

OPTIMASI PENEMPATAN SVC DAN TCSC UNTUK PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENGURANGI RUGI TRANSMISI MENGGUNAKAN METODE *REAL-CODED GENETIC ALGORITHM*

Imam Suwandi¹, Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.², Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: imamsuandi@gmail.com

Abstrack—Increasing load on the power system and far location substation from generator cause significant drop voltage and rise power losses. This problem can solve with using FACTS devices, such as SVC (Static Var Compensator) and TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor). In this study SVC and TCSC is used for reducing power losses and solving drop voltage. Determining the optimal location and size of SVC and TCSC use Real-coded Genetic Algorithm method. This method is applied on Java-Bali 500 kV transmission system with two kind of loading condition is 100% and 80%. The simulation result show that using SVC and TCSC can reduce active power loss 10,65% and reactive power loss 35,36% on loading condition 100%. And reduce active power loss 7,78% and reactive power loss 24,08% on loading condition 80%. The other than the voltage level system can improved until meet the standar allowed.

Key Words—SVC, TCSC, Real-coded Genetic Algorithm.

Abstrak—Peningkatan beban pada sistem tenaga listrik dan letak gardu induk yang jauh dari pembangkit menyebabkan jatuh tegangan yang cukup signifikan dan menimbulkan nilai rugi daya yang besar. Masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan FACTS devices, diantaranya SVC (*Static Var Compensator*) dan TCSC (*Thyristor Controlled Series Capacitor*). Pada penelitian ini SVC dan TCSC digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya transmisi dan mengatasi masalah penurunan level tegangan. Penentuan lokasi dan kapasitas yang optimal untuk penempatan SVC dan TCSC dilakukan dengan menggunakan metode *Real-coded Genetic Algorithm* (RGA). Metode ini diterapkan pada sistem tenaga listrik Jawa-Bali 500kV dengan dua kondisi pembebanan, yaitu 100% dan 80%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan SVC dan TCSC mampu mengurangi rugi daya aktif dan reaktif sebesar 10,56% dan 35,36% pada pembebanan 100%, sedangkan pada pembebanan 80% rugi daya aktif dan reaktif turun sebesar 7,78% dan 24,08%. Selain itu juga mampu memperbaiki tegangan tiap bus pada sistem hingga beradaptasi dengan tegangan yang diijinkan.

Kata kunci—SVC, TCSC, Real-coded Genetic Algorithm.

I. PENDAHULUAN

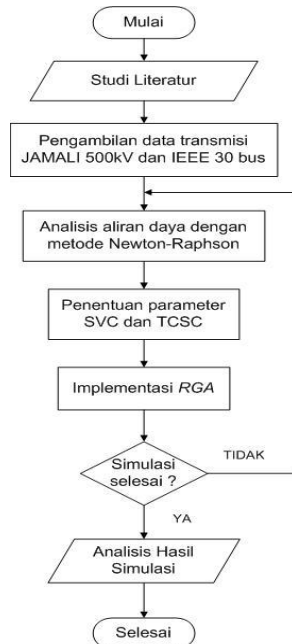
Tantangan bagi operasi sistem tenaga listrik karena peningkatan jumlah beban tidak sebanding dengan perluasan sistem pembangkit tenaga listrik. Masalah lain yaitu letak gardu induk yang sangat jauh dari pusat pembangkit. Sehingga dibutuhkan keandalan sistem yang baik dalam memenuhi kebutuhan beban. Drop tegangan dan rugi transmisi merupakan masalah yang banyak dialami oleh sistem tenaga listrik.

Beberapa cara untuk menstabilkan level tegangan dan mengurangi rugi daya antara lain dengan menggunakan peralatan *Flexible Alternating Current Transmission System* (FACTS). Pada penelitian ini dikaji penggunaan dua FACTS devices type *impedance variable* yaitu *Static Var Compensator* (SVC) dan *Thyristor Controlled Series Capacitor* (TCSC) untuk mengatasi masalah drop tegangan dan meminimalisir rugi-rugi daya pada saluran.

