Economic Emission Dispatch Mempertimbangkan Valve-Point Effect Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)

Merynda Putri Maydilasari[1], Efrita Arfah Zuliari[2], Trisna Wati[3]
Teknik Elektro, FTETI, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: meryndaputry@gmail.com

ABSTRACT

Economic Dispatch is a method to minimizee the cost of generation, especially fuel, but also it is able to minimize exhaust emissions. The aim of this study was to obtain the minimum generator cost by considering the valve-point effect in a certain loading condition on the power system with Particle Swarm Optimization (PSO) method. To know the level of PSO accuracy, it would be compared with conventional, namely Lagrange method. Those two methods were applied in IEEE 30 buses system. The simulation method of PSO Method showed that the load was 980 MW. PSO method obtained minimum generator cost was 49354.28 $ / h and the generator cost considerate to VPE was 49354.26 $/h with total emission of 9.39 tons / h. While the generator cost of Lagrange method was 49354.28 $/h and generator cost considered a VPE of 49354.27 $ / h with a total emission of 9.40 tons / day. From all of the cases studies which have been conducted, it could be concluded that Particle Swarm

Keywords: *Economic Emission Dispatch (EED), Particle Swarm Optimization (PSO), Lagrange*

ABSTRAK

Economic Dispatch adalah meminimalkan biaya pembangkitan khususnya bahan bakar, namun juga meminimalkan emisi gas buang. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh biaya pembangkitan yang paling minimum dengan mempertimbangkan Valve-point effect pada suatu kondisi pembebanan tertentu pada sistem tenaga dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Untuk melihat tingkat keakuratan PSO akan dibandingkan dengan metode konvensional yaitu metode Lagrange. Kedua metode tersebut diaplikasikan pada sistem IEEE 30 bus. Hasil Simulasi metode PSO menunjukkan pada beban sebesar 980 MW, metode PSO menghasilkan biaya pembangkitan minimum sebesar 49354.28 $/h dan biaya pembangkitan mempertimbangkan VPE sebesar 49354.26 $/h dengan total emission 9.39 ton/h. Sedangkan metode Lagrange biaya pembangkitan sebesar 49354.28 $/h dan biaya pembangkitan mempertimbangkan VPE sebesar 49354.27 $/h dengan total emission 9.40 ton/hr. Dari semua studi kasus yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dapat meminimalkan biaya pembangkitan dan mengoptimalkan emisi dibandingkan dengan metode Lagrange.

Kata kunci: *Economic Emission Dispatch (EED), Particle Swarm Optimization (PSO), Lagrange*.

PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi kebutuhan primer bagi kehidupan manusia untuk saat ini. Penambahan unit pembangkit dari berbagai sumber konvesional dan terbarukan seperti air, angin, surya, nuklir dan lain sebagainya mulai bermunculan. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Roy Naldo Napitupulu dalam jurnal yang berjudul "Pendjadwalan Optimal Unit-Unit PEmbangkit" memberikan saran untuk menyelesaikan kasus *Economic Dispatch* perlu memperhatikan *Valve point effect*. Dalam penambahan unit pembangkit baru untuk meningkatkan pasokan listrik tidak hanya sekedar membangun pembangkit tapi juga menghitung biaya pembangkitan akibat valve-point effect pada pembangkit yang menyebabkan membesarnya biaya produksi, untuk mengatasi masalah ini diperlukan pengaturan unit pembangkit yang disebut *Economic Dispatch (ED)*.

Economic Dispatch adalah upaya untuk meminimalkan biaya operasi unit pembangkit dengan tetap memperhatikan Batasan teknis dari masing-masing unit pembangkit [1]. Pembangkitan yang efisien dan optimum memiliki peran penting dalam industri tenaga listrik.

