

OPTIMASI RATING SVC DAN TCSC UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM 500 kV JAMALI MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Fitria Prasetiawati^{*)}, Yuningtyastuti, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : fitriaprasetia@yahoo.com

Abstrak

Permintaan kebutuhan beban pada sistem tenaga listrik semakin bertambah dari waktu ke waktu, sedangkan besarnya daya yang dapat dihasilkan dalam sistem pembangkit dan kapasitas daya yang mampu disalurkan oleh jaringan cenderung tetap sehingga kemampuan menyalurkan daya listrik mengalami penurunan yang salah satunya dikarenakan adanya rugi daya. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan peralatan FACTS yang berguna untuk mengatur daya reaktif, reaktansi sistem, dan menurunkan rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik. Peralatan FACTS yang digunakan adalah Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) dan Static Var Compensator (SVC). Tugas akhir ini mengusulkan membuat program simulasi peralatan FACTS yaitu TCSC yang dipasang secara seri dengan saluran transmisi akan digunakan untuk mengkompensasi reaktansi dari saluran transmisi dan SVC yang dipasang secara paralel pada bus-bus saluran transmisi digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif pada saluran transmisi dengan menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO) untuk menentukan rating yang optimal yang diprogram dengan Software MATLAB R2008a. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penempatan TCSC-SVC dengan metode PSO dapat memperbaiki aliran daya pada JAMALI 500kV. Optimasi rating TCSC-SVC dengan metode PSO dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif sebesar 136.5 MW menjadi 128.6 MW dan rugi daya reaktif sebesar 1.223,011 MVAR menjadi 979.2013 MVAR.

Kata kunci: rugi-rugi daya, TCSC, SVC, PSO

Abstract

The load demand in power system is increasing, while power supply generated and power capacity intend to be similar and not growing so that the ability of power transfer is decreasing because of losses. To handle that, in power system needs a tool called FACTS devices which are designed to control reactive power (Q), system reactance, and to improve power quality by decreasing losses. FACTS devices used for this project are Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) and Static Var Compensator (SVC). This final project propose to make one program with FACTS device component which is TCSC that connected series with transmission line, will compensate the reactance of transmission line, and also SVC that connected parallel with the line buses of transmission line using PSO (Particle Swarm Optimization) method to define the optimum rating by the program made in MATLAB R2008a Software. The simulation result shows that the placement of TCSC-SVC with PSO method is going to refix the power flow in JAMALI (Jawa, Madura, Bali) System 500kV. The optimization of TCSC-SVC rate with PSO method is going to reduce reactive power losses from 136,5 MW to 128,6 MW and active power losses from 1.223,011 MVAR to 979,2013 MVAR.

Keywords: power losses, TCSC, SVC, PSO

1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia memiliki pengaruh yang sangat besar bagi dunia kelistrikan karena peningkatan jumlah penduduk Indonesia berbanding lurus dengan pertumbuhan beban listrik. Untuk meningkatkan kemampuan sistem tenaga listrik dalam hal menanggung beban listrik yang setiap tahun semakin meningkat, tetapi

tidak semua pembangkitan mampu mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi maka sistem tenaga listrik membutuhkan peningkatan pembangkitan yaitu salah satunya dengan menggunakan peralatan FACTS yang bekerja sebagai kompensator paralel, seri dan juga paralel-seri. *FACTS Devices* merupakan kapasitor yang dikombinasikan dengan *thyristor* serta inductor yang berfungsi sebagai kompensasi daya reaktif, mengatur

reaktansi transmisi dan menurunkan rugi-rugi daya yang terjadi.

