

OPTIMISASI PENJADWALAN EKONOMIS PADA UNIT PEMBANGKIT PLTG DI PLTGU PT INDONESIA POWER TAMBAK LOROK MENGGUNAKAN METODE IMPROVED WHALE OPTIMIZATION ALGORITHM

Yogi Anastra Danu Wijaya^{*)}, Bambang Winardi, and Agung Nugroho

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: yogiwijaya168@gmail.com

Abstrak

Biaya pembangkitan energi listrik terbesar ada pada biaya bahan bakar. Setiap unit generator mempunyai karakteristik biaya pembangkitan tersendiri. Diperlukan adanya penjadwalan operasi pembangkit, untuk mendapatkan pengoperasian pembangkit yang optimal. Improved Whale Optimization Algorithm (IWOA) diusulkan sebagai metode penjadwalan ekonomis pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Tambak Lorok. Hasil simulasi identik dengan metode Lagrange Multiplier, ACOR dan FPA, sedangkan dalam keadaan operasional dan metode diskret tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Perbandingan biaya operasi optimisasi metode IWOA operasi diskret lebih hemat dibandingkan dengan biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok dengan rata – rata penghematan sebesar 332,3862 \$/Jam, selisih biaya terbesar pada pembebanan 420 MW dengan selisih biaya 2324,5551 \$/Jam dan selisih biaya terkecil pada pembebanan 180 MW dengan selisih biaya 74,3064 \$/Jam. Perbandingan biaya operasi optimisasi metode IWOA operasi diskret lebih hemat dibandingkan dengan biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok dengan rata – rata penghematan sebesar 322,9620 \$/Jam, selisih biaya terbesar pada pembebanan 420 MW dengan selisih biaya 2324,5551 \$/Jam dan selisih biaya terkecil pada pembebanan 180 MW dengan selisih biaya 34,3756\$/Jam.

Kata kunci: Penjadwalan ekonomis, IWOA, biaya pembangkitan, lagrange multiplier, ACOR, FPA

Abstract

The biggest cost of electricity generation is the cost of fuel. Each generator unit has its own generating cost characteristics. Operation scheduling is required, In order to obtain optimal plant operation. Improved Whale Optimization Algorithm (IWOA) is proposed as an economic dispatch method for Gas Power Plant in Gas and Steam Power Plant Tambak Lorok. The simulation result is identical with Lagrange Multiplier, ACOR and FPA methods, while in operational condition and discrete method has no significant difference. The comparison of operational cost of IWOA method optimization of discrete operation is more cost-effective compared to the operating cost of PLTGU Tambak Lorok with average savings of 332,3862 \$ / hour, the largest cost difference at 420 MW is cost difference 2324,5551 \$ / hour and The smallest cost difference loading of 180 MW is 74,3064 \$ / hour. The comparison of operational cost of IWOA method optimization of system operation is more cost-effective compared to the operating cost of PLTGU Tambak Lorok with average savings of 322,9620 \$ / hour, the largest cost difference at 420 MW is cost difference 2324,5551 \$ / hour and The smallest cost difference loading of 180 MW is 34,3756 \$ / hour.

Keywords: Economic dispatch, IWOA, Generation costs, Lagrange Multiplier, ACOR, FPA

1. Pendahuluan

Proses pembangkitan tenaga listrik merupakan perubahan energi primer menjadi energi listrik yang dilakukan oleh generator. Dari segi ekonomi komponen biaya penyediaan tenaga listrik terbesar adalah biaya pembangkitan, khususnya bahan bakar sedangkan pada unit-unit

pembangkit tenaga listrik memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam hal biaya pembangkitannya [1]. Agar menghasilkan operasi pembangkitan yang optimal dalam memenuhi variasi perubahan beban maka penjadwalan pengoperasian suatu generator pada pembangkit dan koordinasi antar pembangkitan sangat diperlukan dalam upaya melakukan optimalisasi pembebanan yang bertujuan

untuk memperoleh biaya operasi yang optimal dan ekonomis dengan memperhatikan batasan – batasan dari kapasitas unit pembangkit itu sendiri [2]–[5].

