

Analisa Perbandingan Aliran Daya Optimal pada Sistem Standar IEEE 30 Bus Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) dan Gray Wolf Optimizer (GWO)

Billy Figi Glan Saputra¹, Priyan Gagani Chamdareno², Erwin Dermawan³

^{1,2,3} Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27 No 47
Email: ¹⁾ priyan.gagani@umj.ac.id

ABSTRAK

Artikel ini menyajikan optimasi aliran daya yang dilakukan guna mengetahui besarnya daya optimal pada setiap pembangkit agar didapatkan total biaya pembangkitan yang seminimal mungkin. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menerapkan serta membandingkan dua metode metaheuristic dalam mengatasi permasalahan aliran daya optimal. Pada penelitian ini metode metaheuristic yang dipakai adalah metode Particle Swarm Optimization (PSO) dan metode Gray Wolf Optimizer (GWO). Berdasarkan hasil simulasi dari software MATLAB didapatkan beban puncak sebesar 283.4 MW. Pada metode Particle Swarm Optimization (PSO) diperoleh total daya pembangkitan sebesar 302.3016 MW, rugi-rugi transmisi sebesar 18,9016 MW, dan total biaya pembangkitan sebesar 553,8839 \$/hr. Sedangkan metode Gray Wolf Optimizer (GWO) diperoleh total daya pembangkitan sebesar 301,5520 MW, rugi-rugi transmisi sebesar 18,1520 MW, dan total biaya pembangkitan sebesar 550,7075 \$/hr. Berdasarkan grafik konvergensi didapatkan metode PSO lebih cepat dalam mengoptimasi aliran daya jika dibandingkan dengan metode GWO.

Kata Kunci : Aliran Daya Optimal, Metaheuristik, PSO, GWO

ABSTRACT

This article presents the power flow optimization carried out in order to determine the optimal amount of power for each generator in order to obtain the minimum total generation cost. The purpose of this research is to apply and compare two metaheuristic methods in solving optimal power flow problems. In this research, the metaheuristic method used is the Particle Swarm Optimization (PSO) method and the Gray Wolf Optimizer (GWO) method. Based on the simulation results from the MATLAB software, the peak load is 283.4 MW. In the Particle Swarm Optimization (PSO) method, a total generation power of 302.3016 MW is obtained, transmission losses are 18.9016 MW, and a total generation cost is 553.8839 \$/hr. While the Gray Wolf Optimizer (GWO) method obtained a total generation power of 301.5520 MW, transmission losses of 18.1520 MW, and a total generation cost of 550.7075 \$/hr. Based on the convergence graph, it is found that the PSO method is faster in optimizing power flow when compared to the GWO method.

Keywords : Optimal Power Flow, Metaheuristic, PSO, GWO

1 PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya peradaban manusia maka semakin tinggi juga daya listrik yang dibutuhkan. Energi listrik jadi salah satu kebutuhan yang berarti untuk penduduk, seperti pada bidang industry maupun rumah tangga. Energi listrik sangat dibutuhkan pada hampir seluruh aspek kehidupan seperti untuk pencahayaan, pendidikan, transportasi, dan komunikasi. Oleh sebab itu energy listrik harus selalu tersedia agar aktivitas yang memerlukan energy listrik tidak terhenti [1]. Untuk memenuhi kebutuhan energy listrik, banyak peneliti yang terus memikirkan untuk mencari sumber energi baru guna melindungi keberlangsungan energi listrik. Tidak hanya ketersediaan energi listrik, metode pendistribusian serta cara memelihara mutu energi

listrik menjadi aspek penting pada system ketenagalistrikan [2].

Aliran daya optimal adalah analisa yang terdapat pada sistem pembangkit dan memiliki tujuan guna menghasilkan daya output yang maksimum pada generator dengan biaya operasi yang seminimal mungkin dengan batasan-batasan yang telah ditentukan [3]. Generator listrik ialah sesuatu alat yang memproduksi tenaga listrik dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, yang pada umumnya dengan memakai induksi elektromagnetik [4].

