ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM

SKRIPSI

Disusun Oleh :

Antonio Helder Ismenio Da Costa Amaral
NIM. 0412022

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

2011

[illegible]

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM

SKRIPSI

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

Disusun oleh :
Antonio Helder Ismenio Da Costa Amaral
NIM: 0412022

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189

MILIK PERPUSTAKAAN ITN MALANG

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. M. Abdul Hamid, MT	Ir. Eko Nurcahyo
NIP.Y. 1018800361	NIP.Y.1028700172

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

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
ERSERO) MALANG
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 INDUTRI

Nama : Antonio Helder Ismenio Da Costa Amaral

Nim : 0412022

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Judul Skripsi : ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM

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

Hari : Senin

Tanggal : 21 Pebruari 2011

Dengan Nilai : 81,25 (A)

Panitia Penguji Skripsi :

Ketua Majelis Penguji

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y. 1018800189

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT
NIP.Y.1030800417

Anggota Penguji :

Penguji Pertama

Bambang Prio Hartono, ST, MT
NIP.Y.1028400082

Penguji Kedua

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y.1018800190

"The man (or woman) who can make hard things easy is the educator"

(Ralph Waldo Emerson)

PERSEMBAHANKU

YA TUHANKU, Engkau telah menitipkan aku pada kedua orang tua yang sangat mencintai dan menyayangi diriku, Hal terindah yang kumiliki dalam hidup ini adalah memiliki kedua orang tua yang bijak dan penyayang, dengan pengorbanan yang luar biasa telah membawa aku ke ambang kesuksesan ini.

Keberhasilan ini ingin kupersembahkan seiklasnya kepada : Ayahanda tercinta "Alfredo Amaral", Ibunda tersayang "Rufina Belo Da Costa". Serta ketujuh saudara kandungku yang selalu ada dikala aku sedang membutuhkan, My special Family: Nothing can be change your present in my life, tak ada yang lebih berarti dalam hidupku selain memiliki keluarga sebahagia ini.

Terimakasihku untuk bumi pertiwi, bapak angkasa segenap penghuni alam semesta yang telah menjauhkan aku dari segala marabahaya.

Terimakasih my special one Martinha D.S. Pereira atas waktu dan pengorbananmu dalam membantuku menyelesaikan karya tulis ini, perhatianmu selalu menjadi motifasi bagiku.

Terimakasihku untuk Keluarga Besar Belo dan Amaral, para leluhur yang selalu melindungi saya sepanjang hidup ini.

Terima kasihku untuk Sepupu-sepupuku, Om, Tante yang selalu mensuport saya dalam menempuh jenjang pendidikan ini.

Terimakasihku untuk Keponakan-keponakanku yang cerewet, yang selalu menasehati aku agar cepat pulang, itu semua adalah motifasi yang luar biasa.

Terimakasihku untuk Organisasi Persaudaraan Setia Hati Terate, yang telah membuntun saya menjadi manusia yang berbudi luhur dan menanamkan rasa persaudaraan yang luar biasa serta membimbing saya menjadi pribadi yang sehat dalam jasmani maupun rohani.

Terima kasihku untuk keluarga besar Kembang Turi (Kontrakan Ketur), Keluarga besar Bendungan bening (BenBen), Keluarga besar Taman borobudur (kos Tabor) dan semua pihak yang telah hadir dalam kehidupanku selama menempuh pendidikan di ITN Malang ini.

Terimakasihku untuk IMTTL malang yang telah mengajarkan saya akan pentingnya hidup berorganisasi.

Terimakasihku untuk jajaran yayasan ITN Malang, spesial untuk Dosen dan staf teknik elektro yang selalu membantu saya hingga meraih gelar strata satu ini..

.....THANKS FOR ALL.....

"Deus esta conosco"

ITN Sempre Vitorioso

"We are what we repeatedly do. Excellence then, is not an act, but a habit"

Yang membentuk kepribadian kita adalah apa yang kita lakukan berulang kali. Karena itu, kesempurnaan tidaklah dicapai dengan sebuah tindakan sekali saja, tetapi oleh serangkaian kebiasaan baik yang kita lakukan berulang kali.

(Aristotle)

ABSTRAK

ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM

Antonio Helder Ismenio Da Costa Amaral, NIM 0412022
Dosen Pembimbing: Ir. M. Abdul Hamid, MT dan Ir. Eko Nurcahyo, MT.

Perkembangan power electronic yang sangat cepat menyebabkan Flexible AC Transmission System (FACTS) devices telah digunakan secara luas dalam sistem tenaga. FACTS devices dapat digunakan untuk mengontrol aliran daya. Aliran daya yang optimal dapat dicapai dengan penentuan lokasi FACTS devices yang tepat dan rating yang sesuai. Pada penelitian ini, Genetic Algorithm (GA) digunakan untuk menentukan lokasi optimal FACTS devices dalam sistem ketenagalistrikan EDTL Baucau. Optimasi secara simultan dilakukan pada dua parameter yaitu lokasi dan rating FACTS devices untuk meningkatkan loadability sistem tenaga. Jenis FACTS devices yang digunakan adalah Static Var Compensator (SVC) dan Thyristor Controlled Voltage Regulator (TCVR), Hasil optimasi dengan menggunakan software MATLAB versi 7.04 menunjukan bahwa penggunaan SVC single type device memiliki performansi yang jauh lebih baik dalam meningkatkan loadability sistem ketenagalistrikan EDTL Baucau, daripada TCVR single type device dan kombinasi antara TCVR dan SVC, hal ini telah dibuktikan dengan Mengunakan SVC single type mampu meningkatkan tegangan pada bus 9 dari 0.9487pu menjadi 0.9957pu, Bus 10 dari 0.9485pu menjadi 0.9955pu, Bus 11 dari 0.9403pu menjadi 1.000pu, Bus 12 dari 0.9400pu menjadi 0.9989pu. Maka profil tegangan sistem EDTL Baucau berada dalam batasan yang diizinkan.

Kata kunci: Genetic Algorithm, FACTS devices, loadability, TCVR (Thyristor Controlled Voltage Regulator), SVC (Static Var Compensator).

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap syukur kehadirat TUHAN YANG MAHA ESA yang telah memberikan Rahmat-Nya dan juga memberikan kekuatan, kesabaran, bimbingan dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul:

"ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM"

Penulisan skripsi ini disusun guna memenuhi syarat akhir kelulusan penidikan jenjang strata I di Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan secara moril maupun materil, saran dan dorongan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibunda dan Ayahanda tercinta
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku rektor ITN Malang
3. Bapak Ir. Sidik Noertjahjona, MT selaku dekan Fakultas Teknologi Industri.
4. Bapak Ir. Yusup Ismail Nakhoda, MT selaku ketua jurusan teknik Elektro S-1
5. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT selaku dosen pembimbing I
6. Bapak Ir. Eko Nurcahyo selaku dosen pembimbing II.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis mengucaspkan satu persatu.

Dalam penulisan laporan skripsi ini penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan maka tidak terlepas dari kesalahan dan kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna

bermanfaat bagi penulis agar dalam penulisan-penulisan laporan yang akan datang lebih berkualitas dan lebih ilmiah.

Akhir kata, penulis mohon maaf atas tutur kata dan kelakuan penulis yang tidak dengan sengaja telah menyakiti saudara-saudara. Dan sekali lagi penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah mengayomi penulis pada waktu penulisan laporan ini.

Malang, Maret 2011

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN i

ABSTRAK ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL viii

DAFTAR GAMBAR ix

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 3

1.3. Tujuan Penulisan 3

1.4. Batasan Masalah 3

1.5. Metode Penelitian 4

1.6. Sistematika Penulisan 4

1.7. Relevansi.. 5

BAB II TEORI DASAR 6

2.1. Tinjauan Umum 6

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 7

2.2.1 Sistem Distribusi Primer 8

2.2.2. Sistem distribusi sekunder 8

2.3. Daya dalam Sistem Tenaga Listrik 8

2.3.1. Daya aktif (*Active Power*) 8

2.3.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*) 9

2.3.3. Daya Semu (*Apparent Power*) 9

2.3.4 Power Factor 9

2.4. Jatuh Tegangan *(Voltage Drop)* 10

2.5. Jatuh Tegangan Dalam Persen 12

2.6. Kestabilan Tegangan 13

2.6.1. Definisi dan Klasifikasi Kestabilan Tegangan 13

2.6.2. Klasifikasi Kestabilan Tegangan 14

2.7. Mekanisme *Voltage Collapse* 15

2.8. Distribusi Daya Reaktif 16

2.9. Metode Analisis Kestabilan Tegangan 18

2.9.1 Analisis Load Flow 19

2.9.2 Analisis Modal (Eigenvalue) 20

2.10. Facts devices 23

2.11. Statik Var Compensator 23

2.11.1. Tipe-Tipe Static VAR Compensator 24

2.11.1.1. Thyristor Controlled Reactor (TCR) 25

2.11.1.2. Thyristor Switched Capacitor (TSC) 26

2.11.1.3. Prinsip Kerja SVC 27

2.12. TCVR (Thyristir Controlled Voltage Regulator) 28

2.12.1. Pengoperasian TCVR 29

2.12.2. Prinsip kerja TCVR 30

2.13. Pengaturan Tegangan Sistem 31

2.14. Rumus Pendekatan untuk Pengaturan Tegangan 33

2.15. Genetic Algorithm (GA) 34

2.16. Genetic Algorithm (GA) Konvensional 35

2.17. Penentuan Parameter Genetic Algorithm (GA) 36

2.18. Proses Genetic Algorithm 38

2.18.1. Pengkodean 38

2.18.2. Fungsi Objektif 39

2.18.3. Metode Seleksi 39

2.18.4. Pindah Silang (Crossover) 40

2.18.5. Mutasi (Mutation) 41

2.19. Implementasi Genetic Algorithm pada Voltage Collapse 42

2.19.1. Pengkajian Masalah 42

2.19.2. Fungsi Obyektif 42

2.20. Flowchart Proses Pencarian Genetic Algorithm 44

BAB III DATA EDTL BAUCAU DAN STUDI OPTIMASI PENEMPAT FACTS DEVICES PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV 45

3.1. Data peralatan EDTL Baucau 45

3.2. Data saluran 47

3.3. Data pembebanan 48

3.4. Software matlab 49

3.5. Strategi optimasi penempatan Facts Devices 51

3.6. Flowchat algoritma pemograman 51

3.6.1. Flowchart Algoritma penyelesaian masalah 52

3.6.2. Flowchart program Algoritma Genetika 53

3.6.3. Flowchart Program Fitnes 54

3.7. Genetic Algorithm untuk optimasi facts devices 54

3.7.1. Pengkodean 55

3.7.2. Inisialisasi populasi 55

3.7.3. Fitness 56

3.7.4. Reproduksi 57

3.7.5. Crossover 58

3.7.6. Mutasi 58

3.8. Perhitungan aliran daya 59

3.8.1. Inisialisasi populasi 60

3.8.2. Evaluasi Polpulasi Awal 61

3.8.3. Seleksi 61

3.8.4. Crossover 61

3.8.5. Mutasi 61

3.8.6. Evaluasi Hasil Mutasi 62

3.8.7. Pembentukan Generasi Baru 62

BAB IV HASIL DAN ANALISIS HASIL 63

4.1. Sistem tenaga listrik EDTL Baucau 63

4.1.1. Data pembenbanan 63

4.1.2. Data saluran 64

4.2. Analisis dan analisis Hasil 65

4.2.1. Tampilan program 65

4.2.2. Hasil optimasi penempatan Facts devices 67

4.2.3. Strategi optimasi penempatan Facts Devices 68

4.2.3.1. Single type device 69

4.2.3.2. Multi type device 76

4.2.4. Hasil analisis 80

BAB V PENUTUP 82

5.1 Kesimpulan dan saran 82

5.1.1. Kesimpulan 82

5.1.2. Saran 82

DAFTAR PUSTAKA 83

LAMPIRAN 85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penjelasan Istilah Genetic Algorithm 36

Tabel 3.1. Tipe/merek dari mesin dan generator Baucau power station 45

Tabel 3.2. Daya mampu 45

Tabel 3.3. Daftar trafo jaringan distribusi 20 KV 46

Tabel 3.4. Data saluran distribusi 20 KV Baucau 47

Tabel 3.5. Data perhitungan pembebanan sistem distribusi 20 KV Baucau..... 48

Tabel 4.1. Data pembebanan sistem distribusi 20 KV Baucau..... 63

Tabel 4.2. Data impendansi saluran distribusi 20 KV Baucau 64

Tabel 4.3. Hasil perhitungan pembebanan sebelum dan sesudah mengunakan TCVR 70

Tabel 4.4. Hasil perhitungan tegangan sebelum dan sesudah mengunakan TCVR..... 71

Tabel 4.5. Hasil perhitungan pembebanan sebelum dan sesudah mengunakan SVC 74

Tabel 4.6. Hasil perhitungan tegangan sebelum dan sesudah mengunakan SVC 75

Tabel 4.7. Hasil perhitungan pembebanan sebelum dan sesudah mengunakan kombinasi TCVR dan SVC..... 77

Tabel 4.8. Hasil perhitungan tegangan sebelum dan sesudah mengunakan kombinasi TCVR dan SVC..... 78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik 7

Gambar 2.2. Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan 8

Gambar 2.3. Segitiga Daya 10

Gambar 2.4. Saluran Distribusi Jarak Pendek 11

Gambar 2.5. Profil Tegangan Saluran Distribusi Jarak Pendek 13

Gambar 2.6. *Single line* model sistem tenaga 16

Gambar 2.7. *Static VAR Compensator* 24

Gambar 2.8. Konfigurasi SVC (TCRs – FC) 25

Gambar 2.9 . Keadaan steady state karakteristik V – I 27

Gambar 2.10. Line diagram *Static VAR Compensator* 28

Gambar 2.11. Thrystor Controlled Voltage Regulator 29

Gambar 2.12. Rangkaian ekivalen dari beban dan sistem supply 32

Gambar 2.13. Karakteristik dari Tegangan Supply Sistem 34

Gambar 2.14. Pengkodean dalam *Genetic Algorithm* 38

Gambar 2.15. Roda Roulette (*Roulette Wheel)* 40

Gambar 2.16. Single point crossover 40

Gambar 2.17. *Flowchart* Proses Pencarian *Genetic Algorithm* 44

Gambar 3.1. Tampilan awal matlab v 7.04 50

Gambar 3.2. Matriks bilangan kompleks 51

Gambar 3.3. Flowchart program penyelesaian masalah 52

Gambar 3.4. Flowchart program algoritma genetika 53

Gambar 3.5. Flowchart sub-routine program fitness 54

Gambar 3.6. Konfigurasi individu dari facts device 55

Gambar 3.7. Keseluruhan individu dalam populasi 56

Gambar 3.8. Crossover 59

Gambar 3.9. Blok diagram metode algoritma genetika 60

Gambar 4.1. Flowchart Strategi optimasi penempatan facts devices 69

Gambar 4.2. Hasil optimasi penempatan tiga buah TCVR 70

Gambar 4.3. Tegangan sistem pada saat mengunakan TCVR 72

Gambar 4.4. Hasil optimasi penempatan tiga buah SVC 73

Gambar 4.5. Tegangan sistem pada saat mengunakan SVC 76

Gambar 4.6. Hasil optimasi penempatan 3 buah TCVR dan 1 buah SVC 77

Gambar 4.7. Tegangan sistem pada saat mengunakan SVC
dan TCVR secara bersama 79

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Komsumsi energi listrik terus meningkat, sedangkan kapasitas pembangkit tenaga listrik beserta komponen-komponen lainnya tidak sebanding dengan peningkatan jumlah pertumbuhan beban. Oleh karena itu sangat diperlukan peningkatan performansi dan efisiensi sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada pengaturan sistem tenaga listrik dari pusat pembangkit ke beban, banyak masalah yang mempengaruhi perilaku dinamik sistem tenaga listrik, diantaranya kebutuhan daya reaktif yang besar dan tidak konstan. Peningkatan pemakaian daya reaktif oleh komponen-komponen sistem dan beban dapat mengakibatkan susut tegangan *(voltage drop),* faktor daya yang rendah sepanjang jaringan, panas *(kalor)* di sekeliling kawat penghantar yang secara keseluruhan berpengaruh terhadap berkurangnya kemampuan penyaluran daya oleh pembangkit listrik. (Marsudi Djiteng Ir, juni 1992).

Peningkatan daya listrik yang disalurkan dari sisi pengiriman *(voltage sending)* ke sisi terima *(voltage receiving)* yang tidak stabil, terutama pada jaringan distribusi karena saluran 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 sistem, normal tegangan sesuai dengan ketentuan pada suatu sistem tenaga listrik adalah (0,95 – 1,05 pu) . Adapun variasi tegangan pelayanan yang di izinkan adalah sebesar, maximum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya berdasarkan standar SPLN. (Marsudi Djiteng, 1992).

Bila peningkatan pemakaian daya listrik terus bertambah (terutama beban bersifat induktif) di suatu feeder *(bulk station),* akan menyebabkan penurunan tegangan dan frekuensi, atau disebut terjadi perubahan aliran daya *(load flow),* karena sejumlah jaringan *(line)* dari sistem transmisi terjadi perubahan beban. Perubahan tersebut bila tidak di respon dengan cepat akan berdampak, bukan hanya terhadap feeder yang bersangkutan, juga secara bersamaan akan merambat terhadap turun tegangan pada feeder yang lain. (Marsudi Djiteng, 1992).

Pada skripsi ini akan membahas tentang sistem kelistrikan di EDTL Baucau pada sistem distribusi 20 KV. Mengingat bahwa penyaluran tenaga listrik di district Baucau jauh dari harapan konsumen pemakai tenaga listrik, hal ini didapat dari laporan bulanan yang didata dari EDTL Baucau yang menyebutkan, pada bulan maret 2010 banyak bus yang mengalami penurunan tegangan sehingga menyebabkan ketidakstabilan tegangan sistem dan mengakibatkan kerugian pada konsumen industri maupun rumah tangga (EDTL Baucau, 2010). Ketidakstabilan tegangan di EDTL Baucau itu dimungkinkan dengan adanya pemakaian daya reaktif oleh komponen-komponen sistem yang mengakibatkan susut tegangan *(voltage drop)*. Serta kapasitas pembangkit tenaga listrik beserta komponen-komponen lainnya tidak sebanding dengan peningkatan jumlah pertumbuhan beban. (EDTL Baucau, 2010).

Maka dalam penulisan skripsi ini dicari cara yang efektif sebagai solusi untuk menyelesaikan permasalahan yang dialami pada operasi sistem tenaga listrik di Edtl Baucau. Facts device adalah salah satu alternatif yang akan digunakan pada sistem distribusi 20 KV Baucau, oleh karena itu harus mencari lokasi yang optimal agar mendapatkan penempatan Facts devices yang efektif dalam meningkatkan kualitas tegangan pada sistem. Oleh karena itu digunakan metode ***Genetic Algorithm (GA)*** yang dapat menjadi salah satu alternatif untuk penempatan FACTS DEVICES pada Sistem Distribusi 20 KV di EDTL Baucau secara optimal. GA digunakan untuk menentukan letak dari Facts Divices yang tepat dan optimal dalam meminimalisasi rugi-rugi pada saluran Distribusi 20 KV Baucau, serta mengurangi penyimpangan tegangan pada sistem distribusi untuk mendapatkan profil tegangan yang optimal, dengan demikian kualitas sistem tenaga listrik yang baik dapat dicapai.

Peralatan Facts yang akan digunakan pada jaringan distribusi 20 KV Baucau diantaranya, Salah satu peralatan Facts adalah ***Static VAR Compensator (SVC) dan Thrystor Controlled Voltage Regulator (TCVR)*** yang sudah diimplementasikan pada jaringan transmisi listrik semenjak pertengahan tahun 70-an. SVC dan TCVR berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi (*steady state)* dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi dan Distribusi berjarak jauh dan berbeban tinggi *(heavily loaded)*. Demonstrasi pertama pemasangan SVC dilaksanakan tahun 1978 pada jaringan transmisi 115kV Minnesota Power & Light dan telah berhasil menunjukkan perbaikan kendali stabilisasi dan tegangan pada jaringan transmisi tersebut. (Lomi Abraham, 2008).

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana cara untuk mengatasi permasalahan yang diuraikan diatas? Dari permasalahan tersebut maka mencari cara alternatif untuk mengurangi akibat dari meningkatnya arus reaktif ini dengan cara memasang FACTS DEVICES di dalam sistem Distribusi 20 KV di EDTL Baucau dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA), yang bertujuan untuk mencari letak penempatan yang optimal dan transportasi daya reaktif pada jaringan tenaga listrik tetap baik dan menjaga agar profil tegangan selalu berada pada batas-batas yang diijinkan. (Ramdhan Halid Siregar dan Syahrizal, 2007).

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai pada penulisan skripsi ini adalah dapat menentukan letak FACTS DEVICES yang optimal di sistem Distribusi 20 KV Baucau dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) agar diperoleh letak penempatan yang optimal dalam memberikan kompensasi daya reaktif sesuai dengan kebutuhan beban sehingga kualitas tegangan sistem dapat ditingkatkan dan diperoleh profil tegangan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan skripsi ini dapat mencapai sasaran yang sesuai dengan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, maka penulis membuat batasan masalah sebagai berikut :

1. Studi dilakukan di EDTL Baucau pada sistem distribusi 20 KV.
2. Hanya menggunakan FACTS DEVICES yaitu *Static VAR Compensator* (SVC) atau *Thrystor Controlled Voltage Regulator* (TCVR) dalam perbaikan profil tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya.
3. Analisa penentuan letak FACTS DEVICES menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).
4. Tidak membahas masalah proteksi dalam sistem.
5. Tidak membahas masalah harmonisa.

1.5. Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi :

1. Studi Literatur, yaitu kajian pustaka dengan mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.

2. Pengumpulan Data, pengumpulan data lapangan yang dipakai dalam objek penelitian yakni data saluran dan data pembebanan yang terdapat pada sistem distribusi 20 KV Baucau:

- Data kuantitatif yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka.

- Data kualitatif yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini adalah *singgle line diagram* instalasi Distribusi 20 KV Baucau.

3. Melakukan analisa dengan menggunakan *MATLAB v.7.0.4*

   - Analisa penentuan letak FACTS DEVICES (*Static VAR Compensator* dan *Thrystor Controlled Voltage Regulator*) menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).

   - Analisa pengaruh pemasangan FACTS DEVICES (*Static VAR Compensator* dan *Thrystor Controlled Voltage Regulator*) terhadap sistem, yaitu perbaikan profil tegangan.

4. Mengambil kesimpulan dari perbandingan sistem dengan menggunakan alat kompensasi SVC dan TCVR dengan tanpa mengunakan SVC dan TCVR.

1.6. 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 sistem energi listrik secara umum, sistem kestabilan tegangan, Facts Devices dan Genetic Algorithm

BAB III : DATA EDTL BAUCAU DAN STUDI OPTIMASI PENEMPATAN FACTS DEVICES PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU

Membahas tentang data pada Baucau power station, dan optimassi penempatan facts devices pada sistem distribusi 20 KV Baucau dengan mengunakan metode Genetic Algorithm.

BAB IV : ANALISIS DAN HASIL ANALISIS

Pada bab ini membahas tentang studi aliran daya dari sistem Distribusi 20 KV EDTL Baucau dan optimasi penempatan FACTS DEVICES yaiut *Static VAR Compensator* (SVC) dan *Thrystor Controlled Voltage Regulator* (TCVR) yang akan dianalisis menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil dan analisis hasil.

1.7. Relevansi

Dengan menggunakan teknologi baru dalam meningkatkan kualitas tegangan sistem tenaga listrik, dalam hal ini FACTS DEVICES diharapkan dapat diperoleh keandalan dalam suatu produsen tenaga listrik dengan memberikan kepuasan bagi konsumen. Hal ini mungkin dengan adanya keunggulan yang ditawarkan oleh *Static VAR Compensator* (SVC) dan *Thrystor Controlled Voltage Regulator* (TCVR) dalam meningkatkan kualitas tegangan pada sistem distribusi 20 KV di Edtl Baucau diharapkan dapat menjadikan pembelajaran untuk meningkatkan kualitas daya agar kebutuhan pelanggan akan kualitas tegangan yang bagus dapat tercapai.

BAB II
TEORI DASAR

2.1. Tinjauan Umum

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut. (Marsudi Djiteng, 1992).

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 produktor energi.
2. Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit kebagian sistem distribusi.
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

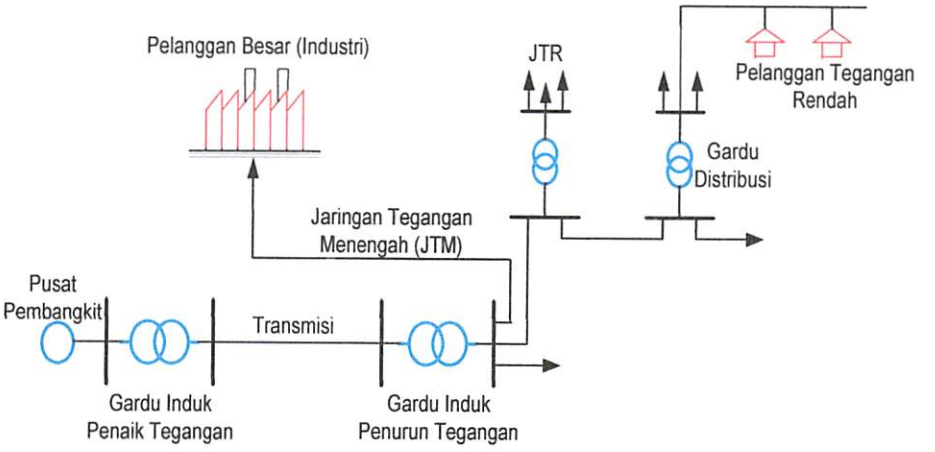
Pada sistem tenaga listrik modern yang terdiri dari multi mesin, jaringan transmisi yang terinterkoneksi yang panjang, serta meliputi areal bus beban yang luas dengan berbagai karakteristik tipe beban yang berbeda-beda, hal tersebut memposisikan kondisi sistem tenaga yang kompleks dan rumit. Bila terjadi 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)*. 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 pempertahankan sinkronisasi Setelah terjadi gangguan yang kecil dan bertahap. (Ramdhan Halid Siregar dan Syahrizal, 2007)

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi.



Gambar 2.1
Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik

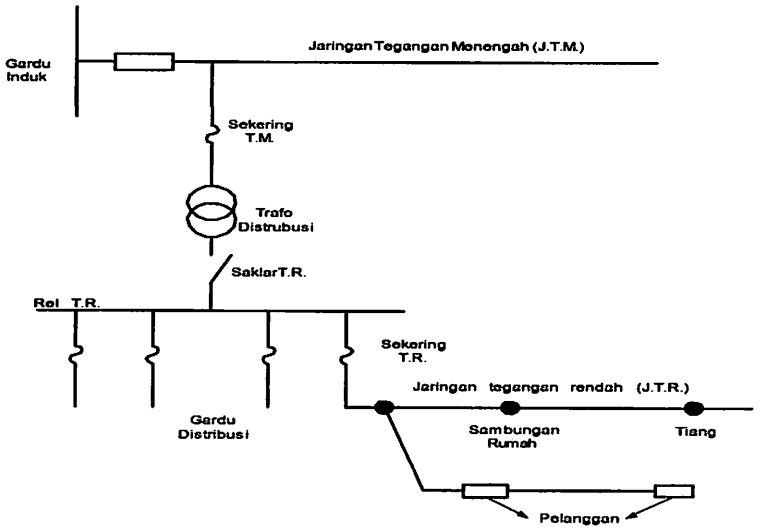
Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya. (Ramdhan Halid Siregar dan Syahrizal, 2007).

2.2.1. Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV. (Ramdhan Halid Siregar dan Syahrizal, 2007).



Gambar 2.2
Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan

2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder

Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (Lihat Gambar 2.2).

2.3. Daya dalam Sistem Tenaga Listrik

2.3.1. Daya aktif (*Active Power*)

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = [V][I]\cos\varphi \quad \text{.....(2-1)}$$

dimana :

V = tegangan

I = Arus

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

2.3.2. Daya Reaktif *(Reactive Power)*

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

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q = [V][I] \sin \varphi \quad \text{.....(2-2)}$$

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 (Marsudi Djiteng, 1992).

2.3.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

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

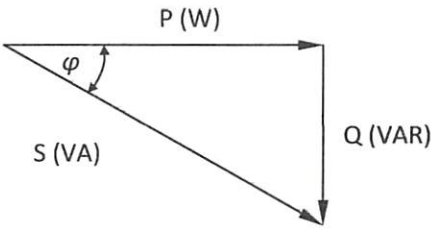
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{.....(2-3)}$$

2.3.4. Power Factor

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

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata(kW)}}{\text{Daya Semu(kVA)}} \quad \text{.....(2-4)}$$

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:

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

$$W = VA \,.\cos\varphi$$

$$VAR = VA \,.\sin\varphi = W.\tan\varphi$$

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

dengan :

Cos φ = Faktor Daya
P = Daya Nyata (W)
S = Daya Semu (VA)
Q = Daya Reaktif (VAR)

2.4. Jatuh Tegangan *(Voltage Drop)*

Jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi 20 kV diakibatkan oleh nilai resistansi dan reaktansi dari saluran. Gambar 2.4 menerangkan bahwa nilai resistansi terhubung seri terhadap nilai reaktansi. Sehingga besar jatuh tegangan dapat diketahui melalui analisis perhitungan. (Marsudi Djiteng, 1992).

Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada:

• Penyulang utama	7%
• Trafo distribusi	4%
• JTR	5%
• Sambungan Rumah	2%
Jumlah	18%

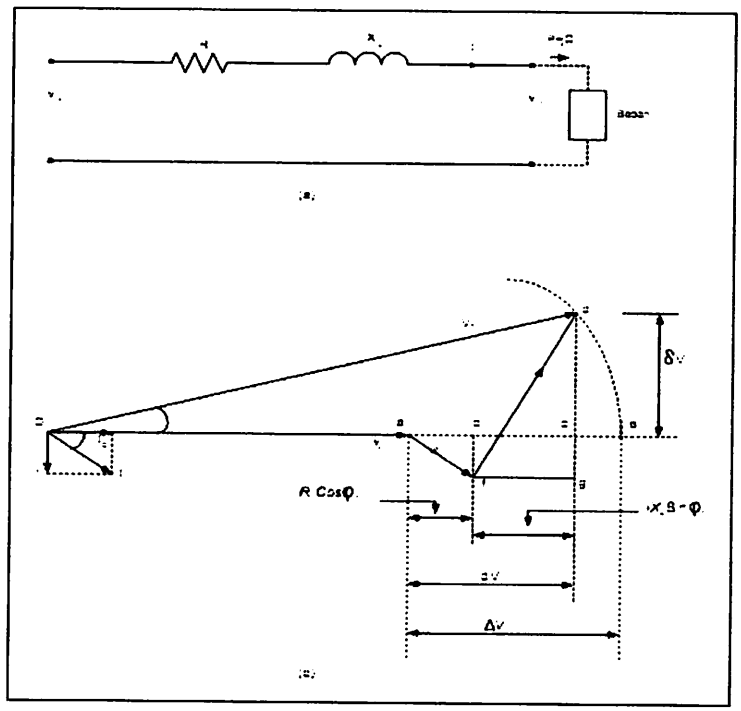
Sesuai dengan definisi, jatuh tegangan adalah :

$$\Delta V = |V_k| - |V_t| \quad \text{.....(2.5)}$$

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.

Jadi $V_k = Oe = Oa + ac + ce$

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

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

$ab = IR\ Cos\ \varphi_t$ dan $bc = IX_L\ Sin\ \varphi_t$;

sehingga:

$ac = dV = IR\ Cos\ \varphi_t + IX_L\ Sin\ \varphi_t$

Selanjutnya Vk, 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:

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

$\Delta V \cong IR\ Cos\ \varphi_t + IX_L\ Sin\ \varphi_t$ .....(2-6)

2.5. Jatuh Tegangan Dalam Persen

Jatuh tegangan dalam persen, menurut definisi :

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

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:

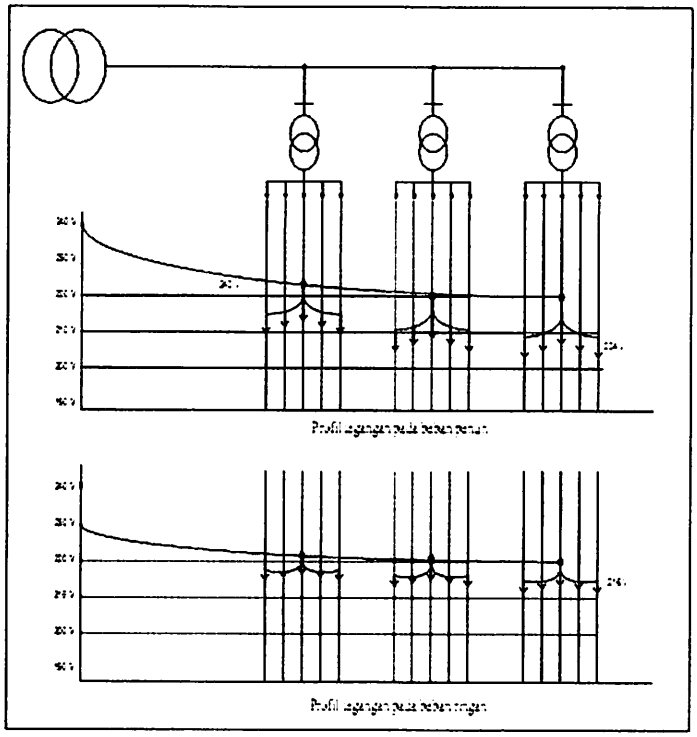
$\Delta V = |V_k| - |V_t| \cong IR\ Cos\ \varphi_t + IX_L\ Sin\ \varphi_t$

Sehingga persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = (\Delta V)\% \cong \frac{IR\ Cos\ \varphi_t + IX_L\ Sin\ \varphi_t}{V_f} \times 100\% \quad \text{.....(2-7)}$$

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.

Dari Gambar 2.5 dapat diketahui variasi tegangan pelayanan pada beban penuh yang terdekat dengan sumber maupun beban yang terjauh dari sumber. (Marsudi Djiteng, 1992).

2.6. Kestabilan Tegangan

2.6.1. Definisi dan Klasifikasi Kestabilan Tegangan

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. (Hadi Saadat, 1999).

Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan adalah ketidak mampuan sistem untuk memenuhi permintaan daya reaktif pada kondisi sistem yang dibebani terlalu berat (Hadi Saadat, 1999). 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. Sistem tenaga kurang mampu dalam mentransfer daya reaktif melalui saluran transmisi atau distribusi yang sangat panjang karena rugi-rugi daya yang semakin membesar. (Hadi Saadat, 1999).

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).* (Amer AL-Hinai, 2000).

2.6.2. 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* (Amer AL-Hinai, 2000).
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 (Ramon Zamora, Syahrizal dan Dede Mairizal, 2004).

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 (Ramon Zamora, Syahrizal dan Dede Mairizal, 2004).

2.7. 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 kepusat beban. Tiga faktor utama yang mempengaruhi ketidakstabilan tegangan sistem tenaga. (Amer AL-Hinai, 2000)

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

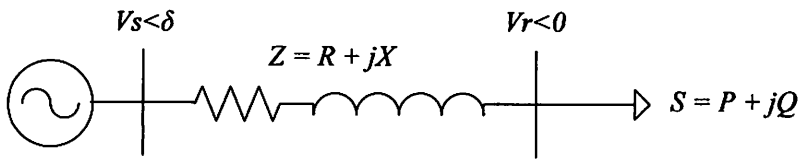
Ketidakstabilan tegangan sistem biasa disebabkan oleh gangguan atau perubahan pada operasional sistem, seperti peningkatan pemakaian daya reaktif. Indikasi peningkatan arus yang mengalir pada jaringan, level tegangan yang rendah dan perbedaan sudut daya relatif besar, hal ini mengindikasikan kondisi 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* (Amer AL-Hinai, 2000).

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. (*Amer AL-Hinai, 2000).

2.8. Distribusi Daya Reaktif

Model sistem tenaga listrik sederhana dijelaskan pada Gambar 2.6, sumber tegangan menyuplai daya ke beban melalui satu jaringan distribusi.



Gambar 2.6.
Single Line Model Sistem Tenaga

Keterangan :

Vs = Tegangan sisi kirim

Z = Impedansi jaringan Distribusi

Vr = Tegangan sisi terima

Δ = 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 distribusi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_r = \mathbf{P_r} + jQ_r = V_r \,.I*$$

$$= V_r \left[\frac{V_s \, Cos\,\delta + j\, V_s \, Sin\,\delta - V_r}{jX}\right]^*$$

$$= \frac{V_S V_r}{X} Sin\,\delta + j\left[\frac{V_S V_r Cos\,\delta - V_r^2}{X}\right]$$

$$P_r = \frac{V_S V_r}{X} Sin\,\delta = P_{max\,\square}.Sin\,\delta \quad \text{.....(2.8)}$$

$$Q_r = \left[\frac{V_S V_r Cos\,\delta - V_r^2}{X}\right] \quad \text{.....(2.9)}$$

Dan pada sisi kirim :

$$P_S = \frac{V_S V_r}{X} Sin\,\delta = P_{max\,\square}.Sin\,\delta \quad \text{.....(2.10)}$$

$$Q_S = \frac{V_S^2 - V_S V_r Cos\,\delta}{X} \quad \text{.....(2.11)}$$

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

$$Q_r = \frac{V_r (V_S - V_r)}{X} \quad \text{.....(2.12)}$$

$$Q_S = \frac{V_S (V_S - V_r)}{X} \quad \text{.....(2.13)}$$

Dari persamaan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa distribusi daya reaktif bergantung penuh pada magnitude 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 didistribusikan melalui sudut daya yang besar meskipun disertai dengan magnitude tegangan yang cukup. Kebutuhan akan variasi magnitude tegangan kurang lebih 5% akan menyebabkan beberapa kesulitan. Berbeda dengan transfer daya nyata, daya reaktif tidak bisa didistribusikan 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. (Hadi Saadat, 1999).

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

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

Dengan,

$$P_{rugi} = I^2 R = P^2 + Q^2/V^2 R \quad \text{.....(2.14)}$$

$$Q_{rugi} = I^2 X = P^2 + Q^2/V^2 X \quad \text{.....(2.15)}$$

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. (Hadi Saadat, 1999).

Tegangan thevenin adalah :

$$E_{th} \angle \delta = V \angle 0 + jX\,I = V + jX\frac{P_r - jQ_r}{V} = V + \frac{XQ_r}{V} + j\frac{XP_r}{V} \quad \text{.....(2.16)}$$

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 δ 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 magnitude 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

Metode load flow mengutamakan eksistensi profil tegangan pada jaringan distribusi. 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. (Hadi Saadat, 1999).

$$I = Y \cdot V = \frac{S^*}{V^*} \quad \text{.....(2.17)}$$

Keterangan :

I = Matriks injeksi arus pada bus

Y = Matriks sistem admittansi jaringan

V = Vektor tegangan bus

S = P + jQ = Injeksi daya kompleks

$$P_i - V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}\right) = 0 \quad \text{.....(2.18)}$$

$$Q_i - V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_j Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}\right) = 0 \quad \text{.....(2.19)}$$

Dari persamaan aliran daya metode Newton Rapshon diperoleh matriks Jacobian.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial V} \\ \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial V} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad \text{.....(2.20)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} \mathbf{V_j\ Y_{ij}\ Sin\ (\delta_i - \delta_j - \emptyset_{ij}) + V_i^{\,2} Y_{ii}\ Sin\ \emptyset_{ii}} \quad \text{.....(2.21)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -V_i\ \mathbf{V_j\ Y_{ij}\ Sin\ (\delta_i - \delta_j - \emptyset_{ij})} \quad \text{.....(2.22)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{j=1}^{N_{bus}} \mathbf{V_j\ Y_{ij}\ Cos\ (\delta_i - \delta_j - \emptyset_{ij}) - V_i\ Y_{ij}\ Cos\ \emptyset_{ij}} \quad \text{.....(2.23)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -V_i\ \mathbf{Y_{ij}\ Cos\ (\delta_i - \delta_j - \emptyset_{ii})} \quad \text{.....(2.24)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -V_i \sum_{j=1}^{N_{bus}} \mathbf{V_j\ Y_{ij}\ Cos\ (\delta_i - \delta_j - \emptyset_{ij}) + V_i^{\,2} Y_{ii}\ Cos\ \emptyset_{ii}} \quad \text{.....(2.25)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = V_i\ \mathbf{V_j\ Y_{ij}\ Cos\ (\delta_i \quad \delta_j \quad \emptyset_{ij})} \quad \text{.....(2.26)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{j=1}^{N_{bus}} \mathbf{V_j\ Y_{ij}\ Sin\ (\delta_i - \delta_j - \emptyset_{ij}) + V_i\ Y_{ij}\ Sin\ \emptyset_{ij}} \quad \text{.....(2.27)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial \delta_i} = \mathbf{V_i\ Y_{ij}\ Sin\ (\delta_i \quad \delta_j \quad \emptyset_{ij})} \quad \text{.....(2.28)}$$

2.9.2. Analisis Modal (Eigenvalue)

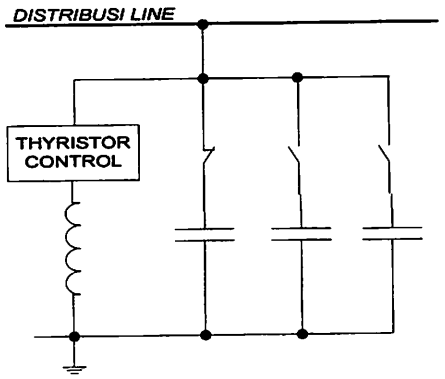
Analisis Modal (Eigenvalue) diusulkan oleh Gao, Morison, dan P Kundur pada 1992, ini merupakan suatu metode analitis yang handal telah teruji untuk memprediksi atau mengetahui mekanisme ketidakstabilan tegangan (voltage collapse) pada suatu kesatuan sistem tenaga yang luas dan kompleks. Penulis menggunakan 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. (Hadi Saadat, 1999).

Fungsi lainnya untuk meredam *osilasi damping* pada saluran transmisi dan distribusi yang panjang dan berbeban tinggi. (L.J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtis, 2004).

SVC berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi dan jaringan distribusi 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 listrik. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

Peningkatan kemampuan saluran tenaga listrik dalam mengirimkan daya reaktif sering digunakan kompensator daya reaktif, yang dipasang pada tempat-tempat tertentu baik saluran transmisi atau distribusi 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. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

Pada skripsi ini SVC berfungsi sebagai kapasitor shunt (*TSC*) sebagai injeksi daya reaktif. Gambar 2.7 menunjukkan contoh dari topologi SVC.



Gambar 2.7. Static VAR Compensator

2.11.1. Tipe-Tipe Static VAR Compensator

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)

Seperti yang telah dijabarkan pada persamaan (2-20), analisis Eigenvalue diperoleh dari load flow matriks Jacobian.

$$\begin{bmatrix}\Delta P\\ \Delta Q\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}J_{11} & J_{12}\\ J_{21} & J_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\delta\\ \Delta V\end{bmatrix} \quad \text{.....(2.29)}$$

$$\Delta P = 0 = J_{11}\,\Delta\delta + J_{12}\,\Delta V \quad \text{dan} \quad \Delta\delta = -J_{11}^{-1}\cdot J_{12}\,\Delta V \quad \text{.....(2.30)}$$

$$\Delta Q = J_{21}\,\Delta\delta \cdot J_{22}\,\Delta V \quad \text{.....(2.31)}$$

Subsitusi persamaan (2.30) dan (2.31)

$$\Delta Q = J_R\,\Delta V \quad \text{.....(2.32)}$$

Keterangan :

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

J_R = Matriks Jacobian Reduksi

Persamaan (2.32) dapat ditulis dalam bentuk

$$\Delta V = J_R^{-1}\,\Delta Q \quad \text{.....(2.33)}$$

Matriks Jacobian reduksi (J_R) menjelaskan persamaan liner antara perubahan kenaikan tegangan (ΔV) dan injeksi daya reaktif (ΔQ). 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 (JR) menjelaskan :

$$J_R = \Phi\Lambda\Gamma \quad \text{.....(2.34)}$$

Keterangan, Φ = eigenvector sisi kanan matriks J_R

Γ = eigenvector sisi diagonal matriks J_R

Λ = eigenvector sisi kiri matriks J_R

Atau,

$$J_R^{-1} = \Phi \Lambda^{-1} \Gamma \quad \text{.....(2.35)}$$

Dengan,

$$\Phi\Gamma = 1$$

Subsitusi persamaan (2-35) dan (2-33) :

$$\Delta V = \Phi \Lambda^{-1} \Gamma \Delta Q \quad \text{atau} \quad \Delta V = \sum_i \frac{Q_i \Gamma_i}{\lambda_i} \Delta Q \quad \text{.....(2.36)}$$

Keterangan : λ_i = jumlah eigenvalue matriks J_R

Q_i = sisi kanan kolom eigenvector matriks J_R

Γ_i = sisi kiri baris eigenvector matriks J_R

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

$$\Delta Q = K_i \Phi_i \quad \text{.....(2.37)}$$

Keterangan, K_i sebagai faktor pengali untuk menormalkan vektor ΔQ_i

$$K_i^2 \sum_j \Phi_{ji}^2 = 1 \quad \text{.....(2.38)}$$

Keterangan, Φ_{ji} adalah elemen j^{th} untuk Φ_L

Keterkaitan variasi tegangan bus yang saling berhubungan adalah :

$$\Delta V = \frac{1}{\lambda_i} \Delta Q_{mi} \quad \text{.....(2.39)}$$

Persamaan (2.39) 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, mengindentifikasikan tegangan sistem stabil. Metode eigenvalue sangat tepat aplikasi pada sistem transmisi, tidak sesuai untuk pemakaian pada sistem distribusi. (Hadi Saadat, 1999).

2.10. Facts Devices

Perkembangan *power electronics*, perhatian terhadap lingkungan, serta semakin meningkatnya biaya yang diperlukan untuk membangun saluran transmisi, distribusi dan pusat pembangkit yang baru merupakan alasan penggunaan FACTS *devices*. Disisi yang lain *loadability* dari sistem yang telah ada dapat ditingkatkan, sehingga sistem menjadi lebih fleksibel terhadap pembangkitan dan beban yang bervariasi. Parameter saluran transmisi atau distribusi seperti impedansi, tegangan terminal, dan sudut tegangan dapat dikontrol secara cepat dan efektif dengan menggunakan FACTS *devices* (Lomi Abraham, 2008).

Semenjak diperkenalkan oleh Hingorani pada tahun 1988, berbagai riset telah dilakukan berkaitan dengan FACTS *devices* dengan tinjauan yang berbeda, misalnya riset tentang load flow akibat penambahan FACTS *devices* pada line transmisi dan distribusi, *optimal power flow*, tinjauan stabilitas dan tinjauan ekonomis.

FACTS Device untuk pertama kali dikembangkan oleh EPRI (*Electric Power Research Institute*) di Palo Alto Negara bagian California di Amerika Serikat. Dalam skripsi ini penulis hanya membahas tentang dua buah facts device yaitu TCVR dan SVC. (Hadi Saadat, 1999).

2.11. Static VAR Compensator (SVC)

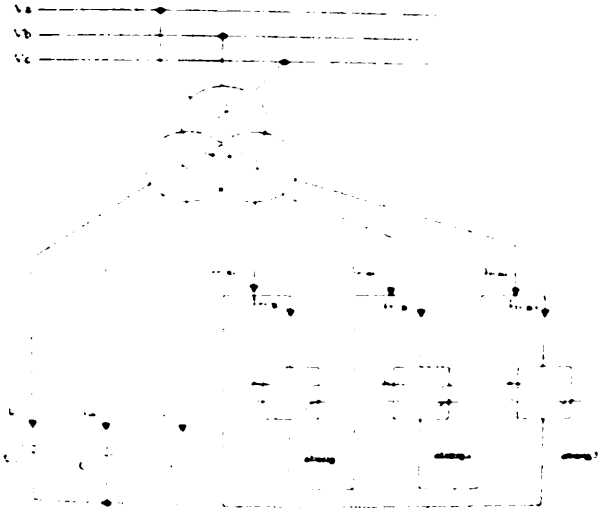
SVC adalah salah satu tipe FACTS Device (*Flexible AC Transmission System*) yang terdiri dari komponen reaktor dan kapasitor sebagai sumber daya reaktif, serta dilengkapi peralatan elektronika daya sebagai *device switching*. Fungsi utama adalah mempertahankan (*controller*) stabilitas tegangan tetap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

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.

2.11.1.1. *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°. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).



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 :

$$i = \frac{\sqrt{2V}}{X_L}(\cos\alpha - \cos[\omega t)], \qquad \alpha < \omega t < \alpha + c$$

$i = 0$, $\alpha + \sigma < \omega t < \alpha + \pi$ .....(2.40)

Keterangan :

V = Tegangan efektif (V) ù = 2ðf

X_L = Reaktansi reaktor (Ω) á = sudut delay penyalaan

ó = Sudut konduksi

Komponen dasar diketahui dari analisis deret Fourier :

$$I_l = \frac{\sigma - Sin\,\sigma}{\pi X_L} \quad \text{.....(2.41)}$$

$$\alpha + \frac{\sigma}{2} = \pi \quad \text{.....(2.42)}$$

Sehingga persamaan (2.42) dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_l = B_L(\sigma)\,V \quad \text{.....(2.43)}$$

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

$$B_L(\sigma) = \frac{\sigma - Sin\,\sigma}{\pi X_L} \quad \text{.....(2.44)}$$

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

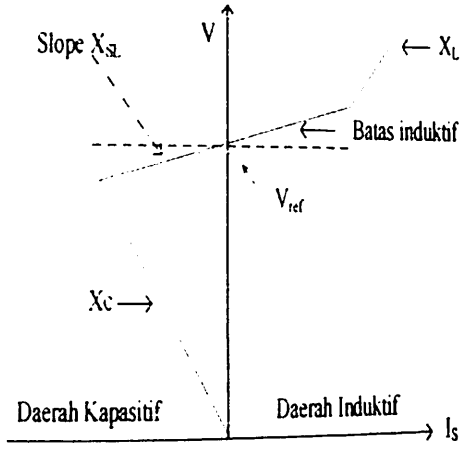
2.11.1.2. Thyristor Switched Capacitor (TSC)

Susceptansi pada jaringan diatur dengan mengontrol jumlah kapasitor pararel yang terhubung dengan *k* kapasitor terhubung pararel, 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. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

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–l*) 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. (K. Lokanadham, 2010).

2.11.1.3. 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.

$$Q_{max} = B_{ind} . V^2_{ref} \quad (2.45)$$

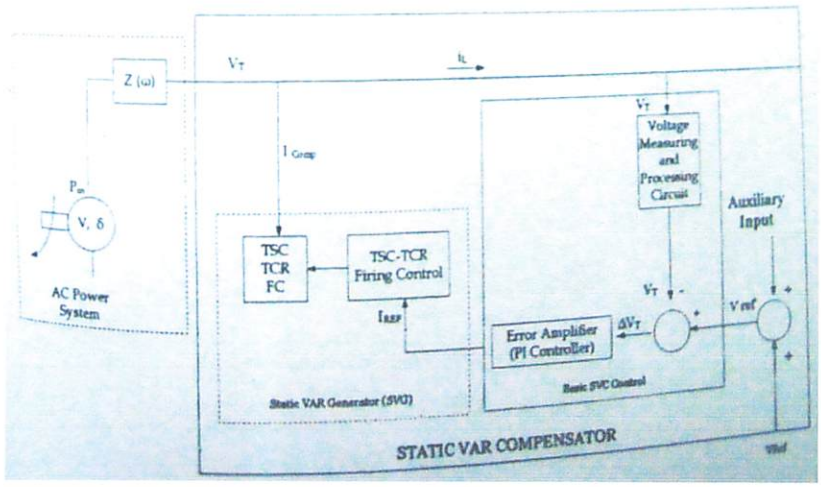
$$Q_{min} = B_{cap} . V^2_{ref} \quad (2.46)$$

Keterangan :

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

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 membangkitan 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 penyalaan thyristor pada rangkaian inverter, seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Line Diagram Static VAR Compensator

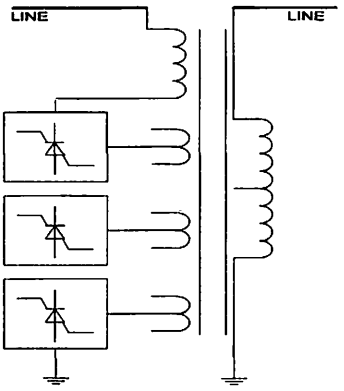
Penggunaan FACTS menjadi alternatif baru pada bidang transmisi tenaga listrik yang dapat meningkatkan kemampuan transfer daya tenaga listrik tanpa harus membangun konstruksi jaringan listrik yang baru, dapat meningkatkan batas kemampuan thermal jaringan transmisi. Kefleksibelan, keefektifan dan kehandalan FACTS memberikan keuntungan dalam operasi aliran daya dan kontrol. (K.Lokanadham, 2010).

2.12. TCVR (Thyristir Controlled Voltage Regulator)

TCVR adalah salah satu tipe FACTS Device (*Flexible AC Transmission System*) yang terdiri dari komponen reaktor untuk mengambil 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.

TCVR berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi dan jaringan distribusi berjarak jauh dan berbeban tinggi *(heavily loaded)*. Fungsi TCVR diperoleh dengan menggunakan thyristor yang secara cepat dapat menghubungkan dan memutuskan reactor pada jaringan listrik. (ACEE, 2009).

Pada skripsi ini TCVR berfungsi sebagai alat statis yang digunakan untuk mengambil daya reaktif (Controll reactor). Gambar 2.8 menunjukkan contoh dari topologi TCVR. (ACEE, 2009).



Gambar 2.11.
Thrystor Controlled Voltage Regulator

2.12.1. Pengoperasian TCVR

Thrystor Controlled Voltage Regulator, digunakan terutama pada jaringan distribusi tegangan menengah, dalam TCVR kekuatan Elektronik Thyristor switch digunakan sehingga pengaturan lebih cepat dan beroperasi secara terus-menerus, idealnya digunakan untuk saluran distribusi dengan fluktuasi tegangan yang buruk dan pada jaringan yang panjang. TCVR dapat mempertahankan besaran tegangan feeder pada level yang diinginkan, mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan, sehingga meningkatkan kualitas power supply secara segnifikan. Beberapa kelebihan kerja TCVR (ACEE, 2009)

1. Dengan cepat meregulasi tegangan, Mengunakan perangkat elektronika daya, membutuhkan 10ms untuk bertindak.

2. TCVR diperbolehkan bekerja dengan kontinyu, non kontak switch dengan pengaruh luar, kemampuan beroperasi terus-menerus, masa pelayanan panjang dan bebas pemeliharaan.

3. Kombinasi struktur dari transformator dengan isolasi penuh pada thyristor switch memunkingkan atau mampu melayani perubahan tekanan arus dari tegangan tinggi (HV), menempatkan thyristor pada sisi tegangan rendah (LV), Mengatasi masalah tegangan dengan perangkat elektronika daya.

Spesifikasi :

1. Tegangan dasar : 6 kv, 10 kv, 35 kv
2. Kapasitas tegangan : ≤ 4000 KVA (6kv), ≤ 8000 KVA (10kv), ≤ 20000 KVA (35kv).
3. Rated frequency : 50 HZ
4. Phasa number : 3 Φ
5. Operation time of voltage regulator : ≤100ms
6. Cooling : Onnan

2.12.2. Prinsip kerja TCVR

TCVR dianggap sebagai common voltage regulator, hal ini dengan mudah merubah magnitude tegangan dengan jarak kontrol antara -αmin <αl <α maks. TCVR beroperasi dengan menyisipkan ke salah satu fasa saluran atau bus untuk mengubah magnitude tegangan pada bus tersebut. Nilainya tergantung pada magnitude tegangan pada bus (V_b) dimana TCVR ditempatkan. Perubahan tegangan berkisar antara -0,15 $V_b \leq V_{TCVR} \leq 0{,}15V_b$ pu. (ACEE, 2009).

Tegangan outputan pada terminal bus merupakan variabel kontrol utama yang menggunakan thyristor sebagai sakelar kontrol sudut tegangan, nilai bervariasi tergantung pada impendansi saluran. Tegangan dapat dikontrol dengan baik sebagai sebuah fungsi dari arus reaktif untuk menstabilisasi keseimbangan daya reaktif (reactive power balance). (Rosa, John (Penn Hills, PA), 1980).

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

Harga arus sesaat *i* adalah sebagai berikut :

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

$$i = 0 \quad , \alpha + \sigma < \omega t < \alpha + \pi \qquad \text{.....(2.47)}$$

Keterangan :

V = Tegangan efektif (V) ù = 2ðf

X_L = Reaktansi reaktor (Ω) á = sudut delay penyalaan

ó = Sudut konduksi

Komponen dasar diketahui dari analisis deret Fourier :

$$I_l = \frac{\sigma - Sin\,\sigma}{\pi X_L} \quad \text{.....(2.48)}$$

$$\alpha + \frac{\sigma}{2} = \pi \quad \text{.....(2.49)}$$

Sehingga persamaan (2.38) dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_l = B_L(\sigma)\,V \quad \text{.....(2.50)}$$

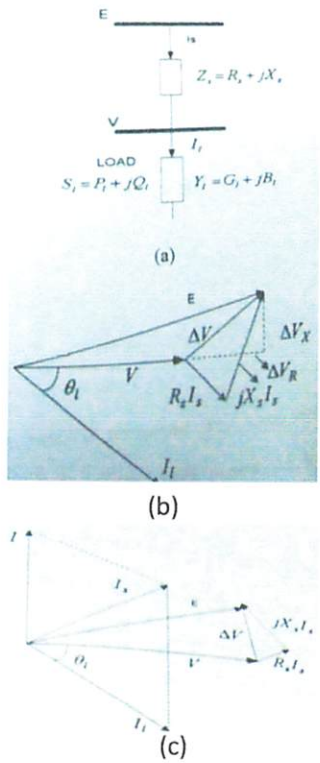
B_L (ó) adalah susceptansi yang dapat diatur pada frekuensi fundamental yang dikontrol oleh sudut konduksi sesuai dengan aturan :

$$B_L(\omega) - \frac{\sigma - Sin\,\sigma}{\pi X_L} \quad \text{.....(2.51)}$$

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

2.13. 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 2.12.



Gambar 2.12. (a) Rangkaian Ekivalen dari Beban dan Sistem Supply
(b) Diagram Phasor Tanpa Kompensator
(c) Diagram Phasor dengan Kompensator

Tanpa kompensator, tegangan supply berubah disebabkan oleh arus beban I_l seperti ditunjukkan pada gambar 2.12 (b) sebagai ΔV

$$\Delta V = E - \Delta V = Z_s I_l \quad \text{.....(2.52)}$$

Sedangkan nilai,

$$Z_s = R_s + jX_s \quad \text{..... (2.53)}$$

$$I_l = \frac{P_l - jQ_l}{V} \quad \text{.....(2.54)}$$

Sehingga :

$$\Delta V = (R_s + jX_s)\left[\frac{P_l - jQ_l}{V}\right]$$

$$= \frac{(R_s P_l + X_s Q_l)}{V} + j\frac{X_s P_l - R_s Q_l}{V} \quad \text{.....(2.57)}$$

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

Perubahan tegangan memiliki komponen ΔV_R yang sephasa dengan V dan komponen ΔV_X seperti diilustrasikan pada gambar 2.12 (b). Perubahan tegangan tergantung pada daya nyata dan daya reaktif pada beban.

Dengan menambah sebuah kompensator yang pararel 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 2.12 (c), daya reaktif Q_l pada persamaan (2.46) diperoleh dari $Q_s = Q_\gamma + Q_t$, dan nilai Q_l diatur dengan jalan memutar arah phasor dari ΔV sehingga $|E| = |V|$. Dari persamaan (2.52) dan (2.53) diperoleh :

$$|E|^2 - \left[V + \frac{R_s P_l + X_s Q_s}{V}\right]^2 + \left[\frac{X_s P_l - R_s Q_s}{V}\right]^2 \quad \text{.....(2.58)}$$

Dalam kenyataan nilai Q_γ akan diperoleh secara otomatis dengan loop control. Sehingga dapat dikatakan bahwa kompensator daya reaktif dapat menjaga perubahan tegagan yang disebabkan oleh perubahan daya aktif dan reaktif dari beban. (Hadi Saadat, 1999).

