Semua komponen yang akan digunakan dalam menggambar *single line* terdapat di dalam *Master Library* seperti pada tampilan di bawah ini. Untuk menggunakan *right klik on the component* > *copy* dan kemudian *paste* pada modul.



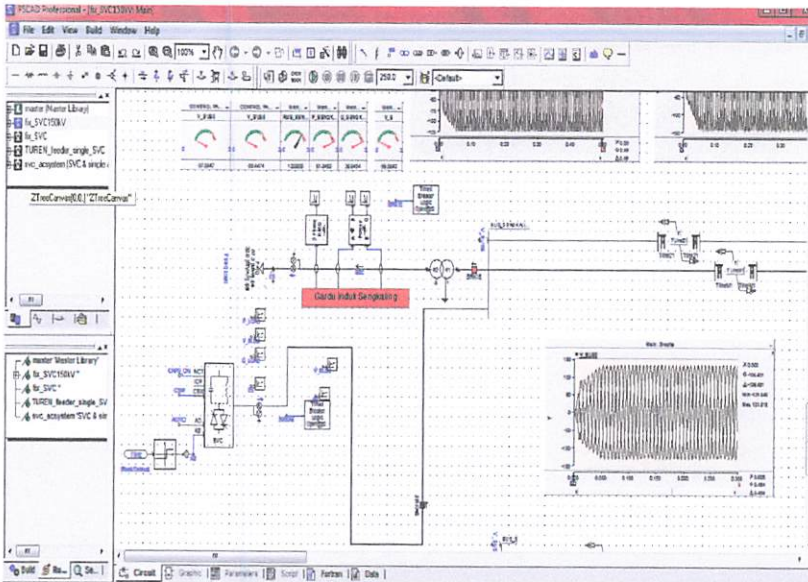
Gambar 3.4. Tampilan *Master Library*

- *Double klik file* baru yang sudah dibuat, maka akan muncul tampilan seperti di bawah ini, komponen-komponen dirangkai dalam modul ini.



Gambar 3.5. Tampilan Modul Utama

- Setelah mendesain sistem seperti yang dibutuhkan, maka dapat kita lihat tampilan single line dalam modul utama sebagai berikut.



Gambar 3.6. Tampilan contoh *Single Line* dalam PSCAD

[fixed\_load] Fixed Load X

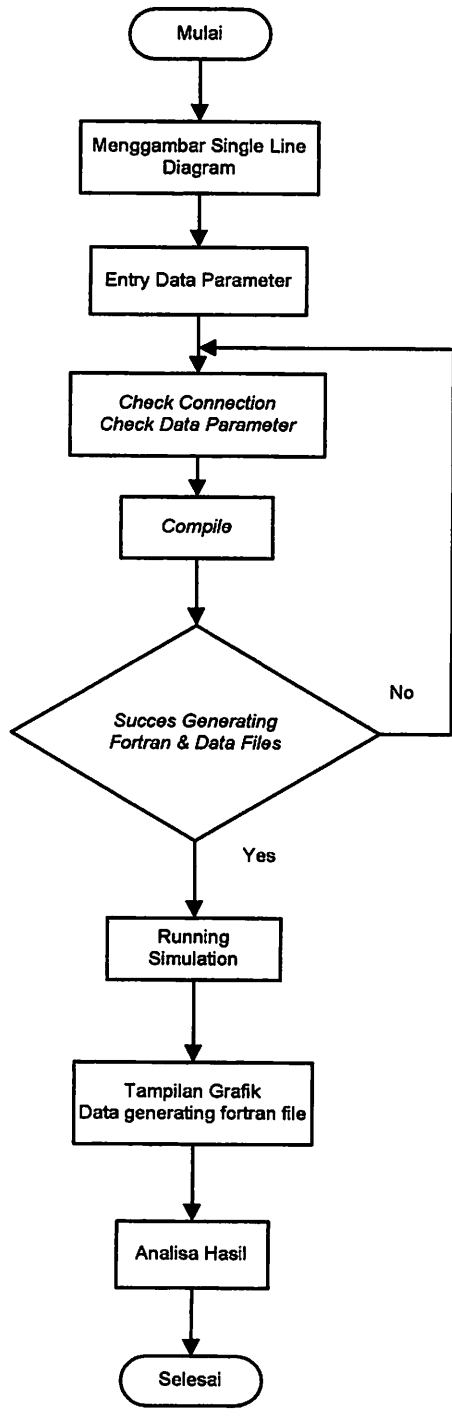
Parameters

Rated Real Power per phase	80.2 [MW]
Rated Reactive Power(+inductive) per phase	32.6 [MVAR]
Rated Load Voltage (rms L-G)	150 [kV]
Volt Index for Power (dP/dV)	2
Volt Index for Q (dQ/dV)	2
Freq Index for Power (dP/dF)	0
Freq Index for Q (dQ/dF)	0
Fundamental Frequency	50 [Hz]
Display details?	Yes

OK
Cancel
Help...

Gambar 3.7. Tampilan Input Data Fixed Load

### 3.8 Input Data Dalam PSCAD/EMTDC Power Simulation



Gambar 3.8.. Flowchart Pemecahan Masalah Menggunakan Software PSCAD

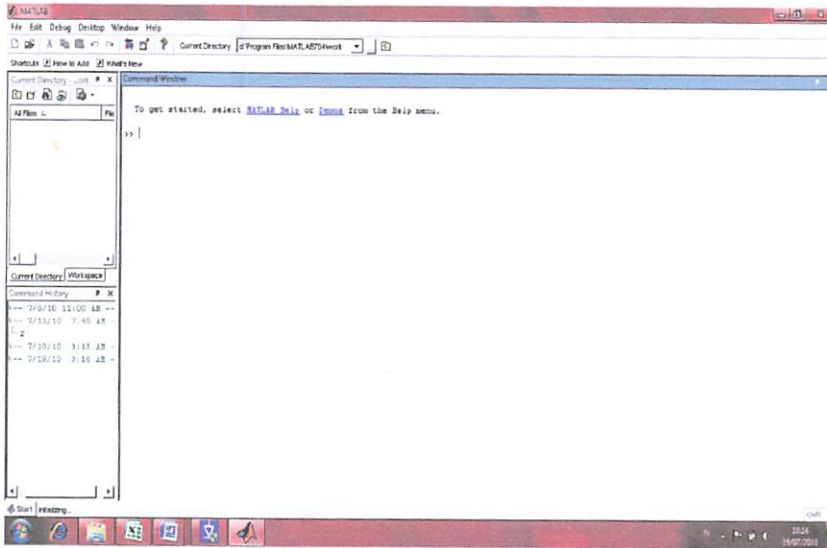
### 3.9 *Software* MATLAB

Untuk simulasi optimasi penempatan lokasi SVC menggunakan metode GA digunakan *software* MATLAB 7.0.4.

MATLAB adalah sebuah program untuk menyelesaikan perhitungan ilmiah maupun teknik secara numeris. Matlab dikendalikan dengan perintah-perintah (*commands*) dan karenanya bersifat dapat deprogram. MATLAB menggunakan teknik-teknik khusus berbasis matriks untuk menyelesaikan persoalan. Dengan cara ini banyak kemudahan yang diperoleh pemakai, selain cara pemrogramannya yang tidak rumit, solusi masalah yang dinyatakan MATLAB adalah mirip dengan apa yang dituliskan secara matematis.

Ada banyak aplikasi yang dikembangkan oleh para pemakainya, mulai dari pemrosesan sinyal, kontrol otomatis sampai dengan saraf tiruan. *The Matwork Inc.* yaitu perusahaan yang *me-release* MATLAB menyediakan berbagai versi dari MATLAB untuk berbagai jenis komputer. Sebagai analisis pada pembuatan skripsi ini digunakan MATLAB versi 7.0.4.

MATLAB secara default adalah *case sensitive*, yaitu membedakan pemakaian antara huruf kapital dan huruf kecil. Pada umumnya perintah-perintah MATLAB ditulis dengan huruf kecil (*lower case*).



