

Economic Dispatch* Unit Pembangkit Termal dengan Kekangan Emisi Lingkungan dan Metode *Differential Evolutionary Algorithm

Yogi Agus Priatna, Firmansyah Nur Budiman, Elvira Sukma Wahyuni

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia

Korespondensi : 14524084@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Economic Dispatch (ED) adalah permasalahan untuk menentukan alokasi daya optimum diantara unit-unit pembangkit untuk melayani beban total, sehingga didapat total biaya operasi minimum dengan tetap memperhitungkan kekangan-kekangan sistem. Untuk sistem unit pembangkit termal, penggunaan bahan bakar menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan optimasi ED karena timbulnya emisi gas buang dari bahan bakar tersebut. Diantara emisi gas yang dihasilkan unit termal, CO₂ merupakan emisi gas paling besar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan optimasi ED pada sistem unit pembangkit termal dengan emisi CO₂ sebagai salah satu fungsi pengekangnya. Proses optimasi diselesaikan menggunakan algoritma *Differential Evolutionary Algorithm* (DEA) dan sistem yang menjadi objek penelitian adalah sistem IEEE 24 bus dengan 26 unit termal. ED diterapkan selama 24 jam dengan total energi yang disuplai sebesar 54910 MWh. Tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO₂, didapatkan biaya total pembangkitan sebesar \$861714,5. Dengan memperhitungkan emisi CO₂, dimana nilai emisi maksimum yang diijinkan adalah 37503,53 ton, didapatkan biaya total pembangkitan sebesar \$902895,79. Kuantitas emisi CO₂ yang dihasilkan adalah 37473,01 ton. Kenaikan biaya total pembangkitan ini karena pembatasan penggunaan unit-unit berbahan bakar batu bara, yang berbiaya rendah namun menghasilkan emisi CO₂ yang tinggi. Konsekuensinya, penggunaan unit-unit berbahan bakar minyak, yang emisi CO₂-nya rendah namun berbiaya mahal, dinaikkan. Akibatnya, biaya operasi total naik secara signifikan.

Kata kunci: *economic dispatch*, kekangan emisi CO₂, *differential evolution algorithm*.

ABSTRACT

Economic dispatch (ED) is a scheme to optimally determine power generation among available power generating units for a given total load, such that minimum total operation cost can be achieved while satisfying a number of system constraints. For thermal unit system, fuel utilization becomes a consideration in applying ED due to its gas emission. Of various gasses emitted by thermal units, CO₂ constitutes the largest portion. The objective of this research is to apply ED in thermal unit system with CO₂ emission set as one of the constraining functions. Optimization process was solved by using *Differential Evolutionary Algorithm* (DEA) and the tested system is the 24-bus IEEE system consisting of 26 thermal units. ED was applied for 24 hours with total energy being supplied was 54910 MWh. Ignoring CO₂ constraint resulted in a total operation cost of \$861714,5. On the other hand, a total operation cost of \$902895,79 was obtained when CO₂ emission constraint was included in optimization process. The maximum limit of CO₂ emission was set at 37503,53 tons in this study, but the resulted emission was 37473,01 tons. This cost increase is due to limitation of coal-fueled units, which are characterized by low operating cost but high CO₂ emission. Consequently, the utilization of oil-fueled units, whose CO₂ emission is low but with high operation cost, was increased. Consequently, total operation cost rised significantly.

Keywords: *economic dispatch*, CO₂ emission constraint, *differential evolution algorithm*.

1. PENDAHULUAN

Dengan ukuran yang begitu besar, sistem tenaga listrik perlu dioperasikan seoptimal mungkin. Diantara skema optimasi yang dapat dilakukan adalah optimasi di sisi pembangkit. Skema optimasi unit pembangkit inilah yang dikenal dengan *economic dispatch* (ED). Fungsi ED adalah menentukan alokasi daya yang paling optimum diantara unit-unit pembangkit untuk melayani level beban total tertentu sehingga didapat total biaya operasi yang minimum dengan tetap memperhitungkan fungsi-fungsi pengekang sistem. ED bisa dilakukan untuk jangka pendek atau jangka panjang. Khusus untuk jangka pendek, durasi tipikalnya adalah 24 jam atau 1 minggu [1]. ED adalah anggota dominan dari kumpulan skema operasi sistem tenaga untuk menentukan unit komitmen, aliran beban, dan kemampuan transfer yang tersedia[2].

