

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Economic Dispatch (ED) dalam Sistem Tenaga Listrik

Economic dispatch (ED) merupakan masalah optimasi penting dalam operasi sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk menentukan alokasi daya yang efisien dari berbagai unit pembangkit guna memenuhi permintaan beban dengan biaya terendah, sambil tetap mematuhi batasan operasional masing-masing pembangkit. Masalah ED melibatkan berbagai aspek, termasuk kurva biaya yang nonlinier, batasan kapasitas, dan pembatasan operasional lainnya. (Srivastava & Das, 2020) Selain batasan kapasitas, sistem tenaga listrik harus memperhitungkan faktor-faktor lain seperti kestabilan sistem dan distribusi daya yang seimbang. Perbedaan daya yang signifikan antar unit pembangkit dapat memicu ketidakstabilan dalam sistem tenaga, yang pada gilirannya dapat menyebabkan gangguan operasional atau pemadaman. Oleh karena itu, dalam proses economic dispatch (ED), selain fokus pada pengurangan biaya, penting juga untuk memastikan kestabilan sistem dengan menjaga distribusi beban yang optimal di antara unit pembangkit. (Marzbani & Abdelfatah, 2024)

Konsumsi bahan bakar dalam operasional pembangkit sangat mempengaruhi biaya, dengan sekitar 60% dari total biaya operasional berasal dari bahan bakar minyak. Oleh karena itu, analisis Economic Dispatch (ED) menjadi krusial untuk mengoptimalkan distribusi daya antar unit pembangkit yang

beroperasi. Tujuan utama dari analisis ELD adalah untuk menurunkan biaya operasional Pembangkit. Sistem operasional yang efektif pada pembangkit sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah nilai heat rate. Heat rate digunakan untuk membandingkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan dengan jumlah daya yang dihasilkan dalam bentuk megawatt. Nilai heat rate ini mencerminkan efisiensi penggunaan bahan bakar, yang pada gilirannya menentukan seberapa ekonomis dan efisien energi listrik yang dihasilkan (Sofwan et al., 2021).

Sumber utama produksi listrik selama ini adalah pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Ada kemungkinan terjadi kelangkaan bahan bakar karena produksi bahan bakar fosil terus menurun. Produsen listrik diharuskan mengatur ulang produksi listrik tergantung pada bahan bakar yang tersedia karena pemasok bahan bakar telah menambahkan pembatasan lebih lanjut pada perjanjian penyediaan bahan bakar mereka. Fluktuasi harga bahan bakar, seperti gas alam atau batubara, memainkan peran penting dalam menentukan keputusan dalam Economic Dispatch (ED). Ketika harga bahan bakar naik atau turun, biaya operasional untuk pembangkit listrik yang bergantung pada bahan bakar tersebut akan mengalami perubahan signifikan. Hal ini memengaruhi biaya keseluruhan sistem tenaga listrik dan dapat mengubah jadwal operasi unit pembangkit yang paling optimal. Oleh karena itu, penting bagi sistem tenaga untuk memiliki fleksibilitas dalam beradaptasi dengan perubahan harga bahan bakar, serta dapat melakukan penyesuaian pada penjadwalan unit pembangkit untuk mengurangi dampak dari fluktuasi harga bahan bakar tersebut. (Basu et al., 2023).

Seiring dengan semakin kompleksnya sistem tenaga listrik dan kebutuhan untuk mengoptimalkan biaya operasional, penerapan teknik optimasi canggih menjadi sangat penting. Metode-metode konvensional seperti Lambda-iteration, Gradient method, dan Newton-Raphson telah lama digunakan dalam menyelesaikan masalah Economic Dispatch (ED). Namun, metode ini sering kali kurang efektif dalam mengatasi fungsi biaya yang nonlinier dan berisiko terjebak pada solusi lokal (Marzbani & Abdelfatah, 2024). Oleh karena itu, munculnya penelitian yang berfokus pada pengembangan metode yang lebih kuat, seperti algoritma genetika, menjadi penting untuk menghadapi tantangan kompleksitas ED dan menghasilkan solusi yang lebih optimal.