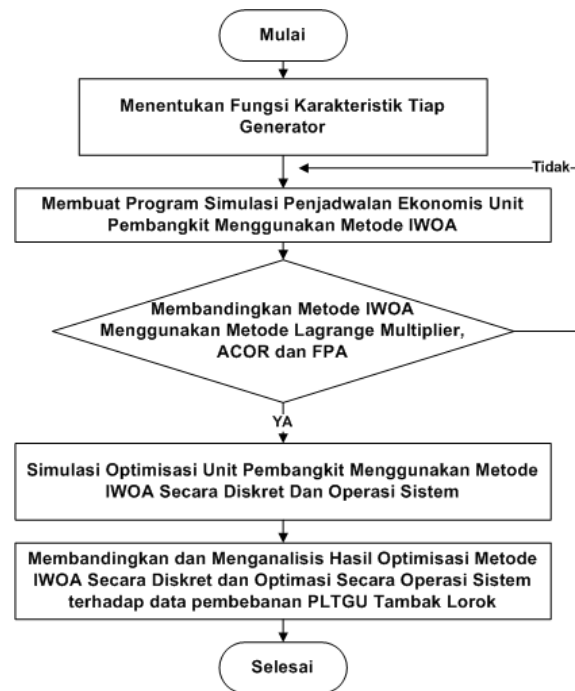
Untuk mendapatkan biaya operasi yang optimal dan ekonomis, berbagai teknik optimasi telah diterapkan. Salah satu teknik solusi untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi ini yaitu dengan menggunakan teknik Improved Whale Optimization Algorithm (IWOA). IWOA merupakan salah satu dari banyak metode optimisasi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan Economic Dispatch. Algoritma ini terinspirasi dari cara paus mencari mangsa. Penelitian mengenai penerapan WOA pada sistem tenaga listrik telah dilakukan sebelumnya, yang berjudul Study of The Economic Dispatch Problem on IEEE 30-Bus System using Whale Optimization Algorithm. Penelitian ini membahas penerapan metode WOA untuk mendapatkan Economic Dispatch optimum pada permasalahan IEEE 30 bus [6].

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Tambak Lorok merupakan salah satu pembangkit yang menyuplai kebutuhan tenaga listrik di sistem Jawa-Bali. PLTGU Tambak Lorok memiliki 3 unit PLTG pada blok 1 dan 3 unit PLTG blok 2 serta mempunyai fungsi karakteristik bahan bakar yang berbeda. Pada saat ini biaya operasi PLTGU memanfaatkan gas alam yang dihargai Dolar Amerika Serikat (US\$). Penelitian sebelumnya digunakan metode optimisasi lagrange multiplier, Artificial Bee Colony (ABC), dan Particle Swarm Optimization sebagai solusi dari masalah penjadwalan ekonomis pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) di PLTGU blok 1 Tambak Lorok [7]–[9]. Metode optimisasi Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACOR) dan Flower Pollination Algorithm (FPA) juga digunakan sebagai solusi dari masalah penjadwalan ekonomis pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) di PLTGU blok 1 dan 2 Tambak Lorok [10], [11]. Dalam penelitian ini membahas penjadwalan ekonomis menggunakan metode Improved Whale Optimization Algorithm (IWOA) pada unit PLTG di PLTGU blok 1 dan blok 2 dengan daya keluaran generator yang terhubung pada satu bus utama yang sama. Hasil dari penelitian ini adalah kombinasi daya yang dibangkitkan oleh tiap-tiap generator dan biaya pembangkitan yang ekonomis serta dibandingkan metode Iterasi Lamda (lagrange multiplier) dengan perhitungan manual, metode ACOR dan FPA. Keempat metode ini dibandingkan hasilnya pada tiga unit GTG yang beroperasi secara diskret untuk membuktikan validitas dari metode IWOA.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakn dalam beberapa tahap penelitian. Pada Gambar 1 dapat dilihat langkah-langkah metode penelitian dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Pada tahap awal dilakukan penentuan fungsi karakteristik tiap unit pembangkit berdasarkan rata-rata keluaran energi terhadap daya yang dihasilkan menggunakan regresi polinomial. Kemudian membuat program simulasi economic dispatch dengan IWOA. Setelah itu dilakukan perbandingan metode IWOA dengan metode pembandingan Iterasi Lambda, ACOR dan FPA untuk melihat keakuratan hasil dari simulasi metode IWOA yang didapat. Keempat metode ini dibandingkan hasil total energi yang didapat menggunakan 3 unit pembangkit. Kemudian metode IWOA disimulasikan menggunakan MATLAB R2013a untuk mencari hasil terbaik dari kombinasi unit pembangkit yang ada terdapat di blok 1 dan blok 2. Simulasi optimisasi unit pembangkit dilakukan secara diskret dan secara operasi sistem. Secara operasi sistem berarti pembangkit listrik beroperasi secara terus menerus setelah dinyalakan sesuai dengan berubahnya permintaan daya dan berdasarkan konsumsi energi yang paling kecil sedangkan secara diskret hanya melihat konsumsi energi yang paling kecil dan tidak memperhitungkan kondisi operasi. Kemudian hasil dari optimisasi IWOA secara diskret dan secara operasi sistem dibandingkan dengan data pembebanan PLTGU Tambak Lorok dan dianalisis berdasarkan konsumsi energi dan total biayanya.

