

Pendekatan Dengan *Cuckoo Optimization Algorithm* Untuk Solusi Permasalahan *Economic Emission Dispatch*

Agil Dwijatmoko Rahmatullah, Rony Seto Wibowo dan Daniar Fahmi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: ronyseto@ee.its.ac.id, daniarfahmi@ee.its.ac.id

Abstrak--Economic Dispatch adalah upaya untuk meminimalkan biaya operasi unit pembangkit dengan tetap memperhatikan batasan teknis dari masing-masing unit pembangkit, harga bahan bakar, biaya pemeliharaan dan lain sebagainya. Di sisi lain, unit pembangkit termal menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar boiler untuk membangkitkan energi listrik, sehingga sisa hasil pembakaran dari unit pembangkit ini menghasilkan emisi gas buang yang menyebabkan polusi serta mencemari lingkungan. Melalui dua permasalahan tersebut metode optimasi algoritma cuckoo yang diadaptasi dari cara burung cuckoo dalam berkembang biak, sarang yang menghasilkan generasi baru cuckoo direpresentasikan sebagai solusi baru untuk permasalahan optimasi dalam meminimalkan biaya bahan bakar dan emisi gas buang. Hasil dari metode optimasi algoritma cuckoo, pada saat nilai pembobot seimbang yaitu 0,5, untuk fungsi biaya bahan bakar didapatkan 18940,40 dengan pengurangan biaya sebesar 1745,3 dan untuk fungsi emisi didapatkan 839,94 dengan pengurangan emisi sebesar 187,35.

Kata Kunci--Cuckoo Optimization Algorithm, Economic Emission, Economic Dispatch.

I. PENDAHULUAN

OPTIMASI dispatch ekonomi klasik (ED) telah menjadi subjek berbagai makalah penelitian sebagai salah satu masalah utama adalah pengoperasian secara ekonomis. Karena pertimbangan lingkungan baru-baru ini, tujuan dari Economic Dispatch Masalah tidak dapat dibatasi hanya meminimalkan biaya bahan bakar saja namun juga emisi gas [1]. Meningkatnya permintaan energi listrik menyebabkan meningkatnya pula listrik yang harus dihasilkan sehingga penambahan unit pembangkitpun juga harus dikembangkan [2]. Energi listrik yang dihasilkan menggunakan berbagai sumber konvensional dan terbarukan termasuk didalamnya air, nuklir, angin, surya, dan energi kinematik pasang surut gelombang air laut. Salah satu bagian utama dari energi listrik di hasilkan dari unit termal yang menggunakan bahan bakar fosil seperti gas, minyak, batu bara [3] [4].

Tujuan dari *economic emission Dispatch* ialah bagaimana meminimalkan biaya operasi masing-masing unit pembangkit serta jumlah emisi gas buang dari masing-masing unit pembangkit termal namun dengan tetap memperhatikan batasan teknis masing-masing unit pembangkit. Pada Penelitian ini akan diusulkan *Cuckoo Optimization Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan Economic-emission. Sehingga diperoleh pembangkitan optimal, ekonomis, dan mampu meminimalkan jumlah emisi yang dihasilkan unit pembangkit [5].

II. ECONOMIC EMISSION DISPATCH

Tujuan dari Economic Emission dispatch meminimalkan biaya pembangkitan khususnya bahan bakar namun juga meminimalkan emisi gas buang dengan menentukan besarnya pembangkitan masing-masing unit pembangkit.

A. Fungsi biaya

Objektif dalam permasalahan EED (*Economic Emission Dispatch*) adalah fungsi biaya pembangkitan. Berikut persamaan yang digunakan :

$$Fc(P) = \sum_{i=1}^N (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (1)$$

Keterangan:

a_i, b_i, c_i : Cost function

P_i : output daya dari masing-masing pembangkit dalam MW

B. Fungsi Emisi

Fungsi objektif kedua yaitu fungsi emisi pada masing-masing unit dengan satuan gram tiap jamnya. Berikut persamaan fungsi emisi:

$$Fc(P) = \sum_{i=1}^N (d_i + e_i P_i + f_i P_i^2) \quad (2)$$

Keterangan:

d_i, e_i, f_i : Emission function

C. Pembatasan (constrain)

Dalam menyelesaikan Economic Emission terdapat beberapa batasan (*constrain*).