Dalam operasi sistem pembangkit perubahan presentase yang kecil dapat menyebabkan perubahan biaya. Pada sistem pengoperaasian tenaga listrik, komponen biaya terbesar adalah biaya bahan bakar. *Economic Dispatch* tidak hanya dibatasi meminimalkan biaya bahan bakar saja tetapi juga emisi gas yang dikeluarkan. Biaya operasi yang meningkat menyebabkan emisi yang dihasilkan dari pembangkit termal meningkat. Tujuan dari *Economic Dispatch* sendiri ialah bagaimana cara meminimalkan biaya operasi masing-masing unit pembangkit serta jumlah emisi gas buang dari masing masing unit pembangkit termal agar emisi yang dikeluarkan lebih minimal.

Pada sistem pembangkit banyak parameter yang perlu diperhatikan dalam hitungan Economic Emission Dispatch. Parameter lain yang akan dipertimbangkan adalah efek dari katub bahan bakar untuk memutar turbin serta beberapa pilihan bahan bakar yang optimal. V*alve Point Effect* yaitu timbulnya ripple pada kurva unit pembangkit dihasilkan dari wire drawing effect yang terjadi karena masing-masing katup uap dalam turbin mulai membuka. Untuk mempertimbangkan kurva biaya yang akurat dari setiap pembangkit, efek katup-titik (Valve-point effect) harus dimasukan dalam model fungsi biaya. Pada penelitian ini mengunnakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk menyelesaikan permasalahan Economic *Emission Dispatch* menghitung biaya pengoperasian pembangkitan akibat buka tutup katub yang mempengaruhi biaya emisi yang terus meningkat. Penulis memilih menggunakan metode PSO karena algoritmanya menggunakan bilangaan real, tidak memiliki mutasi yang tumpang tindih, dan perhitungan algoritma yang sederhana yang memiliki tingkat optimasi paling tinggi dengan perhitungan sederhana. Menggunakan data yang diperoleh dari standar system IEEE 30 BUS sebagai objek data percobaan. Disimulasikan menggunakan progam matlab dan dibandingkan menggunakan metode Lagrange sehingga mendapatkan hasil yang optimal, ekonomis dan meminimalkan emisi dari pembangkit yang diteliti.

TINJAUAN PUSTAKA

Economic Emission Dispatch

Tujuan utama *economic dispatch* adalah menjadwalkan keluaran pembangkit agar dapat memenuhi permintaan beban pada suatu sistem dengan biaya operasi seminimal mungkin. Karena focus pada penelitian ini adalah *Economic Emmision Dispatch* tujuan utamanya adalah meminimalkan biaya pembangkitan khususnya bahan bakar namun juga meminimalkan emisi gas buang dengan menentukan besarnya daya pembangkitan masing-masing unit pembangkit.

Fungsi Biaya

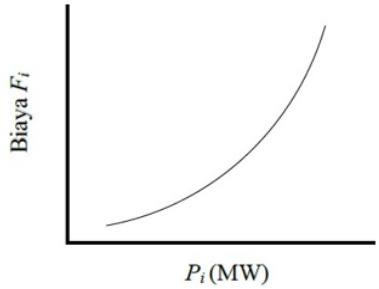
Fungsi Biaya adalah untuk meminimalkan biaya dari pembangkit- pembangkit yang beroperasi untuk memenuhi permintaan beban dengan tetap memperhatikan batasan-batasan teknis dan operasional dari masing-masing pembangkit. Dalam permasalahan EED (Economic Emmision Dispatch) adalah fungsi biaya pembangkitan. Berikut persamaan yang digunakan : [4]

$$F_i(P_i) = \Sigma i_{=1} Ni = 1(\alpha i + biPi + CiPi^2) \quad \text{..... (1)}$$

Keterangan :

F_i	: Besar biaya pembangkitan pada pembangkit
Ai, bi, Ci	: Cost Function
Pi	: Output daya dari masing-masing pembangkit dalam MW

Dari persamaan diatas dapat digambarkan karakteristik unit termal dengan kurva cekung yang menunjukan semakin besar daya yang dibangkitkan oleh pembangkit termal semakin besar juga biaya bahan bakar yang dihasilkan seperti pada Gambar 1 dibawah :