2.14. Rumus Pendekatan untuk Pengaturan Tegangan

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

$$S_{sc} = P_{sc} + jQ_{sc} = E\, I^*_{sc} = \frac{E^2}{Z^*_{sc}} \quad \text{.....(2.59)}$$

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

$$R_s = |Z_{sc}|\, Cos\, \phi_{sc} = \frac{E^2}{S_{sc}} Cos\, \phi_{sc} \quad \text{.....(2.60)}$$

$$X_s = |Z_{sc}|\, Sin\, \phi_{sc} = \frac{E^2}{S_{sc}} Sin\, \phi_{sc} \quad , \text{ dengan } \tan \phi_{sc} = \frac{X_s}{R_s} \quad \text{.....(2.61)}$$

$X : R$ adalah ratio dari supply sistem. Dengan memasukkan nilai R_s dan X_s pada persamaan (2.57) dan diasumsikan bahwa $E/V \equiv 1$, diperoleh :

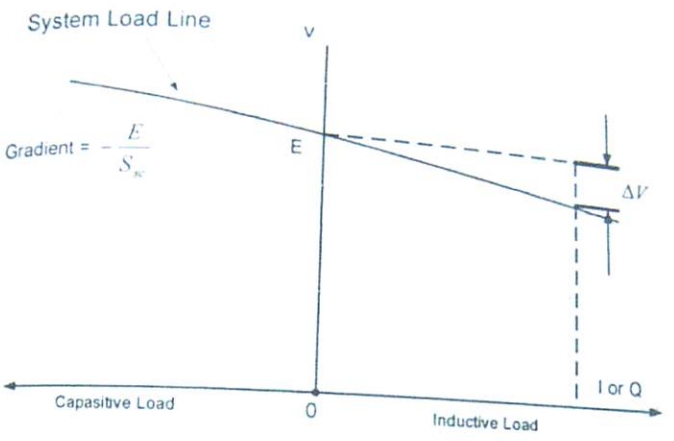
$$\frac{\Delta V_R}{V} \cong \frac{1}{S_{sc}} [P_l \cos \phi_{sc} + Q_l \sin \phi_{sc}] \quad \text{.....(2.62)}$$

$$\frac{\Delta V_X}{V} \cong \frac{1}{S_{sc}} [P_l \sin \phi_{sc} - Q_l \cos \phi_{sc}] \quad \text{.....(2.63)}$$

ΔV_X sangat sering diabaikan. Jika tahanan supply R, jauh lebih kecil dibandingkan dengan tahanan X_s maka perubahan tegangan diakibatkan oleh perubahan daya real ΔP_l dapat diabaikan, sehingga perubahan tegangan dirumuskan sebagai :

$$\frac{\Delta V}{V} \cong \frac{\Delta V_R}{V} = \frac{\Delta Q_l}{S_{sc}} \sin \emptyset_{sc} \cong \frac{\Delta Q_l}{S_{sc}} \quad \text{.....(2.64)}$$

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 2.13.



Gambar 2.13.
Karakteristik dari Tegangan Supply Sistem

2.15. 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: (K. Lokanadham, 2010).

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.

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). (K. Lokanadham, 2010) .

2.16. *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. (K. Lokanadham, April 2010).

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: (L.J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtis, 2004).

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.

2.17. Penentuan Parameter *Genetic Algorithm* (GA)

Penentuan parameter kontrol dalam genetic algorithm yaitu, ukuran populasi (*popsize*), peluang *crossover* (pc) dan peluang mutasi (pm), dengan memperhatikan kompleksitas dari genetic algorithm, parameter meliputi: (L.J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtis, 2004).

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. (L.J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtis, 2004).

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). (L.J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtis, 2004).

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) (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

4. Probabilitas Mutasi (Pm)

Mutasi digunakan untuk meningkatkan variasi populasi dan tingkat mutasi yang terjadi. Karena frekuensi terjadinya mutasi menjadi Pm x POPSIZE x 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. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

5. Panjang Kromosom

Panjang kromosom berbeda-beda sesuai dengan permasalahan. Penyelesaian permasalahan dikodekan dalam bentuk kromosom/string yang terdiri dari komponen

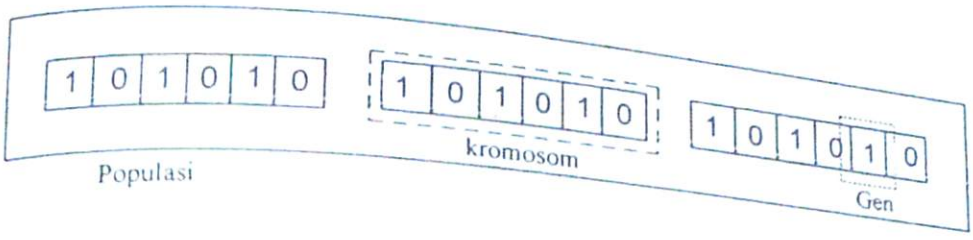
genetik terkecil yaitu gen. Pengkodean dapat memakai bilangan biner, integer, floating point dan abjad. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

2.18. Proses Genetic Algorith ı

Program optimasi dala.ı proses genetic algorithm dapat dijabarkan sebagai berikut :

2.18.1. 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 2.14. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).



Gambar 2.14.
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) FACTS mewakili satu individu. Secara umum genetic algorithm dibentuk oleh serangkaian kromosom yang ditandai dengan x_i (i = 1, 2, 3,...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. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

2.18.2. 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 xi (i = 1, 2, 3...N) dipergunakan untuk menghitung f_k (x) (k = 1, 2, 3...Popsize).

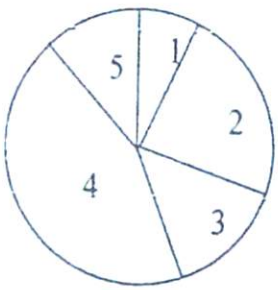
Pada kondisi awal optimasi, nilai fitness pada individu mempunyai rentang yang lebar panjang. Seiring bertambah besar generasi, ada beberapa kromosom mendominasi populasi dan mengakibatkan rentang nilai fitness semakin kecil, hal ini dapat mengakibatkan konvergen dini (*premature convergence*), hal ini dapat diatasi dengan operasi mutasi yang mampu menghasilkan kromosom yang relatif baru dan merupakan cara untuk menghindari kromosom tertentu mendominasi populasi dan konvergen dini. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

2.18.3. 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 2.14, lingkaran roda Roulette merupakan F_{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

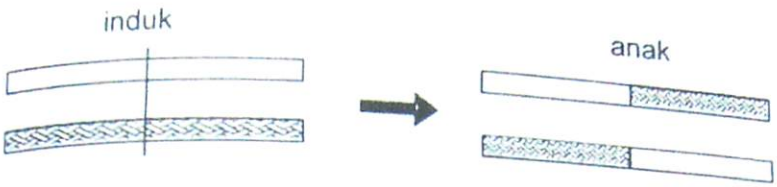
yang paling kecil pada roda Roulette. Untuk memilih kromosom, angka acak dibuat dalam interval $(0,F_{sum})$ dan individu yang menempati segmen yang terletak pada angka acak yang dipilih. Siklus evolusi terus berulang dan berakhir sampai kriteria yang diinginkan tercapai. Kriteria dapat dibentuk oleh angka siklus evolusi (*iterasi*), atau banyaknya variasi individu antar generasi yang berbeda atau nilai fitness yang diinginkan. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).



Gambar 2.15.
Roda Roulette (*Roulette Wheel*)

2.18.4. 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...N-1) dengan N = panjang kromosom diseleksi secara random. Variabel-variabel ditukar antar kromosom pada titik tersebut untuk mendapatkan anak. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).



Gambar 2.16.
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

2.18.5. Mutasi (Mutation)

Setelah mengalami proses rekombinasi, pada offspring dapat dilakukan mutasi, an

at

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 x 20 = 2000 gen. Jika peluang mutasi (pm = 0,01), berarti diharapkan ada (0,01) x 2000 = 20 gen yang akan mengalami mutasi.

Misalkan,

V_1' 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1

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

V_2' 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. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

2.19. 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.* (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

2.19.1. 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). (Lomi Abraham, 2008).

2.19.2. Fungsi Obyektif

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

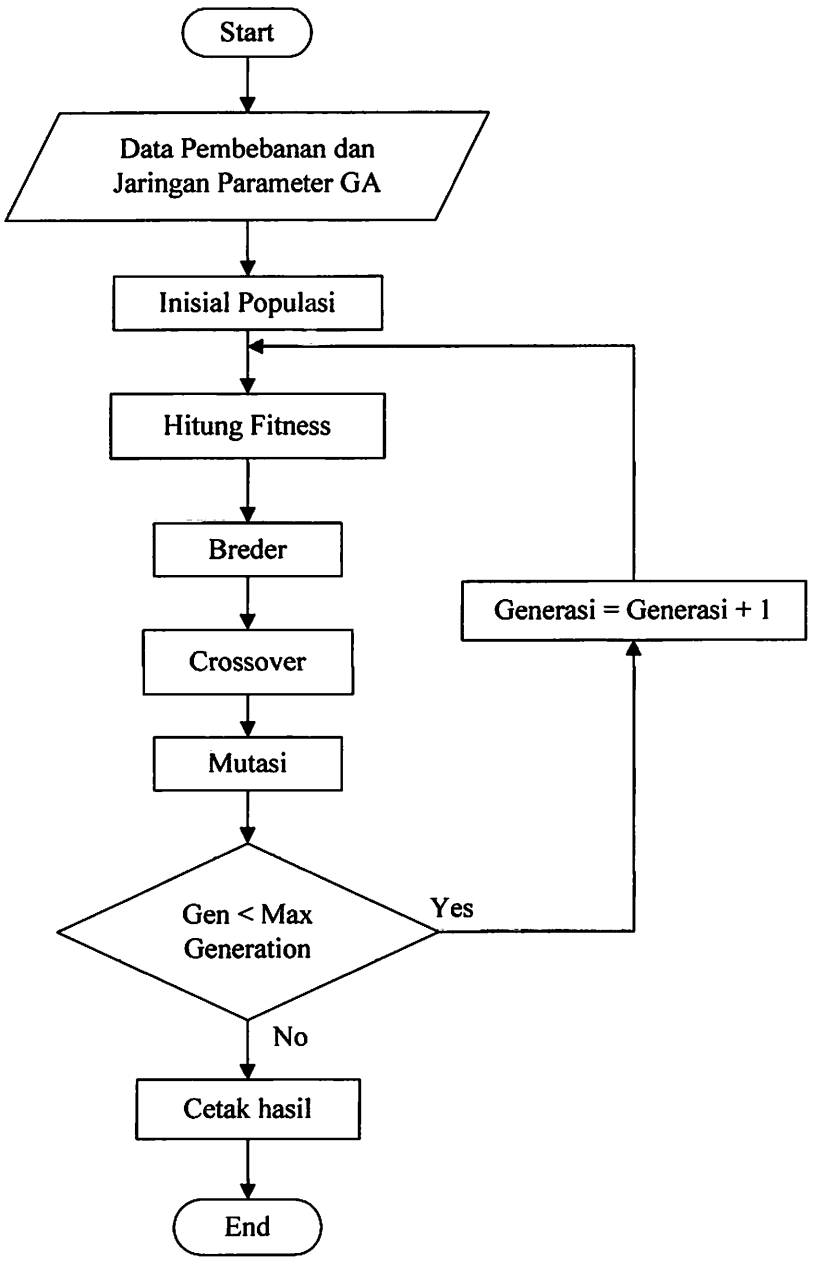
U = Matriks orthogonal U

V^T = Matriks orthogonal V^T

Σ = Matriks diagonal

Nilai minimum singular value (Σ) dari matriks J_R, digunakan untuk mengukur indeks kestabilan tegangan seberapa dekat ke titik voltage collapse, dari titik operasional. (Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008).

2.20. Flowchart Proses Pencarian Genetic Algorithm



Gambar 2.17.
Flowchart Proses Pencarian Genetic Algorithm

BAB III

DATA EDTL BAUCAU DAN STUDI OPTIMASI PENEMPATAN FACTS DEVICES PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU

Pada bab ini akan membahas tentang proses pengolahan data lapangan sebagai inputan, dimana data tersebut diperoleh dari survei pada Baucau Power station (EDTL Baucau) dan proses pencarian lokasi penempatan facts devices mengunakan metode genetic algorithm.

Proses pengolahan data lapangan dilakukan agar parameter yang digunakan dalam menganalisis performansi sistem tenaga listrik dapat dilakukan. Data lapangan di sini meliputi data peralatan yang terdapat pada Baucau power station, data saluran distribusi, tegangan tiap saluran, pembebanan dan data saluran ke tiap beban. Sedangkan data yang di analisis pada skripsi ini dititik beratkan pada penyaluran tenaga listrik dalam bulan maret 2010. (EDTL Baucau, 2010).

3.1. Data peralatan EDTL Baucau

Sumber pembangkit listrik di EDTL Baucau mengunakan Generator sebagai pembangkit tenaga listrik, dengan spesifikasi sebagai berikut: (EDTL Baucau, 2010).

Table 3.1
Tipe/Merek dari Mesin dan Generator Baucau Power Station

NO UNIT	MESIN/MAQUINA			GENERATOR/GERADORES		
	MEREK	TIPE	NO.SERI	MEREK	TIPE	NO.SERI
MAQ-I	CUMMINS	KTA 50 G3	33145415	CUMMINS	1120 GFLC	73698-481
MAQ- II	CUMMINS	KTA 50 G3	33152873	CUMMINS	1120 GFLC	70352-15

Tabel 3.2
Daya Mampu Generator

NO	MEREK / TYPE	DAYA		JUMLAH JAM	
		KVA	KW	OPERASI	SIAP
1	CUMMINS KTA 50 G3	1256	1005	566	176
2	CUMMINS KTA 50 G3	1256	1005	578	164
	TOTAL	2512	2010	1144	340

Tabel 3.3
Daftar Trafo Jaringan Distribusi 20 KV Baucau

NO GARDU	TIPE TRAFO	DAYA (KVA)	TEGANGAN (VOLT)		ARUS (AMPERE)	
			PRIMER	SECOND	PRIMER	SECOND
Bc. 01	Unindo	120	20.000	220/380	11.5/4.6	231
Bc. 02	Starlike	250	20.000	220/380	7.21	360.8
Bc. 03	Trafindo Perkasa	100	20.000	220/380	2.88	144
Bc.04	Unindo	100	20.000	220/380	-	-
Bc.05	Starlike	160	20.000	220/380	4.62	231
Bc.06	B&D	200	20.000	220/380	-	-
Bc.07	Starlike	315	20.000	220/380	15.4/4.6	231
Bc.08	Unindo	160	20.000	220/380	4.6	231
Bc.09	Starlike	50	20.000	220/380	1.44	72.2
Bc.10	Sata Utama	50	20.000	220/380	1.44	72.16
Bc. 11	Sentra Sinarindo	100	20.000	220/380	1.44	72.2
Bc. 12	Trafindo	50	20.000	220/380	1.44	72,17
Bc. 13	B&D	100	20.000	220/380	2.89	144.3
Bc. 14	Unindo	50	20.000	220/380	1.44	72.2
Bc. 15	Unindo	50	20.000	220/380	1.44	72.2
Bc. 16	Sata Utama	50	20.000	220/380	1.44	72.16
Bc. 17	Starlike	50	20.000	220/380	1.44	72.16
Bc.18	B&D	100	20.000	220/380	2.89	144.3
Bc.19	Starlike	100	20.000	220/380	2.88	144.3
Bc.20	B&D	100	20.000	220/380	2.886	144.34
Bc. 21	Starlike	50	20.000	220/380	1.44	72.16
Bc. 22	Trafindo	160	20.000	220/380	4,51	230,94
Bc. 23	Starlike	50	20.000	220/380	1.44	72.1
Bc. 24	Trafindo	160	20.000	220/380	4.61	230.94
Bc. 25	Shem Yang	50	20.000	220/380	1.44	72.2
Bc. 26	B&D	50	20.000	220/380	1.44	72.2
Bc. 27	Trafindo Perkasa	50	20.000	220/380	1.44	72.2
Bc.28	B&D	100	20.000	220/380	2.89	144.3
Bc.29	Starlike	160	20.000	220/380	4.62	231
Bc.30	Sentra Sinarindo	100	20.000	220/380	3.89	144.3
Bc.31	B&D	100	20.000	220/380	2.89	144.3
Bc.32	Unindo	200	20.000	220/380	5.8	288.7
Bc.33	B&D	160	20.000	220/380	4.62	230.94
Bc.34	Starlike	100	20.000	220/380	2.88	144.3

3.2. Data saluran

Data impendansi saluran distribusi primer 20 KV Baucau power station, pada table berikut: (EDTL Baucau, 2010).

Tabel 3.4
Data Saluran Distribusi 20KV Baucau

DARI	KE	DATA PENGHANTAR			
		TEG. (KV)	JARAK (KM)	JENIS	
BAUCAU P.S	Baucau P.S	20	0.9	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Tirilolo Bugati	20	4.4	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	ES.No.1-Baucau	20	7.4	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Correus Baucau	20	10.4	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Hospital Special I	20	13.2	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Wailia	20	14.5	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	SAS Special V	20	18	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	EP.No.1	20	20.5	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Caibada Uaimua	20	23.1	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Teulalae	20	25.2	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Diwake/Tasi	20	27.4	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Tipo Grafia diocese/spc II	20	31.9	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Caibada Macasae	20	36.4	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Buruma	20	38.4	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Prizao	20	42.9	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Seisal	20	47.5	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	K.Baru	20	60	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Laga Mulia	20	62.9	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Laga Tekinomata	20	72	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Laga Vila/soba	20	74.3	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Sama diga	20	75.7	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Bela Vista	20	79.7	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Wailili	20	82.9	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Nunubu	20	86.4	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Gariuai	20	91	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Cairiri	20	95.9	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Fatumaca/Colegio	20	98.7	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Uaibiana/Ex.745	20	102.8	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Terminal	20	106	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	RSS Baucau	20	109.1	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	EPS.No.3 Baucau	20	111.7	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Oficina Diocese Spcl III	20	112.9	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	UIR Baucau	20	115.8	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	F-FDTL Special IV	20	120.6	AAAC	150 mm
BAUCAU P.S	Uainiki	20	124.8	AAAC	150 mm

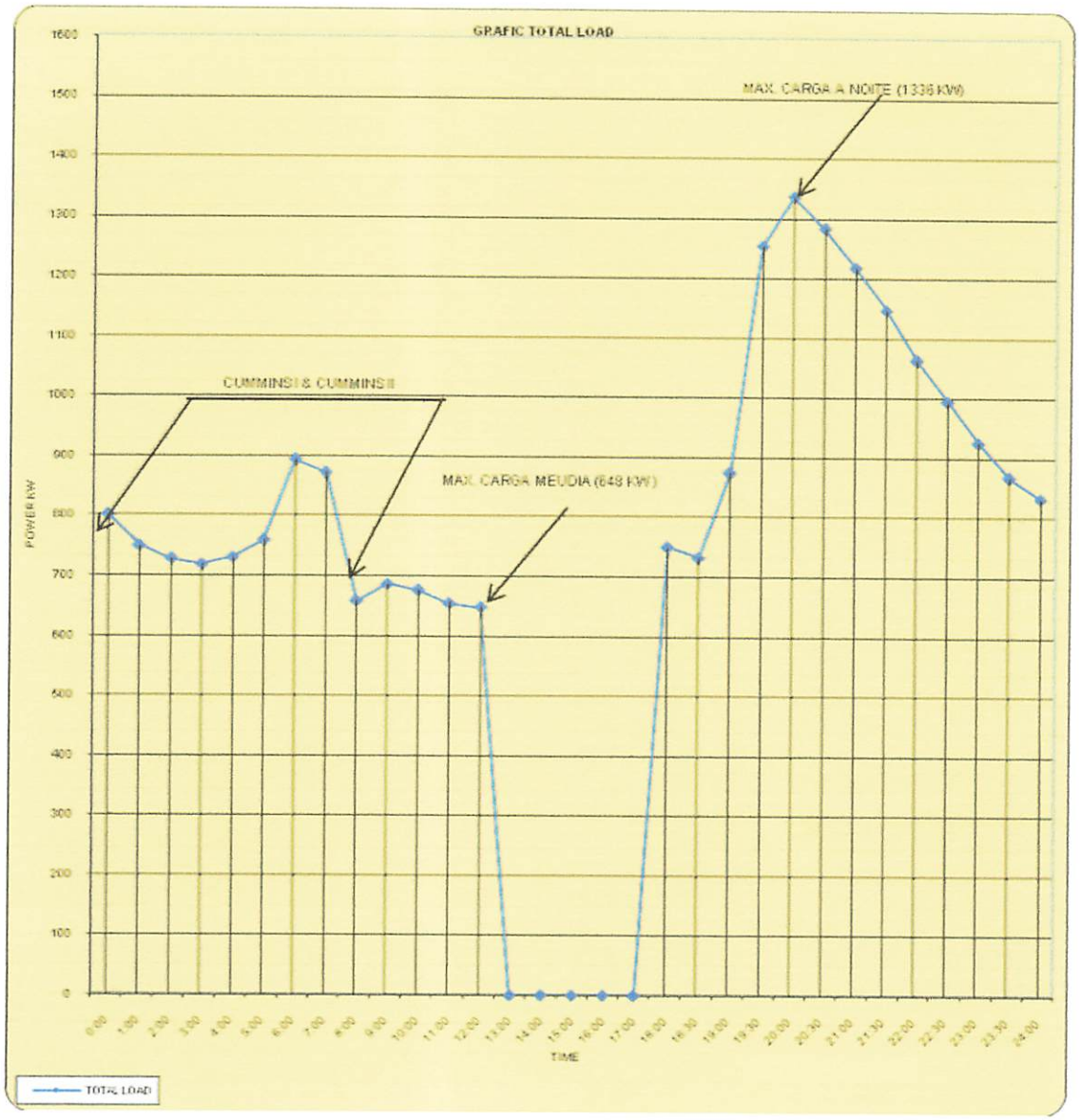
3.3. Data pembebanan

Data pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, data pembebanan dapat dilihat pada table 3.5. (EDTL Baucau, 2010).

Tabel 3.5
Data Pembebanan Hasil Perhitungan Sistem Distribusi 20 KV Baucau

NO BUS	KODE TRAFO	LOKASI	PEMBEBANAN		TYPE BUS
			KW	KVAR	
1			0.0000	0.0000	SLACK
2			0.0000	0.0000	SLACK
3	Bc. 01	Tirilolo Bugati	71.3547	49.9631	LOAD
4	Bc. 02	ES.No.1-Baucau	148.1281	103.7204	LOAD
5	Bc. 03	Correus Baucau	78.4322	54.9188	LOAD
6	Bc.04	Hospital Special I	12.6723	8.8732	LOAD
7	Bc.05	Wailia	76.2303	53.3770	LOAD
8	Bc.06	SAS Special V	42.3059	29.6229	LOAD
9	Bc.07	EP.No.1	123.0841	86.1844	LOAD
10	Bc.08	Caibada Uaimua	81.9676	57.3944	LOAD
11	Bc.09	Teulalae	17.9026	12.5355	LOAD
12	Bc.10	Diwake/Tasi	10.2460	7.1743	LOAD
13	Bc. 11	Tipo Grafia diocese/spc II	37.3107	26.1253	LOAD
14	Bc. 12	Caibada Macasae	30.2185	21.1592	LOAD
15	Bc. 13	Buruma	40.4039	28.2911	LOAD
16	Bc. 14	Prizao	20.6656	14.4702	LOAD
17	Bc. 15	Seisal	19.4958	13.6511	LOAD
18	Bc. 16	K.Baru	34.1177	23.8895	LOAD
19	Bc. 17	Laga Mulia	39.1866	27.4388	LOAD
20	Bc.18	Laga Tekinomata	76.7775	53.7602	LOAD
21	Bc.19	Laga Vila/soba	78.4879	54.9578	LOAD
22	Bc.20	Sama diga	20.1053	14.0779	LOAD
23	Bc. 21	Bela Vista	36.6923	25.6922	LOAD
24	Bc. 22	Wailili	37.8571	26.5078	LOAD
25	Bc. 23	Nunubu	37.8907	26.5314	LOAD
26	Bc. 24	Gariuai	68.5303	47.9854	LOAD
27	Bc. 25	Cairiri	17.3988	12.1828	LOAD
28	Bc. 26	Fatumaca/Colegio	15.0118	10.5114	LOAD
29	Bc. 27	Uaibiana/Ex.745	16.8901	11.8266	LOAD
30	Bc.28	Terminal	79.5429	55.6966	LOAD
31	Bc.29	RSS Baucau	44.6520	31.2657	LOAD
32	Bc.30	EPS.No.3 Baucau	78.8204	55.1907	LOAD
33	Bc.31	Oficina Diocese Spcl III	20.6852	14.4840	LOAD
34	Bc.32	UIR Baucau	39.4373	27.6143	LOAD
35	Bc.33	F-FDTL Special IV	28.1502	19.7110	LOAD
36	Bc.34	Uainiki	46.2035	32.3520	LOAD

Grafik pembebanan bulan maret pada sistem distribusi 20 kv Baucau



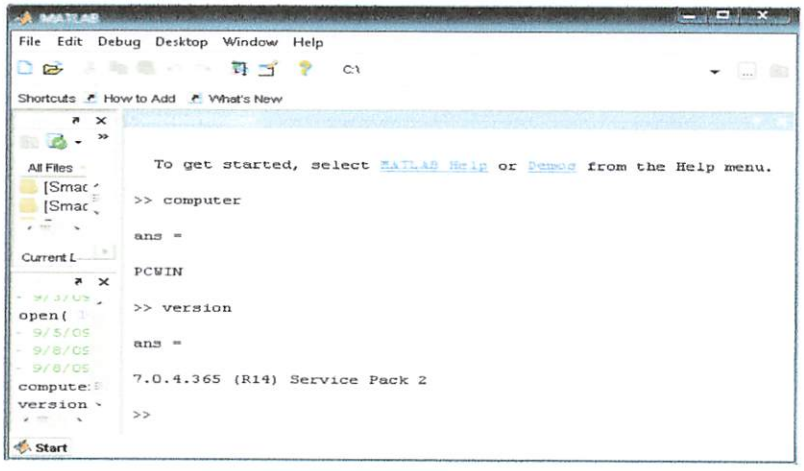
3.4. Software matlab

MATLAB adalah sebuah program untuk menyelesaikan perhitungan ilmiah maupun teknik secara numeris. Matlab dikendalikan dengan perintah-perintah (commands) dan karenanya bersifat dapat diprogram. 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. (K. Lokanadham, 2010).

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)*.



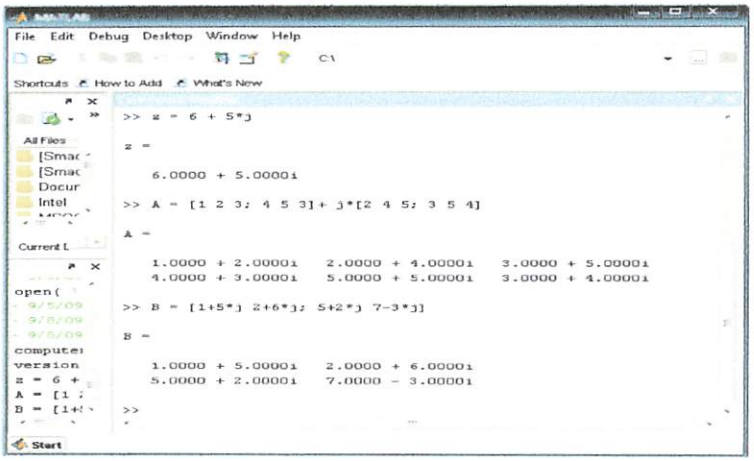
Gambar 3.1.
Tampilan Awal MATLAB Versi 7.0.4.

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 3.2.
Matriks Bilangan Kompleks

3.5. Strategi optimasi penempatan Facts Devices

Tujuan optimasi penempatan FACTS devices adalah untuk memaksimumkan suplai daya dari sistem ke beban tanpa melampaui batas tegangan dan arus pada sistem. Untuk maksud tersebut, dari sejumlah tipe *FACTS devices* yang telah ditentukan, dicari lokasi dan rating yang paling tepat. Iterasi dimulai dengan loadability sistem, SL=1 dari beban awal. GA melakukan proses optimasi secara berulang jika nilai fitnessnya adalah 1, dengan pertambahan SL sebesar 0.05. Rugi daya akibat peningkatan distribusi daya, dibagi secara proporsional kepada seluruh generator dalam sistem. (K. Lokanadham, 2010).

