

MODIFIED IMPROVED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (MIPSO) SEBAGAI SOLUSI ECONOMIC DISPATCH PADA SISTEM KELISTRIKAN 500 kV JAWA-BALI

Sabhan Kanata^{*)}, Sarjiya, and Sasongko Pramono Hadi

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Teknik Utara, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

^{*)}E-mail: sabhankanata@yahoo.co.id

Abstrak

Komponen biaya paling besar pada operasi pembangkitan *thermal* adalah biaya bahan bakar. Permasalahan bagaimana meminimalkan biaya bahan bakar dengan menentukan kombinasi daya *output* dari masing-masing unit pembangkit dengan kekangan terpenuhinya beban sistem dan batas kemampuan masing-masing unit pembangkit dikenal dengan istilah *economic dispatch (ED)*. Dalam penelitian ini, diusulkan metode *Modified Improved Particle Swarm Optimization (MIPSO)* dengan pendekatan *Constriction Factor Based Particle Swarm Optimization (CFBPSO)*. Kemudian metode pendekatan ini diterapkan dalam 2 kasus sistem tenaga yaitu pada kasus IEEE 30 bus pada pembebanan 800 MW dan sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali dengan pembebanan puncak 12058 MW. Dari hasil simulasi IEEE 30 bus, metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO mampu menghasilkan solusi paling optimal ekonomi dibanding metode pendekatan MPSO dan *Quadratic Programming*. Untuk kasus sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali, metode MIPSO dengan pendekatan ini juga mampu memberikan solusi paling optimal dibanding dengan sistem real PT. PLN (Persero).

Kata kunci: economic dispatch (ED), modified improved particle swarm optimization (MIPSO), sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali.

Abstract

The most substantial component of the operating cost of thermal generation is fuel costs. The problem of how to minimize the cost of fuel to determine the combination of the output power of each generating unit with the fulfillment of load constraint systems and limit the ability of each generating unit known as economic dispatch (ED). In this study, the proposed method Modified Improved Particle Swarm Optimization (MIPSO) approach Constriction Factor Based Particle Swarm Optimization (CFBPSO) then this approach is applied in 2 cases the power system in the case of IEEE 30 bus at loading 800 MW and 500 kV power system Java-Bali with 12058 MW peak load. The IEEE 30 bus simulation results, the method MIPSO with CFBPSO approach is able to produce the most optimal economic solution than MPSO approach and Quadratic Programming. For the case of 500 kV power system is Java-Bali, MIPSO method with this approach is also able to provide the most optimal solution compared with the real system PT. PLN (Persero).

Keywords: economic dispatch (ED), modified improved particle swarm optimization (MIPSO), 500 kV power system in Java-Bali.

1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan Jawa-Bali merupakan suatu sistem interkoneksi terbesar di Indonesia. Komsumsi bahan bakar pembangkitan menjadi suatu masalah dan perlu mendapatkan perhatian yang serius mengingat komponen biaya penyediaan tenaga listrik terbesar di sistem interkoneksi Jawa-Bali adalah biaya bahan bakar yaitu sekitar 60 % dari biaya total. Dari 60 % biaya bahan bakar tersebut, 85 % diantaranya adalah biaya bahan

bakar untuk pembangkit *thermal*. Oleh karena itu, penghematan biaya bahan bakar dalam presentase yang kecil mampu memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap penghematan biaya operasi. Untuk memproduksi tenaga listrik pada suatu sistem tenaga dibutuhkan cara bagaimana membuat biaya komsumsi 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 *Economic Dispatch (ED)* [26][1].

Beberapa metode dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah ED. Metode tradisional seperti *Iterasi Lambda*, *Gradient*, dan *Newton-Raphson* [25] 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 (DP)* [10]. Metode ini memiliki kelemahan karena seringkali mengalami kendala terjebak pada masalah optimasi lokal [2][16]. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa metode alternatif telah dikembangkan seperti Algoritma Genetik (GA) [3], *Neural Network (NN)* [15], dan *Particle Swarm Optimization (PSO)* [2][4-5][8][16][19-20].

