

Optimasi *Dynamic Economic Dispatch* pada Sistem Tenaga Hibrida Berbasis *Photovoltaic* Menggunakan Algoritma *Turbulent Flow of Water-Based Optimization*

Moh. Erdianto Triputradi¹, Ni Ketut Aryani², Rony Seto Wibowo³,
Berliandra Oktaviani⁴, Achsan Najmy⁵

^{1,5}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember, Jawa Timur, Jember

^{2,3,4}Jurusan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

*Koresponden email: 199807112024061001@mail.unej.ac.id

Diterima: 30 Juni 2025

Disetujui: 7 Juli 2025

Abstract

The Increasing of living population, which impacts the increasing need for loads, is a challenge for plants in providing the need for electrical loads. The depletion of supplies and the high price of fossils constrain the cost of generating thermal plants. Therefore, a combination of alternative Photovoltaic (PV) energy power generation is needed to reduce the cost of generating thermal plants. Dynamic Economic Dispatch (DED) is one of the optimization techniques in power plants to determine the combination of output power in each generator in each period. This paper proposes an optimization technique to solve the DED problem in a hybrid PV base power system using Turbulent Flow Water-Based Optimization (TFWO) Method. This paper will compare the results and analysis of total generation costs before and after using PV plants. The total generation cost shows that the generation cost using PV can reduce the generation cost by \$302,799.67

Keywords: *dynamic economic dispatch, optimization, photovoltaic, tfwo*

Abstrak

Meningkatnya jumlah populasi penduduk, yang mana berdampak pada meningkatnya kebutuhan beban listrik menjadi tantangan bagi pembangkit listrik dalam memenuhi kebutuhan beban listrik. Kelangkaan pasokan dan harga tinggi bahan bakar fosil membatasi biaya pembangkitan pembangkit listrik termal. Oleh karena itu, kombinasi pembangkitan listrik tenaga surya (PV) alternatif diperlukan untuk mengurangi biaya pembangkitan pembangkit listrik termal. *Dynamic Economic Dispatch (DED)* merupakan salah satu teknik optimasi di pembangkit listrik untuk menentukan kombinasi daya keluaran setiap generator pada setiap periode. Artikel ini mengusulkan teknik optimasi untuk menyelesaikan masalah DED pada sistem pembangkit listrik hibrida berbasis PV menggunakan Metode *Turbulent Flow Water-Based Optimization (TFWO)*. Artikel ini akan membandingkan hasil dan analisis biaya pembangkitan total sebelum dan setelah penggunaan pembangkit PV. Total biaya pembangkitan menunjukkan bahwa biaya pembangkitan dengan menggunakan PV dapat mengurangi biaya pembangkitan sebesar \$302.799,67

Kata kunci: *dynamic economic dispatch, optimasi, photovoltaic, tfwo*

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan permintaan listrik di suatu wilayah akan berubah seiring dengan peningkatan jumlah penduduk di wilayah tersebut. Perubahan ini membuat pembangkitan daya listrik di wilayah tersebut harus menyesuaikan diri dengan perubahan kebutuhan listrik dari waktu ke waktu. Utilitas akan menyesuaikan permintaan dan pasokan, dalam hal ini, pembangkitan dari setiap unit pembangkit yang berkontribusi. Fenomena fluktuasi ini memengaruhi biaya bahan bakar yang digunakan di setiap pembangkit listrik termal. Pembangkit listrik termal adalah pembangkit listrik yang mengonsumsi bahan bakar dalam jumlah yang relatif besar, yaitu 60% dari total biaya operasional [1]. Selain membutuhkan biaya operasional yang kurang ekonomis, ketersediaan bahan bakar fosil atau minyak bumi yang digunakan di pembangkit listrik termal semakin berkurang setiap harinya. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan pembangkit listrik yang terus berkembang dengan energi terbarukan.