Menurut [5], dalam beberapa dekade terakhir banyak teknik pemrograman matematika, seperti metode newton, pemrograman kuadrat,

pemrograman linier, dan metode titik interior, telah dikembangkan untuk mengatasi masalah OPF. Namun, terdapat beberapa kelemahan pada teknik pemrograman matematika tersebut sehingga membuat banyak peneliti mulai beralih ke berbagai teknik optimasi metaheuristik. Dari sekian banyaknya metode metaheuristic, dua diantaranya adalah metode Gray Wolf Optimizer (GWO) dan Particle Swarm Optimization.

PSO merupakan algoritma yang terinspirasi dari kawanan burung atau kumpulan ikan. PSO dapat memberikan solusi untuk permasalahan nonlinear, nonconvex atau combinatorial optimization yang banyak muncul dalam bidang teknik dan sains [6]. Menurut [7], Keunggulan PSO yang paling menonjol yaitu kecepatan dalam menyelesaikan suatu permasalahan optimasi lebih cepat. Tidak hanya itu, algoritma PSO bisa direalisasikan hanya untuk parameter yang lebih sedikit yang butuh disesuaikan. Dalam PSO setiap partikel mempunyai posisi (X) dan velocity (V). Sedangkan swarm dapat mewakili populasi. setiap individu dalam populasi akan memperbaharui posisinya mengikuti dua nilai terbaik, yang disebut solusi terbaik untuk setiap individu (PBest) dan solusi terbaik dalam populasi (GBest) [2]. Untuk mengetahui update posisi dan velocity dapat menggunakan pemodelan matematik sebagai berikut:

$$V_i(t+1) = W V_i(t) + C_1 \cdot r_1 (P_{best} - X_i(t)) + C_2 \cdot r_2 (G_{best} - X_i(t)) \quad (1)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (2)$$

Komponen t merupakan iterasi, W adalah momen inersia, C adalah konstanta yang bernilai 2 dan r adalah nilai random dari vector [0,1]. Untuk menentukan inertia weight dapat digunakan persamaan:

$$W = W_{max} - \frac{(W_{max} - W_{min})t}{t_{max}} \quad (3)$$

Dimana Wmax adalah inertia weight maksimal dengan nilai 0,9, Wmin adalah inertia weight minimal dengan nilai 0,4, dan tmax adalah iterasi maksimal.

GWO adalah algoritma yang terinspirasi dari hierarki social pada sekumpulan serigala abu-abu (gray wolf) dalam memburu mangsa [8]. metode GWO memiliki prinsip yang sederhana, beberapa parameter, pemrograman yang mudah, dan dukungan untuk komputasi paralel terdistribusi serta kemampuan pencarian global yang kuat, membuat metode GWO banyak digunakan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi [9]. Terdapat empat jenis serigala dalam hierarki GWO yaitu, alfa, beta, delta, dan omega. Tahapan pada metode GWO

terdiri dari pencarian (tracking), blokade (encircling) serta penyerangan buruan (attacking prey) oleh para serigala abu-abu (search agent). Solusi yang paling cocok di GWO disebut alpha wolf, solusi terbaik kedua dan ketiga masing-masing diberi nama beta dan delta wolf. Sementara itu, kandidat solusi lainnya diasumsikan sebagai omega wolf [5]. Pembaharuan dalam metode GWO dapat menggunakan pemodelan matematik sebagai berikut:

$$D = |C \cdot xp(t) - X(t)| \quad (4)$$

$$X(t+1) = xp(t) - A \cdot D \quad (5)$$

Dimana t adalah iterasi, A dan C merupakan koefisien vektor, Xp merupakan vector target, X adalah posisi serigala. Vector A dan C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = 2a \cdot r_1 - a \quad (6)$$

$$C = 2 \cdot r_2 \quad (7)$$

$$a = 2 - t \left(\frac{2}{T} \right) \quad (8)$$

Dimana a merupakan vector yang komponennya telah menurun secara linear dari 2 ke 0 dan r merupakan nilai acak dari vector [0,1]. Dan hasil pembaruan metode GWO dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (9)$$

