

## **KOMBINASI INERTIA WEIGHT DAN CONSTRICTION FACTOR PADA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION SEBAGAI SOLUSI PEMBANGKITAN EKONOMIS PADA SISTEM TENAGA IEEE 26 BUS**

**Sabhan Kanata**

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Ichsan Gorontalo

Jln. Raden Saleh No. 17 Kota Gorontalo

E-mail : sabhankanata@yahoo.co.id

Diterima : 26 Agustus 2013

Disetujui : 30 Agustus 2013

Dipublikasikan : September 2013

### **ABSTRAK**

Komponen biaya paling besar pada operasi pembangkitan *thermal* adalah biaya bahan bakar. Untuk membuat biaya konsumsi bahan bakar generator atau biaya operasi dari keseluruhan sistem seminimal mungkin dengan menentukan kombinasi daya *output* dari masing-masing unit pembangkit di bawah kekangan dari tuntutan beban sistem dan batas kemampuan pembangkitan masing-masing unit pembangkit dikenal dengan istilah *economic dispatch*. Dalam penelitian ini, dilakukan 2 pendekatan yaitu *Constriction Factor based Particle Swarm Optimization* (CFBPSO) dan kombinasi *inertia weight dengan constrictio factor*(IWCFPSO). Pendekatan ini diterapkan dalam kasus sistem tenaga yaitu pada kasus IEEE 26 bus dengan pembebanan 1.263 MW dimana pendekatan CFBPSO dan IWCFPSO menunjukkan hasil yang lebih optimal dibanding metode *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO), *Newton Raphson*(NR), dan *Genetic Algorithm* (GA) namun metode IWCFPSO mampu memberikan solusi lebih cepat dibandingkan dengan metode CFBPSO.

**Kata kunci** : pembangkitan ekonomis, *particle swarm optimization*, *constriction factor*, *inertia weight*, IEEE 26 bus

### **ABSTRACT**

The most substantial component of the operating cost of thermal generation is fuel costs . To make the cost of generator fuel consumption or operation of the overall system cost to a minimum by specifying a combination of the output power of each generating unit under the constraints of the system load demand and generation capacity limits of each generating unit known as economic dispatch . In this study use conducted two approach are *constriction factor based Particle Swarm Optimization* ( CFBPSO ) and combination with *constriction factor and inertia weight* ( IWCFPSO ). This approach is applied in the case of the power system in the case of IEEE 26 buses with 1,263 MW of which loading and IWCFPSO and CFBPSO approach showed better results than the optimal method of *Improved Particle Swarm Optimization* ( IPSO ) , *Newton Raphson* ( NR ) and *Genetic Algorithm* ( GA ) but IWCFPSO method is able to provide a solution much faster than the method CFBPSO.

**Keywords**: economic generation, *particle swarm optimization*, *constriction factor*, *inertia weight*, IEEE 26 bus

### **PENDAHULUAN**

Sistem pembangkitan dimana konsumsi bahan bakar menjadi suatu masalah dan perlu mendapatkan perhatian yang serius mengingat komponen biaya operasi pembangkitan terbesar adalah biaya bahan bakar. Penghematan biaya bahan bakar dalam persentase yang kecil memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap penghematan biaya operasi. Untuk memproduksi tenaga listrik pada suatu sistem tenaga dibutuhkan cara bagaimana membuat biaya konsumsi bahan bakar generator atau biaya operasi dari keseluruhan sistem seminimal mungkin dengan menentukan kombinasi daya *output* dari masing-masing unit pembangkit di bawah kekangan dari tuntutan beban sistem dan batas kemampuan pembangkitan masing-masing unit pembangkit. Cara ini dikenal dengan istilah pembangkitan ekonomis [1][2].