Pembangkit listrik tenaga surya adalah salah satu pembangkit energi terbarukan yang banyak digunakan [2]. Dengan semakin populernya pembangkitan daya berbasis energi baru, pembangkitan daya *Photovoltaic* menjadi pembangkitan energi terbarukan yang paling menjanjikan karena tingkat polusi yang rendah, konsumsi energi nol, dan bersifat terbarukan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi alternatif yang umum digunakan. Pembangkit ini menggunakan

komponen *Photovoltaic* (PV) yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Keberadaan energi surya, yang hanya tersedia dari pagi hingga sore hari, menimbulkan masalah baru jika akan dimanfaatkan. Oleh karena itu, untuk mengolah karakteristik beban dan mempertimbangkan biaya bahan bakar pembangkit, diperlukan studi mengenai operasi daya listrik untuk mendapatkan hasil kombinasi yang optimal. Meskipun masih dalam tahap pengembangan. Pembangkit listrik tenaga surya (PV) akan memasuki era akses internet yang terjangkau, seiring dengan perkembangan teknologi pembangkitan tenaga surya (PV) yang kian berkembang dan biaya pembangkitan tenaga surya (PV) yang terus menurun [3].

Salah satu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan operasi pembangkitan adalah analisis *Economic Dispatch (ED)* [4]. *Economic dispatch* merupakan analisis fundamental yang umum dalam sistem tenaga listrik, yang melibatkan penentuan output dari beberapa unit pembangkit ketika berbagai kendala sistem tenaga dipenuhi [5]. ED akan menentukan pola kombinasi antara keduanya dengan mempertimbangkan *input-output* daya dari setiap pembangkit dalam suatu sistem pembangkitan untuk memperoleh kombinasi yang paling optimal. Penyesuaian pola ini berdampak signifikan terhadap penghematan biaya operasi [6] serta mempertimbangkan profil beban dan keseimbangan energi [7]. Sebagai hasilnya, *Static Economic Dispatch* cukup andal namun tidak memberikan keputusan yang optimal untuk profil beban yang ditemukan pada mikro-jaringan terisolasi. Dengan mempertimbangkan pelepasan beban dan lonjakan beban, *Dynamic Economic Dispatch* menjadi lebih menguntungkan. Karena sistem yang dikaji mengombinasikan pembangkit termal dan PV, perhitungan fungsi objektif juga mencakup komponen pembangkitan PV. Selain itu, perhitungan ini juga mempertimbangkan penetrasi pembangkit *Photovoltaic* yang semakin meningkat.

Dalam perkembangannya, terdapat analisis *Dynamic Economic Dispatch (DED)* yang digunakan untuk beban yang selalu berubah setiap periode selama 24 jam, seperti pada perhitungan PV [8]. Penelitian ini menggunakan analisis DED untuk menentukan biaya bahan bakar termal dan pembangkitan *Photovoltaic* sebagai fungsi objektif. Permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* dengan pembangkitan *Photovoltaic* dan kendala operasi sistem pada dasarnya merupakan masalah optimasi nonlinier dengan banyak kendala, sehingga penyelesaiannya menjadi sangat sulit. Permasalahan DED dapat diselesaikan menggunakan metode konvensional seperti mixed integer quadratic programming atau metode metaheuristic. Perlu diingat bahwa penelitian mengenai sifat acak dan intermitensi energi terbarukan serta korelasi antara pembangkitan dari berbagai sumber energi terbarukan menjadi salah satu tantangan dalam *Dynamic Economic Dispatch* sistem tenaga listrik ketika energi terbarukan skala besar diintegrasikan. Meskipun metode matematis dapat menghasilkan hasil yang akurat, metode ini sulit dan dapat menjadi sangat kompleks seiring bertambahnya jumlah kendala [9].

Di sisi lain, metode metaheuristic dapat mengatasi permasalahan ini karena pergerakannya tetap konstan terlepas dari tujuan atau kendala yang ada [9]. Berkat keunggulan tersebut, aplikasi metode metaheuristics dalam bidang teknik menjadi topik penelitian yang terbuka dan menarik, khususnya dalam teknik sistem tenaga listrik. Analisis permasalahan DED menggunakan algoritma metaheuristic telah banyak dilakukan, seperti optimasi DED menggunakan *Artificial Bee Colony* [10], *Genetic Algorithm* [11], *Whale Optimization Algorithm* [12], *Cuckoo* [13], atau *Algorithmic Fireworks* [14]. Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis akan mengombinasikan pembangkit termal dan PLTS. Penulis akan menganalisis ED gabungan dengan metode optimasi baru, yaitu *TFWO*. Penulis juga akan membandingkan total biaya operasional pembangkit termal yang dibutuhkan dengan dan tanpa penetrasi pemanfaatan PV.