Penelitian yang telah dilakukan untuk menerapkan peralatan FACTS dalam mengatasi permasalahan yang terkait dengan sistem tenaga listrik antara lain Umar tentang optimasi penempatan peralatan FACTS dengan metode *Breeder Algoritma Genetika* pada sistem transmisi untuk mengurangi rugi-rugi daya^[10], Ari Hasto tentang optimasi penempatan SVC untuk memperbaiki profil tegangan pada sistem 500 kV JAMALI menggunakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*^[3], Enrique Acha dkk memberikan pemodelan aliran daya metode Newton Raphson dengan injeksi peralatan FACTS untuk mendapatkan hasil aliran daya yang lebih baik^[1], Hingorani telah memperkenalkan tentang perubahan aliran daya yang terjadi setelah diinjeksi FACTS pada tahun 1988, dan telah menggolongkan kedalam beberapa jenis peralatan FACTS yaitu Static VAR Compensator (SVC), Static Synchronous Compensator (STATCOM), Thyristor-Controlled Series Capacitor (TCSC), Static Synchronous Series Compensator (SSSC) dan Unified Power Flow Controller (UPFC)^[4], Lijun Cai dkk dengan judul "Optimal Choice and Allocation of FACTS Devices in Deregulated Electricity Market using Genetic Algorithms" digunakan model matematik dari peralatan FACTS.^[5]

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, penulis membuat simulasi program menggunakan peralatan FACTS yaitu TCSC yang dipasang secara seri dengan saluran transmisi akan digunakan untuk mengkompensasi reaktansi dari saluran transmisi dan SVC yang dipasang secara paralel pada bus-bus saluran transmisi digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif pada saluran transmisi dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk menentukan rating SVC dan TCSC yang optimal pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV.

2. Metode

2.1. Pembuatan Program Simulasi

Perancangan program simulasi pada tugas akhir ini menggunakan software MATLAB R2008a dengan metode *Particle Swarm Optimization*. Program simulasi ini dirancang dalam 3 tahap yaitu mengumpulkan data awal, membuat *source code* pada MATLAB dan *interface*, dan menampilkan hasil yang akan dianalisa yaitu aliran daya sebelum penempatan SVC-TCSC dan aliran daya setelah penempatan SVC-TCSC.

2.1.1 Sistem 500 kV JAMALI

Single line diagram Sistem Tenaga Listrik 500 kV JAMALI ditunjukkan pada Gambar 1.^[3]

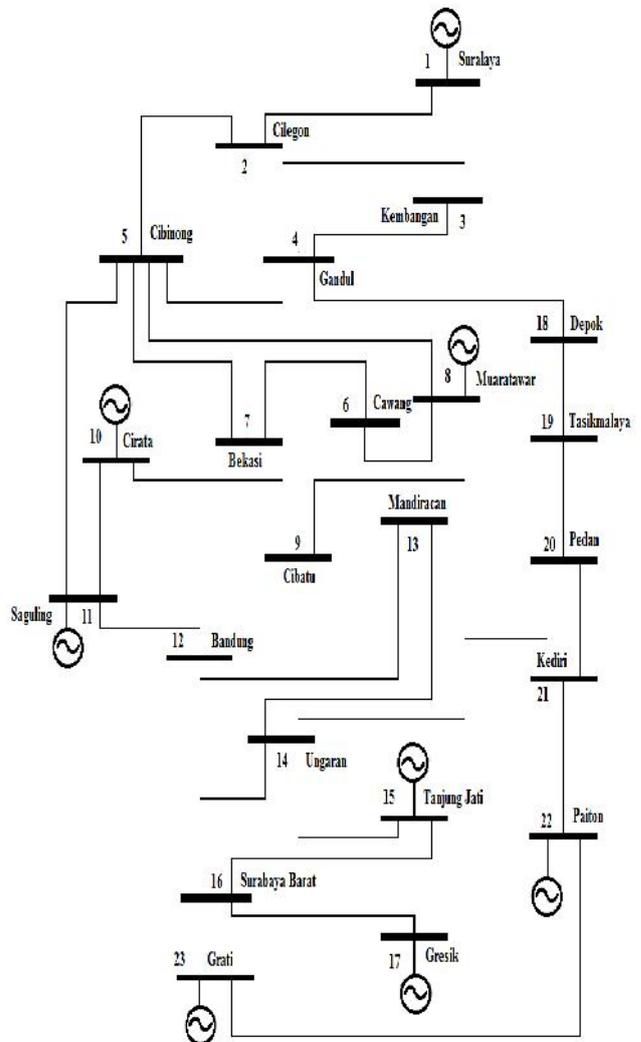
Base yang digunakan pada perhitungan adalah:

- Base tegangan : 500 kV
- Base daya : 1000 MVA

Batas tegangan yang diijinkan sesuai standar: 0,95 Vbus 1,05

Bus-bus yang ada diklasifikasikan sebagai:

- Slack bus (swing)* : Bus Suralaya
- Bus generator : Bus Cirata, Bus Muara Tawar, Bus Saguling, Bus Gresik, Bus Tanjung Jati, Bus Grati, dan Bus Paiton
- Bus Beban : Bus Cilegon, Bus Kembangan, Bus Gandul, Bus Pedan, Bus Cibinong, Bus Cawang, Bus Bekasi, Bus Cibatu, Bus Bandung Selatan, Bus Mandiracan, Bus Ungaran, Bus Surabaya Barat, Bus Depok, Bus Tasikmalaya, dan Bus Kediri.



Gambar 1. Single Line Diagram JAMALI 500 kV^[3]

Tabel 1. Data Bus pada Sistem Tenaga Listrik 500 Kv JAMALI^[3]

Bus	Nama Bus	Load		Generator	
		P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	Suralaya	135	40	3.059	1.262
2	Cilegon	620	200	0	0
3	Kembangan	670	230	0	0
4	Gandul	480	160	0	0
5	Cibinong	615	190	0	0
6	Cawang	670	160	0	0
7	Bekasi	570	150	0	0
8	Muaratawar	0	0	1.082	488
9	Cibatu	726	280	0	0
10	Cirata	600	216	189	84
11	Saguling	0	0	300	65
12	Bandung	520	310	0	0
13	Mandiracan	350	120	0	0
14	Ungaran	290	320	0	0
15	Tanjung Jati	0	0	672	-64
16	Surabaya Barat	760	280	0	0
17	Gresik	185	80	802	129
18	Depok	0	0	0	0
19	Tasikmalaya	244	15	0	0
20	Pedan	462	215	0	0
21	Kediri	316	182	0	0
22	Paiton	740	240	3.244	595
23	Grati	155	170	0	0

2.1.2. Particle Swarm Optimization

Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, proses algoritmanya terinspirasi oleh tingkah laku sosial pada kawanan burung yang terbang bersama-sama. Perilaku sosial ini terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat (*optimal*) menuju sumber makanan, maka sisa anggota kelompok yang lainnya juga akan mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka didalam kelompok tersebut tidak saling berdekatan.^[3]

Tabel 2. Data Saluran pada Sistem Tenaga Listrik 500 kV JAMALI^[3]

Bus Awal	Bus Tujuan	R (pu)	X (pu)	$\frac{1}{2} B$
1	2	0,000626496	0,007008768	0
1	4	0,006513273	0,062576324	0,005989820
2	5	0,013133324	0,146925792	0,003530571
3	4	0,001513179	0,016928309	0
4	5	0,001246422	0,011975010	0
4	18	0,000694176	0,006669298	0
5	7	0,004441880	0,042675400	0
5	8	0,006211600	0,059678000	0
5	11	0,004111380	0,045995040	0,004420973
6	7	0,001973648	0,018961840	0
Bus Awal	Bus Tujuan	R (pu)	X (pu)	$\frac{1}{2} B$
6	8	0,005625600	0,054048000	0
8	9	0,002822059	0,027112954	0
9	10	0,002739960	0,026324191	0
10	11	0,001474728	0,014168458	0
11	12	0,001957800	0,021902400	0
12	13	0,006990980	0,067165900	0,006429135
13	14	0,013478000	0,129490000	0,012394812
14	15	0,013533920	0,151407360	0,003638261
14	16	0,015798560	0,151784800	0,003632219
14	20	0,009036120	0,086814600	0
15	16	0,037539629	0,360662304	0,008630669
16	17	0,001394680	0,013399400	0
16	23	0,003986382	0,044596656	0
18	19	0,014056000	0,157248000	0,015114437
19	20	0,015311000	0,171288000	0,016463941
20	21	0,010291000	0,115128000	0,011065927
21	22	0,010291000	0,115128000	0,011065927
22	23	0,004435823	0,049624661	0,004769846

