

Penjadwalan Ekonomis Pada Pembangkit Termal Dengan Menggunakan *Particle Swarm Optimization*

Muhammad Sidiq Dwi Putra^{*}, Sukma Abadi²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
^{*}email : msidiqdwiputra@poliupg.ac.id

Abstract: In this paper proposed optimal solution for Economic Dispatch (ED), problem has been suggested by Particle Swarm Optimization (PSO). PSO could schedule operating generator with to consider fuel cost, satisfying load demand and operational constraints so that optimal optimization results are obtained. In this article, the ED problem is formulated as a single objective problem by considering the fuel cost of generating units. Test cases, having no valve point effect without transmission loss has been operated by PSO. In order to view the effectiveness of the suggested algorithm, it has been compared with other algorithms in the literature. Results show that the PSO is more powerful than other algorithms.

Keywords : Particle Swarm Optimization, Economic Dispatch, fuel cost

Abstrak: Dalam makalah ini diusulkan solusi optimal untuk Economic Dispatch (ED), masalah telah dikemukakan oleh Particle Swarm Optimization (PSO). PSO dapat menjadwalkan pengoperasian pembangkit dengan mempertimbangkan biaya bahan bakar, permintaan beban, dan kendala operasional sehingga diperoleh hasil optimisasi yang optimal. Pada artikel ini, masalah ED dirumuskan sebagai masalah objektif tunggal dengan mempertimbangkan biaya bahan bakar unit pembangkit. Kasus uji, tidak memiliki efek titik katup tanpa kehilangan transmisi telah dioperasikan oleh PSO. Untuk melihat efektivitas algoritma yang disarankan, telah dibandingkan dengan algoritma lain dalam literatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PSO lebih kuat daripada algoritma lainnya.

Kata kunci : Particle Swarm Optimization, Economic Dispatch, Biaya Bahan Bakar.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit termal berbahan bakar fosil sudah menjadi dasar pembebanan yang dapat diandalkan pada masyarakat dunia [1]. Disisi lain harga bahan bakar pembangkit fosil yang semakin meningkat dan ketersediaan cadangan bahan bakar fosil dialam sangat terbatas dan harga bahan bakar fosil yang semakin meningkat [2] maka dibutuhkan suatu tindakan untuk mengatasi masalah agar biaya operasi suatu pembangkit termal agar memiliki biaya harga bahan bakar yang relative lebih kecil.

Beberapa strategi untuk mengurangi biaya operasi pada pembangkit termal sudah diusulkan dan diteliti. Seperti penggantian komponen – komponen pembangkit yang telah usang, penggantian bahan bakar fosil yang memiliki nilai kalori yang lebih kecil. Namun, opsi –opsi tersebut menghasilkan beberapa pertimbangan biaya yang sangat besar, seperti meningkatnya biaya pemeliharaan pembangkit termal sehingga menjadikan opsi untuk jangka – panjang[3]. Dengan demikian Industri tenaga listrik memiliki masalah utama dibidang penggunaan bahan bakar fosil seperti menemukan solusi optimal untuk meminimalkan biaya bahan bakar. Berkaitan dengan pengoptimalan biaya bahan bakar pada setiap unit pembangkit biasanya disebut penjadwalan ekonomis. Tujuan tersebut dapat dioptimalkan, sehingga menimbulkan sebuah penyelesaian kompleks [4] yang dikenal sebagai *Economic Dispatch* (ED), dimana biaya operasi atau biaya bahan bakar dapat dioptimalkan.

Adapun memecahkan masalah *economic dispatch* akan di aplikasikan algoritma *metaheuristik* agar didapatkan hasil yang maksimal. *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah suatu metode optimasi heuristik yang awalnya diusulkan oleh Kennedy dan Eberhart [5] untuk masalah optimisasi atas domain kontinyu. PSO sangat sederhana, jauh lebih cepat dan kuat. Prinsip dasar PSO adalah Algoritma optimasi yang memiliki prosedur pencarian berdasarkan populasi yang dimana setiap populasinya disebut partikel.