Penentuan lokasi dan rating yang optimal untuk penempatan SVC dan TCSC dilakukan dengan menggunakan metode *Real-coded Genetic Algorithm* (RGA). RGA adalah metode optimasi pengembangan dari GA (Genetic Algorithm) dimana metode ini mengadopsi dari proses evolusi makhluk hidup [1].

II. PENERAPAN METODE OPTIMASI RGA

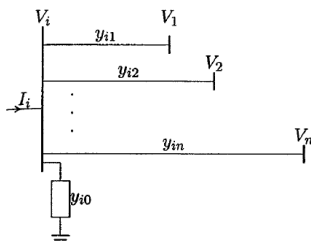
Alur penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam penelitian ini, metode RGA diaplikasikan pada data sistem tenaga listrik Jawa-Bali 500kV yang diambil pada tanggal 7 Mei 2013 pukul 10.00 WIB yang terdiri dari 26 bus dan 31 saluran [2].



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya dilakukan untuk mengetahui sudut dan besar tegangan pada tiap bus, impedansi saluran, daya aktif, dan daya reaktif yang mengalir pada saluran transmisi, serta rugi-rugi daya pada saluran. Representasi dari saluran transmisi ditunjukkan seperti pada Gambar 2[3] :



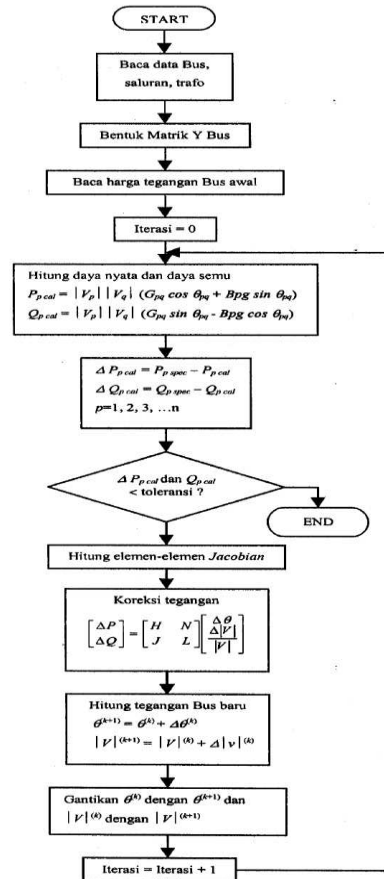
Gambar 2. Tipikal bus pada sistem tenaga [3]

Dari Gambar 2, tegangan bus bus dan arus dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1i} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2i} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \cdots & Y_{ii} & \cdots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{ni} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \quad (2)$$

Pada penelitian ini digunakan metode Newton-Raphson untuk menghitung aliran daya sistem. Prosedur penyelesaian aliran daya dengan metode Newton-Raphson secara umum dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.



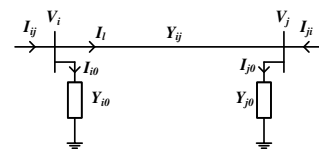
Gambar 3. Diagram Alir Metode Newton-Raphson[4]

Langkah selanjutnya adalah perhitungan rugi-rugi saluran. Aliran arus diasumsikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Jika arus mengalir dari i ke j, maka:

$$I_{ij} = I_1 + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (3)$$

Apabila ditinjau dari sisi bus i, maka arus yang mengalir bernilai negatif seperti Persamaan (15):

$$I_{ji} = -I_1 + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \quad (4)$$



Gambar 4. Pemodelan saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya [3]

Daya kompleks S_{ij} dari bus i ke j dan S_{ji} dari bus j ke i adalah:

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i (V_i^* - V_j^*) y_{ij}^* + V_i V_i^* y_{i0}^* \quad (5)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* = V_j (V_j^* - V_i^*) y_{ij}^* + V_j V_j^* y_{j0}^* \quad (6)$$

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (7)$$

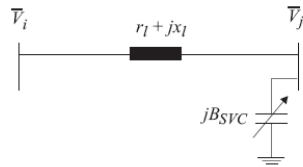
Dengan S_{Lij} merupakan total rugi daya saluran dari i ke j (MVA).

