

PEMBAGIAN BEBAN SECARA EKONOMIS PADA PEMBANGKIT *THERMAL* MENGGUNAKAN *CUCKOO OPTIMIZATION ALGORITHM*

Indra Iskandar

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail : indraiskandar@mhs.unesa.ac.id

Unit Three Kartini, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail : unitthree@unesa.ac.id

Abstrak

Economic dispatch (ED) adalah pembagian pembebanan daya pada unit-unit generator dalam sistem tenaga listrik secara optimal dengan biaya pembangkitan yang minimal (ekonomis) (Akbar, dkk. 2016). Pada pengoperasian dan pembangkitan energi listrik, biaya yang dikeluarkan untuk biaya bahan bakar merupakan salah satu biaya yang terbesar yaitu sekitar 60% dari total biaya operasi yang dikeluarkan (Marsudi, 2006). Maka dari itu diperlukan metode yang sangat ekonomis untuk dapat menghemat biaya pembangkitan. Salah satu metode yang diusulkan yakni *Cuckoo Optimization Algorithm*. *Cuckoo Search* merupakan salah satu metode metaheuristik. *Cuckoo Search* terinspirasi dari perilaku unik burung Cuckoo. Yang dan Deb (2009) pertama kali mengembangkan metode ini dengan menggunakan asumsi, Setiap burung Cuckoo hanya meletakkan satu telur pada satu waktu dan meletakkannya pada sarang burung lain yang dipilih secara acak. Lalu Sarang terbaik dengan telur berkualitas tinggi (solusi), akan lolos menuju generasi selanjutnya. Banyaknya sarang yang tersedia tetap, dan peluang telur burung Cuckoo ditemukan oleh burung yang menjadi sasaran parasitnya adalah $Pa \in 0,1$. Jika telur burung Cuckoo ditemukan, maka burung pemilik sarang akan meninggalkan sarangnya dan membuat sarang baru (Muzdalifah, 2016). Metode *Cuckoo Optimization Algorithm* akan di bandingkan dengan metode Iterasi Lambda sebagai pembanding untuk mengetahui apakah metode *Cuckoo Optimization Algorithm* lebih ekonomis. Untuk data beban yang digunakan adalah data yang bersumber dari PT. PLN APB Jawa Timur pada tanggal 28 September 2018. Sedangkan untuk data fungsi biaya di dapat dari PT. PLN P2B Jawa Bali. Hasil penelitian menunjukkan dengan menggunakan metode *Cuckoo Optimization Algorithm* lebih murah 0,66% dari metode iterasi lambda.

Kata Kunci: *Economic Dispatch*, *Cuckoo Optimization Algorithm*, Iterasi Lambda.

Abstract

Economic dispatch (ED) is the division of power load on generator units in the electric power system optimally with minimal generation costs (economical) (Akbar et al. 2016). In the operation and generation of electrical energy, the costs incurred for fuel costs are one of the largest costs, which is about 60% of the total operating costs incurred (Marsudi, 2006). Therefore, a very economical method is needed to save generation costs. One of the proposed methods is *Cuckoo Optimization Algorithm*. *Cuckoo Search* is one of the metaheuristic methods. *Cuckoo Search* is inspired by the unique behavior of Cuckoo birds. Yang and Deb (2009) first developed this method using assumptions. Each Cuckoo only puts one egg at a time and places it in another randomly chosen nest of birds. Then the best nests with high quality eggs (solution), will pass to the next generation. The number of nests available remains, and the chances of Cuckoo bird eggs found by birds that are targeted by parasites are $Pa \in 0.1$. If a Cuckoo egg is found, then the nesting bird will leave the nest and make a new nest (Muzdalifah, 2016). The *Cuckoo Optimization Algorithm* method will be compared with the *Lambda Iteration* method as a comparison to find out whether the *Cuckoo Optimization Algorithm* method is more economical. For load data used are data sourced from PT. PLN APB East Java on September 28, 2018. Whereas for the data on cost functions obtained from PT. PLN Java P2B Bali. The results showed by using the *Cuckoo Optimization Algorithm* method of 0.66% cheaper than the *lambda iteration* method.

Keywords: *Economic Dispatch*, *Cuckoo Optimization Algorithm*, *Lambda Iteration*.

PENDAHULUAN

Pada pengoperasian dan pembangkitan energi listrik, biaya yang dikeluarkan untuk biaya bahan bakar merupakan salah satu biaya yang terbesar yaitu sekitar 60% dari total biaya operasi yang dikeluarkan (Marsudi, 2006). Sehingga untuk meminimalisasi biaya operasi dapat dilakukan dengan cara menekan atau meminimalisasi biaya bahan bakar. Untuk menekan biaya

bahan bakar maka diupayakan semaksimal mungkin agar pembagian beban bisa dilakukan secara tepat dan bisa menekan biaya bahan bakar.

Pada sisi lain permintaan daya selalu mengalami fluktuasi, sehingga biaya bahan bakar juga mengalami fluktuasi yang sama. Korelasi antara permintaan beban dan biaya bahan bakar biasa disebut dengan karakteristik *input-output*. Karena fluktuasi yang sangat sulit

diprediksi dan selalu berubah ubah maka diperlukan suatu sistem yang sangat cepat untuk mengatasi dan merespon hal tersebut.

