

CFBPSO sebagai Solusi Economic Dispatch pada Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa-Bali

Sabhan Kanata¹

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 Jawa-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 IPSO approach and Quadratic Programming. For the case of 500 kV power system is Jawa-Bali, MIPSO method with this approach is also able to provide the most optimal solution compared with the real system PT. PLN (Persero).

Intisari— 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 12.058 MW. Dari hasil simulasi IEEE 30 bus, metode MIPSO dengan pendekatan CFBPSO mampu menghasilkan solusi paling optimal ekonomi dibanding metode pendekatan IPSO dan *Quadratic Programing*. 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*.

I. 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)* [1][2].

Beberapa metode dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah ED. Metode tradisional seperti *Iterasi Lambda*, *Gradient*, dan *Newton-Raphson* [2] 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)* [3]. Metode ini memiliki kelemahan karena seringkali mengalami kendala terjebak pada masalah optimasi lokal [4][5]. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa metode alternatif telah dikembangkan seperti Algoritma Genetika (GA) [6], *Neural Network (NN)* [7], dan *Particle Swarm Optimization (PSO)* [4-5][8-12].

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah metode optimasi heuristik global yang awalnya dikemukakan 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 [13-15]. Modifikasi PSO dengan menerapkan *Inertia Weight (IW)* untuk meredam kecepatan selama iterasi agar secara imbang menjaga pencarian global dan lokal [16]. Perbaikan kembali PSO 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].

Penelitian pada PSO kembali dilakukan dengan membandingkan *Inertia Weight (IW)* dengan *Constriction Factor (CF)* dan menemukan bahwa penggunaan CF memiliki konvergensi yang lebih baik dibanding IW [18].

¹Dosen Teknik Elektro, Universitas Gorontalo, Gorontalo

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. Efektifitas metode tersebut diujikan pada sistem standar IEEE 30 bus dan sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali.

Dalam *economic dispatch* pembebanan pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem dibagi secara optimal ekonomi pada harga beban sistem tertentu sehingga biaya operasi dapat ditekan seminimal mungkin namun tetap dapat memenuhi permintaan beban dan memperhatikan batasan-batasan dari masing-masing pembangkit [2][19-20].

Adapun fungsi biaya bahan bakar pada masing-masing unit pembangkit dapat direpresentasikan dalam fungsi kuadrat yaitu [2][19]:

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

sehingga total pembangkitan

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

dimana

C_t	= total biaya bahan bakar
C_i	= biaya bahan bakar unit i
i	= unit pembangkit
$\alpha_i, \beta_i,$ dan γ_i	= koefisien fungsi biaya bahan bakar
P_i	= daya keluaran untuk unit i

Dalam meminimalkan total biaya bahan bakar ini perlu memperhatikan batas keangan 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

P_l	= rugi-rugi transmisi
P_i^T	= daya <i>output</i> pembangkit i di <i>transpose</i>
P_i	= daya <i>output</i> pembangkit i
B	= koefisien rugi-rugi transmisi

2. Batas kemampuan unit i dengan pertidaksamaan :

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

dimana

P_i	= daya keluaran unit i
$P_{i,min}$	= daya pembangkitan minimum unit i
$P_{i,max}$	= daya pembangkitan maksimum unit i

II. METODOLOGI

A. Algoritma dasar particle swarm optimization

Algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)* dimana proses algoritmanya [14] 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 [21-25] :

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

dan

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

dimana

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

B. Improved Particle Swarm Optimization (IPSO)

Perbaikan algoritms PSO yang dikenal dengan istilah *Improved Particle Swarm Optimization (IPSO)* dengan menerapkan *inertia weight* untuk menjaga keseimbangan penelusuran global dan lokal sehingga dapat memberikan performansi yang baik pada PSO [4][10][16][21-25]. Persamaan dinamis dari PSO, *velocity* dimodifikasi menjadi sebuah algoritma sebagai berikut:

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

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 dan akhir
- i_{max} = epoch maksimum
- i = current epoch

C. Modified Improvement Particle Swarm Optimization (MIPSO) dengan Contraction Factor based Particle Swarm Optimization

Penerapan *contraction factor* dikenal dengan istilah *Contraction Factor based Particle Swarm Optimization (CFBPSO)*. Peningkatan dan modifikasi ini bertujuan untuk menjamin suatu penelusuran dalam algoritma PSO agar didapatkan konvergen lebih cepat [9][11][17][26-27]. Persamaan dinamis dari *Particle Swarm Optimization*, kecepatan dimodifikasi dan ditingkatkan menjadi suatu algoritma sebagai berikut :

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

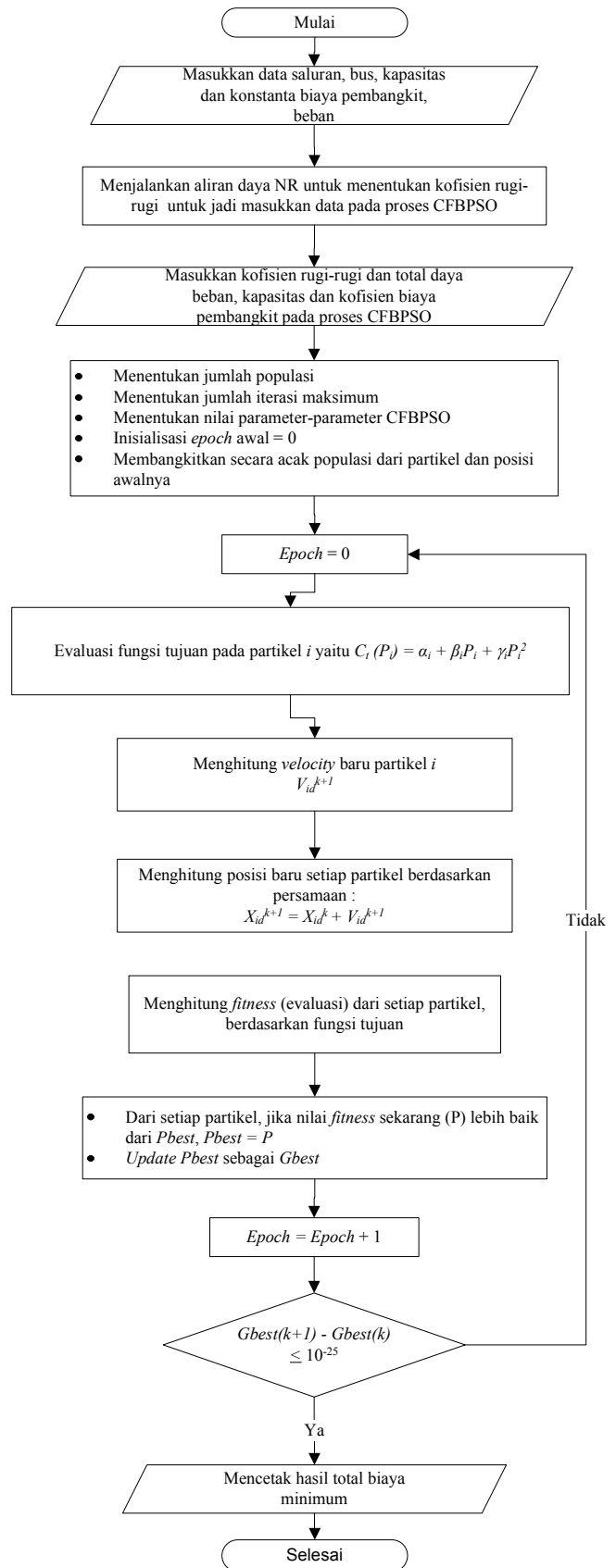
dengan

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

dan

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

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



Gbr. 1 Flowchart Algoritma MIPSO

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam simulasi ini, penerapan CFBPSO dilakukan pada 2 sistem yaitu :

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

Simulasi menggunakan perangkat lunak matlab 7.0.4 dengan perangkat keras notebook processor intel Atom 1,83 GHz, RAM 1 GB, 32 bit.

