

Optimalisasi Penempatan UPFC Pada Sistem Jawa Bali 500kv Menggunakan Algoritma Genetika

Danu Firmansyah¹ dan Istiyo Winarno²
1,2)Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas
Hang Tuah Surabaya

Jalan Arif Rahman Hakim No. 150, Keputih-Sukolilo,
Surabaya 60111
Email : danufirmansyah8@gmail.com

Abstrak- Jaringan transmisi merupakan bagian penting dalam sistem tenaga untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke beban, untuk itu sistem tenaga harus diusahakan secara maksimal agar dicapai aliran daya yang optimal, Unified Power Flow Control (UPFC) adalah salah satu perangkat Flexible AC Transmission System (FACTS) yang mampu mengendalikan daya saluran transmisi secara terpisah pada transmisi listrik dan dapat dipasang pada ujung pengirim maupun penerima daya. Model injeksi daya UPFC ke saluran transmisi dibuat dalam suatu persamaan aliran daya Pada sistem Jawa Bali (Jali) 500 kV yang dianalisis dengan metode Algoritma Genetika, agar menghasilkan injeksi daya yang dapat meminimalisasi rugi daya aktif dan reaktif saluran transmisi tanpa melampaui batas perangkat UPFC. Pada sistem Jawa Bali (Jali) 500 kV yang dianalisis dengan metode Algoritma Genetika, nilai UPFC yang optimal Daya Reaktif yang diinjeksikan pada sistem untuk bus 39 sebesar 9695.593207 MVar, bus 15 sebesar 10598.78754 MVar, dan pada bus 37 sebesar 10755.88608 MVar. Total rugi – rugi daya saluran pada sistem sebelum dipasang UPFC adalah 1815.775809 MW, sedangkan total rugi – rugi daya saluran pada sistem sesudah dipasang UPFC dengan GA adalah 1537.391648 MW.

Kata kunci : UPFC, injeksi daya, Algoritma Genetika, aliran daya saluran transmisi

Abstrak- The transmission network is an important part of the power system to deliver electrical energy from the power plant to the load, therefore the power system must be maximized to achieve optimal power flow, Unified Power Flow Control (UPFC) is one of the Flexible AC Transmission System (FACTS) capable of controlling the power of the transmission line separately on electrical transmission and can be mounted on both the sender and the receiving end of the power. The UPFC power injection model to the transmission line is made in a power flow equation. In

the Java Bali (Jali) 500 kV system analyzed by the Genetic Algorithm method, to produce a power injection that minimizes the active and reactive power losses of the transmission line without exceeding the UPFC device limit. In the Java Bali (Jali) 500 kV system analyzed by Genetic Algorithm method, the optimum UPFC value of Reactive Power injected to the system for bus 39 is 9695.593207MVar, bus 15 is 10598.78754 MVar, and on bus 37 is 10755.88608 MVar. The total loss of channel power on the system prior to installation of UPFC is 1815.775809 MW, while the total loss of channel power in the system after installing UPFC with GA is 1537.391648 MW.

Keywords: UPFC, power injection, Genetic Algorithm, transmission line power flow

I PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri dan jumlah penduduk di Indonesia menyebabkan kebutuhan daya listrik meningkat. Kebutuhan daya listrik tersebut dipenuhi dengan menambah pusat pembangkit listrik dan meningkatkan kapasitas transmisi daya listrik. Peningkatan kapasitas transmisi daya listrik dengan cara membangun saluran transmisi baru, tentunya membutuhkan biaya investasi yang tinggi dan menimbulkan masalah sosial yang sulit ditangani. Pertumbuhan beban industri yang didominasi beban induktif membutuhkan suplai daya reaktif yang cukup besar. Kebutuhan daya reaktif ini tentunya akan menurunkan available power yang dapat ditransmisikan ke beban. Oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan aliran daya aktif dan reaktif pada saluran transmisi sehingga dicapai proses penyaluran daya yang efisien.