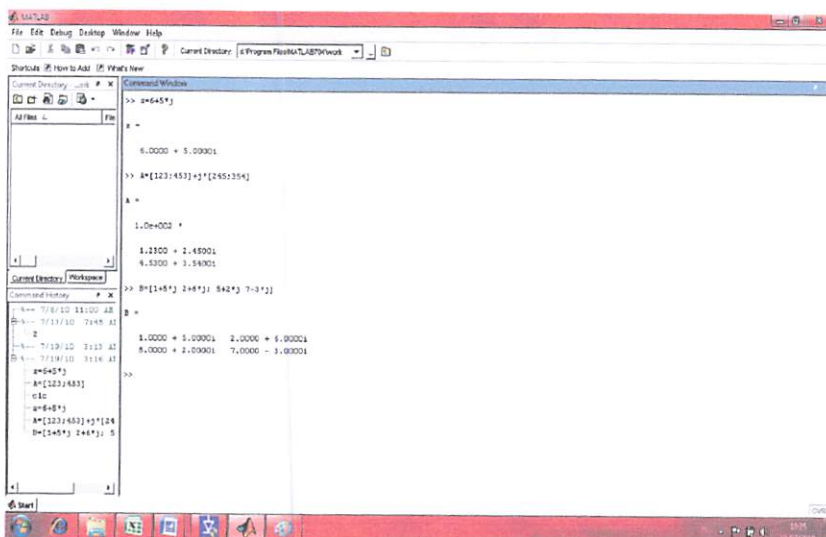
Gambar 3.9.. Tampilan Awal MATLAB Versi 7.0.4.

Bilangan kompleks juga dapat dipergunakan dalam MATLAB, dengan definisi satuan bilangan kompleks “i” atau “j” =  $\sqrt{-1}$ , dimana antara keduanya dapat dipergunakan tergantung pemakai. Penulisan bilangan kompleks ini mempergunakan standar konvensional :

$$z = a + j*b$$

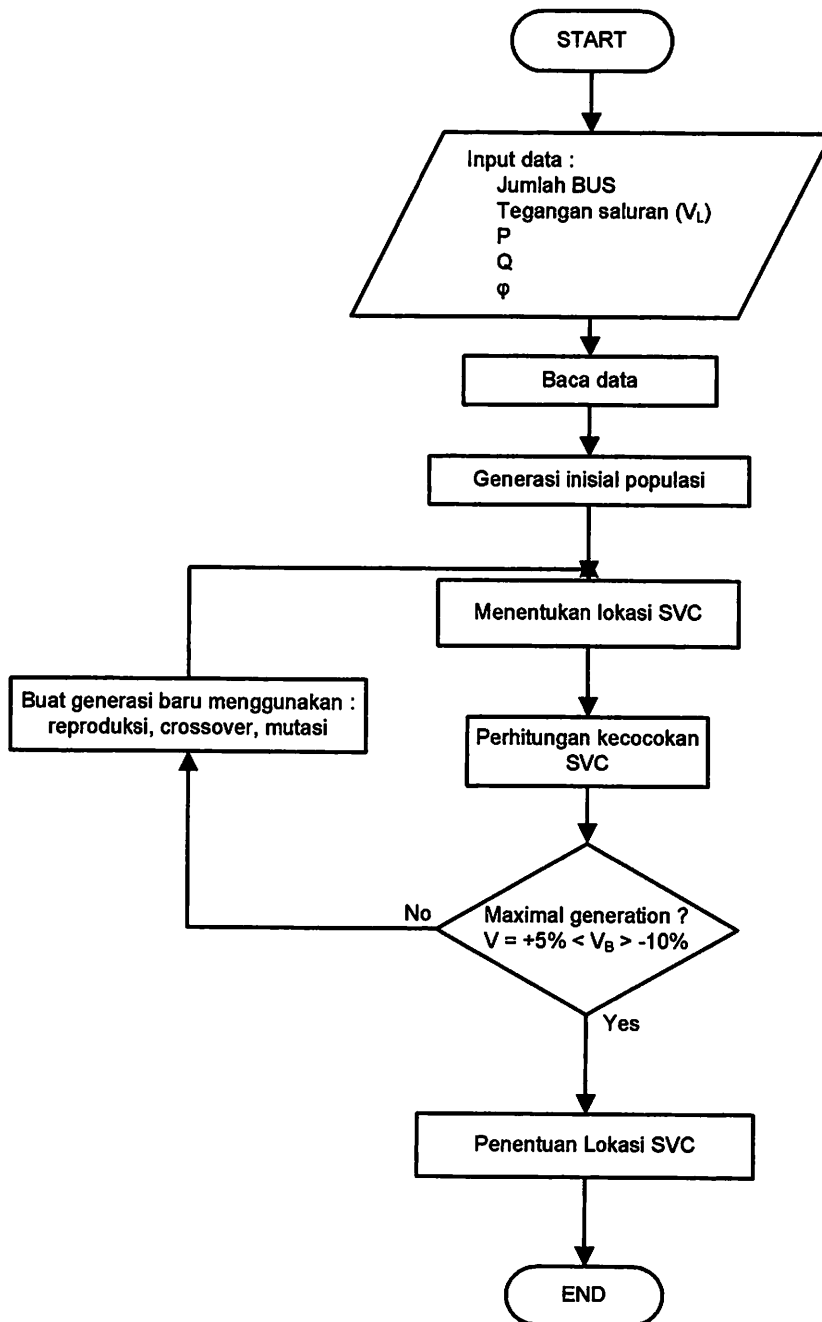
Keterangan, a = komponen real

b = komponen imajiner



Gambar 3.10. Matriks Bilangan Kompleks

### 3.9.1 Hasil Simulasi Menggunakan *Software* MATLAB



Gambar 3.11. Flowchart optimasi SVC menggunakan GA

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada penulisan skripsi ini penulis menggunakan data dari PT. PLN (Persero) UPT Malang sistem 150 kV yang terdiri dari 10 bus .

Bus pada sistem 150 kV terdiri dari :

- 1) Bus 1 : Bus 150 kV Bangil
- 2) Bus 2 : Bus 150 kV Bulu Kandang
- 3) Bus 3 : Bus 150 kV Lawang
- 4) Bus 4 : Bus 150 kV Bumi Cokro
- 5) Bus 5 : Bus 150 kV Pier
- 6) Bus 6 : Bus 150 kV Pakis
- 7) Bus 7 : Bus 150 kV Kebun Agung
- 8) Bus 8 : Bus 150kV Sengkaling
- 9) Bus 9 : Bus 150 kV Stami
- 10) Bus 10 : Bus 150 kV Wlingi

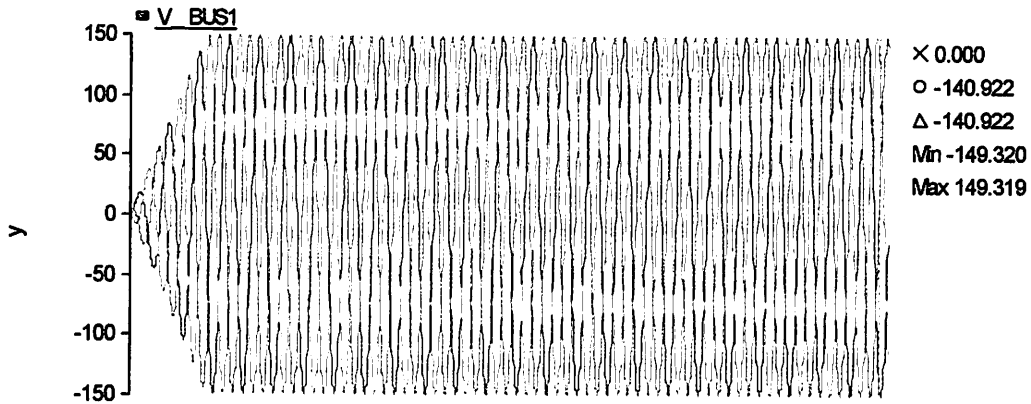
#### **4.1. Data Program PSCAD Sebelum Menggunakan SVC**

Sebagai hasil program pada skripsi ini menggunakan software PSCAD

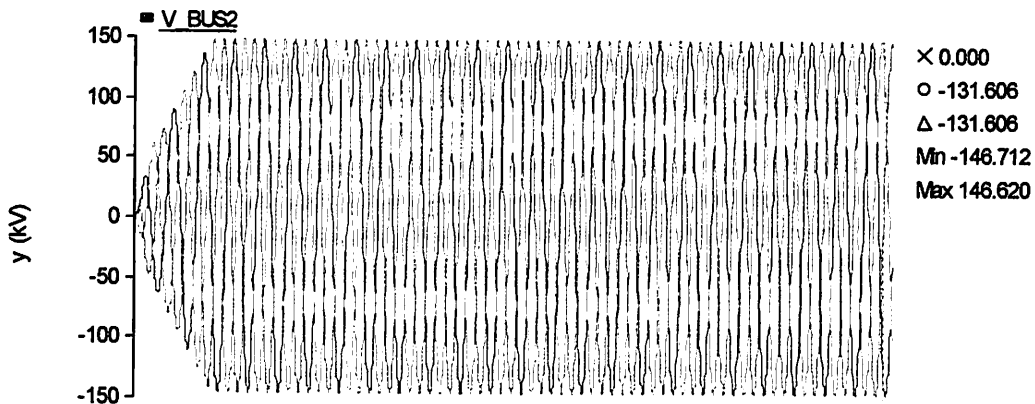
v.4.2 dengan hasil sebagai berikut :