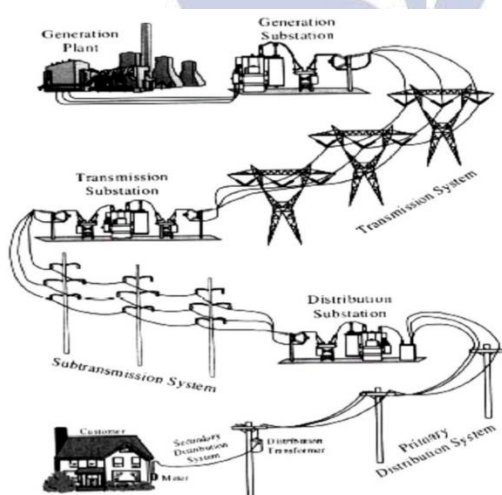
Maka dari itu dibutuhkan pembagian beban yang tepat untuk dapat menekan biaya bahan bakar. Permasalahan ini disebut juga dengan *Economic Dispatch* atau ED. Dimana ED sendiri juga memiliki batasan batasan tersendiri. Diantaranya adalah pembangkitan minimum dan maksimum setiap pembangkit.

Penelitian ini membandingkan antara metode yang bersifat underministik yaitu *Cuckoo Optimization Algorithm* dan metode determenistik yaitu Iterasi lambda. Metode *Cuckoo Optimization Algorithm* merupakan kecerdasan buatan yang relatif baru karena di publish pertama kali tahun 2009, yang hal itu juga menjadi dasar pemilihan *Cuckoo Optimization Algorithm* sebagai kecerdasan buatan yang akan diaplikasikan untuk menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* ini.

KAJIAN TEORI

Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik (Suswanto. 2009) Komponen-komponen tersebut saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Skema sistem tenaga listrik
(Suswanto. 2009)

Pembangkit Tenaga Listrik

Pada pembangkitan tenaga listrik terdapat proses perubahan sumber energi primer menjadi energi listrik. Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda, sesuai dengan penggerak mulanya (*prime mover*). Satu hal yang sama pada pembangkit tenaga listrik adalah semuanya berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan cara mengubah potensi energi mekanik yang berasal dari air, uap, gas, panas bumi, nuklir, kombinasinya (Afandi. 2005).

Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan koridor yang harus dilalui dalam penyaluran energi listrik. Saluran transmisi biasanya dinyatakan menggunakan rangkaian ekuivalen (Sudirham. 2012).

Tegangan pada generator besar biasanya berkisar antara 13,8 KV dan 24 KV, tetapi generator besar yang modern tegangannya bervariasi antara 18 dan 24 KV, tegangan dinaikan ke tingkat yang dipakai untuk transmisi yaitu 30KV, 70KV dan 150KV. Tegangan Ekstra tinggi (*Extra high voltage-UHV*) adalah 500 KV sampai 765 KV (Afandi. 2005).

Jaringan Distribusi

Prinsip kerja dari sistem tenaga listrik di mulai dari bagian pembangkitan kemudian disalurkan melalui sistem jaringan transmisi pada gardu induk dan dari gardu induk disalurkan serta dibagi-bagi kepada pelanggan melalui saluran distribusi. Untuk melayani daerah perkotaan dan pedesaan perlu di tingkatkan pula pembangunan jaringan distribusi sehingga terjadi pemerataan pemakaian energi listrik (Afandi. 2005).

Beban

Beban (pengguna/pelanggan) mengambil energi listrik dari jaringan. Ada hal-hal yang harus dipenuhi dalam melayani beban ini (Sudirham. 2012).

- Tegangan harus konstan, tidak naik-turun.
- Frekuensi harus konstan.
- Bentuk gelombang tegangan sedapat mungkin sinusoidal

Operasi Sistem Tenaga Listrik

Operasi sistem tenaga merupakan suatu proses operasi untuk menghasilkan daya listrik mulai dari suatu pembangkitan, penyaluran transmisi, distribusi sampai ke beban konsumen. Pada dasarnya, operasi sistem tenaga listrik meliputi beberapa aspek yaitu karakteristik pembangkit tenaga listrik, *economic dispatch*, *Unit Commitment*, serta koordinasi *hidro-thermal* (Pertiwi, dkk. 2018).

Beberapa aspek tersebut bertujuan untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik secara efisien. Operasi sistem tenaga listrik juga mempertimbangkan keandalan yang dapat memenuhi standar keamanan lingkungan serta dapat melayani permintaan secara terus menerus. (Syahrizal, dkk. 2018).

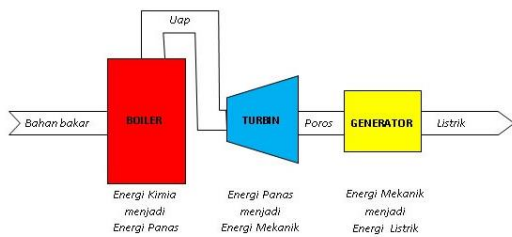
Dalam operasi sistem tenaga listrik, biaya bahan bakar umumnya akan menjadi biaya yang paling besar yang dikeluarkan oleh suatu penyedia tenaga listrik. Untuk menekan hal ini maka diperlukan konfigurasi pembangkitan yang sesuai dengan permintaan beban. Dan juga dilakukan operasi ekonomis dari setiap pembangkit sesuai dengan karakteristik pembangkit yang ada. Sehingga biaya bahan bakar akan menjadi lebih kecil. Hal ini disebabkan setiap perubahan konfigurasi pembangkitan akan mengakibatkan berubahnya biaya bahan bakar yang digunakan (Syahrizal, Siregar. 2018)