Aliran daya reaktif pada saluran transmisi akan menurunkan kapasitas penyaluran daya aktif yang dibutuhkan beban. Namun daya reaktif ini juga merupakan komponen penting dalam stabilitas sistem tenaga listrik. Untuk itu, aliran daya aktif dan reaktif dalam saluran transmisi perlu diatur sehingga kapasitas

dan kestabilan sistem transmisi tenaga listrik tetap terjaga. Salah satu perangkat FACTS yang mampu mengendalikan aliran daya saluran transmisi adalah Pengendali Aliran Daya Terpadu (Unified

Power Flow Control / UPFC). Perangkat UPFC terdiri dari converter shunt dan converter seri sebagai sumber tegangan injeksi yang terhubung secara bersama dengan kapasitor penyimpanan tegangan searah. Prinsip kerja UPFC yaitu konverter 2 sebagai fungsi utama UPFC untuk menginjeksikan tegangan sebesar V_{pq} dengan magnitudo V_{pq} dan sudut fasa yang dapat dikendalikan seri dengan saluran transmisi melalui exciting transformer. Perangkat UPFC dapat memberikan kebutuhan fungsional yang mudah disesuaikan untuk kendali aliran daya optimal.

Algoritma Genetika merupakan metoda adaptive yang biasa digunakan untuk pencarian nilai dalam sebuah masalah optimisasi (minimasi atau maksimasi) yang mempunyai banyak sekali solusi yang mungkin (feasible solution). Pada penelitian ini algoritma genetika digunakan untuk mencari nilai optimal penempatan UPFC.

Pada sistem Jawa Bali (Jali) 500 kV yang dianalisis dengan metode Algoritma Genetika, nilai UPFC yang optimal Daya Reaktif yang diinjeksikan pada sistem untuk bus 39 sebesar 9695.593207 MVar, bus 15 sebesar 10598.78754 MVar, dan pada bus 37 sebesar 10755.88608 MVar. Total rugi – rugi daya saluran pada sistem sebelum dipasang UPFC adalah 1815.775809 MW, sedangkan total rugi – rugi daya saluran pada sistem sesudah dipasang UPFC dengan GA adalah 1537.391648 MW.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Saluran Transmisi

Untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit listrik ke pusat beban, maka energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi tegangan dari generator dinaikkan ketinggian tegangan transmisi, yaitu antara 30 kV sampai 500 kV dengan menggunakan transformator penaik tegangan. Dengan tegangan tinggi selain memperbesar daya hantar dari saluran, juga memperkecil rugi – rugi daya dan drop voltage pada tegangan pada saluran penurunan tegangan dari tegangan transmisi dilakukan di gardu induk, di mana tegangan di turunkan ke tingkat yang lebih rendah, yaitu : 500 kV ke 150 kV atau 150 kV ke 70 kV. Setelah itu dilakukan penurunan kedua pada gardu induk distribusi yaitu dari 150 kV ke 20 kV atau 70 kV ke 20 kV. Tegangan 20 kV ini disebut tegangan distribusi primer. Tegangan 20 kV ini nantinya akan didistribusikan ke konsumen dan diturunkan lagi di

gardu tiang dari 20 kV ke 380 V. Tegangan 380 V ini disebut dengan tegangan distribusi sekunder. Terdapat 2 kategori saluran transmisi : saluran udara (overhead lines) dan saluran kabel tanah (underground cable).

Saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui kawat – kawat yang digantung pada tiang transmisi dengan perantara isolator – isolator, sedangkan saluran kabel tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel – kabel yang ditanam dibawah permukaan tanah.

2.2 Peralatan FACTS (Flexible AC Transmission System)

Pengendalian sistem daya listrik bolak balik (AC) telah dikenal sebagai hal yang kompleks. Ini disebabkan oleh perubahan secara terus menerus antara medan magnet dan medan listrik. Bergeraknya arus listrik pada satu transmisi tidak hanya dipengaruhi oleh keberadaan tahanan tetapi juga dari induktansi dan kapasitansi di sepanjang transmisi tersebut. Kombinasi dari ketiga hal inilah yang dikenal dengan istilah impedansi. Selain daripada itu, pada jaringan transmisi listrik AC, daya listrik mengalir dari ujung transmisi dengan voltase fasa leading ke ujung yang lain yang bervoltase fasa tertinggal (lagging).

