

Optimasi Penjadwalan Ekonomis Pembangkit Pada Sistem Tenaga Menggunakan Algoritma ABC

Haripuddin¹, Sugeng A karim², Edi Suhardi Rahman³

¹ Universitas Negeri Makassar, haripuddin@unm.ac.id

² Universitas Negeri Makassar, sugengakarim@yahoo.com

³ Universitas Negeri Makassar, edisuhardi@unm.ac.id

Abstrak— Pada umumnya sistem tenaga listrik disalurkan dari pembangkit tenaga listrik menuju ke pusat beban melalui saluran transmisi dan distribusi. Letak pusat pembangkit tenaga listrik tersebut sangat jauh dari pusat beban dan biaya pembangkitan energi listriknya juga berbeda tergantung dari jenis pembangkitnya. Pembangkit tenaga listrik termal dalam proses pembangkitannya perlu untuk dilakukan penjadwalan agar biaya pembangkitannya menjadi lebih ekonomis dengan biaya pembangkitan yang paling minimum dan daya yang dibangkitkan paling optimum. Dalam penelitian ini, optimasi penjadwalan ekonomis pembangkit tenaga listrik termal dilakukan dengan menggunakan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dengan membandingkan hasilnya dengan metode Lagrange. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Algoritma ABC dapat menyelesaikan optimasi penjadwalan ekonomis pembangkit tenaga listrik termal dengan baik di mana nilainya lebih rendah dibanding dengan menggunakan metode Lagrange.

Keywords— Optimasi, Pembangkit Tenaga Listrik Termal, ABC, Metode Lagrange.

I. PENDAHULUAN

Hukum kekekalan energi yang dikemukakan oleh James Prescott Joule mengatakan bahwa “energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, namun energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain”. Salah satu bentuk perubahan energi yaitu energi listrik. Energi listrik di masyarakat telah dijadikan sebagai salah satu kebutuhan utama atau primer. Seiring dengan perkembangan zaman pada saat ini yang telah memasuki era milenium di mana penggunaan teknologi yang telah mendominasi disetiap sendi kehidupan masyarakat, tentunya akan berbanding lurus dengan kebutuhan penggunaan energi listrik. Hal ini disebabkan oleh peralatan-peralatan yang membutuhkan energi listrik sebagai sumber energi.

Menjadi kebutuhan primer, tentu saja harus terpenuhi setiap saat. Dalam hal ini membutuhkan sistem pendistribusian secara kontinu. Idealitas sebuah sistem kelistrikan yang handal yaitu mampu memenuhi kebutuhan energi listrik harian dan berkelanjutan. Namun, tidak dapat dipungkiri bahwa dalam realitas sistem kelistrikan akan mengalami gangguan atau penurunan efisiensi kehandalan.

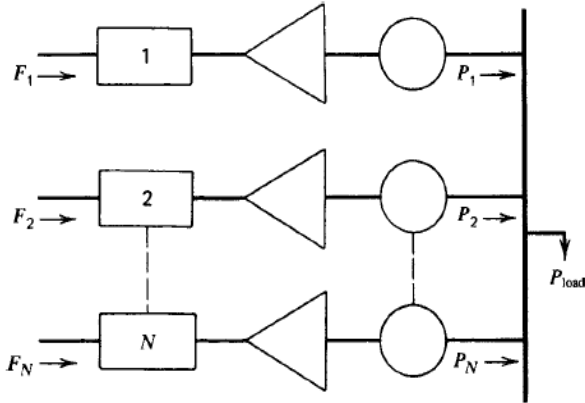
Pengoperasian ekonomis pembangkit merupakan aspek penting dalam manajemen sistem tenaga listrik. Pada sistem tenaga praktis, pembangkit listrik tidak ditempatkan pada jarak yang sama dari pusat-pusat beban dan biaya bahan bakarnya juga berbeda. Pada sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi, tujuan penjadwalan ekonomis pembangkit adalah mencari penjadwalan daya aktif dan reaktif dari masing-masing pembangkit tenaga listrik dengan biaya operasi yang minimum [1]. Penjadwalan ekonomis pembangkit juga bertujuan untuk menentukan luaran daya

