

SIMULASI OPTIMASI DAYA REAKTIF DAN TEGANGAN PADA SISTEM JAMALI 500 kV MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Gunara Fery Fahnani ^{*)}, Yuningtyastuti, and Susatyo Handoko,

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

**)E-mail: gunz_haha@yahoo.com*

Abstrak

Permintaan kebutuhan beban pada sistem JAMALI 500kV 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. Semakin besar rugi daya maka akan menimbulkan penurunan tegangan di sisi terima, sehingga perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan kemampuan menyalurkan daya listrik. Pada simulasi ini terdapat beberapa cara untuk mengurangi rugi daya dan drop tegangan yaitu dengan cara teknik optimasi menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO). PSO digunakan untuk efisiensi distribusi daya reaktif pada sistem tenaga listrik. Dapat dicapai dengan penambahan injeksi daya reaktif jaringan dan menyesuaikan eksitasi pada generator. Hasil simulasi menunjukkan bahwa PSO dapat menyelesaikan masalah optimasi daya reaktif dan tegangan pada JAMALI 500kV. Optimasi PSO daya reaktif mengurangi rugi daya aktif 27MW (9,8%), Optimasi tegangan generator 33MW (12%) serta keduanya dapat mengurangi kerugian daya aktif 49MW (18%) dimana ketiga optimasi tersebut mampu menjaga profil tegangan dalam batas-batas sesuai toleransi yang diijinkan $\pm 5\%$.

Kata Kunci: Sistem tenaga listrik, Rugi daya dan PSO

Abstract

Demand on the system load requirements JAMALI 500kV increasing over time, whereas the amount of power that can be generated in the system and the capacity of the power plants that can be distributed by the network are likely to remain so as the ability to deliver power to decline one of them due to power loss. The bigger the power loss it will cause a voltage drop on the receiving end, so efforts should be made to improve the ability to deliver power. In this simulation, there are several ways to reduce the power loss and voltage drop that is by using optimization techniques Particle Swarm Optimization (PSO). PSO is used for reactive power distribution efficiency of the power system. Can be achieved with the addition of reactive power injection on the network and adjusts the generator excitation. Simulation results show that PSO can solve the optimization problem of reactive power and voltage at 500kV JAMALI. PSO reactive power optimization reduces the active power losses 27MW (9.8%), Optimization of 33MW generator voltage (12%), and both can reduce active power losses 49MW (18%) in which the optimization is able to secure third voltage profile in the appropriate limits of tolerance allowable $\pm 5\%$.

Keywords : power system, power loss and PSO

1. Pendahuluan

Setiap tahun terjadi peningkatan kebutuhan energi yang signifikan dan menuntut pihak penyedia energi listrik untuk memberikan suplai energi yang cukup dan berkualitas. Kondisi yang sama juga terjadi pada jaringan interkoneksi JAMALI (Jawa Madura dan Bali) 500 kV. Perubahan pada topologi jaringan dan kondisi beban sering kali menyebabkan perubahan tegangan di sistem

tenaga listrik. Aliran daya reaktif dapat diatur dengan mengubah posisi tap trafo, meningkatkan kemampuan pembangkitan daya reaktif dari pembangkit, juga dapat dilakukan dengan menambahkan daya reaktif pada jaringan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan pengaruh daya reaktif akan mempengaruhi profil tegangan bus, rugi daya aktif dan aliran daya optimal pada sistem. Seperti Djiteng Marsudi mengatakan pada buku Operasi Sistem Tenaga Listrik

bahwa variabel pengaturan yang dapat mengatur daya reaktif dalam sistem meliputi eksitasi generator, kapasitor, reaktor dan posisi tap trafo ^[2]. Ngakan Putu dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa setelah pemasangan kapasitor, tegangan terendah dapat meningkat 1,5% dari tegangan sebelum dipasang kapasitor ^[13]. Menurut L. Grant, G. K. Venayagamoorthy, dkk, melakukan penelitian bahwa pengaturan optimisasi tegangan generator, daya reaktif kapasitor dan Tap setting trafo dengan menggunakan metode *differential evolution (DE)* dapat mengurangi losses sebesar 6,69% ^[7]. Berdasarkan penelitian yang telah disebutkan di atas, penulis melakukan simulasi optimasi daya reaktif dan tegangan pada sistem JAMALI 500kV dengan menggunakan metode Particle Swarm Optimization untuk mengetahui aliran daya yang optimal.