Besarnya daya listrik yang mengalir pada suatu transmisi akan bertambah dengan semakin besarnya perbedaan sudut fasa antara kedua voltase tersebut. Konsekuensinya, penambahan aliran daya listrik suatu transmisi dengan demikian dapat dilakukan dengan tiga cara: menaikkan voltase, menambah selisih sudut antara dua ujung transmisi atau dengan pengurangan impedansi dari transmisi. Teknologi FACTS inilah yang kemudian dikembangkan dengan salah satu tujuan untuk menyediakan peralatan yang fleksible dalam pengaturan atau pengendalian ketiga parameter aliran daya listrik tersebut.

Tabel 1. Hasil *Running* pada GA

Final Point		
X(1)	X(2)	X(3)
0,845	1,369	1,318

Tabel diatas menunjukkan hasil dari GA dengan fungsi objektif sesuai dengan persamaan Hasil dari running berupa 3 nilai Bupfc (susceptansi UPFC) masing – masing bus yang sensitif tersebut. Running GA ini menggunakan 3 variabel, dimana variable pertama (X1) menunjukkan Bupfc bus 39, variabel kedua (X2) menunjukkan Bupfc bus 15, dan variabel ketiga (X3) menunjukkan Bupfc bus 37.

3.5.2 Perhitungan Nilai UPFC

Setelah diketahui nilai Bupfc (susceptansi

UPFC), untuk mencari nilai UPFC, digunakan perhitungan manual dengan cara mencari daya reaktif UPFC (Qupfc). Untuk mengetahui hasil dari pencarian daya reaktif digunakan persamaan yang telah dijelaskan pada program matlab. Berikut adalah hasil dari perhitungan Qupfc.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Qupfc

Bus	Nilai Daya Reaktif
Bus 39	1562 Mvar
Bus 15	1515 Mvar
Bus 37	1477 Mvar

Tabel 2. menunjukkan hasil perhitungan manual masing – masing daya reaktif bus yang sensitif. Hasil nilai daya reaktif pada tabel 2 dimasukkan ke dalam system interkoneksi Jawa Bali 500 kV. Hasil dimasukkan ke dalam masing – masing bus sesuai dengan variabel yang ditentukan.

3.5.3 Pengujian Loadflow dan Rugi – Rugi Daya

Setelah nilai UPFC didapat dan dimasukkan ke sistem, akan dilakukan pengujian kembali *loadflow* untuk melihat kestabilan tegangan Hasil dari *loadflow* ditunjukkan pada tabel 3. dibawah ini.

Tabel 3 Hasil loadflow setelah ada UPFC

No	Nama Bus	Nominal (KV)	Tegangan (PU)	Tegangan (KV)
1	SURALAYA	500	0.0008599	499.9991401
2	CILEGON	500	0.0001937	499.9998063
3	BANTEN	500	0.845	499.155
4	BOJANEGARA	500	0.802	499.198
5	BALARAJA	500	5.17E-05	499.9999484
6	LINGKONG	500	2.45E-19	500
7	GANDUL	500	3.20E-09	500
8	KEMBANGAN	500	3.06E-09	500
9	DURIKOSAMBI	500	4.02E-19	500
10	M.KARANG	500	1.31E-04	499.9998691
11	PRIOK	500	2.60E-04	499.99974
12	M.TAWAR	500	1.17E-04	499.9998834
13	BEKASI	500	2.58E-19	500
14	CAWANG	500	1.77E-13	500
15	T.PUCUT	500	8.32E-01	499.1678
16	BOGOR	500	2.86E-05	499.9999715
17	DEPOK	500	5.26E-18	500
18	CIBINONG	500	7.84E-14	500