A. Sistem Standar IEEE 30 Bus

Sistem standar IEEE 30 bus yang diujikan dalam penelitian ini terdiri atas 30 bus, 41 saluran, dan 6 pembangkit [5] 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 *Newton Raphson* sehingga didapatkan kofisien rugi-rugi (B) dalam satuan per unit (pu) sebagai berikut :

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} 0,000140 & 0,000017 & 0,000015 & 0,000019 & 0,000026 & 0,000022 \\ 0,000017 & 0,000060 & 0,000013 & 0,000016 & 0,000015 & 0,000020 \\ 0,000015 & 0,000013 & 0,000065 & 0,000017 & 0,000024 & 0,000019 \\ 0,000019 & 0,000016 & 0,000017 & 0,000071 & 0,000030 & 0,000025 \\ 0,000026 & 0,000015 & 0,000024 & 0,000030 & 0,000069 & 0,000032 \\ 0,000022 & 0,000020 & 0,000019 & 0,000025 & 0,000032 & 0,000085 \end{bmatrix}$$

Dalam kasus ini digunakan parameter MIPSO dimana nilai *inertia weight* (0,9-0,4) dan CF = 1 untuk C₁ = C₂ = 2 sedangkan CF = 0,729 untuk C₁ = C₂ = 2,05 seperti yang digunakan peneliti-peneliti sebelumnya sehingga setiap kasus memiliki 2 (dua) macam pencarian solusi terbaik (Gbest). Parameter lainnya yaitu maksimum *epoch* 100.000, ukuran partikel 100, dan *error limit* 10⁻²⁵.

TABEL I

FUNGSI BIAYA DAN KEMAMPUAN PEMBANGKITAN

Unit	Data Pembangkit		
	Cost function (\$/h)	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 + 0,03546	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

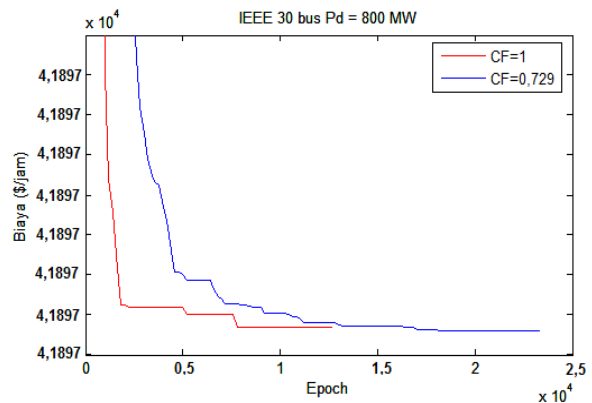
TABEL II

PERBANDINGAN METODE IEEE 30 BUS

Unit	QP [4]	IPSO [4]	MIPSO	
			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	-	34.450	23.330	12.692
Daya beban (MW)	800	800	800	800
Daya total (MW)	825,34	825,32	825,32	825,4
Biaya (\$/jam)	41.898,45	41.896,66	41.896,63	41.896,64
Rugi daya (MW)	25,34	25,32	25,33	25,33

Hasil simulasi terlihat pada 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 41.896,63 \$ per jam.

Pencarian solusi biaya tercapai pada jumlah *epoch* 23.330 ditunjukkan pada Gbr. 2.



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

B. 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 :

- 1) Satu buah *slack bus*, yaitu bus pembangkit Suralaya
- 2) 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.
- 3) 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
- 4) 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 12.058 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.