2. Metode

2.1 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya dan tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik memerlukan representasi atau pemodelan komponen sistem tenaga listrik. Salah satu metode yang cukup baik untuk digunakan dalam studi aliran daya adalah metode Newton Raphson [2,3].

2.2 Metode 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.

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 (θ)* : parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.

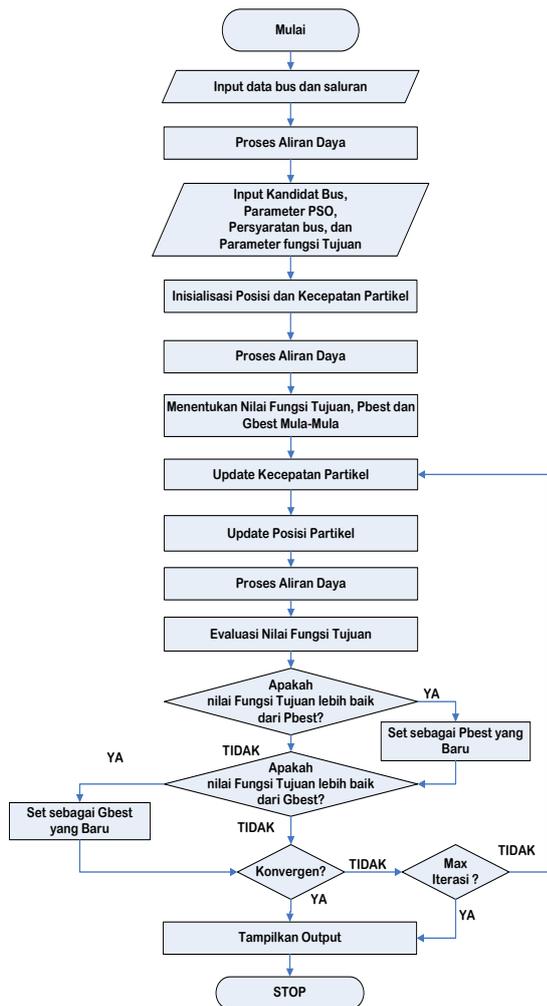
Berikut ini adalah langkah-langkah dari proses PSO :

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 (8)

$$V_j(i) = \theta V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - X_j(i-1)] \quad (8)$$

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(9)

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \quad (9)$$
 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 2.1 Diagram alir pembuatan program

Pada tugas akhir ini pengujian optimasi dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

- PengujianI (optimasi injeksi daya reaktif)
- PengujianII (optimasi tegangan generator)
- PengujianIII (optimasi injeksi daya reaktif dan tegangan generator)

Dalam sistem JAMALI metode optimisasi PSO diaplikasikan untuk menemukan nilai parameter tegangan bus generator dan daya reaktif. Melalui metode optimisasi PSO ini, nilai parameter yang diperlukan diinisialisasi sebagai bagian dari posisi partikel atau burung yang akan disebar pada ruang permasalahan.