19	TAMBUN	500	6.03E-14	500
20	CIKALONG	500	1.31E-09	500
21	TASIK	500	1.18E-08	500
22	MATENGGENG	500	1.42E-04	499.999858
23	RAWALO	500	1.25E-04	499.9998748
24	PEDAN	500	7.25E-14	500
25	KEDIRI	500	2.12E-09	500
26	BANGIL	500	7.82E-09	500
27	PAITON	500	3.37E-04	499.9996631
28	JAWAI	500	8.01E-01	499.1987
29	CIBATU B	500	7.73E-09	500
30	CIBATU	500	1.72E-09	500
31	DELTAMAS	500	2.42E-05	499.9999758
32	CIRATA	500	1.14E-04	499.9998865
33	SAGULING	500	6.67E-01	4.99E+02
34	BANDUNG SEL	500	6.19E-09	500
35	U.BERUNG	500	5.04E-13	500
36	MANDIRANCAN	500	5.58E-05	499.9999442
37	CIREBON	500	8.18E-01	499.1824
38	JATENG	500	6.14E-01	499.3858
39	INDRAMAYU	500	8.34E-01	499.166
40	PEMALANG	500	3.94E-09	500
41	TJATI	500	6.74E-04	499.999326
42	UNGERAN	500	4.57E-08	500
43	AMPEL	500	2.47E-09	500
44	NGIMBANG	500	4.58E-12	500
45	KRIAN	500	1.32E-08	500
46	GRATI	500	1.46E-04	499.9998537
47	SURABAYA SEL	500	3.53E-09	500
48	GRESIK	500	1.83E-04	499.999817
49	TANDES	500	6.63E-09	500
50	KAPAL	500	6.10E-09	500

Tabel 3 diatas menunjukkan hasil pengujian *loadflow* pada sistem yang telah dipasang UPFC yang mana nilai dari UPFC juga sudah ditentukan yang paling optimal. Dimana nilai tersebut masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu + 5% dan –

10% sesuai dengan standar SPLN 1:1995 pasal 4.

Tabel 4 dibawah menunjuk kanhasil perbedaan ketika dipasang UPFC dan di tempatkan di Indramayu, Tpu cut dan Cirebon sesudah dipasang UPFC dengan GA pada sistem interkoneksi Jawa Bali 500 KV.

Tabel 4. Hasil *Loadflow* dan Rugi Daya setelah ada UPFC ditempatkan di Indramayu

BUS	Vpos.seg	P(Mw)	Q(Mvar)
BUS 1	0.0008599	7.924	3.876
BUS 2	0.0001937	2.51E-05	0.0001215
BUS 3	0.845	130.7	721.4
BUS 4	0.802	130.7	1134
BUS 5	5.17E-05	0.2979	0.07065
BUS 6	2.45E-19	4.43E-10	2.15E-10
BUS 7	3.20E-09	3.36E-18	1.77E-18
BUS 8	3.06E-09	2.72E-10	1.32E-10
BUS 9	4.02E-19	-1.47E-12	5.99E-15
BUS 10	1.31E-04	8.16E-01	3.95E-01
BUS 11	2.60E-04	2.12E+00	1.03E+00
BUS 12	1.17E-04	1.25E+00	5.87E-01
BUS 13	2.58E-19	-6.83E-15	-9.43E-14
BUS 14	1.77E-13	-9.39E-25	-1.23E-22
BUS 15	8.32E-01	9.01E+01	6.51E+02