optimal dari unit-unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan permintaan beban dengan memenuhi beberapa batasan operasi untuk satu periode penyaluran daya dan ini juga dikenal dengan penjadwalan ekonomi klasik (CED) di mana batasan keamanan saluran diabaikan [2]. Tujuan utama dari seorang insinyur tenaga adalah untuk merancang sistem pembangkit tenaga listrik yang handal, optimal dan efisien pada biaya produksi dan operasi yang minimum [3]. Sedangkan, peneliti [4] menyebutkan bahwa tujuan utama dari penggunaan tenaga listrik adalah untuk memberikan suplai daya yang handal dan berkualitas tinggi ke pelanggan pada biaya yang paling minimum sementara pengoperasiannya untuk memenuhi batas-batas dan batasan-batasan yang mungkin pada unit-unit pembangkit dan pertimbangan lingkungan.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini memungkinkan untuk ditemukannya software atau aplikasi yang dapat digunakan untuk memudahkan peneliti dalam menganalisis optimasi penjadwalan ekonomis pembangkit terutama pada sistem kelistrikan yang kompleks, seperti Matrix Laboratory (Matlab) dan Mapple. Namun pada penelitian ini, peneliti menggunakan software Matrix Laboratory (Matlab), untuk mencari penjadwalan ekonomis pembangkit pada sistem tenaga listrik. Matriks laboratory (Matlab) ini memiliki kelebihan tersendiri yakni dari segi penggunaan, Matlab dapat digunakan untuk teknik komputasi numerik, operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Selain itu, Matlab juga dapat digunakan untuk menuliskan fungsi baru pada library jika fungsi-fungsi pada built-in Matlab tidak dapat melakukan tugas-tugas tertentu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem terdiri dari N unit pembangkit termal yang terhubung ke bus tunggal melayani beban listrik P_{load} diperlihatkan pada Gambar 2.1. Input setiap unit ditampilkan sebagai F_i , menunjukkan biaya dari setiap unit. Output dari setiap unit (P_i), adalah daya listrik yang dihasilkan oleh setiap unit pembangkitan. Biaya total dari sistem ini adalah jumlah biaya masing-masing dari setiap unit pembangkitan. Batasan penting pada pengoperasian sistem ini adalah bahwa jumlah daya output yang dibangkitkan harus sama dengan permintaan beban yang dilayani [5].



Gambar 1. N unit pembangkit termal yang melayani beban

Fungsi biaya C_i diasumsikan diketahui pada setiap unit pembangkit. Masalahnya adalah mencari besarnya biaya pembangkitan yang sebenarnya, sehingga fungsi objektif (total biaya produksi) minimum dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan [1]:

$$C_t = \sum_{i=1}^{n_g} C_i$$

$$= \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

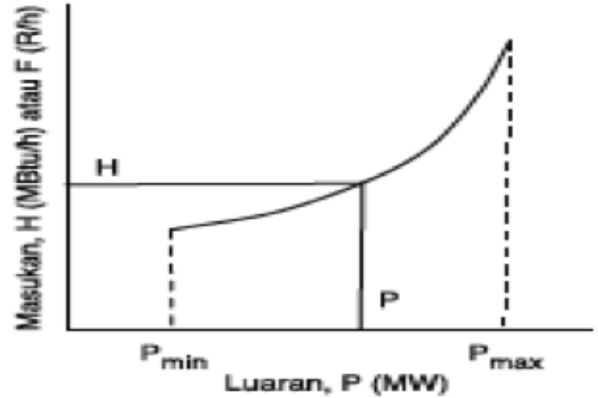
di mana C_t adalah total biaya produksi, C_i adalah biaya produksi dari setiap pembangkit, P_i adalah besarnya kapasitas pembangkit dari setiap unit pembangkitan dan α_i , β_i , γ_i adalah koefisien biaya dari setiap unit pembangkitan.

A. Pembangkit Listrik Termal

Pembangkit listrik yang paling banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik saat ini adalah pembangkit listrik termal. Pembangkit listrik termal adalah proses pembangkitan listrik konvensional yang membangkitkan listrik dari energi panas. Dalam analisa permasalahan operasi sistem tenaga listrik, terdapat banyak parameter yang perlu diperhatikan. Parameter fundamental yang perlu diperhatikan untuk permasalahan pengoperasian sistem pembangkit tenaga listrik secara ekonomis adalah mengatur masukan-luaran dari sistem pembangkit listrik termal [6].