2.2 Algoritma Genetika (Genetic Algorithm/GA)

Algoritma Genetika (GA) merupakan metode optimasi berbasis populasi yang meniru mekanisme seleksi alam, termasuk seleksi, persilangan, dan mutasi. Dikembangkan pertama kali oleh John Holland dan disempurnakan oleh David E. Goldberg, GA telah menjadi salah satu pendekatan evolusi paling terkenal. Dalam economic dispatch (ED), GA mampu mengatasi permasalahan optimasi yang bersifat nonlinier, multivariat, dan kompleks. Pendekatan ini digunakan untuk menemukan konfigurasi output pembangkit daya yang optimal dengan meminimalkan fungsi biaya operasi sambil tetap memenuhi batasan teknis, seperti kapasitas maksimum dan minimum pembangkit, serta kendala jaringan Listrik. Penelitian terbaru memperkenalkan algoritma genetik yang lebih canggih, seperti teknik mutasi berbasis dimensi-demi-dimensi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi konvergensi. Teknik ini dirancang untuk

memperbaiki eksplorasi global melalui pertukaran informasi antara individu berkualitas tinggi dan rendah dalam populasi. Selain itu, metode ini juga meningkatkan keberagaman populasi dan mengurangi risiko terjebak dalam solusi lokal. Dalam konteks ED, penerapan GA modern ini berhasil menghasilkan solusi optimal yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional lainnya. Studi kasus pada jaringan pembangkit menunjukkan peningkatan signifikan dalam stabilitas sistem dan pengurangan biaya operasi secara keseluruhan (Yang et al., 2021).

Keunggulan utama GA terletak pada kemampuannya untuk mengeksplorasi ruang solusi secara luas, menghindari perangkap solusi lokal, dan menangani fungsi tujuan yang kompleks. Dalam penerapannya pada ED, GA bekerja dengan menghasilkan populasi awal yang terdiri dari sejumlah individu. Setiap individu ini merupakan representasi potensial dari kombinasi daya yang dihasilkan oleh pembangkit dalam sistem tenaga. Populasi awal biasanya diinisialisasi secara acak untuk memastikan keragaman solusi. Selanjutnya, melalui proses evolusi yang melibatkan seleksi berdasarkan kecocokan (*fitness*), persilangan (*crossover*), dan mutasi, individu-individu dalam populasi berkembang menuju solusi yang lebih baik. (Yang et al., 2021). Pada setiap iterasi, nilai kecocokan dihitung berdasarkan fungsi biaya, yang sering kali mencakup biaya bahan bakar, emisi gas rumah kaca, atau kombinasi keduanya. Individu dengan nilai kecocokan terbaik memiliki peluang lebih besar untuk bertahan dan menghasilkan keturunan melalui proses persilangan. Sementara itu, mutasi diterapkan untuk mencegah konvergensi prematur dan menjaga

keanekaragaman populasi, sehingga GA mampu terus mengeksplorasi solusi yang lebih baik (*WCECS2019_pp210-215*, n.d.)

GA bukan hanya sebuah alat optimasi yang kuat, tetapi juga merupakan pendekatan yang relevan dalam menghadapi tantangan modern pada sektor energi, termasuk integrasi energi terbarukan dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem tenaga.