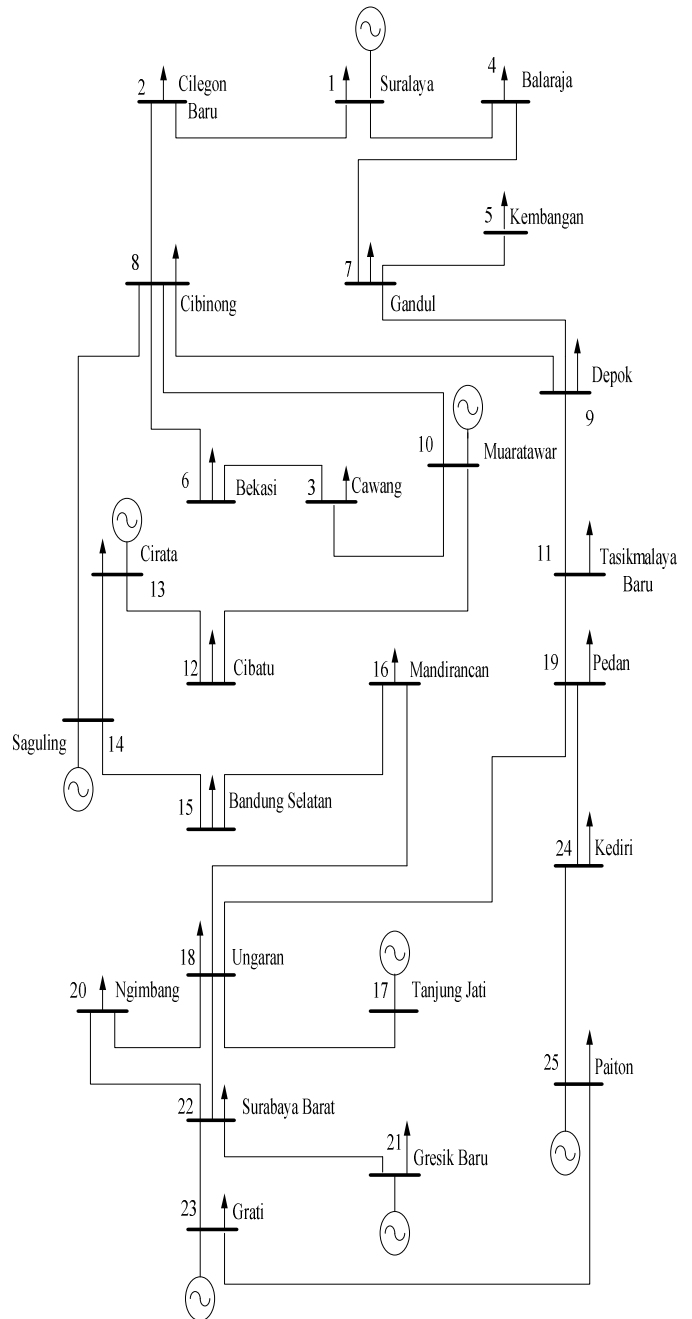
Dalam simulasi MIPSO digunakan data koefisien rugi-rugi transmisi yang didapatkan dari program aliran daya menggunakan *Newton Raphson* sehingga didapatkan koefisien rugi-rugi daya (B) dalam satuan per unit (pu) sebagai berikut :

$B_{ij} =$

$$\begin{bmatrix} 0,007894 & 0,002322 & -0,003579 & -0,005503 & -0,006413 & 0,004981 \\ 0,002322 & 0,008612 & -0,002950 & -0,006133 & -0,008469 & 0,004668 \\ -0,003579 & -0,002950 & 0,020465 & 0,004459 & 0,004114 & 0,003855 \\ -0,005503 & -0,006133 & 0,004459 & 0,013941 & 0,012981 & 0,008039 \\ -0,006413 & -0,008469 & 0,004115 & 0,012981 & 0,021338 & 0,010520 \\ -0,004981 & -0,004668 & 0,003855 & 0,008038 & 0,010521 & 0,012048 \end{bmatrix}$$

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 aselarasi $C_1 = C_2 = 2$ 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} .