Sudah banyak metode digunakan untuk menyelesaikan masalah ini. Metode tradisional seperti iterasi *lambda*, *gradient* dan *newton-raphson* [3] yang menggunakan kurva *incremental cost* dimana metode ini dapat dilakukan jika kurva karakteristik *incremental cost* ini diidealkan terlebih dahulu, sehingga kurva terbentuk menjadi halus dan *convex*. Untuk kurva *non-convex* dapat diselesaikan dengan cara menggunakan metode *dynamic programming* [4]. Metode ini memiliki kelemahan karena seringkali mengalami kendala terjebak pada masalah optimasi lokal[5][6]. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa metode alternatif telah dikembangkan seperti algoritma genetika [7], *neural network* [8], dan *particle swarm optimization*. [5-6][9-13].

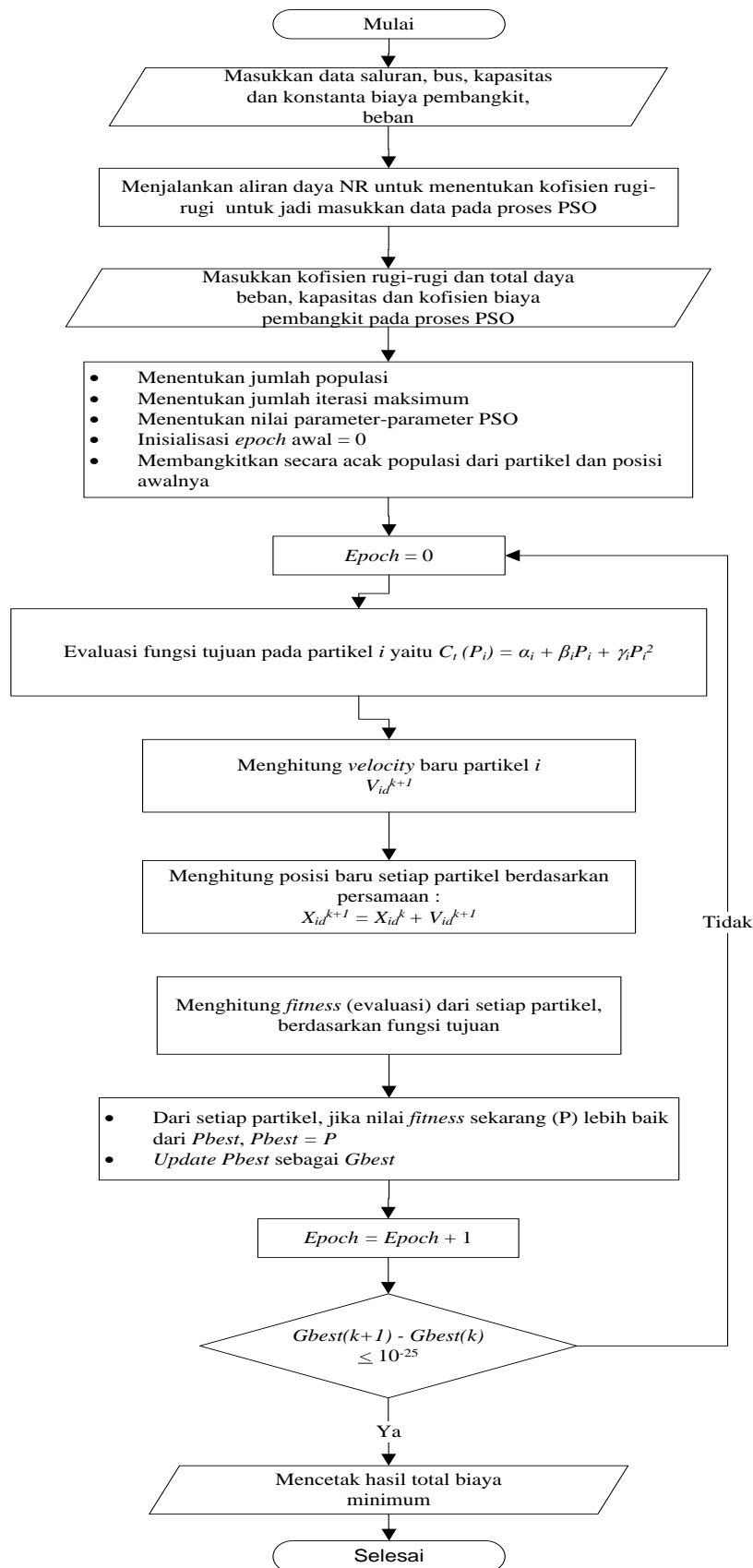
*Particle swarm optimization* (PSO) adalah metode optimasi heuristik global yang awalnya dikemukakan oleh J. Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 dimana didasarkan pada kecerdasan hewan atau perilaku pergerakan kawanan burung atau ikan dalam mencari makanan sehingga dapat diterapkan pada metode penelitian ilmiah maupun rekayasa. Perbaikan PSO dengan menerapkan *inertia weight* yang berfungsi mengontrol kecepatan dari waktu ke waktu sehingga kecepatan mengalami penurunan secara linier yang membuat PSO mencari ruang yang lebih besar di awal untuk mendapatkan posisi dengan cepat yaitu solusi yang paling optimis. Saat *inertia weight* menurun, kecepatan partikel juga ikut memperlambat untuk mencari solusi parsial yang lebih halus sehingga metode perbaikan ini mampu memberikan keseimbangan antara eksplorasi global dan eksploitasi lokal [13]. Kemudian dilakukan perbaikan dengan menggunakan *contriction factor* untuk menjamin konvergensi dan osilasi amplitudo partikel menurun dari waktu ke waktu tanpa pengaturan kecepatan maksimum [14]. Penelitian dengan membandingkan *inertia weight* dengan *contriction factor* dimana penggunaan *contriction factor* memiliki konvergensi yang lebih baik dibanding menggunakan *inertia weight* [15]. Atas dasar ini peneliti mencoba mengkombinasikan keduanya untuk mencari solusi *economic dispatch* pada sistem tenaga IEEE 26 bus.