Untuk sistem yang terdiri dari unit-unit pembangkit termal, penggunaan bahan bakar menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan ED karena mengakibatkan adanya emisi gas [3]. Gas emisi yang paling dominan adalah gas CO₂. Oleh karena itu, proses ED pada sistem unit pembangkit termal selayaknya memperhitungkan total emisi gas yang dihasilkan. Skema yang bisa dilakukan untuk membatasi kuantitas emisi gas adalah dengan menjadikan emisi total sebagai salah satu fungsi pengekang dalam ED atau dengan menjalankan optimasi multiobjektif dimana total emisi menjadi fungsi objektif kedua setelah fungsi biaya.

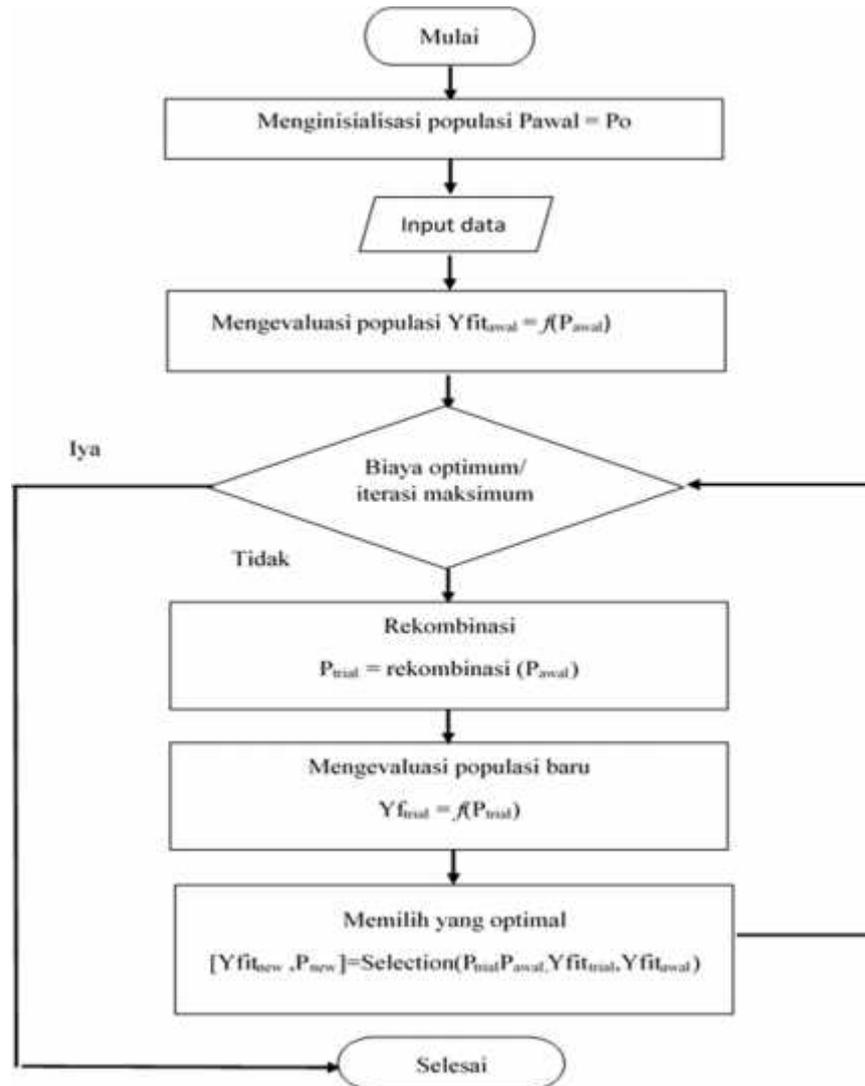
Hingga saat ini, telah banyak algoritma yang dipakai untuk menyelesaikan permasalahan ED. Pada penelitian ini, metode yang akan digunakan pada optimasi ED adalah *Differential Evolutionary Algorithm* (DEA). Parameter kontrol yang sedikit dan konvergensi yang tinggi dan dapat diandalkan [4] menjadi dasar pemilihan DEA. Inklusi total emisi gas dilakukan dengan menjadikannya sebagai salah satu fungsi pengekang. Gas emisi yang menjadi perhatian dalam penelitian adalah gas CO₂. Sistem yang menjadi objek studi adalah sistem IEEE 24-bus dengan 26 unit pembangkit termal. Sistem ini dipandang cukup besar untuk menjadi objek optimasi.