Makalah ini mengusulkan model *economic dispatch* dengan sistem pembangkit termal-*Photovoltaic* yang bertujuan untuk meminimalkan biaya konsumsi batubara dan pembangkitan daya *Photovoltaic* guna menunjukkan pentingnya perhitungan biaya pembangkitan daya *Photovoltaic* dalam DED. Model *economic dispatch* ini merupakan masalah optimasi satu tujuan (*single objective optimization problem*) di mana output daya dari unit pembangkit termal diatur secara wajar untuk meminimalkan fungsi objektif dan memprioritaskan pembangkitan daya *Photovoltaic*. Penulis akan menganalisis ED gabungan dengan metode optimasi baru, yaitu *TFWO*.

Pada Kasus 1, dilakukan simulasi unit termal selama 24 jam dengan tujuan meminimalkan biaya bahan bakar unit termal. Pada Kasus 2, dilakukan simulasi DED sistem tenaga PV-termal selama 24 jam dengan tujuan meminimalkan pelepasan unit termal dan pembangkitan PV. Akhirnya, perbandingan kedua kasus ini menunjukkan bahwa pemanfaatan pembangkit PV secara wajar dalam DED dapat mengurangi total biaya dan tingkat pemanfaatan unit termal. Penulis juga akan membandingkan total biaya operasional pembangkit termal yang dibutuhkan dengan dan tanpa penetrasi pemanfaatan PV.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Simulasi, dimana simulasi akan dijalankan dengan data spesifikasi pembangkit. Program dijalankan sebanyak 100 kali untuk setiap sistem pengujian guna memastikan akurasi dari hasil optimasi.

Data Sistem Pembangkit

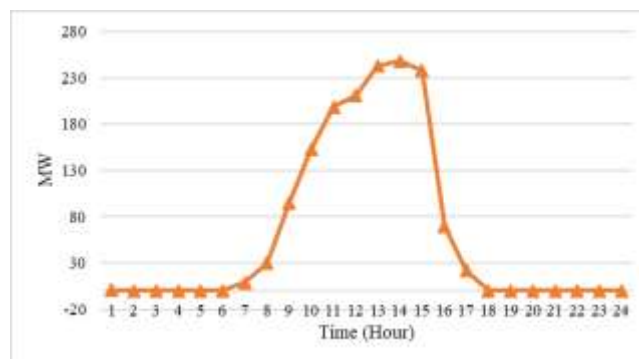
Bagian ini akan menguraikan data sistem yang akan digunakan dalam simulasi DED menggunakan metode *TFWO*. Data yang digunakan berupa koefisien biaya operasi, kapasitas generator termal, laju perubahan pembebanan (*ramp rate*), karakteristik beban, dan daya keluaran dari PV.

Tabel 1. Fungsi Biaya dan Rating Generator

Unit	Fuel Cost Function			<i>P</i> _{max} (MW)	<i>P</i> _{min} (MW)	<i>Ramp Up and Down</i> (MW)
	a (\$)	b (\$/MWh)	c (\$/MWh ²)			
1	450	19,17	0,00398	162	25	±10
2	665	27,17	0,00068	55	10	±10
3	670	27,79	0,00064	55	10	±10
4	700	16,60	0,00083	55	10	±10
5	370	22,26	0,00079	85	25	±10
6	480	27,24	0,00200	130	20	±10
7	680	16,50	0,00085	80	15	±10
8	480	27,24	0,00098	75	25	±10
9	660	25,92	0,00220	55	10	±10
10	460	26,92	0,00291	55	10	±10

