

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Economic Dispatch (ED) Pada Sistem Tenaga Listrik

Economic Dispatch (ED) adalah proses untuk mengalokasikan daya secara efisien dalam sistem tenaga listrik dengan tujuan untuk meminimalkan biaya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan, sambil memenuhi berbagai pembatasan operasional sistem. Dalam konteks sistem pembangkit tenaga listrik, biaya bahan bakar merupakan faktor dominan dalam perhitungan ED, karena sebagian besar pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil, seperti batu bara, gas alam, dan minyak, yang memiliki biaya operasional berbeda-beda tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan (Anggawijaya et al., 2024). Oleh karena itu, tujuan utama dari ED adalah untuk menyeimbangkan biaya operasional dan distribusi daya yang efisien di antara pembangkit, mengingat adanya ketergantungan pada sumber daya terbatas dan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Pada sistem pembangkit tenaga listrik, biaya bahan bakar dihitung berdasarkan fungsi biaya yang menggambarkan hubungan antara daya yang dihasilkan dan biaya bahan bakar yang

digunakan. Fungsi biaya ini sering kali berbentuk fungsi non-linear yang bergantung pada karakteristik pembangkit, seperti efisiensi konversi energi dan jenis bahan bakar yang digunakan. Misalnya, pembangkit yang menggunakan gas alam cenderung memiliki biaya bahan bakar yang lebih rendah dan emisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar batu bara. Dalam sistem tenaga listrik, kontribusi pembangkit berbahan bakar fosil bisa mencapai hingga 70-80% dari total biaya operasional, tergantung pada komposisi pembangkit dalam sistem (Prasetya, 2020).

Penggunaan bahan bakar pada sistem pembangkit sangat bervariasi antara pembangkit yang ada dalam suatu jaringan, dan proporsinya dapat dilihat dari kontribusi masing-masing jenis bahan bakar. Sebagai contoh, pada sistem pembangkit dengan komposisi dominan pembangkit berbahan bakar batu bara, penggunaan bahan bakar dapat menghabiskan hampir 60% dari total biaya operasional, sementara pembangkit berbahan bakar gas alam mungkin menyumbang sekitar 20-30%, dengan pembangkit berbahan bakar terbarukan (seperti hidro atau surya) berkontribusi dalam jumlah lebih kecil. (Marhaini et al., 2022)

Selain itu, dalam perhitungan ED, pembatasan pembangkit, seperti batas kapasitas dan batas emisi, juga harus diperhatikan. Pembatasan ini memastikan bahwa solusi ED tidak hanya ekonomis tetapi juga memenuhi standar lingkungan yang berlaku. Penggunaan bahan bakar fosil yang tinggi dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca, yang memerlukan regulasi ketat. Oleh karena itu, dalam beberapa aplikasi, tujuan ED harus mencakup bukan hanya pengurangan biaya bahan bakar, tetapi juga pengurangan emisi, menjadikannya permasalahan yang lebih kompleks untuk diselesaikan dengan algoritma optimisasi (Widiatmoko, 2021).

2.2. Sistem Tenaga Listrik 30 Bus IEEE

Sistem 30 Bus IEEE adalah model standar yang digunakan dalam penelitian dan pengujian berbagai teknik optimisasi, termasuk untuk analisis Economic Dispatch (ED). Sistem ini terdiri dari 30 bus yang terhubung melalui 41 saluran transmisi, serta 6 pembangkit listrik yang masing-masing memiliki kapasitas daya tertentu. Sistem 30 Bus IEEE sering digunakan sebagai benchmark