Gambar 1. Kurva biaya bahan bakar

Fungsi Emisi

Fungsi Objektif kedua yaitu fungsi emisi pada masing-masing unit dengan satuan ton tiap jamnya. Berikut persamaan fungsi emisi :

$$Fc\,(P) = \Sigma i_{=1} N_i = 1(\alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i Pi^2) \quad \ldots\ldots (2)$$

Keterangan:

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$: *Emission function*

Fc : Total emisi bahan bakar pembangkitan dalam sistem (Ton/hr)

METODE

Lagrange

Lagrange adalah metode untuk mencari nilai *maksimum* dan *minimum* suatu fungsi. Metode ini dinamai dari matematika prancis-italia Joseph-Louis Lagrange. Apabila hanya da satu Batasan dan dua pilihan variable pertmbangkan permasalahan optimasi berikut:

Maksimisasi $f(x, y)$
Bergantung pada $g(x, y) = 0$

Salah satu cara untuk menyelesaikan *problem* optimasi adalah dengan metode *Lagrange (Methode of Lagrange Multipliers).* Metode *Lagrange* merupakan metode konvesional yang banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi biaya atau *economic dispatch.*

Dalam *Economic Dispatch*, ada dua Batasan atau *constraints* tertentu yang harus dipenuhi, yiatu *equality constraint* dan *inequality constraints*. *Equality constraints* adalah Batasan keaseimbangan daya, yaitu mengharuskan total daya yang dibangkitkan harus memenuhi total kebutuhan daya yang dinyatakan pada persamaan sebagai berikut : [5]

$$F_t = \sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_i) \quad \ldots\ldots (3)$$

Keterangan :

F_i = Biaya bahan bakar unit i ($/jam)
P_i = Daya yang dibangkitkan unit i (MW)
$\alpha_i \beta_i \gamma_i$ = Koefisien biaya bahan bakar
i = Unit pembangkit
F_t = Total biaya pembangkitan (MW)

Pendekatan fungsi dengan metode *Lagrange* sebagai berikut :

$$L = F_T + \lambda \left(P_D - \sum_{i=1}^{n} P_i \right) \quad \ldots\ldots (4)$$

Dengan,

$$F_t = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i \quad \ldots\ldots (5)$$

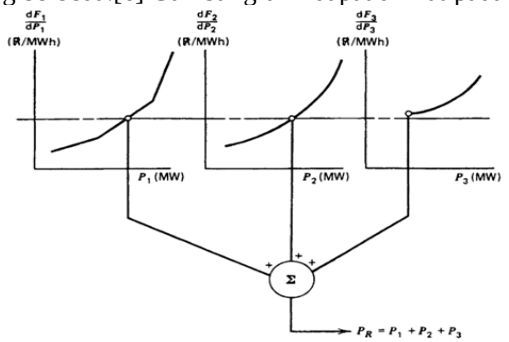
Maka didapat

$$\beta_i + 2.\gamma_i.P_i = P_D \quad \ldots\ldots (6)$$

Keterangan :

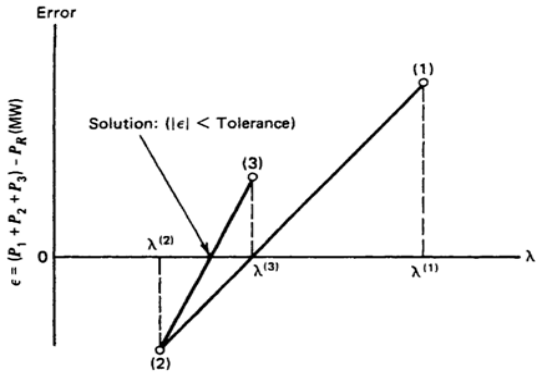
L	=	Persamaan *Lagrange*
F_T	=	Total biaya pembangkitan ($/jam)
λ	=	Pengali *Lagrange* (Lambda)
P_i	=	Daya output masing-masing pembangkit (MW)
P_D	=	Permintaan beban
$i = 1$	=	indeks pembangkit ke-I (i-1,2,3,….,n)

