

OPTIMASI EKONOMIS PEMBANGKIT PLTG DI PLTGU TAMBAK LOROK MENGGUNAKAN ALGORITMA KELELAWAR

Fauzan Mawardi Kautsar^{*)}, Agung Nugroho, and Hermawan

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: fauzan.kautsar@aiesec.net

Abstrak

Biaya pembangkitan merupakan biaya penyediaan tenaga listrik terbesar khususnya biaya bahan bakar. Untuk mendapatkan pengoperasian yang optimal dalam memenuhi kebutuhan beban maka optimasi ekonomis pada unit pembangkit sangat diperlukan dalam upaya melakukan optimisasi pembangkit. Algoritma yang digunakan untuk optimisasi ekonomis PLTG di PLTGU Tambak Lorok pada penelitian ini adalah menggunakan *Bat Algorithm (BA)*. Algoritma Kelelawar merupakan metode yang terinspirasi dari perilaku kelelawar dalam bernavigasi menggunakan kelebihan kelelawar yang di sebut ekolokasi. Pada makalah ini, metode Algoritma Kelelawar diselesaikan dengan menggunakan Matlab R2013a dan hasil simulasi metode Algoritma Kelelawar akan dibandingkan dengan metode konvensional iterasi lambda untuk membuktikan validitas dan efektifitas dari metode Algoritma Kelelawar. Dari hasil simulasi optimisasi dengan metode Algoritma Kelelawar menunjukkan peforma yang baik. Hasil simulasi identik dengan metode Iterasi Lambda. Sedangkan pada sistem PLTG Tambak Lorok akan dibandingkan hasil metode Algoritma Kelelawar secara diskrit dan operasi sistem. Dari hasil pengujian diskrit dan operasi sistem tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Perbedaan terjadi saat kebutuhan daya 350 MW dengan selisih biaya sebesar 75.794,4 rupiah/jam dengan selisih total energi 19,8 mmbtu/jam. Serta pada permintaan beban 375 MW dengan selisih biaya 222.024 rupiah/jam dengan total energi 58 mmbtu/jam.

Kata kunci : Optimisasi, Algoritma Kelelawar, Iterasi Lambda

Abstract

The biggest cost to supply electric power is the generation cost. To obtain optimal operation in filling the needs of load, then economic dispatch in plant units are needed in effort to do plant optimization. The algorithm used for economic dispatch optimization of PLTG in PLTGU Tambak Lorok is Bat Algorithm(BA). BA is a method inspired by the behavior of bat to navigate, which call echolocation. The BA method solved using Matlab R2013a and the simulation results by the Bat Algorithm method are compared with the results of conventional methods to prove the validity of the method BA. Optimization results by Bat Algorithm showed a good performance. The results are identical with Lambda Iteration method. While in Tambak Lorok power plant system the result by BA are discrete and operation, From the test results, discrete and operation doesn't have significant differences. The difference occurs when the power requirement of 350 MW with a cost difference of 75794.4 IDR / hour with a difference of total energy of 19.8 MMBTU / hour. As well as on the load demand of 375 MW by the difference in cost 222 024 rupiah / hour with total energy 58 MMBTU / hour.

Keywords: Economic Dispatch, Optimization, Bat Algorithm, Iterations Lambda

1. Pendahuluan

Pembangkitan tenaga listrik merupakan proses konversi energi primer menjadi energi mekanik penggerak generator yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Dari segi ekonomi, komponen biaya penyediaan tenaga listrik terbesar adalah biaya pembangkitan khususnya biaya bahan bakar, sedangkan pada unit-unit pembangkit tenaga listrik memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam hal biaya. Untuk

mendapatkan pengoperasian yang optimal dalam memenuhi kebutuhan beban maka optimisasi pengoperasian suatu unit pembangkit dan koordinasi antar pembangkitan sangat diperlukan[1].