2.2. Perancangan Sistem

Secara umum fungsi tujuan dari program simulasi ini adalah penjadwalan pendistribusian beban optimal pada masing-masing unit pembangkit PLTG di PLTGU Tambak Lorok untuk permintaan daya tertentu dengan mempertimbangkan batasan dari masing-masing generator

itu sendiri sehingga permintaan daya dapat dipenuhi dengan biaya pembangkitan yang seminimal mungkin. Fungsi tujuan dari optimisasi *economic dispatch* ini dinyatakan dalam fungsi biaya bahan bakar dari unit pembangkit yang sesuai dengan Persamaan 1 :

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

Dimana,

C_i = biaya bahan bakar (masukan unit i), dollar/jam
 P_i = daya yang dihasilkan (keluaran unit i), MW
 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = konstanta

1. Kapasitas unit pembangkit

Generator dari setiap unit pembangkit seharusnya membangkitkan daya tidak melebihi nilai maksimumnya serta tidak boleh dioperasikan untuk membangkitkan daya dibawah nilai minimumnya. Pada PLTG, pembebanan kurang dari beban minimum menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna dan menyebabkan turunnya efesiensi.. Dalam hal ini unit PLTG Tambak Lorok memiliki batasan sebagai berikut

Table 1. Batasan PLTG Tambak Lorok

Generator	Batas Bawah (MW)	Batas Atas (MW)
GTG 1.1	30	93
GTG 1.2	30	93
GTG 1.3	30	93
GTG 2.1	30	93
GTG 2.2	30	93
GTG 2.3	30	93

2. Kecepatan perubahan beban ($\Delta P \leq 6\text{MW}/\text{menit}$)

Dalam hal ini unit PLTG Tambak Lorok memiliki kecepatan perubahan beban sebesar $6\text{MW}/\text{menit}$.

2.3. Pemodelan Unit pembangkit

Dari perhitungan diatas maka pada pusat pembangkit listrik PLTGU Tambak Lorok blok 1 dan blok 2 yang terdiri dari masing-masing tiga unit pembangkit tenaga gas, mempunyai karakteristik sebagai berikut.