Kumpulan partikel merupakan calon solusi yang disebut dengan *Swarm*. Dalam Sistem partikel PSO partikel bergerak di sekitar ruang pencarian untuk mendapatkan solusi terbaik [6]. Oleh karena itu algoritma ini sangat proporsional untuk digunakan sebagai metode dalam penjadwalan ekonomis pada pembangkit termal. Berdasarkan deskripsi diatas artikel ini meneliti mengenai penjadwalan ekonomis pada pembangkit termal menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization*. Metode yang diusulkan akan dibandingkan dengan metode konvensional metode lagrange pada 6 unit sistem pembangkit termal pada 30 bus IEEE.

II. METODE PENELITIAN

A. Batasan dan Formulasi *Economic Dispatch*

Persamaan fungsi biaya pembangkitan tenaga termal secara umum dapat diformulasikan secara matematis sebagai fungsi objektif seperti sebagai berikut:

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i P_i \tag{1}$$

$$F_i P_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \tag{2}$$

dimana:

- F_T = total biaya pembangkitan (\$/h)
- $F_i P_i$ = fungsi biaya input-output pembangkit ke-I (\$/h)
- a_i, b_i, c_i = koefisien biaya dari pembangkit ke-i
- P_i = output pembangkit ke-i (MW)
- n = jumlah unit pembangkit
- i = indeks dari dispatchable unit

Nilai minimum dari fungsi diatas harus diperoleh dengan fungsi batasan berikut ini. Batasan keseimbangan beban:

$$\sum_{i=1}^n P_i \tag{3}$$

$$P_L = \sum_i^n \sum_j^n B_{ij} P_i P_j \tag{4}$$

Batasan output pembangkit:

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \tag{5}$$

dimana:

- P_D = total beban sistem (MW)
- P_L = total rugi – rugi saluran (MW)
- P_i^{min} = output minimum pembangkit ke-1 (MW)
- P_i^{max} = output maksimum pembangkit ke-1 (MW)
- B_{ij} = koefisien rugi – rugi saluran transmisi (MW)

B. Metode Pengali *Lagrange*

Metode untuk mencari nilai maksimum dan minimum suatu fungsi disebut Pengali *Lagrange* [7]. Salah satu metode konvensional yang sering digunakan untuk menyelesaikan masalah optimisasi, seperti optimisasi biaya atau penjadwalan ekonomis adalah metode Pengali *Lagrange*. Metode Pengali

Lagrange terbagi menjadi dua skema yaitu skema dimana nilai rugi – rugi daya diabaikan dan skema nilai rugi – rugi daya diperhitungkan[8]. Pengali Lagrange dapat menyelesaikan masalah optimisasi biaya atau *economic dispatch*, dengan menggunakan persamaan fungsi objektif sebagai berikut:

$$L = F_T + \lambda \left(P_D + P_L - \sum_{i=1}^n P_i \right) \tag{6}$$

dimana:

- \mathcal{L} = persamaan Lagrange
- F_T = total biaya pembangkitan (\$/h)
- λ = pengali Lagrange

Langkah untuk menyelesaikan permasalahan fungsi objektif dengan batasan – batasan yang tidak setara adalah dengan menurunkan fungsi Lagrange terhadap setiap variable yang ada dan disetarakan dengan nol. Persamaan yang diperoleh dari turunan parsial fungsi Lagrange terhadap daya output diformulasikan sebagai berikut[9]:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i P_i}{\partial P_i} - \lambda = 0 \tag{7}$$

C. Metode Particle Swarm Optimization

Kennedy dan Eberhart memperkenalkan *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada tahun 1995. Algoritma ini terinspirasi dari habit atau perilaku social dari suatu makhluk hidup, seperti sekumpulan burung atau sekelompok ikan dalam mencari makanan. Teknik komputasi evolusioner PSO, dimana *particle* pada PSO merupakan penelusuran algoritma dan diawali dengan suatu populasi random. Setiap *particle* akan berpindah dari posisi semula dengan suatu posisi yang lebih baik dengan suatu *velocity* atau kecepatan[10]. Pergerakan dinamis *particle – particle* tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan kecepatan (*velocity*) yang disesuaikan dengan perilaku historisnya. Dengan demikian kecenderungan untuk terus bergerak kearah penelusuran yang lebih baik akan dimiliki oleh *particle – particle* tersebut[11]. Pada PSO masing – masing *particle* memperbaharui vektor kecepatan (*velocity*) kemudian menambahkan vektor kecepatan tersebut ke dalam posisi *particle*. Kecepatan yang sudah diperbaharui dapat diterapkan ke dalam *Economic Dispatch* (ED) dengan dipengaruhi oleh dua solusi yaitu *global best* yang berkaitan dengan biaya bahan bakar yang paling rendah yang diperoleh dari suatu *particle* dan *local best* yang berkaitan dengan biaya bahan bakar paling rendah pada populasi awal. Adapun formulasi dasar algoritma PSO sebagai berikut:

$$V_{ij}^t = \omega \times V_{ij}^{t-1} + c_1 \times r_1 \times (Pbest_{ij}^{t-i} - X_{ij}^{t-i}) + c_2 \times r_2 \times (Gbest_{ij}^{t-i} - X_{ij}^{t-i}) \tag{8}$$

posisi setiap *particle* diupdate sebagai berikut:

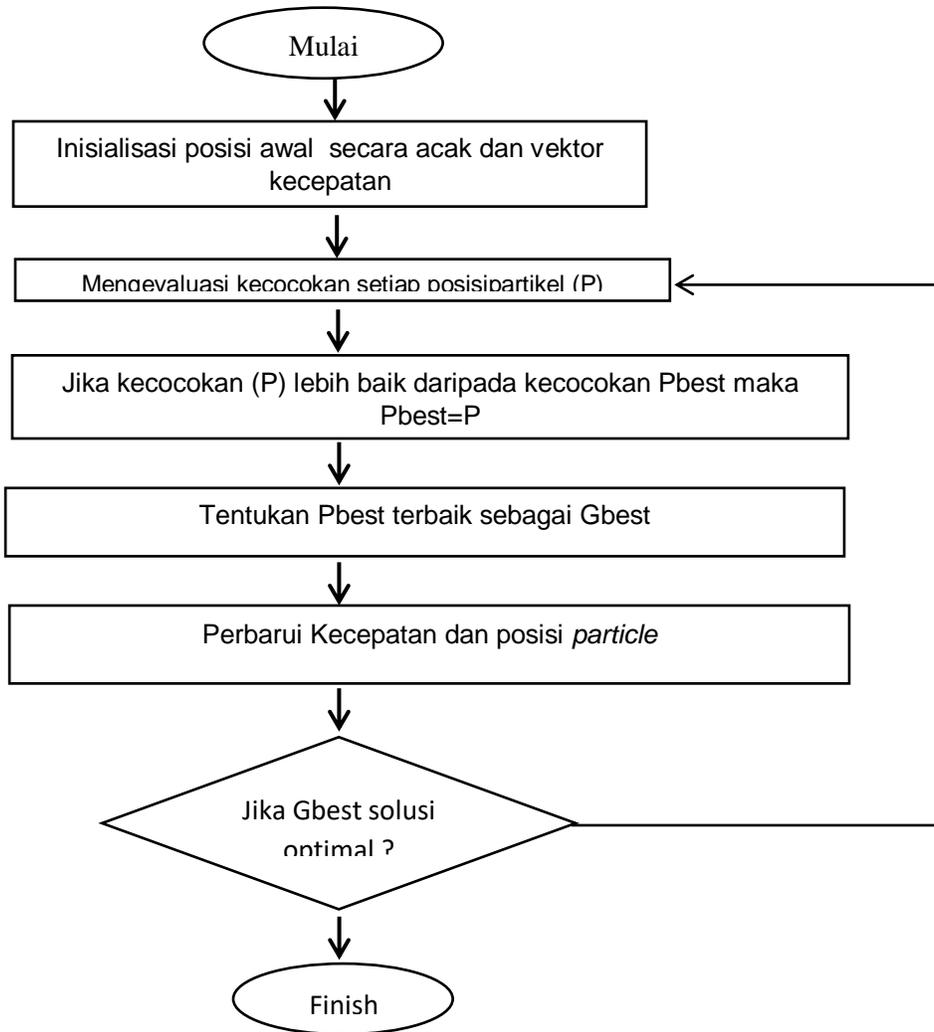
$$X_{ij}^t = X_{ij}^{t-1} + V_{ij}^t \tag{9}$$

dimana:

- V_{ij}^t = dimensi *ij* dari kecepatan *particle* pada iterasi *t*
- ω = bobot inersia
- c_1, c_2 = koefisien percepatan
- r_1, r_2 = nilai random antara 0 dan 1
- $Pbest_{ij}^{t-i}$ = dimensi *ij* dari posisi terbaik dicapai hingga iterasi *t-1*
- $Gbest_{ij}^{t-i}$ = dimensi *i* dari semua posisi terbaik dicapai hingga iterasi *t-1*
- X_{ij}^t = dimensi *ij* dari posisi *particle* pada iterasi *t*
- t* = jumlah iterasi

i = jumlah variable keputusan
 j = jumlah *particle* dalam *swarm*

Diagram alir penyelesaian permasalahan *Economic Dispatch* atau penjadwalan ekonomis pembangkit termal dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penyelesaian permasalahan *Economic Dispatch* dengan menggunakan PSO

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi ini menggunakan system standar IEEE 30 bus yang disimulasikan dalam artikel ini terdiri dari 30 bus, 41 saluran, dan 6 unit pembangkit dengan total beban 189.2 MW. Tabel 1 menyajikan data fungsi biaya bahan bakar atau *fuel cost function* serta output minimum dan maksimum setiap pembangkit termal. Table 2 menyajikan data bus yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1 Data fungsi bahan bakar dan kapasitas pembangkit

Unit	Fungsi Bahan Bakar	Kapasita Unit Pembangkit	
		Minimum	Maksimum
1	$0 + 2P_1 + 0,02P_1^2$	20	80
2	$0 + 1,75P_2 + 0,00175P_2^2$	20	80
3	$0 + 1P_3 + 0,0625P_3^2$	15	50
4	$0 + 3,25P_4 + 0,0083P_4^2$	10	55
5	$0 + 3P_5 + 0,025P_5^2$	10	30
6	$0 + 3P_6 + 0,025P_6^2$	12	40

Tabel 2 Data 30 bus IEEE

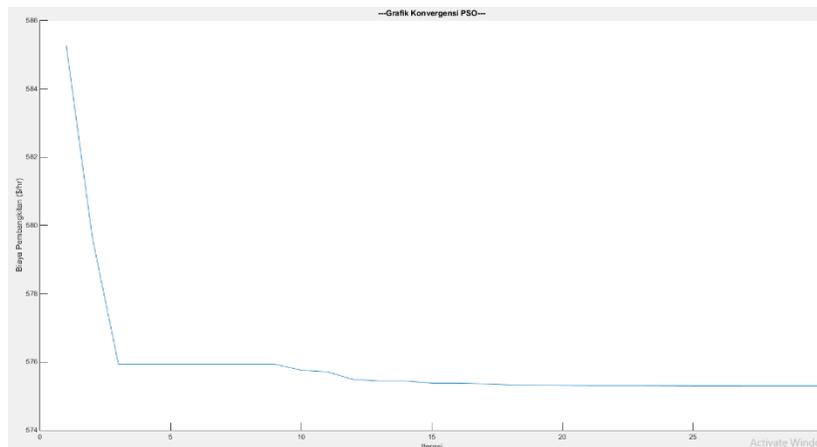
No	Type Bus	Beban		Daya Pembangkitan	
		MW	Mvar	MW	Mvar
1	1	0	0	23,54	0
2	2	21,7	12,7	60,97	0
3	0	2,4	1,2	0	0
4	0	7,6	1,6	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	22,8	10,9	0	0
8	0	30	30	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	5,8	2	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	11,2	7,5	0	0
13	2	0	0	37	0
14	0	6,2	1,6	0	0
15	0	8,2	2,5	0	0
16	0	3,5	1,8	0	0
17	0	9	5,8	0	0
18	0	3,2	0,9	0	0
19	0	9,5	3,4	0	0
20	0	2,2	0,7	0	0
21	0	17,5	11,2	0	0
22	2	0	0	21,59	0
23	2	3,2	1,6	19,2	0
24	0	8,7	6,7	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	3,5	2,3	0	0
27	2	0	0	26,91	0
28	0	0	0	0	0
29	0	2,4	0,9	0	0
30	0	10,6	1,9	0	0