1. Keseimbangan Daya

Daya total pembangkitan harus sesuai dengan daya total beban, sesuai dengan persamaan 3 berikut ini:

$$\sum P_i = P_d \quad (3)$$

Keterangan :

P_d : Total Daya

P_i : daya yang dibangkitkan masing – masing pembangkit

2. Batas Kapasitas Pembangkitan

Untuk menstabilkan sistem pembangkitan maka masing-masing pembangkitan dibatasi oleh pembangkitan maksimal dan pembangkitan minimal masing-masing unitnya. Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 4 berikut ini :

$$P_{Gi\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\max} \quad (4)$$

Keterangan:

$P_{Gi\min}$: Daya pembangkitan minimum masing-masing unit Pembangkit

$P_{Gi\max}$: Daya pembangkitan maksimum masing-masing unit pembangkit

Daya pembangkitan tidak boleh melebihi batas dari *ramp limit* untuk masing masing unit.

$$\text{Max}(P_{i\min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \leq P_i^{t-1} \leq \text{min}(P_{i\min}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (5)$$

Dengan adanya *ramp constrain* maka kapasitas *constraint* pembangkitan jam ke-1 akan berubah menjadi maksimum dan minimum.

Untuk persamaan maksimum,

$$P_{i\min} = \text{max}(P_{i\min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \quad (6)$$

Untuk persamaan minimum,

$$P_{i\min} = \text{max}(P_{i\min}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (7)$$

D. Weight sum method

Weight sum method merupakan salah satu teknik paling sederhana untuk penyelesaian optimasi multi objektif yang menggabungkan beberapa fungsi objektif menjadi satu kesatuan, dengan cara perkalian masing-masing fungsi obyektif dengan koefisien pembobot *weight* masing-masing fungsi objektif.

Pada Penelitian ini ada dua fungsi objektif yang digunakan untuk meminimalkan biaya bahan bakar dan untuk meminimalkan emisi NO_2 . berikut adalah persamaan yang digunakan:

$$F = W_c.F_{ct} + W_s.F_{et} \quad (8)$$

Dimana :

F : fungsi tujuan

F_{ct} : Total biaya bahan bakar masing pembangkitan dalam sistem (Rupiah)

F_{et} : Total emisi bahan bakar masing pembangkitan dalam sistem (Gram)

W_c : Nilai pembobot untuk fungsi biaya bahan bakar

W_s : nilai pembobot untuk fungsi emisi bahan bakar

Jumlah total dari masing – masing koefisien pembobot yaitu satu, besarnya nilai koefisien menunjukkan prioritas.

III. PENERAPAN CUCKOO OPTIMIZATION ALGORITHM PADA ECONOMIC EMISSION DISPATCH

Jumlah populasi *nest* (n) sarang yang akan dipilih burung *cuckoo* untuk meletakkan telur mewakili jumlah daya *output* masing-masing unit yang direpresentasikan.

$$\text{nest}(i,:) = L_b + (U_b - L_b) \cdot \text{rand}(\text{size}(L_b)) \quad (9)$$

Keterangan:

U_b yaitu batas bawah dan L_b batas atas pembangkitan tiap unit

Untuk langkah selanjutnya membangkitkan generasi baru menggunakan jalur *levy flight*. *Levy flight* adalah jalur burung *cuckoo* untuk menemukan sarang baru . Solusi baru dihitung berdasarkan pada inisialisasi sebelumnya atau sejumlah sarang sebelumnya yang kemudian dipilih lagi jalur *cuckoo* untuk pemilihan sejumlah sarang yang baru.

$$X_i^{\text{new}} = X_{\text{best}_i} + \alpha \times \text{rand} 2 \times \Delta X_i^{\text{new}} \quad (10)$$

Kemungkinan burung lain menemukan telur *cuckoo* pada sarang burungnya untuk memilih meninggalkan sarang dan membangun sarang baru atau menendang keluar telur burung *cuckoo* juga merupakan solusi baru kemungkinan ini direpresentasikan P_a , berikut adalah persamaan yang digunakan:

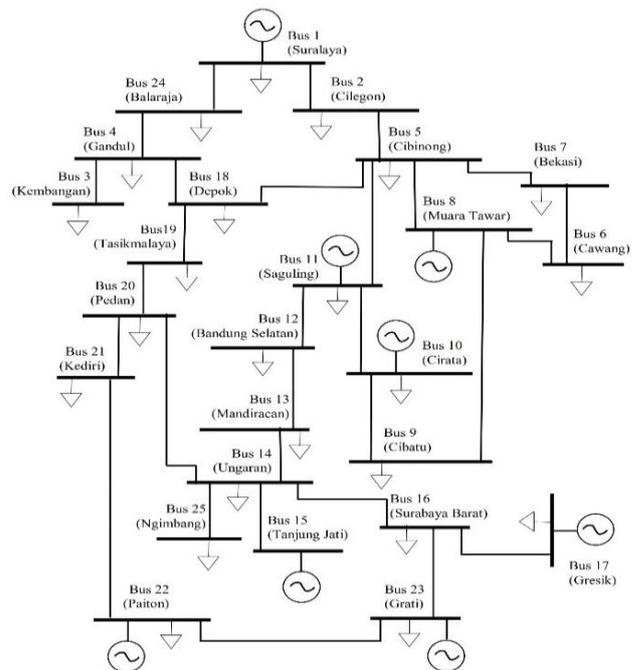
$$X_i^{\text{dis}} = X_{\text{best}_i} + K \times \Delta X_i^{\text{dis}} \quad (11)$$

Dimana K adalah koefisien update yang ditentukan oleh P_a

Jika sarang random yang dipih kurang dari nilai kemungkinan maka nilai K adalah satu artinya faktor kemungkinan besar mendapat kan solusi baru disimpan begitu juga sebaliknya.

IV. HASIL DAN SIMULASI

Data sistem yang digunakan pada simulasi ini menggunakan sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali pada jaringan transmisi 500 kV. Sistem ini terdiri dari 8 generator dengan 25 sistem bus. Jenis pembangkit pada sistem ini yaitu termal dan hidro, dimana terdiri dari 6 pembangkit jenis termal dan 2 pembangkit jenis hidro. Untuk lebih jelas, Single Line Diagram pembangkit interkoneksi Jawa-Bali dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Single Line Diagram sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali 500 kV

Untuk data fungsi pembiayaan pembangkitan pada sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali 500 kV dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Fungsi biaya sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali

Unit Pembangkit	Fungsi Biaya			Pmin (MW)	Pmax (MW)
	A	B	C		
Suralaya	44.455.587,75	391.059,27	-11.008.313	1610	4200
Muaratawar	447.887.239,80	673.189,59	-5.565.550	934	2308
Cirata	0	6.000	0	404	1008
Saguling	0	660	0	208	700
Tanjung Jati	192.669.508	125.456,19	35,80	848	2119
Gresik	78.152.917,59	459.705,07	7,59	1149	2872
Paiton	17.209.148,67	382.129,48	-19,37	1080	2700
Grati	25.244.481,54	371.803,55	8,09	360	900

Sedangkan untuk data fungsi emisi pembangkitan pada sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali 500 kV dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Fungsi emisi sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali

Unit Pembangkit	Fungsi Emisi		
	A	B	C
Suralaya	-6,53435	232126,27	26388095,96
Muaratawar	-0,7737	93584	62263614,5
Cirata	0	0	0
Saguling	0	0	0
Tanjung Jati	25,157815	8816,75	135397090,2
Gresik	1,62795	98632	16768083
Paiton	-13,266773	261721,95	11786612,11
Grati	2,467	113442,5	7702435,5

Rekam data total daya beban pada sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali diambil dalam empat waktu, yaitu pada pukul 18.00, 19.00, 20.00, dan 21.00. Data total beban pada tanggal 9 Juni 2014 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.
Total beban berdasarkan waktu pada pembangkit interkoneksi Jawa-Bali (9 Juni 2014)

Pukul	Beban (MW)
18.00	13096
19.00	13108
20.00	12863
21.00	12228

A. Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi

1. Hubungan Biaya Bahan Bakar Dan Emisi Dengan Menggunakan Metode Cuckoo Optimization Algorithm

Pada sub-bab ini, akan dijelaskan hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda yang disesuaikan dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan menggunakan metode Cuckoo Optimization Algorithm (COA) dapat dilihat pada Tabel 4.