Karakteristik masukan-luaran dari unit pembangkit listrik termal yang ideal digambarkan dengan kurva nonlinier. Karakteristik masukan-luaran yang banyak digunakan dari

unit pembangkit listrik termal adalah fungsi kuadratik seperti pada Gambar 2.2 [2].



Gambar 2. Karakteristik masukan-luaran pembangkit listrik termal

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembangkitan tenaga listrik pada biaya minimumnya adalah operasi efisiensi generator, biaya bahan bakar dan rugi-rugi transmisi. Generator yang paling efisien dalam sistem tidak menjamin biaya minimum karena mungkin terletak di daerah di mana biaya bahan bakar tinggi. Pembangkit yang ditempatkan jauh dari pusat-pusat beban maka rugi-rugi transmisi menjadi pertimbangan lebih dan karenanya pembangkit mungkin menjadi tidak ekonomis. Oleh karena itu, masalahnya adalah untuk menentukan pembangkitan tenaga listrik dari pembangkit yang berbeda sehingga total biaya operasinya minimum sehingga biaya operasi pembangkitan tenaga listrik ini memainkan peran penting dalam penjadwalan ekonomis pembangkit [1].

a) Fungsi Biaya Bahan Bakar

Fungsi biaya bahan bakar pada generator termal merupakan sebuah fungsi kuadrat dari daya nyata pada pembangkit. Kurva hubungan masukan-luaran H (Mbtu/h) akan diperoleh dengan cara mengalikan dengan biaya bahan bakar (R/Mbtu) menjadi sebuah fungsi $f_i(P_i)$ dalam R/h [6].

$$f_i(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + c_i \quad (2)$$

b) Fungsi Biaya Rugi-rugi Saluran Transmisi

Pusat pembangkit dan beban pada umumnya terhubung dalam skenario yang terdistribusi secara geografis. Sehingga, rugi-rugi jaringan transmisi harus diperhitungkan untuk mencapai penjadwalan ekonomis dengan benar. Rugi jaringan adalah fungsi injeksi daya pada setiap simpul, di mana rugi jaringan sistem tenaga sebenarnya P_L dinyatakan dengan menggunakan koefisien B [9], [22], [24] sebagai:

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} P_i + B_{00} \quad (3)$$

di mana i adalah jumlah generator, j adalah jumlah bus dalam sistem, B_{ij} adalah elemen ij dari rugi koefisien matriks bujur sangkar, B_{0i} adalah elemen i dari rugi koefisien matriks dan B_{00} adalah konstanta koefisien rugi.

B. Algoritma Artificial Bee Colony (ABC)

Algoritma ABC diperkenalkan untuk memberikan solusi permasalahan optimasi dengan batasan optimasi yang kompleks [6]. Pada algoritma ABC, koloni dari lebah terdiri dari tiga kelompok lebah, yaitu lebah pekerja, lebah penonton dan lebah pencari. Paruh pertama dari koloni terdiri dari lebah pekerja dan paruh kedua adalah penonton. Untuk setiap sumber makanan, hanya ada satu lebah pekerja. Dengan kata lain, jumlah lebah pekerja sama dengan jumlah sumber makanan di sekitar sarang.

Tiga parameter kontrol yang digunakan dalam algoritma ABC [7], yaitu:

1. Jumlah sumber makanan yang sama dengan jumlah lebah pekerja atau lebah penonton (SN), menentukan banyaknya calon solusi daya yang diperhitungkan dalam satu iterasi
2. Nilai batas, merupakan nilai batas eksplorasi nilai daya solusi baru, dan
3. Jumlah siklus maksimum, merupakan nilai banyak perulangan untuk mendapatkan nilai solusi minimal.

Algoritma ABC menyatakan bahwa posisi sumber makanan merupakan solusi yang mungkin untuk masalah optimasi dan jumlah nektar dari sumber makanan sesuai dengan kualitas (fitness) dari solusi yang terkait. Jumlah lebah pekerja atau lebah penonton sama dengan jumlah solusi dalam populasi. Pada langkah pertama, ABC menghasilkan populasi awal acak P ($G = 0$) dari solusi SN (posisi sumber makanan), di mana SN menunjukkan ukuran populasi. Setiap solusi X_i ($i = 1, 2, \dots, SN$) adalah suatu vektor dimensi D , di mana D adalah jumlah parameter optimasi.