## METODE

Diagram alir proses pencarian solusi pembangkitan ekonomis mengkombinasikan *inertia weight* dan *contriction factor* terlihat pada gambar 1, dengan rincian sebagai berikut :

1. Masukkan data saluran, data bus, data beban, dan data generator pada sistem tenaga IEEE 26 bus ke dalam program aliran daya *Newton-Raphson*
2. Jalankan aliran daya *Newton Raphson* ntuk menentukan kofisien rugi-rugi pada sistem tenaga IEEE 26 bus.
3. Setelah kofisien rugi-rugi didapatkan maka data tersebut dimasukkan ke dalam *source* data pada PSO. Selain data kofisien rugi-rugi, data fungsi biaya pembangkitan, batas kemampuan pembangkitan, dan besar permintaan beban.
4. Masukkan parameter-parameter PSO
5. Inisialisasi parameter yaitu *population size*,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $w_{awal}$  -  $w_{akhir}$ , dan *error gradient*.
6. Inisialisasi posisi dan *velocity* partikel secara acak. Inisialisasi acak partikel dalam suatu populasi sesuai dengan batas masing-masing unit, dimensi partikel, dan *velocity*. Ini langkah awal partikel untuk mencari calon solusi yang layak yang memenuhi operasi kendala batasan pembangkitan.

$$P_{ij} = \begin{cases} P_{ij} & \text{jika } P_{ij,min} \leq P_{ij} \leq P_{ij,max} \\ P_{ij,min} & \text{jika } P_{ij} < P_{ij,min} \\ P_{ij,max} & \text{jika } P_{ij} > P_{ij,max} \end{cases}$$



Gambar 1. Diagram alur proses pencarian solusi PSO

7. Pada saat  $epoch = 0$ , setiap partikel dari populasi membangkitkan keluaran tergantung pada permintaan beban ( $P_D$ ) dan rugi-rugi daya ( $P_L$ ).

$$P_i = P_D + P_L$$

dengan  $P_1 = P^T B P$

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_i \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & \dots & B_{1j} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & \dots & B_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{i1} & B_{i2} & B_{i3} & \dots & B_{ij} \end{bmatrix}$$