- Tegangan pada Bus

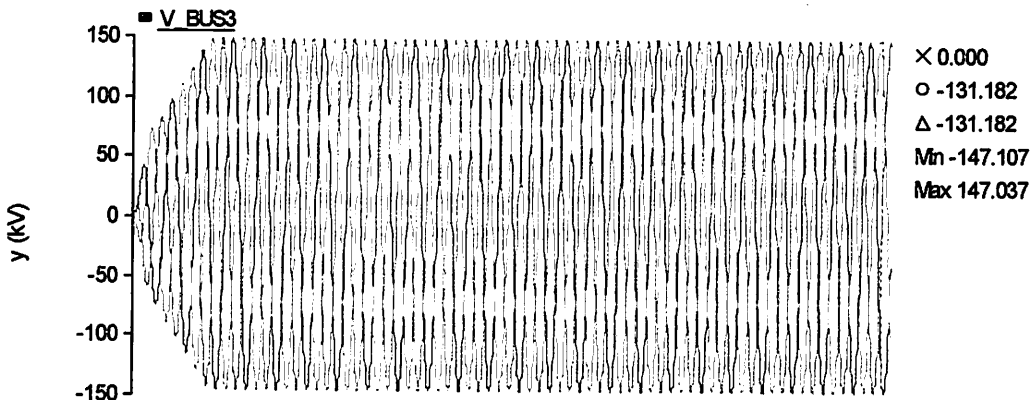




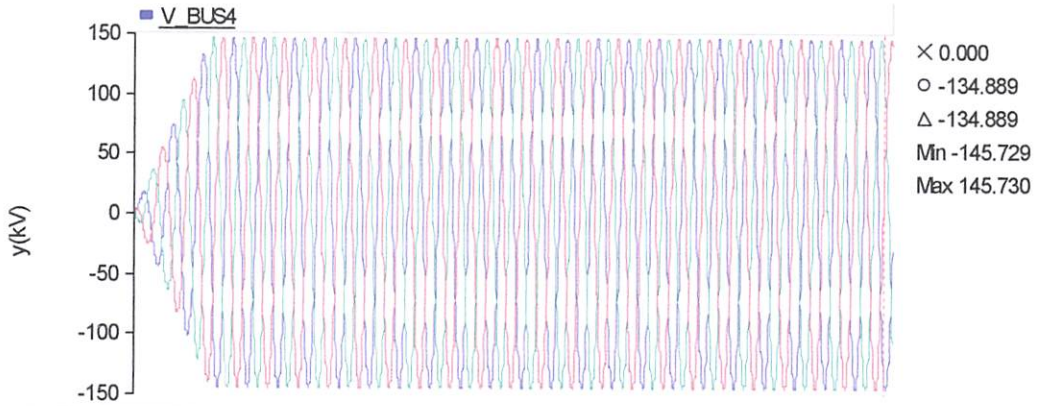
Grafik 4.1. Tegangan pada Bus 1 Bangil min 149kV; max 149,319kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



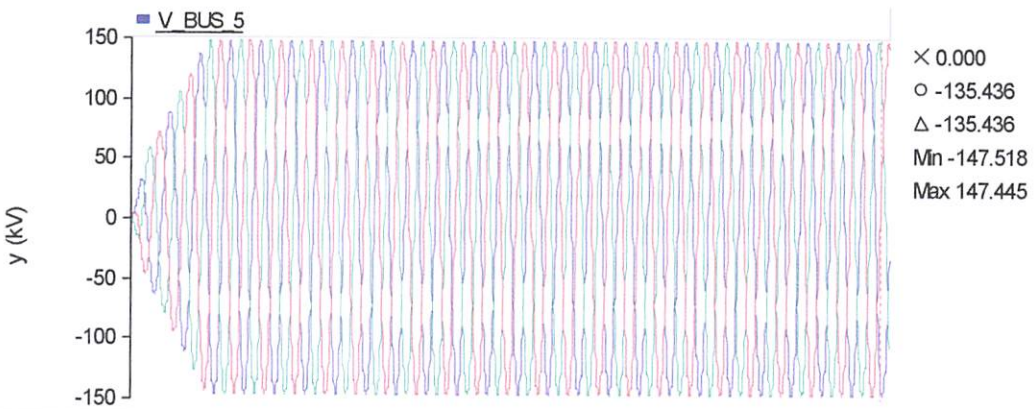
Grafik 4.2. Tegangan pada Bus 2 Bulukandang min 146.712kV; max 146.620kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



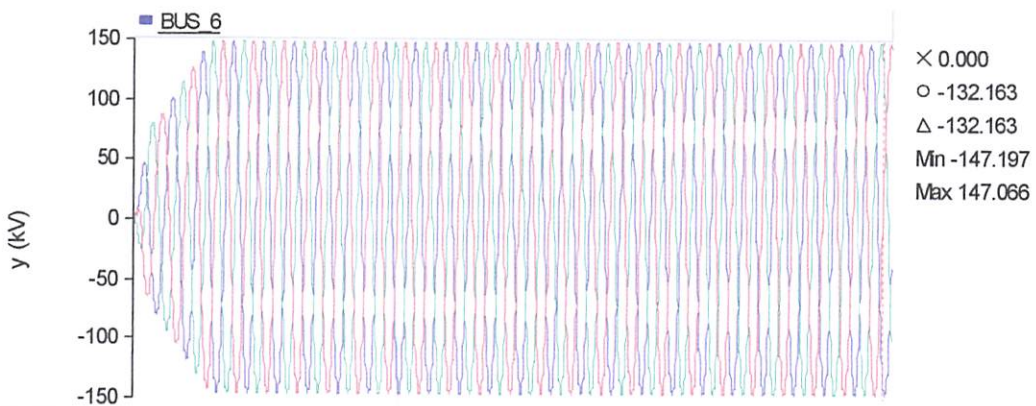
Grafik 4.3. Tegangan pada Bus 3 Lawang min=147.182kV; max 147.037kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



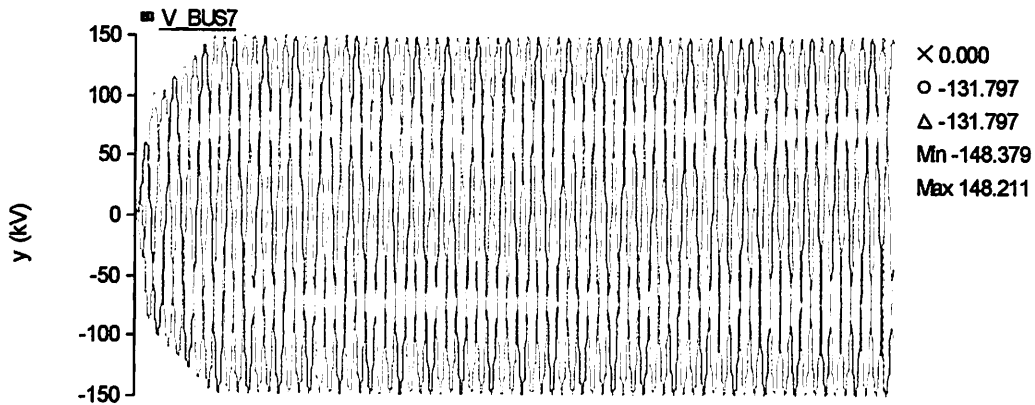
Grafik 4.4. Tegangan pada Bus 4 Bumi Cokro min 145.730kV; max145.730kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



Grafik 4.5. Tegangan pada Bus 5 Pier min 147.518kV; max 147kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



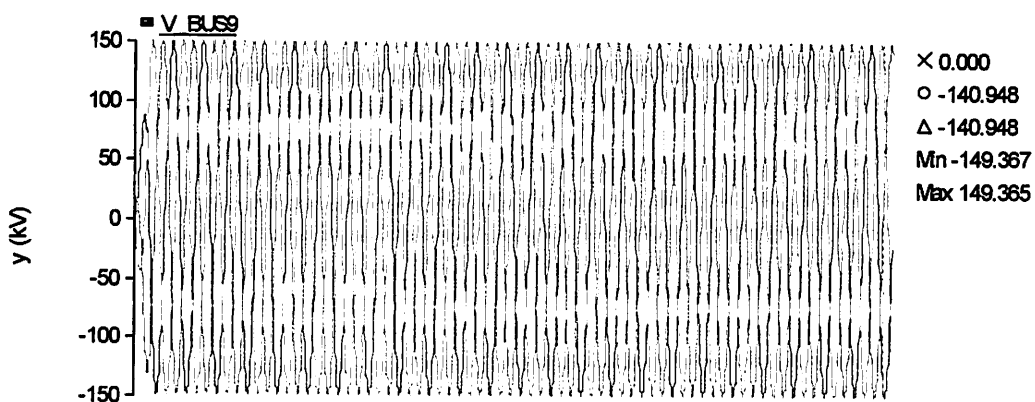
Grafik 4.6. Tegangan pada Bus 6 Pakis min=147.197kV; max147.066kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