2. METODE PENELITIAN

Algoritma DEA yang digunakan untuk optimasi ED pada penelitian ini diilustrasikan pada diagram alir di Gambar 1. Penjelasan tiap langkahnya adalah sebagai berikut.

1. Inisialisasi

Langkah pertama yaitu menginisialisasi beberapa parameter, yaitu batasan pembangkitan daya, fungsi biaya, fungsi emisi CO₂, batasan maksimum CO₂ dan beban selama 24 jam. Lalu untuk inisialisasi parameter DEA digunakan jumlah maksimum iterasi sebanyak 750, jumlah populasi awal yang dibangkitkan adalah sebanyak 30 populasi yang kemudian diuji tingkat *fitness*-nya dengan tetap memperhatikan batasan maksimum dan minimum pembangkit serta memenuhi permintaan beban.



Gambar 1. Diagram alir ED dengan DEA [5]

2. Perhitungan nilai fitness awal
Optimasi dengan metode DEA ini adalah mencari nilai biaya bahan bakar pembangkitan dengan nilai seminimum mungkin. Maka untuk mencari nilai *fitness* dari vektor awal adalah dengan menghitung fungsi biaya bahan bakar dengan memasukkan nilai daya secara random pada tahap inisialisasi.
3. Mutasi
Selanjutnya adalah membentuk populasi yang berisi *mutant vector* ($v_{i,g}$). Pembentukan *mutant vector* dilakukan dengan memilih parameter kontrol dari DEA yang berfungsi untuk mengontrol pengaruh dari variasi *differential* dari ($x_{r1,g} - x_{r2,g}$). Salah satu parameter kontrol yang penting adalah faktor skala dan pada penelitian ini dipilih faktor skala sebesar 0,7.
4. Rekombinasi
Rekombinasi adalah proses pembentukan sebuah populasi baru yang berisi *trial vector*, yang didapatkan dari hasil rekombinasi antara populasi vektor awal dengan populasi *mutant vector*. Probabilitas crossover (Cr) dengan range $[0,1]$, berfungsi untuk mengendalikan laju rekombinasi. Pada penelitian ini ditentukan nilai $Cr = 0,8$. Terdapat sebuah $rand_j(0,1)$ jika nilai $rand_j(0,1)$ suatu vektor adalah kurang dari Cr , maka nilai vektor yang akan digandakan pada *trial vector* adalah *mutant vector*. Jika sebaliknya, maka nilai vektor yang akan digandakan pada *trial vector* adalah vektor awal.
5. Perhitungan nilai fitness akhir
Vector trial yang diperoleh, selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *fitness* ke dalam fungsi biaya bahan bakar pembangkitan pada fungsi biaya bahan bakar sebelumnya.

