

## OPTIMASI PENEMPATAN *MULTI FACTS DEVICES* PADA SISTEM KELISTRIKAN SULAWESI SELATAN MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA.

Umar<sup>1,2)</sup>, Adi Soeprijanto<sup>1)</sup>, Mauridhi Hery Purnomo<sup>1)</sup>

1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2. Universitas Khairun Ternate

Email: [umar@elect-eng.its.ac.id](mailto:umar@elect-eng.its.ac.id), [umarmh@yahoo.com](mailto:umarmh@yahoo.com)

### Abstraksi

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 paper ini, *breeder algoritma genetika (BGA)* digunakan untuk menentukan lokasi optimal *FACTS devices* dalam sistem ketenagalistrikan Sulawesi Selatan. Optimasi secara simultan dilakukan pada dua parameter yaitu lokasi dan rating *FACTS devices* untuk meningkatkan *loadability* sistem tenaga. Jenis *FACTS devices* yang digunakan adalah *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*, dan *Static Var Compensator (SVC)*. Hasil optimasi dengan menggunakan software *MATLAB* versi 7.04 menunjukkan bahwa penggunaan *SVC* memiliki performansi yang jauh lebih baik dalam meningkatkan *loadability* sistem Sulawesi Selatan bila dibandingkan dengan menggunakan *TCSC*.

**Keywords:** *Breeder Algoritma Genetik, FACTS devices, loadability, TCSC(Thyristor Controlled Series Capacitor), SVC(Static Var Compensator)*..

### I. PENDAHULUAN

Saluran transmisi merupakan bagian yang sangat penting untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit. Jaringan yang luas menyebabkan pengoperasian sistem tenaga menjadi lebih rumit [4,6,11,18,19]. *Congestion* dapat terjadi pada *line transmisi* akibat peningkatan transfer daya pada pada *line transmisi* untuk memenuhi pertumbuhan beban dan interkoneksi antar jaringan yang melibatkan ribuan bus dan ratusan generator[10,20]. Untuk menjamin keamanan operasi sistem, pada umumnya sistem transmisi tegangan tinggi beroperasi jauh dibawah rating termalnya akibat adanya batas tegangan dan batas kestabilan[1,4,8,13].

Perkembangan *power electronics*[3], perhatian terhadap lingkungan, serta semakin meningkatnya biaya yang diperlukan untuk membangun saluran transmisi dan pusat pembangkit yang baru merupakan alasan penggunaan *FACTS devices*. Disisi yang lain *loadability* dari sistem yang telah ada dapat ditingkatkan[1,8,12,13,16,17], sehingga sistem menjadi lebih fleksibel terhadap pembangkitan dan beban yang bervariasi[6]. Parameter saluran transmisi seperti impedansi, tegangan terminal, dan sudut tegangan dapat dikontrol secara cepat dan efektif dengan menggunakan *FACTS devices* [1,20,15].

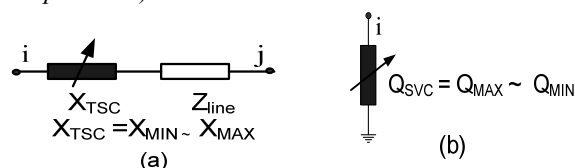
Semenjak diperkenalkan oleh Hingorani pada tahun 1988 [10], berbagai riset telah dilakukan berkaitan dengan *FACTS devices* dengan tinjauan

yang berbeda, misalnya riset tentang *load flow* akibat penambahan *FACTS devices* pada *line transmisi* [2,3,15], *optimal power flow* [11], tinjauan stabilitas[5] dan tinjauan ekonomis [10].

Algoritma genetika adalah teknik pencarian secara adaptif berdasarkan prinsip dan mekanisme evolusi biologis [1,6,11]. Dalam sistem tenaga, algoritma genetika telah banyak digunakan, misalnya penentuan letak optimal kapasitor [14] dan penentuan letak *phase shifter* pada sistem tenaga [17]. Jenis dan penempatan *FACTS devices* yang berbeda akan memberikan efek yang berbeda terhadap kemampuan transfer daya listrik saluran transmisi..

