

PERENCANAAN PENEMPATAN FACTS OPTIMAL MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Damis Hardiantono

e-mail : damz.unimmer@gmail.com

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Musamus Merauke

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan: 1) menentukan bagian sistem tenaga yang membutuhkan penempatan peralatan FACTS (*Flexible Alternating Current Transmission System*) dengan menggunakan Algoritma Genetika (AG) dan 2) menganalisis pengaruh pemasangan FACTS *devices* berdasarkan hasil aliran daya terhadap rugi-rugi daya dan profil tegangan sistem.

Penempatan FACTS optimal dalam sistem tenaga dilakukan dengan metode optimasi menggunakan Algoritma Genetika. Paramater yang dioptimalkan yaitu meminimumkan rugi-rugi daya total sistem.

Hasil analisis yang diperoleh yaitu : 1) lokasi optimal SVC ditempatkan pada bus 26 (GI Barawaja) dengan rating sebesar 20 MVar dan TCSC ditempatkan pada saluran 26 (GI Soppeng – GI Sidrap) dengan rating sebesar $-0,7X_{line}$. 2) penempatan peralatan FACTS pada lokasi tersebut dapat mengoreksi tegangan yang *collapse* di bus 24 (GI Tello B 30 kV) sebesar 0,805 pu terkoreksi menjadi 1,047 pu dan bus 26 (GI Barawaja) sebesar 0,690 pu terkoreksi menjadi 0,985 pu serta bus yang tegangannya kritis yaitu pada bus 29 (GI Bontoala) sebesar 0,945 pu terkoreksi menjadi 0,994 pu. 3) rugi-rugi daya total saluran sebelum penempatan FACTS optimal diperoleh sebesar 20,487 MW dan berkurang menjadi sebesar 17,394 MW setelah penempatan FACTS optimal.

Kata kunci: Optimasi, Peralatan FACTS, Algoritma Genetika

A. PENDAHULUAN

Banyaknya kendala untuk membangun saluran transmisi baru memaksa para *engineer* untuk memanfaatkan saluran transmisi yang ada sekarang menjadi lebih optimal. Hal ini dapat dilakukan dengan peningkatan efisiensi saluran melalui pemasangan peralatan *Flexible Alternating Current Transmission System* (FACTS). Selain itu untuk mengganti peran penggunaan peralatan elektromekanik seperti *phase-shifting transformer* sebagai peralatan pengaturan aliran daya yang kerjanya relatif lebih lambat dibandingkan dengan peralatan FACTS (Mohan *et. al.* 2002).

Kontrol pada sistem tenaga listrik dengan penggunaan peralatan FACTS sudah menjadi komponen integral dari penyaluran daya listrik moderen. Walaupun peralatan FACTS sudah

menjadi kebutuhan wajib bagi penyedia daya listrik, namun penempatan peralatan FACTS pada saluran tenaga listrik masih menjadi permasalahan tersendiri yang tidak mudah diselesaikan. Kesalahan dalam penempatan FACTS justru akan mengakibatkan sistem menjadi tidak efisien bahkan lebih fatal lagi, yaitu sistem menjadi tidak stabil (Paserba *et. al.* 1995; Piwko *et. al.* 1993).

Penentuan lokasi peralatan FACTS secara optimal tersebut dapat dilakukan dengan penalaan *soft computing* seperti Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*) karena memiliki kemampuan yang handal dalam pelacakan (*searching*) solusi optimal (Robandi, 2006).

B. Tinjauan Pustaka

1. Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS)

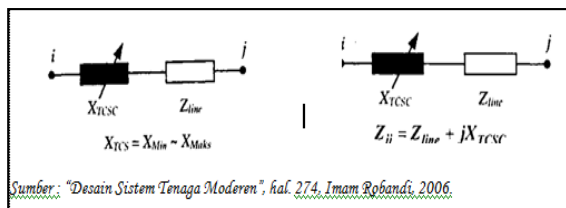
FACTS *devices* merupakan perangkat kontrol elektronik terpadu yang mengontrol variabel-variabel saluran transmisi seperti impedansi saluran, tegangan sistem dan sudut tegangan secara cepat dan efektif. Dengan demikian FACTS juga sangat berperan untuk menjaga operasi sistem tenaga listrik yang optimal.