Tabel 2. Karakteristik Beban

Time	Load (MW)	Time	Load (MW)	Time	Load (MW)
1	496	9	464	17	650
2	470	10	545	18	660
3	460	11	605	19	680
4	463	12	642	20	683
5	474	13	683	21	655
6	421	14	696	22	620
5	376	15	683	23	587
8	393	16	672	24	541



Gambar 1. Pembangkitan PV

Turbulent Flow Of Water-Based Optimization

Dalam penelitian ini, kami menggunakan metode metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku pergerakan alami pada sebuah pusaran air yang ditemukan di sungai, lautan, dan aliran air lainnya yang disebut *Turbulent Flow Water-Based Optimization* [15]. Fenomena pusaran air ini bekerja seperti sebuah lubang yang menyerap benda-benda di sekitarnya ke pusat pusaran air. Pusaran air ini merepresentasikan anggota terbaik dari grup yang dapat menarik anggota lain ke dalamnya. Algoritma *TFWO* mengadaptasi gaya sentripetal yang bekerja pada sebuah benda untuk bergerak secara melingkar ke pusat pusaran air. Pergerakan posisional yang presisi ini menciptakan beberapa deviasi antara benda yang bergerak dan posisi pusat pusaran air. Posisi ini dipengaruhi oleh titik pusat yang membuat benda bergerak menuju pusaran air. Posisi tersebut dapat dideskripsikan secara matematis sebagai berikut :

$$\delta_i^{new} = \delta_i + rand_1 \times rand_2 \times \pi \quad (1)$$

$$\Delta_t = f(W_{h_t}) \times |W_{h_t} - sum(X_i)|^{0.5} \quad (2)$$

$$\Delta X_i = (\cos(\delta_i^{new}) \times rand(1, D) \times (W_{h_f} - X_i) - \sin(\delta_i^{new}) \times rand(1, D) \times (W_{h_w} - X_i)) \times (1 + |\cos(\delta_i^{new}) - \sin(\delta_i^{new})|) \quad (3)$$

$$X_i^{new} = W_{h_j} - \Delta X_i \quad (4)$$

Untuk menyelesaikan masalah dari algoritma *TFWO*, diperlukan beberapa tahapan yang perlu dihitung [15]. Gaya sentrifugal: Kecuali jika dikenai oleh gaya yang tidak seimbang, sebuah benda dalam keadaan diam akan tetap diam, dan benda yang bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan dan arah yang sama, menurut hukum gerak pertama Newton. Gaya sentrifugal (FE_i) sering melebihi gaya sentripetal atau gaya tarik dari pusaran air, menyebabkan benda bergerak secara acak.

$$FE_i = ((\cos(\delta_i^{new}))^2 \times (\sin(\delta_i^{new}))^2)^2 \quad (5)$$

Whirlpool iterations: Iterasi-iterasi tersebut saling berinteraksi dan saling menggantikan, seperti halnya sebuah pusaran air berinteraksi dan memindahkan lingkungan di sekitarnya. Efek ini dimodelkan dengan cara yang sama seperti pusaran air memengaruhi objek.