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah metode optimasi heuristik global yang awalnya dikemukakan oleh J. Kennedy dan Eberhart R. pada tahun 1995 yang didasarkan pada kecerdasan hewan atau perilaku pergerakan kawanan burung atau ikan dalam mencari makanan sehingga dapat diterapkan pada metode penelitian ilmiah maupun rekayasa. Keuntungan utama dari algoritma PSO yaitu konsep sederhana, implementasi yang mudah, ketahanan untuk mengontrol parameter, dan efisiensi komputasi dibanding teknik optimasi heuristik lainnya [9][21-22]. Shi Y. dan Eberhart R. (1998) melakukan modifikasi PSO dengan menerapkan *Inertia Weight (IW)* untuk meredam kecepatan selama iterasi agar secara imbang menjaga pencarian global dan lokal [14]. Selanjutnya Clerc (1999) melakukan perbaikan dengan menggunakan *Constriction Factor (CF)* dengan tujuan untuk menjamin konvergensi dari algoritma PSO dan osilasi amplitudo partikel menurun dari waktu ke waktu tanpa pengaturan kecepatan maksimum [17].

Eberhart R. dan Shi Y. (2000) melakukan penelitian kembali dengan membandingkan *Inertia Weight (IW)* dengan *Constriction Factor (CF)* dan menemukan bahwa penggunaan CF memiliki konvergensi yang lebih baik dibanding IW [18].

Dalam masalah ini diusulkan metode optimasi *Particle Swarm* yang dimodifikasi dan ditingkatkan dengan pendekatan *Constriction Factor Based Particle Swarm Optimization (CFBPSO)* untuk menyelesaikan permasalahan ED. Efektivitas metode tersebut diujikan pada sistem standar IEEE 30 bus dan sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali.

2. Metode

2.1. Model Persamaan Economic Dispatch

Fungsi biaya bahan bakar pada masing-masing unit pembangkit dapat dinyatakan fungsi kuadrat yaitu :

$$C_i(P_i) = \alpha + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

Sehingga fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya bahan bakar pembangkitan dinyatakan :

$$C_t = \min \sum_{i=1}^N C_i(P_i) \quad (2)$$

dengan

$$\begin{aligned} C_t &= \text{total biaya bahan bakar} \\ C_i &= \text{biaya bahan bakar unit } i \\ i &= \text{unit pembangkit} \\ \alpha_i, \beta_i, \text{ dan } \gamma_i &= \text{koefisien fungsi biaya bahan bakar} \\ P_i &= \text{daya keluaran untuk unit } i \end{aligned}$$

Dalam meminimalkan total biaya bahan bakar ini perlu memperhatikan batas kekangan sebagai berikut :

1. Total daya *output* pembangkitan harus sama dengan total permintaan beban di tambah total rugi-rugi transmisi, dengan persamaan :

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_d + P_l \quad (3)$$

dengan

$$P_l = P_i^T B P_i \quad (4)$$

dimana

$$\begin{aligned} P_l &= \text{rugi-rugi transmisi} \\ P_i^T &= \text{daya output pembangkit } i \text{ di transpose} \\ P_i &= \text{daya output pembangkit } i \\ B &= \text{koefisien rugi-rugi transmisi} \\ P_d &= \text{daya permintaan beban} \end{aligned}$$

2. Batas kemampuan unit *i* dengan pertidaksamaan :

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (5)$$

dimana

$$\begin{aligned} P_i &= \text{daya keluaran unit } i \\ P_{i,min} &= \text{daya pembangkitan minimum unit } i \\ P_{i,max} &= \text{daya pembangkitan maksimum unit } i \end{aligned}$$

2.2. Particle Swarm Optimization

2.2.1. Algoritma Dasar Particle Swarm Optimization [21].

Kennedy dan Elberhart (1995), memperkenalkan algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)* dimana proses algoritmanya terinspirasi dari perilaku sosial binatang seperti sekumpulan burung atau ikan dalam mencari makanan. Dalam PSO setiap partikel berpindah dari posisinya semula ke posisi yang lebih baik dengan

suatu *velocity*. Algoritma PSO vektor *velocity* di-update untuk masing-masing partikel kemudian menjumlahkan vektor *velocity* tersebut ke posisi partikel. *Update velocity* pada penerapan ED dipengaruhi oleh kedua solusi yaitu *global best* yang berhubungan dengan biaya yang paling rendah yang pernah diperoleh dari suatu partikel dan *local best* yang berhubungan dengan biaya yang paling rendah pada populasi awal. Adapun persamaan algoritma dasar ini adalah sebagai berikut :

$$v_{id}^{k+1} = v_{id}^k + c_1 r_1^k (Pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2^k (Gbest_d^k - x_{id}^k) \quad (6)$$

dan

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (7)$$

dengan

- v_{id}^k = kecepatan partikel i , dimensi d pada *epoch* k
- v_{id}^{k+1} = kecepatan partikel i , dimensi d pada *epoch* $k+1$
- x_{id}^k = posisi partikel i , dimensi d pada *epoch* k
- x_{id}^{k+1} = posisi partikel i , dimensi d pada *epoch* $k+1$
- r_1^k, r_2^k = nilai random antara 0 dan 1
- c_1, c_2 = koefisien *acceleration*
- $Pbest_{id}^k$ = posisi terbaik lokal partikel i , pada *epoch* k
- $Gbest_d^k$ = posisi terbaik global partikel i , pada *epoch* k