Pada *flow chart* metode iterasi lambda dapat menjadi solusi untuk menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* untuk mendapatkan nilai yang minimum mempertimbangkan Teknik grafis untuk memecahkan masalah dan kemudian memperluas ke area algoritma computer dalam matlab, gambar grafik solusi dari economic dispatch dapat dilihat tiap generator memiliki daya grafik yang berbeda.[6] Gambar grafik dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini



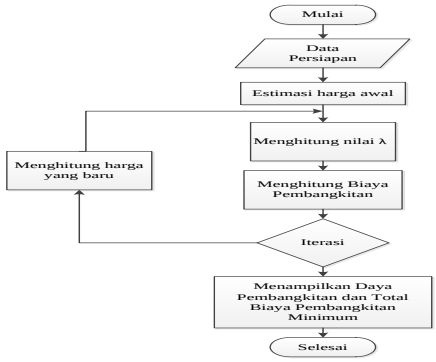
Gambar 2 Gambar grafik solusi untuk economic dispatch

Prosedur yang sama dapat diadopsi untuk implementasi computer seperti yang ditunjukan pada Gambar 3 yang artinya sekarang akan membangun seperangkat aturan logis yang memungkinkan kita untuk mencapai tujuan yang sama seperti yang baru saja kita lakukan dengan penggaris dan kertas grafik. Sangat penting mengetahui bahwa rincian detail bagaimana output daya ditetapkan sebagai fungsi dari tingkat biaya tambahan. [6]



Gambar 3 Lambda Projeksi [6]

Flowchart Iterasi Lambda



Gambar 4 *Flowchart Economic Dispatch dengan iterasi lambda* [7]

PSO (*Particle Swarm Optimization*)

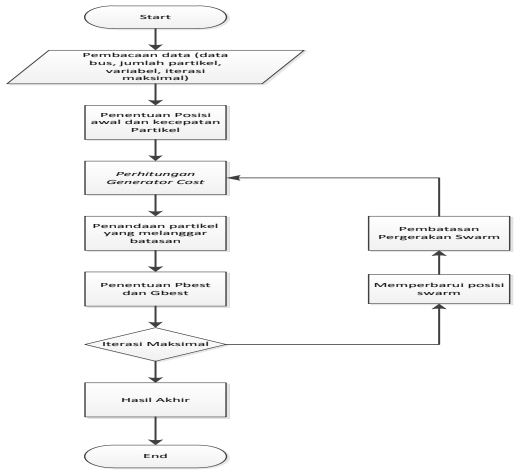
Particle Swarm Optimization (PSO) didasarkan pada perilaku sekawanan burung atau ikan. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya.

$$V_{ij}^{t} = V_{ij}^{t-1} + c_1 r_1 \left(Pbest_{ij}^{t-1} - X_{ij}^{t-1}\right) + c_2 r_2 \left(Gbest_{i}^{t-1} - X_{ij}^{t-1}\right) \quad \ldots\ldots (7)$$

Keterangan :

t : Hitungan iterasi
V_{ij}^{t} : Dimensi *ij* dari kecepatan *particle* pada iterasi t
X_{ij}^{t} : Dimensi *ij* dari posisi *particle* pada iterasi t
C_1, C_2 : Koefisien percepatan positif (learning rate)
$Pbest_{ij}^{t-1}$: Dimensi *ij* dari posisi terbaik dicapai hingga iterasi t-1
$Gbest_{ij}^{t-1}$: Dimensi I dari seluruh posisi terbaik dicapai hingga iterasi t-1
r_1, r_2 : Nomor acak merata dala kisaran [0,1] dihasilkan nilai terbaru setiap saat.