Beberapa istilah umum yang digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. *Swarm* : populasi dari suatu algoritma
2. *Particle* : anggota (individu) pada suatu *swarm*. Setiap *particle* mempresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu *particle* adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.
3. *Pbest (Personal Best)* : posisi *Pbest* suatu *particle* yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.

4. *Gbest (Global Best)* : posisi terbaik *particle* pada *swarm* atau posisi terbaik diantara *Pbest* yang ada.
5. *Velocity (kecepatan)* : kecepatan atau vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah dimana suatu *particle* diperlukan untuk berpindah (*move*) untuk memperbaiki posisinya semula.
6. *Inertia Weight ()* : parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.

Berikut ini adalah langkah-langkah dari proses PSO :

1. Menentukan ukuran *swarm* dan menentukan nilai awal posisi dan kecepatan partikel secara random.
2. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel.
3. Menentukan *Pbest* dan *Gbest* mula-mula.

4. Menghitung kecepatan pada iterasi berikutnya dengan persamaan :

$$V_j(i) = V_j(i - 1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - X_j(i-1)] \quad (1)$$

i = iterasi ; $j = 1, 2, 3, \dots, N$; r_1 dan r_2 adalah bilangan random

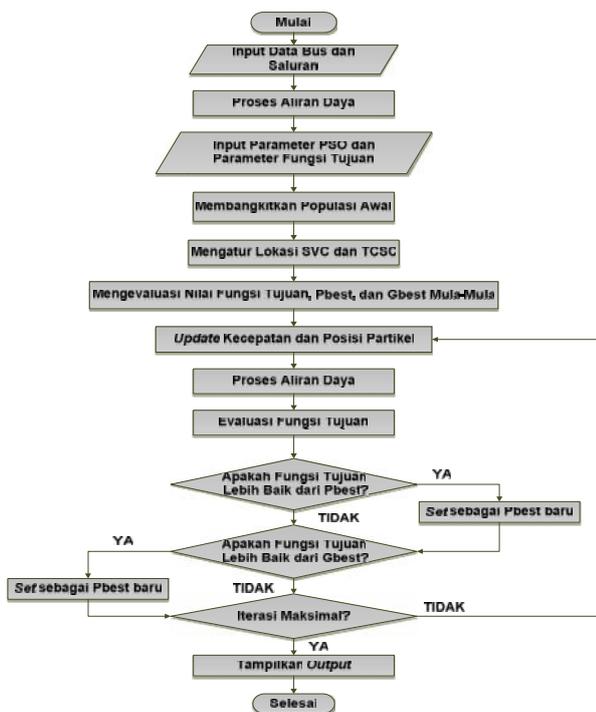
5. Menentukan posisi partikel pada iterasi berikutnya menggunakan persamaan berikut:

$$X_j(i) = X_j(i - 1) + V_j(i) \quad (2)$$

6. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan pada iterasi selanjutnya

7. Mengupdate *Pbest* dan *Gbest*

Mengecek apakah solusi sudah optimal atau belum. Kalau sudah optimal, maka proses algoritma berhenti, namun bila belum optimal maka kembali ke langkah 4.