BUS 16	2.86E-05	-2.05E-02	-9.93E-03
BUS 17	5.26E-18	1.95E-10	3.20E-10
BUS 18	7.84E-14	-3.26E-06	-3.03E-06
BUS 19	6.03E-14	4.56E-10	-6.39E-10
BUS 20	1.31E-09	-1.85E-10	-1.27E-11
BUS 21	1.18E-08	-4.72E-09	-2.29E-09
BUS 22	1.42E-04	5.13E-01	2.48E-01
BUS 23	1.25E-04	1.49E+00	7.23E-01
BUS 24	7.25E-14	7.89E-07	1.09E-05
BUS 25	2.12E-09	1.44E-14	-3.60E-14
BUS 26	7.82E-09	-4.33E-09	-2.10E-09
BUS 27	3.37E-04	6.76E+00	3.27E+00
BUS 28	8.01E-01	1.67E+02	1.21E+03
BUS 29	7.73E-09	2.85E-09	1.38E-09
BUS 30	1.72E-09	-2.42E-14	-4.36E-14
BUS 31	2.42E-05	-1.32E-07	-1.83E-06
BUS 32	1.14E-04	5.02E-01	8.79E-02
BUS 33	6.67E-01	3.47E+02	2.51E+03
BUS 34	6.19E-09	-4.69E-07	-6.46E-06
BUS 35	5.04E-13	4.75E-10	2.30E-10
BUS 36	5.58E-05	-7.42E-02	-4.63E-02
BUS 37	8.18E-01	1.74E+02	1.26E+03
BUS 38	6.14E-01	1.73E+02	1.25E+03
BUS 39	8.34E-01	1.44E+02	9.59E+02
BUS 40	3.94E-09	5.50E-11	2.93E-10
BUS 41	6.74E-04	1.08E+01	5.24E+00
BUS 42	4.57E-08	-1.77E-09	-1.90E-11
BUS 43	2.47E-09	-2.53E-13	2.28E-13
BUS 44	4.58E-12	5.29E-16	3.84E-16
BUS 45	1.32E-08	-3.91E-14	-5.38E-13
BUS 46	1.46E-04	7.02E-01	3.40E-01
BUS 47	3.53E-09	-8.92E-10	-4.32E-10
BUS 48	1.83E-04	2.232	1.081
BUS 49	6.63E-09	-2.09E-09	-1.01E-09
BUS 50	6.10E-09	1.93E-09	9.35E-10
Total	6.216842356	1391.458892	9695.593207
Presentase kemampuan UPFC Meminimalisasi rugi daya			
	8%	13%	14%

Tabel 5. Hasil Loadflow dan Rugi Daya setelah ada UPFC ditempatkan di Tpu cut.

BUS	Vpos.seg	P(Mw)	Q(Mvar)
BUS 1	0.0008598	7.4	4.803
BUS 2	0.0003322	-8.55E-06	0.0003396
BUS 3	0.81	168.5	1217
BUS 4	0.8125	175.4	1230
BUS 5	5.82E-05	0.3149	0.1406
BUS 6	1.50E-19	5.62E-10	2.72E-10
BUS 7	1.96E-23	4.27E-18	2.24E-18
BUS 8	3.44E-09	3.45E-10	1.67E-10
BUS 9	4.94E-20	2.90E-15	8.29E-15
BUS 10	1.31E-04	8.16E-01	3.95E-01
BUS 11	2.60E-04	2.12E+00	1.03E+00
BUS 12	1.17E-04	1.25E+00	5.87E-01
BUS 13	1.20E-19	-6.83E-15	-9.43E-14
BUS 14	1.77E-13	-4.85E-23	-1.45E-22
BUS 15	8.36E-01	9.80E+01	6.41E+02
BUS 16	3.24E-05	-2.64E-02	-1.28E-02
BUS 17	5.26E-18	3.67E-11	-1.36E-10
BUS 18	7.84E-14	1.41E-06	-9.20E-06
BUS 19	6.03E-09	4.56E-10	-6.39E-10
BUS 20	4.64E-10	-2.44E-11	-1.27E-11
BUS 21	1.18E-08	-4.72E-09	-2.29E-09
BUS 22	1.42E-04	5.13E-01	2.48E-01
BUS 23	1.25E-04	1.49E+00	7.23E-01
BUS 24	7.25E-14	7.89E-07	1.09E-05
BUS 25	2.12E-09	1.44E-14	-3.60E-14
BUS 26	7.82E-09	-4.33E-09	-2.10E-09
BUS 27	3.37E-04	6.76E+00	3.27E+00
BUS 28	8.01E-01	1.67E+02	1.21E+03
BUS 29	7.73E-09	2.85E-09	1.38E-09
BUS 30	2.13E-09	4.90E-14	-2.58E-14
BUS 31	2.99E-05	-2.01E-07	-2.78E-06
BUS 32	1.14E-04	5.02E-01	8.79E-02
BUS 33	6.67E-01	3.47E+02	2.51E+03
BUS 34	6.19E-09	-4.69E-07	-6.46E-06
BUS 35	5.04E-13	4.75E-10	2.30E-10
BUS 36	5.58E-05	-7.42E-02	-4.63E-02
BUS 37	8.18E-01	1.74E+02	1.26E+03
BUS 38	6.14E-01	1.73E+02	1.25E+03
BUS 39	8.25E-01	1.77E+02	1.28E+03
BUS 40	2.11E-09	1.74E-11	1.96E-10
BUS 41	6.74E-04	1.08E+01	5.24E+00
BUS 42	4.57E-08	-9.98E-13	-1.90E-11
BUS 43	2.47E-09	-2.53E-13	2.28E-13