1. Unit 1.1

$$C_{11} = 519,938 + 3,787P + 0,039P^2$$

2. Unit 1.2

$$C_{12} = 590,6843 + 3,0522P + 0,0386P^2$$

3. Unit 1.3

$$C_{13} = 441,2782 + 4,7915P + 0.0386P^2$$

4. Unit 2.1

$$C_{21} = 312,1784 + 9,1966P + 0,0058P^2$$

5. Unit 2.2

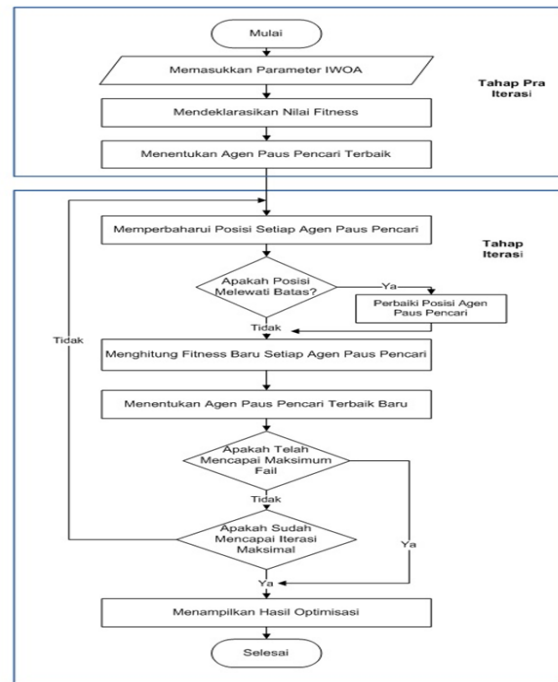
$$C_{22} = 420,7396 + 5,2746P + 0.0386P^2$$

6. Unit 2.3

$$C_{23} = 321,1061 + 8,4237P + 0,0116P^2$$

2.4. Perancangan Metode IWOA

Metode optimisasi untuk penjadwalan ekonomis pada penelitian ini adalah *Improved Whale Optimization Agorithm* (IWOA). IWOA merupakan pengembangan dari metode *Whale Optimization Algorithm* (WOA) yang diperkenalkan oleh Seyedali Mirjalili dan Andrew Lewis pada tahun 2016 [12], sedangkan pengembangan WOA menjadi IWOA dilakukan oleh Hongping Hu, Yanping Bai, and Ting Xu pada tahun 2017 [13]. Metode ini terinspirasi dari perilaku paus bungkuk dalam mencari makanan .



Gambar 2. Diagram alir optimisasi penjadwalan Generator dengan IWOA.

Pada Gambar 2 memperlihatkan diagram alir metode optimisasi IWOA dengan tahap pra iterasi dan tahap iterasi. Berikut penjelasan dari diagram alir pada Gambar 2.

a. Tahap pra-iterasi IWOA

Tahap pra-iterasi adalah tahapan yang dilakukan sebelum di mulainya proses iterasi IWOA. Pada tahap pra-iterasi algoritma di mulai dengan mendeklarasikan parameter IWOA berupa jumlah paus pencari, jumlah iterasi maksimum dan berat inersia. Selanjutnya mendeklarasikan nilai fitness yang diambil dari persamaan karakteristik masing-masing unit pembangkit. Kemudian menentukan agen paus pencari terbaik berdasarkan posisi yang menghasilkan fitness terbaik.

b. Tahap iterasi IWOA

Pada tahap ini terjadi looping utama dari IWOA. Tahap ini dimulai dengan memperbaharui posisi paus dan menyesuaikan posisi tersebut sesuai dengan batasannya. Kemudian dilakukan menghitung fitness dari setiap paus sebagai landasan untuk menentukan agen paus pencari terbaik yang baru. Simulasi akan selesai setelah mencapai konvergensi atau mencapai iterasi maksimum.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Perbandingan Metode IWOA dengan Metode Lagrange Multiplier, Metode ACOR dan FPA

3.1.1. Perbandingan IWOA dengan Lagrange Multiplier

Hasil pengujian simulasi dari metode IWOA dan metode Lagrange Multiplier menghasilkan daya keluaran dan energi total untuk tiga pembangkit pada blok 1 yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Table 2. Hasil perhitungan lagrange multiplier

Daya (MW)	Lagrange			Total Energi (MMBTU/Jam)
	GTG1.1 (MW)	GTG1.2 (MW)	GTG1.3 (MW)	
210	70,6762	80,9268	58,397	2.925,6063
240	80,6076	90,9611	68,4313	3.216.2185
270	93	93	84	3.533,9561

Table 3. Hasil simulasi IWOA

Daya (MW)	IWOA			Total Energi (MMBTU/Jam)
	GTG1.1 (MW)	GTG1.2 (MW)	GTG1.3 (MW)	
210	70,6962	80,9337	58,3701	2.925,6063
240	80,6033	90,9724	68,4243	3216,2185
270	93	93	84	3.533,9561

Table 2 dan Table 3 menunjukkan hasil daya keluaran dan energi dari metode IWOA dan metode Lagrange Multiplier untuk PLTGU pada blok 1. Dapat dilihat hasil perbandingan simulasi antara metode optimisasi IWOA dengan metode optimisasi Lagrange Multiplier memiliki jumlah energi masing masing permintaan daya yang sama dan konfigurasi generator yang tidak jauh berbeda. Dengan demikian metode optimisasi IWOA merupakan metode yang dapat digunakan untuk solusi dari permasalahan economic dispatch pada sistem tenaga listrik.