8. Hitung nilai fungsi lalu evaluasi dari masing-masing partikel ( $P_i$ ) dalam populasi dengan menggunakan fungsi diberikan oleh:

$$C_f = \sum_{i=1}^n \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$$

9. Bandingkan nilai evaluasi fungsi masing-masing individu dengan  $Pbest$ -nya. Evaluasi terbaik nilai antara  $Pbest$  dilambangkan sebagai  $Gbest$

10. Pada  $epoch = k + 1$ , update velocity partikel  $i$  ( $v_{id}^{k+1}$ ) dan posisi partikel  $i$  ( $x_{id}^{k+1}$ ) dengan menggunakan algoritma :

- kombinasi bobot inersia (inertia weight) dan faktor penyempitan (constriction factor)

$$v_{id}^{k+1} = CF (v_{id}^k + c_1 r_1^k (Pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2^k (Gbest_d^k - x_{id}^k))$$

- kombinasi bobot inersia (inertia weight) dan faktor penyempitan (constriction factor)

$$v_{id}^{k+1} = CF (v_{id}^k + c_1 r_1^k (Pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2^k (Gbest_d^k - x_{id}^k))$$

11. Update posisi tiap partikel pada  $epoch = k + 1$  yaitu :

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1}$$

12. Jika nilai evaluasi setiap partikel  $i$  lebih baik dari  $Pbest$  sebelumnya, maka nilai saat evaluasi saat ini diatur menjadi  $Pbest$ . Jika  $Pbest$  terbaik adalah lebih baik daripada  $Gbest$ , nilai diatur menjadi  $Gbest$ .

13. Jika nilai  $Gbest$   $epoch$  saat ini dengan sebelumnya memenuhi kriteria error yang ditentukan dimana lebih besar atau sama atau  $epoch$  sudah mencapai maksimum maka solusi ini dianggap paling optimal yaitu nilai  $Gbest$  terbaru dengan total biaya pembangkitan yang minimum selanjutnya dilanjutkan ke langkah 14. Tapi jika belum memenuhi maka kembali ke langkah 7.