### II. *FACTS DEVICES*

Pada paper ini terdapat dua jenis *FACTS devices* berbeda yang dipilih untuk mengontrol aliran daya yaitu: *TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)*, dan *SVC (Static Var Compensator)*.



Gambar 1. Diagram fungsi (a) *TCSC*, (b) *SVC*

TCSC dapat berfungsi sebagai reaktansi kapasitif maupun reaktansi induktif untuk mengubah reaktansi line transmisi. Untuk mencegah terjadinya resonansi, hanya satu dari ketiga elemen dapat dipasang pada saluran [1]. Rating TCSC tergantung pada reaktansi line transmisi dimana TCSC ditempatkan:

$$X_{ij} = X_{Line} + X_{TSC}, \quad X_{TSC} = rtscsc \cdot X_{Line} \quad (1)$$

dengan:

$X_{Line}$  = reaktansi line transmisi dimana TCSC ditempatkan

$rtscsc$  = koefisien kompensasi TCSC.

Untuk mencegah *overkompensasi*, TCSC di set pada daerah kerja antara  $-0,7X_{Line} - 0,2 X_{Line}$  [1].  
 $rtscsc_{min} = -0,7$ ;  $rtscsc_{max} = 0,2$

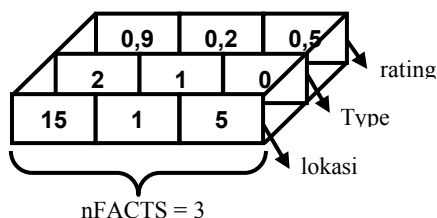
SVC dioperasikan untuk injeksi daya aktif kapasitif maupun induktif. SVC dimodelkan sebagai sumber injeksi daya reaktif pada bus  $i$ :

$$\Delta Q_{is} = Q_{SVC} \quad (2)$$

Nilai SVC ditetapkan antara -100 Mvar sampai 100 Mvar [1].

### III. ALGORITMA GENETIKA 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.



Gambar 2. Konfigurasi individu dari FACTS devices

#### 3.1 Pengkodean

Konfigurasi  $nFACTS$  devices ditentukan oleh tiga parameter, yaitu lokasi, type dan rating FACTS devices [1]. 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 [1, 20]. String yang kedua berkaitan dengan type FACTS devices. Nilai disesuaikan dengan penomoran pada FACTS device, yaitu 1 untuk TCSC, 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*.

TCSC: bekerja pada range  $-0,7 X_{Line}$  sampai  $0,2 X_{Line}$ . Rating sebenarnya adalah:

$$rtscsc = rf \cdot x0.45 - 0,25 \text{ pu} \quad (3)$$

SVC bekerja dengan range -100Mvar sampai 100Mvar. Daya reaktif sebenarnya yang disuplai atau diabsorbsi oleh SVC adalah:

$$rsvc = rf \cdot x100 \text{ (Mvar)} \quad (4)$$

#### 3.2 Inisialisasi populasi

Populasi awal dibuat dari parameter berikut:

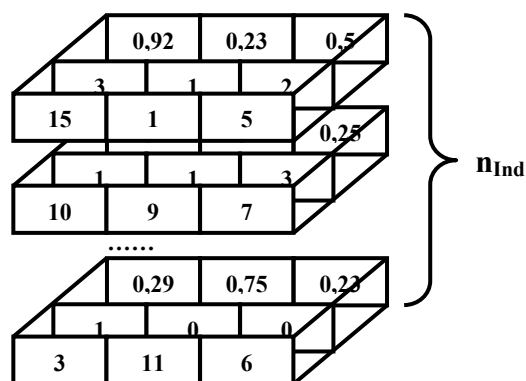
$n_{FACTS}$  : Jumlah FACTS device yang ditempatkan

$n_{Type}$  : Jenis-jenis FACTS devices

$n_{Location}$  : Lokasi yang memungkinkan untuk FACTS devices

$n_{Ind}$  : 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.