***Flowchart* PSO**



Gambar 5 *Flowchart Economic Dispatcch* dengan menggunakan *metode PSO* [7]

Valve point effect

Pada saat permintaan beban meningkat kecepatan generator akan berkurang secara otomatis. Generator sepasang dengan penggerak utama (turbin), jadi untuk meningkatkan kecepetan generator titik katub yang terhubung di turbin dibuka secara bertahap, maka turbin akan mulai berputar lebih cepat sehingga generator dapat kembali pada kecepatan aslinya. [10] . Berikut persamaan *valve- point effect* pada *Economic emission dispatch* :

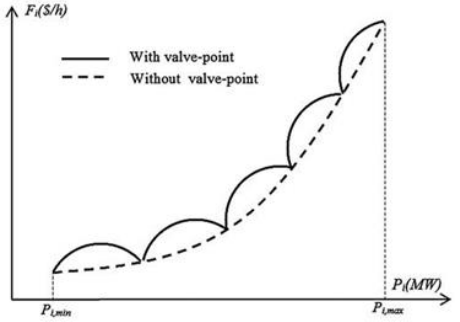
$$F_i(P_{GI}) = a_i + b_i P_{Gi} + c_{Gi} P_{Gi}^{\ 2} + |e_i \times \sin(f_i \times (P_{Gi\,min} - P_{Gi}) \quad \text{..... (8)}$$

Dimana a_i, b_i, c_i, e_i dan f_i adalah koefisien dari generator I yang merefleksikan efek katub.

P_i : Output daya pembangkit I (MW)

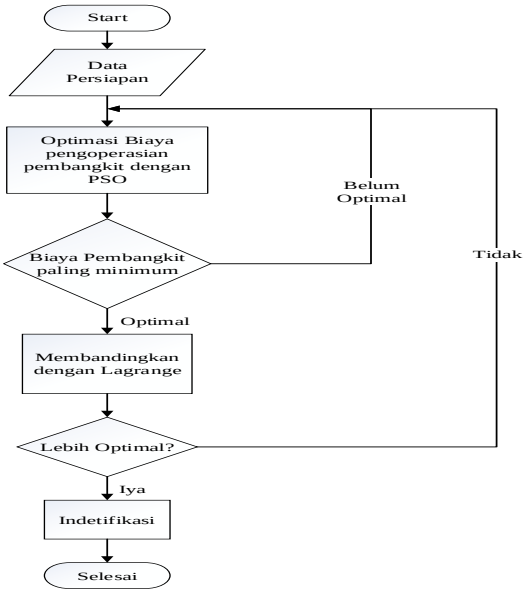
$P_{Gi\,min}$: Daya pembangkitan minimum generator (MW)

FC_T : Total biaya bahan bakar masing pembangkitan dalam sistem ($/hr)



Gambar 6. Grafik Valve Point Effect [11]

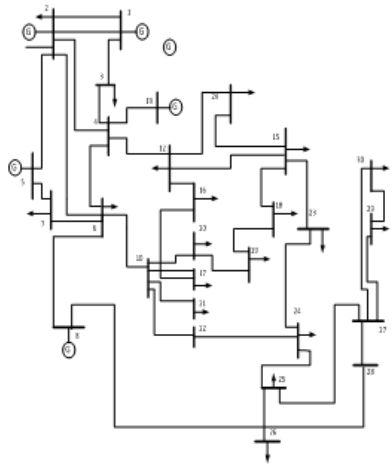
Flowchart Sistem



Gambar 7. Diagram Alur Penelitian

Data

a. Single Line Diagram
Single Line Diagram dari pembangkit thermal pada IEEE 30 Bus yang terdiri atas 30 Bus, 41 saluran, dan 6 pembangkit yang akan dianalisa yaitu sebagai berikut :



Gambar 8. Single Line Diagram

b. Data Generator

Pada generator terdapat Batasan daya nilai generator yang sudah di tetapkan pada data IEEE 30 Bus, pada tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Batasan Daya Minimum-Maximum Generator dari IEEE 30 Bus [12]