Berbagai teknik optimisasi telah diterapkan untuk mendapatkan biaya operasi tenaga listrik yang optimal dan ekonomis. Salah satu teknik solusi untuk menyelesaikan permasalahan optimalisasi ini yaitu

dengan menggunakan Algoritma Kelelawar. Algoritma Kelelawar merupakan salah satu dari banyak metode optimasi matematis yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Algoritma Kelelawar merupakan algoritma baru yang ditemukan oleh Xin-She Yang dengan konsep meniru perilaku kelelawar dalam menentukan objek di sekitarnya. Kelelawar mempunyai kemampuan melakukan ekolokasi, dengan kemampuan tersebut Kelelawar mampu mengetahui letak mangsa, hambatan dan hewan predator. Penelitian mengenai penerapan Algoritma Kelelawar pada sistem tenaga listrik telah dilakukan sebelumnya, yang mempunyai judul *Comparative Study of Bat & Flower Pollination Optimization Algorithms in Highly Stressed Large Power System, Security constrained economic load dispatch in the presence of interline power flow controller using modified BAT algorithm*, hasil dari penelitiannya adalah bahwa metode Algoritma Kelelawar lebih hemat (*minimum cost*) dari metode yang lain[2].

Pada penelitian sebelumnya digunakan metode *Artificial Bee Colony* (ABC), *Particle Sworn Optimization* (PSO) dan *Lagrange Multiplier* sebagai solusi dari masalah optimisasi pada unit PLTG di PLTGU blok 1 Tambak Lorok [3][4][5]. Dalam pembuatan tugas akhir ini digunakan metode Algoritma Kelelawar untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi pada unit PLTG blok 1 dan blok 2 di PLTGU Tambak Lorok. Algoritma kelelawar dipilih Karena algoritma kelelawar termasuk metode algoritma baru dan berdasarkan penelitian sebelumnya algoritma kelelawar memiliki hasil optimisasi yang lebih optimal, sehingga dapat menghasilkan biaya yang lebih ekonomis[6]. Hasil simulasi Algoritma Kelelawar dibandingkan dengan perhitungan metode Iterasi Lambda. Kedua metode ini dibandingkan hasilnya pada unit PLTG di PLTGU blok 1 Tambak Lorok untuk membuktikan validitas dari metode Algoritma Kelelawar, lalu di lakukan optimisasi dengan Algoritma Kelelawar secara diskret dan optimisasi dengan Algoritma Kelelawar secara sistem operasi.

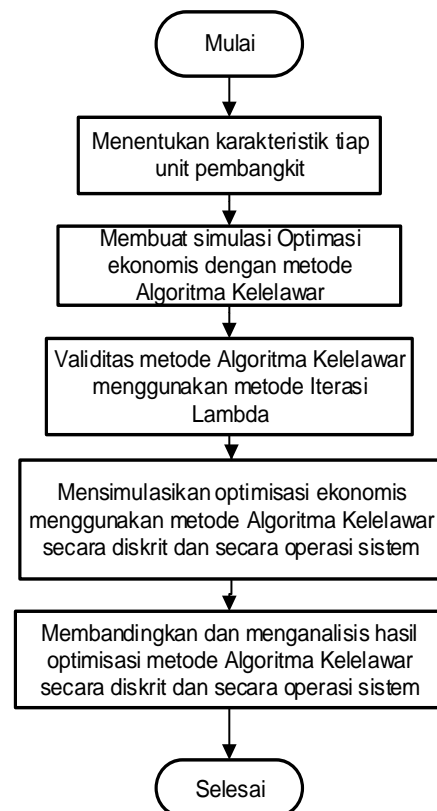
2. Metode

2.1 Metode Penelitian

Setiap unit pembangkit ini mempunyai karakteristik yang berbeda-beda antar kebutuhan bahan bakar dengan daya yang mampu dihasilkan oleh setiap unitnya. Dengan mengetahui karakteristik dari setiap pembangkit maka dapat diketahui pula distribusi yang paling ekonomis dari keluaran suatu pusat pembangkit tenaga listrik.

Pengoptimalan pengoperasian suatu sistem tenaga berkaitan dengan optimisasi ekonomis dari keluaran setiap unit pembangkit untuk suatu permintaan beban tertentu pada sistem tanpa mempertimbangkan kehilangan daya pada saluran transmisi. Optimisasi ekonomis ini merupakan optimisasi pengoperasian setiap unit pembangkit, yaitu suatu cara pembagian beban antara unit-unit pembangkit dalam satu Pusat Pembangkit Tenaga Listrik.