Pembangkit Listrik Tenaga *Thermal*

Pembangkit listrik tenaga *thermal* (PLTT) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi panas menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan energi dari pembakaran dari suatu zat, dimana zat tersebut menghasilkan energi dalam bentuk aliran tekanan untuk menggerakkan turbin generator untuk menghasilkan energi listrik (Indriani, 2006)

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Proses konversi energi pada PLTU (<https://rakhman.net>)

Karakteristik *input output* pembangkit termal adalah karakteristik yang mendeskripsikan hubungan antara *input* yang berupa bahan bakar (liter/jam) dan *output* yang dihasilkan oleh pembangkit (MW) (Syahrizal, dkk. 2018). Biaya pengoperasian pembangkit tenaga listrik khususnya biaya bahan bakar yang digunakan digambarkan dalam fungsi kuadrat dari daya aktif yang dibangkitkan pada generator. hubungan antara *input* bahan bakar terhadap daya *output* yang dihasilkan pembangkit dapat dirumuskan dengan persamaan 1 berikut (Pertiwi, dkk. 2018):

$$H_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

Dengan:

H_i = *Input* bahan bakar pembangkit termal ke-*i*

P_i = *Output* Pembangkit termal ke-*i* (MW)

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = Konstanta *input-output* pembangkit termal ke-*i*

Dari bentuk persamaan *input output* ini maka akan dapat dilakukan analisis dan optimasi pada pembangkit listrik tenaga *thermal* yang ada.

Pembangkit Listrik *Thermal* Yang Ada Di Jawa Timur

Pembangkit listrik *thermal* yang ada di Jawa Timur ada 3, antara lain adalah Paiton, Gersik, dan Grati.

Paiton

Ada 3 unit pembangkitan yang ada di Paiton antara lain adalah :

1. PT. Paiton energy dengan kapasitas total 2.045 MW (Paiton Energy, 2019)
2. PT. PJB dengan kapasitas total 800 MW (PJB, 2018)
3. PT. Jawa Power dengan kapasitas 1.220 MW (Jawa Power, 2019)

Gersik

Pembangkit ini mengoperasikan 2 PLTG, 4 PLTU, dan 3 blok PLTGU dengan total kapasitas 2.218 MW. (PJB, 2018)

Grati

Unit Pembangkitan & Jasa Pembangkitan (UPJP) Perak Grati berlokasi di Pasuruan, Jawa Timur. UPJP Perak Grati mengelola 2 sub unit yaitu Perak & Grati yang mengoperasikan Pusat Listrik Tenaga Gas & Uap (PLTGU) dan Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) dengan total kapasitas terpasang sebesar 764 MW. (Indonesia Power, 2018)

Economic Dispatch

Economic dispatch (ED) adalah pembagian pembebanan daya pada unit-unit generator dalam sistem tenaga listrik secara optimal dengan biaya pembangkitan yang minimal (ekonomis) (Akbar, dkk. 2016). *Economic Dispatch* adalah salah satu permasalahan sistem tenaga dimana analisis aliran daya optimal dilakukan untuk meminimalkan biaya pembangkitan (Violita, dkk. 2012).

Cuckoo Search

Penelitian ini menggunakan metode methauristik *Cuckoo search* yaitu metode yang diadaptasi dari cara burung kukuk memilih sarang terbaik untuk meletakkan telur dan menghasilkan generasi baru. Generasi itu merupakan solusi terbaik untuk nilai fitness yang terbaik (Rahmatullah, dkk. 2017).

Yang dan Deb (2009) pertama kali mengembangkan metode ini dengan menggunakan asumsi (Muzdalifah. 2016):

1. Setiap burung Cuckoo hanya meletakkan satu telur pada satu waktu dan meletakkannya pada sarang burung lain yang dipilih secara acak.
2. Sarang terbaik dengan telur berkualitas tinggi (solusi), akan lolos menuju generasi selanjutnya.
3. Banyaknya sarang yang tersedia tetap, dan peluang telur burung Cuckoo ditemukan oleh burung yang menjadi sasaran parasitnya adalah $P_a \in 0,1$. Jika telur burung Cuckoo ditemukan, maka burung pemilik sarang akan meninggalkan sarangnya dan membuat sarang baru.

Untuk menentukan nilai awal ditentukan dengan nilai random. Dan untuk penentuan nilai dapat menggunakan bantuan dari persamaan Lévy flights seperti pada persamaan 2 (Yang & Deb. 2010).

$$X_i^{(t+1)} = X_i^{(t)} + \alpha \oplus \text{Lévy}(\lambda) \quad (2)$$

X = Hasil (Output)
 i = Iterasi
 t = Nest

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian skripsi ini adalah pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif adalah penelitian yang analisisnya lebih fokus pada data-data numerikal (angka) yang diolah dengan menggunakan metode statistika. Pada penelitian ini data yang dikumpulkan bersumber dari sumber data yang ada di Jawa Timur. Sehingga hasil *output* dari penelitian ini bisa dipertanggungjawabkan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penjadwalan yang ekonomis terhadap pembagian daya listrik ke sejumlah generator pembangkit sehingga total biaya pembangkitan minimum.

Sumber Data dan Data Penelitian

Sumber data primer yang rencananya akan dibahas dan dianalisis pada penelitian ini adalah bersumber dari pembangkit sistem kelistrikan 150 KV Jawa Timur. Data yang diambil merupakan data kuantitatif. Pengumpulan data penelitian kuantitatif merupakan pengumpulan data yang datanya bersifat angka – angka statistik yang dapat di kuantifikasi. Data yang diambil antara lain, data karakteristik pembangkit, data permintaan total beban dan fungsi biaya dari setiap pembangkit.