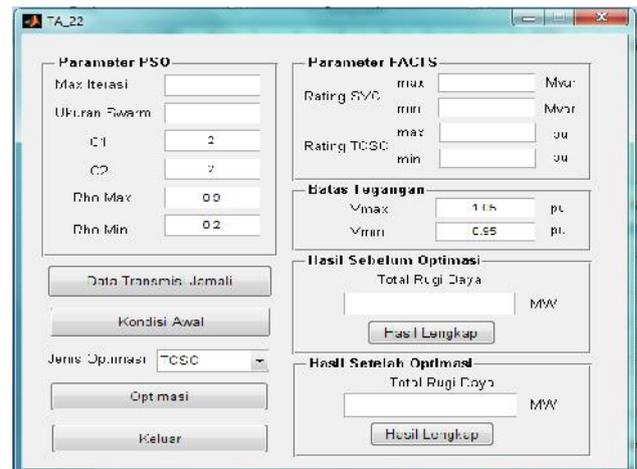
Gambar 2. Diagram Alir Pembuatan Program

2.2. Pengoperasian Program Simulasi

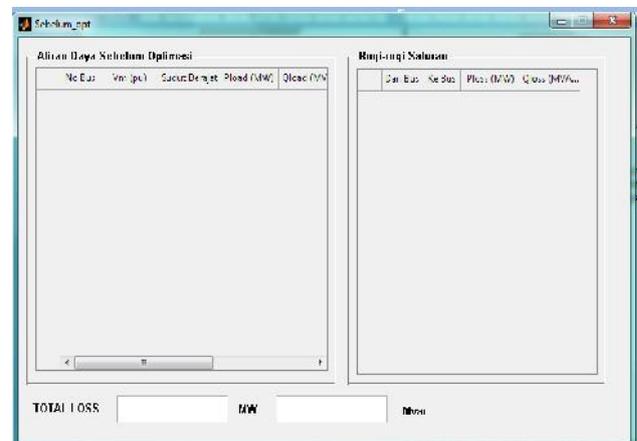
Pada tahap ini dilakukan pembuatan GUI dengan GUIDE MATLAB. Gambar 3 hingga 6 merupakan hasil perancangan GUI.