Setelah inisialisasi, populasi posisi (solusi) siklusnya diulangi, $C = 1, 2, \dots, MCN$ dari proses pencarian lebah pekerja, lebah penonton dan lebah pencari. Lebah pekerja menghasilkan modifikasi pada posisi (solusi) dalam memorinya tergantung pada informasi lokal (informasi visual) dan menguji jumlah nektar (fitness value) dari sumber baru (solusi baru). Asalkan jumlah nektar dari yang baru lebih tinggi dari yang sebelumnya, lebah mengingat posisi baru dan melupakan yang lama. Jika tidak, dia akan mempertahankan posisi yang sebelumnya dalam memorinya. Setelah semua lebah pekerja menyelesaikan proses pencarian, mereka berbagi informasi nektar dari sumber makanan dan informasi posisi mereka dengan lebah penonton di areanya. Lebah penonton mengevaluasi informasi nektar yang diambil dari semua lebah pekerja dan memilih sumber makanan dengan probabilitas yang terkait dengan jumlah nektarnya. Seperti dalam kasus lebah pekerja, ia menghasilkan modifikasi pada posisi dalam memorinya dan memeriksa jumlah nektar dari sumber kandidat. Memberikan bahwa nektarnya lebih tinggi dari yang sebelumnya, lebah mengingat posisi baru dan melupakan yang lama.

Lebah penonton memilih sumber makanan bergantung pada nilai probabilitas yang terkait dengan sumber makanan P_i yang dihitung dengan persamaan (4).

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (4)$$

di mana fit_i adalah nilai fitness dari solusi i yang sebanding dengan jumlah nektar dari sumber makanan pada posisi i dan SN adalah jumlah sumber makanan yang sama dengan jumlah lebah pekerja (BN). Posisi makanan kandidat dari yang lama dalam memori akan dihasilkan di mana algoritma ABC yang digunakan sesuai dengan persamaan (5).

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (5)$$

di mana $k \in \{1, 2, \dots, SN\}$ dan $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ adalah indeks terpilih secara acak. Meskipun k ditentukan secara acak tetapi berbeda dari i . ϕ_{ij} adalah jumlah acak di antara $[-1, 1]$. Ini mengontrol produksi sumber makanan tetangga di sekitar x_{ij} dan mewakili perbandingan dua posisi makanan secara visual oleh lebah. Seperti dapat dilihat dari (16), karena perbedaan antara parameter x_{ij} dan x_{kj} menurun, gangguan pada posisi x_{ij} akan berkurang juga.

Pencarian yang mendekati solusi optimal di ruang pencarian maka panjang langkah akan dikurangi secara adaptif. Jika nilai parameter yang dihasilkan oleh operasi ini melebihi batas yang telah ditentukan, parameter dapat diatur ke nilai yang dapat diterima. Nilai parameter yang melebihi batasnya diatur ke nilai batasnya. Sumber makanan di mana nektar ditinggalkan oleh lebah diganti dengan sumber makanan baru oleh para lebah pencari. Di algoritma ABC, ini disimulasikan dengan memproduksi posisi secara acak dan menggantinya dengan yang ditinggalkan. Di algoritma ABC, dengan ketentuan bahwa suatu posisi tidak dapat ditingkatkan lebih lanjut melalui sejumlah siklus yang telah ditentukan, maka sumber makanan tersebut dianggap ditinggalkan. Nilai jumlah siklus yang telah ditentukan adalah parameter kontrol penting dari algoritma ABC, yang disebut "batas" untuk ditinggalkan. Asumsikan bahwa sumber yang ditinggalkan adalah x_i dan $j \in \{1, 2, \dots, D\}$, maka lebah pencari menemukan sumber makanan baru untuk diganti dengan x_i . Operasi ini dapat didefinisikan sebagai (6).