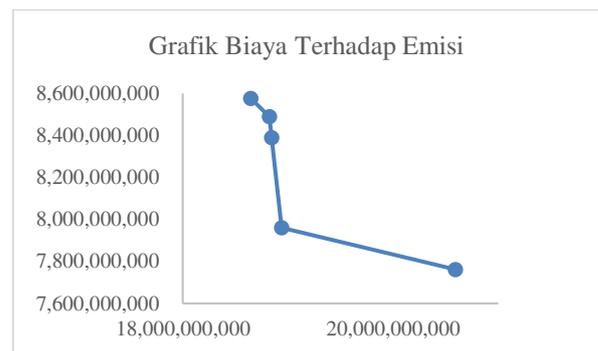
Tabel 4.
Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan Cuckoo Optimization Algorithm

Kondisi	Biaya (Rupiah/4jam)	Emisi NO ₂ (%)
1	18.645.856.084	8.577.297.435
2	18.824.261.922	8.489.371.514
3	18.845.619.232	8.389.904.230
4	18.940.408.685	7.961.175.761
5	20.590.911.053	7.761.934.970

Dari tabel diatas, dapat dilihat pada kondisi pertama yang di pertimbangkan hanya biaya pembangkitan dengan total 18.645.856.084 Rp / 4 Jam dan dengan total emisi 8.557.297.435 gram/4jam. Pada kondisi kedua yang diprioritaskan lebih adalah biaya pembangkitan dari pada emisi dengan total biaya pembangkitan 18.824.261.922 Rp/4jam dan total emisi 8.489.371.514 gram/4jam .

Pada kondisi ketiga total biaya pembangkitan dan total emisi sama-sama diprioritaskan, keduanya memiliki bobot yang sama dengan total biaya pembangkitan sebesar nilai 18.845.619.232 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.389.904.230 gram/4jam. Pada kondisi keempat nilai emisi lebih diprioritaskan untuk di minimalkan dari pada biaya pembangkitan dengan total biaya pembangkitan sebesar 18.940.408.685 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 20.590.911.053 gram/4jam. Pada kondisi kelima nilai emisi paling diprioritaskan dan nilai pembangkitan tidak diperhitungkan sama sekali dengan total biaya pembangkitan sebesar 20.590.911.053 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.761.934.970 gram/4jam.

Sedangkan kurva yang dibentuk dari biaya dan bahan bakar NO₂ pada masing masing kondisi tiap pembobotan yang berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 4.2. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai prioritas pembobot untuk nilai biaya bahan bakar.



Gambar 2. Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan Cuckoo Optimization Algorithm

2. Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi dengan Menggunakan Metode Firefly Algorithm

Berikut akan dijelaskan hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda yang disesuaikan dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan menggunakan metode Firefly Algorithm dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan Firefly Algorithm

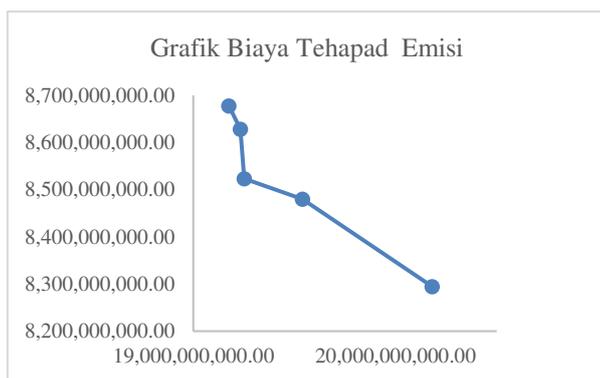
Kondisi	Biaya (Rupiah/4jam)	Emisi NO ₂ (%)
1	19.176.042.873,96	8.677.881.402,00
2	19.233.587.743,28	8.628.485.188,00
3	19.251.392.530,31	8.523.037.291,00
4	19.539.173.481,41	8.480.266.373,00
5	20.181.370.522,79	8.294.551.135,00

Dari tabel diatas, dapat dilihat pada kondisi pertama yang di pertimbangkan hanya biaya pembangkitan dengan

total 19.176.042.873,96 Rp / 4 Jam dan dengan total emisi 8.677.881.402 gram/4jam. Pada kondisi kedua yang diprioritaskan lebih adalah biaya pembangkitan dari pada emisi dengan total biaya pembangkitan 19.233.587.743,28 Rp/4jam dengan total emisi 8.628.485.188.