Generator	Daya Generator	
	P_{min} (MW)	P_{Max} (MW)
1	10	**125**
2	10	**150**
3	35	**225**
4	35	**210**
5	130	**325**
6	**125**	**315**

c. Data Emisi

Koefisien data gas dan emisi yang diperoleh dari data IEEE 30 Bus. Dapat dilihat pada tabel sebagai berkiut :

Tabel 2. Kofisien data gas dan emisi yang diperoleh dari data IEEE 30 Bus [12]

No.	Cost Coefficient					
Gen	a_i	b_i	c_i	α_i	β_i	γ_i
1	0.152	38.540	756.80	0.0042	0.3300	**13.859**
2	0.106	46.160	451.32	0.0042	0.3300	**13.859**
3	0.028	40.400	1050.00	0.0068	-0.5455	**40.266**
4	0.035	38.310	1243.53	0.0068	-0.5455	**40.266**
5	0.021	36.328	1658.57	0.0046	-0.5112	**42.895**
6	**0.018**	**38.270**	**1356.66**	**0.0046**	**-0.5112**	42.895

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang digunakan menggunakan program matlab dengan metode PSO dan Lagrange untuk medapatkan hasil biaya paling minimum keluaran bahan bakar. Sebagai perbandinga untuk menverifikasi algoritma dilakukan 3 kali percobaan menggunakan beban rendah sebesar 350 MW, beban menengah sebesar 980 MW dan beban tinggi sebesar 1230 MW dengan iterasi sebanyak 2210 agar nilai Optimasi pada PSO bisa bekerja semakin maksimal dan

mendapatkan hasil biaya minimum.. Hasil Keseluruhan perbandingan pada metode *Particle Swarm Optimization* dan *Lagrange* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:.

Tabel 3. Hasil Keseluruhan simulasi beban terendah hingga beban puncak

P_{demand} (MW)		350	980	1230
P1 (MW)	**PSO**	10.00	35.34	78.45
	Lagrange	10.00	35.35	78.45
P2 (MW)	**PSO**	10.00	14.69	76.55
	Lagrange	10.00	14.74	76.55
P3 (MW)	**PSO**	35.00	158.73	225.00
	Lagrange	35.00	158.66	225.00
P4 (MW)	**PSO**	40.00	156.73	210.00
	Lagrange	40.00	156.78	210.00
P5 (MW)	**PSO**	130.00	308.39	325.00
	Lagrange	130.00	308.50	325.00
P6 (MW)	**PSO**	125.00	306.12	315.00
	Lagrange	350.00	305.97	315.00
Fuel Cost ($/h)	**PSO**	20568.92	49354.28	62592.43
	Lagrange	20568.92	49354.28	62592.44
FC with VPE ($/h)	**PSO**	20568.92	49354.26	62592.44
	Lagrange	20568.92	49354.27	62592.43
Emission (ton/h)	**PSO**	1.99	9.39	13.22
	Lagrange	1.99	9.40	13.22