BUS 32	1.14E-04	5.02E-01	8.79E-02
BUS 33	6.67E-01	3.47E+02	2.51E+03
BUS 34	6.19E-09	-4.69E-07	-6.46E-06
BUS 35	5.04E-13	4.75E-10	2.30E-10
BUS 36	5.58E-05	-7.42E-02	-4.63E-02
BUS 37	8.18E-01	1.74E+02	1.26E+03
BUS 38	8.14E-01	1.73E+02	1.25E+03
BUS 39	8.25E-01	1.77E+02	1.28E+03
BUS 40	4.83E-09	4.50E-10	1.07E-11
BUS 41	6.74E-04	1.08E+01	5.24E+00
BUS 42	4.57E-08	-1.77E-09	-1.90E-11
BUS 43	2.47E-09	-2.53E-13	2.28E-13
BUS 44	4.58E-12	5.29E-16	3.84E-16
BUS 45	1.32E-08	-3.91E-14	-5.38E-13
BUS 46	1.46E-04	7.02E-01	3.40E-01
BUS 47	3.53E-09	-8.92E-10	-4.32E-10
BUS 48	1.83E-04	2.232	1.081
BUS 49	6.63E-09	-2.09E-09	-1.01E-09
BUS 50	1.22E-08	7.72E-09	3.74E-09
Total	6.387696786	1514.815953	10598.78754
Presentase kemampuan UPFC Meminimalisasi rugi daya			
	6%	5%	5%