2.2.2. A Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)

Shi dan Eberhart (1998) melakukan modifikasi PSO yang dikenal dengan istilah *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO) dengan menerapkan *inertia weight* untuk menjaga keseimbangan penelusuran global dan lokal sehingga dapat memberikan performansi yang baik pada PSO [2][8][14]. Persamaan dinamis dari PSO, *velocity* dimodifikasi menjadi:

$$v_{id}^{k+1} = w v_{id}^k + c_1 r_1^k (Pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2^k (Gbest_d^k - x_{id}^k) \quad (8)$$

dengan

$$w(i) = w_{max} - \left(\frac{w_{max} - w_{min}}{i_{max}} \right) i \quad (9)$$

dimana

- $w(i)$ = *inertia weight* pada *epoch* i
- $w_{max} - w_{min}$ = *inertia weight* awal - akhir
- i_{max} = *epoch* maksimum
- i = *current epoch*

2.2.3. Modified Improvement Particle Swarm Optimization (MIPSO) dengan Constriction Factor

Clerc M (1999) melakukan penerapan *constriction factor* dikenal dengan istilah *Constriction Factor Based Particle Swarm Optimization* (CFBPSO). Peningkatan dan modifikasi ini bertujuan untuk menjamin suatu penelusuran dalam algoritma PSO untuk konvergen lebih cepat [5][17][19]. Persamaan dinamis dari PSO, *velocity* dimodifikasi dan ditingkatkan menjadi:

$$v_{id}^{k+1} = CF (v_{id}^k + c_1 r_1^k (Pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2^k (Gbest_d^k - x_{id}^k)) \quad (10)$$

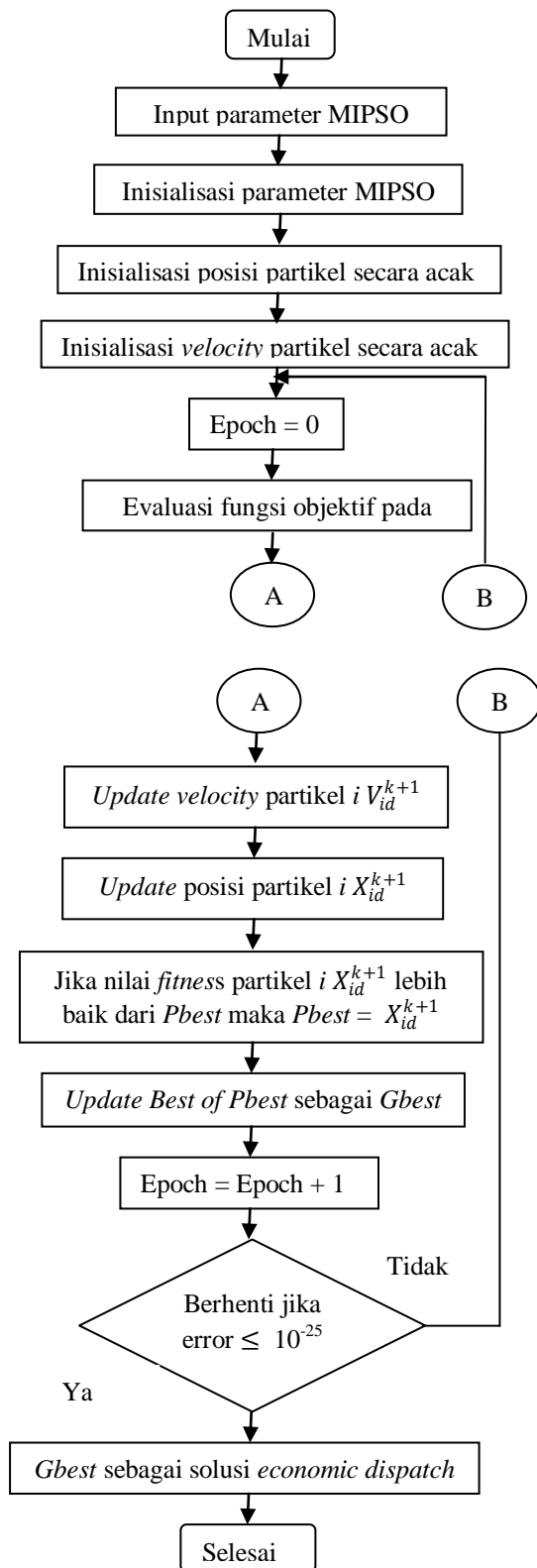
dengan

$$CF = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|} \quad (11)$$

dan

$$\varphi = c_1 + c_2 \quad \text{dan} \quad \varphi > 4 \quad (12)$$

Algoritma MIPSO dalam *economic dispatch* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Algoritma MIPSO