$$x_1 = x_\alpha(t) - A_1 \cdot D_\alpha$$

$$x_2 = x_\beta(t) - A_2 \cdot D_\beta \quad (10)$$

$$x_3 = x_\delta(t) - A_3 \cdot D_\delta$$

$$D_1 = |C_1 \cdot x_\alpha - X|$$

$$D_2 = |C_2 \cdot x_\beta - X| \quad (11)$$

$$D_3 = |C_3 \cdot x_\delta - X|$$

Dalam jurnal ini terdapat fungsi objektif yang dipakai pada penyelesaian aliran daya optimal yaitu total dari biaya pembangkitan generator serta rugi-rugi daya aktif, yang dapat dihitung menggunakan pemodelan matematik sebagai berikut[10]:

$$F_i P_i = \sum_{i=1}^{N_{Gen}} a_i + b_i P_{Gen i} + c_i P_{gen i}^2 \quad (12)$$

$$F_{loss} = \sum_{i=1}^{N_{bus}} P_i = \sum_{i=1}^{N_{bus}} P_{Gen i} - \sum_{i=1}^{N_{bus}} P_{Di} \quad (13)$$

Komponen Ngen adalah jumlah generator, a_i, b_i, c_i adalah konstanta koefisien biaya bahan bakar, PGen adalah total daya generator, dan PD adalah total daya beban

Terdapat beberapa batasan dalam mengoptimasi aliran daya, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Equality Constraint

Equality Constraint merupakan batasan dimana keseluruhan energi listrik yang dibangkitkan serupa

dengan keseluruhan beban ditambah rugi- rugi sistem.

$$P_{Gi} = P_D - P_L \quad (14)$$

2. Inequality Constraint

Inequality Constraint adalah batasan pada perangkat yang digunakan dalam sistem tenaga dan batasan lain untuk mencapai keamanan sistem. Inequality Constraint adalah sebagai berikut:

- Batas kapasitas pembangkit

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} \quad (15)$$

- Batas tegangan

$$V_{li}^{min} \leq P_{li} \leq P_{li}^{max} \quad (16)$$

- Batas saluran

$$S_l \leq S_l^{max} \quad (17)$$

Sebelum dilakukannya perhitungan aliran daya optimal maka perlu dilakukannya perhitungan untuk mendapatkan nilai pada aliran daya beban. Langkah awal pada perhitungan load flow yakni dengan membentuk matriks admitansi dari saluran distribusi. Dimana satuan impedansinya adalah per unit (pu) pada basis MVA dengan resistansi diabaikan [11]. Persamaan arus titik tegangan dapat dituliskan dalam pemodelan matematik berikut ini:

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \quad (18)$$

Dimana:

I_{bus} = Arus pada bus

Y_{bus} = Admitansi pada bus

V_{bus} = Tegangan pada bus

Dari persamaan 18 dapat diubah menjadi matriks admitansi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (19)$$

Dimana:

n = total bus

I_i = arus yang mengalir ke bus i

Y_{11} = admitansi dari bus i

V_i = tegangan pada bus i

Persamaan 19 menunjukkan model rangkaian admitansi bus (Y_{bus}) yang menghubungkan I (arus yang mengalir pada bus) dan V (tegangan pada bus). Dengan melakukan inverse matriks Y_{bus} maka akan diperoleh matriks impedansi bus (Z_{bus}).

Setelah merubah data sistem dalam bentuk matriks selanjutnya adalah melakukan perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson. Metode Newton-Raphson adalah metode yang memakai persamaan deret Taylor sebagai prinsip untuk pendekatan suksesif menurut perkiraan awal yang tidak dikenal. Pada teknik ini persamaan aliran

daya diformulasikan pada struktur polar. Arus yang masuk pada bus i dirumuskan dengan persamaan:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j \quad (20)$$

Tegangan pada bus i dirumuskan dengan persamaan:

$$V_i = |V_i| < \delta_{ij} = |V_i| (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \quad (21)$$

Daya kompleks bus i dirumuskan dengan persamaan

$$P_i - jQ_i = V_i * I_i \quad (22)$$

Dari persamaan 18 dan 19 didapatkan persamaan

$$P_i - jQ_i = |V_i| < \delta_{ij} \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j$$