Tabel. 2.1 Parameter Optimasi PSO

No	Parameter PSO	Nilai Optimasi		
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III

1	Jumlah Partikel	100	100	100
2	Jumlah Iterasi	25	25	25
3	Weight Min	0,2	0,2	0,2
4	Weight Maks	0,9	0,9	0,9
5	Acceleration 1 (c ₁)	2	2	2
6	Acceleration 2 (c ₂)	2	2	2
7	Jumlah Variabel BUS	7	6	13
8	Batas Atas Tegangan (p.u)	-	1,05	1,05
9	Batas Bawah Tegangan(p.u)	-	0,95	0,95
10	Batas Atas Daya Reaktif(Mvar)	250	-	250
11	Batas Bawah Daya Reaktif(Mvar)	-250	-	-250

Output yang ingin dicapai melalui PSO adalah nilai minimum dari rugi daya aktif saluran transmisi sistem. Proses awal yang ditempuh adalah inisialisasi partikel berdasarkan pada jumlah variabel atau parameter yang dioptimisasi dan jumlah partikel yang ingin disebar dalam ruang permasalahan.

Selanjutnya nilai partikel akan diacak berdasarkan pada batas yang telah ditetapkan untuk masing-masing variabel. Selanjutnya proses diteruskan dengan melakukan perhitungan terhadap nilai fitness dari masing-masing partikel berbasis pada fungsi objektif yang telah ditetapkan.

2.3 Model Optimisasi

Terdapat beberapa model optimisasi untuk pengaturan daya reaktif dan tegangan dengan fungsi objektif yang berbeda-beda. Salah satu model optimisasi pengaturan daya reaktif dan tegangan dengan fungsi objektif mendapatkan nilai rugi daya aktif saluran transmisi yang minimum adalah sebagai berikut:

$$F = (Ploss) \tag{1}$$

Variabel Keadaan :

$$Q_G min \leq Q_G \leq Q_G max \tag{2}$$

$$V_L min \leq V_L \leq V_L max \tag{3}$$

Variabel Kontrol

$$Q_{injeksi} min \leq Q_{injeksi} \leq Q_{injeksi} max \tag{4}$$

$$V_g min \leq V_g \leq V_g max \tag{5}$$

Dengan,

P_{Loss} = Rugi daya aktif sistem

V_g = Magnitude tegangan bus generator

V_L = Magnitude tegangan bus beban

$Q_{injeksi}$ = Injeksi daya reaktif dari kapasitor shunt

Q_G = Daya reaktif yang dibangkitkan generator

14	0	0.928	193	118	0	0				
15	2	1	0	0	1.321	486.2				
16	0	0.972	508	265	0	0				
17	2	0.980	127	92	900	581				
18	0	0.966	342	95	0	0				
19	0	0.915	133	33	0	0				
20	0	0.912	365	101	0	0				
21	0	0.933	498	124	0	0				
22	2	1	448	55	3180	748.28				
23	2	0.990	180	132	398.6	377.57				
24	0	0.985	732	287	0	0				
25	0	0.958	264	58	0	0				
			1036							
	Jumlah		1	3565	10635.6	6244.6				
13	Mandi Racan	0.921	0.945	0.9796	0.995					
14	Ungaran	0.928	0.965	0.9885	1.017					
15	Tanjung Jati Surabaya	1.00	1.00	1.050	1.050					
16	Barat	0.972	0.992	1.032	1.042					
17	Gresik	0.980	1.040	1.040	1.050					
18	Depok	0.966	0.996	0.996	1.008					
19	Tasikmalaya	0.915	0.963	0.9637	1.014					
20	Pedan	0.912	0.970	0.9708	1.018					
21	Kediri	0.933	0.990	0.9908	1.029					
22	Paiton	1.00	1.050	1.050	1.050					
23	Grati	0.990	1.049	1.049	1.050					
24	Ngimbang	0.985	1.001	1.001	1.006					
25	Balaraja	0.958	1.018	1.018	1.032					

Keterangan untuk kode bus :

0. Load Bus (Bus Beban)

1. Slack Bus (Swing Bus)

2. Voltage Control Bus (Bus Generator)

Dari tabel 3.1 diperoleh rugi-rugi saluran transmisi tanpa injek sebesar 274,611 MW dan 2.679,647 MVAR dengan supply daya dari pembangkit sebesar 10.635,611 MW dan 6.244,647 MVAR.