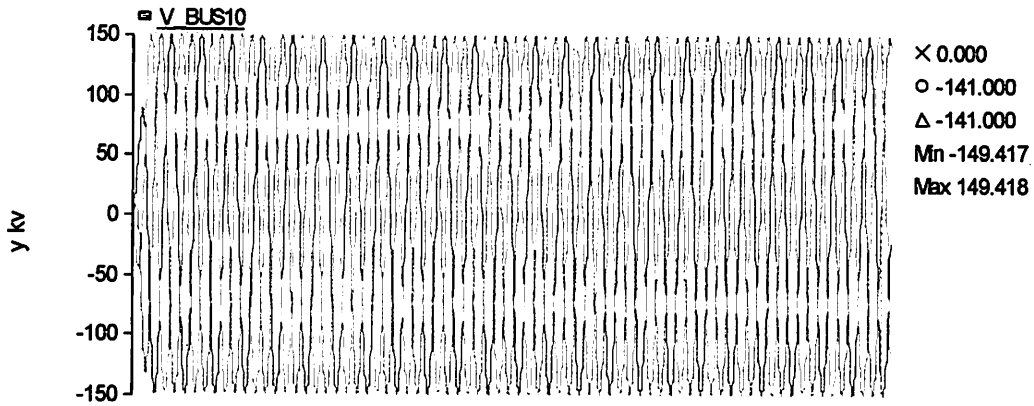
Grafik 4.7. Tegangan pada Bus 7 Kebun Agung min148.379kV; max 148.211kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



Grafik 4.8. Tegangan pada Bus 8 Sengkaling min 133.680kV; max 133.475kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



Grafik 4.9. Tegangan pada Bus 9 Stamin min 149.367kV; max 149.365kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;



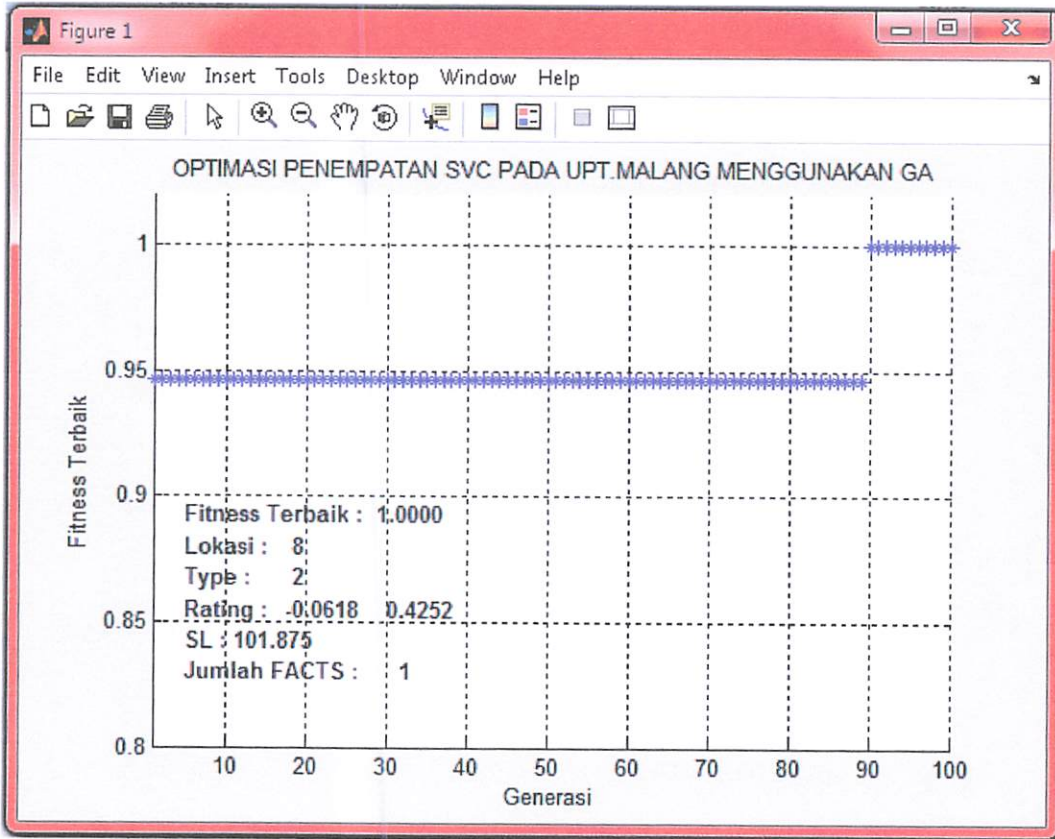
Grafik 4.10. Tegangan pada Bus 10 Wlingi min 149.417kV; max 418kV  
 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;

Untuk lebih jelas besar nilai tegangan pada tiap-tiap Bus dilihat pada tabel4-1

Tabel 4-1  
 Tegangan Pada Bus Sistem 150 kV Sebelum dipasang SVC

Transmisi 150kV UPT MALANG (kV)									
Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9	Bus10
149.31	146.62	147.03	145.73	147.44	147.06	148.21	133.47	149.36	149.41

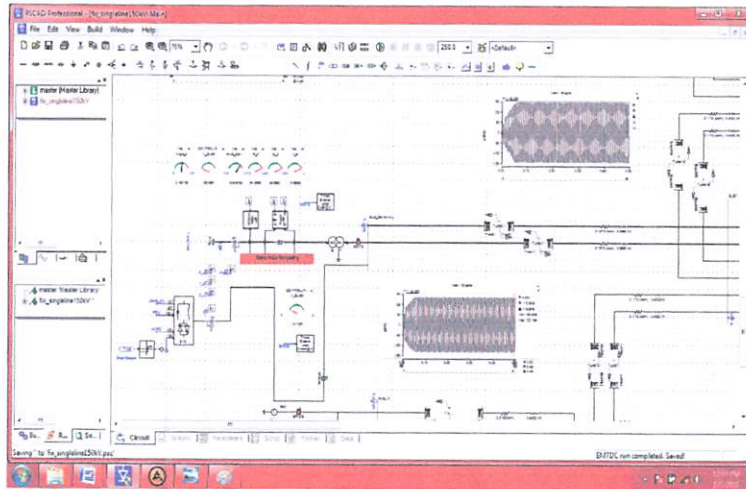
## 4.2. Hasil Simulasi Menggunakan *Software MATLAB 7.04*



Gambar 4.11 Plot Optimasi menggunakan GA

Berdasarkan toleransi standart PLN hasil simulasi menggunakan program MATLAB dengan metode GA (Gambar 4.1) di dapat lokasi penempatan yang optimal dalam pemasangan SVC di sistem Gardu Induk Sengkaling pada Bus 8 dengan  $v = 133,47$  kV dengan memperlihatkan batas maksimal tegangan untuk system transmisi 150kV adalah 5% yaitu 157,5kV sedangkan untuk batas minimal tegangan untuk system transmisi 150kV adalah 10% yaitu 135kV ,terjadi jatuh tegangan kategori *under voltage typical voltage magnitude*.Maka dari itu jatuh tegangan harus diperhatikan untuk memperoleh kualitas daya yang baik.

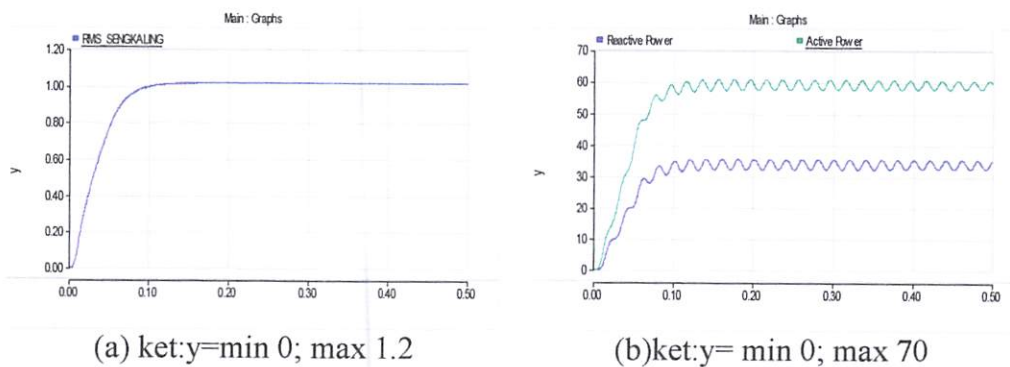
Selanjutnya hasil dari simulasi menggunakan program MATLAB di aplikasikan kembali kedalam program PSCAD, yaitu pemasangan rangkaian SVC pada bus 8.