Pada kondisi ketiga total biaya pembangkitan dan total emisi sama-sama diprioritaskan, keduanya memiliki bobot yang sama dengan total biaya pembangkitan sebesar 19.251.392.530,31 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.523.037.291 gram/4jam. Pada kondisi keempat nilai emisi lebih diprioritaskan untuk di minimalkan dari pada biaya pembangkitan dengan total biaya pembangkitan sebesar 19.253.173.481,41 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.480.266.373 gram/4jam. Pada kondisi kelima nilai emisi paling diprioritaskan dan nilai pembangkitan tidak diperhitungkan sama sekali dengan total biaya pembangkitan sebesar 20.181.370.522,79 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.294.551.135 gram/4jam.

Sedangkan untuk kurva yang dibentuk dari biaya dan bahan bakar NO₂ pada masing masing kondisi tiap pembobotan masing-masing dengan metode *Firefly Algorithm* dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan hasil simulasi dan kurva biaya bahan bakar dan emisi, metode *Cuckoo Optimization Algorithm* cenderung lebih optimal.



Gambar 3. Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan *Firefly Algorithm*

3. Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi dengan Menggunakan Metode *Firefly Algorithm*

Pada sub-bab ini, akan dijelaskan hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda yang disesuaikan dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6.
Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan *Particle Swarm Optimization*.

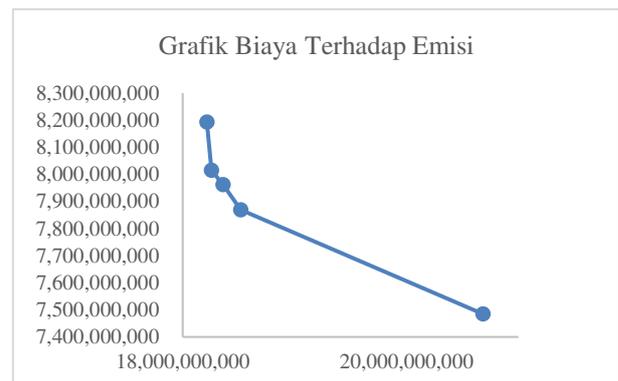
Kondisi	Biaya (Rupiah/4jam)	Emisi NO ₂ (%)
1	18.216.288.250	8.192.906.672
2	18.257.877.005	8.015.324.665
3	18.360.863.935	7.962.234.620
4	18.517.976.626	7.868.965.431
5	20.685.607.923	7.484.509.831

Tabel 6 adalah hasil simulasi total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda sesuai dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Pada kondisi

pertama yang di pertimbangkan hanya biaya pembangkitan dengan total 18.216.288.249,58 Rp / 4 Jam dan dengan total emisi 8.192.906.672 gram/4jam. Pada kondisi kedua yang diprioritaskan lebih adalah biaya pembangkitan dari pada emisi dengan total biaya pembangkitan 18.257.877.005,29 Rp/4jam dengan total emisi 8.015.324.665.

Pada kondisi ketiga total biaya pembangkitan dan total emisi sama-sama diprioritaskan, keduanya memiliki bobot yang sama dengan total biaya pembangkitan sebesar 18.360.863.935 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.962.234.620 gram/4jam. Pada kondisi keempat nilai emisi lebih diprioritaskan untuk di minimalkan dari pada biaya pembangkitan dengan total biaya pembangkitan sebesar 18.517.976.626,02 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.868.965.431 gram/4jam. Pada kondisi kelima nilai emisi paling diprioritaskan dan nilai pembangkitan tidak diperhitungkan sama sekali dengan total biaya pembangkitan sebesar 20.685.607.922,52 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.484.509.831 gram/4jam.

Sedangkan untuk kurva yang dibentuk dari biaya dan bahan bakar NO₂ pada masing masing kondisi tiap pembobotan masing-masing dengan metode *Particle Swarm Optimization* dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil simulasi dan kurva perbandingan antara metode *Cuckoo Optimization Algorithm*, dan metode *Firefly Algorithm* metode PSO ini lebih optimal dibandingkan kedua metode tersebut.



Gambar 4. Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan *Firefly Algorithm*

B. Perbandingan Biaya Bahan Bakar dan Emisi Hasil *Economic Emission Dispatch*

Dari data yang diperoleh pada hasil program, menunjukkan bahwa multi objektif *Economic Emission Dispatch* dapat mengurangi emisi gas NO₂ (Karbon Dioksida), namun semakin berkurangnya emisi, biaya bahan bakar akan semakin naik. Masing-masing hasil prosentase pengurangan emisi menggunakan metode COA, FA dan PSO dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9.