3.2 Hasil loadflow sesudah optimasi penerapan PSO dalam proses variabel kontrol

Pada sistem interkoneksi JAMALI 500 kV tidak terpasang transformator . Dalam optimisasi ini Transformator tidak dilibatkan dalam optimisasi karena bernilai konstan 1 (satu). Sehingga rasio tap transformator tidak dapat dijadikan variabel kontrol dalam optimisasi.

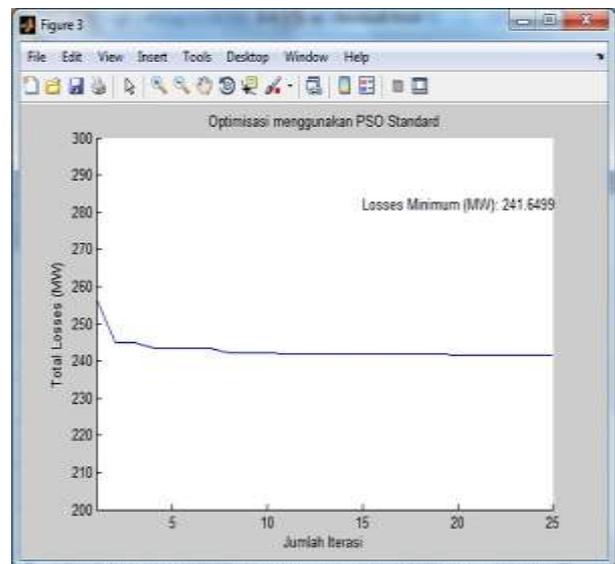
Keberhasilan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam menyelesaikan optimisasi meningkatkan profil tegangan setiap bus ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3.2 Perbandingan nilai profil tegangan tiap bus

No	Nama Bus	Kondisi Awal	Nilai Tegangan Sesudah Optimasi		
			Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III
1	Suralaya	1.020	1.020	1.020	1.02
2	Cilegon	1.016	1.016	1.017	1.018
3	Kembangan	0.967	0.979	0.9949	1.005
4	Gandul	0.968	0.980	0.9959	1.006
5	Cibinong	0.968	0.979	1.001	1.009
6	Cawang	0.966	0.971	1.001	1.006
7	Bekasi	0.960	0.967	0.9955	1.001
8	Muara Tawar	1.00	1.00	1.036	1.038
9	Cibatu	0.983	0.983	1.023	1.027
10	Cirata	0.980	0.980	1.023	1.030
11	Saguling	0.970	0.980	1.020	1.022
	Bandung				
12	Selatang	0.940	0.964	1.003	1.009