Dalam tugas akhir ini dilaksanakan dalam beberapa tahap penelitian. Berikut bagan alir penelitian tugas akhir dengan judul Optimisasi ekonomis Pembangkit PLTG di PLTGU PT Indonesia Power Tambak Lorok Menggunakan Algoritma Kelelawar :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 1, dapat dilihat langkah- langkah metode penelitian dalam makalah ini. Pada awalnya dilakukan penentuan fungsi karakteristik tiap generator berdasarkan rata-rata keluaran energi terhadap daya yang dihasilkan menggunakan persamaan polinomial orde 2. Setelah fungsi karakteristik generator ditentukan, penjadwalan ekonomis unit pembangkit dibuat dengan menggunakan metode Algoritma Kelelawar. Kemudian metode Algoritma Kelelawar disimulasikan menggunakan MatlabR2013 untuk mencari hasil terbaik dari kombinasi

pembangkit yang ada terdapat di Blok 1 dan Blok 2. Setelah itu dilakukan validitas metode Algoritma Kelelawar dengan metode pembandingan perhitungan Iterasi Lambda untuk melihat keakuratan hasil dari simulasi metode Algoritma Kelelawar. Kedua metode ini dibandingkan hasil keluaran energi menggunakan 3 unit pembangkit. Simulasi optimisasi unit pembangkit dilakukan secara diskret dan secara operasi sistem. Secara operasi sistem berarti pembangkit listrik beroperasi secara terus menerus setelah dinyalakan sesuai dengan berubahnya permintaan daya dan berdasarkan konsumsi energi yang paling kecil sedangkan secara diskret hanya melihat konsumsi energi yang paling kecil dan tidak memperhitungkan kondisi operasi. Kemudian hasil dari optimisasi Algoritma Kelelawar secara diskret dan secara operasi sistem dibandingkan dan dianalisis berdasarkan konsumsi energi dan total biayanya.

2.2 Perancangan Sistem

Fungsi tujuan dari optimisasi penjadwalan ekonomis ini dinyatakan dalam fungsi biaya bahan bakar dari unit pembangkit yang sesuai dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

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

Dimana,

C_i = biaya bahan bakar (masukan unit i), dollar/jam

P_i = daya yang dihasilkan (keluaran unit i), MW

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = konstanta

a. Kapasitas unit pembangkit

$$P_{i(min)} \leq P_i \leq P_{i(max)} \quad i = 1, \dots, n_g \quad (2)$$

dimana

$P_{i(min)}$ = Kapasitas unit pembangkit minimum (MW)

$P_{i(max)}$ = Kapasitas unit pembangkit maksimum (MW)

Generator dari setiap unit pembangkit seharusnya membangkitkan daya tidak melebihi nilai maksimumnya serta tidak boleh dioperasikan untuk membangkitkan daya dibawah nilai minimumnya.

Tabel 1 Kapasitas Unit Pembangkit

Generator	Batas Minimum (MW)	Batas Maksimum (MW)
Generator 1	30	97
Generator 2	30	97
Generator 3	30	97
Generator A	30	100
Generator B	30	100
Generator C	30	100

b. Kecepatan perubahan beban ($\Delta P \leq 6 \text{ MW/ menit}$)

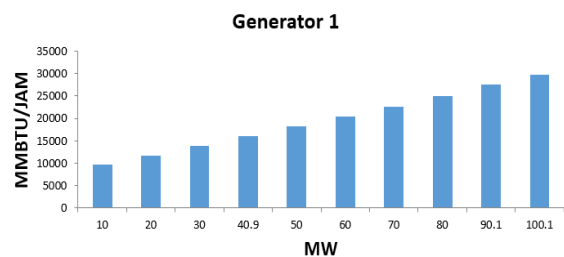
Generator dari setiap pembangkit memiliki batas kemampuan dalam menaikkan atau menurunkan kapasitas yang dihasilkan. Dalam hal ini unit PLTG Tambak Lorok memiliki kecepatan perubahan beban 6MW/menit.