Gambar 4.12  
Penempatan SVC pada Bus 8 Sengkaling menggunakan PSCAD

Dari hasil simulasi memasang SVC pada bus 8 menggunakan program PSCAD di dapatkan hasil seperti gambar sebagai berikut :

- Pembebanan Daya pada Bus system Saluran Transmisi 150 kV PT.PLN(PERSERO) UPT.MALANG :



Grafik 4.13 (a) Bentuk Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa (b) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Daya Reaktif, Saat Terjadi pada Bus 8 setelah dipasang SVC

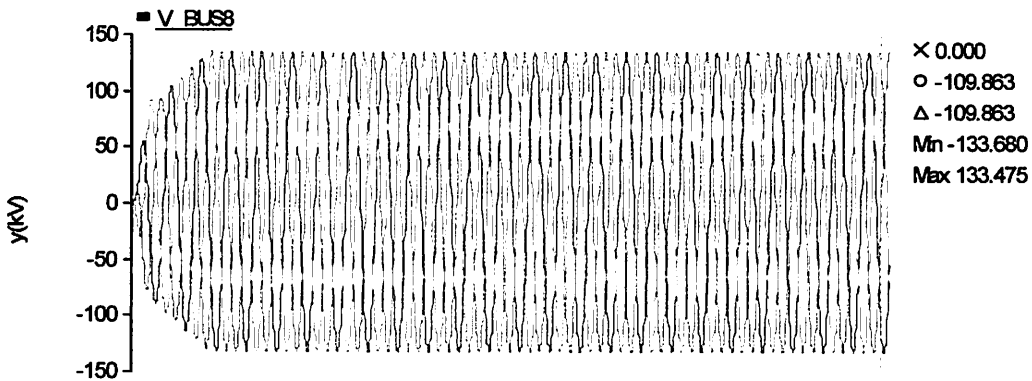
Tabel 4-2  
Perbandingan Pembebanan Setelah dipasang SVC  
Pada Bus 8

Nama Bus	Sebelum		Setelah	
	P (kW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
Bus 1	80.2	32.6	80.2	32.6
Bus 2	9	2.8	9	2.8
Bus 3	22.1	7	22.1	7
Bus 4	28.1	9.4	28.1	9.4
Bus 5	9	2.8	9	2.8
Bus 6	15.6	4.7	15.6	4.7
Bus 7	22.9	55.9	22.9	55.9
Bus 8	57.3	37.8	60.7	35.5
Bus 9	69.6	36.4	69.6	36.4
Bus 10	0.15	-	0.15	-
$\Sigma$ Bus	31,39	18.4	31,73	18,71

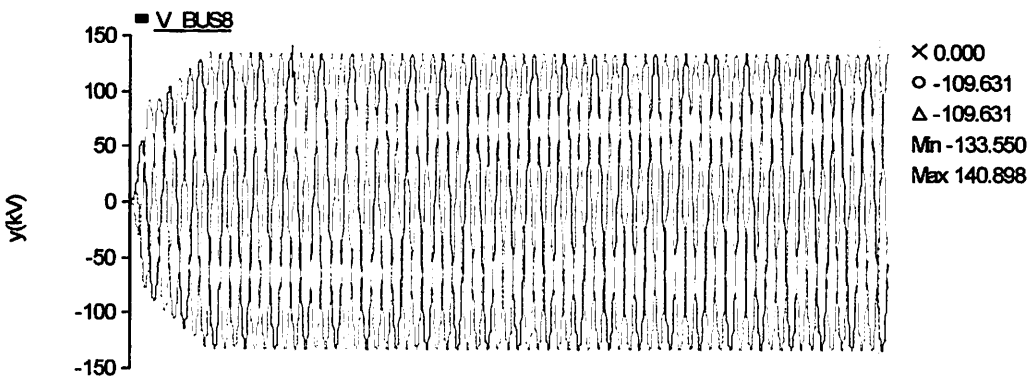
Dari hasil pada tabel 4-2 menunjukkan bahwa penggunaan SVC pada sistem transmisi 150 kV UPT. Malang sangat efektif untuk meningkatkan loadability system terjadi perubahan daya pada bus 8 yaitu P=57.3MW menjadi 60.1 terjadi kenaikan P=2,8 MW; Q=37,8MVAR menjadi 35,5 MVAR terjadi penurunan Q=2.3 MVAR.

### 4.3 Hasil perhitungan aliran daya pada Sistem 150kV UPT.MALANG

Perbandingan tegangan Sebelum dan Setelah pemasangan SVC Pada Bus 8



Grafik 4.14 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;  
Perbandingan Tegangan Sebelum Pemasangan SVC Pada Bus 8 max=133,475kV



Grafik 4.15 Ket: y=Tegangan max 150kV; min 150kV;  
Perbandingan Tegangan Setelah Pemasangan SVC Pada Bus 8 max =140,989kV

Tabel 4-3  
Tegangan Pada Bus Sistem 150 kV Sebelum dipasang SVC

Transmisi 150kV UPT MALANG (kV)									
Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9	Bus10
149.31	146.62	147.03	145.73	147.44	147.06	148.21	133.47	149.36	149.41

Table 4-3 Diatas memperlihatkan tegangan masing – masing bus & pada bus 8 tidak dalam standart kualitas tegangan yaitu SPLN.No.1; +5%;-10%



**Tabel 4-4**  
**Tegangan Pada Bus Sistem 150 kV Setelah dipasang SVC**

Transmisi 150kV UPT MALANG (kV)									
Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9	Bus10
149.31	146.62	147.03	145.73	147.44	147.06	148.21	140.89	149.36	149.41

Table 4-4 Diatas memperlihatkan tegangan masing – masing bus & pada bus 8 masih dalam standart kualitas tegangan yaitu SPLN.No.1; +5%;-10%

**Tabel 4.5**  
**Perbedaan Hasil Tegangan Setelah Pemasangan SVC**  
**Pada Bus 8**

Nama Bus	Sebelum	Setelah
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)
Bus 8	133.47	140.89

Setelah melakukan simulasi table 4.5 diatas memperlihatkan sebelum dan setelah pemasang SVC pada system terjadi perubahan tegangan sebelum compensator 133,47 kv setelah dipasang kompensator SVC Bus 8 menjadi 140.89kV sehingga terjadi kenaikan tegangan sebesar 7,42kV atau sebesar 5,26% . sehingga masih berada dalam toleransi kualitas tegangan standart PLN yaitu toleransi minimum -10% atau sebesar 135 kV yang diizinkan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah melakukan simulasi dan analisis hasil simulasi menunjukkan bahwa pemilihan lokasi SVC (*Static VAR Compensator*) untuk perbaikan kualitas tegangan dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) yang diimplementasikan pada sistem di PT.PLN (PERSERO) UPT.Malang pada saluran Transmisi 150 kV dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pemasangan SVC yang terbaik hasil dari analisa lokasi terletak pada bus 8 dengan  $V=133,47\text{kV}$ .
2. Hasil pemasangan SVC tersebut dapat meningkatkan Tegangan pada Bus 8 dari 133,47 kV menjadi 140,89 kV. Atau perbaikan tegangan sebesar 5,26%.
3. Hasil pemasangan SVC Terjadi perubahan daya pada bus 8 yaitu  $P= 57.3\text{MV}$  menjadi 60.1MV terjadi kenaikan 2,8 MW;  $Q= 37,8 \text{ MVAR}$  menjadi 35,5 MVAR terjadi penurunan  $Q= 2.3 \text{ MVAR}$ .