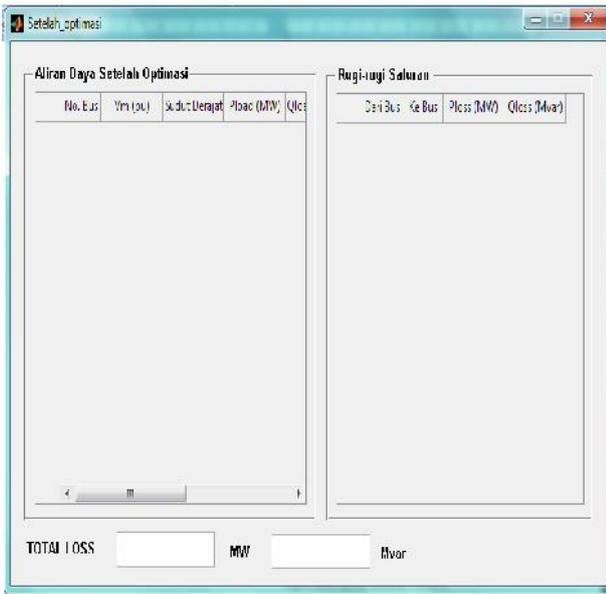
Gambar 3. Tampilan Awal Program



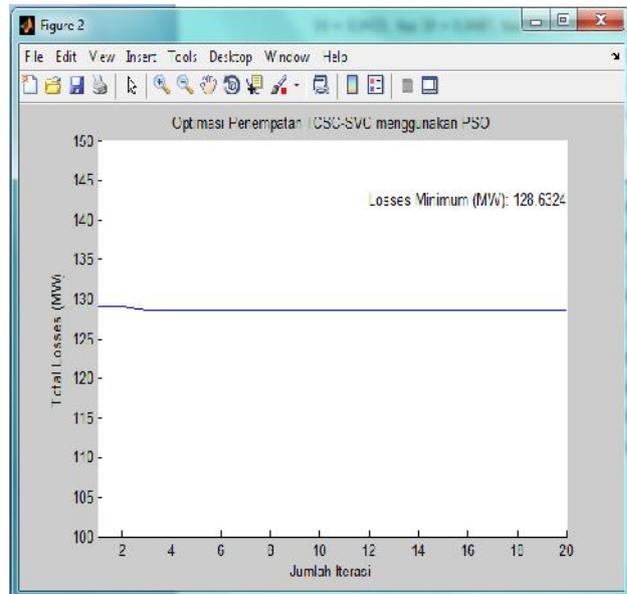
Gambar 4. Tampilan Utama Program



Gambar 5. Tampilan Aliran Daya Sebelum Optimasi



Gambar 6. Tampilan Aliran Daya Setelah Optimasi



Gambar 7. Grafik Nilai Fungsi Tujuan dari Setiap Iterasi

3. Hasil dan Analisa

Melalui pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh nilai rating SVC-TCSC yang optimal untuk mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki tegangan sesuai dengan batas yang telah ditentukan. Dalam pengujian ini batas – batas tegangan disesuaikan dengan standar acuan SPLN 1 tahun 1995, yaitu batas tegangan yang dapat ditoleransi pada sistem transmisi adalah -10% sampai +5%. Sedangkan parameter PSO yang digunakan berdasarkan hasil beberapa pengujian parameter PSO dan parameter fungsi tujuan. Berikut ini adalah nilai parameter yang digunakan untuk optimasi rating SVC-TCSC pada STL 500 kV JAMALI.

Tabel 3. Parameter Optimasi yang Digunakan untuk Pengujian Sistem

Jenis Parameter	Parameter	Nilai
Parameter PSO	Iterasi Maksimal	20
	Ukuran <i>Swarm</i>	50
	C1	2
	C2	2
	Rhomax	0,9
	Rhomin	0,2
Parameter SVC dan TCSC	Rating SVC Maksimal	0 MVAR
	Rating SVC Minimal	-200 MVAR
	Rating TCSC Maksimal	0,2 pu
	Rating TCSC Minimal	0 pu

Selama proses optimasi berlangsung maka akan muncul grafik nilai fungsi tujuan tiap iterasi. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa fungsi tujuan tercapai pada iterasi ke-3. Besarnya jumlah iterasi yang diperlukan dalam setiap pengujian dapat bervariasi dikarenakan sistem optimasi *particle swarm optimization* membangkitkan bilangan secara random.

Berikut ini adalah hasil perbandingan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan SVC-TCSC.

Tabel 4. Perbandingan sebelum dan sesudah penempatan SVC-TCSC

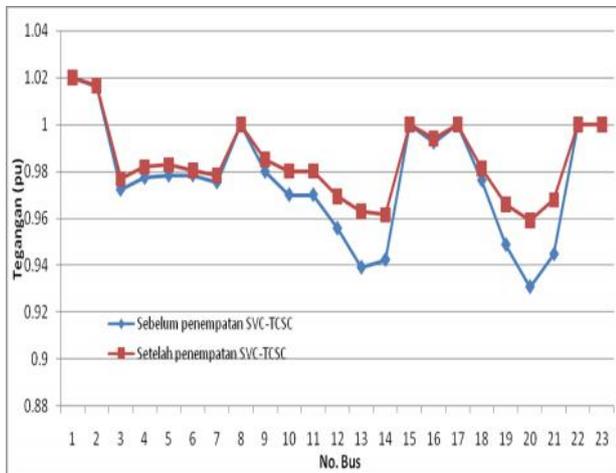
Deskripsi	Sebelum	Sesudah
Lokasi dan rating SVC	Bus 13 = 0 Mvar Bus 20 = 0 Mvar	Bus 13 = -200 Mvar Bus 20 = -200 Mvar
Lokasi dan Rating TCSC	Saluran 17 = 0 pu Saluran 27 = 0 pu	Saluran 17 = 0,0976 pu Saluran 27 = 0,0620 pu
Tegangan minimum	Bus 13 = 0,9390 pu Bus 20 = 0,9307 pu	Bus 13 = 0,9628 pu Bus 20 = 0,9589 pu
Rugi Daya aktif	136,545 MW	128,6324 MW
Rugi Daya Reaktif	1.223,011 MVAR	979.2013 MVAR

