

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Economic Dispatch (ED) dalam Sistem Tenaga Listrik

Economic dispatch (ED) adalah salah satu masalah optimasi utama dalam operasi sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk menentukan alokasi daya yang optimal dari unit-unit pembangkit agar dapat memenuhi permintaan beban dengan biaya paling rendah sambil tetap memperhatikan batasan operasional pembangkit. Permasalahan ED mencakup berbagai faktor, seperti kurva biaya nonlinier, batasan kapasitas, dan pembatasan operasional. Selain batasan kapasitas, sistem tenaga listrik juga harus mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti stabilitas sistem dan distribusi daya yang merata. Penyimpangan daya yang besar antar unit pembangkit dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam sistem tenaga, yang dapat mengarah pada pemadaman atau gangguan operasional. Oleh karena itu, dalam proses ED, selain meminimalkan biaya, sistem juga harus dijaga agar tetap stabil dengan memperhatikan pembagian beban yang optimal di antara unit-unit pembangkit (Marzbani & Abdelfatah, 2024b).

Bahan bakar menyumbang sekitar 60% dari total biaya operasional, sehingga perhatian khusus harus diberikan pada konsumsi bahan bakar saat mengoperasikan pembangkit listrik. Perubahan kebutuhan energi listrik pada sisi beban menyebabkan perubahan biaya bahan bakar, sehingga tujuannya adalah keluaran generator yang dihasilkan selalu sesuai dengan kebutuhan pada sisi beban (Albalawi et al., 2024).

Pengaruh harga bahan bakar juga memainkan peran besar dalam

menentukan keputusan dalam ED. Ketika harga bahan bakar, seperti gas alam atau batubara, mengalami fluktuasi, biaya pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar tersebut dapat berubah drastis. Ini mempengaruhi keseluruhan biaya operasional sistem dan dapat mempengaruhi penjadwalan unit pembangkit yang optimal dalam ED. Oleh karena itu, sistem tenaga harus memiliki fleksibilitas untuk beradaptasi dengan perubahan harga bahan bakar dan melakukan penyesuaian pada jadwal operasi pembangkit untuk meminimalkan dampak biaya tersebut terhadap keseluruhan sistem (Albalawi et al., 2024).

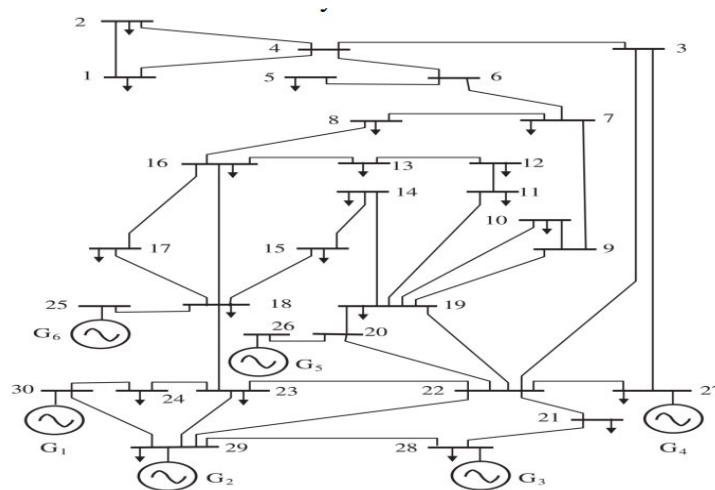
Semakin kompleksnya sistem tenaga listrik dan adanya permintaan untuk mengoptimalkan biaya operasi membuat penerapan teknik optimasi yang lebih canggih menjadi sangat penting. Metode konvensional seperti Lambda-iteration, Gradient method, dan Newton-Raphson telah lama digunakan untuk menyelesaikan ED. Namun, metode-metode ini sering kali kurang efisien dalam menangani fungsi biaya nonlinier yang kompleks dan berpotensi terjebak di solusi lokal (Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham Thailand et al., 2021). Hal ini mendorong penelitian lebih lanjut untuk menemukan metode yang lebih robust dalam menghadapi kompleksitas ED, salah satunya adalah dengan menggunakan algoritma genetika.