$$\Delta_t = f(W_{h_t}) \times |W_{h_t} - sum(W_{h_j})| \quad (6)$$

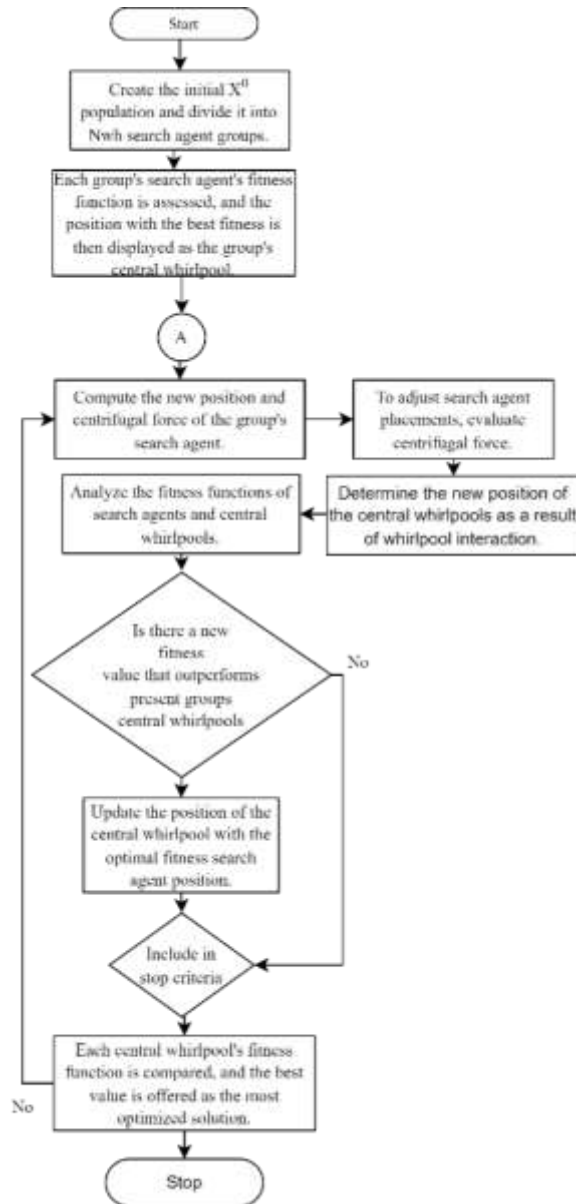
$$\Delta W_{h_j} = rand(1, D) \times |\cos(\delta_j^{new}) + \sin(\delta_j^{new})| \times (W_{h_f}^{new} - W_{h_j}^{new}) \quad (7)$$

$$W_{h_j}^{new} = W_{h_f} - \Delta W_{h_j} \quad (8)$$

Penentuan Nilai Terbaik: Apabila nilai anggota baru memiliki nilai terbaik di dalam kelompok nilai iterasi *whirlpools*, maka ia akan ditetapkan sebagai nilai baru *whirlpool* pada iterasi berikutnya.

$$f(X_{best}) \leq f(W_{h_j}) \quad (9)$$

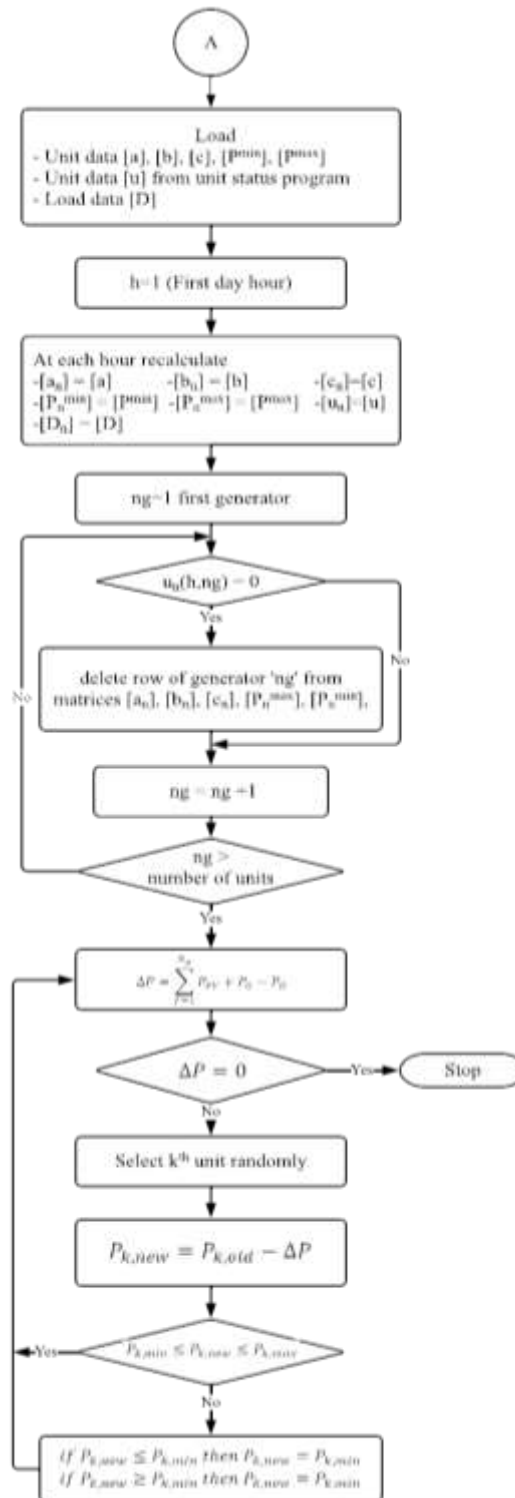
Gambar 2 merupakan flowchart dari algoritma *TFWO* yang berfungsi dalam menyelesaikan permasalahan *Dynamic Economic Dispatch*.