3.1.2. Perbandingan IWOA dengan ACOR

Hasil pengujian simulasi dari metode IWOA dan metode ACOR menghasilkan daya keluaran dan energi total untuk tiga pembangkit pada blok 1 yang dapat dilihat pada tabel 4.

Table 4. Hasil simulasi ACOR

Daya (MW)	ACOR			Total Energi (MMBTU/Jam)
	GTG1.1 (MW)	GTG1.2 (MW)	GTG1.3 (MW)	
210	70,6856	80,9126	58,4018	2.925,6063
240	80,6246	90,9257	68,4497	3.216.2185
270	93	93	84	3.533,9561

Table 4 menunjukkan hasil daya keluaran dan energi dari metode IWOA dan metode ACOR untuk PLTGU pada blok 1. Dapat dilihat hasil perbandingan simulasi antara metode optimisasi IWOA dengan metode optimisasi ACOR memiliki jumlah energi masing masing permintaan daya yang sama dan konfigurasi generator yang tidak jauh berbeda.

3.1.3. Perbandingan IWOA dengan FPA

Hasil pengujian simulasi dari metode IWOA dan metode ACOR menghasilkan daya keluaran dan energi total untuk tiga pembangkit pada blok 1 yang dapat dilihat pada tabel 5.

Table 5. Hasil simulasi FPA

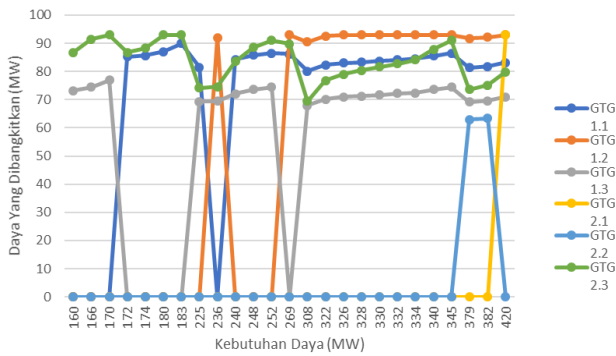
Daya (MW)	FPA			Total Energi (MMBTU/Jam)
	GTG1.1 (MW)	GTG1.2 (MW)	GTG1.3 (MW)	
210	70,673	80,965	58,362	2.925,6064
240	80,601	91,013	68,385	3.216.2186
270	93	93	84	3.533,9561

Table 5 menunjukkan hasil daya keluaran dan energi dari metode IWOA dan metode FPA untuk PLTGU pada blok 1. Dapat dilihat hasil perbandingan simulasi antara metode optimisasi IWOA dengan metode optimisasi FPA memiliki jumlah energi masing masing permintaan daya yang hampir sama hanya terjadi perbedaan sebesar 0,0001 MMBTU/Jam pada beban 210 MW dan 240 MW, serta konfigurasi generator yang tidak jauh berbeda.