(23)

Selanjutnya memisah persamaan 23 menjadi persamaan real dan imajiner yang dirumuskan pada persamaan 24 dan 25.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (24)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (25)$$

Dimana:

P_i = Daya aktif

Q_i = Daya reaktif

V_i = Magnitude tegangan pada bus i

V_j = Magnitude tegangan pada bus j

Y_{ij} = Magnitude pada elemen matriks $[Y]$

θ_{ij} = sudut fasa pada elemen matriks $[Y]$

δ_i = sudut fasa pada bus i

δ_j = sudut fasa pada bus j

Nilai P_i dan Q_i sudah diketahui, sedangkan untuk mendapatkan nilai V_i dan δ_i yang belum diketahui pada slack bus maka digunakan matriks Jacobian pada metode ini. Yang dimana matriks jacobian J_1, J_2, J_3, J_4 adalah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Untuk elemen diagonal dan luar dari J_1 adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (27)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (28)$$

Untuk elemen diagonal dan luar dari J_2 adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (29)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (30)$$

Untuk elemen diagonal dan luar dari J_3 adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (31)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (32)$$

Untuk elemen diagonal dan luar dari J_4 adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (33)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (34)$$

Elemen matriks jacobian merupakan turunan parsial dari persamaan 24 dan 25 singkatnya dapat ditulis menggunakan persamaan 35

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (35)$$

Sudut fasa dan tegangan bus yang baru dapat dicari dengan persamaan 36 dan 37

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (36)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (37)$$

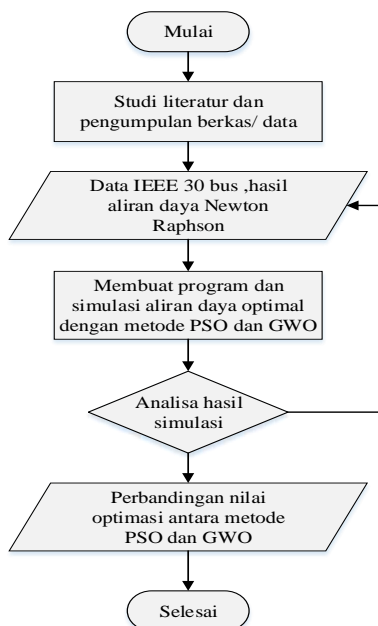
Dimana:

δ_i :Perubahan sudut fasa

$|V_i|$:perubahan tegangan bus

Pemaparan akhir dari jurnal ini yaitu mengimplementasikan serta membandingkan antara metode PSO dan GWO dalam menyelesaikan aliran daya optimal guna mendapatkan metode terbaik dalam optimasi aliran daya dengan berdasarkan fungsi objektif. Pengujian metode PSO dan GWO dilakukan pada sistem standar IEEE 30 bus.

2 METODOLOGI



Gambar1 Diagram alir tahapan penelitian

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui penelitian ini dimulai dengan pencarian studi literatur untuk mendapatkan referensi-referensi yang relevan dengan permasalahan yang diteliti. Penelitian ini menggunakan data sistem standar IEEE 30 bus yang telah diolah menggunakan metode Newton Raphson untuk mendapatkan nilai aliran daya pada bus beban. Setelah itu disimulasikan menggunakan metode PSO dan GWO.

Simulasi dilakukan dengan membuat skript program pada software MATLAB R2020a untuk menghitung aliran daya optimal dengan fungsi objektifnya yang berupa besar daya pembangkitan pada masing-masing generator, rugi-rugi daya pada transmisi dan total biaya pembangkitan. Langkah selanjutnya menganalisa hasil dari simulasi yang telah dilakukan sehingga didapatkan hasil perbandingan aliran daya optimal yang didapat dengan menggunakan metode PSO dan metode GWO.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada pengujian metode PSO dan GWO pada analisa aliran daya optimal adalah data standar IEEE 30 bus. System ini memiliki 6 generator dan 41 saluran yang saling terhubung diantara beban dan generator dengan total daya beban sebesar 283,400 MW. Masing-masing generator memiliki karakteristik serta koefisien biaya yang berbeda-beda. Data koefisien biaya ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data koefisien biaya bahan bakar

Generator No	Generator di bus no.	Koefisien biaya bahan bakar		
		a_i	b_i	C_i
1	1	0,00375	2,00	0
2	2	0,01750	1,75	0
3	5	0,06250	1,00	0
4	8	0,00834	3,25	0
5	11	0,02500	3,00	0
6	13	0,02500	3,00	0

Masing-masing pembangkit memiliki nilai batasan daya maksimal dan minimal. Batasan maksimal dan minimal pada pembangkit dapat diamati pada tabel 2.