Peralatan FACTS sudah banyak digunakan pada sistem tenaga modern untuk menangani masalah penyaluran daya dimana sebagai peralatan elektronika daya terpadu, FACTS sangat mungkin diaplikasikan pada saluran transmisi untuk meningkatkan kemampuan penyaluran daya saluran. Dengan biaya investasi yang relatif lebih murah dan waktu pemasangan yang cepat dibanding dengan membangun saluran transmisi baru, menyebabkan aplikasi peralatan FACTS banyak menjadi pertimbangan utama oleh perusahaan penyedia listrik. Selain pertimbangan biaya investasi, penggunaan FACTS juga didasarkan pada kemampuannya untuk meningkatkan kestabilan transmisi tenaga listrik (Padiyar, 1996), memperbaiki profil tegangan dan keseimbangan daya reaktif serta memperbaiki pembagian beban pada saluran paralel.

Adapun jenis-jenis FACTS *devices* antara lain :

a. Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)

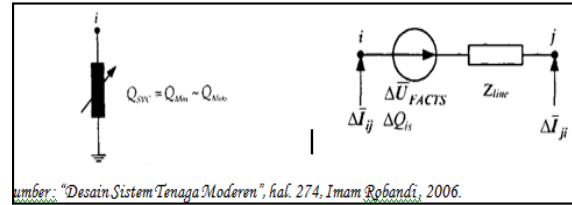
TCSC berfungsi untuk mengontrol parameter saluran berupa reaktansi saluran. Sehingga dapat menjadi kompensasi variabel kapasitif atau induktif secara seri dengan memodifikasi reaktansi saluran.



Gambar 1. Diagram TCSC

b. Static Var Compensator (SVC)

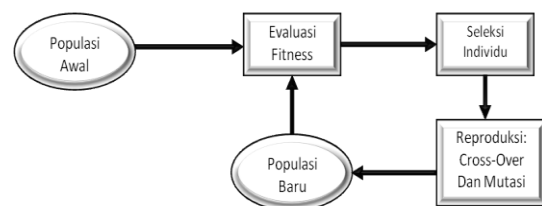
Peralatan ini dapat dioperasikan pada kompensasi induktif maupun kompensasi kapasitif. Range kerja dari SVC yaitu dari -100 MVar sampai +100 MVar.



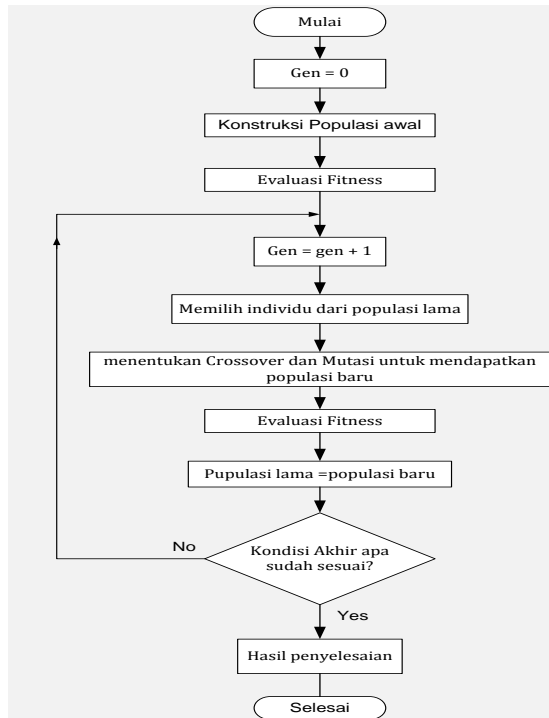
Gambar 2. Diagram SVC

2. Algoritma Genetika (AG)

Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm / GA*) adalah suatu metode optimasi dan simulasi yang perkembangannya tidak bisa lepas dari paradigma evolusi yang ditunjukkan pertama kali oleh *Charles Darwin* (1809-1882) yang diteruskan dalam perkembangan teori genetika. Evolusi Darwin yang berbasis pada konsep “*survival of the fittest*” menyatakan bahwa evolusi jenis-jenis spesies makhluk hidup dan ekosistemnya terjadi karena seleksi alam. Algoritma genetika juga merupakan algoritma pencarian heuristik yang didasarkan atas mekanisme evolusi biologis. Keberagaman pada evolusi biologis adalah variasi dari kromosom antar individu organisme.