3.2. Hasil Simulasi IWOA

3.2.1. Hasil simulasi IWOA secara diskret

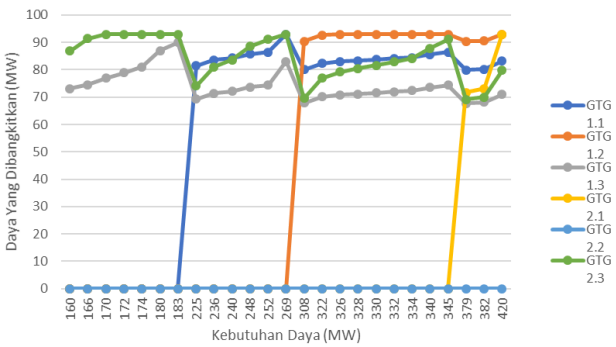
Gambar 3 menunjukkan grafik operasi generator dengan metode optimisasi IWOA secara diskret. Dapat dilihat bahwa terdapat perubahan daya keluaran di tiap generator dengan tidak memperhatikan operasi sistem. Hal ini seperti terlihat pada data pembebanan 2 generator yaitu 160 MW sampai 183 MW, pada pembebanan 160 MW sampai 170 MW generator yang aktif adalah GTG 2.3 dan GTG 1.3. Tetapi pada pembebanan 172 MW sampai 183 MW GTG 1.3 nonaktif dan digantikan oleh GTG 1.1 sehingga pola pembangkit yang aktif menjadi GTG 2.3 dan GTG 1.1.



Gambar 3. Grafik operasi generator dengan metode optimisasi IWOA diskret.

3.2.2. Hasil simulasi IWOA secara operasi sistem

Gambar 10 menunjukkan grafik operasi generator dengan metode optimisasi IWOA secara operasi sistem. Dapat dilihat bahwa pada data pembebanan 2 generator yaitu 160 MW sampai 183 MW generator yang aktif adalah GTG 2.3 dan GTG 1.3. Pada data pembebanan 3 generator yaitu 225 MW sampai 269 MW generator yang aktif adalah GTG 2.3, GTG 1.3 dan GTG 1.1. Pada data pembebanan 4 generator yaitu 308 MW sampai 345 MW generator yang aktif adalah GTG 2.3, GTG 1.3, GTG 1.1 dan GTG 1.2. Pada data pembebanan 5 generator yaitu 379 MW sampai 420 MW generator yang aktif adalah GTG 2.3, GTG 1.3, GTG 1.1, GTG 1.2 dan GTG 2.1.



Gambar 4. Grafik operasi generator dengan metode optimisasi IWOA diskret.

3.3. Hasil Perbandingan Biaya Operasi Metode IWOA Dengan Data Pembebanan PLTGU Tambak Lorok

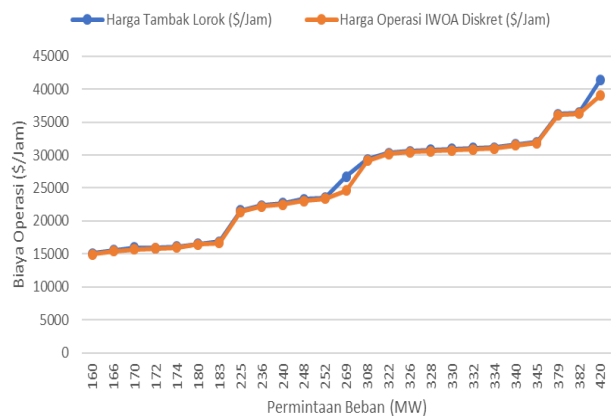
Perbandingan biaya operasi dilakukan antara biaya metode IWOA operasi diskret terhadap biaya IWOA operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok, dan juga perbandingan antara biaya metode operasi sistem terhadap biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok .

3.3.1. Perbandingan Biaya IWOA Operasi Diskret dan Pembebanan PLTGU Tambak Lorok Hasil simulasi IWOA secara diskret

Perbandingan biaya bahan bakar dalam \$/jam antara IWOA operasi diskret dengan biaya pembebanan PLTGU Tambak Lorok ditunjukkan oleh Tabel 7.

Table 6. Perbandingan Biaya IWOA Operasi Diskret dan Pembebanan PLTGU Tambak Lorok