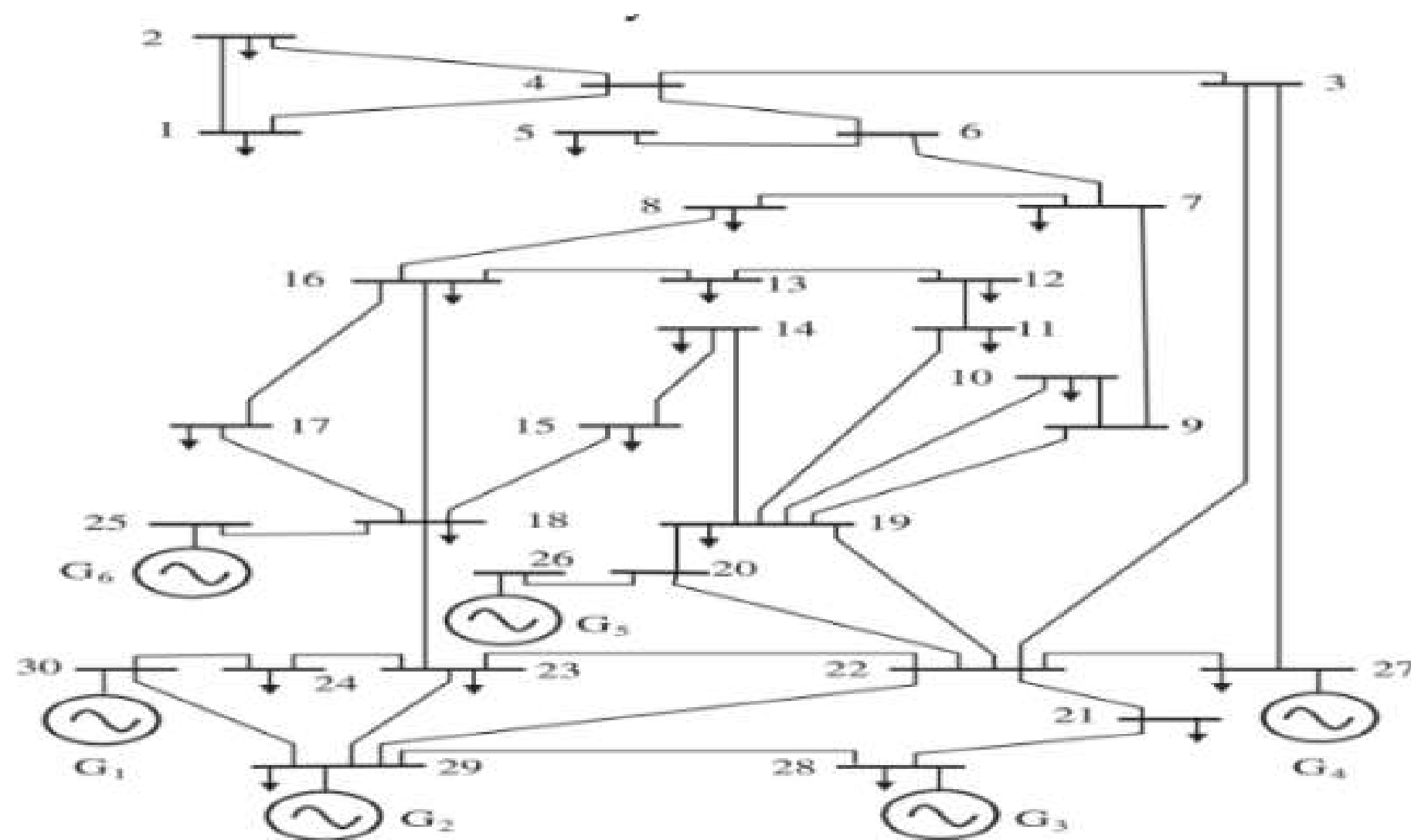
dalam studi perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik karena mencakup berbagai elemen penting seperti pembangkit daya, distribusi daya, dan transmisi energi. Bus pada sistem ini mewakili titik distribusi daya yang penting, dan melalui jaringan transmisi ini, energi dari pembangkit disalurkan ke titik-titik pemanfaatan di seluruh sistem. Oleh karena itu, pemodelan dan analisis yang dilakukan pada sistem ini memberikan wawasan yang luas tentang bagaimana optimisasi Economic Dispatch dapat diterapkan dalam sistem tenaga yang lebih besar dan kompleks (Wang et al., 2020).