Parameter loadability sistem:

$$\tau * P_{li} = Real\left[\sum_{j=1}^{n} V_i V_j * Y_{ij} *\right] \qquad i \varepsilon \text{ load busess}$$

$$P_{gi} = Real\left[\sum_{j=1}^{n} V_i V_j * Y_{ij} *\right] \qquad i \varepsilon \text{ generator busess}$$

$$Q_{gi} = Real\left[\sum_{j=1}^{n} V_i V_j * Y_{ij} *\right] \quad i \varepsilon \text{ all busess} \quad n = 1, 2, 3 \ldots n$$

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq g_i^{max} \qquad i \varepsilon \text{ generator busess}$$

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq Q_i^{max} \quad i \in \text{generator busess}$$

$$ABS(V_i(V_i * V_j *)Y_{ij}) \leq If^{limits}$$

dimana

τ : The load-ability parameter

P_{ij} : Scheduled real power load of 'i'th bus

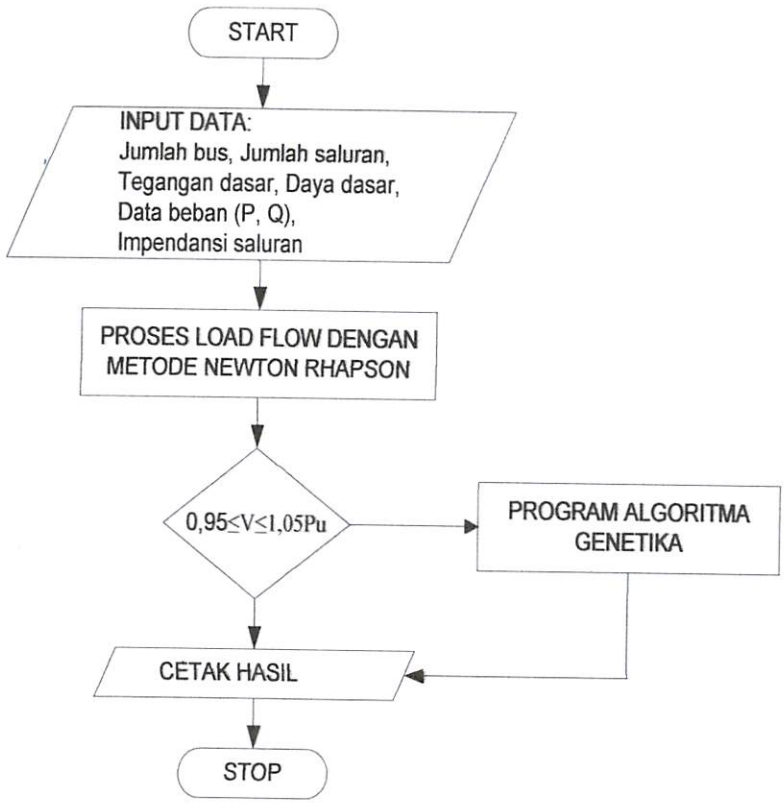
Q_l : Scheduled reactive power load of 'i'th bus

P_{gi} :Generated real power of 'i'th bus

Q_{li} :Generated real power of 'i'th bus

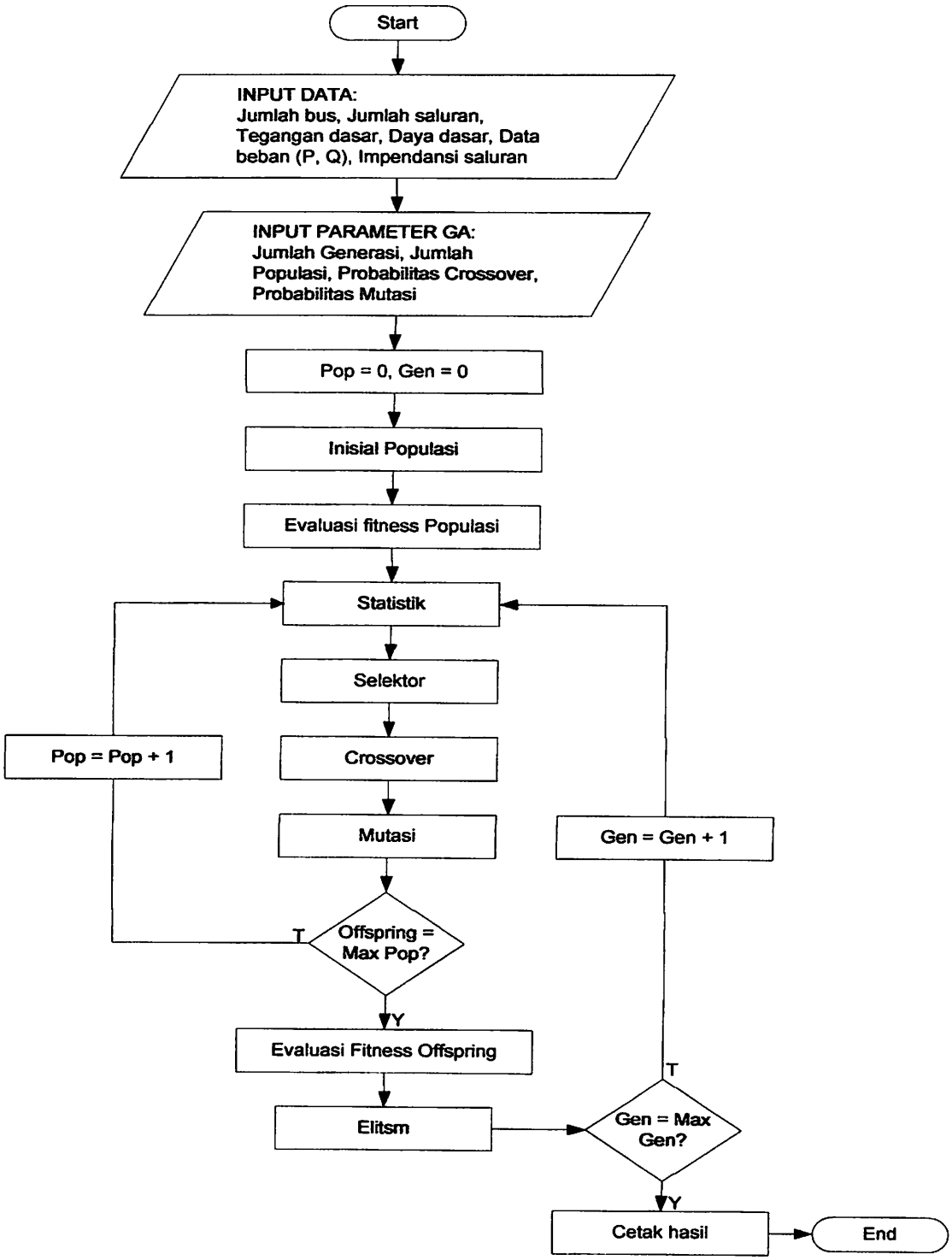
3.6. Flowchat algoritma pemograman

3.6.1. Flowchart Algoritma penyelesaian masalah



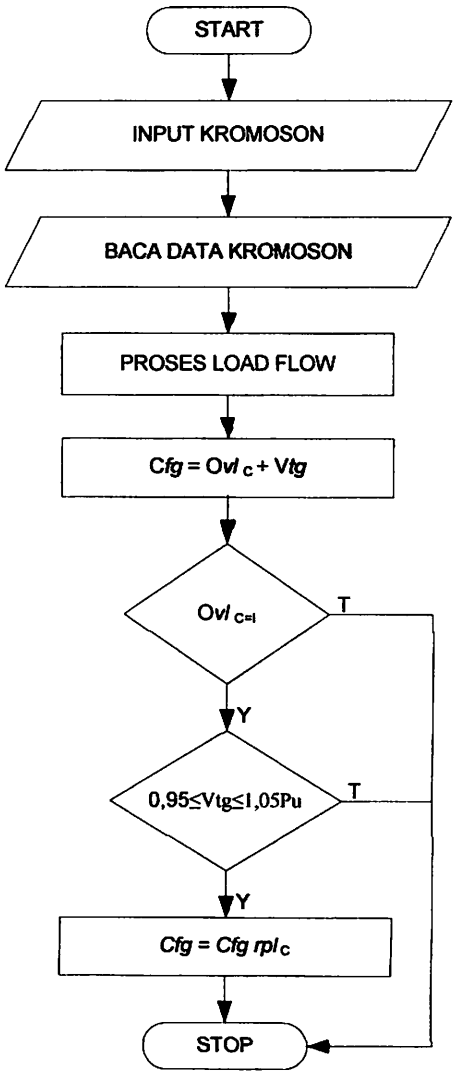
Gambar 3.3.
Flowchart Program Penyelesaian Masalah

3.6.2. Flowchart program Algoritma Genetika



Gambar 3.4.
Flowchart Program Algoritma Genetika

3.6.3. Flowchart Program Fitnes



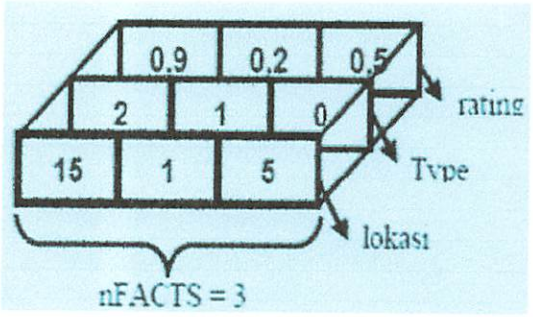
Gambar 3.5.
Flowchart Sub Routine Program Fitness

3.7. Genetic Algorithm untuk Optimasi Facts Devices

Algoritma Genetika bekerja berdasarkan mekanisme seleksi alam. Solusi optimal diperoleh dari sejumlah solusi dengan proses acak. Generasi baru diperoleh dari tiga operator: reproduksi, *crossover*, dan mutasi.

Pada skripsi ini penulis mengunakan dua buah facts devices yaitu TCVR (Thyristor Controlled Voltage Regulator) dan SVC (Statik Var Compensator).

Optimasi dilakukan dengan maksimum 3 devices. (K. Lokanadham, 2010).



Gambar 3.6.

Konfigurasi Individu dari Facts Device

3.7.1. Pengkodean

Konfigurasi nFACTS *devices* ditentukan oleh tiga parameter, yaitu lokasi, type dan rating FACTS *devices* String pertama berkaitan dengan lokasi *devices*. String ini mengandung kombinasi saluran dimana FACTS *devices* ditempatkan. Setiap string memiliki nilai lokasi yang berbeda, dan hanya satu FACTS *device* dalam satu saluran . String yang kedua berkaitan dengan type FACTS *devices*. Nilai disesuaikan dengan penomoran pada FACTS *device*, yaitu 1 untuk TCVR, 2 untuk SVC, dan 0 bila tidak ada FACTS *devices*. String yang terakhir adalah berkaitan dengan nilai rating (rf). String ini mengandung nilai yang dikodekan dalam bentuk bilangan real (*float encoding*) antara -1 dan 1. Nilai FACTS *device* yang sebenarnya diperoleh setelah melakukan proses *decoding*. (K. Lokanadham, 2010).

- TCVR: bekerja pada range -0,15 Vb sampai 0,15Vb.
- SVC bekerja dengan range -100Mvar sampai 100Mvar. Daya reaktif sebenarnya yang disuplai atau diabsorbsi oleh SVC adalah:

$$r_{svc} = rf \times 100\ (M_{var}) \quad \text{..... (3-1)}$$

3.7.2. Inisialisasi Populasi

Populasi awal dibuat dari parameter berikut:

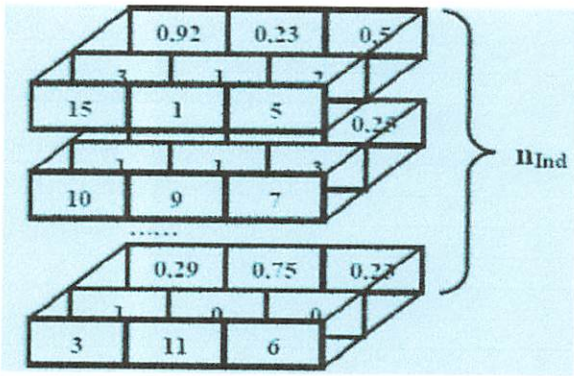
nFACTS : Jumlah FACTS *device* yang ditempatkan,

nType : Jenis-jenis FACTS *devices*

nLocation : Lokasi yang memungkinkan untuk FACTS *devices,*

nInd : Jumlah individu dalam populasi

Nilai string pertama merupakan nilai acak yang dipilih dari lokasi yang memungkinkan untuk menempatkan FACTS *devices*. Nilai yang kedua menyatakan tipe FACTS *devices*, diperoleh dengan mengambil nilai acak dari peralatan yang telah dipilih. Nilai yang ketiga dari string adalah merupakan nilai rating FACTS *devices* yang dipilih secara acak antara -1 sampai 1. (K. Lokanadham, 2010).



Gambar 3.7.
Keseluruhan Individu dalam Populasi

3.7.3. Fitness

Fungsi objektif untuk optimasi penempatan FACTS *devices* diperoleh dengan menggabungkan dua kriteria optimasi. Kriteria yang pertama berkaitan dengan *branch loading* pada saluran sistem kelistrikan yang disebut dengan faktor *overload*, Ovl. Jika arus cabang kurang dari 100% maka nilainya adalah 1, kemudian menurun secara eksponensial. Fungsi yang kedua berkaitan dengan *voltage level* pada setiap bus, VS. Tegangan pada setiap bus diinginkan mendekati 1 pu. Tegangan dalam rentang 0,95 pu sampai 1,05 pu mempunyai nilai fungsi objektif VS adalah 1. Tegangan diluar rentang tersebut menurun secara eksponensial. Jadi fungsi objectif untuk konfigurasi optimal FACTS *devices* adalah: (K. Lokanadham, 2010).

$$J = \prod_{line} Ovl_{line} X \prod_{bus} VS_{bus} \quad \text{..... (3.1)}$$

Jika $0.95 \leq Vi \leq 1.05$

$$VS = \begin{cases} 1 \\ exp\ (\pi|1 - Vi|). \end{cases}$$,Untuk Vi lainya.

Jika $P_{ij} \leq P_{ij}$ Max

$$Ovl = \begin{cases} 1 \\ exp\ \left(\lambda\left|1 - \frac{P_{ij}}{P_{ij}Max}\right|\right). \end{cases}$$ $P_{ij} > P_{ij}$ Max

J = Line limit viloletion

μ dan λ = bilangan positif kecil (dalam laporan skripsi ini, keduanya bernilai 0.1).

3.7.4. Reproduksi

Adalah proses pemilihan individu untuk berpindah menuju generasi baru menurut fitnessnya. Metode seleksi yang digunakan adalah *roulette wheel*.Masing-masing kromoson menempati potongan lingkaran pada roda roulette secara proporsional sesuai dengan nilai fitnessnya. Kromosom yang memiliki nilai fitness yang lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai fitness rendah. Untuk mencegah terjadinya konvergensi pada optimum lokal, maka dilakukan penskalaan fitness, sehingga fitness berada pada [$f_{max} - f_{min}$] sebagai berikut: (K. Lokanadham, 2010).

$$fi = \frac{1}{N}\left(n^{+} - (n^{+} - n^{-})x\frac{i-1}{N-1}\right) \quad \text{..... (3.2)}$$

Dengan:

f i = Nilai fitness individu ke-i

N = Ukuran populasi

$\eta +$ = Nilai fitness maksimum

$\eta -$ = Nilai fitness minimum

3.7.5. Crossover

Tujuan utama kawin silang (crossover) adalah untuk mengatur ulang informasi dari dua individu yang berbeda dan membuat individu baru. Titik *crossover* ditentukan secara random. Gen yang lebih panjang dipertahankan sebagai bagian dari individu baru, sedangkan sisanya dipertukarkan. Peluang *crossover* yang digunakan adalah 0.95. Gambar 3.8. memperlihatkan proses *crossover.* (K. Lokanadham, 2010).

3.7.6. Mutasi

Mutasi digunakan untuk memperkenalkan beberapa penyebaran tiruan dalam populasi sehingga tidak terjadi konvergensi dini. Pada paper ini digunakan n*onuniform mutation,* Jika elemen ke -i dari individu. (K. Lokanadham, 2010).

V=[V1, V2, **Vi** ...Vn yang terpilih untuk melakukan mutasi, maka *offspring* yang dihasilkan adalah V'= [V1, V2, **Vk'** ...Vn], danVk' adalah:

$$\mathbf{Vk}' = \begin{cases} \mathbf{Vk} + \Delta(\mathbf{t}, \mathbf{Uk} - \mathbf{Vk}), \mathbf{jika\ random} = \mathbf{0} \\ \mathbf{Vk} - \Delta(\mathbf{t}, \mathbf{Uk} - \mathbf{Vk}), \mathbf{jika\ random} = \mathbf{1} \end{cases}$$

Dengan:

$$\Delta(t, y) = y(1 - r^{1}(((1 - 1) / T))b \quad (3\text{-}4)$$

uk = nilai maksimum vk

lk = nilai minimum vk

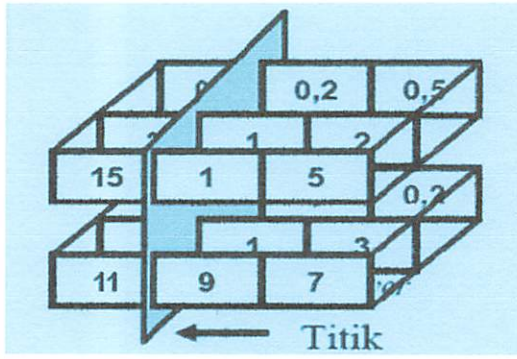
t = generasi

T = maksimum generasi

r = random [0:1]

y = (Uk-Vk) atau (vk-lk).

b = *non-uniformity degree*, pada paper ini, b=2



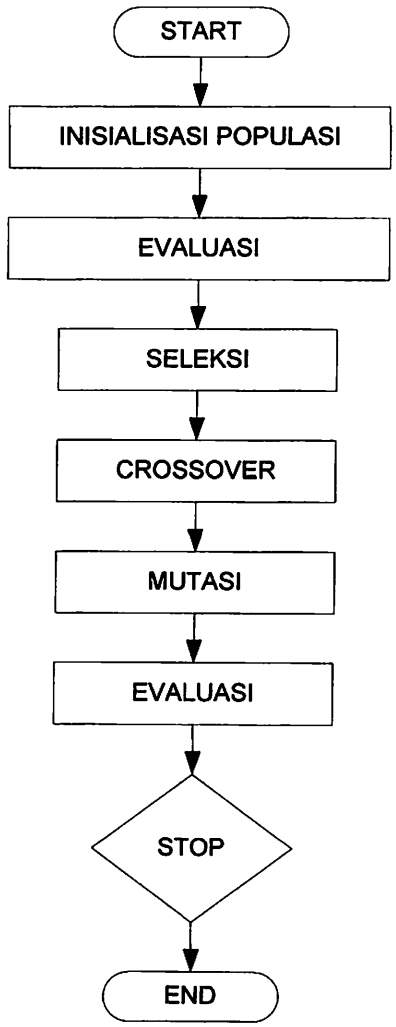
Gambar 3.8.
Crossover

Untuk menjamin agar pada suatu saluran transmisi hanya terdapat satu *device*, maka *updating* populasi dilakukan setelah proses *crossover*. (K. Lokanadham, 2010).

3.8. Perhitungan Aliran Daya

Dalam metode Algoritma Genetika, 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.

Populasi dibentuk dari pembangkitan secara acak dan selanjutnya dipilih melalui prosedur operasi Genetika yang terdiri dari Seleksi, *Crossover*, 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). Secara umum metode Algoritma Genetika dapat dinyatakan melalui blok diagram berikut ini (Gambar 3.9) . (K. Lokanadham, 2010).



Gambar 3.9.
Blok Diagram Metode Algoritma Genetika

Dalam penelitian ini urutan langkah penyelesaian perhitungan dengan menggunakan metode Algoritma Genetika adalah sebagai berikut. (K. Lokanadham, 2010).

3.8.1. Inisisalisasi Populasi.

Kromosom tersusun atas *gen-gen* yang merupakan bilangan komplek yang dibangkitkan secara acak, merepresentasikan besarnya tegangan komplek setiap Bus (Vn= an ± bin, n=1, 2, 3,..., n). (K. Lokanadham, 2010).

3.8.2. Evaluasi Populasi Awal.

Kita menghendaki supaya *_Pn* dan *_Qn* mendekati nol (minimasi), sehingga populasi awal yang terbentuk dievaluasi nilainya menggunakan fungsi *fitness* yang didefinisikan sebagai berikut: (K. Lokanadham, 2010).

$$fitness = \sqrt{(([\sum \Delta P_n)]^2 +)([\sum \Delta Q_n)]^2} \quad \text{n: 1, 2, 3, ..., jumlah_bus} \quad \text{.....(3-3)}$$

3.8.3. Seleksi.

Proses seleksi adalah proses pemilihan kromosom. Proses seleksi menggunakan metode *Roullete Wheel* Kromosom yang memiliki nilai *fitness* besar memiliki probabilitas akumulatif besar pula sehingga mempunyai peluang yang besar untuk terpilih. Pada perhitungan aliran daya, kromosom terpilih adalah yang mempunyai nilai *fitness* kecil karena perhitungan aliran daya berkaitan dengan minimasi. (K. Lokanadham, 2010).

3.8.4. Crossover.

Proses *crossover* menggunakan *arithmetic crossover* yang dikerjakan untuk kondisi bilangan real pada kedua *parent*. Prosedurnya sebagai berikut: (K. Lokanadham, 2010).

- Bangkitkan bilangan random antara 0 dan 1

  - *Offspring*1 = (*parent*1 x random) + (*parent*2 *x* (1-random))

  - *Offspring2*=(*parent*1*x*(1random))+(*parent* 2 *x* random)

3.8.5. Mutasi.

Proses mutasi menggunakan prosedur mutasi dengan arah bebas *(Free Direction Mutation, to mutate chromosome in a free direction)*. Sebagai contoh, *parent v* = [*x1*, *x2*, ..., *xn*], arah mutasi dibangkitkan secara random *d*, sehingga *offspring v'* yang terbentuk ditentukan oleh rumus sebagai berikut: (K. Lokanadham, 2010).

$$v\text{¢} = v + M \,.\, d \quad \text{.....(3-4)}$$

Apabila nilai *offspring* yang terbentuk tidak berada pada *range* yang dikehendaki, maka M secara random sebagai bilangan real dalam (0, M) sedemikian sampai $v + M.d$ berada pada *range* yang dikehendaki. (K. Lokanadham, 2010).

3.8.6. Evaluasi Hasil Mutasi.

Populasi yang dihasilkan dari mutasi dievaluasi kembali untuk menghitung *fitness* dari masing-masing kromosom. (K. Lokanadham, 2010).

3.8.7. Pembentukan Generasi Baru.

Pembentukaan generasi baru dilakukan secara *Steady State* yaitu populasi dibentuk sebanyak MaxKromosom. Populasi yang terbentuk dari evaluasi hasil mutasi digabungkan dengan populasi generasi sebelumnya. Keuntungan metode *Steady State* adalah kromosom-kromosom dengan nilai *fitness* yang lebih kecil dari generasi sebelumnya tidak akan terbuang. Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap generasi baru. Demikian proses ini diulangi terus sampai tercapai kriteria berhenti yang diinginkan, dalam hal ini sampai dengan *setting* generasi maksimum dalam variabel MaxGenerasi. (K.Lokanadham, 2010).

BAB IV
HASIL DAN ANALISIS HASIL

4.1. Sistem Tenaga Listrik 20 KV EDTL Baucau

Sistem Distribusi tenaga listrik EDTL Baucau mengunakan saluran udara tegangan menenggah 20 KV. Untuk menyelesaikan masalah pengaturan tegangan ini terlebih dahulu harus ditetapkan diagaram segaris (*single line*) yang akan dianalisa (single line pada lampiran). (EDTL Baucau, 2010).

Data jaringan tenaga listrik pada sistem distribusi 20 KV EDTL Baucau yang digunakan adalah data pada tahun 2010 bulan Maret. Sistem kelistrikan ini terdiri dari 36 bus dan 35 saluran.

Base yang digunakan pada perhitungan adalah :

a. Base tegangan : 20 kV

b. Base daya : 100 MVA

Data-data sistem tenaga listrik 20 KV EDTL Baucau dipergunakan untuk menghitung aliran daya dengan Newton Raphson dan juga digunakan untuk menentukan lokasi optimal, jenis alat dan setting peralatan FACTS dengan mengunakan metode algoritma genetika (GA). (Emmy Hosea dan Yusak Tanoto, 2004).

4.1.1. Data Pembebanan

Data pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, data pembebanan dapat dilihat dari table berikut: (EDTL Baucau, 2010).

Tabel 4.1.
Data Pembebanan Sistem Distribusi 20 KV Bauacau

NO BUS	KODE TRAFO	LOKASI	PEMBEBANAN		TYPE BUS
			P (KW)	Q (KVAR)	
1			0.0000	0.0000	SLACK
2			0.0000	0.0000	SLACK
3	Bc. 01	Tirilolo Bugati	71.3547	49.9631	LOAD
4	Bc. 02	ES.No.1-Baucau	148.1281	103.7204	LOAD

5	Bc. 03	Correus Baucau	78.4322	54.9188	LOAD
6	Bc.04	Hospital Special I	12.6723	8.8732	LOAD
7	Bc.05	Wailia	76.2303	53.3770	LOAD
8	Bc.06	SAS Special V	42.3059	29.6229	LOAD
9	Bc.07	EP.No.1	123.0841	86.1844	LOAD
10	Bc.08	Caibada Uaimua	81.9676	57.3944	LOAD
11	Bc.09	Teulalae	17.9026	12.5355	LOAD
12	Bc.10	Diwake/Tasi	10.2460	7.1743	LOAD
13	Bc. 11	Tipo Grafia diocese/spc II	37.3107	26.1253	LOAD
14	Bc. 12	Caibada Macasae	30.2185	21.1592	LOAD
15	Bc. 13	Buruma	40.4039	28.2911	LOAD
16	Bc. 14	Prizao	20.6656	14.4702	LOAD
17	Bc. 15	Seisal	19.4958	13.6511	LOAD
18	Bc. 16	K.Baru	34.1177	23.8895	LOAD
19	Bc. 17	Laga Mulia	39.1866	27.4388	LOAD
20	Bc.18	Laga Tekinomata	76.7775	53.7602	LOAD
21	Bc.19	Laga Vila/soba	78.4879	54.9578	LOAD
22	Bc.20	Sama diga	20.1053	14.0779	LOAD
23	Bc. 21	Bela Vista	36.6923	25.6922	LOAD
24	Bc. 22	Wailili	37.8571	26.5078	LOAD
25	Bc. 23	Nunubu	37.8907	26.5314	LOAD
26	Bc. 24	Gariuai	68.5303	47.9854	LOAD
27	Bc. 25	Cairiri	17.3988	12.1828	LOAD
28	Bc. 26	Fatumaca/Colegio	15.0118	10.5114	LOAD
29	Bc. 27	Uaibiana/Ex.745	16.8901	11.8266	LOAD
30	Bc.28	Terminal	79.5429	55.6966	LOAD
31	Bc.29	RSS Baucau	44.6520	31.2657	LOAD
32	Bc.30	EPS.No.3 Baucau	78.8204	55.1907	LOAD
33	Bc.31	Oficina Diocese Spcl III	20.6852	14.4840	LOAD
34	Bc.32	UIR Baucau	39.4373	27.6143	LOAD
35	Bc.33	F-FDTL Special IV	28.1502	19.7110	LOAD
36	Bc.34	Uainiki	46.2035	32.3520	LOAD

4.1.2. Data Saluran

Data saluran diperoleh dengan mengambil data dari sepanjang saluran distribusi 20 kv Baucau, dapat dilihat pada table berikut: (EDTL Baucau, 2010).

Tabel 4.2.
Data Impendansi Saluran Distribusi 20 KV Baucau

SALURAN	DARI NODE	KE NODE	PANJANG (KM)	IMPENDANSI	
				R (Ω)	X (Ω)
1	1	2	0.9	0.19458	0.29745
2	2	3	3.5	0.7567	1.15675
3	2	13	3	0.6486	0.9915

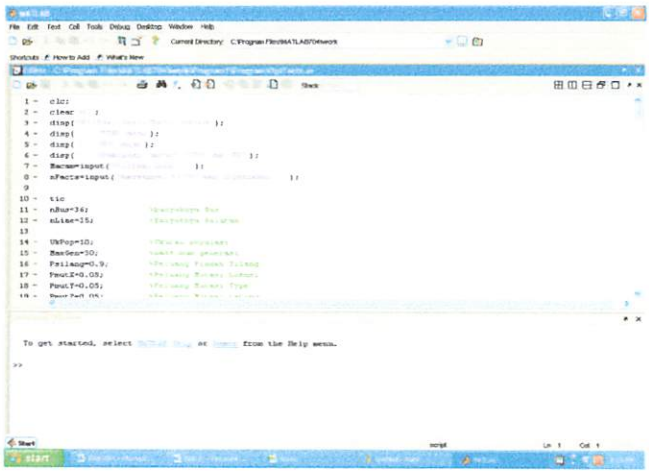
4	2	14	3	0.6486	0.9915
5	2	22	2.8	0.60536	0.9254
6	2	30	2.3	0.49726	0.76015
7	3	4	3.5	0.7567	1.15675
8	4	5	2.5	0.5405	0.82625
9	5	6	2.6	0.56212	0.8593
10	5	7	2.1	0.45402	0.69405
11	7	8	2.2	0.47564	0.7271
12	8	9	4.5	0.9729	1.48725
13	9	10	4.5	0.9729	1.48725
14	9	11	2	0.4324	0.661
15	11	12	4.5	0.9729	1.48725
16	14	15	4.6	0.99452	1.5203
17	14	16	3.5	0.7567	1.15675
18	16	17	2.9	0.62698	0.95845
19	17	18	4.3	0.92966	1.42115
20	18	19	2.3	0.49726	0.76015
21	19	20	1.4	0.30268	0.4627
22	20	21	4	0.8648	1.322
23	22	23	3.2	0.69184	1.0576
24	23	24	3.5	0.7567	1.15675
25	24	25	4.6	0.99452	1.5203
26	24	26	4.9	1.05938	1.61945
27	26	27	2.4	0.51888	0.7932
28	27	28	4.1	0.88642	1.35505
29	27	29	3.2	0.69184	1.0576
30	30	31	3.1	0.67022	1.02455
31	30	32	2.6	0.56212	0.8593
32	32	33	2.2	0.47564	0.7271
33	33	34	2.9	0.62698	0.95845
34	34	35	4.8	1.03776	1.5864
35	34	36	4.2	0.90804	1.3881

4.2. Analisis dan Analisis Hasil

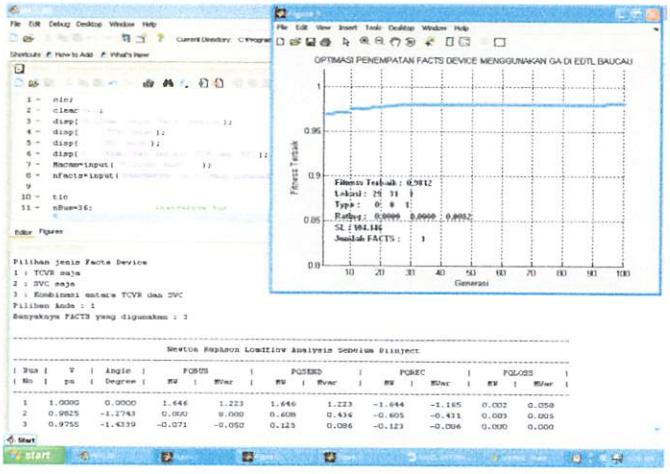
4.2.1. Tampilan Program

Program dalam skripsi ini dijalankan dengan mengunakan bahasa pemograman Borland Delphi versi 7.04 dan diaplikasikan pada computer berprosesor Pentium IV 1700Mz dengan memory 1G.