6. Seleksi

Seleksi bertujuan untuk memilih vektor yang akan menjadi anggota populasi untuk iterasi selanjutnya. Lalu sesudah populasi baru didapat, maka proses mutasi, rekombinasi, dan seleksi diulangi sampai didapat nilai optimum atau mencapai iterasi maksimum yang ditentukan sebesar 750 kali.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Economic Dispatch Tanpa Memperhitungkan Kekangan Emisi

Untuk mencari nilai optimum dari ED dengan menggunakan metode DEA, maka DEA sendiri mempunyai tiga buah parameter kontrol yaitu ukuran populasi, faktor skala F dan probabilitas *crossover* Cr. Maka langkah pertama dalam simulasi ini kita menentukan ke tiga parameter kontrol tersebut. Nilai parameter kontrol ini digunakan selalu dalam semua percobaan dalam mencari nilai optimasi ED. Nilai parameter kontrol yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter kontrol DEA yang digunakan

Populasi	Faktor skala F	Crossover Cr
30	0,7	0,8

Implementasi algoritma dilakukan pada perangkat lunak MATLAB. Dengan DEA, untuk beban yang sama didapatkan nilai biaya minimum yang berbeda-beda. Oleh karena itu dilakukan run sebanyak 10 kali untuk beban di jam ke-1 dan dilihat nilai biaya yang paling minimum berada di *range* berapa, dan dijadikan nilai awal biaya yang paling optimum. Hasil ED dengan menggunakan metode DEA tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO₂ untuk sistem IEEE 26 unit dapat dilihat pada

Tabel 2.

Pada

Tabel 2 dapat dilihat dari tipe semua pembangkit mempunyai jenis bahan bakar yang berbeda, hasilnya yaitu total daya yang dibangkitkan dari tiap tipe unit pembangkit untuk selama periode waktu 24 jam sebesar 54910 MWh dengan total biaya yang dihasilkan sebesar \$861714,5. Dapat dilihat juga bahwa untuk menyuplai beban selama 24 jam unit-unit nuklir (unit #25-26) diutamakan untuk menyuplai dengan kapasitas daya yang besar sebesar 15984.27 MWh dibanding dengan unit-unit lainnya. Hal ini dikarenakan unit nuklir menjadi unit yang paling murah biaya operasinya. Nilai biaya yang paling minimum dihasilkan oleh unit-unit nuklir sebesar \$145449.45, dengan daya yang besar saat dibangkitkan dibanding dengan unit-unit lainnya dapat menghasilkan biaya yang paling minimum dibanding unit-unit lainnya. Dikarenakan unit nuklir memiliki start yang lama dan respon yang lambat, oleh karena itu unit nuklir dioperasikan untuk menyuplai beban dasar. Sementara itu, unit berbahan bakar batu bara menjadi unit-unit yang diutamakan setelah unit nuklir, dikarenakan unit berbahan bakar batu bara menjadi unit yang paling murah biaya operasinya setelah unit nuklir. Oleh karena itu unit berbahan bakar batu bara digunakan untuk menyuplai beban dasar dan juga beban menengah. Sedangkan unit-unit yang berbahan bakar minyak menjadi unit yang paling mahal biaya operasinya. Oleh karena itu unit berbahan bakar minyak digunakan untuk menyuplai beban puncak karena unit-unit tersebut waktu startnya cepat sehingga lebih mendukung terhadap perubahan beban.

Tabel 2. Hasil daya yang dibangkitkan dan total biaya dari setiap tipe unit pembangkit tanpa kekangan emisi CO₂

Unit	Tipe	Bahan Bakar	Daya yang dibangkitkan	Total biaya
#1-5	Fossil Steam	#6 oil	881.23	25890.18
#6-9	Combustion Turbine	#2 oil	1087.9	52601.19
#10-13	Fossil Steam	Coal	4935.47	76340.96
#14-16	Fossil Steam	#6 oil	4692.07	102744.33
#17-20	Fossil Steam	Coal	11520.29	144229.33
#21-23	Fossil Steam	#6 oil	9268.83	236268.68
#24	Fossil Steam	Coal	6539.94	78190.4
#25-26	Nuclear Steam	LWR	15984.27	145449.45

Maka dari itu, faktor yang paling mempengaruhi dalam ED diatas adalah permintaan beban selama 24 jam dan karakteristik masing-masing unit pembangkit yang meliputi biaya operasi, waktu start, dan mendukung dalam perubahan beban. Dengan proses optimasi yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil ED yang optimal.