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa dengan penempatan SVC-TCSC, secara keseluruhan kondisi sistem menjadi lebih baik. Hal ini dapat terlihat dari tegangan terendahnya meningkat dari 0,9307 sebelum penempatan SVC-TCSC menjadi 0,9500 setelah penempatan SVC-TCSC yang berarti bahwa ketentuan *drop* tegangan maksimum sebesar ± 5% sudah terpenuhi. Selain itu rugi daya aktif juga menurun dari 136,545 MW menjadi 128,6324 MW, dan rugi daya reaktif menurun dari 1.223,011 MVAR menjadi 979.2013 MVAR.

Untuk mengetahui lebih jelas profil tegangan di tiap bus dan rugi daya di tiap saluran sebelum dan sesudah penempatan SVC-TCSC dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

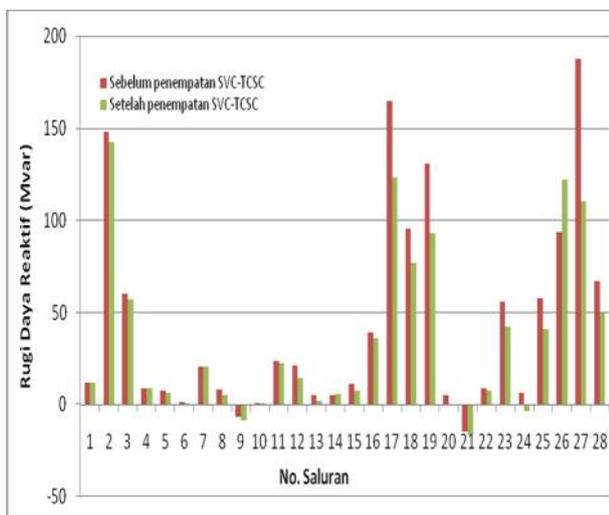
Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa setelah pemasangan SVC-TCSC tegangan masing-masing bus mengalami peningkatan dan berada pada batas nilai yang ditentukan yakni 0,95 pu sampai dengan 1,05. Tegangan pada bus 13 dan bus 20 adalah yang paling rendah di antara semua bus

dalam sistem. Dimana semakin jauh bus penerima maka semakin besar pula rugi daya yang terjadi, sehingga penurunan tegangan semakin besar.^[3]



Gambar 8. Profil Tegangan Tiap Bus Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC-TCSC

Dengan penempatan SVC pada bus 13 sebesar -200 MVAR dan bus 20 sebesar -200 MVAR dan penempatan TCSC pada saluran 17 sebesar 0,0976 pu dan saluran 27 sebesar 0,0620 pu, selain meningkatkan tegangan tiap bus, juga mengurangi rugi-rugi daya. Untuk melihat perbandingan rugi daya reaktif tiap saluran, ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Rugi Daya Aktif Tiap Saluran Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC-TCSC

Berdasarkan Gambar 9 terlihat adanya perbaikan terhadap sistem jaringan transmisi setelah dipasang SVC-TCSC, dimana terdapat penurunan rugi daya reaktif pada setiap saluran. Besarnya rugi daya reaktif tiap saluran tidak sama.

Perbedaan nilai rugi daya tiap saluran tergantung dari tegangan tiap bus yang saling terhubung dan besarnya impedansi, dimana semakin besar selisih tegangan antara kedua ujung saluran dan semakin kecil impedansi saluran, maka rugi daya juga semakin besar.