Tabel 7.
Pengurangan Emisi dengan *Cuckoo Optimization Algorithm*

Kondisi	Biaya (Juta/4jam)	Emisi NO ₂ (%)	Emisi Yang Dapat Dikurangi	Penambahan Emisi (%)	Penambahan Biaya (%)
1	0	18.645,85	8.577,29	0	0
0.7	0.2	18.824,21	8.489,37	87,92	1,02
5	5	18.845,61	8.389,94	187,35	2,18
0.5	0.5	18.940,40	7.961,17	616,12	7,18
0.2	0.7	20.590,91	7.761,93	815,36	9,5
5	1				9,44

Tabel 8.
Pengurangan Emisi dengan Metode *Firefly*

Kondisi		Biaya (Juta/ 4jam)	Emisi NO ₂ (%)	Emisi Yang Dapat Dikurangi	Penambahan Emisi (%)	Penambahan Biaya (%)
Wc	Ws					
1	0	19.176,04	8.677,88	0	0	0
0.7	0.25	19.233,58	8.628,48	49,4	0,57	0,25
0.5	0.5	19.251,39	8.523,03	154,85	1,78	0,39
0.2	0.75	19.539,17	8.480,26	197,62	2,28	1,89
0	1	20.181,37	8.294,55	383,33	4,42	5,24

Tabel 9.
Pengurangan Emisi dengan Metode *Particle Swarm Optimization*

Kondisi		Biaya (Juta/ 4jam)	Emisi NO ₂ (%)	Emisi Yang Dapat Dikurangi	Penambah an Emisi (%)	Penambah an Biaya (%)
Wc	Ws					
1	0	18.216,2 9	8.192,9 0	0	0	0
0.7	0.2	18.257,8 8	8.015,3 2	177,58	2,16	0,23
0.5	0.5	18.360,8 6	7.962,2 3	230,67	2,81	0,79
0.2	0.7	18.517,9 8	7.868,9 6	323,94	3,95	1,65
0	1	20.685,6 1	7.282,5 1	708,39	8,64	13,55

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis Economic Dispatch Emission menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* maka pada Penelitian ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. *Cuckoo Optimization Algorithm* dapat digunakan menyelesaikan permasalahan ED Economic Emission Dispatch
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai emisi maka semakin rendah biaya pembangkitan.
3. Hasil simulasi dengan data yang sama dibanding metode *Cuckoo Optimization Algorithm* dengan *Particle Swarm Optimization* lebih optimal menggunakan PSO jika dilihat dari total rata-rata masing-masing kondisi yaitu sebesar 18.807,72 Juta/4 Jam dan total emisi rata 7864,38 untuk PSO dan 19169.39 Rp/Jam dan 8235.94 gram/Jam prioritas yang berbeda.
4. Hasil Simulasi dengan data yang sama dibanding metode *Cuckoo Optimization Algorithm* dengan *Firefly* lebih optimal menggunakan *Cuckoo*. Jika dilihat dari total rata-rata masing-masing kondisi yaitu sebesar . 8.520,84 gram/Jam untuk total emisi dan 19.476,31 Rp/Jam untuk total biaya pembangkitan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.Farhat and M.E.El-Hawary, "Bacterial Foraging Algorithm For Optimum Economic-Emission Dispatch " Power System IEEE Transaction 978-1-45577-4040-8/11/2011/economic dispatch algorithm."
- [2] X. S. Yang and S. Deb, "Cuckoo search via Lévy flights," IEEE, vol. NaBIC 2009, no. In Nature & Biologically Inspired Computing, pp. 210-214, 2009.
- [3] J.H.Talaq, F. El-Hawary and M.E. El-Hawary, "A Summary of environmental/ economic dispatch algorithm" Transaction 978-1-4577-4040-8/11/2012
- [4] Hadi Saadat, "Power System Analysis," WCB McGraw-Hil, New York, 1999
- [5] El- Keib AA, Ma H, JL Hart, "Economic Dispatch in view of the Clean Air Act of 1990," IEEE Trans Power Syst, Vol.9, No. 2, pp.972-978, 1994.