Sumber data yang diambil pada penelitian ini adalah data *real* yang didapat dari P2B Jawa Bali dan juga APB Jawa Timur, sehingga penelitian ini memiliki data yang valid.

Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data adalah salah satu komponen yang harus ada dalam sebuah penelitian. Instrumen pengumpulan data berfungsi sebagai alat yang bisa kita gunakan untuk mendukung proses pengambilan data. Dengan kata lain instrumen pengumpulan data adalah sarana kita agar dapat melakukan pengumpulan data dengan lebih baik. Instrumen pengumpulan data pada penelitian ini adalah :

1. Instrumen pokok dalam penelitian ini adalah peneliti sendiri.
2. Instrumen selanjutnya adalah Tabel data penelitian.

Teknik Pengumpulan Data

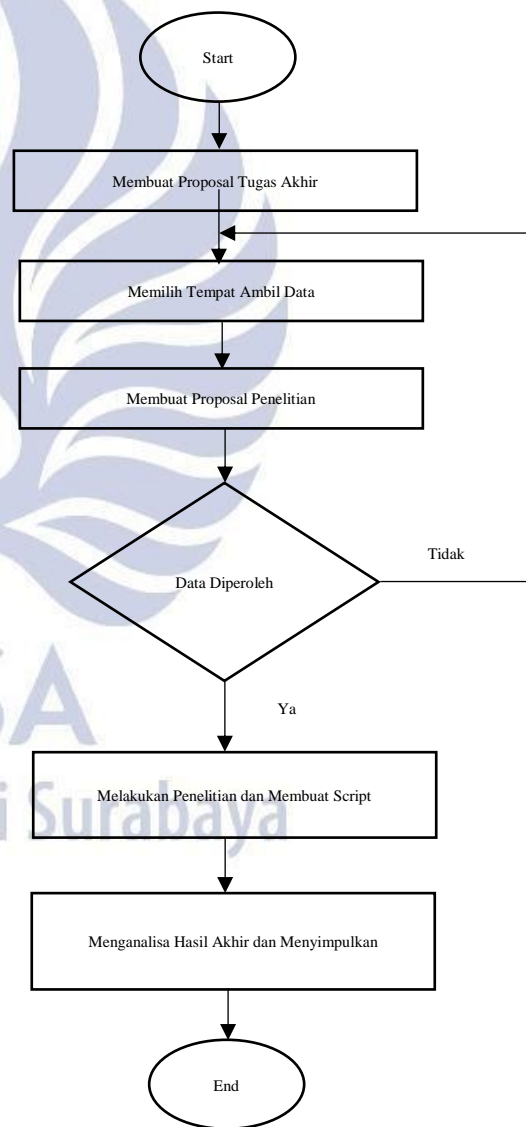
Dalam penelitian skripsi ini, penulis menggunakan teknik pengumpulan data observasi. Penulis mengambil jenis teknik pengumpulan data ini karena dianggap akan mempermudah dalam proses pengambilan data

Teknis Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik analisis dengan bantuan software. Pada penelitian ini software yang digunakan adalah MATLAB 2013.

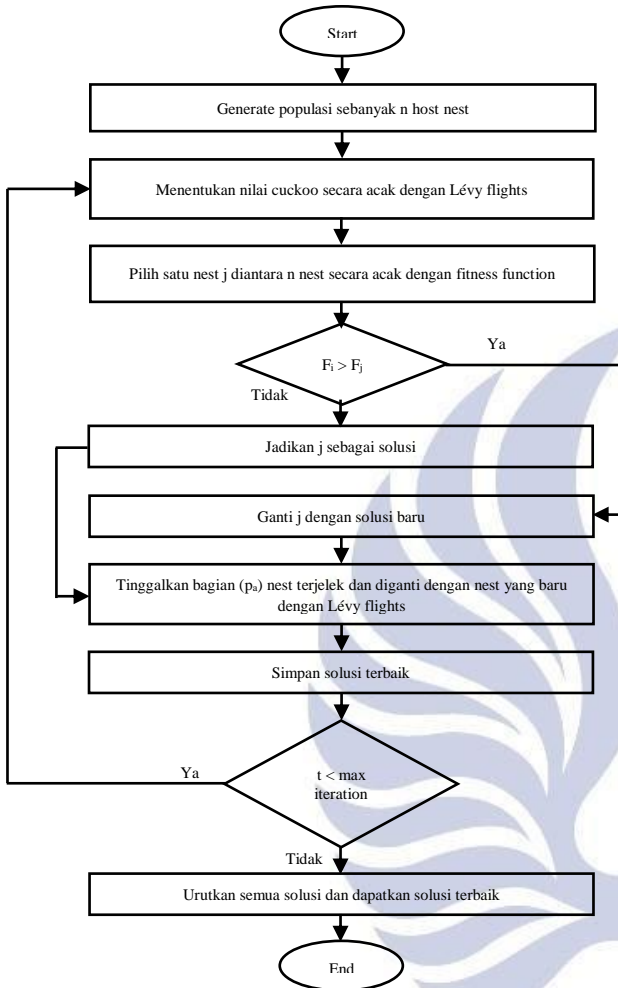
Dan di dalam software MATLAB sendiri penulis menjadikan sebuah program yang berdasarkan kepada Artificial Intelligence atau biasa disebut dengan kecerdasan buatan. Disebut kecerdasan buatan karena hasil *output* yang dapat di berikan dengan sangat cepat dan juga akurat sesuai dengan algoritma yang dimasukkan. Kecerdasan buatan yang digunakan penulis adalah *Cuckoo Search*.