2.3 Pemodelan Unit-Unit Pembangkit

Pemodelan unit Generator 1, Generator 2, Generator 3, Generator A, Generator B dan Generator C pada unit pembangkit PLTG di PLTGU PT Indonesia Power Tambak Lorok dapat dilihat sebagai berikut :

a. Unit Generator A

Grafik karakteristik unit generator 1 sebagai berikut :



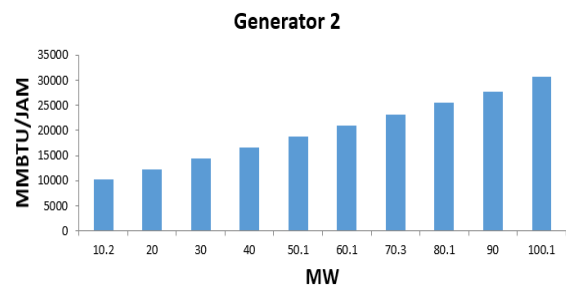
Gambar 2. Grafik karakteristik unit generator 1, konsumsi energi bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap daya (MW)

Persamaan karakteristik unit generator 1:

$$C_1 = 7758,4 + 198,09P + 0,223P^2$$

b. Unit Generator 2

Grafik karakteristik pembangkit unit generator 2 sebagai berikut :



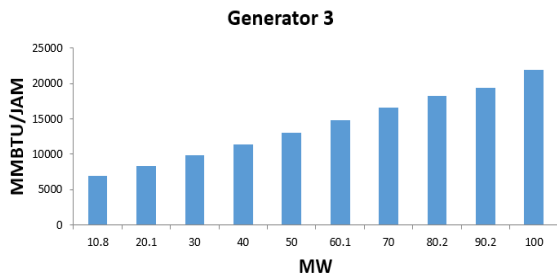
Gambar 3. Grafik karakteristik unit generator 2 konsumsi energi bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap daya (MW)

Persamaan karakteristik unit generator 2:

$$C_2 = 8388,5 + 189,76P + 0,3049P^2$$

c. Unit Generator 3

Grafik karakteristik pembangkit unit generator 3 sebagai berikut :



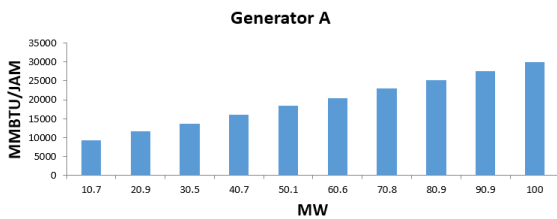
Gambar 4. Grafik karakteristik unit generator 3, konsumsi energi bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap daya (MW)

Persamaan karakteristik unit generator 3:

$$C_3 = 5308,5 + 145,23P + 0,1843P^2$$

d. Unit Generator A

Grafik karakteristik pembangkit unit generator A sebagai berikut :



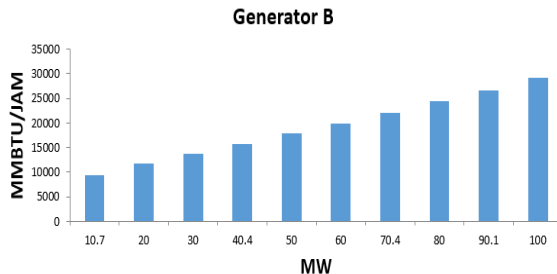
Gambar 5. Grafik karakteristik unit generator A, konsumsi energi bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap daya (MW)

Persamaan karakteristik unit generator A:

$$C_A = 7093,2 + 215,49P + 0,1187P^2$$

e. Unit Generator B

Grafik karakteristik pembangkit generator B sebagai berikut :



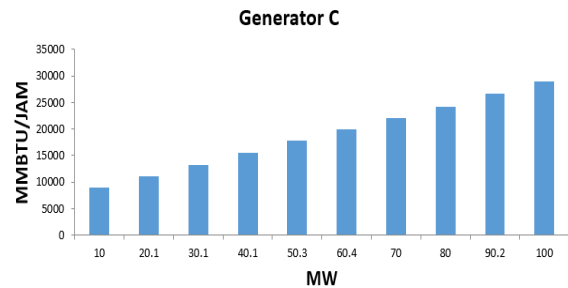
Gambar 6. Grafik karakteristik unit generator B, konsumsi energi bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap daya (MW)