$$x_i^j = x_{min}^j + rand(0,1)(x_{max}^j - x_{min}^j) \quad (6)$$

Setelah setiap posisi sumber kandidat v_{ij} diproduksi dan kemudian dievaluasi oleh lebah buatan, kinerjanya dibandingkan dengan yang lama. Jika makanan baru itu memiliki nektar yang sama atau lebih baik dari sumber lama, diganti dengan yang lama di memori. Jika tidak, yang lama disimpan dalam memori. Dengan kata lain, mekanisme seleksi greedy digunakan sebagai operasi seleksi antara yang lama dan kandidat. Jumlah sumber makanan adalah sama dengan jumlah lebah pekerja atau penonton (SN), nilai batas dan jumlah siklus maksimum (MCN)

Secara detail pseu-code dari algoritma ABC adalah:

1. Inisialisasi populasi solusi x_{ij} , $i=1 \dots SN$, $j=1 \dots D$
2. Evaluasi populasi
3. Siklus = 1
4. Ulangi (repeat)
5. Buat solusi baru v_{ij} untuk lebah pekerja dengan menggunakan persamaan (5) dan mengevaluasinya
6. Terapkan proses seleksi greedy antara x_i dan v_i
7. Hitung nilai probabilitas P_{ij} untuk solusi x_{ij} dengan persamaan (4)

8. Buat solusi baru v_{ij} untuk lebah penonton dari solusi $x_{i,j}$ yang dipilih bergantung pada $P_{i,j}$ dan mengevaluasinya
9. Terapkan proses seleksi greedy x_i dan v_i
10. Tentukan solusi yang ditinggalkan untuk lebah pencari jika ada dan ganti dengan solusi $x_{i,j}$ yang baru yang dihasilkan secara acak dengan persamaan (6)
11. Ingat solusi terbaik yang dicapai sejauh ini
12. Siklus = Siklus + 1
13. Sampai (until) siklus = jumlah siklus maksimum (MCN)

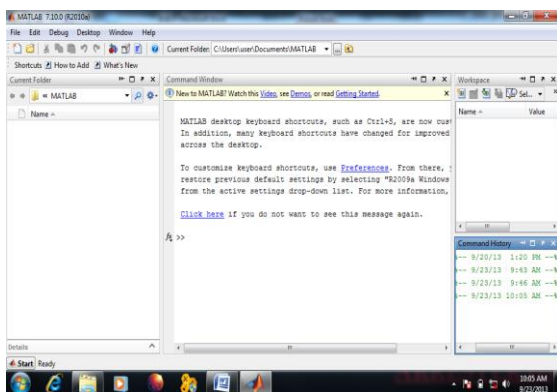
C. MATLAB

Matriks laboratory atau biasa disingkat dengan MATLAB adalah sebuah program untuk menganalisis dan komputasi numerik, merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. MATLAB (Matriks Laboratory) merupakan pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi, dan lainnya (Muhammad Arhami & Anita Desiani, 2005).



Gambar 3. Tampilan software Matlab R2017a

Pengoperasian software MATLAB ini, dapat dilakukan dengan mengklik dua kali pada icon MATLAB atau dengan menekan tombol Star. Cari program MATLAB. Maka pada layar monitor akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kotak dialog Matlab

MATLAB terdiri dari beberapa tampilan window. Window tersebut diantaranya adalah current directory, workspace, dan command window.

a. Current directory

Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan MATLAB. Namun window ini juga dapat digantikan dengan tempat direktori sesuai yang diinginkan.

b. Workspace

Window ini berfungsi menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian MATLAB. Jika variabel berupa matriks yang berukuran besar, maka untuk melihat data yang terimput user dapat melakukan dengan double klik pada variabel tersebut. Secara otomatis MATLAB akan menampilkan window array editor yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih oleh user.

c. Command window

Command Window merupakan window utama dari MATLAB untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variabel, memproses data, dan melihat variabel.

III. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilaksanakan merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif bersifat eksplorasi yang bertujuan untuk menggambarkan situasi dan kondisi pada objek penelitian.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Diagram satu garis (Single line diagram)
2. Kapasitas daya listrik dari sumber-sumber yang ada
3. Data bus
4. Data saluran

C. Definisi Operasional Variabel

Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini diartikan sebagai berikut :

1. Diagram satu garis (Single line diagram) adalah diagram sistem kelistrikan dari sumber utama (generator) sampai ke beban yang terinterkoneksi satu dengan yang lainnya.
2. Kapasitas daya listrik adalah besarnya daya listrik yang tersedia dalam sebuah jaringan sistem kelistrikan yang digunakan.
3. Data bus adalah data dari setiap bus yang ada dalam jaringan sistem kelistrikan yang terinterkoneksi
4. Data saluran adalah data impedansi dan admitansi dari satu bus ke bus yang lain yang ada dalam jaringan sistem kelistrikan yang terinterkoneksi.

D. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan optimasi penjadwalan ekonomis pembangkit dengan menggunakan Matriks Laboratory (MATLAB) R2017a.

IV. HASIL PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data standar IEEE 30 Bus seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 6 dan diagram satu garisnya ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 1. Data untuk bus teganga yang diatur

No. Bus	Besar Tegangan	Kapasitas	
		Min. Mvar	Max. Mvar
2	1.043	- 40	50
5	1.010	- 40	40
8	1.010	- 10	40
11	1.082	- 6	24
13	1.071	- 6	24

Tabel 2. Data transformator

Transformator Tujuan	Pengaturan Tap (pu)
4 -12	1.0129
6 - 9	1.0155
6 - 10	0.9629
28 - 27	0.9581

Tabel 3. Data untuk injeksi Q karena kapasitor shunt

No. Bus	Mvar
10	19
24	4.3

Tabel 4. Data bus beban

No. Bus	Beban		No. Bus	Beban	
	P (MW)	Q (Mvar)		P (MW)	Q (Mvar)
1	0.00	0.00	16	3.50	1.80
2	21.7	12.7	17	9.00	5.80
3	2.40	1.20	18	3.20	0.90
4	7.60	1.60	19	9.50	3.40
5	94.2	19.0	20	2.20	0.70
6	0.00	0.00	21	17.5	11.2
7	22.8	10.9	22	0.00	0.00
8	30.0	30.0	23	3.20	1.60
9	0.00	0.00	24	8.70	6.70
10	5.80	2.00	25	0.00	0.00
11	0.00	0.00	26	3.50	2.30
12	11.2	7.50	27	0.00	0.00
13	0.00	0.00	28	0.00	0.00
14	6.20	1.60	29	2.40	0.90
15	8.20	2.50	30	10.6	1.90

Tabel 5. Data saluran transmisi

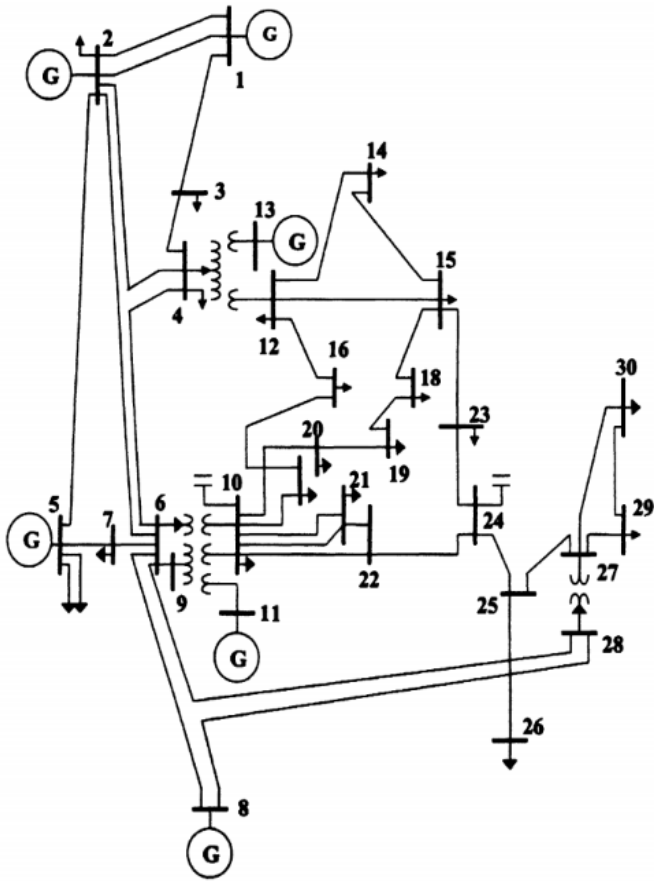
Dari Bus	Ke Bus	Impedansi (pu)		1/2 B (pu)
		R	X	
1	2	0.01920	0.05750	0.02640
1	3	0.04520	0.18520	0.02040
2	4	0.05700	0.17370	0.01840
3	4	0.01320	0.03790	0.00420
2	5	0.04720	0.19830	0.02090
2	6	0.05810	0.17630	0.01870
4	6	0.01190	0.04140	0.00450