Untuk membantu dalam memahami proses olah data yang dilakukan maka dibuatlah *flowchart* dari proses penelitian yang dilakukan penulis seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. *Flowchart* penelitian (Sumber :Data Penelitian, 2019)

Untuk membantu memahami proses dari metode cuckoo search algorithm, maka dibuatlah *flowchart* dari *cuckoo search algorithm*. *Flowchart* tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



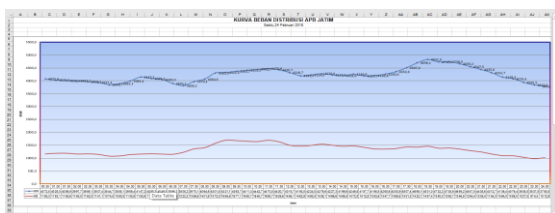
Gambar 5. *Flowchart* pembagian beban pembangkit *thermal* dengan *cuckoo optimization algorithm* (Sumber :Data Penelitian, 2019)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

1. Pengumpulan Data

Pada Gambar 6 adalah kurva beban (28 September 2018) dari sistem Jawa Timur per 30 menit.



Gambar 6. Kurva Beban Harian Jawa Timur (Area Pembagi Beban Jawa Timur. 2018)

Pada Tabel 1 akan diterangkan terkait fungsi biaya pembangkit yang ada pada pembangkit *thermal* Jawa Timur. Dimana sumbu x mewakili waktu (Jam) dan sumbu Y mewakili total beban (MWh).

Tabel 1. Fungsi Biaya Pembangkit *Thermal* Jawa Timur

Pembangkit	A	B	C	P _{min}	P _{max}
Paiton	08220765,38	0037370,67 P	052,19 P ²	1425 MW	4065 MW
Grati	86557397,40	2004960,63 P	533,92 P ²	150 MW	764 MW
Gresik	13608770,96	0777148,77 P	132,15 P ²	238 MW	2218 MW

(Sumber: Pusat Pengatur Beban Jawa Bali, 2018)

2. Aplikasi Program

Aplikasi yang digunakan pada skripsi ini adalah aplikasi MATLAB 2013. Dipilih karena mudah untuk dimengerti dan kompatibel dengan *device* yang digunakan oleh penulis. Untuk program *Cuckoo Optimization Algorithm* akan menggunakan parameter-parameter yakni :

1. Nest (Sarang) = 15
2. Iterasi = 150
3. P_a (Probabilitas alien egg) = 0,25

3. Hasil

Dari program diatas maka dihasilkan biaya pembangkitan minimum untuk setiap pembangkit seperti Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil pembagian beban menggunakan *cuckoo search algorithm*

Waktu ke	Total	Paiton	Grati	Gersik	Rp
1	4072.77 MW	3684.70 MW	150.00 MW	238.07 MW	Rp. 729965992.20
2	4025.02 MW	3636.81 MW	150.00 MW	238.21 MW	Rp. 719980095.51
3	4006.93 MW	3618.85 MW	150.01 MW	238.08 MW	Rp. 716195040.88
4	3997.73 MW	3609.69 MW	150.01 MW	238.02 MW	Rp. 714281830.27
5	3959.09 MW	3571.07 MW	150.01 MW	238.00 MW	Rp. 706315802.37
6	3937.40 MW	3548.79 MW	150.05 MW	238.56 MW	Rp. 702034752.72
7	3844.69 MW	3456.68 MW	150.00 MW	238.01 MW	Rp. 683188456.90
8	3885.12 MW	3497.05 MW	150.00 MW	238.07 MW	Rp. 691295013.43
9	3989.42 MW	3601.37 MW	150.01 MW	238.04 MW	Rp. 712563326.84
10	4147.23 MW	3759.21 MW	150.01 MW	238.01 MW	Rp. 745817334.36
11	4085.34 MW	3697.29 MW	150.02 MW	238.03 MW	Rp. 732630382.22
12	4049.00 MW	3660.71 MW	150.04 MW	238.25 MW	Rp. 725037390.94
13	3896.16 MW	3508.15 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 693504830.47
14	3808.18 MW	3420.00 MW	150.06 MW	238.12 MW	Rp. 676033100.03
15	3970.11 MW	3581.83 MW	150.00 MW	238.28 MW	Rp. 708626166.97
16	4064.59 MW	3676.54 MW	150.02 MW	238.04 MW	Rp. 728250191.82
17	4301.47 MW	3913.07 MW	150.08 MW	238.33 MW	Rp. 779704726.94