Persamaan karakteristik unit generator B:

$$C_B = 7549,3 + 196,98P + 0,1771P^2$$

f. Unit Generator C

Grafik karakteristik pembangkit unit generator C sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik karakteristik unit generator C, konsumsi energi bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap daya (MW)

Persamaan karakteristik unit generator C:

$$C_C = 6875,1 + 212,37P + 0,0792P^2$$

2.4 Aplikasi Algoritma Kelelawar Pada Optimasi Ekonomis

Perancangan Algoritma Kelelawar pada optimasi ekonomis dapat dilihat pada Gambar 8 berikut :

Langkah-1 : Mendeklarasikan Nilai *Fitness*

Mendeklarasikan nilai fitness yang diambil dari persamaan karakteristik masing-masing unit pembangkit yakni

$$F_i = C_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (3)$$

Berikut adalah nilai fitness dari masing-masing unit pembangkit:

$$F(1) = 7758,4 + 198,09P + 0,223P^2$$

$$F(2) = 8388,5 + 189,76P + 0,3049P^2$$

$$F(3) = 5308,5 + 145,23P + 0,1843P^2$$

$$F(4) = 7093,2 + 215,49P + 0,1187P^2$$

$$F(5) = 7549,3 + 196,98P + 0,1771P^2$$

$$F(6) = 6875,1 + 212,37P + 0,0792P^2$$

Langkah-2 : Menentukan Batasan Generator.

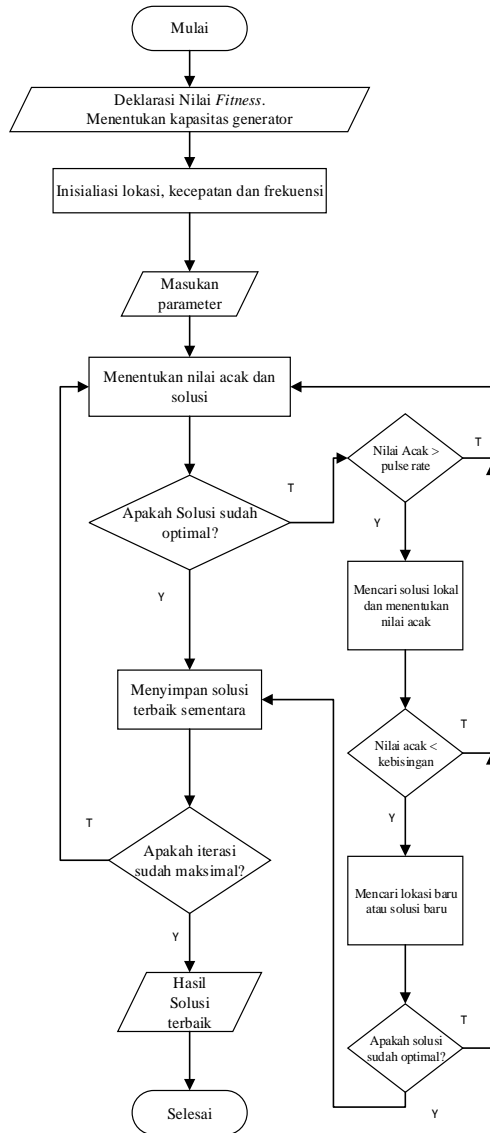
$$P_{i(min)} \leq P_i \leq P_{i(max)}$$

Generator dari setiap unit pembangkit seharusnya membangkitkan daya tidak melebihi nilai maksimumnya serta tidak boleh dioperasikan untuk membangkitkan daya dibawah nilai minimumnya.

Langkah-3 : Inisialisasi Lokasi, Kecepatan dan Frekuensi
Menginisialisasi lokasi, kecepatan dan frekuensi kelelawar. Variabel – variabel tersebut yang akan menjadi perhitungan dalam algoritma. Lokasi sendiri nantinya akan menjadi solusi dari Algoritma Kelelawar.

Langkah-4 : Memasukan Parameter

Memasukkan parameter dari algoritma Algoritma Kelelawar yaitu ukuran populasi, iterasi, kebisingan, *pulse rate*, kebutuhan daya.