3. Hasil dan Analisa

Dalam simulasi ini, penerapan MIPSO dan kombinasi antara *inertia weight* dengan *contriction factor* (IWCFPSO) dilakukan pada 2 sistem yaitu :

1. Sistem standar IEEE 30 bus
2. Sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali

3.1. Sistem standar IEEE 30 bus [5].

Sistem standar IEEE 30 bus yang diujikan dalam penelitian ini terdiri atas 30 bus, 41 saluran, dan 6 pembangkit dengan total pembebanan 800 MW. Data fungsi biaya bahan bakar dan kemampuan pembangkitan ditunjukkan pada Tabel 1. Kofisien rugi-rugi daya (loss coefficient) didapatkan dari hasil aliran daya Newto Raphson sehingga didapatkan koefisien losses (B) dalam satuan per unit (pu) sebagai berikut :

$B_{ij} =$

0.000140	0.000017	0.000015	0.000019	0.000026	0.000022
0.000017	0.000060	0.000013	0.000016	0.000015	0.000020
0.000015	0.000013	0.000065	0.000017	0.000024	0.000019
0.000019	0.000016	0.000017	0.000071	0.000030	0.000025
0.000026	0.000015	0.000024	0.000030	0.000069	0.000032
0.000022	0.000020	0.000019	0.000025	0.000032	0.000085

Dalam kasus ini digunakan parameter MIPSO dimana nilai *inertia weight* (0.9-0.4) dan *contriction factor* = 1 untuk $C_1=C_2=2$ sedangkan *contriction factor* = 0.729 untuk $C_1=C_2= 2.05$ seperti yang digunakan peneliti-peneliti sebelumnya sehingga setiap kasus memiliki 4 (empat) macam pencarian solusi terbaik (Gbest). Parameter lainnya yaitu maksimum *epoch/iterasi* 100000, ukuran partikel 100, dan *error gradient* 10^{-25} .

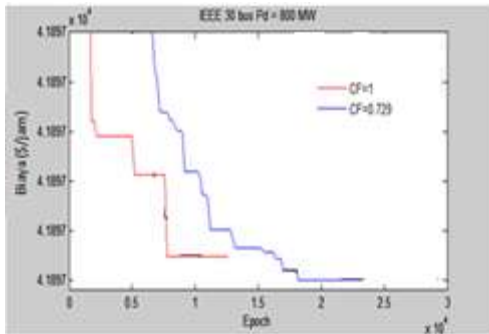
Tabel 1. Fungsi Biaya dan Batasan Pembangkitan

Unit	Data Pembangkit		
	Fungsi Biaya (\$/jam)	Min (MW)	Max (MW)
1	$756.79886 + 38.53973P_1 + 0.15240P_1^2$	10	125
2	$451.32513 + 46.15916P_2 + 0.10587P_2^2$	10	150
3	$1049.9977 + 40.39655P_3 + 0.02803P_3^2$	35	225
4	$1243.5311 + 38.30553P_4 + 0.03546P_4^2$	35	210
5	$1658.5596 + 36.32782P_5 + 0.02111P_5^2$	130	325
6	$1356.6592 + 38.27041P_6 + 0.01799P_6^2$	125	315

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi Kasus IEEE 30 bus

Unit	Quad. Progr. [2]	MPSO [2]	CFBPSO	
			0.729	1
1	32.63	32.67	32.63	32.56
2	14.48	14.45	14.49	14.48
3	141.54	141.73	141.54	141.42
4	136.04	136.56	136.12	136.07
5	257.65	257.37	257.45	257.45
6	243.00	242.54	243.09	243.09
Epoch	-	34450	23330	12692

Unit	Quad. Progr. [2]	MPSO [2]	CFBPSO	
			0.729	1
Daya beban (MW)	800	800	800	800
Daya total (MW)	825.34	825.32	825.32	825.34
Biaya (\$/jam)	41898.45	41896.6	41896.6	41896.64
Rugi daya (MW)	25.34	25.32	25.33	25.33



Gambar 2. Epoch pencarian solusi fitness pada kasus IEEE 30 bus dengan pembebanan 800 MW

Dari Tabel 2 terlihat bahwa solusi paling optimal diperoleh dengan metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO dengan parameter CF=0.729 dengan biaya bahan bakar minimum yaitu 41896.63 \$ per jam. Pencarian solusi biaya tercapai pada jumlah epoch 23330 ditunjukkan pada Gambar 2.