2.2 Sistem Tenaga Listrik 30 Bus

Sistem tenaga listrik IEEE 30 bus merupakan salah satu model standar yang sering digunakan untuk pengujian dan evaluasi algoritma optimasi dalam sistem tenaga. Sistem ini terdiri dari 30 bus, 6 pembangkit, dan 41 saluran transmisi, yang mewakili skenario realistis dalam operasi sistem tenaga listrik skala menengah.

Model ini memungkinkan simulasi yang sesuai dengan kondisi nyata, seperti pembatasan kapasitas daya, distribusi beban, dan variabilitas permintaan energi (Foqha et al., 2024).

Penggunaan sistem 30 bus IEEE dalam penelitian ini memungkinkan analisis yang lebih terstandarisasi sehingga hasil penelitian dapat dengan mudah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan model yang sama. Selain itu, sistem ini memberikan fleksibilitas untuk menguji berbagai teknik optimasi ED dan memungkinkan analisis kinerja algoritma dalam berbagai skenario jaringan.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik 30 Bus.

Sumber : (Foqha et al., 2024)

System ini mewakili jaringan tenaga listrik skala kecil hingga menengah dengan konfigurasi sebagai berikut:

1. Jumlah Bus:30
 - a. Bus Slack (Referensi):1
 - b. Bus PV (Bus Generator): 5
 - c. Bus PQ (Beban): 24

2. Jumlah Generator: 6

- a. Terdapat pada bus 1,2,5,8,11, dan 13
- b. Bus 1 berfungsi sebagai bus Slack

3. Jumlah Saluran Transmisi: 41

Dengan impedansi tertentu untuk mempersentasikan system tenaga listrik yang realistis

2.3 Algoritma Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization (ACO) adalah metode optimasi berbasis populasi yang terinspirasi oleh perilaku koloni semut dalam mencari jalur terpendek menuju sumber makanan. Algoritma ini pertama kali diperkenalkan oleh Marco Dorigo pada tahun 1992 dan kemudian dikembangkan lebih lanjut bersama Thomas Stützle 2004. . *Ant Colony Optimization* menjadi salah satu algoritma metaheuristik yang populer karena kemampuannya untuk mengeksplorasi ruang solusi secara efektif dan menemukan solusi optimal pada berbagai jenis permasalahan, termasuk yang bersifat non-linear dan multi-modal (Alaya et al., n.d.).

Dalam konteks economic dispatch (ED). *Ant Colony Optimization* digunakan untuk menentukan kombinasi output daya pembangkit yang optimal dengan meminimalkan fungsi biaya operasional sambil tetap memperhatikan batasan teknis sistem tenaga, seperti batas daya pembangkit dan kapasitas saluran transmisi. *Ant Colony Optimization* bekerja dengan memanfaatkan mekanisme pheromone trail untuk membimbing agen semut dalam membangun solusi secara iteratif. Jalur dengan intensitas feromon lebih tinggi memiliki peluang lebih besar

untuk dipilih, sehingga algoritma dapat memperbaiki solusi secara progresif berdasarkan informasi dari iterasi sebelumnya (Marzbani & Abdelfatah, 2024c).

Keunggulan utama . *Ant Colony Optimization* terletak pada kemampuannya untuk mengeksplorasi ruang solusi secara luas sambil tetap mempertahankan kemampuan eksploitasi solusi terbaik. Algoritma ini juga memiliki adaptivitas yang tinggi, memungkinkan pengembangannya untuk diterapkan pada berbagai jenis fungsi tujuan dan pembatasan sistem tenaga (Deng et al., 2019).