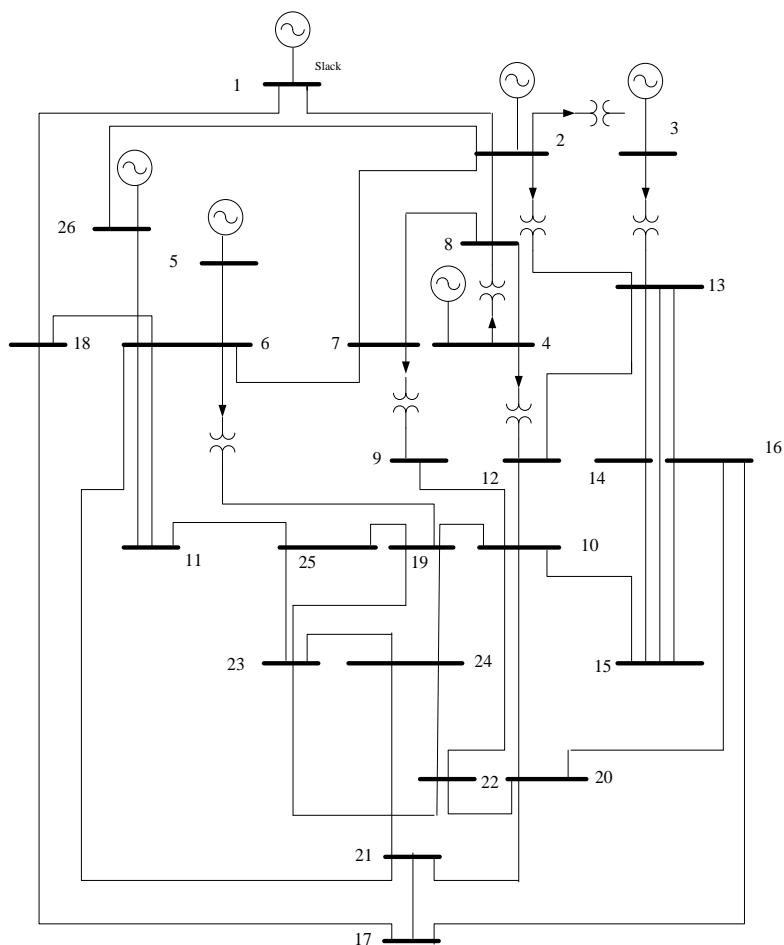
14. Selesai

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem standar IEEE 26 terdiri atas 6 pembangkit, 26 bus, dan 46 saluran seperti yang terlihat pada Gambar 2. Sistem ini diujikan pada pembebanan ( $P_D$ ) = 1.263 MW untuk melihat kinerja kedua metode pendekatan yang diusulkan [3][9].

Adapun parameter MIPSO yang digunakan kasus IEEE 26 bus ini adalah :

- Maksimum jumlah iterasi (epoch) = 100.000
- Ukuran partikel = 100
- Faktor asselarasi  $c_1$  dan  $c_2$  memiliki nilai yang sama yaitu 2 untuk *Constriction Factor* (CF) bernilai 1 sedangkan untuk  $c_1$  sama dengan  $c_2$  sebesar 2,05 untuk CF = 0,729.
- *Inertia Weight* ( $w$ ) awal dan akhir yaitu 0,9 – 0,4
- Batasan error yaitu  $Gbest(k+1) - Gbest(k) \leq 10^{-25}$



Gambar 2. Diagram satu garis sistem tenaga IEEE 26 bus [3].

(Sumber : Power System Analysis, Hadi Saadat)

Pada simulasi pada kasus ini menggunakan data sebagai berikut [3][9] :

- Data fungsi biaya bahan bakar pembangkit

$$C_1(P_1) = 240 + 7,0P_1 + 0,0070P_1^2 \text{ \$/h}$$

$$C_2(P_2) = 200 + 10,0P_2 + 0,0070P_2^2 \text{ \$/h}$$

$$C_3(P_3) = 220 + 8,5P_3 + 0,0070P_3^2 \text{ \$/h}$$

$$C_4(P_4) = 200 + 11,0P_4 + 0,0070P_4^2 \text{ \$/h}$$

$$C_5(P_5) = 220 + 10,5P_5 + 0,0070P_5^2 \text{ \$/h}$$

$$C_6(P_6) = 190 + 12,0P_6 + 0,0070P_6^2 \text{ \$/h}$$

- Data batasan pembangkitan

$$100 \text{ MW} \leq P_1 \leq 500 \text{ MW}$$

$$50 \text{ MW} \leq P_2 \leq 200 \text{ MW}$$

$$80 \text{ MW} \leq P_3 \leq 300 \text{ MW}$$

$$50 \text{ MW} \leq P_4 \leq 150 \text{ MW}$$

$$50 \text{ MW} \leq P_5 \leq 200 \text{ MW}$$

$$50 \text{ MW} \leq P_6 \leq 120 \text{ MW}$$

- Koefisien rugi-rugi daya

$$B_{(pu)} = \begin{bmatrix} 0,0017 & 0,0012 & 0,0007 & -0,0001 & -0,0005 & -0,0002 \\ 0,0012 & 0,0014 & 0,0009 & 0,0001 & -0,0006 & -0,0001 \\ 0,0007 & 0,0009 & 0,0031 & 0,0000 & -0,0010 & -0,0006 \\ -0,0001 & 0,0001 & 0,0000 & 0,0024 & -0,0006 & -0,0008 \\ -0,0005 & -0,0006 & -0,0010 & -0,0006 & 0,0129 & -0,0002 \\ -0,0002 & -0,0001 & -0,0006 & -0,0008 & -0,0002 & 0,0150 \end{bmatrix}$$

Adapun keempat hasil simulasi untuk kasus IEEE 26 bus dengan pembebanan ( $P_D$ ) = 1.263 MW adalah sebagai berikut :

**a. Metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO dimana parameter  $CF$  bernilai 1 dengan  $c_1$  sama dengan  $c_2$  yaitu 2.**