5	7	0.04600	0.11600	0.01020
6	7	0.02670	0.08200	0.00850
6	8	0.01200	0.04200	0.00450
6	9	0.00000	0.20800	0.00000
6	10	0.00000	0.55600	0.00000
9	11	0.00000	0.20800	0.00000
9	10	0.00000	0.11000	0.00000
4	12	0.00000	0.25600	0.00000
12	13	0.00000	0.14000	0.00000
12	14	0.12310	0.25590	0.00000
12	15	0.06620	0.13040	0.00000
12	16	0.09450	0.19870	0.00000
14	15	0.22100	0.19970	0.00000
16	17	0.08240	0.19320	0.00000
15	18	0.10700	0.21850	0.00000
18	19	0.06390	0.12920	0.00000
19	20	0.03400	0.06800	0.00000
10	20	0.09360	0.20900	0.00000
10	17	0.03240	0.08450	0.00000
10	21	0.03480	0.07490	0.00000
10	22	0.07270	0.14990	0.00000
21	22	0.01160	0.02360	0.00000
15	23	0.10000	0.20200	0.00000
22	24	0.11500	0.17900	0.00000
23	24	0.13200	0.27000	0.00000
24	25	0.11850	0.32920	0.00000
25	26	0.25440	0.38000	0.00000
25	27	0.10930	0.20870	0.00000
28	27	0.00000	0.36900	0.00000
27	29	0.21980	0.41530	0.00000
27	30	0.12020	0.60270	0.00000
29	30	0.23990	0.45330	0.00000
8	28	0.06360	0.20000	0.02140
6	28	0.01690	0.05990	0.06500

Tabel 6. Koefisien biaya pembangkitan

No. Gen	P_1^{min} (MW)	P_1^{max} (MW)	Q_1^{min} (Mvar)	Q_1^{max} (Mvar)	a_i	b_i	c_i
1	50	200	-	-	0.00375	2.00	0
2	20	80	- 20	100	0.01750	1.75	0
3	15	50	- 15	80	0.06250	1.00	0
4	10	35	- 15	60	0.00834	3.25	0
5	10	30	- 10	50	0.02500	3.00	0
6	12	40	- 15	60	0.02500	3.00	0

Diagram satu garis sistem IEEE 30 Bus diperlihatkan pada Gambar 5.



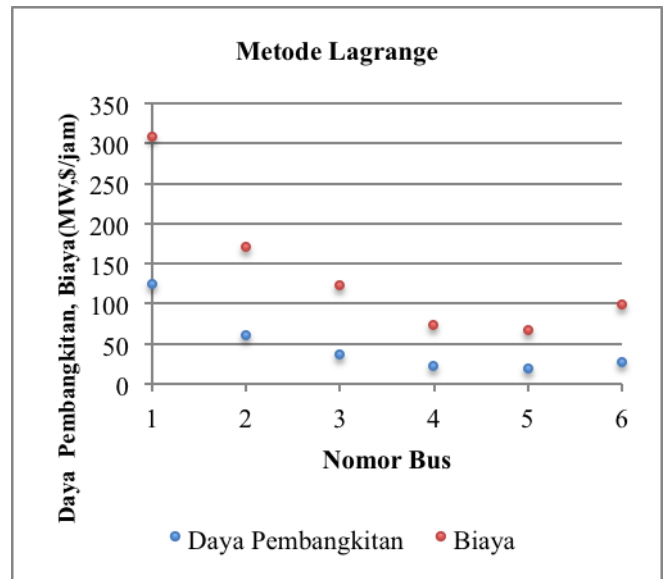
Gambar 5. Diagram satu garis sistem IEEE 30 Bus

Hasil simulasi perbandingan biaya yang dihasilkan dari metode Lagrange dan algoritma artificial bee colony (ABC) diperlihatkan pada Tabel 7.