Pada sistem 30 Bus IEEE, pembangkit tenaga listrik memiliki karakteristik yang bervariasi, dengan perbedaan dalam kapasitas daya dan jenis bahan bakar yang digunakan. Beberapa pembangkit mungkin berbasis bahan bakar fosil seperti batu bara atau gas alam, sementara yang lain mungkin menggunakan energi terbarukan. Pembatasan kapasitas pada masing-masing pembangkit juga berbeda-beda, di mana setiap pembangkit memiliki batas daya maksimum yang dapat diproduksi. Selain itu, pembangkit juga harus memenuhi berbagai pembatasan teknis, seperti batasan tegangan dan batasan daya aktif atau reaktif, yang perlu dipertimbangkan dalam proses optimisasi ED. Sebagai contoh,

beberapa bus mungkin memerlukan daya lebih besar pada waktu tertentu, sementara yang lainnya lebih stabil dan hanya membutuhkan alokasi daya kecil. Oleh karena itu, sistem ini menyediakan tantangan optimisasi yang nyata dalam hal distribusi daya yang optimal dan efisien (Marzbani & Abdelfatah, 2024a).

Dalam konteks Economic Dispatch, sistem 30 Bus IEEE berfungsi sebagai platform ideal untuk menguji algoritma optimisasi seperti PSO, karena sistem ini memungkinkan pengujian pada skenario nyata dengan pembatasan yang mencakup kapasitas pembangkit, daya reaktif, dan transmisi. Penggunaan sistem ini dalam penelitian bertujuan untuk mengalokasikan daya ke pembangkit secara optimal guna meminimalkan biaya operasional dan memaksimalkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Ali et al. (2023) menunjukkan bagaimana PSO dapat digunakan untuk menghitung pembagian daya yang efisien di antara pembangkit dengan mempertimbangkan berbagai pembatasan operasional dan biaya bahan bakar. Implementasi ini memungkinkan para peneliti untuk mengevaluasi kinerja algoritma dalam hal konvergensi solusi, akurasi, serta efisiensi waktu komputasi, yang pada akhirnya akan

memberikan kontribusi pada peningkatan sistem tenaga nyata (Marzbani & Abdelfatah, 2024b).



2.1 Gambar system 30 Bus.

Sumber (Foqha et al., 2024)

2.3. Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah algoritma optimisasi berbasis populasi yang pertama kali diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku sosial makhluk hidup, seperti burung atau ikan, yang bekerja bersama dalam kelompok untuk menemukan sumber makanan atau tujuan lainnya. Dalam konteks optimisasi, PSO memodelkan setiap solusi potensial sebagai partikel dalam ruang pencarian, dan setiap partikel memiliki posisi dan kecepatan yang

berubah seiring iterasi berdasarkan pengalaman terbaik yang pernah ditemukan oleh dirinya sendiri dan oleh kelompok.

Pada PSO, setiap partikel bergerak dalam ruang pencarian dengan kecepatan yang ditentukan oleh dua komponen utama: komponen individu, yang mengarah ke posisi terbaik yang pernah ditemukan oleh partikel itu sendiri, dan komponen sosial, yang mengarah ke posisi terbaik yang ditemukan oleh kelompok secara keseluruhan. Kombinasi dari dua komponen ini memungkinkan PSO untuk menghindari terjebak pada solusi lokal dan mencari solusi global yang lebih baik. PSO umumnya digunakan dalam berbagai masalah optimisasi, termasuk masalah yang memiliki fungsi tujuan yang kompleks dan pembatasan non-linear, seperti pada perhitungan Economic Dispatch (ED) dalam sistem tenaga listrik (Devano et al., n.d.).