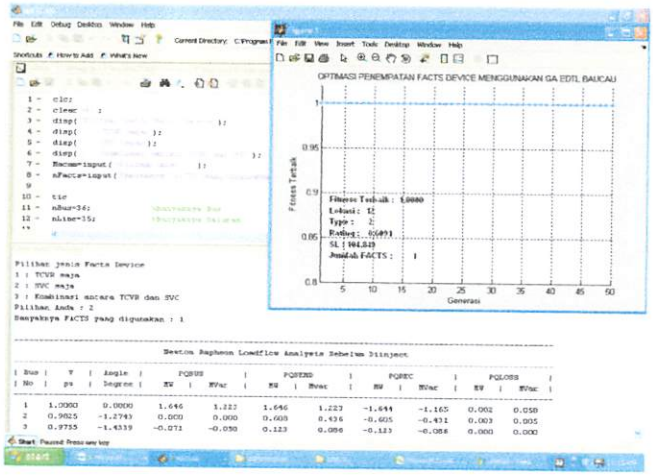
1. Tampilan awal saat menjalankan program



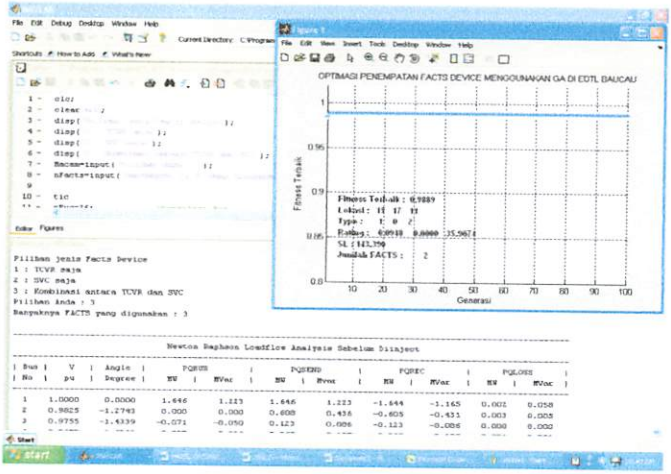
2. Tampilan saat memilih facts device, pada pemilihan TCVR



3. Tampilan saat Memilih Facts Device pada Pemilihan SVC



4. Tampilan saat Memilih Facts Device pada Pemilihan TCVR dan SVC



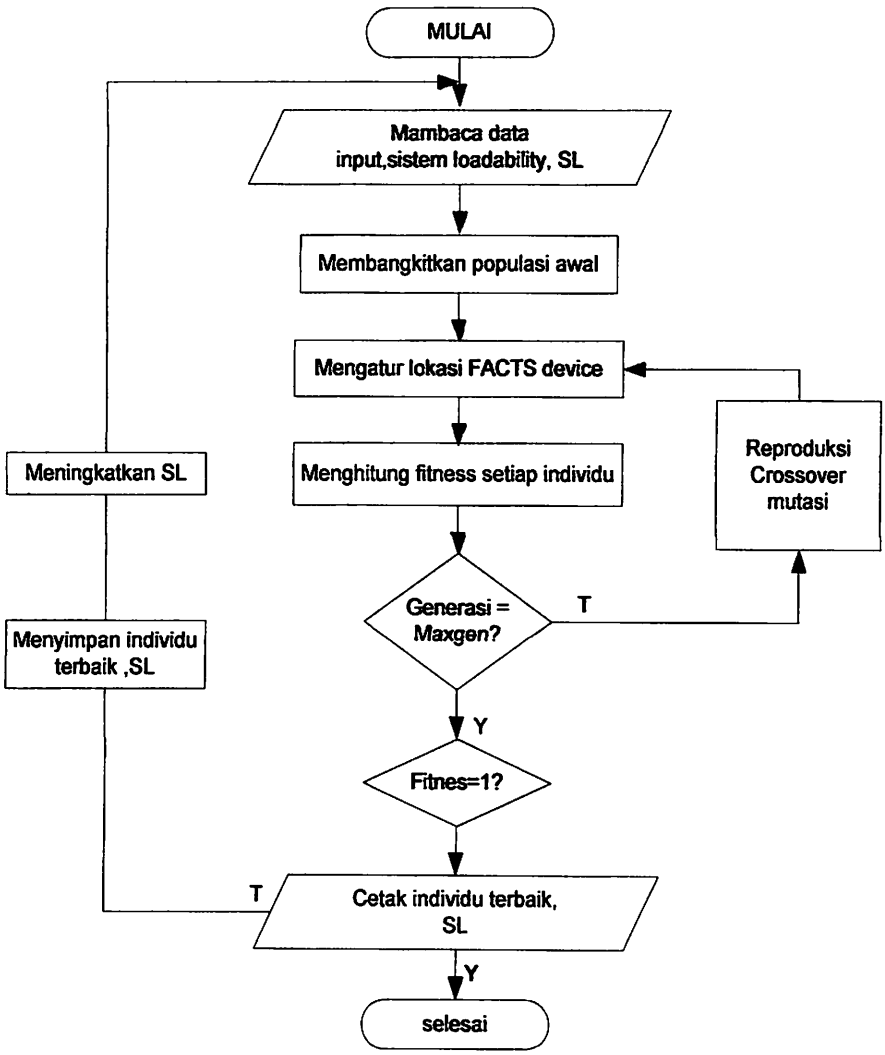
4.2.2. Hasil Optimasi Penempatan Facts Devices

Algoritma genetika dibuat dengan menggunakan *software* Matlab versi 7.04 untuk mencari lokasi optimum dari FACTS *devices* pada sistem kelistrikan Baucau. Sistem kelistrikan Baucau terdiri atas 36 bus 20 KV, serta terdiri dari 35 saluran. (EDTL Baucau, 2010). Ukuran populasi yang digunakan dalam paper ini adalah 30, dan maksimum generasi adalah 50. Peluang *crossover* adalah 0.95. Dalam satu individu, masing-masing string mempunyai peluang mutasi yang bebeda. Optimasi dilakukan dengan menggunakan maksimum 3 devices yang dibagi dalam 2 kasus, *single type device* dan *multi type devices*. (K. Lokanadham, 2010).

- *Single type devices* hanya menggunakan TCVR atau SVC.
- *Multi type devices, yaitu* dengan menempatkan TCVR dan SVC secara simultan pada sistem tenaga

4.2.3. Strategi Optimasi Penempatan Facts Devices

Tujuan optimasi penempatan FACTS devices adalah untuk memaksimumkan suplai daya dari sistem ke beban tanpa melampaui batas tegangan dan arus pada sistem. Untuk maksud tersebut, dari sejumlah tipe *FACTS devices* yang telah ditentukan, dicari lokasi dan rating yang paling tepat. Iterasi dimulai dengan loadability sistem, SL=1 dari beban awal. GA melakukan proses optimasi secara berulang jika nilai fitnessnya adalah 1, dengan pertambahan SL sebesar 0.05. Rugi daya akibat peningkatan distribusi daya, dibagi secara proporsional kepada seluruh generator dalam sistem. (K. Lokanadham, 2010).



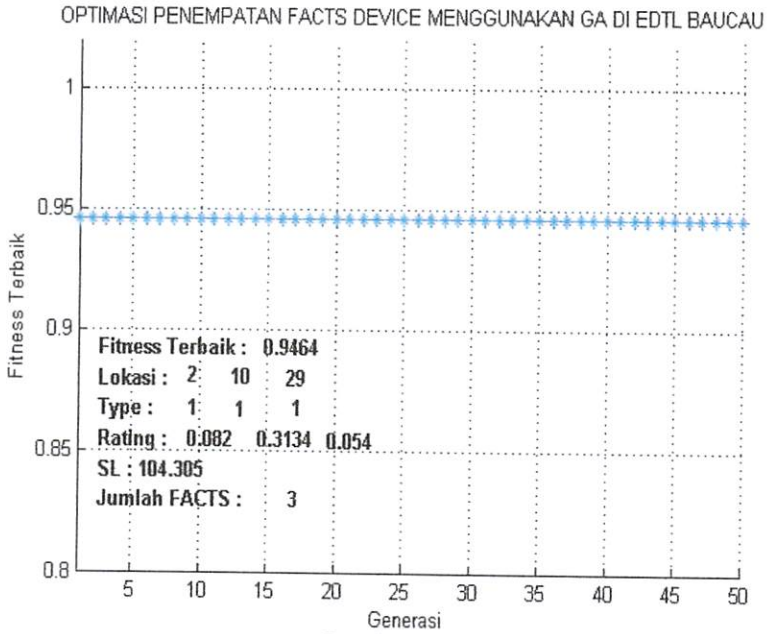
Gambar 4.1.
Flowchart Strategi Optimasi Penempatan Facts Devices

4.2.3.1. Single Type Devices

Untuk optimasi *single type*, dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan hanya menggunakan TCVR saja, dan yang kedua hanya menggunakan SVC saja.

1. Menggunakan TCVR

Dibawah ini adalah gambar slot optimasi dengan penempatan tiga buah TCVR pada jaringan distribusi 20 KV Baucau. Gambar 4.2. menunjukan bahwa tiga buah TCVR diinjeksikan pada Bus 2, Bus 10 dan Bus 29.



Gambar 4.2.
Hasil Optimasi Penempatan Tiga Buah TCVR

Setelah mendapatkan lokasi penempatan TCVR yang optimal, maka diketahui hasil perhitungan pembebanan pada sistem distribusi 20 KV Baucau. Berikut ini tabel hasil perbandingan pembebanan pada saat sebelum pemasangan TCVR dan sesudah pemasangan TCVR.

Tabel 4.3.
Hasil Perhitungan Pembebanan Sebelum dan Sesudah Mengunakan TCVR

SALURAN		SEBELUM PEMBEBEANAN		SESUDAH PEMBEBANAN	
DARI	KE	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	2	-1.6440	-1.1650	1.969	-0.081
2	3	-0.6050	-0.4310	-0.605	-0.431
2	13	-0.1230	-0.0860	-0.123	-0.086
2	14	-0.2650	-0.1860	-0.256	-0.186
2	22	-0.3700	-0.2600	-0.37	-0.26
2	30	-0.2750	-0.1930	-0.275	-0.193
3	4	-0.5310	-0.3760	-0.53	-0.376
4	5	-0.4910	-0.3470	-0.491	-0.347
5	6	-0.0200	-0.0140	-0.02	-0.014
5	7	-0.4390	-0.3090	-0.439	-0.309
7	8	-0.3580	-0.2520	-0.358	-0.252
8	9	-0.2100	-0.1470	-0.21	-0.147
9	10	-0.0130	-0.0090	-0.013	-0.009
9	11	-0.1190	-0.0830	-0.119	-0.083

11	12	-0.0420	-0.0300	-0.042	-0.03
14	15	-0.0180	-0.0130	-0.018	-0.013
14	16	-0.1650	-0.1160	-0.165	-0.116
16	17	-0.1540	-0.1080	-0.154	-0.108
17	18	-0.1140	-0.0800	-0.114	-0.08
18	19	-0.0930	-0.0650	-0.093	-0.065
19	20	-0.0730	-0.0510	-0.073	-0.051
20	21	-0.0390	-0.0270	-0.039	-0.027
22	23	-0.2930	-0.2050	-0.293	-0.205
23	24	-0.2140	-0.1500	-0.214	-0.15
24	25	-0.0380	-0.0270	-0.038	-0.027
24	26	-0.1390	-0.0970	-0.139	-0.097
26	27	-0.1010	-0.0710	-0.101	-0.071
27	28	-0.0170	-0.0120	-0.017	-0.012
27	29	-0.0150	-0.0110	-0.015	-0.011
30	31	-0.0450	-0.0310	-0.045	-0.031
30	32	-0.2130	-0.1500	-0.213	-0.15
32	33	-0.1350	-0.0940	-0.135	-0.094
33	34	-0.1140	-0.0800	-0.114	-0.08
34	35	-0.0280	-0.0200	-0.028	-0.02
34	36	-0.0460	-0.0320	-0.046	-0.032

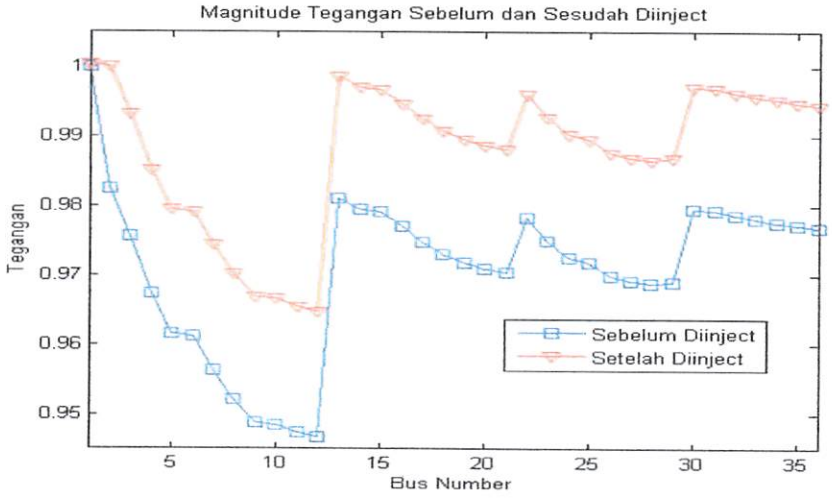
Berikut ini tabel hasil perbandingan tegangan pada saat sebelum pemasangan TCVR dan sesudah pemasangan TCVR.

Tabel 4.4.
Hasil Perhitungan Tegangan Sebelum dan Sesudah Mengunakan TCVR

SEBELUM		SESUDAH	
NO BUS	TEGANGAN (PU)	NO BUS	TEGANGAN (PU)
1	1.0000	1	1.0004
2	0.9825	2	1.0001
3	0.9755	3	0.9932
4	0.9673	4	0.9851
5	0.9615	5	0.9794
6	0.9612	6	0.9791
7	0.9564	7	0.9744
8	0.9522	8	0.9703
9	0.9487	9	0.9668
10	0.9485	10	0.9666
11	0.9403	11	0.9655
12	0.9400	12	0.9648
13	0.9811	13	0.9987
14	0.9795	14	0.9971
15	0.9792	15	0.9968
16	0.977	16	0.9946

17	0.9747	17	0.9924
18	0.973	18	0.9907
19	0.9717	19	0.9895
20	0.9709	20	0.9886
21	0.9703	21	0.988
22	0.9783	22	0.9959
23	0.9749	23	0.9926
24	0.9725	24	0.9902
25	0.9718	25	0.9895
26	0.9698	26	0.9876
27	0.9691	27	0.9868
28	0.9688	28	0.9866
29	0.969	29	0.9868
30	0.9794	30	0.997
31	0.9792	31	0.9968
32	0.9786	32	0.9962
33	0.9781	33	0.9957
34	0.9776	34	0.9952
35	0.9771	35	0.9947
36	0.9768	36	0.9944

Pada gambar 4.3. dibawah ini menunjukan Grafik tegangan sistem Distribusi 20 KV Baucau pada saat sebelum pemasangan TCVR dan sesudah pemasangan TCVR.



Gambar 4.3.
Tegangan Sistem pada Saat Mengunakan TCVR

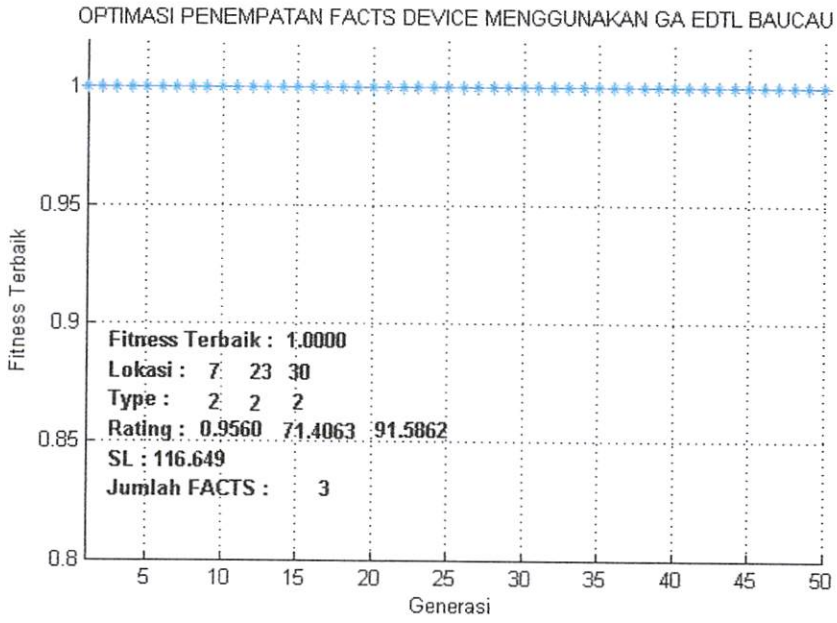
Dari hasil optimasi GA pada single type device dengan mengunakan TCVR, terlihat bahwa tiga buah TCVR diinjeksikan dalam jaringan ditribusi 20 kV Baucau pada lokasi:

- Pada saluran 2 (bus 2 - 20KV) ditempatkan TCVR dengan rating 0.082 pu.
- Pada saluran 6 (bus 10 - 20KV) ditempatkan TCVR dengan rating 0.3134 pu.
- Pada saluran 2 (bus 29 - 20KV) ditempatkan TCVR dengan rating 0.054 pu.

Mampu meningkatkan *loadability* sistem distribusi 20 KV Baucau sebesar 104,305%. (gambar 4.2) Dan meningkatan tegangan pada Bus 9, Bus 10, Bus 11 dan Bus 12 (tabel 4.4) dan mampu meningkatkan tegangan sistem distribusi 20 KV Baucau (gambar 4.3).

2. Menggunakan SVC

Dibawah ini adalah gambar slot optimasi lokasi penempatan tiga buah SVC pada jaringan distribusi 20 KV Baucau. Gambar 4.4 menunjukan bahwa tiga buah TCVR *diinjeksikan pada Bus 7, Bus 23 dan Bus 30.*



Gambar 4.4.
Hasil Optimasi Penempatan Tiga Buah SVC

Setelah didapatkan tempat penempatan SVC yang optimal, maka diketahui hasil perhitungan pembebanan pada sistem distribusi 20 KV Baucau. Berikut ini tabel hasil perbandingan pembebanan pada saat sebelum pemasangan SVC dan sesudah pemasangan SVC.

Tabel 4.5.
Hasil Perhitungan Pembebanan Sebelum dan Sesudah Mengunakan SVC

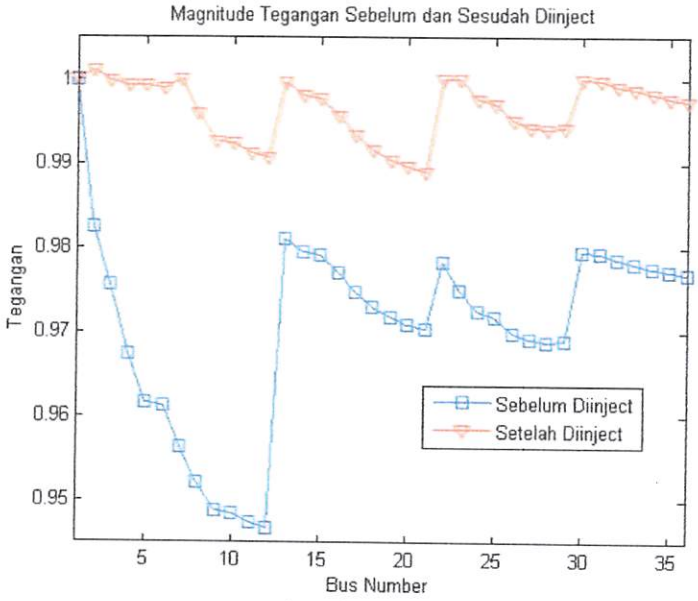
SALURAN		SEBELUM PEMBEBEANAN		SESUDAH PEMBEBANAN	
DARI	KE	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	2	-1.6440	-1.1650	-1.642	0.16
2	3	-0.6050	-0.4310	-0.604	0.249
2	13	-0.1230	-0.0860	-0.123	-0.086
2	14	-0.2650	-0.1860	-0.265	-0.186
2	22	-0.3700	-0.2600	-0.37	0.13
2	30	-0.2750	-0.1930	-0.275	0.06
3	4	-0.5310	-0.3760	-0.53	0.303
4	5	-0.4910	-0.3470	-0.491	0.332
5	6	-0.0200	-0.0140	-0.02	-0.014
5	7	-0.4390	-0.3090	-0.439	0.37
7	8	-0.3580	-0.2520	-0.358	-0.251
8	9	-0.2100	-0.1470	-0.2100	-0.1470
9	10	-0.0130	-0.0090	-0.0130	-0.0090
9	11	-0.1190	-0.0830	-0.1190	-0.0830
11	12	-0.0420	-0.0300	-0.0420	-0.0300
14	15	-0.0180	-0.0130	-0.0180	-0.0130
14	16	-0.1650	-0.1160	-0.1650	-0.1160
16	17	-0.1540	-0.1080	-0.1540	-0.1080
17	18	-0.1140	-0.0800	-0.1140	-0.0800
18	19	-0.0930	-0.0650	-0.0930	-0.0650
19	20	-0.0730	-0.0510	-0.0730	-0.0510
20	21	-0.0390	-0.0270	-0.0390	-0.0270
22	23	-0.2930	-0.2050	-0.2930	0.1850
23	24	-0.2140	-0.1500	-0.2140	-0.1500
24	25	-0.0380	-0.0270	-0.0380	-0.0270
24	26	-0.1390	-0.0970	-0.1390	-0.0970
26	27	-0.1010	-0.0710	-0.1010	-0.0710
27	28	-0.0170	-0.0120	-0.0170	-0.0120
27	29	-0.0150	-0.0110	-0.0150	-0.0110
30	31	-0.0450	-0.0310	-0.0450	-0.0310
30	32	-0.2130	-0.1500	-0.2130	-0.1500
32	33	-0.1350	-0.0940	-0.1350	-0.0940
33	34	-0.1140	-0.0800	-0.1140	-0.0800
34	35	-0.0280	-0.0200	-0.0280	-0.0200
34	36	-0.0460	-0.0320	-0.0460	-0.0320

Berikut ini tabel hasil perbandingan tegangan pada saat sebelum pemasangan SVC dan sesudah pemasangan SVC.

Tabel 4.6.
Hasil Perhitungan Tegangan Sebelum dan Sesudah Mengunakan SVC

SEBELUM		SESUDAH	
NO BUS	TEGANGAN (PU)	NO BUS	TEGANGAN (PU)
1	1.0000	1	1.0000
2	0.9825	2	0.9901
3	0.9755	3	0.9890
4	0.9673	4	0.9886
5	0.9615	5	0.9887
6	0.9612	6	0.9884
7	0.9564	7	0.9895
8	0.9522	8	0.9911
9	0.9487	9	0.9957
10	0.9485	10	0.9955
11	0.9403	11	1.0000
12	0.9400	12	0.9989
13	0.9811	13	0.9887
14	0.9795	14	0.9871
15	0.9792	15	0.9868
16	0.977	16	0.9846
17	0.9747	17	0.9824
18	0.973	18	0.9806
19	0.9717	19	0.9794
20	0.9709	20	0.9786
21	0.9703	21	0.9780
22	0.9783	22	0.9859
23	0.9749	23	0.9826
24	0.9725	24	0.9801
25	0.9718	25	0.9795
26	0.9698	26	0.9775
27	0.9691	27	0.9768
28	0.9688	28	0.9765
29	0.969	29	0.9767
30	0.9794	30	0.9870
31	0.9792	31	0.9868
32	0.9786	32	0.9862
33	0.9781	33	0.9857
34	0.9776	34	0.9852
35	0.9771	35	0.9847
36	0.9768	36	0.9844

Pada gambar 4.5 dibawah ini menunjukan Grafik tegangan sistem Distribusi 20 KV Baucau pada saat sebelum pemasangan SVC dan sesudah pemasangan SVC.



Gambar 4.5.
Tegangan Sistem pada saat Mengunakan SVC

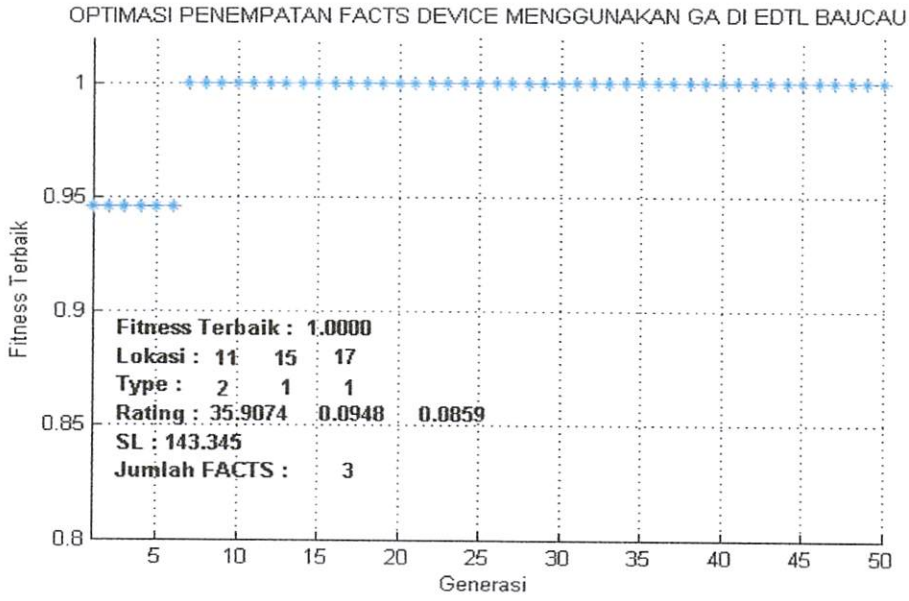
Dari hasil optimasi GA pada single type device dengan mengunakan SVC, terlihat bahwa tiga buah SVC, diinjeksikan dalam jaringan distribusi 20 KV Baucau pada lokasi:

- Pada saluran 7 (bus 11 - 20 KV) ditempatkan SVC dengan Rating 0.9560 Pu.
- Pada saluran 23 (bus 23 – 20KV) ditempatkan SVC dengan rating 91.5862 pu.
- Pada saluran 30 (bus 30 – 20KV) ditempatkan SVC dengan rating 71.4063 pu.

Mampu meningkatkan *loadability* sistem distribusi 20 KV Baucau sebesar 116.649% (Gambar 4.4.) Dan meningkatan tegangan pada bus 9, Bus 10, Bus 11 dan Bus 12 (tabel 4.6) dan mampu meningkatkan tegangan sistem distribusi 20 KV Baucau (gambar 4.5).

4.2.3.2. Multi Type Devices

Dibawah ini adalah gambar slot optimasi lokasi penempatan TCVR dan SVC secara simultan (bersama) pada jaringan distribusi 20 KV Baucau. Gambar 4-6 menunjukan bahwa satu buah SVC dan dua buah TCVR diinjeksikan pada Bus 11, Bus 15 dan Bus 17.



Gambar 4.6.
Hasil Optimasi Penempatan 3 buah TCVR dan 1 buah TCVR

Setelah didapatkan lokasi penempatan TCVR dan SVC yang optimal, maka diketahui hasil perhitungan pembebanan pada sistem distribusi 20 KV Baucau. Berikut ini tabel hasil perbandingan pembebanan pada saat sebelum pemasangan TCVR dan SVC dan sesudah pemasangan TCVR dan SVC.

Tabel 4.7.
Hasil Perhitungan Pembebanan Sebelum dan Sesudah Mmengunakan SVC dan TCVR Secara Bersamaan.

SALURAN		SEBELUM PEMBEBEANAN		SESUDAH PEMBEBANAN	
DARI	KE	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	2	-1.6440	-1.1650	-1.371	-0.644
2	3	-0.6050	-0.4310	-0.334	0.086
2	13	-0.1230	-0.0860	-0.123	-0.086
2	14	-0.2650	-0.1860	-0.265	-0.186
2	22	-0.3700	-0.2600	-0.370	-0.260
2	30	-0.2750	-0.1930	-0.275	-0.193
3	4	-0.5310	-0.3760	-0.262	0.137
4	5	-0.4910	-0.3470	-0.225	0.164
5	6	-0.0200	-0.0140	-0.020	-0.014
5	7	-0.4390	-0.3090	-0.174	0.199
7	8	-0.3580	-0.2520	-0.094	0.256
8	9	-0.2100	-0.1470	0.055	0.361
9	10	-0.0130	-0.0090	-0.013	-0.009
9	11	-0.1190	-0.0830	0.147	0.426

11	12	-0.0420	-0.0300	0.005	-0.094
14	15	-0.0180	-0.0130	-0.018	-0.013
14	16	-0.1650	-0.1160	-0.165	-0.116
16	17	-0.1540	-0.1080	-0.154	-0.108
17	18	-0.1140	-0.0800	-0.114	-0.080
18	19	-0.0930	-0.0650	-0.093	-0.065
19	20	-0.0730	-0.0510	-0.073	-0.051
20	21	-0.0390	-0.0270	-0.039	-0.027
22	23	-0.2930	-0.2050	-0.293	-0.205
23	24	-0.2140	-0.1500	-0.214	-0.150
24	25	-0.0380	-0.0270	-0.038	-0.027
24	26	-0.1390	-0.0970	-0.139	-0.097
26	27	-0.1010	-0.0710	-0.101	-0.071
27	28	-0.0170	-0.0120	-0.017	-0.012
27	29	-0.0150	-0.0110	-0.015	-0.011
30	31	-0.0450	-0.0310	-0.045	-0.031
30	32	-0.2130	-0.1500	-0.213	-0.150
32	33	-0.1350	-0.0940	-0.135	-0.094
33	34	-0.1140	-0.0800	-0.114	-0.080
34	35	-0.0280	-0.0200	-0.028	-0.020
34	36	-0.0460	-0.0320	-0.046	-0.032

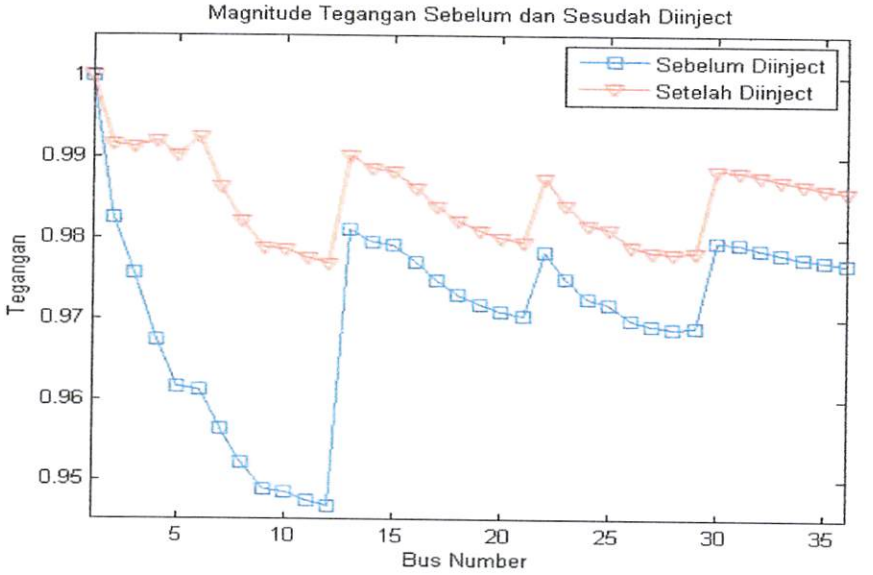
Berikut ini tabel hasil perbandingan tegangan pada saat sebelum pemasangan TCVR dan SVC secara bersama dan sesudah pemasangan TCVR dan SVC secara bersama.