B. Static Var Compensator (SVC)

SVC merupakan salah satu jenis perangkat FACTS tipe *impedance variable* yang berfungsi baik untuk membangun maupun menyerap daya reaktif. Pada bentuk yang paling sederhana, SVC terdiri atas *thyristor controlled reactor* (TCR)

yang dipasang secara paralel dengan kapasitor bank. Prinsip kerja SVC secara umum adalah mengompensasi daya reaktif dengan cara mengatur sudut penyalakan thyristor sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC [5].

Representasi pemodelan SVC yang terhubung pada saluran dan j ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Representasi SVC

Daya reaktif yang diinjeksikan pada titik j dituliskan dalam persamaan berikut [5]:

$$Q_j = -V_j^2 B_{SVC} \quad (8)$$

dengan:

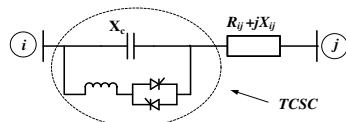
Q_j = daya reaktif pada titik j

V_j = tegangan pada titik j

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

C. Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)

TCSC adalah salah satu jenis peralatan FACTS yang merupakan kombinasi antar komponen Thyristor Controlled Reactor (TCR) dengan kapasitor [6]. TCR terdiri dari induktor yang terhubung seri dengan thyristor. TCSC mampu mengatur reaktansi saluran transmisi dengan melakukan pengaturan sudut penyalakan thyristor. Gambar 4 merupakan rangkaiannya sederhana dari TCSC.

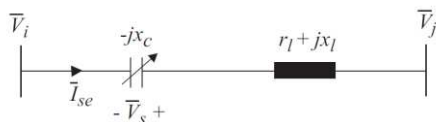


Gambar 4. Rangkaian sederhana TCSC [6]

Untuk mencegah terjadinya kompensasi berlebihan, derajat kompensasi TCSC diatur pada nilai 20% induktif dan 80% kapasitif atau $-0,8X_{line}$ hingga $0,2X_{line}$ [6], sehingga :

$$r_{TCSCmin} = -0,8X_{line} \quad r_{TCSCmax} = 0,2X_{line}$$

Pemodelan TCSC dengan persamaannya yang dapat mengubah nilai reaktansi saluran transmisi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Model TCSC pada Saluran Transmisi [5]

Hubungan antara rating TCSC dengan reaktansi pada saluran transmisi dinyatakan sebagai berikut :

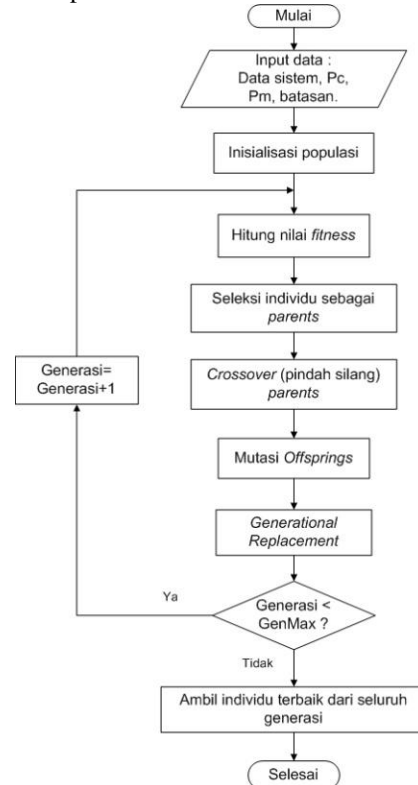
$$X_{total} = X_{saluran} + X_{TCSC} \quad (9)$$

$$X_{TCSC} = r_{TCSC} \times X_{saluran} \quad (10)$$

dengan $X_{saluran}$ merupakan reaktansi saluran transmisi dan r_{TCSC} adalah rating kompensasi TCSC.

D. Real-coded Genetic Algorithm (RGA) [7]

Siklus perkembangan RGA sama dengan GA standar. Secara umum implementasi RGA dapat dijelaskan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 6. Diagram Alir RGA

Dari diagram alir diatas, langkah-langkah dalam penerapan metode RGA adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi Populasi.

Pembuatan populasi awal dilakukan dengan cara membangkitkan bilangan acak sejumlah ukuran populasinya. Satu individu menyatakan satu solusi, dan setiap individu terdiri dari 2 parameter yaitu lokasi dan rating. Konfigurasi untuk setiap individu ditunjukkan pada Gambar 7.