Daya (MW)	Harga Tambak Lorok (\$/Jam)	Harga Operasi Diskret (\$/Jam)	Selisih (\$/Jam)
160	15079,8795	14969,6708	110,2087
166	15572,4268	15410,3411	162,0857
170	15986,32	15707,4519	278,8681
172	15939,7938	15857,6131	82,1807
174	16085,6584	16003,9719	81,6865
180	16520,3605	16446,0541	74,3064
183	16890,6654	16670,5462	220,1192
225	21602,9912	21394,3905	208,6007
236	22336,5968	22181,6455	154,9513
240	22708,1127	22470,9688	237,1439
248	23300,5395	23054,4937	246,0458
252	23500,6527	23348,6953	151,9574
269	26741,6632	24609,564	2132,0992
308	29315,2776	29146,0407	169,2369
322	30333,5487	30137,9414	195,6073
326	30591,2663	30424,4521	166,8142
328	30778,2286	30568,3007	209,9279
330	30889,1681	30712,556	176,6121
332	31062,4629	30857,218	205,2449
334	31156,7459	31002,286	154,4599
340	31592,204	31439,9302	152,2738
345	31979,9389	31807,4281	172,5108
379	36166,3708	36054,4877	111,8831
382	36397,9168	36267,6405	130,2763
420	41344,2652	39019,7101	2324,5551
	Rata-rata		332,3862



Gambar 5. Grafik perbandingan harga operasi IWOA diskret dengan operasi Tambak Lorok.

Dari Table 6 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa untuk seluruh pembebanan, biaya operasi hasil optimisasi menggunakan metode IWOA pada operasi diskret lebih hemat dari biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok. Penghematan rata-rata sebesar 331,494436 \$/Jam, selisih biaya terbesar pada pembebanan 420 MW dengan

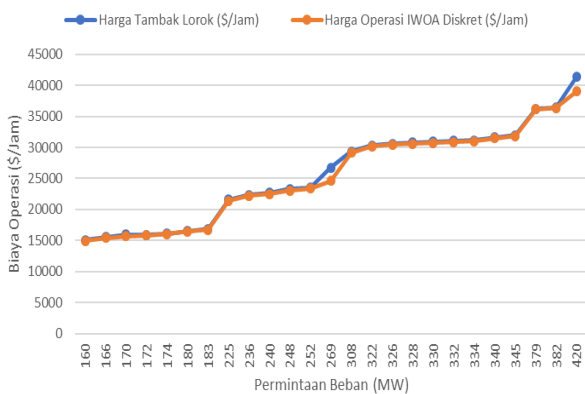
selisih biaya 2324,5544 \$/Jam dan selisih biaya terkecil pada pembebanan 180 MW dengan selisih biaya 74,3064 \$/Jam.

3.3.2. Perbandingan Biaya IWOA Operasi Sistem dan Pembebanan PLTGU Tambak Lorok

Perbandingan biaya bahan bakar dalam \$/jam antara IWOA operasi diskret dengan biaya pembebanan PLTGU Tambak Lorok ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Biaya IWOA Operasi Sistem dan Pembebanan PLTGU Tambak Lorok

Daya (MW)	Harga Tambak Lorok(\$/Jam)	Harga Operasi Sistem (\$/Jam)	Selisih (\$/Jam)
160	15079,8795	14969,6708	110,2087
166	15572,4268	15410,3411	162,0857
170	15986,32	15707,4519	278,8681
172	15939,7938	15858,8353	80,9585
174	16085,6584	16012,3803	73,2781
180	16520,3605	16485,9849	34,3756
183	16890,6654	16730,0826	160,5828
225	21602,9912	21394,3905	208,6007
236	22336,5968	22181,6455	154,9513
240	22708,1127	22470,9688	237,1439
248	23300,5395	23054,4937	246,0458
252	23500,6527	23348,6953	151,9574
269	26741,6632	24634,1669	2107,4963
308	29315,2776	29146,0407	169,2369
322	30333,5487	30137,9421	195,6066
326	30591,2663	30424,4521	166,8142
328	30778,2286	30568,3007	209,9279
330	30889,1681	30712,556	176,6121
332	31062,4629	30857,2194	205,2435
334	31156,7459	31002,286	154,4599
340	31592,204	31439,9302	152,2738
345	31979,9389	31807,4274	172,5115
379	36166,3708	36106,6301	59,7407
382	36397,9168	36317,4014	80,5154
420	41344,2652	39019,7101	2324,5551
Rata – rata			322,9620



Gambar 6. Grafik perbandingan harga operasi IWOA operasi sistem dengan operasi Tambak Lorok.