Tabel 2 Batasan daya pada pembangkit

Gen No	Pi Min (MW)	Pi Max (MW)
1	50	200
2	20	80
5	15	50
8	10	35
11	10	30
13	12	40

Pada pengujian metode PSO dan GWO dalam analisa aliran daya didapatkan hasil berupa daya optimal pada masing-masing generator, rugi-rugi daya, dan total biaya pembangkitan.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah didapatkan menggunakan software MATLAB didapatkan hasil daya pembangkitan pada masing-masing generator bus, Besar daya yang dibangkitkan oleh masing-masing generator bus adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Perbandingan daya generator

Generator Bus	Daya pembangkitan Metode GWO (MW)	Daya pembangkitan Metode PSO (MW)
1	140.5510	157.5500
2	48.0000	68.0449
5	45.0000	54.3146
8	28.0000	0.3746
11	12.0000	16.8643
13	28.0000	5.1532
Total	301.5520	302.3016

Daya pembangkitan yang dihitung menggunakan metode GWO menghasilkan daya pembangkitan sebesar 301,5520 MW, sedangkan perhitungan menggunakan metode PSO menghasilkan daya pembangkitan sebesar 302.3016 MW. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan selisih total daya sebesar 0,7496 MW.

Dari daya optimal pembangkitan yang telah diketahui, dapat diolah untuk mengetahui total rugi-rugi daya pada sistem. Dimana total rugi-rugi daya didapatkan dari total daya pembangkitan dikurangi dengan total daya beban

Tabel 4 Perbandingan rugi-rugi daya

Total Rugi-Rugi Daya	
GWO (MW)	PSO (MW)
18,1520	18,9016

Dari hasil perhitungan didapatkan total rugi-rugi daya pada data sistem standar IEEE 30 bus dengan memakai metode GWO dan PSO. Dengan nilai rugi-rugi pada metode GWO sebesar 18,1520 sedangkan rugi-rugi yang dihasilkan pada metode PSO sebesar 18,9016 MW.

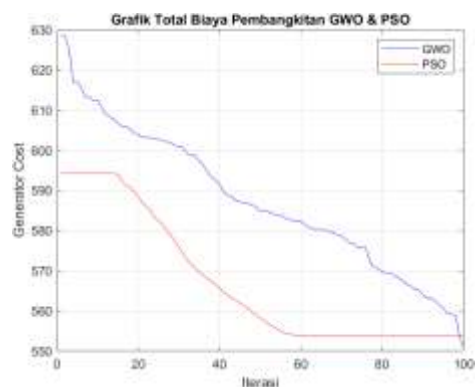
Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan software MATLAB didapatkan hasil perbandingan total biaya pembangkitan dengan metode GWO dan PSO. Adapun hasil perbandingan total biaya pembangkitan bisa dilihat dalam tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan biaya pembangkitan

Total Biaya Pembangkitan (\$/hr)	
GWO (\$/hr)	PSO (\$/hr)
550,7075	553,8839

Berdasarkan data tabel 5 diketahui dengan memakai metode GWO total biaya pembangkitan yang diperoleh lebih rendah jika dibandingkan dengan metode PSO. Dengan total biaya pembangkitan pada metode GWO sebesar 550,7075 \$/hr serta biaya pembangkitan dengan memakai metode PSO sebesar 553,8839 \$/hr.