	0.76	0.34	0.57	0.89	0.12	0.44	→ Rating
25	12	9	20	23	18		→ Lokasi
nFACTS = 6							

Gambar 7. Konfigurasi individu FACTS devices [8]

2. Evaluasi fungsi

Evaluasi fungsi digunakan untuk mendapatkan nilai fitness dari setiap individu, dimana nilai fitness itu adalah representasi dari besarnya rugi daya nyata. Sehingga fungsi fitness sesuai persamaan 11 [9].

$$f = z / P_{oss} \quad (11)$$

P_{loss} adalah rugi daya aktif dan z adalah nilai sembarang yang membuat fitness bernilai positif.

3. Seleksi

Digunakan metode seleksi *Roulette-Wheel* untuk memilih dua individu sebagai *parent*.

4. Crossover (Pindah Silang)

Crossover dilakukan untuk mendapatkan individu baru (*offspring*). Operator *crossover* yang digunakan adalah *arithmetic crossover*.

5. Mutasi

Mutasi adalah proses mengganti nilai gen sebelumnya dengan nilai baru yang ditentukan secara acak dengan range yang ditentukan sebelumnya. Mutasi digunakan untuk menjaga diversitas kromosom sehingga terhindar dari konvergensi dini.

6. Penggantian Populasi

Metode penggantian populasi yang digunakan adalah jenis *Generational Replacement*. Selain itu digunakan elitisme untuk mempertahankan individu terbaik ke dalam generasi berikutnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan simulasi telah ditentukan parameter SVC dan TCSC serta parameter RGA. Untuk SVC digunakan kapasitas dari 0-250 MVAR, sedangkan untuk TCSC digunakan rating $-0,8X_{line}$ sampai $0,2X_{line}$. Parameter RGA untuk P_c dan P_m didapat dari pengujian pada sistem seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Sementara untuk ukuran populasi (*popsize*) sebanyak 20 dan maksimum generasi (*MaxG*) 30 generasi.

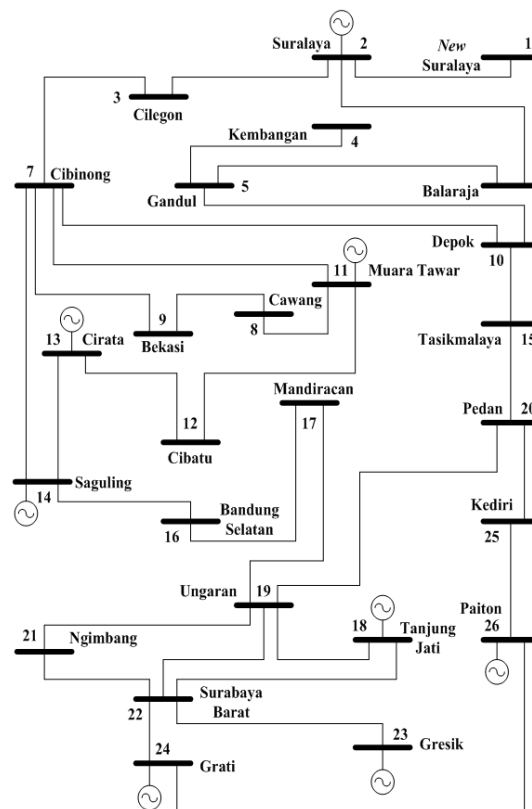
Tabel 1. Pengujian Parameter RGA

Parameter RGA	P_c	0,60	0,60	0,80	0,80
	P_m	0,05	0,10	0,05	0,10
Ploss (MW)		138,732	139,057	138,263	137,873

Dari Tabel 1 didapat nilai P_c dan P_m yang digunakan adalah 0,80 dan 0,10.

A. Sistem Tenaga Listrik Jawa-Bali 500 kV

Single line diagram untuk sistem Jawa-Bali 500 kV dapat dilihat pada Gambar 8.