Implementasi metode PSO untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan ekonomis pembangkit termal dengan menggunakan IEEE 30 bus dengan parameter inertia weight (0,9-0,2) [11] total swarm = 50, iterasi maksimum = 30, Koefisien percepatan = 0,3, dengan total beban 189,2 MW. Hasil dari simulasi implementasi metode PSO yang dibandingkan dengan metode pengali *Lagrange* dapat dilihat pada table 3:

Tabel 3 Perbandingan metode PSO dengan metode pengali *Lagrange*

Unit	Metode	
	Pengali Lagrange	PSO
1	44,124	43,237
2	57,650	57,781
3	23,015	22,530
4	30,856	34,235
5	16,702	16,676
6	17,493	17,354
Total Biaya Bahan Bakar (\$/h)	575,32	574,25
Total Beban (MW)	189,200	189,200
Rugi – Rugi Daya (MW)	2,648	2,621

Hasil simulasi pada table diatas menunjukkan optimisasi menggunakan metode metaheuristik yaitu PSO menunjukkan hasil yang lebih baik dari metode konvensional pengali *Lagrange* dengan total biaya bahan bakar minimal sebesar 575,27 \$/h. Gambar 2 menunjukkan grafik kurva iterasi terhadap biaya bahan bakar.



Gambar 2. Kurva solusi PSO

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada simulasi penjadwalan ekonomis atau economic dispatch pada pembangkit termal dengan menggunakan Particle Swarm Optimization dan dibandingkan dengan metode pengali *Lagrange*, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Dengan menggunakan PSO total biaya bahan bakar yang didapatkan senilai relative lebih kecil yaitu senilai 574,25 \$/h dibandingkan dengan menggunakan metode pengali *Lagrange* senilai 575,32 \$/h.
- Nilai rugi – rugi daya yang relative lebih kecil yaitu 2,621 MW didapatkan dengan menggunakan

- metode PSO sedangkan nilai rugi – rugi daya pada metode pengali Lagrange adalah 2,648 MW.
- c. Simulasi dengan menggunakan PSO akan didapatkan hasil yang relative lebih baik daripada menggunakan metode konvensional Pengali *Lagrange*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Sousa, B. Pinto, N. Rosa, V. Mendes, and J. E. Barroso, “Emissions trading impact on the power industry with application to the iberian electricity market,” in *2005 IEEE Russia Power Tech*, IEEE, 2005, pp. 1–4.
- [2] S. Shafiee and E. Topal, “When will fossil fuel reserves be diminished?,” *Energy Policy*, vol. 37, no. 1, pp. 181–189, 2009.
- [3] M. R. Gent and J. W. Lamont, “Minimum-emission dispatch,” *IEEE Transactions on power apparatus and systems*, no. 6, pp. 2650–2660, 1971.
- [4] I. Rahman, P. M. Vasant, B. S. M. Singh, M. Abdullah-Al-Wadud, and N. Adnan, “Review of recent trends in optimization techniques for plug-in hybrid, and electric vehicle charging infrastructures,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1039–1047, 2016.
- [5] R. Eberhart and J. Kennedy, “Particle swarm optimization,” in *Proceedings of the IEEE international conference on neural networks*, Citeseer, 1995, pp. 1942–1948.
- [6] A. F. Y. Reynaldo, “Security Constrained Unit Commitment Considering Spinning Reserve and Transmission Line Capacity Using Binary Particle Swarm Algorithm,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B65–B8, 2016.
- [7] J. L. Lagrange, *Mécanique analytique*, vol. 1. Mallet-Bachelier, 1853.
- [8] K. Syah, H. S. Dachlan, R. N. Hasanah, and M. Shidiq, “Analisis Perbandingan Economic Dispatch Pembangkit Menggunakan Metode Lagrange Dan CFPSO,” *EECCIS*, vol. 6, no. 1, 2012.
- [9] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power generation, operation, and control*. J. Wiley & Sons, 1996.
- [10] S. Kanata and S. Pramono Hadi, “MODIFIED IMPROVED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (MIPSO) SEBAGAI SOLUSI ECONOMIC DISPATCH PADA SISTEM KELISTRIKAN 500 kV JAWA-BALI.”
- [11] R. Naldo Napitupulu and J. Teknik Elektro, “PENJADWALAN OPTIMAL UNIT-UNIT PEMBANGKIT DENGAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO).”