Tabel 6. Hasil Loadflow dan Rugi Daya setelah ada UPFC ditempatkan di Cirebon

BUS	Vpos.seg	P(Mw)	Q(Mvar)
BUS 1	0.0008598	7.4	4.803
BUS 2	0.0003426	7.78E-05	0.0003334
BUS 3	0.81	168.5	1217
BUS 4	0.8125	175.4	1230
BUS 5	5.82E-05	0.3149	0.1406
BUS 6	1.50E-19	5.62E-10	2.72E-10
BUS 7	1.96E-23	4.27E-18	2.24E-18
BUS 8	3.44E-09	3.45E-10	1.67E-10
BUS 9	4.94E-20	2.90E-15	8.29E-15
BUS 10	1.31E-04	8.16E-01	3.95E-01
BUS 11	2.60E-04	2.12E+00	1.03E+00
BUS 12	1.17E-04	1.25E+00	5.87E-01
BUS 13	1.20E-19	-6.83E-15	-9.43E-14
BUS 14	1.77E-13	-4.85E-23	-1.45E-22
BUS 15	8.22E-01	1.76E+02	1.27E+03
BUS 16	5.64E-05	-7.99E-02	-3.87E-02
BUS 17	5.26E-18	1.04E-09	5.09E-10
BUS 18	7.84E-14	7.70E-08	1.93E-06
BUS 19	6.03E-09	4.56E-10	-6.39E-10
BUS 20	2.01E-09	-2.58E-10	-1.29E-06
BUS 21	1.18E-08	-4.72E-09	-2.29E-09
BUS 22	1.42E-04	5.13E-01	2.48E-01
BUS 23	1.25E-04	1.49E+00	7.23E-01
BUS 24	7.25E-14	7.89E-07	1.09E-05
BUS 25	2.12E-09	1.44E-14	-3.60E-14
BUS 26	7.82E-09	-4.33E-09	-2.10E-09
BUS 27	3.37E-04	6.76E+00	3.27E+00
BUS 28	8.01E-01	1.67E+02	1.21E+03
BUS 29	7.73E-09	2.85E-09	1.38E-09
BUS 30	2.13E-09	4.90E-14	-2.58E-14
BUS 31	2.99E-05	-2.01E-07	-2.78E-06
BUS 32	1.14E-04	5.02E-01	8.79E-02
BUS 33	6.67E-01	3.47E+02	2.51E+03
BUS 34	6.19E-09	-4.69E-07	-6.46E-06
BUS 35	5.04E-13	4.75E-10	2.30E-10
BUS 36	5.58E-05	-7.42E-02	-4.63E-02
BUS 37	8.18E-01	1.74E+02	1.26E+03
BUS 38	6.14E-01	1.73E+02	1.25E+03
BUS 39	8.25E-01	1.77E+02	1.28E+03
BUS 40	2.11E-09	1.74E-11	1.96E-10
BUS 41	6.74E-04	1.08E+01	5.24E+00
BUS 42	4.57E-08	-9.98E-13	-1.90E-11
BUS 43	2.47E-09	-2.53E-13	2.28E-13

BUS 44	4.58E-12	5.29E-16	3.84E-16
BUS 45	1.32E-08	-3.91E-14	-5.38E-13
BUS 46	1.46E-04	7.02E-01	3.40E-01
BUS 47	3.53E-09	-8.92E-10	-4.32E-10
BUS 48	1.83E-04	2.232	1.081
BUS 49	6.63E-09	-2.09E-09	-1.01E-09
BUS 50	1.22E-08	7.72E-09	3.74E-09
Total	6.392513735	1537.391648	10755.88608
Presentase kemampuan UPFC meminimalisasi rugi daya			
	6%	3%	4%

Dilihat dari ketiga table diatas, secara umum tegangan pada sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV mengalami perubahan setelah dipasang UPFC dengan penempatan yang optimal menggunakan GA. Sedangkan pada bus yang lainnya mengalami perubahan sehingga tegangan menjadi stabil dimana nilai tersebut masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu + 5% dan - 10% sesuai dengan standar SPLN 1:1995 pasal 4. Penginjeksian besaran dan sudut fasa tegangan injeksi seri (V_{pq} dan δ_{pq}) dapat merubah aliran daya aktif dan reaktif saluran dari aliran daya dasarnya. Perubahan ini terjadi oleh karena variasi tegangan injeksi seri yang ditransformasikan ke dalam penginjeksian daya akan merubah besaran dan sudut fasa tegangan pada kedua ujung saluran yang mengakibatkan arus seri saluran juga berubah. Perubahan arus saluran selanjutnya akan merubah aliran daya aktif dan reaktif saluran. Pengoptimalan aliran daya saluran dari variasi aliran daya aktif menghasilkan variasi penginjeksian besaran dan sudut fase tegangan seri sehingga dapat meminimalisasi rugi daya aktif total system transmisi Sehingga pada penelitian ini pemasangan UPFC dengan penempatan yang optimal menggunakan metode GA.