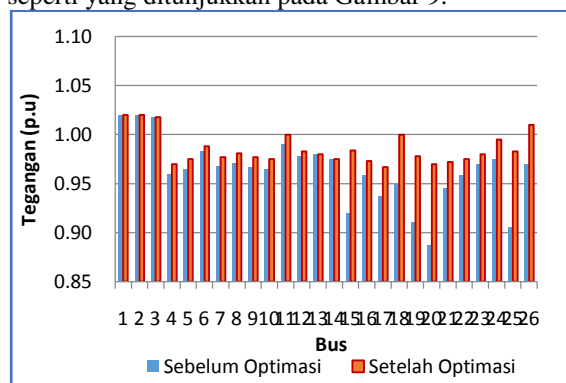


Gambar 8. *Single Line* Diagram Sistem Jawa-Bali [2]

Sistem tenaga listrik Jawa-Bali 500 kV terdiri atas 26 bus, 31 saluran, dan 8 pusat pembangkit.

B. Hasil Simulasi pada Pembebanan 100%

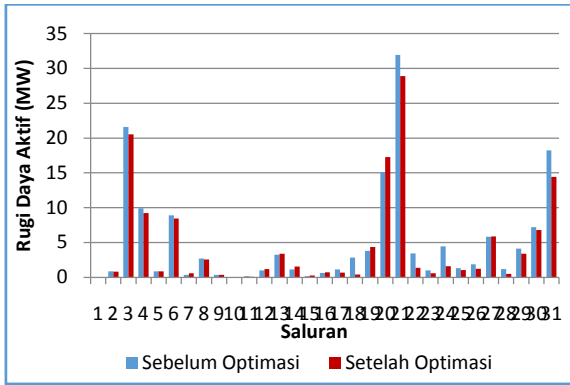
Setelah dilakukan simulasi untuk optimasi penempatan SVC dan TCSC pada sistem Jawa-Bali 500 kV didapatkan perbandingan tegangan tiap bus pada sistem sebelum dan setelah dilakukan optimasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



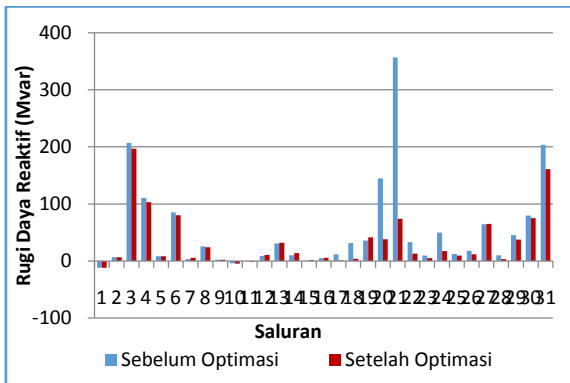
Gambar 9. Profil Tegangan Tiap Bus Sebelum dan Setelah Optimasi pada Pembebanan 100%

Sebelum optimasi terdapat 6 bus yang kondisinya *undervoltage* yaitu bus setelah dilakukan optimasi tegangan pada tiap bus 15, 17, 19, 20, 21, dan 25. Setelah optimasi tegangan tiap berada pada batas yang diijinkan yaitu $\pm 0,5$ p.u.

Sementara perbandingan rugi daya aktif dan reaktif sebelum dan setelah dilakukan optimasi ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Rugi Daya Aktif Sebelum dan Setelah Optimasi pada Pembebanan 100%



Gambar 11. Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Setelah Optimasi pada Pembebanan 100%

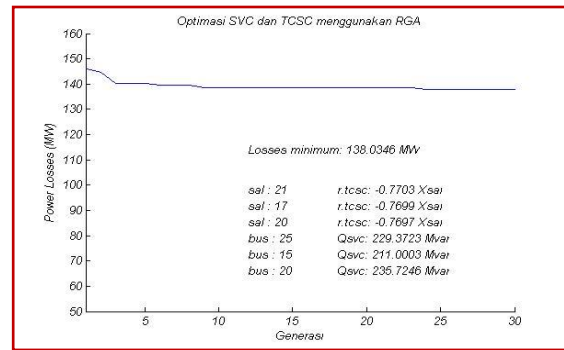
Selain dapat memperbaiki tegangan, optimasi penempatan SVC dan TCSC juga mampu mengurangi rugi daya pada saluran transmisi. Untuk rugi daya aktif dan reaktif masing-masing mengalami penurunan sebesar 10,65% yaitu dari 154,486 MW menjadi 138,035 MW dan 35,36% yaitu dari 1.591,582 MVAR menjadi 1.028,665 MVAR.