Gambar 3. Siklus AG oleh Goldberg



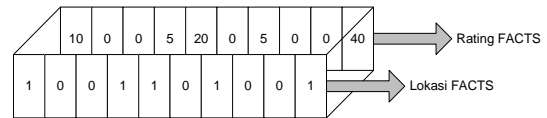
Gambar 4. Flowchart algoritma genetika

2.3 Implementasi Algoritma Genetika dalam Sistem Tenaga Listrik

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. Implementasi Algoritma Genetika pada penelitian ini adalah menentukan lokasi pemasangan, tipe dan rating peralatan FACTS.

Pengkodean

Konfigurasi nFACTS *devices* ditentukan oleh dua parameter, yaitu lokasi dan rating FACTS *devices*. String pertama berkaitan dengan lokasi *devices* yang merupakan kombinasi saluran dimana FACTS *devices* ditempatkan. Setiap string memiliki nilai lokasi yang berbeda, dan hanya satu FACTS *devices* dalam satu bagian sistem. String yang kedua berkaitan dengan rating FACTS *devices*. Nilai disesuaikan dengan penomoran pada string kromosom, yaitu 1 jika terdapat terdapat FACTS dan 0 tidak terdapat FACTS *devices*.



Gambar 5. Representasi individu dari FACTS *devices*

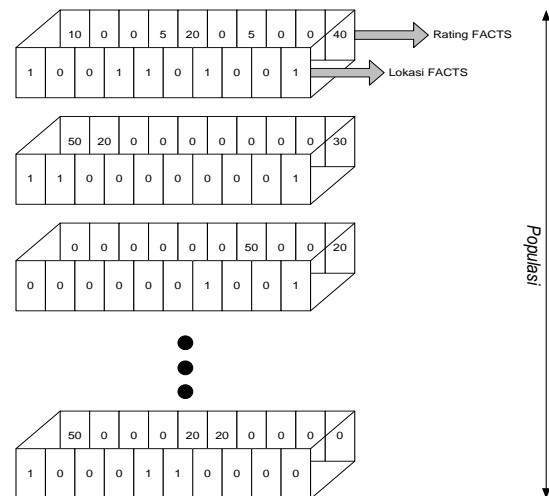
Inisialisasi Populasi

Populasi awal dibuat dari parameter berikut :

Gen : Lokasi yang memungkinkan untuk FACTS *devices*.

Kromosom : Jumlah Gen (kromosom biasa juga disebut individu).

Nilai string pertama merupakan nilai acak yang dipilih dari lokasi yang memungkinkan untuk menempatkan FACTS *devices*. Nilai yang ke dua menyatakan nilai rating FACTS *devices* yang disesuaikan dengan tipe FACTS itu sendiri.