#### **5.2. Saran**

Bahwa sistem tenaga di Indonesia khususnya di daerah malang, masih sangat perlu untuk meningkatkan kualitas daya elektrik seperti yang dijabarkan dalam skripsi ini. Yaitu penggunaan SVC (*Static VAR Compensator*) untuk meningkatkan performansi sistem agar kualitas tegangan yang digunakan oleh masyarakat terjamin keandalannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hadi Saadat, 1999 "*Power System Analysis*", McGRAW-Hill International Editions, Milwaukee School of Engineering.
- [2]. Ramdhan Halid Siregar dan Syahrizal. 2007" *Analisa Pengaturan Tegangan Menggunakan On Load Tap Changer Dalam Meningkatkan Tegangan Terima 20 kV*", Jurnal Rekayasa ElektriKa, Volume 6, No.1.
- [3]. Amer AL-Hinai, 2000 "*Voltage Collapse Prediction for Interconnected Power System*", Morgantown West Virginia.
- [4]. Chih-Wen LIU, Chen-Sung CHANG and Joe-Air JIANG, 2001 "*Genetic Algorithm as a Reactive Power Source Dispatching Aid for Voltage Security Enhancement*", Proc National Science Council ROC(A), Vol 25 No 1 pp 53-62.
- [5]. Claudio Canizares, IEEE-PES Power System Stability, 11 Juli 2003 "*Subcommittee Special Publication Chapter 4. Voltage Stability Indices*", SP10.
- [6]. Safrizal, Thesis, 2006 "*Pemilihan Lokasi Static VAR Compensator Untuk Perbaikan Keamanan Voltage Collapse Menggunakan Metode Genetic Algorithm*", ITS Surabaya.
- [7]. Emmy Hosea dan Yusak Tanoto, 2004 "*Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode Newton-Raphson*", Jurnal Teknik Elektro, Vol. 4, No. 2, pp. 63-69.
- [8]. Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, ElektriKa, 2008 "*Optimal Placement of Static VAR Compensator Using Genetic Algorithm*", Vol.10, No.01, pp. 26-31.
- [9]. <http://www.elektroindonesia.com/>

*Lampiran*

*1*



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAM TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

# INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

(PERSERO) MALANG  
PT. NIAGA MALANG

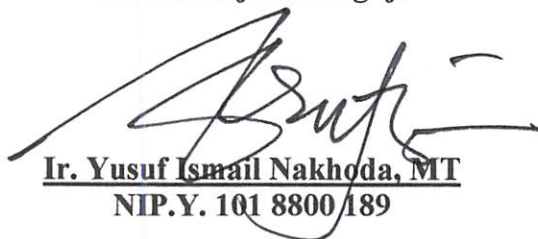
Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

## BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Bayu Kusumarani  
NIM : 04.12.034  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN *STATIC VAR COMPENSATOR*  
UNTUK MEREDUKSI RUGI – RUGI DAYA  
MENGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM* PADA  
SALURAN TRANSMISI 150 kV PT.PLN (PERSERO)  
UPT.MALANG  
Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang program Starata Satu (S-1) pada :  
Hari : Jumat  
Tanggal : 20 Agustus 2010  
Dengan nilai : 80,75 (A) *BY*

### PANITIA UJIAN SKRIPSI

Mengetahui,  
Ketua Majelis Penguji

  
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP.Y. 101 8800 189

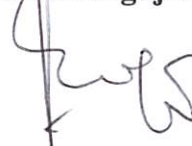
### ANGGOTA PENGUJI

Dosen Penguji I



Ir. Teguh Herbasuki, MT.  
NIP.Y.103 8900 209

Dosen Penguji II



Ir. Eko Nurcahyo  
NIP.Y.102 8700 172



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Bayu Kusumarani  
Nim : 04.12.034  
Masa Bimbingan : 9 Agustus s/d 9 September 2010  
Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN *STATIC VAR COMPENSATOR*  
UNTUK MEREDUKSI RUGI – RUGI DAYA MENGGUNAKAN  
METODE *GENETIC ALGORITHM* PADA SALURAN  
TRANSMISI, 150 kV PT.PLN (PERSERO) UPT.MALANG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	11-8-2010	Bimbingan Bab I,II dan III	
2.	11-8-2010	Revisi Bab I,II dan III	
3.	11-8-2010	Bimbingan Bab IV dan V	
4.	11-8-2010	Revisi Bab IV dan V	
5.	12-8-2010	Bimbingan makalah seminar hasil	
6.	12-8-2010	Acc makalah seminaar hasil	
7.	19-8-2010	Revisi seluruh Bab	
8.	19-8-2010	Acc Ujian Skripsi	
9.			
10.			

Malang, Agustus 2010  
Dosen Pembimbing,

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)

NIP.Y.1018800189



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Bayu Kusumarani  
Nim : 04.12.034  
Masa Bimbingan : 9 Agustus s/d 9 September  
Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN *STATIC VAR COMPENSATOR*  
UNTUK MEREDUKSI RUGI – RUGI DAYA MENGGUNAKAN  
METODE *GENETIC ALGORITHM* PADA SALURAN  
TRANSMISI 150 kV PT.PLN (PERSERO) UPT.MALANG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	9-10-2010	Bimbingan Bab I,II dan III	
2.	11-10-2010	Revisi Bab I,II dan III	
3.	11-10-2010	Bimbingan Bab IV dan V	
4.	12-8-2010	Revisi Bab IV dan V	
5.	12-8-2010	Bimbingan makalah seminar hasil	
6.	12-8-2010	Acc makalah seminaar hasil	
7.	19-8-2010	Revisi seluruh Bab	
8.	19-8-2010	Acc Ujian Skripsi	
9.			
10.			

Malang, Agustus 2010  
Dosen Pembimbing,

**(Bambang Prio Hartono ST,MT)**

**NIP.Y.1028400082**

*Lampiran*

*2*



## MATLAB SOURCE CODE

```

clc;
clear all;
Macam=input('2:START: ');
nFacts=input('Banyaknya SVC yang
digunakan : ');
tic
nBus=11;      %banyaknya Bus
nLine=14;     %Banyaknya Saluran
UkPop=50;     %Ukuran populasi
MaxGen=100;   %maksimum generasi
Psilang=0.9;  %Peluang Pindah Silang
PmutX=0.05;   %Peluang Mutasi
Lokasi
PmutY=0.05;   %Peluang Mutasi Type
PmutZ=0.05;   %Peluang Mutasi rating
Bf=0.25;      %Batas atas figure
SL=1;         %Inisialisasi Sistem
Loadability
ulang=0;
coba=0;

%Inisialisasi Grafis
hfig=figure;
hold on
title('OPTIMASI PENEMPATAN SVC
MENGUNAKAN GA');
set(hfig,'Position',[250,200,600,400]);
set(hfig,'DoubleBuffer','on');
axis([1 MaxGen 0.8 1.02]);
hbestplot
plot(1:MaxGen,zeros(1,MaxGen),'');
htext1
text(0.05*MaxGen,0.45*Bf+0.78,sprintf('Fit
ness Terbaik : %7.4f',
0.0),'FontWeight','bold');
htext2
text(0.05*MaxGen,0.40*Bf+0.78,sprintf('Lo
kasi :'),'FontWeight','bold');
htext21
text(0.15*MaxGen,0.40*Bf+0.78,sprintf('%
5.4f',0.0),'FontWeight','bold');
htext3
text(0.05*MaxGen,0.35*Bf+0.78,sprintf('Ty
pe :'),'FontWeight','bold');
htext31
text(0.15*MaxGen,0.35*Bf+0.78,sprintf('%
5.4f',0.0),'FontWeight','bold');
htext4
text(0.05*MaxGen,0.30*Bf+0.78,sprintf('rat
ing :'),'FontWeight','bold');

htext41
text(0.15*MaxGen,0.30*Bf+0.78,sprintf('%
5.4f',0.0),'FontWeight','bold');
htext5
text(0.05*MaxGen,0.25*Bf+0.78,sprintf('R
ating :'),'FontWeight','bold');
htext51
text(0.15*MaxGen,0.25*Bf+0.78,sprintf('%
7.4f',0.0),'FontWeight','bold');
htext6
text(0.05*MaxGen,0.20*Bf+0.78,sprintf('S
L :'),'FontWeight','bold');
htext7
text(0.05*MaxGen,0.15*Bf+0.78,sprintf('Ju
mlah FACTS :'),'FontWeight','bold');
htext71
text(0.3*MaxGen,0.15*Bf+0.78,sprintf('%7.
4f',0.0),'FontWeight','bold');
xlabel('Generasi');
ylabel('Fitness Terbaik');
hold off
drawnow;

%Mendapatkan Power Loss awal
awal_x
fix(random('unif',1,nLine+1,1,nFacts));
awal_y = zeros(1,nFacts);
awal_z = random('unif',-1,1,1,nFacts);
[Fitness,V,Del,PI,QI,PI,QI,Pg,Qg,fb,tb,Pij,
Qij,Lpij,Lqij]=loading(awal_x,awal_y,awal_
z,nFacts,nBus);
fprintf('\n');
disp('-----');
disp(' Newton Raphson
Loadflow Analysis ');
disp('-----');
disp('-----');
disp('| Bus | V | Angle | Injection
| Generation | Load |');
disp('| No | pu | Degree | MW |
MVar | MW | Mvar | MW |
MVar |');
disp('-----');
disp('-----');
for m = 1:nBus
fprintf('%3g', m); fprintf(' %8.4f', V(m));
fprintf(' %8.4f', Del(m));
fprintf(' %8.3f', Pi(m)); fprintf(' %8.3f',
Qi(m));