Lokasi serta rating optimal untuk penempatan SVC dan TCSC ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi dan Rating Optimal untuk Penempatan SVC dan TCSC pada Pembebanan 100%

SVC		TCSC	
Lokasi	Kapasitas (MVAR)	Lokasi	Rating (X_{line})
Bus 15	211,000	Saluran 17	-0,7699
Bus 20	235,725	Saluran 20	-0,7697
Bus 25	229,372	Saluran 21	-0,7703

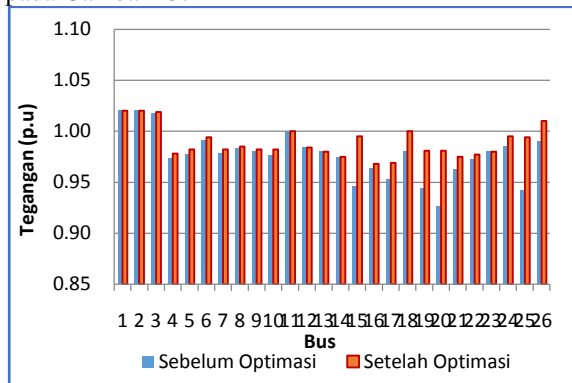
Perubahan rugi daya aktif dari setiap generasi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Konvergensi RGA pada Pembebanan 100%

C. Hasil Simulasi pada Pembebanan 80%

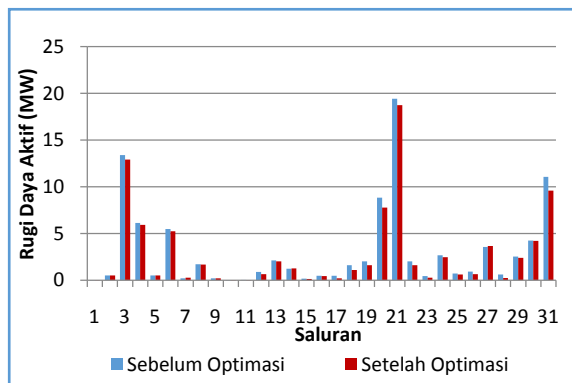
Simulasi juga dilakukan pada sistem dengan pembebanan 80%. Perbandingan profil tegangan tiap bus pada sistem sebelum dan setelah dilakukan optimasi penempatan SVC dan TCSC ditunjukkan pada Gambar 13.



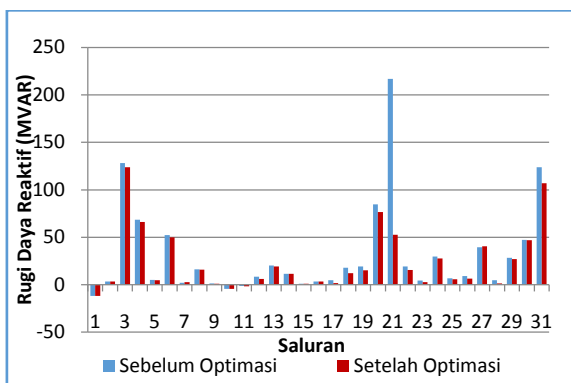
Gambar 13. Profil Tegangan Tiap Bus Sebelum dan Setelah Optimasi pada Pembebanan 80%

Sebelum dilakukan optimasi terdapat 4 bus dengan kondisi *undervoltage* yaitu bus 15, 19, 20, dan 25. Setelah optimasi tegangan pada semua bus berada pada batas yang diijinkan.

Sementara sistem juga mengalami penurunan rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Perbandingan rugi daya aktif maupun reaktif sebelum dan setelah optimasi ditunjukkan pada Gambar 14 dan 15.