Gambar 2. Flowchart TFWO

Dynamic Economic Dispatch

Flowchart pada Gambar 3 menguraikan proses input untuk objective cost function, constraint, dan data sistem pembangkit untuk analisis Dynamic Economic Dispatch dengan TFWO, seperti yang dijelaskan sebagai berikut :



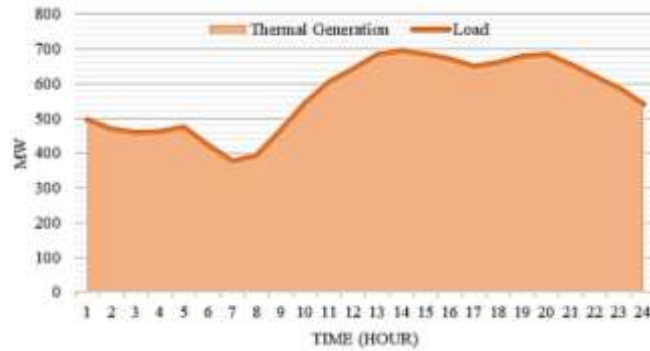
Gambar 3. Flowchart Objective Function untuk Dynamic Economic Dispatch

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi dijalankan dalam dua studi kasus. Studi kasus pertama hanya menggunakan sistem pembangkit termal, dan studi kasus kedua menggunakan sistem pembangkit termal yang diberikan penetrasi dari *Photovoltaic*. Simulasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2020b dengan komputer berkapasitas RAM 8GB.

Studi Kasus I

Gambar 4 menunjukkan beban per jam dalam 1 hari (24 jam), dengan kondisi generator termal memasok beban keseluruhan.

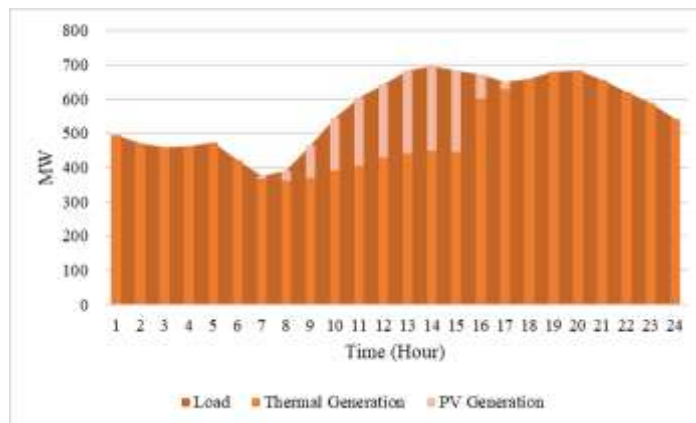


Gambar 4. Kebutuhan Beban Per Jam yang Dipasok oleh Pembangkit Termal dalam Periode 1 Hari.

Berikut adalah total biaya pembangkitan dari 10 unit berdasarkan data spesifikasi untuk pembangkit termal pada **Gambar 4**, yang menunjukkan bahwa total biaya pembangkitan mencapai nilai tertinggi saat pembangkitan pada pukul 4 sore. Hasil ini menunjukkan bahwa total biaya pembangkitan untuk 10 unit bervariasi sesuai dengan perubahan beban setiap jam dalam periode 24 jam yang telah ditentukan.