Gambar 8. Diagram Alir Perancangan Algoritma kelelawar Pada Economic Dispatch

Tabel 2 Nilai parameter yang digunakan pada Algoritma Kelelawar

Parameter	Nilai
Ukuran Populasi	200
Iterasi	1000
Kebisingan	0,5
Pulse Rate	0,5
Kebutuhan Daya	30-591

Kelelawar akan berfungsi sebagai pencari solusi, sehingga ukuran populasi akan mempengaruhi pilihan solusi. Berdasarkan sifat ekolokasi kelelawar, nilai kebisingan akan berangsur menurun dan *pulse rate* akan berangsur bertambah saat kelelawar mendekati benda yang di tuju.

Hal ini akan berpengaruh saat algoritma mendekati solusi terbaik nilai kebisingan akan terus menurun saat nilai *pulse rate* bertambah.

Langkah-5 : Menentukan nilai acak

Nilai acak berfungsi untuk menentukan nilai lokasi dari suatu kelelawar. Nilai dari lokasi tersebut yang nantinya akan menjadi solusi dari algoritma kelelawar. Nilai acak bernilai dari 0 hingga 1.

Langkah-6 : Tentukan solusi terbaik saat ini

Menentukan solusi yang terbaik saat ini, dengan persamaan 2.32 atau 3.9

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (4)$$

$$v_i^{t+1} = v_i^t + (x_i^t x_*)f_i \quad (4)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^t \quad (4)$$

Dimana x_i merupakan solusi yang di analogikan dari lokasi kelelawar. Untuk mendapatkan nilai solusi yang lebih optimal, lokasi kelelawar akan terus diperbarui.

Langkah-7 : Evaluasi solusi terbaru

Evaluasi hasil solusi terbaru, Jika hasil solusi terbaru sudah paling optimal maka solusi terbaru tersebut akan langsung di simpan. Namun jika belum optimal maka akan di evaluasi dari bilangan acaknya. Jika bilangan acak bernilai kurang dari *pulse rate* maka proses algoritma akan kembali ke langkah 5. Jika bilangan acak bernilai lebih besar dari *pulse rate* maka akan dilakukan pencarian solusi lokal.

Langkah-8 : Pencarian solusi lokal

Untuk mendapatkan hasil solusi lokal maka harus menentukan kembali nilai acak. Namun kali ini nilai acak dapat bernilai dalam rentang di antara -1 hingga 1. Kemudian nilai acak di dibandingkan dengan nilai kebisingan. Jika nilai bilangan acak lebih besar dari nilai kebisingan maka proses algoritma akan kembali ke langkah 5. Jika nilai bilangan acak lebih kecil maka pencarian solusi lokal akan menggunakan persamaan 3.10.

$$x_{new} = x_{old} + \partial A^t \quad (5)$$

Jika solusi baru tidak lebih optimal maka proses algoritma akan kembali ke langkah 5. Jika solusi lebih baik maka solusi akan di perbarui dan di simpan.

Langkah-9 : Menyimpan hasil solusi terbaik sementara

Hasil solusi terbaru dapat dilakukan secara berulang-ulang untuk mencapai total biaya yang paling minimum. Untuk memperoleh hasil yang akurat dapat dilakukan dengan terus memperbarui hasil yang didapatkan saat ini. Jika setelah proses hasil solusi tidak lebih baik maka akan di pilih solusi yang lama, namun jika setelah proses hasil solusi lebih baik maka akan di pilih lokasi baru atau nilai solusi yang baru dan mereduksi nilai kebisingan dan meningkatkan nilai *pulse rate*.

Langkah-10 : Simpan solusi terbaik

Jika telah mendapatkan hasil, simpan hasil solusi terbaik dengan biaya yang minimum dan sesuai dengan batas minimum dan batas maksimum unit pembangkit.

$$F_{min} = \sum F_i = \sum C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_A + C_B + C_C$$

Proses algoritma dapat terus diulang hingga batas iterasi maksimum.

3. Hasil dan Analisa

Pengujian dan analisis pada bab ini merupakan pengujian metode Algoritma Kelelawar dalam proses optimisasi penjadwalan ekonomis pada PLTGU di PLTG Tambak Lorok yang mengabaikan kondisi *Combined Cycle*. Sebagai validitas pada percobaan ini menampilkan hasil metode *Lagrange Multiplier* pada tiga pembangkit kemudian dilakukan analisis perbandingan terhadap keluaran energi dan konfigurasi generator. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keakuratan kinerja metode algoritma kelelawar dalam dalam proses optimisasi penjadwalan ekonomis. Pengujian kemudian dilanjutkan dengan membandingkan hasil simulasi metode algoritma kelelawar secara diskret dan secara operasi sistem.