Gambar 3. Keseluruhan Individu dalam populasi

#### 3.3 Fitness

Fungsi objektif untuk optimasi penempatan FACTS devices diperoleh dengan menggabungkan dua kriteria optimasi. Kriteria yang pertama berkaitan dengan *branch loading* pada saluran transmisi 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 objektif untuk konfigurasi optimal FACTS devices adalah:

$$J = \prod_{line} Ovl_{line} \times \prod_{bus} VS_{bus} \quad (5)$$

Dengan:

$$VS = \begin{cases} 1 & \text{jika } 0,95 \leq V_i \leq 1,05 \\ \exp(\mu |1 - V_i|), & \text{untuk } V_i \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$Ovl = \begin{cases} 1 & \text{jika } P_{ij} \leq P_{ij} \text{Max} \\ \exp\left(\lambda \left|1 - \frac{P_{ij}}{P_{ij} \text{Max}}\right|\right), & \text{jika } P_{ij} > P_{ij} \text{Max} \end{cases}$$

J = line limit violation

$\mu$  dan  $\lambda$  = bilangan positif kecil (dalam paper ini, keduanya bernilai 0.1).

### 3.4 Reproduksi

Adalah proses pemilihan individu untuk berpindah menuju generasi baru menurut fitnessnya. Metode seleksi yang digunakan adalah *roulette wheel*. Masing-masing kromosom 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 [7,14]:

$$fi = \frac{1}{N} \left( \eta^+ - (\eta^+ - \eta^-) x \frac{i-1}{N-1} \right) \quad (6)$$

Dengan:

f i = Nilai fitness individu ke-i

N = Ukuran populasi

$\eta^+$  = Nilai fitness maksimum

$\eta^-$  = Nilai fitness minimum

### 3.5 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 4 memperlihatkan proses *crossover* [1].

### 3.6 Mutasi

Mutasi digunakan untuk memperkenalkan beberapa penyebaran tiruan dalam populasi sehingga tidak terjadi konvergensi dini. Pada paper ini digunakan *nonuniform mutation* [1,9,14]. Jika elemen ke -i dari individu  $V=[v_1, v_2, v_i \dots v_n]$ , yang terpilih untuk melakukan mutasi, maka *offspring*

yang dihasilkan adalah  $V'=[v_1, v_2, v_k' \dots v_n]$ , dan  $v_k'$  adalah:

$$v_k' = \begin{cases} v_k + \Delta(t, v_k - l_k) & \text{jika random} = 0 \\ v_k - \Delta(t, v_k - l_k) & \text{jika random} = 1 \end{cases} \quad (8)$$

Dengan:

$$\Delta(t, y) = y \cdot (1 - r)^{\left(1 - \frac{t}{T}\right)^b} \quad (9)$$

uk = nilai maksimum vk

lk = nilai minimum vk

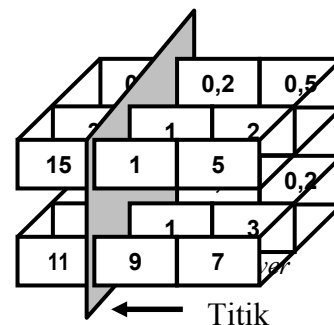
t = generasi

T = maksimum generasi

r = random [0:1]

y = (uk-vk) atau (vk-lk).