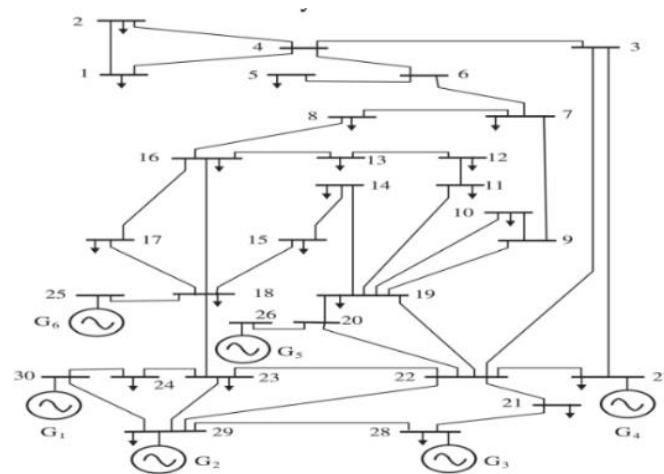
2.3 Sistem Tenaga Listrik IEEE 30 Bus

Sistem tenaga 30 bus adalah jaringan tenaga listrik yang terdiri dari 30 titik node (bus) yang saling terhubung melalui saluran transmisi untuk mendistribusikan daya listrik dari pembangkit ke beban. Setiap bus dalam sistem ini berfungsi sebagai titik untuk memasukkan, mendistribusikan, atau mengonsumsi daya listrik. Secara umum, bus dalam sistem tenaga dibagi menjadi tiga jenis utama, yaitu bus slack, yang berfungsi sebagai referensi tegangan dan sudut fase untuk menjaga keseimbangan daya dalam sistem; bus PV, yang memiliki pembangkit listrik untuk mengontrol daya aktif dan mempertahankan tegangan tertentu; serta bus PQ, yang hanya memiliki beban dan bergantung pada sistem untuk menentukan tegangan serta daya reaktifnya. Sistem tenaga 30 bus juga memiliki beberapa generator yang terhubung ke bus tertentu, yang bertugas menyuplai daya listrik ke jaringan agar memenuhi kebutuhan beban yang tersebar di berbagai bus lainnya. (Syafi'i et al., 2021).

Sistem ini tidak hanya mencakup bus dan generator, sistem ini juga dilengkapi dengan saluran transmisi yang menghubungkan setiap bus dan memungkinkan aliran daya antarbus dengan mempertimbangkan faktor

impedansi dan rugi-rugi daya. Beberapa saluran transmisi juga memiliki transformator yang digunakan untuk menyesuaikan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan sistem dan mengurangi rugi-rugi daya selama transmisi. Dalam operasionalnya, sistem tenaga 30 bus digunakan untuk berbagai analisis teknis, seperti power flow analysis untuk mengetahui bagaimana daya listrik mengalir dalam jaringan, economic dispatch (ED) untuk menentukan kombinasi optimal pembangkitan daya guna meminimalkan biaya operasi, serta optimal power flow (OPF) yang bertujuan mengoptimalkan alokasi daya dengan mempertimbangkan berbagai batasan teknis dalam sistem. (Widarsono et al., 2020)

Sistem tenaga listrik IEEE 30 bus adalah model standar yang sering digunakan untuk evaluasi algoritma optimasi dalam sistem tenaga, terdiri dari 30 bus, 6 pembangkit, dan 41 saluran transmisi. Model ini mencerminkan kondisi operasi sistem tenaga listrik skala menengah dengan berbagai variabel realistis seperti kapasitas daya, distribusi beban, dan fluktuasi permintaan energi (Foqha et al., 2024). Penggunaan sistem ini dalam penelitian ini memungkinkan analisis yang lebih terstandarisasi, mempermudah perbandingan dengan studi sebelumnya yang menggunakan model serupa. Selain itu, sistem ini memberikan keleluasaan untuk menguji teknik optimasi ED yang berbeda dan mengevaluasi kinerja algoritma dalam berbagai skenario jaringan.



Gambar 2.1 system 30 Bus.

Sumber (Foqha et al., 2024)

2.3 Implementasi Algoritma Genetika Pada Sistem IEEE 30 Bus

Penerapan algoritma genetika pada sistem IEEE 30 bus dalam konteks economic dispatch telah menarik perhatian para peneliti karena sistem ini memungkinkan simulasi realistis dalam pengujian efektivitas metode optimasi. Pada ED sistem 30 bus, GA digunakan untuk mengoptimalkan biaya pembangkitan, dengan mempertimbangkan batasan teknis pada masing-masing pembangkit serta kendala jaringan. Penelitian oleh Lee dan Park (1998) menunjukkan bahwa algoritma genetika mampu mengurangi total biaya pembangkitan secara signifikan dibandingkan dengan metode konvensional.