Keunggulan utama PSO adalah kesederhanaannya dalam implementasi dan kemampuannya untuk menemukan solusi optimal dalam ruang pencarian yang besar tanpa memerlukan informasi terperinci mengenai gradien atau fungsi tujuan. Oleh karena itu, PSO sangat cocok untuk masalah-masalah optimisasi yang memiliki banyak variabel dan pembatasan non-linear, seperti

yang terjadi dalam Economic Dispatch. Di dalam Economic Dispatch, PSO digunakan untuk mengalokasikan daya secara efisien di antara pembangkit-pembangkit listrik yang ada dengan tujuan untuk meminimalkan biaya bahan bakar total sistem. Selain itu, PSO dapat menangani pembatasan sistem tenaga yang kompleks, seperti kapasitas pembangkit, pembatasan daya reaktif, batas tegangan, dan pembatasan emisi gas rumah kaca yang semakin penting dalam pengembangan sistem tenaga modern (Maydilasari et al., 2020).

2.4. Implementasi PSO untuk Economic Dispatch pada Sistem 30

Bus IEEE

Pada Sistem 30 Bus IEEE, implementasi PSO membutuhkan perhatian khusus terhadap pembatasan kapasitas pada pembangkit listrik, yaitu batas daya minimum dan maksimum yang dapat diproduksi oleh masing-masing unit. Selain itu, PSO juga harus mempertimbangkan pembatasan terkait transmisi daya, seperti batasan kapasitas saluran transmisi dan pembatasan daya reaktif yang harus dipenuhi oleh sistem. Dalam hal ini, PSO mengoptimalkan pembagian daya dengan cara menyeimbangkan antara pembangkit-pembangkit yang lebih efisien dalam hal biaya

bahan bakar dan yang membutuhkan alokasi daya lebih besar pada waktu puncak atau beban tertentu. Oleh karena itu, pembangkit dengan biaya bahan bakar lebih rendah (misalnya pembangkit berbahan bakar gas alam) akan menerima alokasi daya yang lebih besar dibandingkan pembangkit berbahan bakar lebih mahal (misalnya batu bara), dengan tetap mematuhi batasan teknis yang ada dalam sistem (Mukti et al., n.d.).

Selama implementasi, PSO bekerja dengan cara iteratif, memperbarui posisi dan kecepatan setiap partikel untuk menjelajahi ruang solusi yang luas dan menemukan distribusi daya yang optimal. Setiap iterasi dimulai dengan populasi awal partikel yang disebar secara acak dalam ruang pencarian, dan kemudian proses pembaruan posisi dan kecepatan dilakukan berdasarkan dua komponen utama: komponen individu, yang mengarahkan partikel ke posisi terbaik yang pernah dicapainya, dan komponen sosial, yang mengarahkan partikel ke posisi terbaik yang ditemukan oleh kelompok secara keseluruhan. Seiring berjalannya iterasi, partikel akan bergerak lebih dekat menuju solusi optimal. Namun, tantangan dalam implementasi PSO adalah memastikan bahwa solusi yang ditemukan adalah solusi global optimal, bukan hanya

solusi lokal yang mungkin tidak memberikan penghematan biaya yang signifikan dalam jangka Panjang. Salah satu tantangan utama dalam implementasi PSO untuk Economic Dispatch adalah pengaturan parameter-parameter PSO, seperti ukuran populasi, koefisien kecepatan, dan faktor sosial dan individu, yang dapat mempengaruhi kecepatan konvergensi dan kualitas solusi. Jika parameter tidak disetel dengan benar, PSO dapat terjebak pada solusi lokal atau membutuhkan lebih banyak iterasi untuk menemukan solusi yang optimal. Untuk itu, beberapa penelitian menyarankan penggunaan metode hibrida, seperti mengkombinasikan PSO dengan algoritma lain, misalnya Simulated Annealing (SA) atau Genetic Algorithm (GA), untuk meningkatkan kemampuan PSO dalam menghindari solusi lokal dan mempercepat proses konvergensi. Dalam penelitian oleh Nasser et al. (2022), kombinasi PSO dengan algoritma lain terbukti meningkatkan efisiensi waktu komputasi dan kualitas solusi pada masalah Economic Dispatch, terutama dalam skenario dengan banyak pembatasan dan pembangkit yang memiliki karakteristik berbeda.