3.5.4 Analisis Sistem

Secara umum tegangan pada sistem interkoneksi JawaBali 500 kV mengalami perubahan setelah dipasang UPFC dengan kapasitas yang optimal menggunakan GA. Ada beberapa bus yang tidak mengalami perubahan dikarenakan tegangan sudah mencapai kestabilan yaitu 500 KV, akan tetapi beberapa bus yang lainnya mengalami perubahan sehingga tegangan menjadi stabil dimana nilai tersebut masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu + 5% dan - 10% sesuai dengan standar SPLN 1:1995 pasal 4. Pada sistem Jawa Bali (Jali) 500 kV yang dianalisis dengan metode Algoritma Genetika, hasil darinilai

UPFC yang optimal Daya Reaktif yang diinjeksikan pada sistem untuk bus 39 sebesar 9695.593207 MVar, bus 15 sebesar 10598.78754 MVar, dan pada bus 37 sebesar 10755.88608 MVar. Dengan metode Algoritma Genetika, didapat pengoptimalan nilai UPFC pada bus sensitif sebagai berikut:

- Bus 39 = 1562 MVar dengan tegangan 0.912 KV.
- Bus 15 = 1515 MVar dengan tegangan 0.8981 KV.
- Bus 37 = 1477 MVar dengan tegangan 0.8867 kV.

Total rugi - rugi daya saluran pada sistem sebelum dipasang UPFC adalah 1815.7758 MW, sedangkan total rugi - rugi daya saluran pada sistem sesudah dipasang UPFC dengan GA adalah 1537.391648 MW. Sehingga secara keseluruhan rugi - rugi daya saluran pada sistem interkoneksi JawaBali 500 kV mengalami penurunan setelah dipasang UPFC dengan kapasitas yang optimal menggunakan GA.

Berdasarkan hasil diatas, dengan demikian sistem dapat dikatakan stabil dimana nilai tersebut masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu + 5% dan - 10% sesuai dengan standar SPLN 1:1995 pasal 4.

IV KESIMPULAN

Dengan pencarian nilai penempatan UPFC menggunakan Algoritma Genetika dapat diketahui bahwa nilai yang belum di pasang UPFC untuk bus 39 sebesar 1562 MVar, bus 13 sebesar 1515 MVar, dan bus 37 sebesar 1477 MVar.

Daya Reaktif yang diinjeksikan pada sistem untuk bus 39 sebesar 9695.593207 MVar, bus 15 sebesar 10598.78754 MVar, dan pada bus 37 sebesar 10755.88608 MVar.

Tegangan yang dihasilkan setelah tentukannya penempatan UPFC yang optimal yaitu pada bus 39 menjadi 6.368931148 kV, bus 15 menjadi 6.38769687 kV, dan bus 37 menjadi 6.392513735 kV . Total rugi - rugi daya saluran pada sistem sebelum dipasang UPFC adalah 1815.775809 MW, sedangkan total rugi - rugi daya saluran pada sistem sesudah dipasang UPFC dengan GA adalah 1537.391648 MW. Dengan begitu sistem dapat dikatakan stabil dimana nilai tersebut masih dalam batas toleransi yang diijinkan yaitu + 5% dan - 10% sesuai dengan standar SPLN 1:1995 pasal 4.

V REFERENSI

1. Carlos RS1, Hamzah Berahim2 dan Soedjatmiko.Seminar Nasional Teknik Menggunakan Pengendalian Aliran Daya Terpadu.
2. Rusejla Sadikovic,Internal Report,Power Flow Control With UPFC.
3. Saadat,Hadi.1999.Power System Analysis.McGraw-Hill.
4. Lesnanto multa putranto, Restu Prima Andani pengaruh penempatan upfc terhadap kestabilan tegangan sistem tenaga listrik, UGM, 2013.
5. Anwar, S. 2012. Optimasi Penempatan SVC untuk Memperbaiki Profil Tegangan dengan Menggunakan Algoritma Genetika. Jurnal Elektro ELTEK. Vol. 3, no. 1. Malang : Universitas Brawijaya.