Gambar 6. Keseluruhan individu dalam populasi

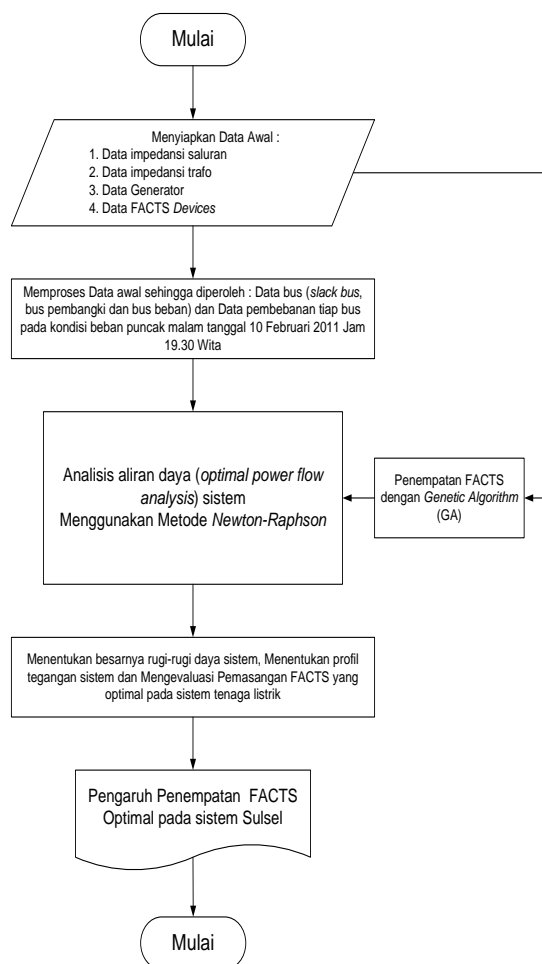
Fitness

Kromoson-kromoson yang berisi informasi tentang letak dan rating FACTS tersebut selanjutnya perlu diuji keandalannya, apakah dapat memperbaiki sistem atau tidak. Pengujian dilakukan dengan menentukan suatu fungsi *fitness* atau fungsi objektif. Dalam penelitian ini digunakan fungsi yang berhubungan dengan rugi-rugi daya, sebagai berikut :

$$S_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |V_i V_j Y_{ij}| < \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i$$

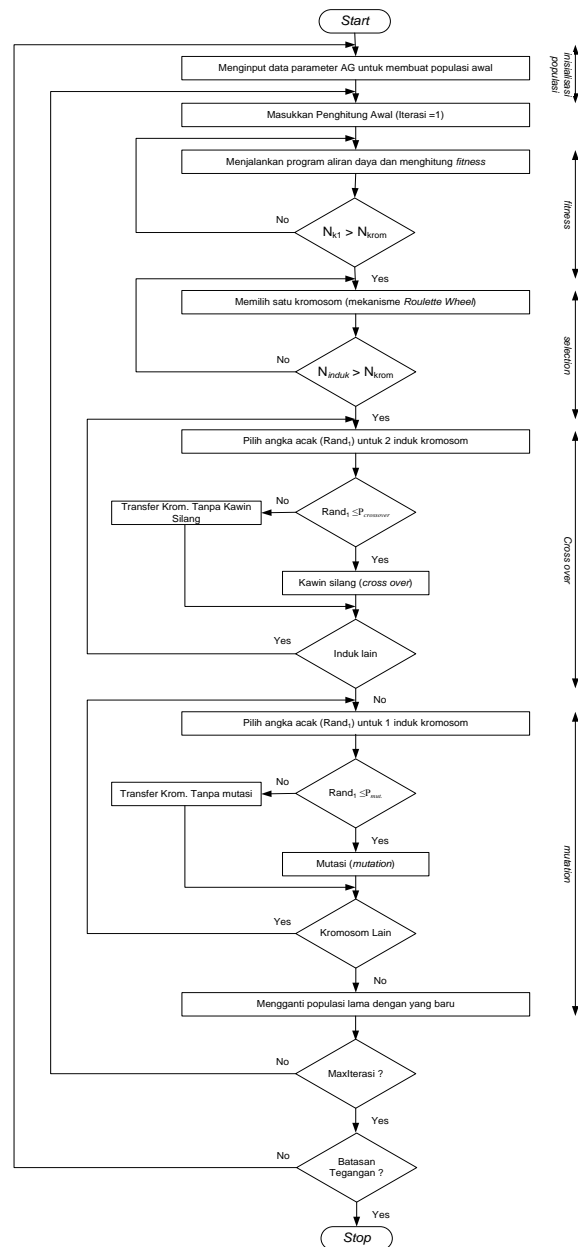
Karena berhubungan dengan rugi-rugi, sementara rugi-rugi tersebut harus diminimumkan maka fungsi fitnessnya haruslah sebesar $1/S_{loss}$ (Suyanto,2005).