- Kombinasi daya keluaran tiap pembangkit :

$$P_1 = 447,07 \text{ MW}$$

$$P_2 = 173,19 \text{ MW}$$

$$P_3 = 263,90 \text{ MW}$$

$$P_4 = 139,03 \text{ MW}$$

$$P_5 = 165,60 \text{ MW}$$

$$P_6 = 86,63 \text{ MW}$$

$$P_{\text{total}} = 1.275,42 \text{ MW}$$

- Biaya bahan bakar

$$C_t = 15.442,66 \text{ \$ per jam}$$

- Rugi-rugi daya

$$P_{\text{rugi-rugi}} = 12,42 \text{ MW}$$

Adapun grafik pencarian solusi (fitness function) ditunjukkan pada Gambar 4.1 dimana pada kasus ini konvergen pada saat *epoch* mencapai 13710 dengan solusi terbaik (Gbest) yaitu 15.442,66 \$ per jam.

**b. Metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO dimana parameter  $CF$  bernilai 0,729 dengan  $c_1$  sama dengan  $c_2$  yaitu 2,05.**

- Kombinasi daya keluaran tiap pembangkit :

$$P_1 = 447,07 \text{ MW}$$

$$P_2 = 173,18 \text{ MW}$$

$$P_3 = 263,92 \text{ MW}$$

$$P_4 = 139,05 \text{ MW}$$

$$P_5 = 165,58 \text{ MW}$$

$$P_6 = 86,62 \text{ MW}$$

$$P_{\text{total}} = 1.275,42 \text{ MW}$$

- Biaya bahan bakar

$$C_t = 15.442,66 \text{ \$ per jam}$$

- Rugi-rugi daya

$$P_{\text{rugi-rugi}} = 12,42 \text{ MW}$$

Adapun grafik pencarian solusi (fitness function) ditunjukkan pada Gambar 4.2 dimana pada kasus ini konvergen pada saat *epoch* mencapai 9.965 dengan solusi terbaik (Gbest) yaitu 15.442,66 \$ per jam.

**c. Metode MIPSO dengan pendekatan IWCFPSO dimana parameter  $CF$  bernilai 1,  $c_1$  sama dengan  $c_2$  yaitu 2, dan  $w$  yaitu 0,9 – 0,4.**

- Kombinasi daya keluaran tiap pembangkit :

$$P_1 = 447,07 \text{ MW}$$

$$P_2 = 173,18 \text{ MW}$$

$$P_3 = 263,92 \text{ MW}$$

$$P_4 = 138,05 \text{ MW}$$

$$P_5 = 165,58 \text{ MW}$$

$$P_6 = 86,62 \text{ MW}$$

$$P_{\text{total}} = 1.275,42 \text{ MW}$$

- Biaya bahan bakar

$$C_t = 15.442,66 \text{ \$ per jam}$$

- Rugi-rugi daya

$$P_{\text{rugi-rugi}} = 12,42 \text{ MW}$$

Adapun grafik pencarian solusi (fitness function) ditunjukkan pada Gambar 4.3 dimana pada kasus ini konvergen pada saat *epoch* mencapai 6.992 dengan solusi terbaik (Gbest) yaitu 15.442,66 \$ per jam.

**d. Metode MIPSO dengan pendekatan IWCFPSO dimana parameter CF bernilai 0,729,  $c_1$  sama dengan  $c_2$  yaitu 2,05, dan  $w$  yaitu 0,9 – 0,4.**

- Kombinasi daya keluaran tiap pembangkit :