Dari Tabel 7 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa untuk seluruh pembebanan, biaya operasi hasil optimisasi menggunakan metode IWOA pada operasi sistem lebih hemat dari biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok. Penghematan rata-rata sebesar 322,962024 \$/Jam, selisih biaya terbesar pada pembebanan 420 MW dengan selisih biaya 2324,5544 \$/Jam dan selisih biaya terkecil pada pembebanan 180 MW dengan selisih biaya 34,3756\$/Jam.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian, metode optimisasi IWOA dapat digunakan untuk solusi dari permasalahan penjadwalan ekonomis unit pembangkit PLTG di PLTGU Tambak Lorok. Ini dapat dilihat dari hasil perbandingan metode optimisasi IWOA dengan Lagrange Multiplier, ACOR, dan FPA pada percobaan permintaan daya 210MW, 240MW dan 270MW memiliki total energi yang sama sebesar 2.925,6063 MMBTU/jam, 3.216.2185 MMBTU/jam, 3.533,9561 MMBTU/jam. Perbandingan biaya operasi optimisasi metode IWOA operasi diskret lebih hemat dibandingkan dengan biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok dengan rata – rata penghematan sebesar 332,3862 \$/Jam, selisih biaya terbesar pada pembebanan 420 MW dengan selisih biaya 2324,5551 \$/Jam dan selisih biaya terkecil pada pembebanan 180 MW dengan selisih biaya 74,3064 \$/Jam. Perbandingan biaya operasi optimisasi metode IWOA operasi diskret lebih hemat dibandingkan dengan biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok dengan rata – rata penghematan sebesar 322,9620 \$/Jam, selisih biaya terbesar pada pembebanan 420 MW dengan selisih biaya 2324,5551 \$/Jam dan selisih biaya terkecil pada pembebanan 180 MW dengan selisih biaya 34,3756 \$/Jam.

Referensi

- [1]. D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga, 2011.
- [2]. W. D. Stevenson Jr, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, 4th ed. Bandung: Erlangga, 1994.
- [3]. F. Milano, *Power System Modelling and Scripting*. 2010.
- [4]. H. Saadat, *Power System Analysis*. 2002.
- [5]. A. J. Wood, *Power Generation Operation and Control*. 1996.
- [6]. H. J. Touma, “Study of The Economic Dispatch Problem on IEEE 30-Bus System using Whale Optimization Algorithm,” *IJETS*, vol. 5, no. 1, pp. 11–18, 2016.
- [7]. M. Siswanto, “Optimasi Pembagian Beban Pada Unit Pembangkit Pltg Tambak Lorok Dengan Metode Lagrange Multiplier,” *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, 2010.

- [8]. E. V. B. Sitorus, Hermawan, and A. Nugroho, "Optimasi Economic Dispatch Pada Unit Pembangkit Pltg Di Pltgu Tambak Lorok Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony," *Transient*, vol. 2, no. 2, pp. 302–307, 2013.
- [9]. B. S. Wantoro, Hermawan, and S. Handoko, "Particle Swarm Optimization Untuk Optimasi Penjadwalan Pembebanan Pada Unit Pembangkit Pltg Di Pltgu Tambak Lorok," *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, pp. 1–7, 2012.
- [10]. I. D. Alber and S. Handoko, "Metode Koloni Semut pada Domain Kontinu untuk Optimisasi Penjadwalan Ekonomis Unit Pembangkit PLTG di PLTGU PT Indonesia Power Tambak Lorok," *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, pp. 105–112, 2016.
- [11]. F. J. Foreman and S. Handoko, "Optimisasi Economic Dispatch pada Unit Pembangkit PLTG di PLTGU PT Indonesia Power Tambak Lorok Menggunakan Flower Pollination Algorithm," *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, pp. 116–123, 2016.
- [12]. S. Mirjalili and A. Lewis, "Advances in Engineering Software The Whale Optimization Algorithm," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 95, pp. 51–67, 2016.
- [13]. H. Hu, Y. Bai, and T. Xu, "Improved whale optimization algorithms based on inertia weights and theirs applications," *Int. J. Circuits, Systems Signal Process.*, vol. 11, pp. 12–26, 2017.