Selain itu, implementasi PSO juga harus mempertimbangkan elemen-elemen lain dari sistem tenaga, seperti pembatasan emisi dan faktor lingkungan. Di banyak sistem tenaga modern, penting untuk tidak hanya meminimalkan biaya operasional tetapi juga untuk mematuhi regulasi lingkungan yang membatasi emisi gas rumah kaca. PSO dapat diadaptasi untuk mengoptimalkan distribusi daya sambil meminimalkan emisi, dengan menambahkan fungsi tujuan tambahan yang memperhitungkan dampak lingkungan. Sebagai contoh, pada Sistem 30 Bus IEEE, PSO dapat digunakan untuk menemukan solusi yang mengurangi penggunaan pembangkit berbahan bakar fosil yang menghasilkan emisi tinggi, sambil memaksimalkan penggunaan pembangkit energi terbarukan jika ada. Oleh karena itu, PSO tidak hanya berguna untuk mengurangi biaya, tetapi juga untuk membantu sistem tenaga memenuhi regulasi dan tujuan keberlanjutan yang semakin ketat. PSO juga dapat digunakan untuk menangani masalah multi-objektif dalam Economic Dispatch, di mana tujuan tidak hanya untuk meminimalkan biaya bahan bakar, tetapi juga untuk memaksimalkan efisiensi energi atau mempertimbangkan aspek lain seperti keandalan sistem. Misalnya, PSO dapat

diimplementasikan untuk mencari keseimbangan antara pengurangan biaya bahan bakar dan pengurangan risiko sistem, di mana solusi yang ditemukan tidak hanya optimal dari sisi biaya tetapi juga robust terhadap gangguan atau perubahan beban mendatang. Oleh karena itu, PSO menunjukkan fleksibilitas yang tinggi dalam menghadapi berbagai jenis masalah optimisasi dalam sistem tenaga listrik, terutama yang melibatkan pembatasan teknis, ekonomi, dan lingkungan (Alshammari et al., 2020).

Tabel 2.1

Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
----	------	------------------	------------------

1	Alshammari, M. E., Ramli, M. A. M., & Mehedi, I. M.	An Elitist Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithm for Sustainable Dynamic Economic Emission Dispatch Integrating Wind Farms	Penelitian ini mengusulkan algoritma PSO multi-objektif elitist (NSPSO) untuk mengatasi masalah Dynamic Economic Emission Dispatch (DEED) dengan integrasi pembangkit tenaga angin, yang bertujuan meminimalkan biaya operasional dan emisi dengan mempertimbangkan ketidakpastian dari pembangkit tenaga angin.
2	Anggawijaya, A., Raharjo, J., & Adam, K. B.	Optimasi Keekonomian dan Emisi pada Sistem Kelistrikan Menggunakan Algoritma	Penelitian ini menggunakan algoritma PSO untuk mengoptimalkan biaya

		PSO	<p>operasional dan emisi pada sistem kelistrikan JAMALI, dengan tujuan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan emisi karbon secara bersamaan.</p> <p>Sistem ini mempertimbangkan pembatasan teknis dan ekonomi dalam penjadwalan pembangkit.</p>
3	Devano, R., Raharjo, J., & Adam, K. B.	Economic Dispatch Pada Sistem Kelistrikan JAMALI Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization	<p>Penelitian ini menerapkan algoritma PSO untuk perhitungan Economic Dispatch pada sistem kelistrikan JAMALI, dengan tujuan untuk mengoptimalkan pembagian daya antar</p>