Gambar 14. Rugi Daya Aktif Sebelum dan Setelah Optimasi pada Pembebanan 80%



Gambar 15. Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Setelah Optimasi pada Pembebanan 80%

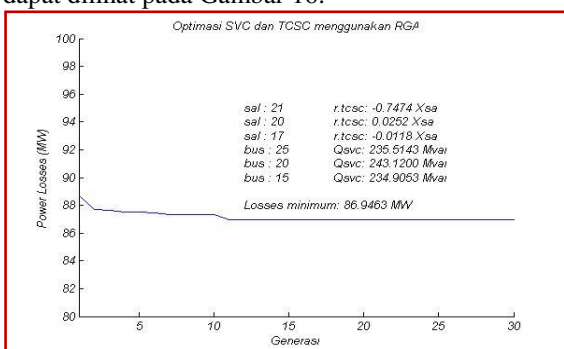
Setelah dilakukan optimasi didapatkan penurunan rugi daya aktif dan reaktif masing-masing sebesar 7,78% dari 94,284 MW menjadi 86,964 MW dan 24,08% dari 958,645 MVAR menjadi 727,786 MVAR.

Lokasi serta rating yang optimal untuk penempatan SVC dan TCSC pada pembebanan 80% ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Lokasi dan Rating yang Optimal untuk penempatan SVC dan TCSC pada Pembebanan 80%.

SVC		TCSC	
Lokasi	Kapasitas (MVAR)	Lokasi	Rating (X_{line})
Bus 15	234,905	Saluran 17	-0,0118
Bus 20	243,120	Saluran 20	0,0525
Bus 25	235,524	Saluran 21	-0,7474

Perubahan rugi daya aktif dari setiap generasi dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Konvergensi RGA pada Pembebanan 80%

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penentuan lokasi dan kapasitas yang optimal untuk penempatan SVC dan TCSC menggunakan metode RGA mampu mengurangi rugi daya pada saluran transmisi serta mampu memperbaiki profil tegangan tiap bus.
2. Optimasi penempatan SVC dan TCSC menggunakan metode RGA mampu mengurangi rugi daya aktif sebesar 10,65% dari 154,486 MW menjadi 138,035 MW, dan mengurangi rugi daya reaktif sebesar 35,36%

dari 1.591,582 MVAR menjadi 1.028,665 MVAR pada sistem dengan pembebanan 100%.

Sedangkan untuk sistem dengan pembebanan 80% mampu mengurangi rugi daya aktif sebesar 7,78 % dari 94,284 MW menjadi 86,964 MW, dan mengurangi rugi daya reaktif sebesar 24,08% dari 958,645 MVAR menjadi 727,786 MVAR.

3. Optimasi penempatan SVC dan TCSC menggunakan metode RGA mampu menstabilkan tegangan tiap bus pada sistem. Khususnya pada bus-bus yang mempunyai kondisi tegangan di bawah batas standar (*undervoltage*) sehingga dapat memenuhi batas tegangan yang diijinkan ($0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ p.u).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mahmudy, W.F & Rahman, M.A. 2011. *Optimasi Fungsi Multi-Obyektif Berkendala Menggunakan Algoritma Genetika Adaptif dengan Pengkodean Real.*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [2] Supriatna, G. 2013. *Optimasi Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa – Bali dengan Aliran Daya Optimal MINOPF*. Tugas Akhir. UPI, Bandung.
- [3] Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. McGraw-Hill: International Edition.
- [4] Hosea, E. & Tanoto, Y. 2004. *Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode Newton-Raphson*. Jurnal Teknik Elektrol Vol.4, No.2. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- [5] Sadikovic, Rusejla. 2006. *Use of FACTS Devices for Power Flow Control and Damping of Oscillation in Power System*. Dissertation. Institute of Technology Zurich, Swiss.
- [6] Jumaat, S. A., dkk. 2012. *Optimal Placement and Sizing of Multiple FACTS Devices Installation*. IEEE International Conference on Power and Energy. Kota Kinabalu Sabah, Malaysia, 2-5 Desember 2012
- [7] Herrera, F dkk. 1998. *Tackling Real-Coded Genetic Algorithm: Operators and Tools for Behavioural Analysis*. Granada: Kluwer Academic Publishers.
- [8] Robandi, Imam. 2006. *Desain Sistem Tenaga Modern*. Yogyakarta: ANDI.
- [9] Suyanto. 2007. *Artificial Intelligence*. Bandung: Informatika.