Dengan demikian. *Ant Colony Optimization* adalah salah satu algoritma metaheuristik yang tidak hanya efisien dan fleksibel, tetapi juga relevan dalam menghadapi tantangan modern di sektor sistem tenaga, termasuk integrasi energi terbarukan dan kebutuhan optimasi sistem yang semakin kompleks.

2.4 Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization Pada Sistem 30 Bus

Penerapan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) pada sistem IEEE 30 bus dalam konteks Economic Dispatch (ED) telah menarik perhatian para peneliti karena algoritma ini mampu meniru perilaku alami semut dalam menemukan rute optimal, sehingga cocok untuk menyelesaikan masalah optimasi yang kompleks. Pada ED sistem 30 bus, . *Ant Colony Optimization* digunakan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dengan mempertimbangkan batasan teknis pada masing-masing pembangkit (Dorigo & Stützle, 2004).

Dalam penerapannya pada ED, . *Ant Colony Optimization* bekerja dengan memulai dari populasi semut awal yang diinisialisasi secara acak. Setiap semut membangun solusi dengan memilih jalur berdasarkan probabilitas yang dihitung dari intensitas feromon dan informasi heuristik.

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{k \in J} \tau_{ik}^{\alpha} \cdot \eta_{ik}^{\beta}} \dots \dots \dots (1.1)$$

Keterangan :

- τ_{ij} adalah intensitas feromon pada jalur i ke j
- η_{ij} adalah informasi heuristik seperti biaya bahan bakar atau jarak.
- α dan β adalah parameter pengontrol yang mengatur pengaruh feromon dan heuristik.

Setelah semua semut menyelesaikan pencarian solusi, feromon pada jalur diperbarui berdasarkan kualitas solusi yang ditemukan. Jalur yang menghasilkan solusi terbaik mendapatkan peningkatan feromon, sedangkan feromon pada jalur lain mengalami evaporasi untuk mencegah stagnasi solusi. Proses ini berlanjut hingga iterasi maksimum tercapai atau hingga solusi optimal ditemukan (Srivastava & Singh, 2020).

Dengan menggunakan *Ant Colony Optimization*, setiap semut dalam populasi membangun solusi secara iteratif dengan mengedepankan probabilitas yang bergantung pada dua faktor utama: feromon dan heuristik. Feromon mewakili pengalaman semut sebelumnya, sementara heuristik memberikan informasi terkait dengan kualitas solusi yang telah ditemukan. Proses ini memungkinkan *Ant Colony Optimization* untuk menemukan solusi yang lebih mendekati optimal, bahkan pada masalah yang memiliki kompleksitas tinggi (Suyono et al., 2020).

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi dan tuntutan efisiensi operasional, studi tentang implementasi *Ant Colony Optimization* pada sistem tenaga listrik seperti jaringan IEEE 30 bus memberikan kontribusi penting bagi

pengembangan sistem energi yang lebih ekonomis dan berkelanjutan. Penerapan . *Ant Colony Optimization* tidak hanya menghasilkan solusi optimasi yang kompetitif tetapi juga mendorong inovasi dalam sistem tenaga yang lebih responsif dan adaptif terhadap fluktuasi permintaan energi (Suyono et al., 2020).

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Alaya, I., Solnon, C., & Ghedira, K.	Ant Colony Optimization for Multi-objective Optimization Problems	Penelitian ini menunjukkan bahwa Ant Colony Optimization (ACO) efektif dalam menyelesaikan masalah optimisasi multi-objektif, menghasilkan solusi yang seimbang antara berbagai tujuan yang saling bertentangan.
2	Albalawi, H., Wadood, A., & Park, H.	Economic Load Dispatch Problem Analysis Based on Modified Moth Flame Optimizer (MMFO) Considering Emission and Wind Power	Hasil yang dicapai menunjukkan bahwa Modified Moth Flame Optimizer dapat mengoptimalkan masalah Economic Load Dispatch dengan mempertimbangkan pengurangan emisi dan integrasi daya angin, menghasilkan solusi yang lebih ramah lingkungan.