1. Metode Analisis



Gambar 7. Metode analisis

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. Dengan demikian strategi optimasi yang dilakukan dapat dilakukan pada gambar 8.

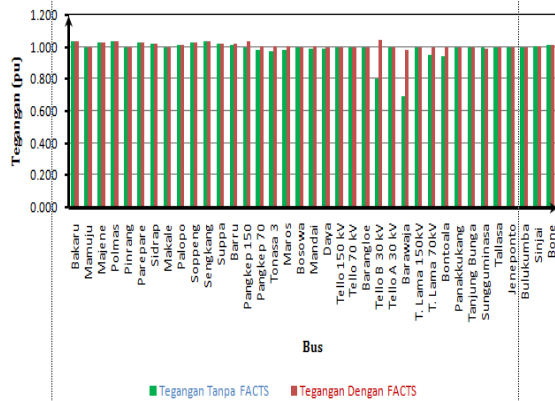


Gambar 8. Flowchart perencanaan penempatan FACTS

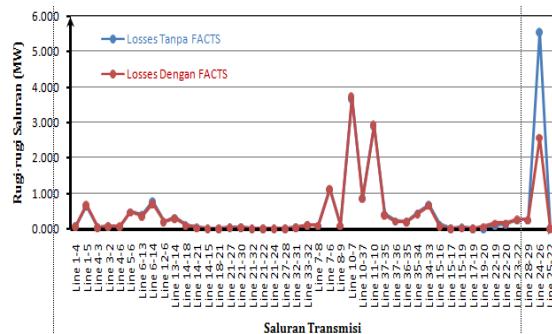
2. Hasil dan Pembahasan

Selengkapnya grafik hasil perbandingan tegangan tiap-tiap bus untuk kasus tanpa pemasangan FACTS dan dengan FACTS

menggunakan Algoritma Genetika (AG) dapat dilihat pada gambar (9) dan (10).



Gambar 9. Profil tegangan setelah penempatan FACTS dengan AG



Gambar 10. Grafik perhitungan rugi-rugi daya saluran

Tabel 1. Perbandingan penempatan FACTS

No Bus	Nama Bus	Sebelum Penempatan FACTS		Setelah Penempatan FACTS dengan AG	
		Tegangan (pu)	Rugi Daya (MW)	Tegangan (pu)	Rugi Daya (MW)
1	Bakuru	1.050		1.050	
2	Mamuju	1.000		1.000	
3	Majene	1.025		1.025	
4	Polmas	1.035		1.035	
5	Pinrang	1.000		1.000	
6	Parepare	1.030		1.030	
7	Sidrap	1.020		1.020	
8	Makale	1.000		1.000	
9	Palopo	1.010		1.010	
10	Soppeng	1.030		1.030	
11	Sengkang	1.040		1.040	
12	Suppa	1.020		1.020	
13	Barro	1.015		1.017	
14	Pangkep 150 kV	1.000		1.040	
15	Pangkep 70 kV	0.981		1.005	
16	Tonasa 3	0.972		1.003	
17	Maros	0.983		1.003	
18	Bosowa	0.996		0.999	
19	Mandai	0.989		1.003	
20	Daya	0.993		0.998	
21	Tello 150 kV	1.000		1.000	
22	Tello 70 kV	1.000		1.000	
23	Barangloe	1.000		1.000	
24	Tello (B) 30 kV	0.805		1.047	
25	Tello (A) 30 kV	1.000		1.000	
26	Barawaja	0.890		0.985	
27	T. Lama 150 kV	1.000		1.000	
28	T. Lama 70 kV	0.952		0.997	
29	Bontoala	0.945		0.994	
30	Panakkukang	0.998		0.998	
31	Tanjung Bunga	0.998		0.998	
32	Sungguminasa	1.000		0.992	
33	Tallasa	1.000		1.000	
34	Jeneponto	1.000		1.000	
35	Bulukumba	0.990		1.000	
36	Sinjai	0.980		1.003	
37	Bone	0.977		1.014	