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



Gambar 4. Crossover

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

### 3.7 Strategi optimasi penempatan FACTS Devices

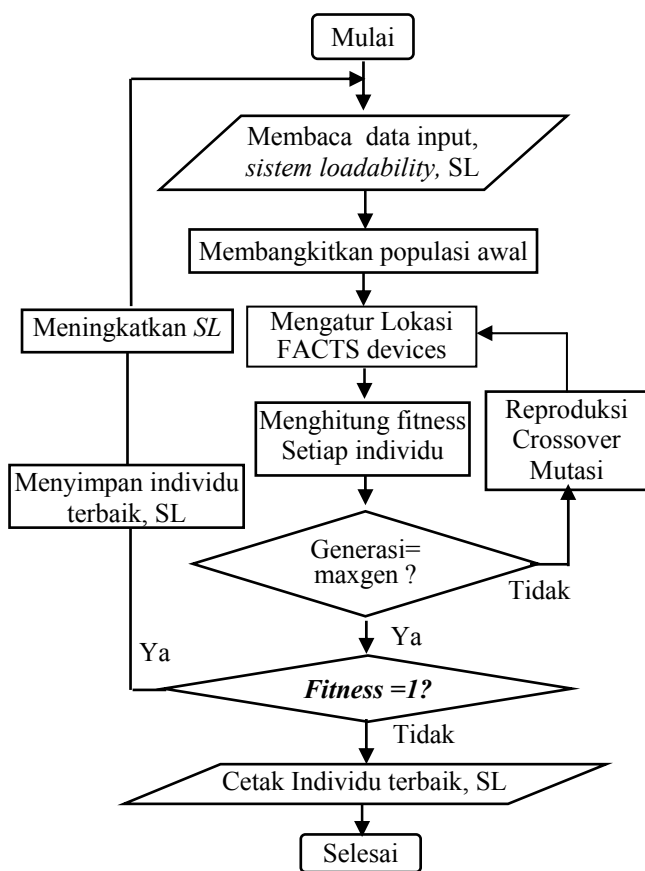
Tujuan optimasi penempatan FACTS devices adalah untuk memaksimalkan suplai daya dari sistem ke beban tanpa melampaui batas tegangan dan arus pada sistem. Untuk maksud tersebut, dari sejumlah tipe *FACTS devices* yang telah ditentukan, dicari lokasi dan rating yang paling tepat. Iterasi dimulai dengan loadability sistem, SL=1.05 dari beban awal. GA melakukan proses optimasi secara berulang jika nilai fitnessnya adalah 1, dengan pertambahan SL sebesar 0.05. Rugi daya akibat peningkatan transmisi daya, dibagi secara proporsional kepada seluruh generator dalam sistem. Strategi optimasi diperlihatkan pada gambar 5.

## IV. 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 Sulawesi Selatan. Sistem kelistrikan Sulawesi Selatan terdiri atas 35 bus; 23

bus 150 KV 10 bus 70 KV, 1 bus 30,4 KV dan 1 bus 30 KV, serta terdiri dari 38 saluran.

Ukuran populasi yang digunakan dalam paper ini adalah 35, dan maksimum generasi adalah 200. Peluang *crossover* adalah 0.95. Dalam satu individu, masing-masing string mempunyai peluang mutasi yang berbeda. Optimasi dilakukan dengan menggunakan maksimum 3 devices yang dibagi dalam 2 kasus, *single type device* dan *multi type devices*. *Single devices* hanya menggunakan TCSC atau SVC. Sedangkan pada *multi type devices*, yaitu dengan menempatkan TCSC dan SVC secara simultan pada sistem tenaga.



Gambar 5. Strategi optimasi

**Kasus I: Single type devices**

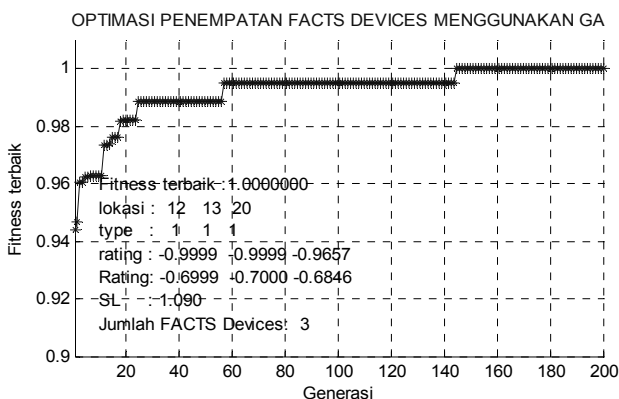
Untuk optimasi *single type*, dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan hanya menggunakan TCSC saja, dan yang kedua dengan hanya menggunakan SVC.

1. Menggunakan TCSC

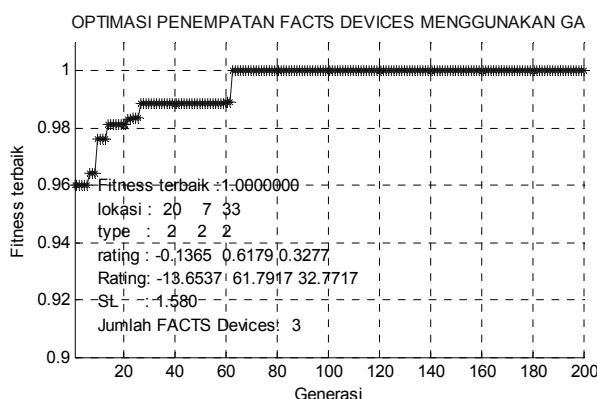
Hasil optimasi menggunakan GA, menunjukkan bahwa tiga buah TCSC hanya sanggup untuk meningkatkan *loadability* sistem Sulawesi Selatan sebesar 105%(SL=1,09). Hal ini diperlihatkan pada gambar 6.