Lanjutan Tabel 2

18	4321.08 MW	3933.01 MW	150.01 MW	238.06 MW	Rp. 783969096.26
19	4363.74 MW	3975.70 MW	150.01 MW	238.04 MW	Rp. 793566336.76
20	4411.30 MW	4023.23 MW	150.00 MW	238.08 MW	Rp. 804389251.62
21	4442.73 MW	4054.69 MW	150.01 MW	238.03 MW	Rp. 811600061.85
22	4470.81 MW	4082.72 MW	150.00 MW	238.09 MW	Rp. 818086893.94
23	4420.69 MW	4032.61 MW	150.01 MW	238.06 MW	Rp. 806540243.40
24	4318.75 MW	3930.72 MW	150.01 MW	238.03 MW	Rp. 783442806.63
25	4193.48 MW	3805.43 MW	150.01 MW	238.04 MW	Rp. 755814671.25
26	4224.01 MW	3835.80 MW	150.01 MW	238.20 MW	Rp. 762508536.46
27	4276.61 MW	3888.53 MW	150.02 MW	238.05 MW	Rp. 774073368.05
28	4227.34 MW	3839.18 MW	150.00 MW	238.16 MW	Rp. 763223596.53
29	4199.60 MW	3811.47 MW	150.05 MW	238.08 MW	Rp. 757187814.76
30	4249.82 MW	3861.75 MW	150.01 MW	238.06 MW	Rp. 768150174.92
31	4187.74 MW	3799.73 MW	150.00 MW	238.01 MW	Rp. 754556197.58
32	4198.80 MW	3810.72 MW	150.05 MW	238.03 MW	Rp. 757010494.68
33	4260.61 MW	3872.47 MW	150.02 MW	238.13 MW	Rp. 770545830.30
34	4353.90 MW	3965.82 MW	150.03 MW	238.05 MW	Rp. 791370023.06
35	4507.36 MW	4119.33 MW	150.00 MW	238.03 MW	Rp. 826581556.66
36	4698.05 MW	4145.00 MW	150.01 MW	403.04 MW	Rp. 903718194.42
37	4830.95 MW	4144.98 MW	150.05 MW	535.92 MW	Rp. 963633984.79
38	4732.16 MW	4144.96 MW	150.01 MW	437.20 MW	Rp. 918875100.32
39	4738.86 MW	4144.98 MW	150.01 MW	443.87 MW	Rp. 921861883.94
40	4659.23 MW	4145.00 MW	150.01 MW	364.23 MW	Rp. 886663803.61
41	4547.49 MW	4144.98 MW	150.01 MW	252.50 MW	Rp. 838695393.96
42	4435.61 MW	4047.49 MW	150.00 MW	238.11 MW	Rp. 809967670.75
43	4312.73 MW	3924.35 MW	150.01 MW	238.37 MW	Rp. 782163162.71
44	4139.39 MW	3751.30 MW	150.02 MW	238.07 MW	Rp. 744153636.06
45	4079.39 MW	3691.35 MW	150.01 MW	238.04 MW	Rp. 731367127.86
46	3935.52 MW	3547.42 MW	150.00 MW	238.09 MW	Rp. 701505931.81
47	3837.53 MW	3449.46 MW	150.00 MW	238.07 MW	Rp. 681781247.23
48	3785.54 MW	3397.53 MW	150.01 MW	238.01 MW	Rp. 671508967.65

(Sumber: Data penelitian, 2019)

Sedangkan untuk hasil yang ditunjukkan oleh iterasi lambda adalah seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pembagian beban menggunakan iterasi lambda

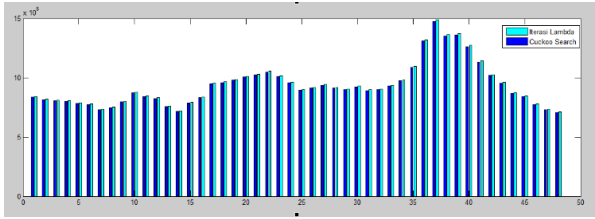
Waktu					
ke	Total	Paiton	Grati	Gersik	Rp
1	4072.77 MW	3694.74 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 732057529.34
2	4025.02 MW	3646.98 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 722016641.06
3	4006.93 MW	3628.90 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 718244652.97
4	3997.73 MW	3619.63 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 716318703.13
5	3959.09 MW	3580.99 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 708336453.98

Lanjutan Tabel 3

6	3937.40 MW	3559.30 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 703890430.49
7	3844.69 MW	3466.65 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 685172535.33
8	3885.12 MW	3507.09 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 693286880.07
9	3989.42 MW	3611.32 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 714596525.41
10	4147.23 MW	3769.20 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 747951512.05
11	4085.34 MW	3707.31 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 734720606.26
12	4049.00 MW	3670.96 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 727044470.01
13	3896.16 MW	3518.13 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 695516315.88
14	3808.18 MW	3430.15 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 677920774.96
15	3970.11 MW	3592.01 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 710604628.15
16	4064.59 MW	3686.56 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 730329576.09
17	4301.47 MW	3923.44 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 781796738.34
18	4321.08 MW	3943.04 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 786186471.35
19	4363.74 MW	3985.70 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 795810572.07
20	4411.30 MW	4033.27 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 806652873.70
21	4442.73 MW	4064.70 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 813881527.54
22	4470.81 MW	4092.77 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 820381692.21
23	4420.69 MW	4042.65 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 808805608.76
24	4318.75 MW	3940.72 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 785664532.20
25	4193.48 MW	3815.44 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 757968754.59
26	4224.01 MW	3845.97 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 764643284.62
27	4276.61 MW	3898.57 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 776256117.06
28	4227.34 MW	3849.31 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 765375459.27
29	4199.60 MW	3821.56 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 759303431.40
30	4249.82 MW	3871.79 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 770324293.44
31	4187.74 MW	3809.70 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 756719411.95
32	4198.80 MW	3820.76 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 759128624.35
33	4260.61 MW	3882.58 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 772709258.09
34	4353.90 MW	3975.86 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 793582679.38
35	4507.36 MW	4129.32 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 828907077.69
36	4698.05 MW	4145.00 MW	150.00 MW	412.97 MW	Rp. 908100769.34
37	4830.95 MW	4145.00 MW	150.00 MW	545.87 MW	Rp. 968159998.01
38	4732.16 MW	4145.00 MW	150.00 MW	447.07 MW	Rp. 923286855.47
39	4738.86 MW	4145.00 MW	150.00 MW	453.77 MW	Rp. 926291569.59
40	4659.23 MW	4145.00 MW	150.00 MW	374.15 MW	Rp. 890995844.01
41	4547.49 MW	4145.00 MW	150.00 MW	262.42 MW	Rp. 842880260.65
42	4435.61 MW	4057.57 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 812237401.51
43	4312.73 MW	3934.70 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 784314926.04
44	4139.39 MW	3761.35 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 746263974.39
45	4079.39 MW	3701.36 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 733460245.71
46	3935.52 MW	3557.42 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 703504798.15
47	3837.53 MW	3459.50 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 683745380.56
48	3785.54 MW	3407.51 MW	150.00 MW	238.00 MW	Rp. 673457949.00