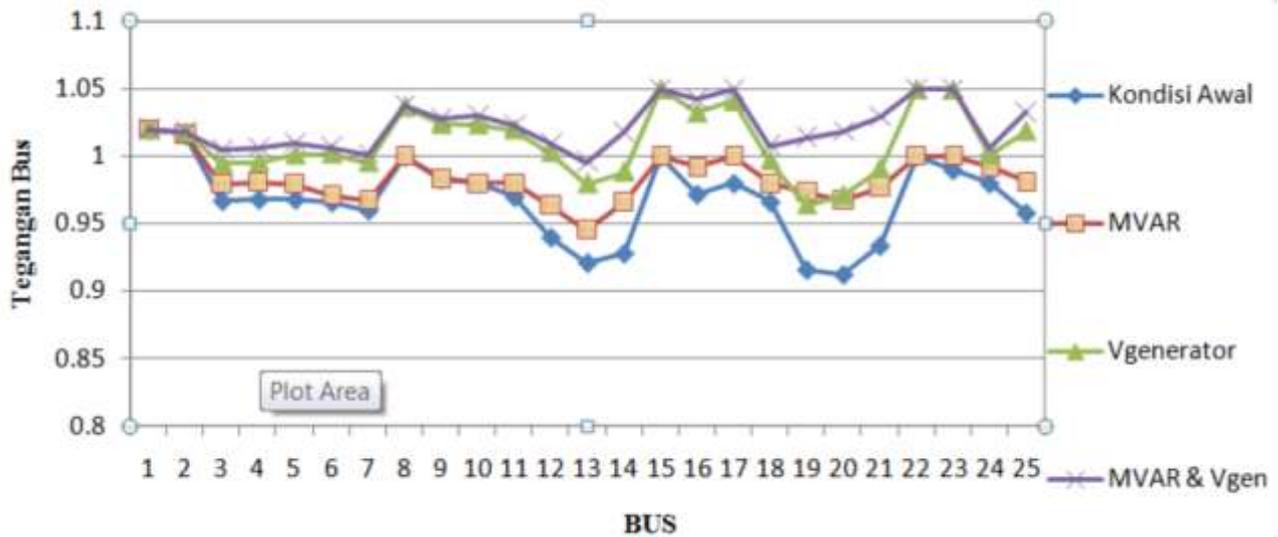
Dalam proses perhitungan aliran daya sistem JAMALI 500kV dalam keadaan *steady state* atau beban konstan dan seimbang.

Pada tabel 3 dalam menyelesaikan optimisasi sistem interkoneksi Jawa-Bali 500 kV berdasarkan fungsi objektif mampu meningkatkan profil tegangan sesuai toleransi standar yang diperbolehkan (0,95 – 1,05 pu). Metode PSO ditunjukkan dalam karakteristik konvergensi menunjukkan bahwa pengoptimasi Mampu mereduksi rugi daya aktif saluran JAMALI 500kV.



Gambar 3.2 Karakteristik konvergensi PSO

Dari tabel 3.3 dapat dibuat grafik perbandingan tegangan tiap bus sebelum dan sesudah optimasi PSO



Gambar 3.3 Grafik perbandingan tegangan tiap bus hasil loadflow sebelum dan sesudah optimasi.

Karakteristik PSO dalam program ini bersifat hanya mencari nilai rugi daya terkecil. Partikel PSO selalu berpusat pada satu nilai tujuan yang (losses terkecil). Dimana dengan mengatur daya reaktif dan tegangan generator mampu membuat profil tegangan sesuai toleransi PLN dan bila tegangan sudah stabil maka pada akhirnya dapat membuat aliran daya sistem transmisi menjadi optimal.

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Optimasi PSO antara daya reaktif, tegangan, perpaduan daya reaktif dan tegangan

No	Hal yang dibandingkan	Sebelum Optimasi (Kondisi awal)	Hasil Optimasi Pso		
			Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III
1	Pembangkitan Daya Aktif (MW)	10.635,6	10.608,6	10.602,9	10.584,6
2	Pembangkitan Daya Reaktif (MVAR)	6.244,6	4.454,3	5.882,5	4.636,4
3	Rugi-Rugi Daya Aktif Saluran (MW)	274,611	247,6	241,64	224,9
4	Rugi-Rugi Daya Reaktif Saluran (MVAR)	2.679,647	2.389,3	2315,4	2.119,8
5	Nilai Fitness Terbaik (MW)	-	247,66	241,64	224,9
6	Prosentase Penurunan Losses	-	9.8%	12%	18%