KESIMPULAN

Dari keseluruhan proses yang telah dikerjakan pada penelitian tentang Economic Emission Dispatch mempertimbangkan Valve-Point Effect menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO) dan Lagrange pada system IEEE 30 Bus, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Menerapkan metode Particle Swarm Optimization pada hasil Emisi menggunakan system standart IEEE 30 bus, Pada 3 kali percobaan mendapatkan hasil paling minimum saat total beban sebesar 980 MW. Total emisi yang dikeluarkan adalah sebesar 9.39 ton/h. Sedangkan untuk metode Lagrange mendapatkan nilai emisi sebesar 9.40 ton/h. Particle Swarm Optimization lebih unggul karena PSO mempunyai konsep yang sederhana, mudah diimplementasikan, dan efisien dalam perhitungan jika dibandingkan dengan algoritma matematika dan teknik optimasi heuristik lainnya serta metode PSO selalu mendapat hasil terbaik karena mempertimbangkan seluruh kawanan (GBest) sedangkan metode konvesional seperti metode Lagrange hanya bisa mencapai posisi terbaik dari partikel (PBest) saja.
2. Hasil biaya konsumsi bahan bakar yang minimum saat pengoperasian pembangkit berdasarkan IEEE 30 menggunakan metode Particle Swarm Optimization pada beban 980 MW mendapatkan nilai biaya minimum sebesar 49354.28 $/h. Sedangkan untuk biaya Lagrange adalah sebesar 49354.28 $/h. Karena pada penelitian ini mempertimbangkan nilai Valve-point effect maka nilai dari metode Particle Swarm Optimization dengan valve-point effect mendapatkan biaya sebesar 49354.26 $/h. dan nilai dari metode Lagrange dengan valve-point effect sebesar 49354.27 $/h. hasil ini dipengaruhi dari hasil kesimpulan yang pertama dengan menambahkan efek kurva valve point effect yang memanfaatkan teknik buka tutup katub sehingga biaya bahan bakar yang dikeluarkan lebih minimum dibandingkan tanpa Valve-point effect.
3. Kedua metode menunjukkan hasil yang sangat baik, tetapi Particle Swarm Optimization mampu menunjukkan total emisi dan hasil biaya dengan mempertimbangkan valve-point effect lebih baik dari Lagrange.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Rahmatullah, A. D., Wibowo, R. S., & Fahmi, D. (2017). Pendekatan Dengan Cuckoo Optimization Algorithm Untuk Solusi Permasalahan Economic Emission Dispatch. Jurnal Teknik ITS, 6(1), 4–8.

[2] Wicaksono, N., Wibowo, R. S., & Suryoatmojo, H. (2016). Economic Dispatch Untuk Sistem Kelistrikan Microgrid Dengan Energy Storage Berbasis Adaptive Particle Swarm Optimization. Jurnal Teknik ITS, 5(2).

[3] Pratama, D. A., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2017). Economic and Emission Dispatch Pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL 2015-2024 Menggunakan Modified Artificial Bee Colony Algorithm. Jurnal Teknik ITS, 5(2).

[4] Priatna, Y. A., Elektro, J. T., Industri, F. T., & Indonesia, U. I. (2018). Economic Dispatch Unit Pembangkit Termal Memperhitungkan Kekangan Emisi Lingkungan Menggunakan Metode Differential Evolutionary Algorithm (Dea).

[5] Kebahagiaan, I., Utara, S., Sebesar, T., & Skala, P. (2015). I Ndeks K Ebahagiaan S Ulawesi U Tara T Ahun 2014. 6(13), 1–5.

[6] Wood, A. J., & Wollenberg, B. F. (1996). Power Generation Operation and Control. In John and Sons, , USA, Chap. 5.

[7] N. N. Roy, Hardiansyah, and Junaidi. (2018). Penjadwalan Optimal Unit-Unit Pembangkit dengan Metode Particle Swarm Optimizion (PSO)". Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura.

[8] Budi Santosa and Paul Willy. (2011). Metode Metaheuristik, konsep dan implementasi. Graha Ilmu, Surabaya.

[9] J. Kennedy and R. Eberhart. (1995). Particle Swarm Optimization. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. Vol 4, 1942-1948,1995.

[10] V. Jambulingan. (2014). Particle Swarm Optimizer : Economic Dispatch with valve point effect using various PSO techniques.

[11] Z. Ismail, B. Farid, and G. Amel. (2016). Economic/Emission Dispatch Problem with Valve point effect. Électrotechn. et Énerg. Vol. 61,3 Pp 269-272. 2016

[12] Rahmat, N. A. (2015). Economic Load Dispatch with Valve-Point Loading Effect by Using Differential Evolution Immunized Ant Colony Optimization Technique. January 2014.

[13] Chen, Y. M., & Wang, W. S. (2010). A particle swarm approach to solve environmental/economic dispatch problem. International Journal of Industrial Engineering Computations, 1(2), 157–172.

ISSN (print) : 2686-0023
ISSN (online) : 2685-6875