			<p>pembangkit untuk meminimalkan biaya operasional. Sistem ini juga mempertimbangkan pembatasan teknis seperti kapasitas pembangkit dan transmisi.</p>
4	<p>Foqha, T., Alsadi, S., & Refaat, S. S.</p>	<p>A Comparative Study on Different Optimization Algorithms for Solving Economic Dispatch Problem</p>	<p>Penelitian ini membandingkan berbagai algoritma optimisasi untuk menyelesaikan masalah Economic Dispatch (ED), dengan tujuan untuk mengevaluasi kinerja algoritma dalam meminimalkan biaya operasional sistem tenaga, serta analisis kelebihan dan kekurangan</p>

			masing-masing metode dalam konteks optimisasi ED.
5	Kalakova, A., Nunna, H. S. V. S. K., Jamwal, P. K. & Doolla, S.	Genetic Algorithm for Dynamic Economic Dispatch with Short-Term Load Forecasting	Penelitian ini mengusulkan penggunaan algoritma genetik untuk menyelesaikan masalah Dynamic Economic Dispatch (DED) dengan mempertimbangkan perkiraan beban jangka pendek. Pendekatan ini mengoptimalkan penjadwalan pembangkit daya untuk meminimalkan biaya operasional, dengan mempertimbangkan variabilitas beban jangka pendek.

6	Marzbani, F., & Abdelfatah, A.	Economic Dispatch Optimization Strategies and Problem Formulation A Comprehensive Review	<p>Penelitian ini memberikan tinjauan komprehensif mengenai berbagai strategi optimisasi untuk masalah Economic Dispatch (ED), serta formulasi masalah ED dalam sistem tenaga listrik.</p> <p>Penelitian ini juga membahas berbagai teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan alokasi daya pembangkit, dengan tujuan meminimalkan biaya operasional, termasuk penggunaan algoritma metaheuristik dan metode konvensional.</p>
---	--------------------------------------	--	--

7	Marzbani, F., & Abdelfatah, A.	Economic Dispatch Optimization Strategies and Problem Formulation A Comprehensive Review	Penelitian ini memberikan tinjauan komprehensif mengenai berbagai strategi optimisasi untuk masalah Economic Dispatch (ED) dan formulasi masalah ED dalam konteks sistem tenaga listrik. Fokus utama penelitian ini adalah pada pengoptimalan alokasi daya pembangkit, dengan membahas berbagai pendekatan yang digunakan untuk meminimalkan biaya operasional serta tantangan teknis yang dihadapi dalam
---	--------------------------------------	--	---

			implementasi ED, termasuk penggunaan algoritma optimisasi modern dan metode tradisional.
8	Maydilasari, M. P., Zuliari, E. A., & Wati, T.	Economic Emission Dispatch Mempertimbangkan Valve-Point Effect Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)	Penelitian ini mengaplikasikan algoritma PSO untuk masalah Economic Emission Dispatch (EED) dengan mempertimbangkan efek valve-point pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Tujuan utama adalah untuk mengoptimalkan pembagian daya yang meminimalkan biaya bahan bakar dan emisi

			gas rumah kaca, dengan memperhitungkan fluktuasi biaya yang timbul akibat efek valve-point pada karakteristik pembangkit.
9	Mukti, A., Azizul, E., & Setyawan, N.	Optimasi Biaya Pembangkitan Pada Sistem Standar IEEE 30 Bus Menggunakan Adaptive Particle Swarm Optimization	Penelitian ini menggunakan algoritma Adaptive Particle Swarm Optimization (APSO) untuk mengoptimalkan biaya pembangkitan pada sistem tenaga listrik standar IEEE 30 Bus. Tujuan utama adalah meminimalkan biaya pembangkitan dengan mempertimbangkan pembatasan kapasitas

			<p>pembangkit dan saluran transmisi, serta mengevaluasi kinerja APSO dalam meningkatkan efisiensi sistem tenaga.</p>
10	Prasetya, A. E.	<p>Economic Dispatch Pada Pembangkitan Termal PLN APB IV Jawa Timur Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO) untuk menyelesaikan masalah Economic Dispatch pada pembangkit termal di PLN APB IV Jawa Timur. Fokus penelitian adalah mengoptimalkan alokasi daya untuk meminimalkan biaya pembangkitan, dengan</p>

			mempertimbangkan pembatasan kapasitas pembangkit dan karakteristik teknis lainnya dalam sistem pembangkit termal.
--	--	--	--