(Sumber: Data penelitian, 2019)

Jika dilihat dalam grafik yang dihasilkan pada Gambar 7. Disana terlihat bahwa hasil dari *Artificial Intelligence Cuckoo Search* hampir berhimpitan satu sama lain dengan *Iterasi Lambda*. Hal ini dikarenakan perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar.



Gambar 7. Grafik *Output Cuckoo Optimization Algorithm* dan *Iterasi Lambda*.
(Sumber: Data penelitian, 2019)

Pembahasan

Total biaya yang dibutuhkan untuk pembangkitan pada waktu ke-1 adalah Rp. 729965992.20. Dari hasil diatas maka dapat kita lihat bahwa semakin tinggi beban yang diminta maka semakin tinggi pula biaya yang harus dikeluarkan. Selain itu dengan pembagian beban yang berbeda beda dapat mempengaruhi biaya pembangkitan.

Untuk mengukur persentase keunggulan metode *Cuckoo Optimization Algorithm* maka akan digunakan metode MAPE (*Mean Absolute Percent Error*). Setelah itu maka didapatkan persentase keunggulan metode *Cuckoo Optimization Algorithm* dibandingkan dengan *iterasi lambda* seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perbandingan *cuckoo search algorithm* dan *iterasi lambda*

Waktu ke	Total Cuckoo	Total Iterasi Lambda	Persentase Keunggulan
1	Rp. 837099919.75	Rp. 841832782.78	0.56%
2	Rp. 814474613.95	Rp. 819151614.90	0.57%
3	Rp. 805983792.19	Rp. 810636961.33	0.57%
4	Rp. 801681565.60	Rp. 806321560.97	0.58%
5	Rp. 783734165.97	Rp. 788320185.44	0.58%
6	Rp. 773747352.40	Rp. 778309908.44	0.59%
7	Rp. 731753189.49	Rp. 736184702.23	0.60%
8	Rp. 749928753.31	Rp. 754419488.85	0.60%
9	Rp. 797807532.00	Rp. 802436224.75	0.58%
10	Rp. 872980309.26	Rp. 877813804.84	0.55%
11	Rp. 843106193.84	Rp. 847855756.97	0.56%
12	Rp. 825799759.66	Rp. 830500321.64	0.57%
13	Rp. 754926863.23	Rp. 759429395.37	0.59%
14	Rp. 715531161.56	Rp. 719923346.82	0.61%
15	Rp. 788831706.79	Rp. 793427243.67	0.58%
16	Rp. 833203938.50	Rp. 837930269.91	0.56%
17	Rp. 949638135.23	Rp. 954673700.98	0.53%
18	Rp. 959604427.31	Rp. 964661206.22	0.52%

Lanjutan Tabel 4

19	Rp. 981472783.75	Rp. 986588968.55	0.52%
20	Rp. 1006138300.96	Rp. 1011321059.57	0.51%
21	Rp. 1022599671.22	Rp. 1027820540.91	0.51%
22	Rp. 1046801136.39	Rp. 1057636778.07	1.02%
23	Rp. 1011039216.70	Rp. 1016223141.03	0.51%
24	Rp. 958419161.01	Rp. 963471589.85	0.52%
25	Rp. 895634065.91	Rp. 900521776.24	0.54%
26	Rp. 910744912.94	Rp. 915678678.79	0.54%
27	Rp. 937066461.26	Rp. 942070901.30	0.53%
28	Rp. 912403315.20	Rp. 917343601.97	0.54%
29	Rp. 898654670.58	Rp. 903554458.81	0.54%
30	Rp. 923616648.82	Rp. 928585693.97	0.54%
31	Rp. 892807065.13	Rp. 897696760.92	0.54%
32	Rp. 898259022.02	Rp. 903157228.62	0.54%
33	Rp. 929023123.60	Rp. 933997987.72	0.53%
34	Rp. 976408266.09	Rp. 981507825.58	0.52%
35	Rp. 1087055868.82	Rp. 1098088318.88	1.00%
36	Rp. 1308633814.20	Rp. 1320669205.25	0.91%
37	Rp. 1474542469.39	Rp. 1487279441.55	0.86%
38	Rp. 1350319240.65	Rp. 1362539435.74	0.90%
39	Rp. 1358577965.27	Rp. 1370829249.45	0.89%
40	Rp. 1261954873.71	Rp. 1273790004.35	0.93%
41	Rp. 1132075679.41	Rp. 1143319013.09	0.98%
42	Rp. 1018854451.64	Rp. 1024063364.87	0.51%
43	Rp. 955354696.52	Rp. 960409647.54	0.53%
44	Rp. 869166978.38	Rp. 873984039.22	0.55%
45	Rp. 840263306.21	Rp. 845011565.02	0.56%
46	Rp. 772881463.41	Rp. 777437416.12	0.59%
47	Rp. 728559058.80	Rp. 732984479.19	0.60%
48	Rp. 705558227.95	Rp. 709919967.89	0.61%