Hubungan antar bus ditunjukkan pada Gbr. 3 berikut ini :



Gbr. 3 Diagram satu garis sistem 500 kV Jawa-Bali

TABEL III

DATA BUS, PEMBANGKITAN, DAN BEBAN

No	Bus	Type	Vm	φ	Pembangkitan		Beban	
					MW	M Var	MW	M Var
1	Suralaya	Slack	1,02	0	2,735	1,254	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	-	-	1.118	264
7	Gandul	Beban	0,99	0	-	-	761	132
8	Cibinong	Beban	0,99	0	-	-	616	330
9	Depok	Beban	0,99	0	-	-	641	204
10	Muaratawar	Gen.	0,99	0	1,785	859	-	-
11	Tasik. Baru	Beban	1,03	0	-	-	219	83
12	Cibatu	Beban	0,99	0	-	-	680	467
13	Cirata	Gen.	0,99	0	594	209	-	-
14	Saguling	Gen.	0,99	0	662	125	-	-
15	Bandung Sel.	Beban	0,99	0	-	-	687	426
16	Mandirancan	Beban	1,00	0	-	-	309	131
17	Tanjungjati	Gen.	1,00	0	1,971	58	238	11
18	Ungaran	Beban	1,01	0	-	-	417	468
19	Pedan	Beban	1,01	0	-	-	608	229
20	Ngimbang	Beban	1,02	0	-	-	302	70
21	Gresik Baru	Gen.	1,03	0	1,371	286	174	64
22	Surabaya Barat	Beban	1,03	0	-	-	899	512
23	Grati	Gen.	1,03	0	441	58	510	191
24	Kediri	Beban	1,01	0	-	-	627	188
25	Paiton	Gen.	1,03	0	2,572	611	650	146
Total					12,131	3,460	10,802	4,650

TABEL IV

DATA SALURAN DAN JENISNYA

Hub. dari	Hub. ke	Jenis Penghantar	R	X	1/2B
			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	0,115128000	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 V

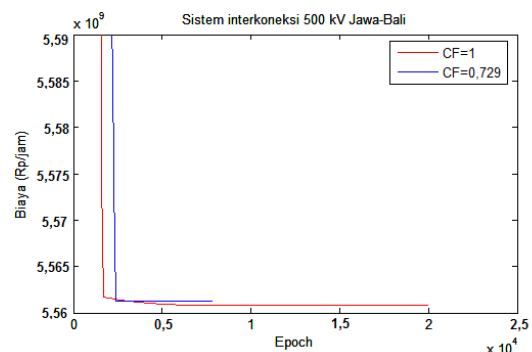
FUNGSI BIAYA DAN KEMAMPUAN PEMBANGKITAN

Pembangkit	Fungsi Biaya (Rp/jam)x1000	P _{Min}	P _{Max}
Suralaya	4.7071,2998+407,99P1-0,0079P1 ²	1.610	4.025
Muaratawar	-196.885,5874+1.322,7707P2-0,1162P2 ²	1.300,4	3.251
Tanjungjati	104.589,6848+199,7724P3+0,0348P3 ²	1.056	2.640
Gresik	81.256,9130+831,8210P4+0,0027P4 ²	895,62	2.239
Grati	198.252,0822+1.176,9390P5-0,0753P5 ²	305,8	764,5
Paiton	5.575,2483+466,6308P6-0,0352P6 ²	1.886	4.714