Studi Kasus II

Berdasarkan **Gambar 5**, studi kasus II menunjukkan bahwa untuk kebutuhan beban setiap jam dalam 1 hari (24 jam), dari pukul 6 pagi hingga 6 sore, PV berkontribusi untuk memenuhi kebutuhan beban yang pada awalnya dipasok oleh pembangkit termal.

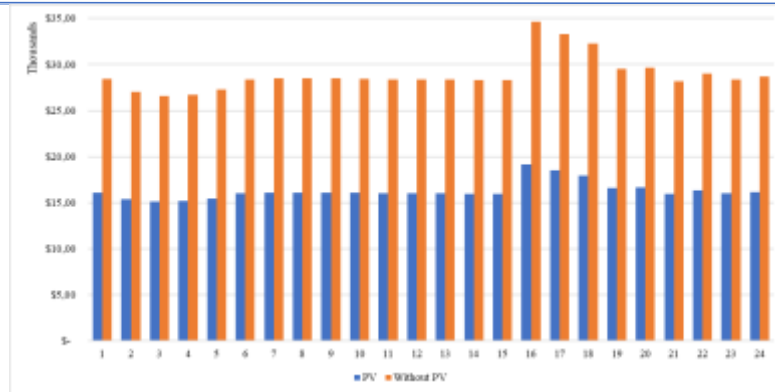


Gambar 5. Pembangkitan dengan Penetrasi dari PV

Hasil penetrasi *Photovoltaic* pada studi kasus II memengaruhi biaya *dispatch* pembangkitan. Keluaran daya *Photovoltaic* dalam periode pembangkitan 24 jam menunjukkan bahwa keberadaan *Photovoltaic* dapat mengurangi total biaya pembangkitan per jam.

Hasil Perbandingan

Dari hasil simulasi *Dynamic Economic Dispatch* menggunakan TFWO dengan sistem 10 Unit, diperoleh hasil biaya pembangkitan pada sistem tanpa PV sebesar \$693.439,34 dan pada sistem dengan PV sebesar \$390.639,67. Selisih dari biaya pembangkitan ini adalah sebesar \$302.799,67. Berikut adalah hasil simulasi biaya pembangkitan per jam.



Gambar 6. Biaya Pembangkitan

4. Kesimpulan

TFWO berhasil menyelesaikan DED pada sistem pembangkit yang menggunakan *penetrasi* energi terbarukan dalam bentuk *Photovoltaic*. Dengan pembangkit 10-unit dan PV 4-unit yang digunakan untuk memenuhi profil beban sesuai **Gambar 5**, hasil menunjukkan bahwa simulasi dapat mengoptimalkan biaya pembangkitan. Simulasi *TFWO* dapat menghasilkan *dispatch* optimal untuk pembangkit termal dan *Photovoltaic* dengan mempertimbangkan *cost function* yang ada. Pada kasus yang disajikan, total biaya pembangkitan menunjukkan bahwa biaya pembangkitan dengan menggunakan PV dapat mengurangi biaya pembangkitan sebesar \$302.799,67, yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.

5. Saran

Penelitian perihal Algoritma *Turbulent Flow of Water Optimization* (*TFWO*) masih dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja dalam menyelesaikan permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* (DED). Salah satu arah pengembangan yang disarankan adalah penerapan pada kondisi sistem yang memuat ketidakpastian beban dan iradiasi matahari, agar hasil optimasi lebih mencerminkan kondisi nyata. Selain itu, *TFWO* perlu diuji pada sistem tenaga berskala besar untuk mengevaluasi ketahanan dan efisiensi algoritma terhadap peningkatan kompleksitas. Penambahan variabel optimasi seperti minimalisasi emisi, dapat memperluas kegunaan algoritma dalam konteks energi berkelanjutan. Studi sensitivitas terhadap parameter algoritma juga penting dilakukan untuk memastikan kestabilan hasil.