Dari hasil simulasi yang dijalankan pada MATLAB didapatkan grafik konvergensi perbandingan total biaya pembangkitan dengan memakai metode GWO dan PSO yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Grafik konvergensi GWO dan PSO

Dari gambar 2 diketahui dengan menggunakan metode GWO (garis berwarna biru), optimasi biaya pembangkitan yang dihasilkan lebih lambat jika dibandingkan dengan metode PSO (garis berwarna merah), Namun metode GWO lebih hemat biaya jika dibandingkan dengan metode PSO.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil simulasi maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :Metode PSO dan GWO dapat digunakan untuk optimasi aliran daya dalam sistem standar IEEE 30 bus. Dari hasil simulasi menggunakan MATLAB didapatkan data beban puncak sebesar 283.4 MW. Pada metode PSO diperoleh keseluruhan daya pembangkitan sebesar 302.3016 MW, rugi-rugi transmisi sebesar 18,9016 MW, dan total biaya pembangkitan sebesar 553,8839 \$/hr. Sedangkan dengan memakai metode GWO diperoleh hasil keseluruhan daya pembangkitan sebesar 301,5520 MW, rugi-rugi transmisi sebesar 18,1520 MW, dan keseluruhan biaya pembangkitan sebesar 550,7075 \$/hr. Dari hasil grafik konvergensi keseluruhan biaya pembangkitan didapatkan metode PSO lebih unggul dalam kecepatan optimasi jika dibandingkan dengan metode GWO. Namun hasil optimasi yang dihasilkan metode PSO lebih rendah jika dibandingkan dengan metode GWO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Dermawan, P. G. Chamdareno, and A. R. Priyono, "Studi Analisa Start-Up Gas Turbin Memanfaatkan Generator Utama sebagai Motor Penggerak Mula dengan Menggunakan Static Frequency Converter (Sfc) pada Unit Blok 1-2 PT. PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar," *Resist. (elektronika kendali Telekomun. tenaga List. kOmputeR)*, vol. 2, no. 2, p. 83, 2019, doi: 10.24853/resistor.2.2.83-88.
- [2] K. Widarsono, F. D. Murdianto, M. Nur, and A. Mustofa, "Optimal power flow using particle swarm optimization for IEEE 30 bus," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1595, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1595/1/012033.
- [3] M. A. Oktaviani, R. S. Wibowo, and N. K. Aryani, "Aliran Daya Optimal dengan Efek Katup Menggunakan Grey Wolf Optimization," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.30906.
- [4] R. Samsinar and K. Anwar, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal)," *J. Elektrum*, vol. 15, no. 2, pp. 33–40, 2018.
- [5] A. Meng *et al.*, "A high-performance crisscross search based grey wolf optimizer for solving optimal power flow problem," *Energy*, vol. 225, p. 120211, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120211.
- [6] J. C. Bansal, *Evolutionary and Swarm Intelligence Algorithms*, vol. 779. 2019. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-91341-4>
- [7] A. U. Azmi, R. Hidayat, and M. Z. Arif, "Perbandingan Algoritma Particle Swarm Optimization (Pso) Dan Algoritma Glowworm Swarm Optimization (Gso) Dalam Penyelesaian Sistem Persamaan Non Linier," *Maj. Ilm. Mat. dan Stat.*, vol. 19, no. 1, p. 29, 2019, doi: 10.19184/mims.v19i1.17263.
- [8] C. T. Prayogo, O. Zebua, and K. Hasan, "Optimasi Kapasitas Bank Kapasitor Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Wortel Menggunakan Metode Grey Wolf Optimizer (Gwo)," *Electrician*, vol. 13, no. 3, pp. 61–68, 2019, doi: 10.23960/elc.v13n3.2125.
- [9] J. Liu, X. Wei, and H. Huang, "An Improved Grey Wolf Optimization Algorithm and its Application in Path Planning," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 121944–121956, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3108973.
- [10] J. Lakshmi Priya and S. T. Jaya Christa, "An Effective Hybridized GWO-BSA for Resolving Optimal Power Flow Problem with the Inclusion of Unified Power Flow Controller," *IETE J. Res.*, 2021, doi: 10.1080/03772063.2021.1942245.
- [11] H. Saadat, *Power System Analysis*. New York: Mc-Graw Hill, 1999.