3.2. Sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali

Sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali terdiri atas 25 bus dengan 30 saluran, dan 8 pembangkit. Pembangkit-pembangkit tersebut adalah pembangkit Suralaya, pembangkit Muaratawar, pembangkit Cirata, pembangkit Saguling, pembangkit Tanjungjati, pembangkit Gresik, pembangkit Paiton, dan pembangkit Grati. Pada 8 pembangkit tersebut, terdapat pembangkit Cirata dan Saguling sebagai pembangkit tenaga air (PLTA) sedangkan 6 pembangkit lainnya adalah pembangkit *thermal*. Adapun Suralaya bertindak sebagai *slack* pembangkit. Sedangkan jenis-jenis bus pada sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali adalah sebagai berikut :

- Satu buah *slack bus*, yaitu bus pembangkit Suralaya
- Tujuh buah generator sebagai generator bus, yaitu bus pembangkit Muaratawar, bus pembangkit Tanjungjati, bus pembangkit Cirata, bus pembangkit Saguling, bus pembangkit Gresik Baru, bus pembangkit Paiton, dan bus pembangkit Grati.
- Tujuh belas buah *load bus*, yaitu bus Cilegon, bus Kembangan, bus Gandul, bus Balaraja, bus Cibinong, bus Cawang, bus Bekasi, bus Cibatu, bus Bandung Selatan, bus Mandirancan, bus Ungaran, bus Surabaya Barat, bus Depok, bus Ngimbang, bus Tasikmalaya Baru, bus Pedan, dan bus Kediri.

Adapun data bus, data pembangkitan, dan data beban puncak yang diperoleh dari data lapangan melalui PT.

PLN (Persero) P3B Jawa-Bali yaitu menggunakan data pembebanan pada tanggal 30 November 2011 pukul 19.00 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dimana total permintaan beban sebesar 12058 MW. Untuk data saluran ditunjukkan pada Tabel 4. Adapun fungsi biaya bahan bakar masing-masing pembangkit *thermal* ditunjukkan pada Tabel 5. Untuk data pembangkit PLTA (Cirata-Saguling) dalam simulasi *economic dispatch* menggunakan MIPSO mengikuti pembangkitan PLN yaitu 594 MW untuk Cirata dan 662 MW untuk Saguling. Hal ini disebabkan dalam pengoperasian PLTA tidak memandang dari sisi pembangkitannya, tetapi melihat dari pola pengoperasian waduk, cadangan air dalam waduk, dan lain-lainnya.

Dalam simulasi MIPSO digunakan data koefisien rugi-rugi transmisi yang didapatkan dari program aliran daya menggunakan *Newton Raphson* sehingga didapatkan koefisien rugi-rugi daya (B) dalam satuan per unit (pu) sebagai berikut :

$$B_{ij} =$$

0.007894	0.002322	-0.003579	-0.005503	-0.006413	0.004981
0.002322	0.008612	-0.002950	-0.006133	-0.008469	0.004668
-0.003579	-0.002950	0.020465	0.004459	0.004114	0.003855
-0.005503	-0.006133	0.004459	0.013941	0.012981	0.008039
-0.006413	-0.008469	0.004115	0.012981	0.021338	0.010520
-0.004981	-0.004668	0.003855	0.008038	0.010521	0.012048

Data fungsi biaya bahan bakar, batas kemampuan pembangkitan, data besar permintaan beban, dan data koefisien rugi-rugi daya tersebut kemudian disimulasikan pada MIPSO untuk mencari kombinasi daya keluaran masing-masing pembangkit sehingga diperoleh total biaya bahan bakar yang paling minimum. Metode *Modified Improved Particle Swarm Optimization (MIPSO)* ini menggunakan pendekatan sama seperti kasus IEEE 30 bus yaitu *Constriction Factor Based Particle Swarm Optimization (CFBPSO)*. Parameter MIPSO yang digunakan dalam simulasi ini yaitu koefisien aselarasasi $C_1 = C_2 = 2$ dan 2.05 sehingga *contriction factor* (CF) ada 2 macam yaitu 1 dan 0.729. dengan maksimum *epoch/iterasi* = 25000, ukuran partikel 24, dan batasan *error gradient* 10^{-25} .