3	Deng, W., Xu, J., & Zhao, H.	An Improved Ant Colony Optimization Algorithm Based on Hybrid Strategies for Scheduling Problem	Penelitian ini berhasil mengembangkan algoritma ACO yang lebih efisien untuk masalah penjadwalan, menghasilkan waktu penyelesaian yang lebih cepat dan solusi yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional.
4	Aurasopon, A., Takeang, C., & Fakultas Teknik, Universitas Mahasarakham	Multiple Hybrid of Lambda Iteration and Bee Colony Optimization Method for Solving Economic Dispatch Problem	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode hibrida Lambda Iteration dan Bee Colony Optimization dapat memberikan solusi yang lebih optimal dalam masalah Economic Dispatch dibandingkan dengan metode tunggal.
5	Fernández Valderrama, D., Guerrero Alonso, J. I., León De Mora, C., & Robba, M.	Scenario Generation Based on Ant Colony Optimization for Modelling Stochastic Variables in Power Systems	Penelitian ini berhasil menghasilkan skenario yang lebih realistis dan akurat untuk variabel stokastik dalam sistem tenaga listrik menggunakan ACO, meningkatkan model prediksi dan perencanaan.
6	Foqha, T., Alsadi, S., & Refaat, S. S.	A Comparative Study on Different Optimization Algorithms for Solving Economic Dispatch Problem	Hasil penelitian ini membuktikan bahwa berbagai algoritma optimisasi, termasuk ACO, memiliki keunggulan tertentu dalam menyelesaikan masalah

			Economic Dispatch, dengan ACO menunjukkan kinerja yang baik dalam penghematan biaya dan efisiensi sistem.
7	Kaur, P., Chaturvedi, K. T., & Kolhe, M. L.	Economic Power Dispatching from Distributed Generations: Review of Optimization Techniques	Penelitian ini berhasil merangkum berbagai teknik optimisasi yang digunakan untuk dispatching daya ekonomi dari pembangkit terdistribusi, dengan fokus pada efisiensi biaya dan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan.
8	Marzbani, F., & Abdelfatah, A.	Economic Dispatch Optimization Strategies and Problem Formulation: A Comprehensive Review	Ulasan ini berhasil merangkum berbagai strategi dan formulasi masalah untuk optimisasi dispatch ekonomi, memberikan pandangan mendalam mengenai efektivitas berbagai metode dan strategi yang diterapkan pada sistem kelistrikan.
9	Pattanaik, J. K., Basu, M., & Dash, D. P.	Dynamic Economic Dispatch: A Comparative Study for Differential Evolution, Particle Swarm Optimization, Evolutionary Programming, Genetic Algorithm, and Simulated	Penelitian ini membuktikan bahwa algoritma Particle Swarm dan Differential Evolution lebih efisien dalam masalah dynamic economic dispatch dibandingkan dengan algoritma lainnya,

		Annealing	menghasilkan solusi dengan biaya lebih rendah dan konvergensi yang lebih cepat.
10	Srivastava, A., & Singh, S.	Implementation of Ant Colony Optimization in Economic Load Dispatch Problem	Penelitian ini berhasil menerapkan ACO untuk menyelesaikan masalah Economic Load Dispatch, menghasilkan solusi yang lebih efisien dengan biaya lebih rendah dibandingkan dengan metode tradisional lainnya.
11	Suyono, H., Subekti, E., Purnomo, H., Nurwati, T., & Hasanah, R. N.	Economic Dispatch of 500 kV Java-Bali Power System using Hybrid Particle Swarm-Ant Colony Optimization Method	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode hibrida Particle Swarm dan Ant Colony Optimization dapat menyelesaikan masalah Economic Dispatch pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dengan solusi yang lebih optimal, mengurangi biaya operasional sistem secara signifikan.