$$P_1 = 447,07 \text{ MW}$$

$$P_2 = 173,18 \text{ MW}$$

$$P_3 = 263,92 \text{ MW}$$

$$P_4 = 139,05 \text{ MW}$$

$$P_5 = 165,58 \text{ MW}$$

$$P_6 = 86,62 \text{ MW}$$

$$P_{\text{total}} = 1.275,42 \text{ MW}$$

- Biaya bahan bakar

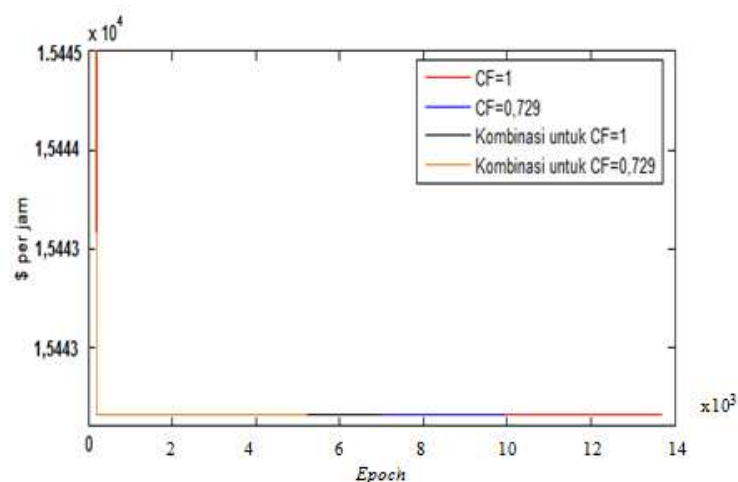
$$C_t = 15.442,66 \text{ \$ per jam}$$

- Rugi-rugi daya transmisi

$$P_{\text{rugi-rugi}} = 12,42 \text{ MW}$$

Adapun grafik pencarian solusi (fitness function) ditunjukkan pada Gambar 4.4 dimana pada kasus ini konvergen pada saat *epoch* mencapai 5.225 dengan solusi terbaik (Gbest) yaitu 15.442,66 \$ per jam.

Sedangkan grafik perbandingan keempat simulasi ditunjukkan pada Gambar 3. Dari keempat simulasi yang dilakukan, MIPSO dengan pendekatan IWCFPSO yang menggunakan parameter  $CF = 0,729$  memberikan solusi yang paling baik yaitu 15.442,66 \$ per jam dengan jumlah *epoch* 5.225 dibandingkan ketiga parameter MIPSO yang diujikan serta metode yang digunakan penelitian sebelumnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.



Gambar 3. *Epoch* pencarian solusi pada pembangkitan ekonomis



Tabel 4.1. Perbandingan metode pada kasus IEEE 26 bus

Pembangkit	NR	GA	IPSO	CFBPSO		Hibrid IWCFPSO	
	[3]	[9]	[9]	CF=0,729	CF=1	CF=0,729	CF=1
P1(MW)	447,69	474,81	447,50	447,07	447,07	447,07	447,07
P2 (MW)	173,19	178,64	173,32	173,18	173,19	173,18	173,18
P3(MW)	263,49	262,21	263,47	263,92	263,90	263,92	263,92
P4 (MW)	138,81	134,28	139,06	139,05	139,02	139,05	139,05
P5(MW)	165,59	151,90	165,48	165,58	165,60	165,58	165,58
P6 (MW)	87,03	74,18	87,13	86,62	86,63	86,62	86,62
Jumlah <i>epoch</i>	-	-	-	9.965	13.710	5.225	6.992
Total beban (MW)	1.263						
Total daya keluaran (MW)	1.275,8	1.276,03	1.276,01	1.275,42	1.275,42	1.275,42	1.275,42
Total Biaya (\$/jam)	15.447,7	15.459,0	15.450,0	15.442,66	15.442,66	15.442,66	15.442,66
Rugi-rugi daya (MW)	12,80	13,02	12,96	12,42	12,42	12,42	12,42

Metode Hibrid IWCFPSO dengan menggunakan *constriction factor* (CF) = 0,729 didapatkan besar biaya bahan bakar 15.442,66 \$/jam dengan rugi-rugi daya 12,42 MW sehingga mampu menghemat biaya bahan bakar sebesar 5,04 \$ per jam dibanding Metode *Newton Raphson*, 16,34 \$ per jam lebih hemat dibanding Metode Algoritma Genetika, 7,34 \$ per jam lebih hemat dibanding metode IPSO. Sedangkan jika dibandingkan dengan metode CFBPSO dan hibrid IWCFPSO dengan CF = 1 didapatkan hasil pembangkitan ekonomis yang sama tapi metode Hibrid IWCFPSO dengan menggunakan *constriction factor* (CF) = 0,729 ini memiliki jumlah *epoch* pencarian lebih sedikit sehingga lebih unggul dari segi waktu pencarian solusi.