```

```

fprintf(' %8.3f', Pg(m)); fprintf(' %8.3f',
Qg(m));
fprintf(' %8.3f', Pl(m)); fprintf(' %8.3f',
Ql(m)); fprintf('\n');
end
disp('-----');
fprintf(' Total '); fprintf(' %8.3f',
sum(Pi)); fprintf(' %8.3f', sum(Qi));
fprintf(' %8.3f', sum(Pi+Pi)); fprintf('
%8.3f', sum(Qi+Ql));
fprintf(' %8.3f', sum(Pl)); fprintf(' %8.3f',
sum(Ql)); fprintf('\n');
disp('-----');

fprintf('\n');
fprintf('\n');
disp('-----');

disp(' Line FLow and Losses
');
disp('-----');

disp('|From|To| P | Q | From| To|
P | Q | Line Loss |');
disp('|Bus|Bus| MW | MVar | Bus |
Bus| MW | MVar | MW | MVar
|');
disp('-----');

for m = 1:nLine
p = fb(m); q = tb(m);
fprintf('%4g', p); fprintf('%4g', q); fprintf(
'%8.3f', Pij(p,q)); fprintf(' %8.3f', Qij(p,q));
fprintf(' %4g', q); fprintf('%4g', p); fprintf(
'%8.3f', Pij(q,p)); fprintf(' %8.3f', Qij(q,p));
fprintf(' %8.3f', Lpij(m)); fprintf(' %8.3f',
Lqij(m));
fprintf('\n');
end
disp('-----');
fprintf(' Total Loss
');
fprintf(' %8.3f', sum(Lpij)); fprintf(' %8.3f',
sum(Lqij)); fprintf('\n');
disp('-----');

fprintf('\n');
fprintf('\n');
PLoss_awal = sum(Lpij);
QLoss_awal = sum(Lqij);
PLo=PLoss_awal;
QLo=QLoss_awal;

```

#### %Inisialisasi Nilai terbaik

```

terFit=zeros(1,MaxGen);
fterbaik=zeros(1,MaxGen);
terY=fix(3*rand(1,nFacts));
terX=fix(random('unif',1,nLine+1,1,nFacts)
);
terZ=random('unif',-1,1,1,nFacts);

```

```
MaxF=1;
```

```
while MaxF==1,
```

#### %Inisialisasi Populasi

```

populasiZ=inisialZ(nFacts,UkPop);
populasiY=inisialY(nFacts,UkPop,Macam
);
populasiX=inisialX(nFacts,UkPop,nBus,nL
ine,populasiY);

```

#### %Looping iterasi

```
for Generasi=1:MaxGen
```

```
x=populasiX(1,:);
```

```
y=populasiY(1,:);
```

```
z=rating(nFacts,populasiZ(1,:),y);
```

```
[Fitness(1),V,Del,Pl,Ql,Pi,Qi,Pg,Qg,fb,tb,Pi
j,Qij,Lpij,Lqij]=loading(x,y,z,nFacts,nBus);
```

```
BestV = V;
```

```
BestDel = Del;
```

```
BestPl = Pl;
```

```
BestQl = Ql;
```

```
BestPi = Pi;
```

```
BestQi = Qi;
```

```
BestPg = Pg;
```

```
BestQg = Qg;
```

```
BestPij = Pij;
```

```
BestQij = Qij;
```

```
BestLpij = Lpij;
```

```
BestLqij = Lqij;
```

```
PLoss = sum(Lpij);
```

```
QLoss = sum(Lqij);
```

```
BestX = x;
```

```
BestY = y;
```

```
BestZ = populasiZ(1,:);
```

```
MaxF = Fitness(1);
```

```
MinF = Fitness(1);
```

```
IndeksIndividuTerbaik = 1;
```

```
for ii=2:UkPop
```

```
x=populasiX(ii,:);
```

```
y=populasiY(ii,:);
```

```
z=rating(nFacts,populasiZ(ii,:),y);
```

```
[Fitness(ii),V,Del,Pl,Ql,Pi,Qi,Pg,Qg,fb,tb,Pi
j,Qij,Lpij,Lqij]=loading(x,y,z,nFacts,nBus);
```

```
if (Fitness(ii) > MaxF),
```

```
MaxF= Fitness(ii);
```

```

IndeksIndividuTerbaik=ii;
BestX =x;
BestY =y;
BestZ =populasiZ(ii,:);
BestV = V;
BestDel = Del;
BestPI = PI;
BestQI = QI;
BestPi = Pi;
BestQi = Qi;
BestPg = Pg;
BestQg = Qg;
BestPij = Pij;
BestQij = Qij;
BestLpij = Lpij;
BestLqij = Lqij;
Ploss = sum(Lpij);
QLoss = sum(Lqij);
end
if (Fitness(ii) < MinF),
MinF = Fitness(ii);
end
end
%Penyimpanan nilai fitness terbaik
terFit(1,Generasi)=MaxF;

```

```

%Ellitisme
TemPopulasiX = populasiX;
TemPopulasiY = populasiY;
TemPopulasiZ = populasiZ;
if mod (UkPop, 2) ==0
IterasiMulai = 3;
TemPopulasiX(1,:) =
populasiX(IndeksIndividuTerbaik,:);
TemPopulasiY(1,:) =
populasiY(IndeksIndividuTerbaik,:);
TemPopulasiZ(1,:) =
populasiZ(IndeksIndividuTerbaik,:);
TemPopulasiX(2,:) =
populasiX(IndeksIndividuTerbaik,:);
TemPopulasiY(2,:) =
populasiY(IndeksIndividuTerbaik,:);
TemPopulasiZ(2,:) =
populasiZ(IndeksIndividuTerbaik,:);
else
IterasiMulai = 2;
TemPopulasiX(1,:) =
populasiX(IndeksIndividuTerbaik,:);
TemPopulasiY(1,:) =
populasiY(IndeksIndividuTerbaik,:);
TemPopulasiZ(1,:) =
populasiZ(IndeksIndividuTerbaik,:);
end

```

```

%Linear Fitness Ranking
LinearFitness =
LinearFitnessRangking(UkPop,Fitness,MaxF,MinF);

```

```

for jj=IterasiMulai:2:UkPop,
IP1 =
RouletteWheel(UkPop,LinearFitness);
IP2 =
RouletteWheel(UkPop,LinearFitness);
if (rand < Psilang),
TP = 1+fix(rand*(nFacts-1));
AnakX =
PindahSilangX(populasiX(IP1,:),populasiX(IP2,:),nFacts,TP);
AnakY =
PindahSilangY(populasiY(IP1,:),populasiY(IP2,:),nFacts,TP);
AnakZ =
PindahSilangZ(populasiZ(IP1,:),populasiZ(IP2,:),nFacts,TP);

```

```

%Koreksi
AnakX(1,:)=valid(AnakX(1,:),nFacts,nBus,nLine,AnakY(1,:));
AnakX(2,:)=valid(AnakX(2,:),nFacts,nBus,nLine,AnakY(2,:));

```

```

TemPopulasiX(jj,:) = AnakX(1,:);
TemPopulasiX(jj+1,:) = AnakX(2,:);
TemPopulasiY(jj,:) = AnakY(1,:);
TemPopulasiY(jj+1,:) = AnakY(2,:);
TemPopulasiZ(jj,:) = AnakZ(1,:);
TemPopulasiZ(jj+1,:) = AnakZ(2,:);
else
TemPopulasiX(jj,:) = populasiX(IP1,:);
TemPopulasiX(jj+1,:) = populasiX(IP2,:);
TemPopulasiY(jj,:) = populasiY(IP1,:);
TemPopulasiY(jj+1,:) = populasiY(IP2,:);
TemPopulasiZ(jj,:) = populasiZ(IP1,:);
TemPopulasiZ(jj+1,:) = populasiZ(IP2,:);
end
end

```

```

%Mutasi
for kk=IterasiMulai:UkPop
TemPopulasiY(kk,:)=MutasiY(TemPopulasiY(kk,:),PmutY,nFacts,Macam);
TemPopulasiX(kk,:)=MutasiX(TemPopulasiX(kk,:),PmutX,nFacts,nBus,nLine,TemPopulasiY(kk,:));