Tabel 3. Data Bus , Pembangkitan, dan Beban

No	Bus	Ty- pe	Vm	φ	Pembangkitan		Beban	
					MW	M Var	MW	M Var
1	Suralaya	Slack	1.02	0	2735	1254	201	98
2	Cilegon	Beban	1.01	0	-	-	293	221
3	Cawang	Beban	0.98	0	-	-	322	75
4	Balaraja	Beban	0.99	0	-	-	624	-14
5	Kembangan	Beban	0.99	0	-	-	522	125
6	Bekasi	Beban	0.98	0	-	-	111	264
7	Gandul	Beban	0.99	0	-	-	8	132
8	Cibinong	Beban	0.99	0	-	-	761	330
9	Depok	Beban	0.99	0	-	-	616	204
10	Muaratawar	Gen.	0.99	0	1785	859	641	-

No	Bus	Type	Vm	φ	Pembangkitan		Beban	
					MW	M Var	MW	M Var
11	Tasik. Baru	Beban	1.03	0	-	-	-	83
12	Cibatu	Beban	0.99	0	-	-	219	467
13	Cirata	Gen.	0.99	0	594	209	688	-
14	Saguling	Gen.	0.99	0	662	125	586	-
15	Bandung Sel.	Beban	0.99	0	-	-	-	426
16	Mandirancan	Beban	1.00	0	-	-	733	131
17	Tanjungjati	Gen.	1.00	0	1971	58	309	11
18	Ungaran	Beban	1.01	0	-	-	238	468
19	Pedan	Beban	1.01	0	-	-	417	229
20	Ngimbang	Beban	1.02	0	-	-	608	70
21	Gresik Baru	Gen.	1.03	00	1371	286	302	64
22	Surabaya	Beban	1.03	0	-	-	174	512
23	Bar.	Gen.	1.03	0	441	58	899	191
24	Grati	Beban	1.01	0	-	-	510	188
25	Kediri	Gen.	1.03	0	2572	611	627	146
	Paiton						650	
	Total				12131	3460	120	465
							58	0

Tabel 4. Data Saluran dan Jenisnya

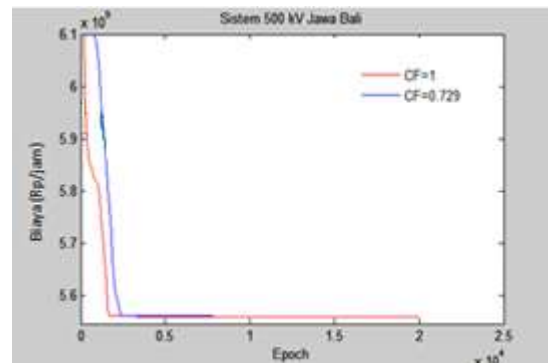
Hubungan	Jenis	R	X	1/2B
dari ke	Pengantar	pu	pu	pu
1 2	Dove	0.000626496	0.007008768	0.000000000
1 4	Gannet	0.003677677	0.035333317	0.000000000
2 8	Gannet	0.013133324	0.146925792	0.003530571
5 7	Dove	0.001513179	0.016928308	0.000000000
7 9	Dove	0.000694176	0.006669298	0.000000000
8 6	Gannet	0.004441880	0.042675400	0.000000000
8 10	Dove	0.006211600	0.059678000	0.000000000
8 14	Dove	0.004111380	0.045995040	0.004420973
3 6	Dove	0.001973648	0.018961840	0.000000000
3 10	Dove	0.005625600	0.054048000	0.000000000
10 12	Dove	0.002822059	0.027112954	0.000000000
12 13	Dove	0.002739960	0.026324191	0.000000000
13 14	Gannet	0.001474728	0.014168458	0.000000000
14 15	Dove	0.001957800	0.021902400	0.000000000
15 16	Gannet	0.006990980	0.067165900	0.006429135
16 18	Dove	0.013478000	0.129490000	0.012394812
18 17	Gannet	0.013533920	0.151407360	0.003638261
18 22	Dove	0.015798560	0.151784800	0.003632219
18 19	Gannet	0.009036120	0.086814600	0.000000000
22 21	Dove	0.001394680	0.013399400	0.000000000
22 23	Dove	0.003986382	0.044596656	0.000000000
9 8	Gannet	0.000818994	0.007868488	0.000000000
9 11	Dove	0.014056000	0.157248000	0.015114437
11 19	Dove	0.015311000	0.171288000	0.016463941
19 24	Dove	0.010291000	0.115128000	0.011065927
24 25	Dove	0.010291000	0.151128000	0.011065927
25 23	Gannet	0.004435823	0.049624661	0.004769846
4 7	Gannet	0.002979224	0.028622920	0.000000000
20 18	Gannet	0.023479613	0.225580588	0.100970352
20 22	Gannet	0.005966652	0.057324466	0.000000000