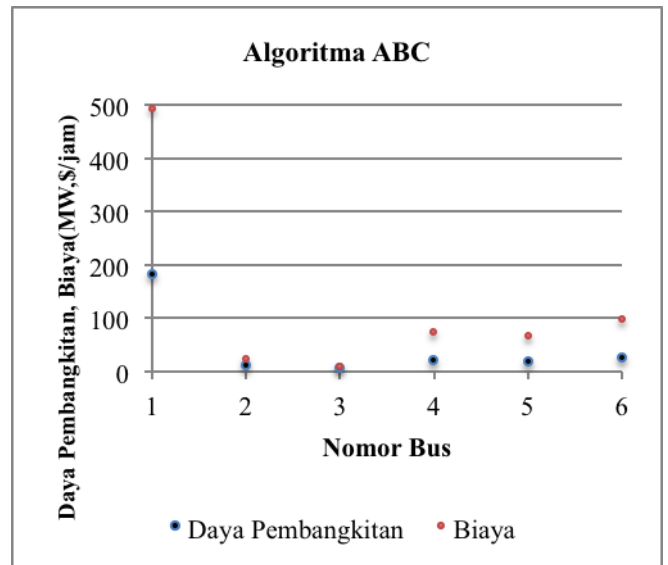
Tabel 7. Perbandingan optimasi biaya bahan bakar antara metode Lagrange dan algoritma ABC

Nomor Bus	Metode Lagrange		Algoritma ABC	
	Daya Pembangkitan (MW)	Biaya (\$/Jam)	Daya Pembangkitan (MW)	Biaya (\$/Jam)
1	124.861	308.187	183.213	492.301
2	60.970	171.751	12.952	25.602
3	37.000	122.562	6.476	9.097
4	21.590	74.055	21.590	74.055
5	19.200	66.816	19.200	66.816
6	26.910	98.834	26.910	98.834
Total	290.53	842.21	270.34	766.71
Total rugi-rugi (MW/MVAR)	7,145/-13,621		10,903/-0,385	
Selisih Biaya (\$/Jam)	75,5			

Grafik perbandingan biaya optimasi antara metode Lagrange dan algoritma ABC diperlihatkan pada Gambar



Gambar 6. Grafik biaya optimasi menggunakan metode Lagrange



Gambar 7. Grafik biaya optimasi menggunakan algoritma ABC

Dari Tabel 7, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa optimasi biaya bahan bakar penjadwalan ekonomis pembangkit untuk algoritma ABC lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode Lagrange dengan selisih biaya sebesar 75,5 \$/jam. Meskipun total rugi-rugi dalam MW untuk algoritma ABC lebih besar dibandingkan dengan metode Lagrange tetapi total rugi-rugi dalam MVAR untuk algoritma ABC lebih kecil dibandingkan dengan metode Lagrange.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Algoritma ABC mampu menyelesaikan permasalahan optimasi biaya bahan bakar penjadwalan ekonomis pembangkit lebih baik dibandingkan dengan metode Lagrange dengan selisih 75,5 \$/jam.
2. Rugi-rugi MVAR untuk algoritma ABC juga lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode Lagrange.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Saadat, "Power System Analysis - Hadi Saadat.pdf." pp. 1–720, 1999.
- [2] J. Zhu, *Optimization of power system operation*. Canada, 2009.
- [3] S. G. Gaurav Kumar Gupta, "Particle swarm intelligence based dynamic economic dispatch with daily load patterns including valve point effect," *CATCON*, 2017.
- [4] M. P. Musau, N. O. Abungu, and C. W. Wekesa, "Multi Objective Dynamic Economic Dispatch with Cubic Cost Functions," vol. 4, no. 3, pp. 153–167, 2015.
- [5] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheble, *Power generation, operation, and control - Third edition*. 2014.
- [6] A. K. Nurlita Gamayanti, Abdullah Alkaff, "Optimasi dynamic economic dispatch menggunakan algoritma artificial bee colony," *JAVA J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 13, no. 1, 2015.
- [7] D. Karaboga and B. Basturk, "Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving Constrained Optimization," pp. 789–798.vol. 13, no. 1, 2015.