TABEL VI

HASIL SIMULASI SISTEM 500 kV JAWA-BALI

Pembangkit	Data Operasi PLN	MIPSO	
		CF=0,729	CF=1
Suralaya	MW	2.792,94	2.119,84
	Rp/jam x 1.000	1.125.458	876.440
Muaratawar	MW	1.785,00	1.300,40
	Rp/jam x 1.000	1.819.867	1.326.747
Cirata	MW	594,00	594,00
	Rp/jam x 1.000	-	-
Saguling	MW	662,00	662,00
	Rp/jam x 1.000	-	-
Tanjungjati	MW	1.971,00	1.819,16
	Rp/jam x 1.000	632.633	583.173
Gresik	MW	1.371,00	895,62
	Rp/jam x 1.000	1.273.483	828.418
Grati	MW	441,00	306,25
	Rp/jam x 1.000	731.926	565.752
Paiton	MW	2.572,00	4.714,00
	Rp/jam x 1.000	972.784	1.423.066
Daya total	MW	12.188,94	12.411,27
Biaya	Rp/jam x 1.000	6.556.151	5.561.240
Jumlah epoch	-	-	7.883
Rugi daya	MW	130,94	353,27
Reduksi Biaya	Rp/jam x 1.000	-	994.911



Gbr. 4 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. 5.560.832.521,00 sehingga mampu mereduksi biaya sebesar Rp 995.318.000,00 dibanding data operasi PT. PLN (Persero) yaitu sebesar Rp. 6.556.151.000,00 per jam. Pencarian solusi biaya tercapai pada jumlah epoch 20.036 ditunjukkan pada Gbr. 4.

IV. KESIMPULAN

Dalam simulasi ini, penerapan MIPSO dapat disimpulkan bahwa :

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

- 2) 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.5.560.833.000,00 per jam dibandingkan dengan data operasi pada PT. PLN (Persero) yaitu sebesar Rp.6.556.151.000,00 per jam sehingga metode yang diusulkan mampu mereduksi biaya sebesar Rp.995.318.000,00 per jam dengan *epoch* pencarian 20.036.

REFERENSI

- [1] Jizhong, Optimization of Power System Operation Principal Engineer. AREVA T & D Inc. Redmond, WA, USA, *IEEE series of Power Engineering*. 2009.
- [2] Hadi Saadat. Power System Analysis. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company. 2001.
- [3] 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.
- [4] Hardiansyah, Junaidi, MS. Yohannes. Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technique. *I.J. Intelligent Sistem and Application*. 2012; page: 12-18.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] M Mohatram, S Kumar. *Application of Artificial Neural Network in Economic Generation Scheduling of Thermal Power Plants*. Proceedings of the National Conference. 2006.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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..
- [13] Qinghai Bai. Analysis of Particle Swarm Optimization Algorithm. *Computer and Informatic Science Journal*. Feb.2010; Vol. 3 No 1.
- [14] J. Kennedy, R. C. Eberhart. *Particle Swarm Optimization*. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN'95). 1995; 1942-1948. .
- [15] Y. Shi, R. C. Eberhart. *Particle Swarm Optimization: Development, Applications, and Resources*. Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation. 2001; 1: 81-86.
- [16] Y.Shi, R.Eberhart. *A Modified Particle Swarm Optimizer*. Proc. IEEE Int. Conf. Evol. Comput. May 1998; pp69-73.
- [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] William D Stevenson, Jr. Power System Analysis Copyright 5th edition, Erlangga. 1996.
- [20] Kwang Y. Lee, Fellow, Jong-Bae Park. Application of Particle Swarm Optimization to Economic Dispatch Problem Advantages and Disadvantages. *Journal IEEE*. 2006; seri 142440178X.
- [21] Budi Santoso, Paul Willy. *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Guna Widaya. April 2011
- [22] Pichet. Sriyanyong. 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*.
- [23] Anula Khare, Saroj Rangnekar. Particle Swarm Optimization : A Review. *Journal Department of Energy, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal 462051, India*.
- [24] Xiaohong Qiu, Jun Liu, Xuemei Ren. The Random Factors in Particle Swarm Optimization. *Journal IEEE*. 2009; seri 978-1-4244-4738-1.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Zhiyu You, Weirong Chen, Xiaoqiang Nan. *Adaptive Weight Particle Swarm Optimization Algorithm With Constriction Factors*. International Conference of Information Science and Management Engineering, 2010.