3.2. Economic Dispatch dengan Memperhitungkan Kekangan Emisi CO₂

ED dengan memperhitungkan kekangan emisi CO₂ hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan batasan maksimum emisi CO₂ agar emisi CO₂ yang dihasilkan dari tiap unit-unit pembangkit termal tidak melewati batasan maksimum tersebut.

Batasan maksimum emisi CO₂ ditentukan sebesar: $me \times$ total beban yang diminta setiap jam nya. Dari percobaan menggunakan MATLAB dapat diketahui nilai koefisien me minimum yang dapat dicapai pada ED sebesar 0,683 ton/MWh. Artinya kuantitas emisi CO₂ untuk beban setiap jam nya harus kurang dari atau sama dengan dari batasan maksimum emisi CO₂. Nilai me divariasikan sebanyak 7 nilai me , dikarenakan dengan nilai variasi tersebut kita sudah melihat perbedaan yang dihasilkan.

Dalam pengambilan hasil tetap dilakukan run sebanyak 10 kali untuk beban di jam ke-1 dan dilihat nilai biaya yang paling minimum berada di *range* berapa dan dijadikan nilai awal biaya yang paling optimum. Hasil ED dengan menggunakan metode DEA dengan memperhitungkan kekangan emisi CO₂ untuk operasi 26 unit termal sistem IEEE 24 bus dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil total emisi dan total biaya dari semua unit pembangkit dengan kekangan emisi CO₂

Variasi	1	2	3	4	5	6	7
me	0.683	0.685	0.687	0.701	0.703	0.723	0.725
batasan	37503	37613.35	37723.2	38491.9	38601.7	39699.9	39809.7
Total Emisi	37473	37589.95	37683.8	38471.2	38529.8	39247.4	39720.8
Total Biaya	902895	889151	884633	879227	868938	863903	861734

Pada Tabel 3 dapat dilihat dari ke 7 variasi bahwa hasilnya dari setiap variasi nilai total biaya pembangkitan mengalami penurunan biaya dengan total energi yang disuplai disetiap variasi sebesar 54910 MWh. Pada Tabel 3 dari ke 7 variasi semua kuantitas emisi CO₂ yang dihasilkan didapat kuantitas emisi CO₂ total semua pembangkit selama 24 jam, dan hasilnya dari setiap variasi mengalami kenaikan nilai kuantitas total emisi CO₂. Hasil ini menunjukan bahwa nilai kuantitas total emisi CO₂ dengan nilai me minimum menghasilkan kenaikan pada biaya operasi. Dengan nilai me minimum sebesar 0,683 ton/MWh memiliki batasan maksimum emisi CO₂ sebesar 37503,53 ton dan menghasilkan kuantitas total emisi CO₂ sebesar 37473,01 ton dengan total biaya bahan bakar sebesar \$902895,79. Biaya operasional yang tinggi dikarenakan batasan dari kuantitas emisi CO₂ akan mengutamakan unit-unit yang menghasilkan emisi rendah namun biaya operasinya lebih mahal.

Unit unit pembangkit yang menghasilkan emisi paling rendah yaitu unit-unit nuklir, disusul dengan unit berbahan bakar minyak, dan unit berbahan bakar batu bara menjadi unit yang menghasilkan emisi paling tinggi untuk tiap MWh yang dihasilkannya. Unit-unit nuklir menghasilkan emisi paling rendah dengan daya yang besar saat dibangkitkan dibanding dengan unit-unit lainnya dapat menghasilkan emisi yang paling rendah dibanding unit-unit lainnya. Dikarenakan unit nuklir memiliki start yang lama dan respon yang lambat, oleh karena itu unit nuklir dioperasikan untuk menyuplai beban dasar. Sementara itu, unit berbahan bakar minyak menjadi unit-unit yang diutamakan setelah unit nuklir, dikarenakan unit berbahan bakar minyak menjadi unit yang paling rendah menghasilkan nilai emisi setelah unit nuklir. Oleh karena itu unit berbahan bakar minyak digunakan untuk menyuplai beban dasar dan juga beban menengah. Sedangkan unit-unit yang berbahan bakar batu bara menjadi unit yang paling tinggi menghasilkan tingkat emisi. Oleh karena itu unit berbahan bakar batu bara digunakan untuk menyuplai beban puncak agar menghasilkan total emisi yang lebih rendah.