Hasil Optimasi tiga buah TCSC:

- Pada Saluran 12 (bus 8 Pangkep 150 KV- bus 10 Tello 150 KV) ditempatkan TCSC dengan rating -0,6999 pu.
- Pada saluran 13 (bus 24 Pangkep 70 KV- bus 8 Tello 150 KV) ditempatkan TCSC dengan Rating -0,7pu.
- Pada saluran 20 (bus 31 Tello Lama 70 KV - bus 11 Tello Lama 150 KV) ditempatkan TCSC dengan Rating -0,6848 pu.



Gambar 6. Hasil Optimasi Penempatan 3 buah TCSC.



Gambar 7. Hasil Optimasi Penempatan 3 buah SVC, pada beban 158% (SL=1,58)

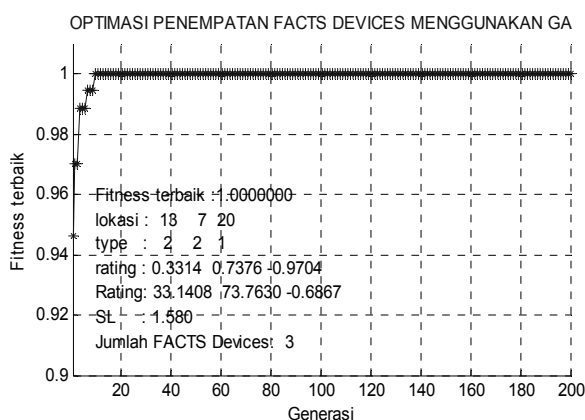
2. Menggunakan SVC

Hasil optimasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan SVC, mampu meningkatkan *loadability* sistem sampai dengan SL=1,58 seperti diperlihatkan pada Gambar 7.

Hasil optimasi SVC:

- Pada *send bus* saluran 7 (bus 7-Barru 150 KV) ditempatkan SVC dengan Rating 61.792 MVAR
- Pada *send bus* saluran 20 (bus 31-Tello Lama 70KV) ditempatkan SVC dengan Rating -13.6537 MVAR

- Pada *send bus* saluran 33 (bus 27-Mandai 70KV) ditempatkan SVC dengan Rating - 32.772 MVAR.



**Gambar 8.** Hasil Optimasi Penempatan 2 buah SVC dan satu buah TCSC pada beban 158%(SL=1,58)

#### **Kasus II:** Multi type devices

Hasil optimasi menggunakan GA, menunjukkan bahwa penggunaan TCSC dan SVC secara bersama, mampu untuk meningkatkan *loadability* sistem Sulawesi Selatan sampai dengan LF= 1.58, seperti diperlihatkan pada gambar 8.

Hasil optimasi FACTS devices dengan LF=1,55

- Pada *send bus* saluran 7 (bus 7- Barru 150KV) ditempatkan SVC dengan rating 73,7630 Mvar.
- Pada *send bus* saluran 13 (bus 24, Pangkep 70KV) ditempatkan SVC dengan rating 33,1408 MVAR.
- Pada saluran 20 (bus 31-Tello Lama 70KV -bus 11 Tello Lama 150 KV) ditempatkan TCSC dengan Rating -0,6867 pu.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil optimasi terlihat bahwa penggunaan TCSC untuk *single type devices* hanya mampu untuk meningkatkan *loadability* sistem Sulawesi Selatan sebesar 109%. Hal yang berbeda terjadi pada SVC, SVC mampu untuk meningkatkan *loadability* sistem sampai dengan 158%.

Untuk jumlah FACTS devices 3 buah, penggunaan TCSC secara bersama-sama dengan SVC hanya mampu meningkatkan *loadability* sistem sampai 158%. Hasil optimasi juga menunjukkan bahwa penggunaan SVC pada sistem Sulawesi Selatan sangat efektif untuk meningkatkan *loadability* sistem, bila dibandingkan dengan penggunaan TCSC.