Tabel 4.8.
Hasil Perhitungan Tegangan Sebelum dan Sesudah Mengunakan SVC dan TCVR secara bersama.

SEBELUM		SESUDAH	
NO BUS	TEGANGAN (PU)	NO BUS	TEGANGAN (PU)
1	1.0000	1	1.0004
2	0.9825	2	1.0001
3	0.9755	3	0.9932
4	0.9673	4	0.9851
5	0.9615	5	0.9794
6	0.9612	6	0.9791
7	0.9564	7	0.9744
8	0.9522	8	0.9703
9	0.9487	9	0.9768
10	0.9485	10	0.9766
11	0.9403	11	0.9699
12	0.9400	12	0.9848
13	0.9811	13	0.9987
14	0.9795	14	0.9971
15	0.9792	15	0.9968
16	0.977	16	0.9946

17	0.9747	17	0.9924
18	0.973	18	0.9907
19	0.9717	19	0.9895
20	0.9709	20	0.9886
21	0.9703	21	0.988
22	0.9783	22	0.9959
23	0.9749	23	0.9926
24	0.9725	24	0.9902
25	0.9718	25	0.9895
26	0.9698	26	0.9876
27	0.9691	27	0.9868
28	0.9688	28	0.9866
29	0.969	29	0.9868
30	0.9794	30	0.9970
31	0.9792	31	0.9968
32	0.9786	32	0.9962
33	0.9781	33	0.9957
34	0.9776	34	0.9952
35	0.9771	35	0.9947
36	0.9768	36	0.9944

Pada gambar 4.7. dibawah ini menunjukan Grafik tegangan sistem Distribusi 20 KV Baucau, pada saat sebelum pemasangan TCVR dan SVC dan sesudah pemasangan TCVR dan SVC.



Gambar 4.7.
Tegangan Sistem pada saat Mengunakan SVC dan TCVR Secara Bersama.

Dari hasil optimasi GA pada Multi type device dengan mengunakan SVC dan TCVR secara bersamaan terlihat bahwa dua buah TCVR dan satu SVC, diinjeksikan dalam jaringan ditribusi 20 KV Baucau pada lokasi:

- Pada saluran 9 (bus 11 – 20 kV) ditempatkan SVC dengan rating 35.9074pu.
- Pada bus 14 (bus 15 – 20KV) ditempatkan TCVR dengan rating 0.0948Pu
- Pada saluran 16 (bus 17 – 20 KV) ditempatkan TCVR dengan rating 0.0859Pu

Mampu meningkatkan *loadability* sistem distribusi 20 KV Baucau sebesar 143.345%, seperti (gambar 4.6) dan meningkatkan tegangan pada bus 9, bus 10, bus 11 dan bus 12 (tabel 4.8) dan mampu meningkatkan tegangan sistem distribusi 20 KV Baucau (gambar 4.7).

4.2.4. Hasil Analisis

Berdasarkan hasil optimasi penempatan FACTS DEVICES dengan program Matlab v 7.04 dengan mengunakan metode GA, maka didapat:

1. Pada *single type device,* dengan mengunakan tiga buah TCVR, pada lokasi bus 2 dengan rating 0.082pu, Bus 10 dengan rating 0.3134pu dan bus 29 dengan rating 0.054pu mampu meningkatkan loadability sistem sebesar 104,305%. Dan mampu meningkatkan tegangan pada Bus 9 dari 0.9487pu menjadi 0.9698pu, Bus 10 dari 0.9485pu menjadi 0.9666pu, Bus 11 dari 0.9403pu menjadi 0.9655pu, Bus 12 dari 0.9400pu menjadi 0.9648pu (Tabel 4.4), dan mampu meningkatkan kualitas tegangan sistem distribusi 20 KV Baucau (Gambar 4.3).

2. Pada *single type device,* dengan mengunakan tiga buah SVC, pada lokasi bus 7 dengan rating 0.9560pu, Bus 23 dengan rating 71.4063pu dan Bus 30 dengan rating 91.5862pu mampu meningkatkan loadability sistem sebesar 116.649%. Dan mampu meningkatkan tegangan pada bus 9 dari 0.9487 pu menjadi 0.9957pu, Bus 10 dari 0.9485 pu menjadi 0.9955 pu, Bus 11 dari 0.9403pu menjadi 1.000pu, Bus 12 dari 0.9400pu menjadi 0.9989pu (Tabel 4.6), dan mampu meningkatkan kualitas tegangan sistem distribusi 20 KV Baucau secara segnifikan (Gambar 4.4).

3. Pada *multi type device*, dengan mengunakan satu buah SVC pada lokasi Bus 11 dengan rating 35.9074pu, dan dua buah TCVR pada Bus 15 dengan rating 0.0948pu dan Bus 17 dengan rating 0.0859pu mampu meningkatkan loadability sistem sebesar 143.345%. Dan mampu meningkatkan tegangan pada Bus 9 dari 0.9487 pu menjadi 0,9768pu, Bus 10 dari 0.9485 pu menjadi 0.9766pu, Bus 11 dari 0.9403pu menjadi 0.9699pu, Bus 12 dari 0.9400pu menjadi 0.9848pu (Tabel 4.8), dan mampu meningkatkan kualitas tegangan sistem distribusi 20 KV Baucau (4.5).

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan dan Saran

5.1.1. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dan analisis hasil maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemasangan SVC single type device pada jaringan distribusi 20 KV Baucau lebih efektif dan efisien dalam meningkatkan kualitas tegangan sistem dibandingkan dengan mengunakan TCVR single type dan kombinasi antara TCVR dan SVC, dapat dilihat pada gambar grafik perbandingan tegangan (gambar 4.3, gambar 4.5, gambar 4.7) dan tabel perbandingan tegangan (tabel 4.4, tabel 4.6, tabel 4.8).
2. Mengunakan SVC mampu meningkatkan tegangan pada bus 9 dari 0.9487pu menjadi 0.9957pu, Bus 10 dari 0.9485pu menjadi 0.9955pu, Bus 11 dari 0.9403pu menjadi 1.000pu, Bus 12 dari 0.9400pu menjadi 0.9989pu (Tabel 4.6),
3. Dengan mengunakan SVC pada jaringan distribusi tenaga listrik Baucau, terjadi perubahan tegangan yang segnifikan sehingga kualitas tegangan sistem distribusi 20 KV Baucau mengalami peningkatan, sehingga profil tegangan sistem berada dalam kondisi yang diijinkan.

5.1.2. Saran

Sesuai dengan analisa dan analisis hasil, membuktikan bahwa, dengan mengunakan SVC lebih efektif dan efisien dalam meningkatkan kualitas tegangan pada sistem distribusi 20 KV Baucau, Karena secara teknis SVC single type device memiliki performansi yang bagus dan sangat efektif dalam meningkatkan kualitas tegangan sistem.Maka disarankan pada EDTL Baucau agar dapat mengunakan SVC dalam meningkatkan kualitas tegangan sistem, dan SVC mampu menjaga profil tegangan sistem tetap berada dalam keadaan steady state.

DAFTAR PUSTAKA

ACEE Nov 2009, *"Voltage Profile Improvement using Static Var Compensator (SVC) And Thyristor Controlled Voltage Regulator (TCVR)"* ,ACEEE, Vol 2, No.07.

Amer AL-Hinai, 2000 *"Voltage Collapse Prediction for Interconnected Power System"*, Morgantown West Virginia, 2000.

E. Vidyasagar, N. Ramu and A. Prasad Raju, march 2008 *"Co-Ordination of SVC and on Load Tap Changing Transformer for Reactive Power Control in Power Systems"* IMECS No. II , 19-21, Hong Kong.

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.

Hadi Saadat, 1999*"Power System Analysis"*, McGRAW-Hill International Editions, Milwaukee School of Engineering, 1999.

K. Lokanadham, April 2010 *"Optimal Location of FACTS Devices In Power System by Genetic Algorithm"* Global Journal of Researches in Engineering Vol. 10 Issue 1 (Ver 1.0).

L.J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtis, 2004 *" Optimal Choice and Allocation of FACTS Devices in Deregulated Electricity Market using Genetic Algirithm"*, IEEE Trans. Power System, 0-7803-8718-X.

Lomi Abraham, Prof,Dr.Eng,MSEE, 2008, *"Kualitas Daya"*.Hand Out mata kuliah KDE.ITN Malang

Mohd Wazir Mustafa and Wong Yan Chiew, 2008 *"Optimal Placement of Static VAR Compensator Using Genetic Algorithm"*, Elektrika, Vol.10, No.01, pp. 26-31.

Marsudi Djiteng Ir, juni 1992 *"Operasi sistem tenaga elektrik"* diterbitkan oleh balai penerbit *dan* humas ISTN, Jakarta.

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.

Rosa, John (Penn Hills, PA) sept 1980 " *Thyristor tap changer for electrical inductive apparatus"*, United States Westinghouse Electric Corporation (Pittsburgh, PA) No. 4220911.

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.

Ramon Zamora, Syahrizal dan Dede Mairizal, 2004 " *Optimasi Kompensasi Daya Reaktif Dengan Metode Fast Decoupled*", Jurnal Rekayasa Elektrika, Volume 3, No.2.

Sumber, Electricidade De Timor Leste (EDTL), District Baucau Power station, maret 2010.

LAMPIRAN

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG
Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama	: Antonio Helder Ismenio Da Costa Amaral
NIM	: 04.12.022
Jurusan	: Teknik Elektro S-1
Konsentrasi	: Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan	: 05 Desember 2010 s/d 05 Juni 2011.
Judul Skripsi	: ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM

Penguji/Tanggal	Uraian	Paraf
	Penulisan ikut aturan buku silabus terbaru	
	Latar Belakang dan daftar pustaka, daftar pustaka ikut aturan baru	
	Gambar dan tabel disempurnakan	
	Tabel dan Gambar diberi penjelasan dan pembahasan	

Dosen Penguji,

Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Bambang Prio Hartono, ST, MT	**Ir. Choirul Saleh, MT**
NIP.Y.1028400082	**NIP.Y.1018800190**

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. M. Abdul Hamid, MT	**Ir. Eko Nurcahyo**
NIP.Y. 1018800361	**NIP.Y.1028700172**

INTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

FORMULIR PENDAFTARAN UJIAN SKRIPSI

Nama	:	Antonio Helder I.D.C. Amaral
NIM	:	04.12.022
Fakultas	:	Teknologi Industri
Jurusan / Konsentrasi	:	T. Elektro S-1/T. Energi Listrik
Alamat di Malang	:	Jl. Kembang Turi Gg.II No.8, Malang Jawa Timur
Masa Penulisan Skripsi	:	
Dosen Pembimbing I	:	Ir. M. Abdul Hamid, MT
Dosen Pembimbing II		Ir. Eko Nurcahyo
Judul Skripsi	:	**ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM**

Persyaratan yang harus dipenuhi :

No	Persyaratan	Paraf*)
1	Telah mengumpulkan 140 Sks dengan IPK ≥ 2	
2	Tidak ada nilai E	
3	Telah menyelesaikan / mengumpulkan Laporan Praktek Kerja	
4	Telah menempuh semua praktikum yang disyaratkan Jurusan	
5	Menyerahkan Kartu Seminar	
6	Mengumpulkan foto copy buku Skripsi siap jilid yang telah ditandatangani Dosen pembimbing rangkap 3 (Tiga) Eksemplar	
7	Telah melunasi persyaratan administrasi (kuitansi warna kuning)	

Mengetahui
Sekretaris Jurusan
T. Elektro S-1

(Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT)
NIP. Y. 1030800417

Malang, Februari 2011

Mahasiswa ybs

(Antonio H.I.D.C. Amaral)

Catatan :
*)diparaf Sekretaris Jurusan

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

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

MA : ANTONIO HELDER ISMINIO DA COSTA AMARAL
M : 04.12.022
SA BIMBINGAN : 05 JUNI 2010 - 05 DESEMBER 2010
DUL SKRIPSI : **ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN SVC DAN TCVR UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI BAUCAU MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM**

O	TANGGAL	URAIAN	PARAF PEMBIMBING
	10/07/2010	BAB I PENDAHULUAN: Rumusan masalah, Tujuan penulisan, BATASAN masalah, Metode penelitian.	
	20/07/2010	BAB II - TEORI DASAR. Penambahan REFERENSI, Operasi sistem tenaga, peralatan yang digunakan, Gambar dan tabel.	
	3/08/2010	BAB III. DATA EDTL BAUCAU DAN STUDI OPTIMASI PENEMPATAN FACTS DEVICE PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20KV BAUCAU. Data peralatan, GA dlm optimasi, Nambah Ref.	
	15/08/2010	~~HASIL~~ BAB IV. HASIL DAN ANALISIS HASIL Hasil analisis dlm Tabel, Gambar hasil optimasi Analisis, Pembahasan.	
	25/10/2010	BAB V. KESIMPULAN. Kesimpulan dan saran di pesjelas dan singkat.	

Malang, April 2010
Pembimbing I

Ir. M. Abdul Hamid, MT
Nip.Y.1018800361

Form S-4 B

ISTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JRUSAN TEKNIK ELEKTRO S1

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

A : ANTONIO HELDER I.D.C. AMARAL
: 04.12.022
A BIMBINGAN : 05 DESEMBER 2010 – 05 JUNI 2011
JL SKRIPSI : **ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM**

	TANGGAL	URAIAN	PARAF PEMBIMBING
	10/01/2011	Selesai Revisi Semua BAB; BAB I, BAB II, BAB III BAB IV, BAB V.	

Malang, 1 Februari 2011
Pembimbing

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP:Y.1018800361

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

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

: ANTONIO HELDER ISMINIO DA COSTA AMARAL
: 04.12.022
BIMBINGAN : 05 JUNI 2010 - 05 DESEMBER 2010
SKRIPSI : **ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN SVC DAN TCVR UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI BAUCAU MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM**

TANGGAL	URAIAN	PARAF PEMBIMBING
16/07/2010	BAB I. PENDAHULUAN Rumusan masalah, Tujuan penulisan, Batasan masalah.	
20/07/2010	BAB II. TEORI DASAR. Referensi diperbanyak, Peralatan yg digunakan Gambar dan Tabel.	
3/08/2010	BAB III. DATA EDTL BAUCAU DAN STUDI OPTIMASI PENEMPATAN FACTS-DEVICE PADA SISTEM DISTRIBUSI 20kV BAUCAU. DATA sesuaikan, dihitung dan BA diperjelas.	
15/08/2010	BAB IV. HASIL DAN ANALISIS. programnya di Benarkan, Spesifikasi FACTS.	
20/10/2010	BAB V. KESIMPULAN Kesimpulan dan Saran diperjelas dan diperingkat.	

Malang, 2010
Pembimbing II

Ir. Eko Nurcahyo
Nip.Y.1028700172

Form S-4 B

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S1

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

MA : ANTONIO HELDER I.D.C. AMARAL
I : 04.12.022
SA BIMBINGAN : 05 DESEMBER 2010 – 05 JUNI 2011
UL SKRIPSI : **ANALISA OPTIMASI PEMASANGAN FACTS DEVICES UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU DENGAN MENGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM**

	TANGGAL	URAIAN	PARAF PEMBIMBING
	10/01/2011	Selesai Revisi Semua BAB ; BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV BAB V.	

Malang, Februari 2011
Pembimbing

Ir. Eko Nurcahyo
NIP:Y.1028700172

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T.Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : ANTONIO
NIM :
Perbaikan meliputi :

- Penulisan ikut Aturan di Buku Sitasi terbaru ?
- Tabel Letakan daftar Pustaka?
- Penulisan Pustaka ikuti standar yg baru,

Gambar 4.10 dst. disempurnakan.

- Pustaka,

Tabel 4.1 — Tabel 4.8 diberi penjelasan, dan pembahasan.

Malang,

(_____)

ELECTRICIDADE DE TIMOR LESTE

BAUCAU MONTHLY FEEDER REPORT

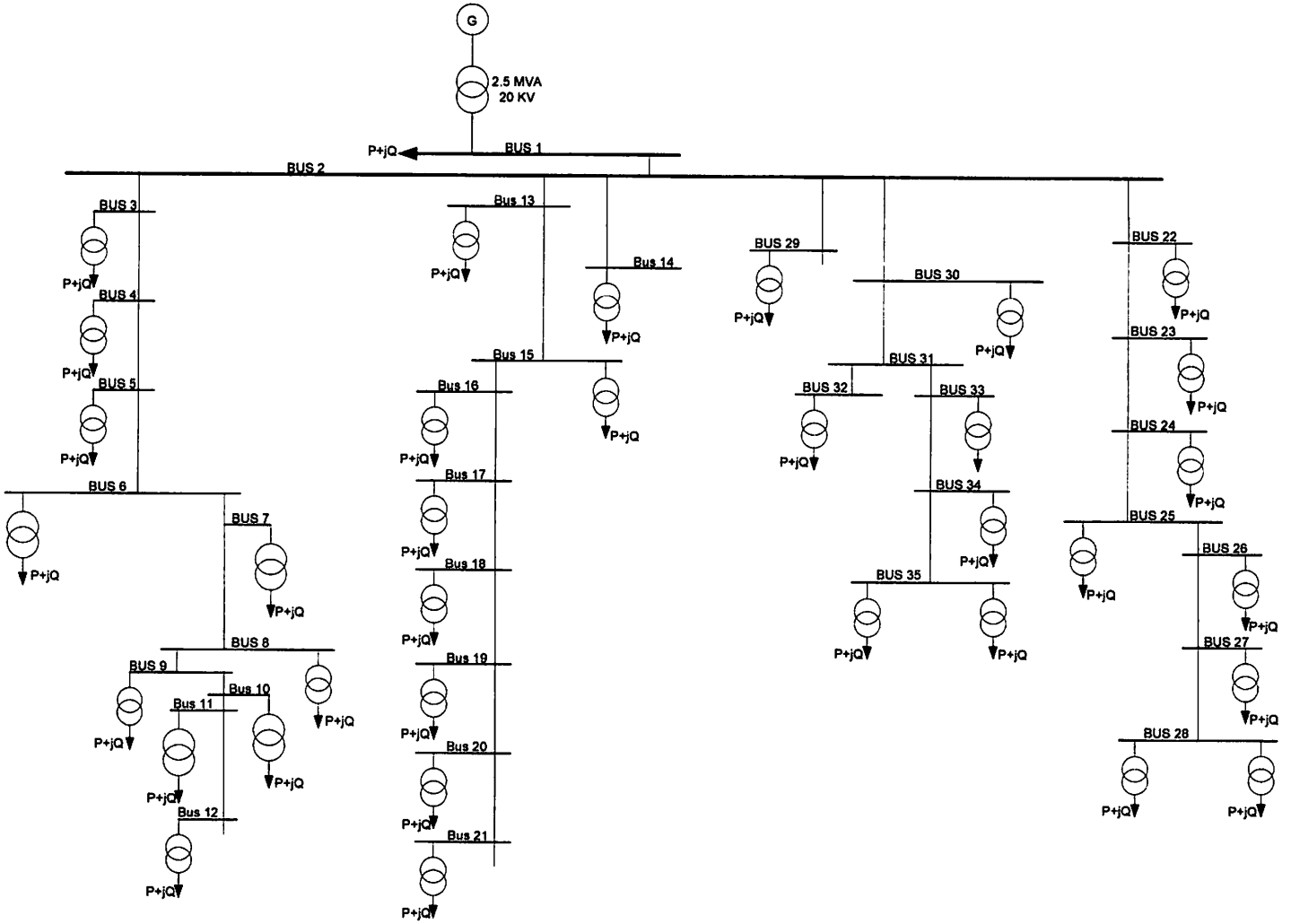
Inspecçao e Medlçao de Carga nos Transformadores em Service

Mes de Marco de 2010

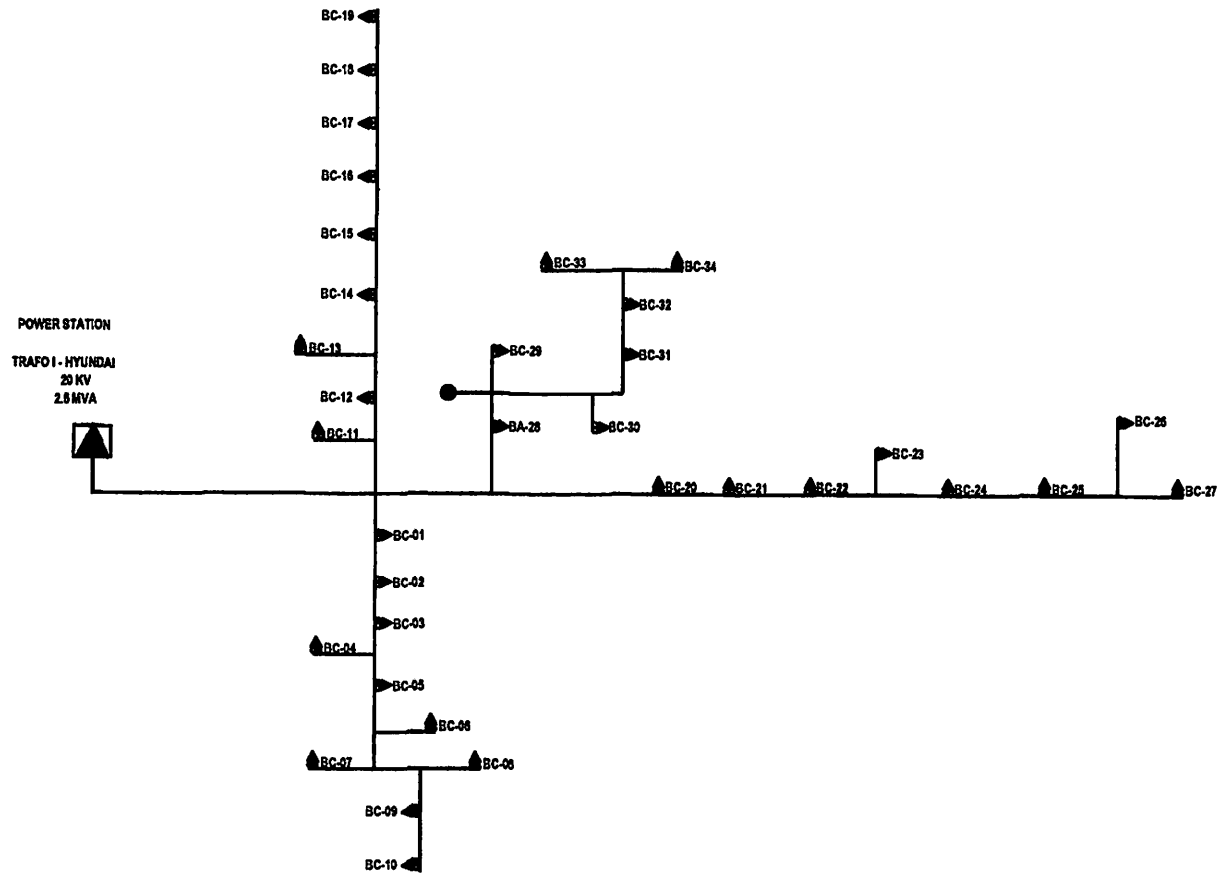
NO	NO DO POSTO	LOCALIDADE	POTENCIA TRAFO (KVA)	VOLTES (V)	MES	HORAS	AMPERES												VOLTES GERAL (VOLT)			CARGA DO TRAFO	
							DIRAÇÃO A			DIRAÇÃO B			DIRAÇÃO C			AMPERE GERAL							
					MEDIÇÃO	MEDIÇÃO	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	(KVA)	(%)
1	Bc. 01	Tirilolo Bugati	120	220/400	MARET	19:30	84	49	100				54	32	47	138	81	147	238	236	237	**87**	**73**
2	Bc. 02	ES.No.1-Baucau	250	220/400	MARET	19:40	79	118	50	80	107	134	55	28	112	214	253	296	237	236	238	**181**	**72**
3	Bc. 03	Correus Baucau	100	220/400	MARET	19:55	25	37	81	16	14	13	92	35	91	133	86	185	237	238	236	**96**	**96**
4	Bc.04	Hospital Special I	100	220/400	MARET	19:45	21	16	28							21	16	28	238	238	237	**15**	**15**
5	Bc.05	Wailia	160	220/400	MARET	20:15	54	134	79				31	21	77	85	155	156	235	237	232	**93**	**58**
6	Bc.06	SAS Special V	200	220/400	MARET	20:50	74	72	71							74	72	71	238	236	236	**52**	**26**
7	Bc.07	EP.No.1	315	220/400	MARET	21:08	68	74	89	68	91	116	54	39	35	190	204	240	237	236	238	**150**	**48**
8	Bc.08	Caibada Uaimua	160	220/400	MARET	20:30	22	34	28				106	151	83	128	185	111	236	229	232	**100**	**63**
9	Bc.09	Teulalae	50	220/400	MARET	19:40	14	9	9				7	32	22	21	41	31	235	237	232	**22**	**44**
10	Bc.10	Diwake/Tasi	50	220/400	MARET	7:48	12	9	15				7	5	5	19	14	20	236	229	232	**13**	**25**
11	Bc. 11	Tipo Grafia diocese/spc II	100	220/400	MARET	19:53	43	44	49	20	19	18				63	63	67	236	229	232	**46**	**46**
12	Bc. 12	Caibada Macasae	50	220/400	MARET	20:25	23	33	29				18	24	28	41	57	57	238	238	236	**37**	**74**
13	Bc. 13	Buruma	100	220/400	MARET	20:45	27	35	26				34	59	28	61	94	54	236	229	232	**49**	**49**
14	Bc. 14	Prizao	50	220/400	MARET	21:00	39	35	32							39	35	32	238	236	237	**25**	**50**
15	Bc. 15	Seisal	50	220/400	MARET	19:30	50	8	4				14	20	9	64	24	12	238	236	237	**24**	**48**
16	Bc. 16	K.Baru	50	220/400	MARET	20:10	20	32	26				43	27	27	63	59	53	238	236	237	**42**	**83**

17	Bc. 17	Laga Mutia	50	220/400	MARET	19:30	17	30	15	23	28	32	19	26	11	59	84	58	238	236	237	48	96
18	Bc.18	Laga Tekinomata	100	220/400	MARET	20:45	25	37	81	16	14	13	92	35	91	133	86	185	232	230	231	94	94
19	Bc.19	Laga Vila/soba	100	220/400	MARET	21:08	53	70	109				31	65	78	84	135	187	236	234	232	96	96
20	Bc.20	Sama diga	50	220/400	MARET	20:50				32	27	45				32	27	45	236	234	232	25	49
21	Bc. 21	Bela Vista	50	220/400	MARET	19:30	17	30	15	23	28	30	9	26	11	49	84	56	237	236	238	45	90
22	Bc. 22	Walilli	50	220/400	MARET	19:39	63	13	20				37	42	20	100	55	40	237	238	236	46	92
23	Bc. 23	Nunubu	50	220/400	MARET	7:20				34	31	33	34	31	33	68	62	66	236	235	232	46	93
24	Bc. 24	Gariuai	100	220/400	MARET	19:50	131	67	51	9	8	7	21	48	16	161	121	74	235	237	232	84	84
25	Bc. 25	Cairiri	50	220/400	MARET	19:55	12	10	7				22	20	19	34	30	26	236	235	232	21	42
26	Bc. 26	Fatumaca/Colegio	50	220/400	MARET	20:00	21	19	37							21	19	37	238	238	236	18	37
27	Bc. 27	Uaibiana/Ex.745	50	220/400	MARET	20:15							37	12	38	37	12	38	237	236	237	21	41
28	Bc.28	Terminal	100	220/400	MARET	20:48	18	19	22	122	96	44	22	17	48	162	132	114	238	236	237	97	97
29	Bc.29	RSS Baucau	160	220/400	MARET	21:08	18	15	25				62	59	51	80	74	76	237	236	238	55	34
30	Bc.30	EPS.No.3 Baucau	100	220/400	MARET	21:08	53	70	109				31	65	78	84	135	187	237	236	238	96	96
31	Bc.31	Oficina Diocese Spcl III	100	220/400	MARET	20:15										35	37	35	236	236	232	25	25
32	Bc.32	UIR Baucau	100	220/400	MARET	7:40	86	67	51							86	67	51	236	235	232	48	48
33	Bc.33	F-FDTL Special IV	200	220/400	MARET	20:28				17	15	16	36	45	16	53	60	32	237	233	229	34	17
34	Bc.34	Uainiki	160	220/400	MARET	19:28	65	66	67				12	13	16	77	79	83	236	238	237	56	35

SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM DISTRIBUSI 20 KV BAUCAU



ALTERNATIF 1



GI
PGS
AVS
CO
LBS
RECLOSER
SUTM 20 KV
PCT

EDTL TIMOR LESTE
DISTRIBUSI 20 KV
EDTL BAUCAU

EDTL BAUCAU
P.S. BAUCAU

DIGAMBAR	DIPERIKSA	DISETUJUI
TOTI	PAULINO A	PAULINO A

LISTING PROGRAM

```
function populasiZ=inisialZ(nFacts,UkPop)
populasiZ = random('unif',-1,1,UkPop,nFacts);
-------------------------------------------------function
populasiX=inisialX(nFacts,UkPop,nBus,nLine,populasiY)
for k=1:UkPop
  for g=1:nFacts
    if populasiY(k,g)==2
      nLoc=nBus;
    else
      nLoc=nLine;
    end
    populasiX(k,g)=fix(random('unif',1,nLoc+1,1,1));
  end
  populasiX(k,:)=valid(populasiX(k,:),nFacts,nBus,nLine,populasiY(k,:));
end
-------------------------------------------------------------------------

function populasiY=inisialY(nFacts,UkPop,Macam)
if Macam==3
   populasiY=fix(3*rand(UkPop,nFacts));
elseif Macam==2
   populasiY=2.*fix(2*rand(UkPop,nFacts));
else
   populasiY=fix(2*rand(UkPop,nFacts));
end;
-----------------------------------------------------------------

function populasiZ=inisialZ(nFacts,UkPop)
populasiZ = random('unif',-1,1,UkPop,nFacts);
function populasiZ=inisialZ(nFacts,UkPop)
```

```
populasiZ = random('unif',-1,1,UkPop,nFacts);
-------------------------------------------------------

function [JAC] = TCVRJacobian(nbb,JAC,VM,VA,NTCVR,TCVRsend,...
   TCVRrec,X,Flow, PSta,it,SVCsend,B,NSVC,VSta);
 for ii = 1 : NSVC
   if (VSta == 1)
      %Delete the voltage magnitud for the SVC bus
      JAC( : , 2*SVCsend(ii) ) = 0;
      JAC(2*SVCsend(ii)-1,2*SVCsend(ii)-1) = ...
         JAC(2*SVCsend(ii)- 1,2*SVCsend(ii)-1)- ...
         VM(SVCsend(ii))^2*B(ii);
      JAC(2*SVCsend(ii),2*SVCsend(ii))= - VM(SVCsend(ii))^2*B(ii);
   end
end
 for ii = 1 : NTCVR
   Bmm = -1/X(ii);
   Bmk = 1/X(ii);
   for kk = 1 : 2
      A = VA(TCVRsend(ii))-VA(TCVRrec(ii));
      Hkm = - VM(TCVRsend(ii))*VM(TCVRrec(ii))*Bmm*cos(A);
      Nkm = VM(TCVRsend(ii))*VM(TCVRrec(ii))*Bmm*sin(A);
      JAC(2*TCVRsend(ii)-1, 2*TCVRsend(ii)-1) = JAC(2*TCVRsend(ii)-1,...
         2*TCVRsend(ii)-1) - VM(TCVRsend(ii))^2*Bmm;
      JAC(2*TCVRsend(ii)-1, 2*TCVRrec(ii)-1) = JAC(2*TCVRsend(ii)-1,...
         2*TCVRrec(ii)-1) - Hkm;
      JAC(2*TCVRsend(ii)-1, 2*TCVRrec(ii)) = JAC(2*TCVRsend(ii)-1,...
         2*TCVRrec(ii)) - Nkm;
      JAC(2*TCVRsend(ii), 2*TCVRsend(ii)) = JAC(2*TCVRsend(ii),...
         2*TCVRsend(ii)) - VM(TCVRsend(ii))^2*Bmm;
      JAC(2*TCVRsend(ii), 2*TCVRrec(ii)-1) = JAC(2*TCVRsend(ii),...
         2*TCVRrec(ii)-1) + Nkm; JAC(2*TCVRsend(ii), 2*TCVRrec(ii)) = JAC(2*TCVRsend(ii),...
```

```
        2*TCVRrec(ii)) - Hkm;
      if it > 1
        if PSta == 1
          if (Flow == 1 & kk == 1 )| (Flow == -1 & kk == 2)
            JAC(2*nbb + ii, 2*TCVRsend(ii)-1) = Hkm;
            JAC(2*nbb + ii, 2*TCVRsend(ii)) = - Nkm;
            JAC(2*nbb + ii, 2*TCVRrec(ii)-1) = - Hkm;
            JAC(2*nbb + ii, 2*TCVRrec(ii)) = - Nkm;
            JAC(2*nbb + ii, 2*nbb + ii) = + Nkm;
          end
          JAC(2*TCVRsend(ii)-1, 2*nbb + ii) = Nkm;
          JAC(2*TCVRsend(ii), 2*nbb + ii) = Hkm - VM(TCVRsend(ii))^2*Bmk;
        else
          JAC(2*nbb + ii, 2*nbb + ii) = 1;
        end
      end
      send = TCVRsend(ii);
      TCVRsend(ii) = TCVRrec(ii);
      TCVRrec(ii) = send;
    end
end
-------------------------------------------------------------------------

function LFR=LinearFitnessRangking(UkPop,Fitness,MaxF,MinF)
[SF,IndF]= sort(Fitness);
for rr=1:UkPop,
  LFR(IndF(UkPop-rr+1))=MaxF-(MaxF-MinF)*((rr-1)/(UkPop-1));
end
-----------------------------------------------------------

function mutX = MutasiX(Kromosom,PmutX,nFacts,nBus,nLine,PopY)
titik=fix(rand*nFacts)+1;
```

```
if rand < PmutX
   if PopY(titik)==2
      Kromosom(titik)=fix(rand*nBus)+1;
   else
      Kromosom(titik)=fix(rand*nLine)+1;
   end;
end
mutX=valid(Kromosom,nFacts,nBus,nLine,PopY);
-----------------------------------------------------------------

function mutY = MutasiY(Kromosom,PmutY,nFacts,Macam)
titik=fix(rand*nFacts)+1;
if rand < PmutY
   if Macam==3
      Kromosom(titik)=fix(2*rand)+1;
   elseif Macam==2
      Kromosom(titik)=2*fix(2*rand);
   else
      Kromosom(titik)=fix(2*rand);
   end;
end
mutY=Kromosom;
-------------------------------------------------

function mutZ = MutasiZ(Kromosom,PmutZ,nFacts)
titik=fix(rand*nFacts)+1;
if rand < PmutZ
   Kromosom(titik)=random('unif',-1,1,1,1);
end
mutZ=Kromosom;
-------------------------------------------------

%Function to calculate the net scheduled powers function
```

```
function [PNET,QNET] = NetPowers(nbb,ngn,nld,genbus,loadbus,PGEN,QGEN, PLOAD,QLOAD);
% CALCULATE NET POWERS
PNET = zeros(1,nbb);
QNET = zeros(1,nbb);
for ii = 1: ngn
   PNET(genbus(ii)) = PNET(genbus(ii)) + PGEN(ii);
   QNET(genbus(ii)) = QNET(genbus(ii)) + QGEN(ii);
end
for ii = 1: nld
   PNET(loadbus(ii)) = PNET(loadbus(ii)) - PLOAD(ii);
   QNET(loadbus(ii)) = QNET(loadbus(ii)) - QLOAD(ii);
end
%End function NetPowers
---------------------------------------------------------------
function [VM,VA,it] = NewtonRaphson(nmax,tol,itmax,ngn,nld,nbb,...
   bustype, genbus,loadbus,PGEN,QGEN,QMAX,QMIN,PLOAD,QLOAD,YR,YI,VM,VA)
% GENERAL SETTINGS
D = zeros(1,nmax);
flag = 0;
it = 1;
% CALCULATE NET POWERS
PNET = zeros(1,nbb);
QNET = zeros(1,nbb);
for ii = 1: ngn
   PNET(genbus(ii)) = PNET(genbus(ii)) + PGEN(ii);
   QNET(genbus(ii)) = QNET(genbus(ii)) + QGEN(ii);
end
for ii = 1: nld
   PNET(loadbus(ii)) = PNET(loadbus(ii)) - PLOAD(ii);
   QNET(loadbus(ii)) = QNET(loadbus(ii)) - QLOAD(ii);
end
```

```
while ( it < itmax & flag==0 )
  % CALCULATED POWERS
  PCAL = zeros(1,nbb);
  QCAL = zeros(1,nbb);
  for ii = 1: nbb
    PSUM = 0;
    QSUM = 0;
    for jj = 1: nbb
      PSUM = PSUM + VM(ii)*VM(jj)*(YR(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)) +...
        YI(ii,jj)*sin(VA(ii)-VA(jj)));
      QSUM = QSUM + VM(ii)*VM(jj)*(YR(ii,jj)*sin(VA(ii)-VA(jj)) - ...
        YI(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)));
    end
    PCAL(ii) = PSUM;
    QCAL(ii) = QSUM;
  end
  % CHECK FOR POSSIBLE GENERATOR'S REACTIVE POWERS LIMITS VIOLATIONS
  if it > 2
    flag2 = 0;
    for ii = 1: ngn
      jj = genbus(ii);
      if (bustype(jj) == 2)
        if ( QCAL(jj) > QMAX(ii) )
          QNET(genbus(ii)) = QMAX(ii);
          bustype(jj) = 3;
          flag2 = 1;
        elseif ( QCAL(jj) < QMIN(ii) )
          QNET(genbus(ii)) = QMIN(ii);
          bustype(jj) = 3;
          flag2 = 1;
        end
```

```
        if flag2 == 1
            for ii = 1:nld
                if loadbus(ii) == jj
                    QNET(loadbus(ii)) = QNET(loadbus(ii)) - QLOAD(ii);
                end
            end
        end
    end
  end
end
% POWER MISMATCHES
DPQ = zeros(1,2*nbb);
DP = zeros(1,nbb);
DQ = zeros(1,nbb);
DP = PNET - PCAL;
DQ = QNET - QCAL;
% To remove the active and reactive powers contributions of the slack
% bus and reactive power of all PV buses
for ii = 1: nbb
  if (bustype(ii) == 1 )
    DP(ii) = 0;
    DQ(ii) = 0;
  elseif (bustype(ii) == 2 )
    DQ(ii) = 0;
  end
end
% Re-arrange mismatch entries
kk = 1;
for ii = 1: nbb
  DPQ(kk) = DP(ii);
  DPQ(kk+1) = DQ(ii);
```

```
    kk = kk + 2;
end
% Check for convergence
for ii = 1: nbb*2
    if ( abs(DPQ) < tol)
        flag = 1;
    end
end
% JACOBIAN FORMATION
nmax = nbb + nbb;
JAC = zeros(nmax,nmax); iii = 1;
for ii = 1: nbb
    jjj = 1;
    for jj = 1: nbb
        if ii == jj
            JAC(iii,jjj) = -QCAL(ii) - VM(ii)^2*YI(ii,ii);
            JAC(iii,jjj+1) = PCAL(ii) + VM(ii)^2*YR(ii,ii);
            JAC(iii+1,jjj) = PCAL(ii) - VM(ii)^2*YR(ii,ii);
            JAC(iii+1,jjj+1) = QCAL(ii) - VM(ii)^2*YI(ii,ii);
        else
            JAC(iii,jjj) = VM(ii)*VM(jj)*(YR(ii,jj)*sin(VA(ii)-VA(jj))...
                -YI(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)));
            JAC(iii+1,jjj) = -VM(ii)*VM(jj)*(YI(ii,jj)*sin(VA(ii)...
                -VA(jj))+YR(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)));
            JAC(iii,jjj+1) = -JAC(iii+1,jjj);
            JAC(iii+1,jjj+1) = JAC(iii,jjj);
        end
        jjj = jjj + 2;
    end
    iii = iii + 2;
end
```

```
% Delete the voltage magnitude and phase angle equations of the slack
% bus and voltage magnitude equations corresponding to PV buses
for kk = 1: nbb
  if (bustype(kk) == 1)
    ii = kk*2-1;
    for jj = 1: 2*nbb
      if ii == jj
        JAC(ii,ii) = 1;
      else
        JAC(ii,jj) = 0;
        JAC(jj,ii) = 0;
      end
    end
  end
  if (bustype(kk) == 1) | (bustype(kk) == 2)
    ii = kk*2;
    for jj = 1: 2*nbb
      if ii == jj
        JAC(ii,ii) = 1;
      else
        JAC(ii,jj) = 0;
        JAC(jj,ii) = 0;
      end
    end
  end
end
% SOLVE FOR THE STATE VARIABLES VECTOR
D = JAC\DPQ';
% UPDATE STATE VARIABLES
iii = 1;
for ii = 1: nbb
```

```
        VA(ii) = VA(ii) + D(iii);
        VM(ii) = VM(ii) + D(iii+1)*VM(ii);
        iii = iii + 2;
    end
it = it + 1;
end
-----------------------------------------------------------------
%Function to built the Jacobian matrix function
function [JAC] = NewtonRaphsonJacobian(nbb,bustype,PCAL,QCAL,...
    VM,VA,YR,YI);
% JACOBIAN FORMATION
% Include all entries
nmax = nbb + nbb;
JAC = zeros(nmax,nmax); iii = 1;
for ii = 1: nbb
    jjj = 1;
    for jj = 1: nbb
        if ii == jj
            JAC(iii,jjj) = -QCAL(ii) - VM(ii)^2*YI(ii,ii);
            JAC(iii,jjj+1) = PCAL(ii) + VM(ii)^2*YR(ii,ii);
            JAC(iii+1,jjj) = PCAL(ii) - VM(ii)^2*YR(ii,ii);
            JAC(iii+1,jjj+1) = QCAL(ii) - VM(ii)^2*YI(ii,ii);
        else
            JAC(iii,jjj) = VM(ii)*VM(jj)*(YR(ii,jj)*sin(VA(ii)-VA(jj))...
                -YI(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)));
            JAC(iii+1,jjj) = -VM(ii)*VM(jj)*(YI(ii,jj)*sin(VA(ii)...
                -VA(jj))+YR(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)));
            JAC(iii,jjj+1) = -JAC(iii+1,jjj);
            JAC(iii+1,jjj+1) = JAC(iii,jjj);
        end
        jjj = jjj + 2;
```

```
    end
    iii = iii + 2;
end
% Delete the voltage magnitude and phase angle equations of the slack
% bus and voltage magnitude equations corresponding to PV buses
for kk = 1: nbb
    if (bustype(kk) == 1)
        ii = kk*2-1;
        for jj = 1: 2*nbb
            if ii == jj
                JAC(ii,ii) = 1;
            else
                JAC(ii,jj) = 0;
                JAC(jj,ii) = 0;
            end
        end
    end
    if (bustype(kk) == 1) | (bustype(kk) == 2)
        ii = kk*2;
        for jj = 1: 2*nbb
            if ii == jj
                JAC(ii,ii) = 1;
            else
                JAC(ii,jj) = 0;
                JAC(jj,ii) = 0;
            end
        end
    end
end
-----------------------------------------------------------

clc;
```

```
clear all;
disp('Pilihan jenis Facts Device');
disp('1 : TCVR saja');
disp('2 : SVC saja');
disp('3 : Kombinasi antara TCVR dan SVC');
Macam=input('Pilihan Anda : ');
nFacts=input('Banyaknya FACTS yang digunakan : ');

tic
nBus=36;          %banyaknya Bus
nLine=35;         %Banyaknya Saluran

UkPop=30;         %Ukuran populasi
MaxGen=50;        %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 FACTS DEVICE MENGGUNAKAN GA DI EDTL BAUCAU');
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('Fitness Terbaik : %7.4f', 0.0),'FontWeight','bold');
htext2 = text(0.05*MaxGen,0.40*Bf+0.78,sprintf('Lokasi : '),'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('Type : '),'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('Rating : '),'FontWeight','bold');
htext41 = text(0.15*MaxGen,0.30*Bf+0.78,sprintf('%5.4f', 0.0),'FontWeight','bold');
htext6 = text(0.05*MaxGen,0.25*Bf+0.78,sprintf('SL : '),'FontWeight','bold');
htext7 = text(0.05*MaxGen,0.20*Bf+0.78,sprintf('Jumlah FACTS : '),'FontWeight','bold');
htext71 = text(0.3*MaxGen,0.20*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,VM,VA,Pbus,Qbus,Psend,Qsend,Prec,Qrec,Ploss,Qloss,nilai] =
fungsi(awal_x,awal_y,awal_z,nFacts,nBus);
fprintf('\n');
disp('------------------------------------------------------------------------------------------');
disp('                    Newton Raphson Loadflow Analysis Sebelum Diinject');
disp('------------------------------------------------------------------------------------------');
disp('| Bus |  V  | Angle |    PQBUS    |    PQSEND    |    PQREC    |    PQLOSS    |');
disp('| No  | pu  | Degree |  MW  |  MVar  |  MW  |  Mvar  |  MW  |  MVar  |  MW  |  MVar
|');
disp('------------------------------------------------------------------------------------------');
for m = 1:nBus
   fprintf('%3g', m); fprintf('  %8.4f', VM(m)); fprintf('   %8.4f', VA(m));
   fprintf('  %8.3f', Pbus(m)); fprintf('   %8.3f', Qbus(m));
```

```
    fprintf('  %8.3f', Psend(m)); fprintf('    %8.3f', Qsend(m));
    fprintf('  %8.3f', Prec(m)); fprintf('    %8.3f', Qrec(m));
    fprintf('  %8.3f', Ploss(m)); fprintf('  %8.3f', Qloss(m));fprintf('\n');
end
disp('-------------------------------------------------------------------------------');
fprintf('  Total                 ');fprintf('  %8.3f', sum(Pbus)); fprintf('    %8.3f', sum(Qbus));
fprintf('  %8.3f', sum(Psend)); fprintf('    %8.3f', sum(Qsend));
fprintf('  %8.3f', sum(Prec)); fprintf('    %8.3f', sum(Qrec));
fprintf('  %8.3f', sum(Ploss)); fprintf('  %8.3f', sum(Qloss));fprintf('\n');
disp('-------------------------------------------------------------------------------');
pause
fprintf('\n');
fprintf('\n');
PLoss_awal = sum(Ploss);
QLoss_awal = sum(Qloss);
PLo=PLoss_awal;
QLo=QLoss_awal;
 %Inisialisasi Populasi
populasiZ=inisialZ(nFacts,UkPop);
populasiY=inisialY(nFacts,UkPop,Macam);
populasiX=inisialX(nFacts,UkPop,nBus,nLine,populasiY);
 %Looping iterasi
for Generasi=1:MaxGen
   x=populasiX(1,:);
   y=populasiY(1,:);
   z=rating(nFacts,populasiZ(1,:),y);
   [Fitness,VM,VA,Pbus,Qbus,Psend,Qsend,Prec,Qrec,Ploss,Qloss,nilai] = fungsi(x,y,z,nFacts,nBus);
   BestV = VM;
   BestDel = VA;
   BestP = Pbus;
   BestQ = Qbus;
```

```
    BestPsend = Psend;
    BestQsend = Qsend;
    BestPrec = Prec;
    BestQrec = Qrec;
    BestPLoss = Ploss;
    BestQLoss = Qloss;
    PLoss = sum(Ploss);
    QLoss = sum(Qloss);
    BestX = x;
    BestY = y;
    BestZ = nilai;
    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),VM,VA,Pbus,Qbus,Psend,Qsend,Prec,Qrec,Ploss,Qloss,nilai] =
fungsi(x,y,z,nFacts,nBus);
      if (Fitness(ii) > MaxF),
        MaxF= Fitness(ii);
        IndeksIndividuTerbaik=ii;
        BestV = VM;
        BestDel = VA;
        BestP = Pbus;
        BestQ = Qbus;
        BestPsend = Psend;
        BestQsend = Qsend;
        BestPrec = Prec;
        BestQrec = Qrec;
```

```
        BestPLoss = Ploss;
        BestQLoss = Qloss;
        PLoss = sum(Ploss);
        QLoss = sum(Qloss);
        BestX = x;
        BestY = y;
        BestZ = nilai;
    end
    if (Fitness(ii) < MinF),
        MinF = Fitness(ii);
    end
end
%Penyimpanan nilai fitenss 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(TemPopulasiZ(kk,:),PmutZ,nFacts);
     end
     populasiX=TemPopulasiX;
     populasiY=TemPopulasiY;
     populasiZ=TemPopulasiZ;
  end
  SL=(SL+(PLo-PLoss)/PLo)*100;
  disp('-------------------------------------------------------------------------------------------');
  disp('                    Newton Raphson Loadflow Analysis Setelah Diproject');
  disp('-------------------------------------------------------------------------------------------');
  disp('Bus    Volt    Angle      PGEN      PGSEND      PGREC      PGLOSS    ');
  disp('No.    Mag.    Degree     MW    Mvar    MW    Mvar    MW    Mvar    MW    Mvar');
   );
  disp('-------------------------------------------------------------------------------------------');
  for m = 1:nBus
     fprintf('%3g', m); fprintf('%8.3f', BestV(m)); fprintf('%8.3f', BestDel(m));
     fprintf('%8.3f', BestP(m)); fprintf('%8.3f', BestQ(m));
     fprintf('%8.3f', BestPsend(m)); fprintf('%8.3f', BestQsend(m));
     fprintf('%8.3f', BestPrec(m)); fprintf('%8.3f', BestQrec(m));
     fprintf('%8.3f', BestPLoss(m)); fprintf('%8.3f', BestQLoss(m));fprintf('\n');
  end
  disp('-------------------------------------------------------------------------------------------');
  fprintf('Total                );fprintf('%8.3f', sum(BestP)); fprintf('%8.3f', sum(BestQ));
  fprintf('%8.3f', sum(BestPsend)); fprintf('%8.3f', sum(BestQsend));
  fprintf('%8.3f', sum(BestPrec)); fprintf('%8.3f', sum(BestQrec));
  fprintf('%8.3f', sum(BestPLoss)); fprintf('%8.3f', sum(BestQLoss));fprintf('\n');
  disp('-------------------------------------------------------------------------------------------');
  fprintf('\n');
```

```
fprintf('\n');
%Penanganan grafis 2D
grid on;
set(htext1,'String',sprintf('Fitness Terbaik : %8.4f', terFit(MaxGen)));
set(htext21,'String',sprintf('%5g', BestX));
set(htext31,'String',sprintf('%5g', BestY));
set(htext41,'String',sprintf('%10.4f', BestZ));
set(htext6,'String',sprintf('SL : %7.3f', SL));
set(htext71,'String',sprintf('%5g', length(find(BestY~=0))));
plotvector = get(hbestplot,'YData');
for i=1:MaxGen
    plotvector(i) = terFit(i);
    set(hbestplot,'YData',plotvector);
    drawnow;
end
toc
-----------------------------------------------------------

function AnakX =  PindahSilangX(Bapak,Ibu,nFacts,TP)
AnakX(1,:)=[Bapak(1:TP) Ibu(TP+1:nFacts)];
AnakX(2,:)=[Ibu(1:TP) Bapak(TP+1:nFacts)];
-----------------------------------------------

function AnakY =  PindahSilangY(Bapak,Ibu,nFacts,TP)
AnakY(1,:)=[Bapak(1:TP) Ibu(TP+1:nFacts)];
AnakY(2,:)=[Ibu(1:TP) Bapak(TP+1:nFacts)];
-------------------------------------------------------

function AnakZ =  PindahSilangZ(Bapak,Ibu,nFacts,TP)
AnakZ(1,:)=[Bapak(1:TP) Ibu(TP+1:nFacts)];
AnakZ(2,:)=[Ibu(1:TP) Bapak(TP+1:nFacts)];
---------------------------------------------------------

%Function to compute power mismatches function
```

```
function [DPQ,DP,DQ,flag] = PowerMismatches(nbb,tol,bustype,...
   flag,PNET,QNET,PCAL,QCAL);
% POWER MISMATCHES
DPQ = zeros(1,2*nbb);
DP = zeros(1,nbb);
DQ = zeros(1,nbb);
DP = PNET - PCAL;
DQ = QNET - QCAL;
% To remove the active and reactive powers contributions of the slack
% bus and reactive power of all PV buses
for ii = 1: nbb
   if (bustype(ii) == 1 )
      DP(ii) = 0;
      DQ(ii) = 0;
   elseif (bustype(ii) == 2 )
      DQ(ii) = 0;
   end
end
% Re-arrange mismatch entries
kk = 1;
for ii = 1: nbb
   DPQ(kk) = DP(ii);
   DPQ(kk+1) = DQ(ii);
   kk = kk + 2;
end
% Check for convergence
for ii = 1: nbb*2
   if ( abs(DPQ) < tol)
      flag = 1;
   end
end
```

```
%End function PowerMismatches
-------------------------------------------------

function [PQsend,PQrec,PQloss,PQbus] = PQflows(nbb,ngn,ntl,nld,...
   genbus,loadbus,tlsend,tlrec,tlresis,tlreac,tlcond,tlsuscep,PLOAD,...
   QLOAD,VM,VA);
PQsend = zeros(1,nbb); PQrec = zeros(1,nbb); PQloss = zeros(1,nbb);
% Calculate active and reactive powers at the sending and receiving
% ends of tranmsission lines
for ii = 1: ntl
   Vsend = ( VM(tlsend(ii))*cos(VA(tlsend(ii))) + ...
      VM(tlsend(ii))*sin(VA(tlsend(ii)))*i );
   Vrec = ( VM(tlrec(ii))*cos(VA(tlrec(ii))) + ...
      VM(tlrec(ii))*sin(VA(tlrec(ii)))*i );
   tlimped = tlresis(ii) + tlreac(ii)*i;
   current =(Vsend - Vrec) / tlimped + Vsend*( tlcond(ii) + ...
      tlsuscep(ii)*i )*0.5 ;
   PQsend(ii) = Vsend*conj(current);
   current =(Vrec - Vsend) / tlimped + Vrec*( tlcond(ii) + ...
      tlsuscep(ii)*i )*0.5 ; PQrec(ii) = Vrec*conj(current);
   PQloss(ii) = PQsend(ii) + PQrec(ii);
end
% Calculate active and reactive powers injections at buses
PQbus = zeros(1,nbb);
for ii = 1: ntl
   PQbus(tlsend(ii)) = PQbus(tlsend(ii)) + PQsend(ii);
   PQbus(tlrec(ii)) = PQbus(tlrec(ii)) + PQrec(ii);
end
% Make corrections at generator buses, where there is load, in order to
% get correct generators contributions
for ii = 1: nld
   jj = loadbus(ii);
```

```
    for kk = 1: ngn
        ll = genbus(kk);
        if jj == ll
            PQbus(jj) = PQbus(jj) + ( PLOAD(ii) + QLOAD(ii)*i );
        end
    end
end
```

```
function z = rating(nF,A,y)
for k=1:nF
    if y(k)==2
        z(k)=A(k)*0.45-0.25;
    else
        z(k)=A(k)*0.45-0.25;
    end
end
```

```
function Pindex=RouletteWheel(nInd,LinearFitness);
JumFitness=sum(LinearFitness);
KumulatifFitness=0;
RN=rand;
ii=1;
while ii<=nInd,
    KumulatifFitness=KumulatifFitness+LinearFitness(ii);
    if (KumulatifFitness/JumFitness)>RN,
        Pindex=ii;
        break;
    end
    ii=ii+1;
end
```

```
------------------------------------------------------------

function [QSVC] = SVCQpower(VM,NSVC,SVCsend,B);
for ii = 1 : NSVC
   QSVC(ii) = -VM(SVCsend(ii))^2*B(ii);
end

------------------------------------------------------------

function [X] = TCVRLimits(NTCVR,X,XLo,XHi,PSta);
for ii = 1 : NTCVR
   % Check impedance Limits
   if X(ii) < XLo | X(ii) > XHi
      PSta = 0;
      if X(ii) < XLo
         X(ii) = XLo;
      elseif X(ii) > XHi
         X(ii) = XHi;
      end
   end
end

------------------------------------------------

function [DPQ,flag] = TCVRPowerMismatches(flag,tol,nbb,DPQ,VM,VA,...
   NTCVR, TCVRsend,TCVRrec,TCVRX,Flow,it,TCVR_P,PSta);
if it > 1
   for ii = 1 : NTCVR
      if PSta == 1 Bmk = 1/TCVRX(ii);
         for kk=1:2
            A = VA(TCVRsend(ii)) - VA(TCVRrec(ii));
            Pcal = VM(TCVRsend(ii))*VM(TCVRrec(ii))*Bmk*sin(A);
            if (Flow == 1 & kk == 1) | (Flow == -1 & kk == 2)
               DPQ(1, 2*nbb + ii) = TCVR_P - Pcal;
               break;
```

```
            end
            send = TCVRsend(ii);
            TCVRsend(ii) = TCVRrec(ii);
            TCVRrec(ii) = send;
          end
        else
          DPQ(1, 2*nbb + ii)= 0;
        end
      end
    end
    ----------------------------------------------------------

    function [PTCVR,QTCVR] = TCVRPQflows(nbb,VA,VM,NTCVR,TCVRsend,...
      TCVRrec,TCVRX);
    for ii = 1 : NTCVR
      Bmk = 1/TCVRX(ii);
      Bmm = -1/TCVRX(ii);
      for kk = 1 : 2
        A = VA(TCVRsend(ii)) - VA(TCVRrec(ii));
        PTCVR(ii,kk) = VM(TCVRsend(ii))*VM(TCVRrec(ii))*Bmk*sin(A);
        QTCVR(ii,kk) = - VM(TCVRsend(ii))^2*Bmm - VM(TCVRsend(ii))*VM...
          (TCVRrec(ii))*Bmk*cos(A);
        send = TCVRsend(ii);
        TCVRsend(ii) = TCVRrec(ii);
        TCVRrec(ii) = send;
      end
    end
    ----------------------------------------------------------------------

    function [VM,VA,it,X] = TCVRNewtonRaphson(tol,itmax,ngn,nld,nbb,...
      bustype, genbus,loadbus,PGEN,QGEN,QMAX,QMIN,PLOAD,QLOAD,YR,YI,...
      VM,VA,NTCVR, TCVRsend,TCVRrec,X,XLo,XHi,Flow,Psp,PSta,NSVC,SVCsend,B,TarVol,VSta);
```

```
% GENERAL SETTINGS
flag = 0; it = 1;

% CALCULATE NET POWERS
[PNET,QNET] = NetPowers(nbb,ngn,nld,genbus,loadbus,PGEN,QGEN,...
   PLOAD,QLOAD);
while (it < itmax & flag==0)
     % CALCULATED POWERS
   PCAL = zeros(1,nbb);
   QCAL = zeros(1,nbb);
   for ii = 1: nbb
      PSUM = 0;
      QSUM = 0;
      for jj = 1: nbb
         PSUM = PSUM + VM(ii)*VM(jj)*(YR(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)) +...
            YI(ii,jj)*sin(VA(ii)-VA(jj)));
         QSUM = QSUM + VM(ii)*VM(jj)*(YR(ii,jj)*sin(VA(ii)-VA(jj)) - ...
            YI(ii,jj)*cos(VA(ii)-VA(jj)));
      end
      PCAL(ii) = PSUM;
      QCAL(ii) = QSUM;
   end
    % CALCULATED TCVR POWERS
 [TCVR_PQsend,TCVR_PQrec,PCAL,QCAL]=Calculatedpower(nbb,VA,...
    VM,NTCVR,TCVRsend,TCVRrec,X,PCAL,QCAL,NSVC,SVCsend,B);
% POWER MISMATCHES
 [DPQ,DP,DQ,flag]=PowerMismatches(nbb,tol,bustype,flag,PNET,QNET,...
    PCAL, QCAL);
% TCVR POWER MISMATCHES
 [DPQ,flag]=TCVRPowerMismatches(flag,tol,nbb,DPQ,VM,VA,NTCVR,...
```

```
    TCVRsend,TCVRrec,X,Flow,it,Psp,PSta);
%Check for convergence
if flag == 1
    break
end
% JACOBIAN FORMATION
[JAC]=NewtonRaphsonJacobian(nbb,bustype,PCAL,QCAL,VM,VA,...
    YR,YI);
 % MODIFICATION THE JACOBIAN FOR TCVR
[JAC]=Jacobian(nbb,JAC,VM,VA,NTCVR,TCVRsend,TCVRrec,X,...
    Flow,PSta,it,SVCsend,B,NSVC,VSta);
% SOLVE JOCOBIAN
D = JAC\DPQ';
 % UPDATE THE STATE VARIABLES VALUES
iii = 1;
for ii = 1: nbb
    VA(ii) = VA(ii) + D(iii);
    VM(ii) = VM(ii) + D(iii+1)*VM(ii);
    iii = iii + 2;
end
 for ii = 1 : NSVC
    if (VSta == 1)
        % Adjust the Voltage Magnitud target
        VM(SVCsend(ii)) = TarVol;
    end
end
% UPDATE THE TCVR VARIABLES
[X]=TCVRUpdating(it,nbb,D,NTCVR,X,PSta);
 %CHECK IMPEDANCE FOR LIMITS
[X]=TCVRLimits(NTCVR,X,XLo,XHi,PSta);
it = it + 1;
```

```
end
-----------------------------------------------------------

function [X]= TCVRUpdating(it,nbb,D,NTCVR,X,PSta);
if it > 1
   for ii = 1 : NTCVR
      if PSta == 1
         X(ii) = X(ii) + D(2*nbb + ii,1)*X(ii);
      end
   end
end
-----------------------------------------------------------

function kromosom = valid(popX,nFacts,nBus,nLine,popY)
for ik=1:nFacts
   if (popY(ik)==2)&(popX(ik)>nBus)
      popX(ik)=fix(random('unif',1,nBus+1,1,1));
   end
end
kali=2;
while kali>1
   iii=0;
   cc=1;
   while iii<nFacts
      iii=iii+1;
      nn=length(find(popX==popX(iii)));
      if nn>1
         if popY(iii)==2
            nLoc=nBus;
         else
            nLoc=nLine;
         end
```

```
        popX(iii)=fix(random('unif',1,nLoc+1,1,1));
      end
      cc=cc*nn;
    end
    kali=cc;
    if kali==1
      break;
    end
  end
  kromosom=popX;
  ----------------------------------------------------------------

  %Build up admittance matrix
  function [YR,YI] = YBus(tlsend,tlrec,tlresis,tlreac,tlsuscep,...
    tlcond,ntl,nbb);
  YR=zeros(nbb,nbb);
  YI=zeros(nbb,nbb);
  % Transmission lines contribution
  for kk = 1: ntl
    ii = tlsend(kk);
    jj = tlrec(kk);
    denom = tlresis(kk)^2+tlreac(kk)^2;
    YR(ii,ii) = YR(ii,ii) + tlresis(kk)/denom + 0.5*tlcond(kk);
    YI(ii,ii) = YI(ii,ii) - tlreac(kk)/denom + 0.5*tlsuscep(kk);
    YR(ii,jj) = YR(ii,jj) - tlresis(kk)/denom;
    YI(ii,jj) = YI(ii,jj) + tlreac(kk)/denom;
    YR(jj,ii) = YR(jj,ii) - tlresis(kk)/denom;
    YI(jj,ii) = YI(jj,ii) + tlreac(kk)/denom;
    YR(jj,jj) = YR(jj,jj) + tlresis(kk)/denom + 0.5*tlcond(kk);
    YI(jj,jj) = YI(jj,jj) - tlreac(kk)/denom + 0.5*tlsuscep(kk);
  end
  % End of function YBus
```