Memvalidasi hasil analisis penempatan FACTS optimal menggunakan AG dengan *software* ETAP

Tabel 2. Hasil validasi

No Bus	Nama Bus	Simulasi Menggunakan ETAP		Setelah Penempatan FACTS dengan AG		Error (%)	
		Tegangan (kV)	Rugi Daya (MW)	Tegangan (kV)	Rugi Daya (MW)	Teg	Rugi Daya
1	Bakuru	155.7		155.0		0.2	
2	Mamuju	153.1		150.0		2.0	
3	Majene	154.8		153.8		0.7	
4	Polmas	155.6		155.3		0.2	
5	Pinrang	155.7		150.0		3.7	
6	Parepare	152.5		154.5		1.3	
7	Sidrap	152.1		153.0		0.6	
8	Makale	153.0		150.0		2.0	
9	Palopo	153.3		151.5		1.2	
10	Soppeng	152.7		154.5		1.2	
11	Sengkang	155.1		156.0		0.6	
12	Suppa	156.5		153.0		2.2	
13	Barro	152.0		152.6		0.4	
14	Pangkep 150 kV	155.2		155.0		0.5	
15	Pangkep 70 kV	146.7		150.8		3.5	
16	Tonasa 3	68.6		70.2		2.3	
17	Maros	68.1		70.2		3.1	
18	Bosowa	69.2		69.9		1.1	
19	Mandai	149.8		150.5		0.4	
20	Daya	69.0		69.9		1.2	
21	Tello 150 kV	149.7		150.0		0.2	
22	Tello 70 kV	70.1		70.0		0.1	
23	Barangloe	68.6		70.0		2.0	
24	Tello (B) 30 kV	31.1		31.4		1.0	
25	Tello (A) 30 kV	30.0		30.0		0.0	
26	Barawaja	29.9		29.6		1.2	
27	T. Lama 150 kV	149.5		150.0		0.2	
28	T. Lama 70 kV	68.7		69.8		1.6	
29	Bontoala	67.7		69.6		2.8	
30	Panakkukang	142.5		149.7		0.1	
31	Tanjung Bunga	141.6		149.7		0.1	
32	Sungguminasa	142.5		148.8		0.2	
33	Tallasa	149.8		150.0		0.1	
34	Jeneponto	144.5		150.0		3.8	
35	Bulukumba	146.6		150.0		2.3	
36	Sinjai	149.0		150.5		1.0	
37	Bone	152.7		152.1		0.4	

Pengaruh pemasangan FACTS secara optimal pada sistem yaitu dapat memperbaiki tegangan pada bus yang kritis (*menuju collapse*) maupun bus yang tegangannya *collapse* menjadi

tegangan yang membuat sistem menjadi stabil. Hal ini terlihat pada kondisi tanpa injeksi daya reaktif atau tanpa pemasangan FACTS (Gambar 21), bus yang tegangannya *collapse* yaitu bus 24 (GI Tello B 30 kV) sebesar 0,805 pu dan bus 26 (GI Barawaja) sebesar 0,690 pu sedangkan bus yang tegangannya kritis (menuju *collapse*) yaitu bus 29 (GI Bontoala) sebesar 0,945 pu. Kondisi ini terkoreksi dengan penempatan FACTS optimal pada sistem sehingga bus-bus yang tegangannya *collapse* maupun kritis dapat diperbaiki (Gambar 27). Dimana bus 24 (GI Tello B 30 kV) terkoreksi menjadi 1,047 pu, bus 26 (GI Barawaja) terkoreksi menjadi 0,985 pu dan bus 29 (GI Bontoala) terkoreksi menjadi 0,994 pu.

Rugi-rugi daya total sistem dapat diminimalisir dengan penempatan FACTS optimal pada sistem. Sebelum penempatan FACTS, rugi-rugi daya total sistem sebesar 20,487 MW. Tetapi setelah penempatan FACTS, rugi-rugi daya total sistem dapat diminimumkan menjadi sebesar 17,394 MW. Dengan demikian daya yang hilang sepanjang saluran berkurang sebesar 3,092 MW.