Tabel 5. Fungsi Biaya dan Batasan Pembangkitan

Pembangkit	Fungsi Biaya (Rp/jam)x1000	P _{Min}	P _{Max}
Suralaya	47071.2998+407.99P1-0.0079P1 ²	1610	4025
Muaratawar	-196885.5874+1322.7707P2-0.1162P2 ²	1300.4	3251
Tanjungjati	104589.6848+199.7724P3+0.0348P3 ²	1056	2640
Gresik	81256.9130+831.8210P4+0.0027P4 ²	895.62	2239
Grati	198252.0822+1176.9390P5-0.0753P5 ²	305.8	764.5
Paiton	5575.2483+466.6308P6-0.0352P6 ²	1886	4714

Tabel 6. Hasil Simulasi Sistem 500 kV Jawa-Bali

Pembangkit	Data Operasi PLN	CFBPSO	
		CF=0.729	CF=1
		(MW)	
		(Rp/jam) x 1000	
Suralaya	2792.94	2119.84	2120.23
	1125458	876440	876586
Muaratawar	1785.00	1300.40	1300.40
	1819867	1326747	1326747
Cirata	594.00	594.00	594.00
	-	-	-
Saguling	662.00	662.00	662.00
	-	-	-
Tanjungjati	1971.00	1819.16	1819.16
	632633	583173	583173
Gresik	1371.00	895.62	895.62
	1273483	828418	828418
Grati	441.00	306.25	305.80
	731926	565752	565202
Paiton	2572.00	4714.00	4714.00
	972784	1423066	1423066
Daya total (MW)	12188.94	12411.27	12411.21
Biaya (Rp1000/jam)	6556151	5561240	5560833
Jumlah epoch	-	7883	20036
Rugi daya (MW)	130.94	353.27	353.21
Reduksi Biaya (Rpx1000/jam)	-	994911	995318



Gambar 3. Epoch Pencarian Solusi Kasus Sistem Jawa Bali

Hasil simulasi yang dibandingkan dengan data operasi PLN ditunjukkan pada Tabel 6. Dalam kasus ini terlihat bahwa solusi paling optimal ekonomi yaitu metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO dengan CF = 1 dengan total biaya minimum per jam yaitu Rp. 5.560.832.521,- sehingga mampu mereduksi biaya sebesar Rp 995.318.000,- dibanding data operasi PT. PLN (Persero) yaitu sebesar Rp. 6.556.151.000,- per jam. Pencarian solusi biaya tercapai pada jumlah epoch 20036 ditunjukkan pada Gambar 3.

4. Kesimpulan

1. Untuk kasus IEEE 30 bus pada pembebanan 800 MW, metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO mampu memberikan solusi paling optimal ekonomi dibanding dengan metode pendekatan lainnya yaitu MPSO, IWCPSO, dan QP.

2. Untuk simulasi pada sistem 500 kV Jawa- Bali dimana hasil simulasi dengan pembebanan puncak tanggal 30 November 2011 pada pukul 19.00 WIB menunjukkan bahwa metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO mampu memberikan solusi paling optimal ekonomi yaitu Rp. 5.560.833.000,- per jam dibandingkan dengan data operasi pada PT. PLN (Persero) yaitu sebesar Rp. 6.556.151.000,- per jam sehingga metode yang diusulkan mampu mereduksi biaya sebesar Rp. 995.318.000,- per jam dengan jumlah epoch pencarian 20036.

Referensi

Journal:

- [1]. Jizhong. Optimization of Power System Operation Principal Engineer. AREVA T & D Inc. Redmond, WA, USA, *IEEE series of Power Engineering*. 2009.
 - [2]. Hardiansyah, Junaidi, MS. Yohannes. Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technigue. *I.J. Intelligent Sistem and Application*. 2012; page: 12-18.
 - [3]. Adrianti. Penjadwalan Ekonomis Pembangkit *Thermal* dengan Memperhitungkan Rugi-rugi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Algoritma Genetik. *Jurnal TeknikA Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas*. April 2010; *page 33 vol. 1*.
 - [4]. Zwe-Lee Gaing. Particle Swarm Optimization to Solving The Economic Dispatch Considering The Generator Constraints. *IEEE Transaction on Power Sistem*. August 2003; *Vol. 18, No. 3*.
 - [5]. Steven Young, Moh. Montakhab, Hassan Nouri. A Constriction Factors based Particle Optimization Algorithm to Solve The Economic Dispatch Problem Including Losses. *International Journal of Innovations in Energy Sistem and Power*. July 2011; *Vol. 6, No. 1*.
 - [6]. Kwang Y. Lee, Fellow, Jong-Bae Park. Application of Particle Swarm Optimization to Economic Dispatch Problem Advantages and Disadvantages. *Journal IEEE*. 2006; *seri 142440178X*.
 - [7]. Pichet. Sriyanong. Particle Swarm Optimization : Development and Implementationn. *Academic paper, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok*.
 - [8]. Andi Muh. Ilyas, M. Natsir Rahman. Economic Dispatch Thermal Generator Using Modified Improved Particle Swarm Optimization. *Jurnal Telkonnika*. July 2012; *Vol. 10, No.3, pp 459-470*.
 - [9]. Qinghai Bai. Analysis of Particle Swarm Optimization Algorithm. *Computer and Informatic Science Journal*. Feb.2010; *Vol. 3 No 1*.
 - [10]. Z.X. Liang, J. D. Glover. A Zoom Feature For a Dynamic Programming Solution to Economic Dispatch Including Transmission Losses. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1992; page 544-550.
 - [11]. Anula Khare, Saroj Rangnekar. Particle Swarm Optimization : A Review. *Journal Department of Energy, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal 462051, India*.
 - [12]. Xiaohong Qiu, Jun Liu, Xuemei Ren. The Random Factors in Particle Swarm Optimization. *Journal IEEE*. 2009; seri 978-1-4244-4738-1.
 - [13]. Cheun-Yau Chen, Chen-Hsueh Chuang, Meng-Cian Wu. Combining Concepts of Inertia Weights and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization. *Journal IEEE*. 2012; seri 978-1-4577-1779-6/12.
- Proceeding:**
- [14]. Y.Shi, R.Eberhart. *A Modified Particle Swarm Optmizer*. Proc. IEEE Int. Conf. Evol. Comput. May 1998; pp69-73.
 - [15]. M Mohatram, S Kumar. *Application of Artificial Neural Network in Economic Generation Scheduling of Thermal Power Plants*. Proceedings of the National Conference. 2006.
 - [16]. M. Sudhakaran, P. Ajay, D. Vimal Raj, T.G. Palanivelu. *Application of Particle Swarm Optimization for Economic Load Dispatch Problem*. International Conference on Intelligent Sistem Application to Power Sistem. Nov. 2007; page 4-8.
 - [17]. M. Clerc. *The Swarm and The Queen: Towards a Deterministic and Adaptive Particle Swarm Optimization*. Proc. 1999 Congress on Evolutionary Computation, Washington, DC Piscataway, NJ: IEEE Service Centre, 1999; *pp. 1951-1957*.
 - [18]. R.C. Eberhart, Y. Shi. *Comparing Inertia Weight and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization*. Proceeding of the 2000 Congress on Evolutionary Computation. 2000; *Vol. 1, ,pp. 84-88*.
 - [19]. AM. Ilyas, Ontoseno Panangsang, Adi Soeprijanto. Optimisasi Pembangkit *Thermal* Sistem 500 kV Jawa-Bali Menggunakan *Modified Particle Swarm Optimization (MIPSO)*. National Conference : Design and Application of Technology, 2010.
 - [20]. Maickel Tuegeh, Adi Soeprijanto, Mauridhi Hery P. *Optimal Generator Scheduling based on Particle Swarm Optimization*. Seminar Nasional Informatika UPN Veteran Yogyakarta. Mei 2009; ISSN : 1979-2328..
 - [21]. J. Kennedy, R. C. Eberhart. *Particle Swarm Optimization*. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN'95). 1995; 1942-1948..
 - [22]. Y. Shi, R. C. Eberhart. *Particle Swarm Optimization: Development, Applications, and Resources*. Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation. 2001; 1: 81-86.
 - [23]. Xian-Han Chien, Wie-Ping Lee, Chen-Yi Liao, Jang-Ting Dai. *Adaptive Constriction Factors for Location-Related Particle Swarm*. Proceeding of the 8th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing, Vancouver, British Columbia, Canada, June 2007; 19-21.
 - [24]. Zhiyu You, Weirong Chen, Xiaoqiang Nan. *Adaptive Weight Particle Swarm Optimization Algorithm With Constriction Factors*. International Conference of Information Science and Management Engineering, 2010.
- Textbooks:**
- [25]. Hadi Saadat. *Power System Analysis*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company. 2001.
 - [26]. Budi Santoso, Paul Willy. *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Guna Widaya. April 2011
 - [27]. William D Stevenson, Jr. *Power System Analysis Copyright 5th edition, Erlangga*. 1996.