Setelah pemasangan SVC-TCSC, rugi daya yang terbesar adalah pada saluran 17, yaitu antara bus 13-14 = 123,0105 MVAR. Besarnya nilai ini dikarenakan pada bus 13 mengalami *drop* tegangan yang rendah yang berpengaruh pada saluran 17 yang mengakibatkan rugi daya reaktif memiliki nilai yang paling besar dari semua sistem.

Dari Gambar 8 dan Gambar 9, menjelaskan bahwa saluran yang terhubung dengan bus 13, yaitu saluran no. 17 memiliki rugi daya cukup besar, maka *drop* tegangan juga akan besar. Demikian pula saluran no. 27 yang terhubung dengan bus 20 dan 21, akan memiliki rugi daya yang besar. Dengan pemasangan SVC pada bus 13 dan bus 20, pemasangan TCSC pada saluran 17 dan 27 maka rugi daya saluran akan berkurang, sehingga *drop* tegangan juga turun, dan menyebabkan tegangan di bus akan naik pada batas nilai sesuai standar acuan SPLN 1: 1995.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan bahwa nilai parameter PSO yang tepat dalam penyelesaian optimasi rating SVC-TCSC pada Sistem Tenaga Listrik 500 kV JAMALI adalah ukuran *swarm* lebih dari 50, *learning rates* dengan kombinasi angka C1 dan C2 sama besar yaitu 2. Nilai parameter fungsi tujuan adalah rating SVC sebesar -200 Mvar dan rating TCSC sebesar 0.2 pu. Dengan metode *particle swarm optimization*, nilai rating optimal SVC adalah pada bus 13 dengan rating -200 Mvar dan bus 20 dengan rating -200 Mvar, sedangkan nilai rating TCSC adalah pada saluran 17 dengan rating 0,0976 pu dan pada saluran 27 dengan rating 0,0620 pu sehingga diperoleh kenaikan tegangan tiap bus, dengan tegangan minimal setelah dipasang SVC-TCSC adalah 0,9500 pu yang mana telah sesuai dengan standar acuan SPLN 1 tahun 1995. Penempatan SVC pada lokasi bus dan TCSC pada lokasi saluran dapat menurunkan rugi daya total sistem dari 136,545 MW menjadi 128,6324 MW dan rugi daya reaktif dari 1.223,011 MVAR menjadi 979.2013 MVAR.

Referensi

- [1]. Enrique Acha, Claudio R. Fuerte-Esquivel, Hugo Ambriz-Pe'rez, Ce'zar Angeles Camacho, *FACTS Modelling and Simulation in Power Networks*, John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [2]. G. Glanzmann, G. Andersson, "Coordinated Control of FACTS Devices base on Optimal Power Flow", 2004

- [3]. Hastanto, Ari. 2012 “Optimasi Penempatan SVC untuk Memperbaiki Profil Tegangan pada Sistem 500 kV JAMALI Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*”, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
- [4]. Hingorani, N. G., L. Gyugi. *Understanding FACTS*. Institut of Electrical and Electronics Engineers. New York. 2000.
- [5]. 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.
- [6]. Saadat, Hadi. *Power System Analysis*. The McGraw Hill Companies. New York. 1999.
- [7]. Santosa, Budi dan Paul Willy. 2011. “*Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*”. Surabaya : Guna Widya
- [8]. SPLN 1 : 1995, *Tegangan-tegangan Standar*, PT. PLN (Persero), Jakarta, 1995.
- [9]. Sulasno. 2011. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro: Semarang.
- [10]. Umar, “Optimasi Penempatan TCSC dan SVC pada Sistem 500 KV JAMALI Menggunakan Breeder Algoritma Genetika (BGA)”, *Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, 2008.
- [11]. www.Sistem Tenaga Listrik.com