(Sumber: Data penelitian, 2019)

Tabel 5. Total hasil *cuckoo search algorithm* dan *iterasi lambda*

Jenis Metode	Total
<i>Cuckoo</i>	Rp. 36803816330.80
<i>Iterasi Lambda</i>	Rp. 36918806615.64

(Sumber: Data penelitian, 2019)

Pada Tabel 5 kita dapat melihat total biaya yang dibutuhkan setiap metode dalam waktu 24 jam. Sehingga kita dapat mengetahui total biaya yang dibutuhkan metode *cuckoo search algorithm* dan metode *iterasi lambda* dalam satu hari dengan kebutuhan beban yang sama persis.

Tabel 6. Total keunggulan *cuckoo search algorithm* terhadap iterasi lambda

Total Keunggulan	
Biaya	Rp. 114.990.284,84
Persentase rata – rata keunggulan	0,66%

(Sumber: Data penelitian, 2019)

Pada Tabel 6, kita akan tahu bahwa metode *Cuckoo Optimization Algorithm* lebih murah 0.66% dari metode Iterasi *Lambda*. Dan untuk total keunggulan harga metode *Cuckoo Optimization Algorithm* di banding dengan metode iterasi *lambda* adalah Rp. 114.990.284,84

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa metode *Cuckoo Optimization Algorithm* sudah berhasil untuk mengoptimasi biaya pembangkitan. Terbukti jika dibandingkan iterasi lambda yang selama ini ada, metode *Cuckoo Optimization Algorithm* bisa menghasilkan biaya yang lebih murah dengan rata rata 0.66%, yaitu bisa menghemat hingga Rp. 114.990.284,84 dalam waktu 24 Jam.

Saran

Untuk peneliti selanjutnya diharapkan melakukan perhitungan dengan hati – hati, menggunakan *device* yang mampu untuk menjalankan simulasi program ini, menggunakan data *real* yang ada di lapangan, dan yang terakhir dapat ditingkatkan menjadi *Dynamic Economic Dispatch* (DED) agar lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, D. L., Penangsang, O., & Aryani, N. K. 2016. *Dynamic Economic Dispatch* dengan Mempertimbangkan Kerugian Transmisi Menggunakan Metode *Sequential Quadratic Program*. Jurnal Teknik ITS. Vol. 5(2):hal. B283-B288.
- Afandi, A. N. 2005. Sistem Tenaga Listrik, Operasi Sistem dan Pengendalian.
- Area Pembagi Beban Jawa Timur, 2018. Data Perusahaan Area Pembagi Beban Jawa Timur.
- Jawa Power. 2018. About us di <http://www.jawapower.co.id/about-us-2/> (Diakses 6 April 2019)
- Indonesia Power. 2018. Unit pembangkita perak dan grati di <https://www.indonesiapower.co.id/id/produk-dan-layanan/produk/Pages/Unit-Pembangkitan-Perak-dan-Grati.aspx> (Diakses 6 April 2019)
- Indriani, A. 2006. Optimasi Penjadwalan Unit Pembangkit *Thermal* dengan Dynamics Programming. In Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI).
- Marsudi, D. 2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Muzdalifah, L. 2016. Binary *Cuckoo Search* Untuk Optimasi Portofolio Dengan Kendala Cardinality.
- AdMathEdu: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Ilmu Matematika dan Matematika Terapan. Vol. 6(1).
- Paiton Energy. 2019. About Us di http://www.paitonenergy.com/id_ID/about-us/ (Diakses 6 April 2019)
- Pertiwi PT.PJB. 2018. Unit Pembangkit di <https://www.ptpjb.com/unit-pembangkitan/> (Diakses 6 April 2019)
- Pusat Pengatur Beban Jawa Bali, 2018. Data Perusahaan Unit Induk Pusat Pengatur Beban.
- Rahmatullah, A. D., Wibowo, R. S., & Fahmi, D. 2017. Pendekatan Dengan *Cuckoo Optimization Algorithm* Untuk Solusi Permasalahan *Economic Emission Dispatch*. Jurnal Teknik ITS. Vol. 6(1): hal. 176-180.
- Rakhman. 2018. Fungsi Kerja PLTU di <https://rakhman.net/power-plants-id/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/> (Diakses 6 April 2019)
- Sudirham, S. 2012. Analisis Sistem Tenaga. Bandung: Darpublic.
- Suswanto, D. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Universitas Negeri Padang.
- Syahrizal, S., & Siregar, R. H. 2018. Analisa *Economic Dispatch* Pada Unit Pembangkit Menggunakan Metode Iterasi Lambda Berdasarkan Base Point And Participation Factors. Karya Ilmiah Teknik Elektro, Vol. 3(2): hal. 24-29.
- Violita, A., Priyadi, A., & Robandi, R. 2012. Optimisasi *Economic Dispatch* pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali 500 kV menggunakan *Differential Evolutionary Algorithm*. Jurnal Teknik ITS. Vol. 1(1): hal. B115-B118.
- Yang, X. S., & Deb, S. 2009. *Cuckoo search via Lévy flights*. In *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on* (pp. 210-214). IEEE.