Semakin meningkatnya kebutuhan akan energi dan tekanan untuk mengurangi biaya, studi tentang implementasi GA pada sistem tenaga listrik seperti jaringan IEEE 30 bus memberikan kontribusi penting bagi peningkatan efisiensi dan keberlanjutan dalam sektor energi. Penerapan GA tidak hanya menawarkan solusi optimasi yang lebih efisien tetapi juga mendorong

pengembangan sistem tenaga yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan permintaan energi.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil penelitian
1	Basu, M., Jena, C., Khan, B., Ali, A., & Bokoro, P. (2023)	Fuel-constrained joint heat and power dynamic economic environmental dispatch	Mengembangkan metode dispatch ekonomi dinamis yang mempertimbangkan pembatasan bahan bakar dan emisi, serta mengoptimalkan sistem gabungan panas dan tenaga dengan tujuan meminimalkan biaya operasional
2	Foqha,T., Alsadi, S., & Refaat, S. S. (2024)	A Comparative Study on Different Optimization Algorithms for Solving Economic Dispatch Problem	Membandingkan kinerja berbagai algoritma optimasi (seperti GA, PSO, dan lainnya dalam menyelesaikan masalah dispatch ekonomi, dengan hasil bahwa algoritma PSO menunjukkan kinerja yang baik dalam hal kecepatan dan akurasi.
3	Kalakova, A., Nunna, H. S. V. S. K., Jamwal,	Genetic Algorithm for Dynamic Economic Dispatch	Menyimpulkan bahwa penggunaan algoritma genetika untuk peramalan beban dan dispatch ekonomi

	P. K., & Doolla, S. (2019b)	with Short-Term Load Forecasting	dinamis dapat mengurangi biaya operasi, meningkatkan keandalan sistem tenaga dengan prediksi beban yang lebih baik.
4	Kaur, P., Chaturvedi, K. T., & Kolhe, M. L. (2024)	Economic Power Dispatching from Distributed Generations: Review of Optimization Techniques	Menyajikan tinjauan terhadap berbagai teknik optimasi untuk dispatch ekonomi pada sistem pembangkit terdistribusi, dengan fokus pada efisiensi, pengurangan biaya, dan stabilitas sistem.
5	Marzbani, F., & Abdelfatah, A. (2024)	Economic Dispatch Optimization Strategies and Problem Formulation: A Comprehensive Review	Memberikan gambaran lengkap tentang berbagai strategi dan metode dalam optimasi dispatch ekonomi, serta perumusan masalah yang dapat diterapkan untuk pengurangan biaya dalam sistem tenaga.
	Pattanaik, J. K., Basu, M., & Dash, D. P. (2019)	Dynamic economic dispatch: A comparative study for differential evolution, particle swarm optimization,	Perbandingan menunjukkan bahwa algoritma DE (Differential Evolution) dan PSO (Particle Swarm Optimization) menawarkan hasil yang lebih efisien dibandingkan dengan algoritma lain

		evolutionary programming, genetic algorithm, and simulated annealing	dalam hal konvergensi dan waktu komputasi.
6	Sofwan, A., Febriansyah, M., & Sugeng, S. (2021)	Operational Cost Reduction of Gas-Thermal Power Plant Based on Bat Algorithm	Mengurangi biaya operasional pembangkit gas-thermal menggunakan algoritma kelelawar, dengan hasil penghematan energi yang signifikan dan efisiensi sistem yang lebih tinggi.
7	Srivastava, A., & Das, D. K. (2020)	A New Kho-Kho Optimization Algorithm: An Application to Solve Combined Emission Economic Dispatch and Combined Heat and Power Economic Dispatch Problem	Algoritma Kho-Kho menunjukkan kinerja yang baik dalam meminimalkan emisi dan biaya pada masalah dispatch ekonomi gabungan dan kombinasi dispatch panas dan tenaga.
8	Yang, W., Peng, Z., Feng, W., &	A Novel Real-Coded Genetic Algorithm for Dynamic	Algoritma genetika terkode nyata diterapkan untuk dispatch ekonomi dinamis yang mengintegrasikan

	Menhas, M. I. (2021)	Economic Dispatch Integrating Plug-In Electric Vehicles	kendaraan listrik, menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dalam sistem tenaga dan pengurangan emisi.
--	-------------------------	---------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------