Pilihan jenis Facts Device

1 : TCVR saja

2 : SVC saja

3 : Kombinasi antara TCVR dan SVC

Pilihan Anda : 1

Banyaknya FACTS yang digunakan : 3

Newton Raphson Loadflow Analysis Sebelum Diinject

Bus	V	Angle	PQBUS		PQSEND		PQREC		PQLOSS	
No	pu	Degree	MW	MVar	MW	Mvar	MW	MVar	MW	MVar
1	1.0000	0.0000	1.659	1.188	1.659	1.188	-1.655	-1.182	0.004	0.006
2	0.9969	-0.0698	-0.000	0.000	0.616	0.447	-0.611	-0.439	0.005	0.008
3	0.9851	-0.3294	-0.071	-0.050	0.123	0.086	-0.123	-0.086	0.000	0.000
4	0.9727	-0.6105	-0.037	-0.026	0.266	0.188	-0.265	-0.187	0.001	0.001
5	0.9631	-0.8331	-0.030	-0.021	0.373	0.265	-0.371	-0.262	0.002	0.003
6	0.9626	-0.8443	-0.020	-0.014	0.277	0.195	-0.276	-0.194	0.001	0.002
7	0.9544	-1.0366	-0.080	-0.056	0.539	0.390	-0.534	-0.382	0.005	0.008
8	0.9473	-1.2058	-0.148	-0.104	0.497	0.356	-0.493	-0.350	0.004	0.005
9	0.9423	-1.3263	-0.078	-0.055	0.020	0.014	-0.020	-0.014	0.000	0.000
10	0.9420	-1.3336	-0.013	-0.009	0.443	0.315	-0.440	-0.311	0.003	0.004
11	0.9400	-1.3835	-0.076	-0.053	0.361	0.255	-0.359	-0.252	0.002	0.003
12	0.9390	-1.4081	-0.042	-0.030	0.211	0.148	-0.210	-0.147	0.001	0.001
13	0.9946	-0.1229	-0.123	-0.086	0.013	0.009	-0.013	-0.009	0.000	0.000
14	0.9919	-0.1840	-0.082	-0.057	0.119	0.083	-0.119	-0.083	0.000	0.000
15	0.9915	-0.1933	-0.018	-0.013	0.042	0.030	-0.042	-0.030	0.000	0.000
16	0.9881	-0.2699	-0.010	-0.007	0.018	0.013	-0.018	-0.013	0.000	0.000
17	0.9852	-0.3375	-0.040	-0.028	0.165	0.117	-0.165	-0.116	0.000	0.001

18	0.9826	-0.3976	-0.021	-0.014	0.155	0.109	-0.154	-0.108	0.000	0.001
19	0.9808	-0.4388	-0.019	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
20	0.9794	-0.4714	-0.034	-0.024	0.093	0.065	-0.093	-0.065	0.000	0.000
21	0.9785	-0.4924	-0.039	-0.027	0.073	0.051	-0.073	-0.051	0.000	0.000
22	0.9899	-0.2295	-0.077	-0.054	0.039	0.027	-0.039	-0.027	0.000	0.000
23	0.9843	-0.3576	-0.078	-0.055	0.294	0.208	-0.293	-0.206	0.001	0.002
24	0.9802	-0.4522	-0.037	-0.026	0.214	0.151	-0.214	-0.150	0.001	0.001
25	0.9793	-0.4724	-0.038	-0.027	0.038	0.027	-0.038	-0.027	0.000	0.000
26	0.9770	-0.5266	-0.038	-0.027	0.139	0.098	-0.139	-0.097	0.000	0.000
27	0.9755	-0.5628	-0.069	-0.048	0.101	0.071	-0.101	-0.071	0.000	0.000
28	0.9751	-0.5706	-0.017	-0.012	0.017	0.012	-0.017	-0.012	0.000	0.000
29	0.9752	-0.5682	-0.015	-0.011	0.015	0.011	-0.015	-0.011	0.000	0.000
30	0.9917	-0.1887	-0.017	-0.012	0.045	0.031	-0.045	-0.031	0.000	0.000
31	0.9912	-0.2003	-0.045	-0.031	0.214	0.150	-0.214	-0.150	0.000	0.001
32	0.9893	-0.2444	-0.079	-0.055	0.135	0.095	-0.135	-0.094	0.000	0.000
33	0.9877	-0.2798	-0.021	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
34	0.9864	-0.3097	-0.039	-0.028	0.028	0.020	-0.028	-0.020	0.000	0.000
35	0.9858	-0.3246	-0.028	-0.020	0.046	0.032	-0.046	-0.032	0.000	0.000
36	0.9854	-0.3341	-0.046	-0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total			0.032	0.048	7.617	5.417	-7.585	-5.369	0.032	0.048

Newton Raphson Loadflow Analysis Setelah Diinject

Bus No	V pu	Angle Degree	PQBUS MW	PQBUS MVar	PQSEND MW	PQSEND Mvar	PQREC MW	PQREC MVar	PQLOSS MW	PQLOSS MVar
1	1.0000	0.0000	1.451	0.458	1.451	0.458	-1.449	-0.455	0.002	0.003
2	0.9981	-0.0910	-0.000	0.000	0.410	-0.279	-0.408	0.283	0.002	0.003

3	0.9983	-0.5603	-0.071	-0.050	0.123	0.086	-0.123	-0.086	0.000	0.000
4	1.0002	-1.0854	0.108	0.199	0.266	0.188	-0.265	-0.187	0.001	0.001
5	0.9981	-1.5053	0.808	0.065	0.373	0.265	-0.371	-0.262	0.002	0.003
6	0.9906	-2.5214	-0.944	0.180	0.277	0.195	-0.276	-0.194	0.001	0.002
7	0.9942	-1.6929	0.067	0.167	0.336	-0.333	-0.334	0.336	0.002	0.004
8	0.9874	-1.8487	-0.148	-0.104	0.442	-0.137	-0.440	0.140	0.002	0.003
9	0.9826	-1.9596	-0.078	-0.055	0.954	-0.164	-0.944	0.180	0.010	0.016
10	0.9824	-1.9663	-0.013	-0.009	0.294	0.089	-0.293	-0.088	0.001	0.001
11	0.9804	-2.0122	-0.076	-0.053	0.361	0.255	-0.359	-0.252	0.002	0.003
12	0.9794	-2.0348	-0.042	-0.030	0.211	0.148	-0.210	-0.147	0.001	0.001
13	0.9958	-0.1440	-0.123	-0.086	0.013	0.009	-0.013	-0.009	0.000	0.000
14	0.9931	-0.2049	-0.082	-0.057	0.119	0.083	-0.119	-0.083	0.000	0.000
15	0.9927	-0.2142	-0.018	-0.013	0.042	0.030	-0.042	-0.030	0.000	0.000
16	0.9893	-0.2906	-0.010	-0.007	0.018	0.013	-0.018	-0.013	0.000	0.000
17	0.9864	-0.3580	-0.040	-0.028	0.165	0.117	-0.165	-0.116	0.000	0.001
18	0.9838	-0.4180	-0.021	-0.014	0.155	0.109	-0.154	-0.108	0.000	0.001
19	0.9820	-0.4591	-0.019	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
20	0.9807	-0.4917	-0.034	-0.024	0.093	0.065	-0.093	-0.065	0.000	0.000
21	0.9798	-0.5126	-0.039	-0.027	0.073	0.051	-0.073	-0.051	0.000	0.000
22	0.9911	-0.2504	-0.077	-0.054	0.039	0.027	-0.039	-0.027	0.000	0.000
23	0.9855	-0.3782	-0.078	-0.055	0.294	0.208	-0.293	-0.206	0.001	0.002
24	0.9814	-0.4725	-0.037	-0.026	0.214	0.151	-0.214	-0.150	0.001	0.001
25	0.9806	-0.4927	-0.038	-0.027	0.038	0.027	-0.038	-0.027	0.000	0.000
26	0.9782	-0.5467	-0.038	-0.027	0.139	0.098	-0.139	-0.097	0.000	0.000
27	0.9767	-0.5828	-0.069	-0.048	0.101	0.071	-0.101	-0.071	0.000	0.000
28	0.9764	-0.5906	-0.017	-0.012	0.017	0.012	-0.017	-0.012	0.000	0.000
29	0.9765	-0.5882	-0.015	-0.011	0.015	0.011	-0.015	-0.011	0.000	0.000
30	0.9929	-0.2096	-0.017	-0.012	0.045	0.031	-0.045	-0.031	0.000	0.000
31	0.9924	-0.2212	-0.045	-0.031	0.214	0.150	-0.214	-0.150	0.000	0.001

32	0.9905	-0.2652	-0.079	-0.055	0.135	0.095	-0.135	-0.094	0.000	0.000
33	0.9889	-0.3005	-0.021	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
34	0.9876	-0.3304	-0.039	-0.028	0.028	0.020	-0.028	-0.020	0.000	0.000
35	0.9870	-0.3452	-0.028	-0.020	0.046	0.032	-0.046	-0.032	0.000	0.000
36	0.9866	-0.3547	-0.046	-0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total			0.031	0.047	7.728	2.341	-7.698	-2.294	0.031	0.047

Pilihan jenis Facts Device

1 : TCVR saja

2 : SVC saja

3 : Kombinasi antara TCVR dan SVC

Pilihan Anda : 2

Banyaknya FACTS yang digunakan : 3

Newton Raphson Loadflow Analysis Sebelum Diinject

Bus	V	Angle	PQBUS		PQSEND		PQREC		PQLOSS	
No	pu	Degree	MW	MVar	MW	Mvar	MW	MVar	MW	MVar
1	1.0000	0.0000	1.659	1.188	1.659	1.188	-1.655	-1.182	0.004	0.006
2	0.9969	-0.0698	-0.000	0.000	0.616	0.447	-0.611	-0.439	0.005	0.008
3	0.9851	-0.3294	-0.071	-0.050	0.123	0.086	-0.123	-0.086	0.000	0.000
4	0.9727	-0.6105	-0.037	-0.026	0.266	0.188	-0.265	-0.187	0.001	0.001
5	0.9631	-0.8331	-0.030	-0.021	0.373	0.265	-0.371	-0.262	0.002	0.003
6	0.9626	-0.8443	-0.020	-0.014	0.277	0.195	-0.276	-0.194	0.001	0.002
7	0.9544	-1.0366	-0.080	-0.056	0.539	0.390	-0.534	-0.382	0.005	0.008
8	0.9473	-1.2058	-0.148	-0.104	0.497	0.356	-0.493	-0.350	0.004	0.005
9	0.9423	-1.3263	-0.078	-0.055	0.020	0.014	-0.020	-0.014	0.000	0.000
10	0.9420	-1.3336	-0.013	-0.009	0.443	0.315	-0.440	-0.311	0.003	0.004
11	0.9400	-1.3835	-0.076	-0.053	0.361	0.255	-0.359	-0.252	0.002	0.003
12	0.9390	-1.4081	-0.042	-0.030	0.211	0.148	-0.210	-0.147	0.001	0.001
13	0.9946	-0.1229	-0.123	-0.086	0.013	0.009	-0.013	-0.009	0.000	0.000
14	0.9919	-0.1840	-0.082	-0.057	0.119	0.083	-0.119	-0.083	0.000	0.000
15	0.9915	-0.1933	-0.018	-0.013	0.042	0.030	-0.042	-0.030	0.000	0.000
16	0.9881	-0.2699	-0.010	-0.007	0.018	0.013	-0.018	-0.013	0.000	0.000
17	0.9852	-0.3375	-0.040	-0.028	0.165	0.117	-0.165	-0.116	0.000	0.001

18	0.9826	-0.3976	-0.021	-0.014	0.155	0.109	-0.154	-0.108	0.000	0.001
19	0.9808	-0.4388	-0.019	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
20	0.9794	-0.4714	-0.034	-0.024	0.093	0.065	-0.093	-0.065	0.000	0.000
21	0.9785	-0.4924	-0.039	-0.027	0.073	0.051	-0.073	-0.051	0.000	0.000
22	0.9899	-0.2295	-0.077	-0.054	0.039	0.027	-0.039	-0.027	0.000	0.000
23	0.9843	-0.3576	-0.078	-0.055	0.294	0.208	-0.293	-0.206	0.001	0.002
24	0.9802	-0.4522	-0.037	-0.026	0.214	0.151	-0.214	-0.150	0.001	0.001
25	0.9793	-0.4724	-0.038	-0.027	0.038	0.027	-0.038	-0.027	0.000	0.000
26	0.9770	-0.5266	-0.038	-0.027	0.139	0.098	-0.139	-0.097	0.000	0.000
27	0.9755	-0.5628	-0.069	-0.048	0.101	0.071	-0.101	-0.071	0.000	0.000
28	0.9751	-0.5706	-0.017	-0.012	0.017	0.012	-0.017	-0.012	0.000	0.000
29	0.9752	-0.5682	-0.015	-0.011	0.015	0.011	-0.015	-0.011	0.000	0.000
30	0.9917	-0.1887	-0.017	-0.012	0.045	0.031	-0.045	-0.031	0.000	0.000
31	0.9912	-0.2003	-0.045	-0.031	0.214	0.150	-0.214	-0.150	0.000	0.001
32	0.9893	-0.2444	-0.079	-0.055	0.135	0.095	-0.135	-0.094	0.000	0.000
33	0.9877	-0.2798	-0.021	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
34	0.9864	-0.3097	-0.039	-0.028	0.028	0.020	-0.028	-0.020	0.000	0.000
35	0.9858	-0.3246	-0.028	-0.020	0.046	0.032	-0.046	-0.032	0.000	0.000
36	0.9854	-0.3341	-0.046	-0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total			0.032	0.048	7.617	5.417	-7.585	-5.369	0.032	0.048

Newton Raphson Loadflow Analysis Setelah Diinject

Bus No	V pu	Angle Degree	PQBUS MW	PQBUS MVar	PQSEND MW	PQSEND Mvar	PQREC MW	PQREC MVar	PQLOSS MW	PQLOSS MVar
1	1.0000	0.0000	1.656	-0.237	1.656	-0.237	-1.654	0.241	0.003	0.004

2	0.9988	-0.1431	-0.000	0.000	0.615	-0.480	-0.609	0.489	0.005	0.008
3	1.0000	-0.8768	-0.071	0.245	0.123	0.086	-0.123	-0.086	0.000	0.000
4	0.9983	-1.5382	-0.037	-0.026	0.266	0.188	-0.265	-0.187	0.001	0.001
5	0.9977	-2.0746	-0.030	-0.021	0.373	-0.230	-0.371	0.233	0.002	0.003
6	0.9972	-2.0849	-0.020	-0.014	0.277	0.195	-0.276	-0.194	0.001	0.002
7	0.9980	-2.5895	-0.080	-0.056	0.538	-0.244	-0.534	0.250	0.004	0.006
8	1.0000	-3.0691	-0.148	0.527	0.497	-0.276	-0.494	0.280	0.003	0.004
9	0.9953	-3.1772	-0.078	-0.055	0.020	0.014	-0.020	-0.014	0.000	0.000
10	0.9950	-3.1838	-0.013	-0.009	0.443	-0.316	-0.441	0.320	0.003	0.004
11	0.9930	-3.2285	-0.076	-0.053	0.361	-0.375	-0.359	0.379	0.002	0.004
12	0.9921	-3.2505	-0.042	-0.030	0.211	0.148	-0.210	-0.147	0.001	0.001
13	0.9965	-0.1960	-0.123	-0.086	0.013	0.009	-0.013	-0.009	0.000	0.000
14	0.9938	-0.2568	-0.082	-0.057	0.119	0.083	-0.119	-0.083	0.000	0.000
15	0.9934	-0.2661	-0.018	-0.013	0.042	0.030	-0.042	-0.030	0.000	0.000
16	0.9901	-0.3424	-0.010	-0.007	0.018	0.013	-0.018	-0.013	0.000	0.000
17	0.9872	-0.4097	-0.040	-0.028	0.165	0.117	-0.165	-0.116	0.000	0.001
18	0.9846	-0.4696	-0.021	-0.014	0.155	0.109	-0.154	-0.108	0.000	0.001
19	0.9828	-0.5106	-0.019	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
20	0.9814	-0.5431	-0.034	-0.024	0.093	0.065	-0.093	-0.065	0.000	0.000
21	0.9805	-0.5640	-0.039	-0.027	0.073	0.051	-0.073	-0.051	0.000	0.000
22	0.9987	-0.5574	-0.077	-0.054	0.039	0.027	-0.039	-0.027	0.000	0.000
23	1.0000	-0.9383	-0.078	0.440	0.294	-0.287	-0.293	0.289	0.002	0.002
24	0.9960	-1.0299	-0.037	-0.026	0.214	0.151	-0.214	-0.150	0.001	0.001
25	0.9951	-1.0495	-0.038	-0.027	0.038	0.027	-0.038	-0.027	0.000	0.000
26	0.9929	-1.1020	-0.038	-0.027	0.139	0.098	-0.139	-0.097	0.000	0.000
27	0.9913	-1.1370	-0.069	-0.048	0.101	0.071	-0.101	-0.071	0.000	0.000
28	0.9910	-1.1446	-0.017	-0.012	0.017	0.012	-0.017	-0.012	0.000	0.000
29	0.9911	-1.1423	-0.015	-0.011	0.015	0.011	-0.015	-0.011	0.000	0.000
30	0.9937	-0.2615	-0.017	-0.012	0.045	0.031	-0.045	-0.031	0.000	0.000

31	0.9932	-0.2731	-0.045	-0.031	0.214	0.150	-0.214	-0.150	0.000	0.001
32	0.9912	-0.3170	-0.079	-0.055	0.135	0.095	-0.135	-0.094	0.000	0.000
33	0.9897	-0.3522	-0.021	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
34	0.9884	-0.3821	-0.039	-0.028	0.028	0.020	-0.028	-0.020	0.000	0.000
35	0.9878	-0.3969	-0.028	-0.020	0.046	0.032	-0.046	-0.032	0.000	0.000
36	0.9874	-0.4064	-0.046	-0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total			0.029	0.045	7.612	-0.452	-7.583	0.496	0.029	0.045

Pilihan jenis Facts Device

1 : TCVR saja

2 : SVC saja

3 : Kombinasi antara TCVR dan SVC

Pilihan Anda : 3

Banyaknya FACTS yang digunakan : 3

Newton Raphson Loadflow Analysis Sebelum Diinject

Bus	V	Angle	PQBUS		PQSEND		PQREC		PQLOSS	
No	pu	Degree	MW	MVar	MW	Mvar	MW	MVar	MW	MVar
1	1.0000	0.0000	1.659	1.188	1.659	1.188	-1.655	-1.182	0.004	0.006
2	0.9969	-0.0698	-0.000	0.000	0.616	0.447	-0.611	-0.439	0.005	0.008
3	0.9851	-0.3294	-0.071	-0.050	0.123	0.086	-0.123	-0.086	0.000	0.000
4	0.9727	-0.6105	-0.037	-0.026	0.266	0.188	-0.265	-0.187	0.001	0.001
5	0.9631	-0.8331	-0.030	-0.021	0.373	0.265	-0.371	-0.262	0.002	0.003
6	0.9626	-0.8443	-0.020	-0.014	0.277	0.195	-0.276	-0.194	0.001	0.002
7	0.9544	-1.0366	-0.080	-0.056	0.539	0.390	-0.534	-0.382	0.005	0.008
8	0.9473	-1.2058	-0.148	-0.104	0.497	0.356	-0.493	-0.350	0.004	0.005
9	0.9423	-1.3263	-0.078	-0.055	0.020	0.014	-0.020	-0.014	0.000	0.000
10	0.9420	-1.3336	-0.013	-0.009	0.443	0.315	-0.440	-0.311	0.003	0.004
11	0.9400	-1.3835	-0.076	-0.053	0.361	0.255	-0.359	-0.252	0.002	0.003
12	0.9390	-1.4081	-0.042	-0.030	0.211	0.148	-0.210	-0.147	0.001	0.001
13	0.9946	-0.1229	-0.123	-0.086	0.013	0.009	-0.013	-0.009	0.000	0.000
14	0.9919	-0.1840	-0.082	-0.057	0.119	0.083	-0.119	-0.083	0.000	0.000
15	0.9915	-0.1933	-0.018	-0.013	0.042	0.030	-0.042	-0.030	0.000	0.000
16	0.9881	-0.2699	-0.010	-0.007	0.018	0.013	-0.018	-0.013	0.000	0.000
17	0.9852	-0.3375	-0.040	-0.028	0.165	0.117	-0.165	-0.116	0.000	0.001

18	0.9826	-0.3976	-0.021	-0.014	0.155	0.109	-0.154	-0.108	0.000	0.001
19	0.9808	-0.4388	-0.019	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
20	0.9794	-0.4714	-0.034	-0.024	0.093	0.065	-0.093	-0.065	0.000	0.000
21	0.9785	-0.4924	-0.039	-0.027	0.073	0.051	-0.073	-0.051	0.000	0.000
22	0.9899	-0.2295	-0.077	-0.054	0.039	0.027	-0.039	-0.027	0.000	0.000
23	0.9843	-0.3576	-0.078	-0.055	0.294	0.208	-0.293	-0.206	0.001	0.002
24	0.9802	-0.4522	-0.037	-0.026	0.214	0.151	-0.214	-0.150	0.001	0.001
25	0.9793	-0.4724	-0.038	-0.027	0.038	0.027	-0.038	-0.027	0.000	0.000
26	0.9770	-0.5266	-0.038	-0.027	0.139	0.098	-0.139	-0.097	0.000	0.000
27	0.9755	-0.5628	-0.069	-0.048	0.101	0.071	-0.101	-0.071	0.000	0.000
28	0.9751	-0.5706	-0.017	-0.012	0.017	0.012	-0.017	-0.012	0.000	0.000
29	0.9752	-0.5682	-0.015	-0.011	0.015	0.011	-0.015	-0.011	0.000	0.000
30	0.9917	-0.1887	-0.017	-0.012	0.045	0.031	-0.045	-0.031	0.000	0.000
31	0.9912	-0.2003	-0.045	-0.031	0.214	0.150	-0.214	-0.150	0.000	0.001
32	0.9893	-0.2444	-0.079	-0.055	0.135	0.095	-0.135	-0.094	0.000	0.000
33	0.9877	-0.2798	-0.021	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
34	0.9864	-0.3097	-0.039	-0.028	0.028	0.020	-0.028	-0.020	0.000	0.000
35	0.9858	-0.3246	-0.028	-0.020	0.046	0.032	-0.046	-0.032	0.000	0.000
36	0.9854	-0.3341	-0.046	-0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total			0.032	0.048	7.617	5.417	-7.585	-5.369	0.032	0.048

Newton Raphson Loadflow Analysis Setelah Diinject

Bus No	V pu	Angle Degree	PQBUS MW	PQBUS MVar	PQSEND MW	PQSEND Mvar	PQREC MW	PQREC MVar	PQLOSS MW	PQLOSS MVar
1	1.0000	0.0000	1.656	-0.103	1.656	-0.103	-1.654	0.107	0.002	0.004

2	0.9987	-0.1362	-0.000	0.000	0.615	-0.247	-0.611	0.253	0.004	0.006
3	0.9966	-0.7514	-0.071	-0.050	0.123	0.086	-0.123	-0.086	0.000	0.000
4	0.9958	-1.4548	-0.037	-0.026	0.266	-0.044	-0.266	0.045	0.001	0.001
5	0.9960	-2.0253	-0.030	-0.021	0.373	-0.098	-0.372	0.100	0.001	0.002
6	0.9955	-2.0357	-0.020	-0.014	0.277	0.195	-0.276	-0.194	0.001	0.002
7	0.9972	-2.5732	-0.080	-0.056	0.539	-0.303	-0.535	0.309	0.004	0.006
8	1.0000	-3.0849	-0.148	0.588	0.498	-0.335	-0.495	0.340	0.003	0.005
9	0.9953	-3.1930	-0.078	-0.055	0.020	0.014	-0.020	-0.014	0.000	0.000
10	0.9950	-3.1996	-0.013	-0.009	0.444	-0.375	-0.441	0.380	0.003	0.005
11	0.9930	-3.2443	-0.076	-0.053	0.362	-0.436	-0.359	0.440	0.003	0.004
12	0.9921	-3.2663	-0.042	-0.030	0.211	0.148	-0.210	-0.147	0.001	0.001
13	0.9963	-0.1891	-0.123	-0.086	0.013	0.009	-0.013	-0.009	0.000	0.000
14	0.9969	-0.3699	-0.082	-0.057	0.119	0.083	-0.119	-0.083	0.000	0.000
15	0.9965	-0.3791	-0.018	-0.013	0.042	0.030	-0.042	-0.030	0.000	0.000
16	0.9970	-0.5992	-0.010	-0.007	0.018	0.013	-0.018	-0.013	0.000	0.000
17	0.9973	-0.7858	-0.040	-0.028	0.166	-0.115	-0.165	0.115	0.000	0.001
18	0.9985	-0.9885	-0.021	-0.014	0.155	-0.122	-0.155	0.123	0.000	0.001
19	1.0000	-1.1482	-0.019	0.218	0.114	-0.151	-0.114	0.152	0.000	0.001
20	0.9986	-1.1796	-0.034	-0.024	0.093	-0.166	-0.093	0.167	0.000	0.001
21	0.9978	-1.1998	-0.039	-0.027	0.073	0.051	-0.073	-0.051	0.000	0.000
22	0.9967	-0.4829	-0.077	-0.054	0.039	0.027	-0.039	-0.027	0.000	0.000
23	0.9961	-0.7973	-0.078	-0.055	0.295	-0.154	-0.294	0.156	0.001	0.002
24	0.9971	-1.0779	-0.037	-0.026	0.215	-0.211	-0.214	0.212	0.001	0.001
25	0.9963	-1.0974	-0.038	-0.027	0.038	0.027	-0.038	-0.027	0.000	0.000
26	1.0000	-1.3749	-0.038	0.337	0.140	-0.264	-0.139	0.266	0.001	0.001
27	0.9985	-1.4095	-0.069	-0.048	0.101	0.071	-0.101	-0.071	0.000	0.000
28	0.9982	-1.4169	-0.017	-0.012	0.017	0.012	-0.017	-0.012	0.000	0.000
29	0.9983	-1.4146	-0.015	-0.011	0.015	0.011	-0.015	-0.011	0.000	0.000
30	0.9935	-0.2546	-0.017	-0.012	0.045	0.031	-0.045	-0.031	0.000	0.000

31	0.9930	-0.2663	-0.045	-0.031	0.214	0.150	-0.214	-0.150	0.000	0.001
32	0.9911	-0.3102	-0.079	-0.055	0.135	0.095	-0.135	-0.094	0.000	0.000
33	0.9895	-0.3454	-0.021	-0.014	0.114	0.080	-0.114	-0.080	0.000	0.000
34	0.9882	-0.3753	-0.039	-0.028	0.028	0.020	-0.028	-0.020	0.000	0.000
35	0.9876	-0.3901	-0.028	-0.020	0.046	0.032	-0.046	-0.032	0.000	0.000
36	0.9872	-0.3996	-0.046	-0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total			0.029	0.045	7.619	-1.939	-7.590	1.984	0.029	0.045