## PUSTAKA

- [1] Lijun Cai and Istvan Erlich, Optimal Choice and Allocation of FACTS Device in Deregulated Electricity Market using Genetic Algorithm, IEEE Transaction On Power System, 2004
- [2] Douglas J. Gotham and G.T. Heydt, Power Flow Control and Power Flow Studies for Systems With FACTS Devices, IEEE Tanssaction on Power System, Vol 13, No. 1, Februari 1998.
- [3] CR Fuerte\_Esquivael, E Acha, A Newton Type Algorithm The Control of Power Flow in Electrical Power Network, Tanssaction On Power System, Vol 12, No. 4, November 1997.
- [4] Enrique Acha, Claudio R. Fuerte-Esquivel, Hugo Ambriz-Pe'rez, Ce'sar Angeles-Camacho", FACTS Modelling and Simulation in Power Networks", John Wiley & Sons Ltd, 2004
- [5] Edvina Uzunovict, "EMTP, Transient Stability and Power Flow Model and Control of VSC Based FACTS Controllers, S3 Thesis, University of Waterloo, Ontario Canada 2001.
- [6] Klaus Habur and Donal O'Leary, FACTS for Cost Effective and Reliable Transmission of Electrical Energy Siemens AG, Erlangen Germany.
- [7] Suyanto, Algoritma Genetika dalam MATLAB, Andi Ofset Yogyakarta, 2005.
- [8] John J. Paserba, Gregory FR, M. Takeda, T. Arutsuka, FACTS and Custom Power Equipment for The Enchancement of Power Transmission System Performance and Power Quality, Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning (VII SEPOPE), Brazil, 2000.
- [9] Zbingniew Michalewicz, Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Programs, Springer, USA, 1996.
- [10] Kwang-Ho Lee and Jun-Mo Moon, Optimal Siting of UPFC for Reducting Congestion Cost by Using Shadow Prices, IEEE transaction on PE, 11A-4, 2001.
- [11] Tina Orfanogianni, A Flexible software Environment for Steady State Power Flow Optimization With Series FACTS Devices, S3 dissertation, ETH Zurich, 2000.
- [12] Murat Fahrioglu, Fernando L. Alvarado, Using TCSC Devices for Optimal Economic Dispatch, Department of Electrical and Computing Engineering of Wisconsin University....
- [13] Joseph Mutane and Goran Strbac, Transmission Network Reinforcement Versus FACTS: An Economic Assesment, IEEE Tanssaction On Power System Vol 15, No 3, August 2000.

- [14] Masatoshi Sakawa, *Genetic Algorithm and Fuzzy Multiobjective Optimization*, Kluwert Academic Publisher, Massachusetts, 2002
- [15] Stephane Gerbex, Rachid Cerkaoui, and Alain J. Germond, "Optimal Location of Multy-Type FACTS Devices in a Power system by Means of Genetic Algorithm", *IEEE Tanssaction On Power System*, Vol 16, No. 3, August 2001.
- [16] E.J. Oliveira, J. W. Marangon Lima, K.C. Almeida, *Allocation of FACTS Devices in Hydrothermal Systems*, *IEEE Transaction on Power Systems* Vol. 15, No. 1 February 2000.
- [17] Pierre Paterni, Sylvain Vitet, Michel Bena, A. Yokoyama, *Optimal Location of Phase Shifter in The French Network by Genetic Algorithm*, *IEEE Transaction on Power Systems* vol. 14, No. 1 February 1999.
- [18] Zuwei Yu and D. lusan, "Optimal Placement of FACTs Device in Deregulated Systems Considering Losses, *ELSEVIER Electrical Power and Energy System* 26(2004) 818-819, July 2004
- [19] Narayana Prasad Padhy, M.A. Abdel Moamen, *Power flow control and solution with multiple and multi-type FACTS device*, *Esevier Electric power system research* 2004.
- [20] G. Glanzmann, G. Andersson, *Coordinated Control of FACTS Devices base on Optimal Power Flow*, 2004.