```

```

TemPopulasiZ(kk,:)=MutasiZ(TemPopulas
iZ(kk,:),PmutZ,nFacts);
end
populasiX=TemPopulasiX;
populasiY=TemPopulasiY;
populasiZ=TemPopulasiZ;
end

```

```

if (MaxF==1)&((Ploss<Ploss_awal)),
ulang=ulang+1;
fterbaik=terFit;
terX=BestX;
terY=BestY;
terZ=BestZ;
terV = BestV;
terDel = BestDel ;
terPI = BestPI ;
terQI = BestQI ;
terPi = BestPi ;
terQi = BestQi ;
terPg = BestPg ;
terQg = BestQg ;
terPij = BestPij ;
terQij = BestQij ;
terLpij = BestLpij ;
terLqij = BestLqij ;
Ploss_awal = sum(terLpij);
QLoss_awal = sum(terLqij);
end;

```

```

coba=coba+1;
if (coba>10)&(ulang>0)
break
end

```

```

if (ulang==0) & (MaxF<1)
MaxF=1;
end
end

```

```

SL=(SL+(Plo-Ploss)/Plo)*100;
disp('-----');
disp('-----');

```

```

disp(' Newton Raphson
Loadflow Analysis ');
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```

disp('| Bus | V | Angle | Injection
| Generation | Load |');

```

```

disp('| No | pu | Degree | MW |
MVar | MW | Mvar | MW |
MVar |');
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```

for m = 1:nBus

```

```

fprintf('%3g', m); fprintf(' %8.4f', terV(m));
fprintf(' %8.4f', terDel(m));
fprintf(' %8.3f', terPi(m)); fprintf(' %8.3f',
terQi(m));
fprintf(' %8.3f', terPg(m)); fprintf(' %8.3f',
terQg(m));
fprintf(' %8.3f', terPI(m)); fprintf(' %8.3f',
terQI(m)); fprintf('\n');
end

```

```

disp('-----');
disp('-----');

```

```

fprintf(' Total ');fprintf(' %8.3f',
sum(terPi)); fprintf(' %8.3f', sum(terQi));
fprintf(' %8.3f', sum(terPi+terPI)); fprintf('
%8.3f', sum(terQi+terQI));
fprintf(' %8.3f', sum(terPI)); fprintf('
%8.3f', sum(terQI)); fprintf('\n');
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```

fprintf('\n');
fprintf('\n');
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```

disp(' Line FLOW and Losses
');
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```

disp('|From|To | P | Q | From| To |
P | Q | Line Loss |');

```

```

disp('|Bus |Bus| MW | MVar | Bus |
Bus| MW | MVar | MW | MVar
|');
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```

for m = 1:nLine
p = fb(m); q = tb(m);

```

```

fprintf('%4g', p); fprintf('%4g', q); fprintf('
%8.3f', terPij(p,q)); fprintf(' %8.3f',
terQij(p,q));

```

```

fprintf(' %4g', q); fprintf('%4g', p); fprintf('
%8.3f', terPij(q,p)); fprintf(' %8.3f',
terQij(q,p));

```

```

fprintf(' %8.3f', terLpij(m)); fprintf('
%8.3f', terLqij(m));

```

```

fprintf('\n');
end
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```

fprintf(' Total Loss
');

```

```

fprintf(' %8.3f', sum(terLpij)); fprintf('
%8.3f', sum(terLqij)); fprintf('\n');
disp('-----');

```

```

disp('-----');

```

```
%Penanganan grafis 2D
```

```
grid on;
```

```
set(htext1,'String',sprintf('Fitness Terbaik :  
%7.4f', fterbaik(MaxGen)));
```

```
set(htext21,'String',sprintf('%5g', terX));
```

```
set(htext31,'String',sprintf('%5g', terY));
```

```
set(htext41,'String',sprintf('%10.4f', terZ));
```

```
set(htext51,'String',sprintf('%10.4f',
```

```
rating(nFacts,terZ,terY)));
```

```
set(htext6,'String',sprintf('SL : %7.3f', SL));
```

```
set(htext71,'String',sprintf('%5g',  
length(find(terY~=0))));
```

```
plotvector = get(hbestplot,'YData');
```

```
for i=1:MaxGen
```

```
plotvector(i) = fterbaik(i);
```

```
set(hbestplot,'YData',plotvector);
```

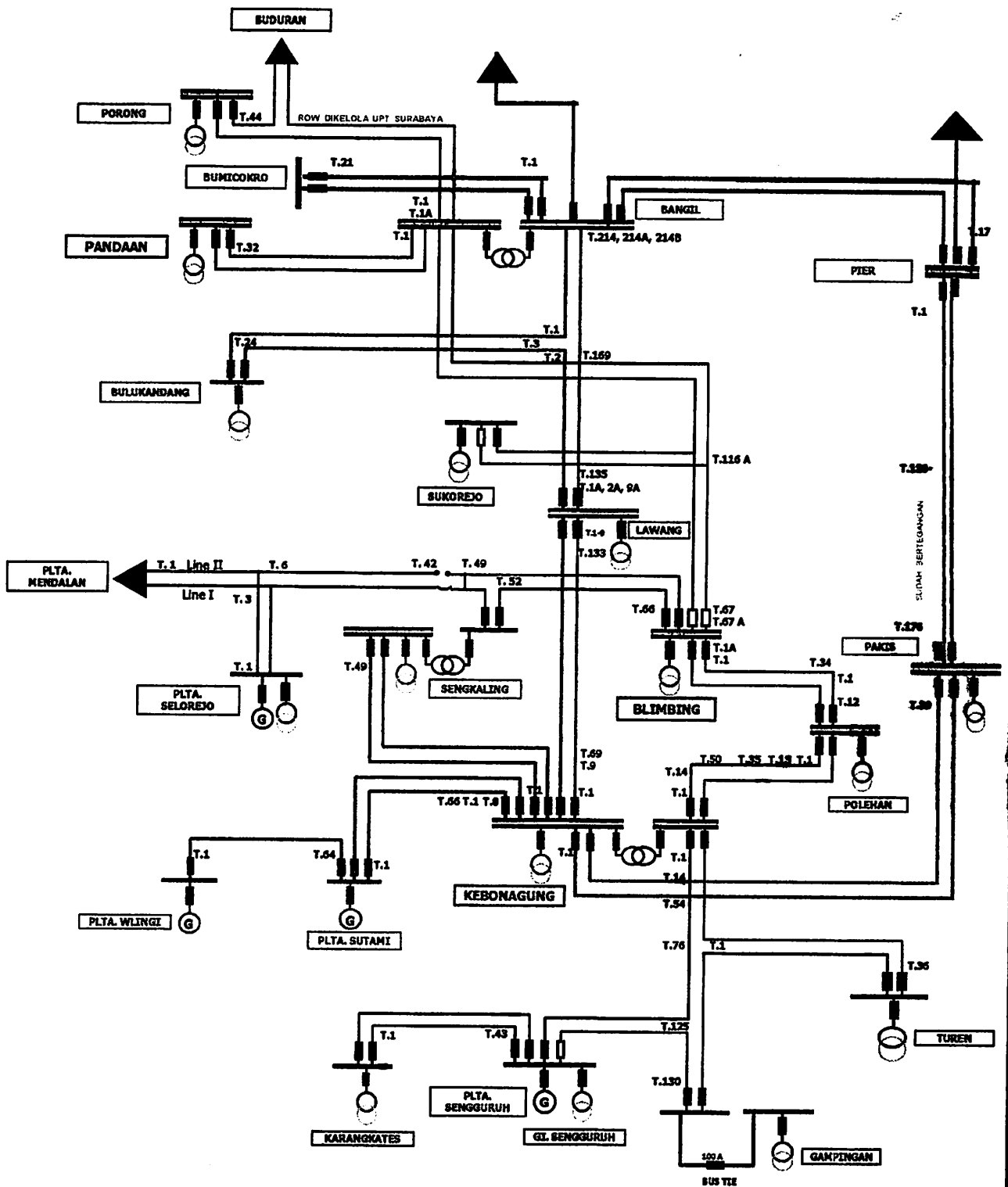
```
drawnow;
```

```
end
```

```
toc
```



## DATA PETUGAS PENGAWAS HARIAN SUTT 150 & 70 KV WILAYAH KERJA UPT MALANG



<b>PT. PLN (PERSERO) P3B REGION JAWA TIMUR DAN BALI UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG</b>			
DIGAMBAR	DIPERIKSA	DISETUJUI	TANGGAL
			10 Januari 2009