3. Kesimpulan

1. Bagian sistem untuk penempatan peralatan FACTS yang menghasilkan aliran daya yang optimal yaitu berada pada bus 26 (GI Barawaja) dengan rating 20 MVar dan TCSC berada pada saluran 26 (GI Soppeng – GI Sidrap) dengan rating $-0.7X_{line}$. Optimalisasi penempatan peralatan FACTS ini berdasarkan dua parameter yaitu profil tegangan bus dan rugi-rugi daya sistem.
2. Besarnya rugi-rugi daya total saluran sebelum penempatan FACTS optimal sebesar 20,487 MW dan setelah penempatan sebesar 17,394 MW. Dengan demikian penempatan FACTS yang optimal pada sistem dapat menurunkan rugi-rugi daya sistem sebesar 3,092 MW. Sedangkan tegangan pada bus-bus yang *collapse* yaitu bus 24 (GI Tello B 30 kV) sebesar 0,805 pu terkoreksi menjadi 1,047 pu dan bus 26 (GI Barawaja) sebesar 0,690 pu terkoreksi menjadi 0,985 pu serta bus yang tegangannya kritis yaitu pada bus 29 (GI Bontoala) sebesar 0,945 pu terkoreksi menjadi 0,994 pu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Acha, E., Fuente-Esquivel C., Ambriz-Perez H., Angeles-Camacho C., *FACTS Modeling and Simulation in Power Networks*, John Wiley & Son Ltd., England, 2004.
2. Cekdin, C., *Sistem Tenaga Listrik (Contoh Soal dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab)*, Edisi I, C.V Andi Offset, Yogyakarta, 2004.
3. Delfanti, M., Granelli, G.P., *Optimal Capacitor Placement Using Deterministic and Genetic Algorithms*, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 15, No. 3, August, 2000.
4. Gen, M. dan Cheng, R., *Genetic Algorithm and Engineering design*, Ashikaga Institute of Technology Ashikaga, Japan, A wiley-Interscience publication, John wiley & Sons (Asia) Pte Ltd., 1997.
5. Goldberg, D.E., *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addition Wesley Publishing Company, Inc., USA, 1989.
6. Haupt, R.L., Haupt, S.E., *Practical Genetic Algorithm*, Second Eidtion, John Wiley & Sons Inc., USA, 2004.
7. Higuchi, T., Liu, Y., Yao, X., *Genetic and Evolutionary Computation*, Springer Science + Business Media LLC., New York, 2006.
8. Hosea, E., Tanoto, Y., *Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode Newton-Raphson*, Jurnal Teknik Elektro Univ. Petra, Vol. 5, No. 1, Surabaya, 2005.
9. Iba, K., *Reactive Power Optimization by Genetic Algorithm*, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 2, May 1994.
10. Kundur, P., *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill Inc., USA, 1993.
11. Miller, T.J.E., *Reactive Power Control in Electric Sistem*, John Wiley & Sons Ltd., England, 1982.
12. Mitchell, M., *Introduction to Genetic Algorithm*, A Bradford Book The MIT Press, England, 1999.
13. Mohan, M.R., Rajiv, K.V., *Thyristor Based FACTS Controllers for Electrical Transmission System*, Wiley-Interscience, New York, 2002.
14. Nayak, A., Stojmenovic I., *Handbook of Appllied Algorithm*, John Wiley & Sons Inc., USA, 2008.

15. Padiyar, K.R., *Power System Dynamics*, John Wiley & Sons Ltd., USA, 1996.
16. Paserba, J.J., Nicholas, W.V., Larsen, E.V., Piwko, R.J., *A Thyristor Controlled Series Compensation Model for System Stability Analysis*, IEEE TPD, Vol. 10, No. 3, PPL-3, May 1995.
17. Piwko, R.J., Damsky, B.L., Furamasu, B.C., Mittlestad, W., *Thyristor Controlled Series Compensation Prototype at The Slatt 500 kV Substation*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, pp. 1460-1469, July 1993.
18. Robandi, I., *Desain Sistem Tenaga Modern*, Edisi I, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 2006.