Sebelum dilakukan optimasi dari hasil load flow diperoleh daya dari pembangkit sebesar 10.635,611 MW dan 6.244,647 MVAR dengan rugi-rugi transmisi sebesar 274,611MW dan 2.679,647 MVAR. Setelah dilakukan optimisasi menggunakan metode PSO dengan jumlah partikel 100 dan sebanyak 25 iterasi, rugi-rugi saluran menurun dapat dilihat pada tabel 3.4 Dengan jumlah partikel dan itesasi yang sama didapat penurunan rugi-rugi saluran transmisi yang berbeda. Pengaturan daya reaktif ditambah pengaturan tegangan menghasilkan rugi daya paling minimum dibandingkan dengan pengaturan tegangan generator saja dan pengaturan daya reaktif saja. Namun ketiga pengaturan tersebut sudah mampu memperbaiki profil tegangan bus seperti ditunjukkan pada gambar 3.3 Atau dengan kata lain pengaturan daya reaktif dan tegangan dapat memperbaiki profil tegangan, rugi – rugi saluran sistem interkoneksi JAMALI. Pada akhirnya sistem aliran daya lebih optimal

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil simulasi aliran daya pada data JAMALI 500kV diperoleh (losses) tanpa optimasi rugi daya sebesar 274.611 MW dan 2679.647 MVAR.
2. Hasil simulasi aliran daya optimasi injeksi daya reaktif dengan metode PSO penurunan rugi daya aktif sebesar 27 MW (9,8%) dari 274,6 MW menjadi 247,6 MW.
3. Hasil simulasi aliran daya optimasi tegangan generator dengan metode PSO mengurangi rugi daya aktif sebesar 33MW (12%) dari 274,6 MW menjadi 241,6 MW.
4. Hasil simulasi aliran daya optimasi tegangan generator dan injeksi daya reaktif dengan metode PSO penurunan rugi daya aktif sebesar 49 MW (18%) dari 274,6 MW menjadi 224,9 MW.

5. Optimisasi injek daya reaktif dan tegangan generator dapat memperbaiki profil tegangan setiap bus dan mereduksi rugi daya pada setiap saluran. kenaikan tegangan tiap bus, telah sesuai dengan batas asumsi yang telah diijinkan $\pm 5\%$. (Standar minimal 0.95pu dan maksimal 1.05pu.).

Saran

Berikut saran yang dapat diajukan guna pengembangan

- Untuk menjadikan sistem menjadi aliran daya optimal. Selain tegangan bus generator dan injek daya reaktif Dapat dikembangkan pengaturan rasio tap transformator sebagai variabel kontrol dengan menggunakan PSO.
- Perlu dikembangkan lebih lanjut untuk optimasi aliran daya optimal menggunakan metode yang lain misalnya metode *artificial immune system*, kombinasi beberapa metode, dan lain – lain.

Referensi

- [1]. Belly, Alto dkk 2010. Daya aktif , Reaktif & Semu. 2010 : Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [2]. Djiteng Marsudi. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta :Graha Ilmu
- [3]. Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill
- [4]. Erviana, Mira. 2012. “Optimasi Penempatan dan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Sistem Distribusi Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan Particle Swarm”. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [5]. <http://id.wikipedia.org/wiki/Generator>
- [6]. <http://www.pln.co.id/p3bjawabali/?p=454>
- [7]. L. Grant, G. K. Venayagamoorthy, G. Krost, dkk. 2008 “Swarm Intelligence and Evolutionary Approaches for Reactive Power and Voltage Control”, IEEE Swarm Intelligence Symposium.
- [8]. Ramdhani, Mohamad. 2008. “Rangkaian Listrik”. Jakarta : Erlangga.
- [9]. Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. Singapura : McGraw-Hill.
- [10]. Santosa, Budi. 2009. *Tutorial Particle Swarm Optimization*. Surabaya : Teknik Industri, ITS
- [11]. Stevenson, William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- [12]. Sulasno 2001. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi 2*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- [13]. Utama, Ngakan Putu Satriya. 2008. “Memperbaiki Profil Tegangan Di Sistem Distribusi Primer Dengan Kapasitor Shunt”. Bali : Universitas Udayana.
- [14]. Youssef, Hossam K.M dkk. 2007. “Optimum VAR sizing and allocation using particle swarm optimization”. Cairo University