### KESIMPULAN

1. Untuk kasus IEEE 26 bus dengan total pembebanan 1.263 MW, metode PSO yang diusulkan yaitu CFBPSO mampu memberikan penghematan biaya lebih baik dibandingkan metode yang digunakan peneliti sebelumnya yaitu IPSO sebesar 7,34 \$ per jam, *Newton Raphson* sebesar 5,04 \$ per jam, dan GA sebesar 16,34 \$ per jam.
2. Untuk kasus yang sama yaitu IEEE 26 bus dengan total pembebanan 1.263 MW, metode PSO dengan pendekatan IWCFPSO yaitu kombinasi *inertia weight* dan *constriction factor* mampu memberikan solusi lebih cepat dibandingkan dengan metode pendekatan CFBPSO.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jizhong, Optimization of Power System Operation, Principal Engineer, AREVA T & D Inc. Redmond, WA, USA, IEEE series of Power Engineering, Copyright 2009.2
- [2] Liang, Z.X., Glover, J.D., A Zoom Feature For a Dynamic Programming Solution to Economic Dispatch Including Transmission Losses, IEEE Transactions on Power Systems, 1992.4
- [3] Saadat, H., Power System Analysis, Tata McGraw Hill Publishing Company, New Delhi, 2001.3
- [4] Khare, A., Rangnekar, S., Particle Swarm Optimization : A Review, Department of Energy, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal 462051, India.21
- [5] Hardiansyah, Junaidi, dan Yohannes, M.S., Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technigue, IJ Intelligent Sistem and Application, 12-18, 2012.5
- [6] Mohatram, M., Kumar, S., Application of Artificial Neural Network in Economic Generation Scheduling of Thermal Power Plants, Proceedings of the National Conference, 2006.8
- [7] Sudhakaran, M., Ajay, P., Vimal R.D., dan Palanivelu, T., Application of Particle Swarm Optimization for Economic Load Dispatch Problem, International Conference on Intelligent Sistem Application to Power Sistem, Taiwan, Nov. 4-8 2007.6
- [8] Adrianti, Penjadwalan Ekonomis Pembangkit Thermal dengan Memperhitungkan Rugi-rugi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Algoritma Genetik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, TeknikA, no 33 vol. 1, Apr. 2010.7
- [9] Gaing, Z., Particle Swarm Optimization to Solving The Economic Dispatch considering the generator constraints, IEEE Transaction on Power System, Vol. 18, No. 3, August 2003.9
- [10] Young, S., Montakhab, M., dan Nouri, H., A Constriction Factors Based Particle Optimization Algorithm to Solve The Economic Dispatch Problem Including Losses, International Journal of Innovations in Energy Sistem and Power, Vol. 6, No. 1, July 2011.10
- [11] Bai, Q., Analysis of Particle Swarm Optimization Algorithm, Computer and Informatic Science Journal, Vol. 3 No 1, Feb. 2010.14
- [12] Shi, Y., Eberhart, R.C., Particle Swarm Optimization: Development, Applications, and Resources, Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, 2001. 16
- [13] Shi, Y., Eberhart, R., A Modified Particle Swarm Optmizer, Proc. IEEE Int. Conf. Evol. Comput, pp 69-73, May 1998.17
- [14] Clerc, M., The Swarm and The Queen: Towards a Deterministic and Adaptive Particle Swarm Optimization, Proc. 1999 Congress on Evolutionary Computation, Washington, pp. 1951-1957, IEEE Service Centre, 1999.
- [15] Eberhart, R.C., Shi, Y., Comparing Inertia Weight and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization, Proceeding of the 2000 Congress on Evolutionary Computation, Vol. 1, ,pp. 84-88 , 2000.