6. Referensi

- [1] N. K. Aryani, D. F. U. Putra, E. A. Arifin, dan A. S. Daroini, "Security Constrained Unit Commitment Considering Ramp Rate and Transmission Line Losses Using Binary Particle Swarm Optimization Based on IEEE 30 Bus System," *Proc. - 2019 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2019*, no. 1, hal. 132–137, 2019, doi: 10.1109/ISITIA.2019.8937246.
- [2] X. Liu, C. Geng, dan J. Guan, "Day-ahead economic dispatch including *Photovoltaic* power generation cost," in *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, Nov 2020, hal. 1369–1374. doi: 10.1109/CAC51589.2020.9326702.
- [3] L. Yaohua dan L. Kong, "Development of Solar and Wind Power Generation Technology to Accelerate Chinas's Energy Transformation," *Bull. Chinese Acad. Sci.*, vol. 34, no. 4, hal. 426–433, 2019.
- [4] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, dan G. B. Sheble, *Power Generation, Operation, and Control*, Third. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [5] X. Zhao *et al.*, "Economic dispatch of multi-energy system considering seasonal variation based on hybrid operation strategy," *Energy*, vol. 238, hal. 121733, Jan 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.121733.
- [6] Y. Zhu *et al.*, "Hierarchical economic load dispatch based on chaotic-particle swarm optimization," *Proc. - Int. Conf. Nat. Comput.*, no. 2, hal. 517–521, 2013, doi: 10.1109/ICNC.2013.6818031.
- [7] G. C. Cho *et al.*, "Dynamic Economic Dispatch in isolated microgrids incorporating the energy storage system," *Proc. 3rd 2021 Int. Youth Conf. Radio Electron. Electr. Power Eng. REEPE 2021*, 2021, doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9387992.
- [8] K. B. A. Arifin, R. S. Wibowo, dan N. K. Aryani, "Dynamic Economic Dispatch Mempertimbangkan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan Quadratically Constrained Quadratic Program," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.30870.

- [9] Y. T. K. Priyanto, M. F. Maulana, dan A. Giyantara, “*Dynamic Economic Dispatch* using chaotic bat algorithm on 150kV Mahakam power system,” *2017 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Strength. Link Between Univ. Res. Ind. to Support ASEAN Energy Sect. ISITIA 2017 - Proceeding*, vol. 2017-January, no. 1, hal. 116–121, 2017, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124065.
- [10] G. R. Gumelar, R. S. Wibowo, dan A. Soeprijanto, “*Dynamic Economic Dispatch* Mempertimbangkan Prohibited Operating Zones Menggunakan Algoritma Improved Artificial Bee Colony,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.23990.
- [11] A. Kalakova, H. S. V. S. K. Nunna, P. K. Jamwal, dan S. Doolla, “A Novel Genetic Algorithm Based *Dynamic Economic Dispatch* With Short-Term Load Forecasting,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 57, no. 3, hal. 2972–2982, 2021.
- [12] W. Yang, Z. Peng, Z. Yang, Y. Guo, dan X. Chen, “An enhanced exploratory whale optimization algorithm for *Dynamic Economic Dispatch*,” *Energy Reports*, vol. 7, hal. 7015–7029, 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.10.067.
- [13] J. Singh, S. Poddar, S. P. Ramalingam, P. K. Shanmugam, dan A. Kalam, “Investigation on *Dynamic Economic Dispatch* Problem of Micro Grid Using Cuckoo Search Algorithm - Grid Connected and Islanded Mode,” *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, vol. 2019-October, hal. 1886–1891, 2019, doi: 10.1109/TENCON.2019.8929286.
- [14] M. Zare, M. R. Narimani, M. Malekpour, R. Azizipanah-Abarghooee, dan V. Terzija, “Reserve constrained *Dynamic Economic Dispatch* in multi-area power systems: An improved fireworks algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 126, no. PA, hal. 106579, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106579.
- [15] M. Ghasemi, I. Faraji, E. Akbari, dan A. Rahimnejad, “A Novel and Effective Optimization Algorithm for Global Optimization and Its Engineering Applications: Turbulent Flow of Water-based Optimization (TFWO),” vol. 92, no. February, 2020, doi: 10.1016/j.engappai.2020.103666.