Maka dari itu, faktor yang paling mempengaruhi dalam ED diatas adalah kuantitas total emisi CO₂ dan karakteristik masing-masing unit pembangkit yang meliputi fungsi emisi CO₂, kuantitas emisi CO₂, waktu start, dan mendukung dalam perubahan beban. Dengan proses optimasi yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil ED yang optimal.

4. KESIMPULAN

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan pada operasi 26 unit pembangkit termal sistem IEEE 24 bus, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari ED tanpa memperhitungkan kekangan emisi CO₂ didapat biaya operasi total semua pembangkit selama 24 jam sebesar \$861714,5 dengan total energi yang disuplai sebesar 54910 MWh. Untuk

mendapatkan biaya operasi total yang paling murah maka unit-unit nuklir dan sebagian unit berbahan bakar batu bara digunakan untuk menyuplai beban dasar karena unit-unit tersebut mempunyai biaya operasi yang paling murah, namun startnya paling lama dan untuk mendukung terhadap perubahan beban sangat lambat. Kemudian sebagian unit berbahan bakar batu bara yang lainnya digunakan untuk menyuplai beban menengah. Dan untuk unit berbahan bakar minyak digunakan untuk menyuplai beban puncak karena biaya operasinya paling mahal, namun mempunyai start yang cepat dan sangat mendukung terhadap perubahan beban.

2. Pada *economic dispatch* dengan memperhitungkan kekangan emisi CO₂ diketahui bahwa kuantitas emisi CO₂ dengan nilai *me* minimum menghasilkan kenaikan pada biaya operasi. Dengan nilai *me* minimum sebesar 0,683 ton/MWh, batasan maksimum emisi CO₂ yang diijinkan adalah 37503,53 ton. Dengan DEA, kuantitas total emisi CO₂ yang dihasilkan adalah 37473,01 ton dengan total biaya bahan bakar sebesar \$902895,79. Biaya operasional yang tinggi dikarenakan batasan dari kuantitas emisi CO₂ akan mengutamakan unit-unit yang menghasilkan emisi rendah namun biaya operasinya lebih mahal. Unit-unit yang menghasilkan emisi rendah akan menyuplai beban dasar. Unit-unit pembangkit yang menghasilkan emisi paling rendah yaitu unit-unit nuklir, disusul dengan unit berbahan bakar minyak, dan unit berbahan bakar batu bara menjadi unit yang menghasilkan emisi paling tinggi untuk tiap MWh yang dihasilkannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Budiman FN. Penjadwalan Unit Pembangkit Termal dengan Memperhitungkan Kekangan Emisi Lingkungan dan Ketidakpastian Sistem. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada. 2009.
- [2]. Jebaraj L, Venkatesan C, Soubache I, Christofer C. Application of Differential Evolutionary Algorithm in Static and Dynamic Economic or Emission Dispatch Problem : A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;77:1206–20.
- [3]. Sickel JH Van, Lee KY, Heo JS. *Power Plant Control.* ISAP. 2007;(2):560–5.
- [4]. Khamsawang S, Jiriwibhakorn S. Solving the Economic Dispatch Problem by Using Differential Evolution. *World Acad Sci.* 2009;3(4):700–4.
- [5]. Violita A, Priyadi A, Robandi I. Optimisasi Economic Dispatch pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali 500 kV menggunakan Differential Evolutionary Algorithm. *J Tek ITS.* 2012;1(1):115–8.