3.1 Validitas Metode Algoritma kelelawar

Pada pengujian ini akan dilakukan pengujian metode BA dengan metode perhitungan Iterasi Lambda menggunakan tiga unit pembangkit pada Blok 1 sebagai metode perbandingan. Metode Iterasi Lambda merupa metode optimisasi dengan basis perhitungan secara matematis dengan angka-angka yang pasti. Dengan demikian metode ini adalah metode yang memiliki nilai yang akurat. Berikut perhitungan metode Iterasi Lambda.

Diasumsikan $\lambda = 205$

Untuk iterasi pertama P1, P2 dan P3 adalah

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}$$

$$P_1^{(1)} = \frac{205 - 198,09}{0,446} = 15,49327$$

$$P_2^{(1)} = \frac{205 - 189,76}{0,6098} = 24,9918$$

$$P_3^{(1)} = \frac{205 - 145,23}{0,3686} = 162,15409$$

$$\Delta P^{(1)} = 200 - (15,49327 + 24,9918 + 162,15409) = -2,631916$$

Maka perubahan lamda dihasilkan

$$\Delta \lambda^{(1)} = \frac{-2,631916}{\frac{1}{0,446} + \frac{1}{0,6098} + \frac{1}{0,3686}} = -0,40017$$

Kemudian nilai λ baru adalah

$$\lambda^{(2)} = 205 + (-0,40017) = 204,59983$$

Dilanjutkan pada proses iterasi ke-2

$$P_1^{(2)} = \frac{204,59983 - 198,09}{0,446} = 14,596$$

$$P_2^{(2)} = \frac{204,59983 - 189,76}{0,6098} = 24,3356$$

$$P_3^{(2)} = \frac{204,59983 - 145,23}{0,3686} = 161,0684$$

$$\Delta P^{(2)} = 200 - (14,596 + 24,3356 + 161,0684) = 0$$

Pada saat $\Delta P^{(3)} = 0$ dapat dilihat bahwa nilai P_3 sudah melebihi batasnya, maka nilai $P_3 = 97$

$$\Delta P^{(2)} = 200 - (14,596 + 24,3356 + 97) = 64,0684$$

$$\Delta \lambda^{(2)} = \frac{64,0684}{\frac{1}{0,446} + \frac{1}{0,6098}} = 16,5038$$

Kemudian nilai λ baru adalah

$$\lambda^{(3)} = 204,59983 + 16,50382 = 221,10365$$

Pada iterasi ke-3 didapatkan

$$P_1^{(3)} = \frac{221,10365 - 198,09}{0,446} = 51,6001$$

$$P_2^{(3)} = \frac{221,10365 - 189,76}{0,6098} = 51,3999$$

$$P_3^{(3)} = 97$$

$$\Delta P^{(3)} = 200 - (51,6001 + 51,3999 + 97) = 0$$

$$\Delta \lambda^{(3)} = 0$$

$\Delta P^{(3)} = 0$, dan $\Delta \lambda^{(3)} = 0$ maka proses iterasi telah selesai. Dihasilkan kombinasi generator dan lamda sebagai berikut

$$P_1 = 51,6001 \text{ MW}$$

$$P_2 = 51,3999 \text{ MW}$$

$$P_3 = 97 \text{ MW}$$

$$C_1 = 7758,4 + 198,09(51,6001) + 0,223(51,6001)^2 = 18573,617$$

$$C_2 = 8388,5 + 189,76(51,3999) + 0,3049(51,3999)^2 = 18947,675$$

$$C_3 = 5308,5 + 145,23(97) + 0,1843(97)^2 = 21129,889$$

$$C_{Total} = 58651,181 \text{ MMBTU/Jam}$$

Hasil pengujian simulasi dari metode Algoritma Kelelawar dan perhitungan metode iterasi lambda menghasilkan daya keluaran dan total energi untuk tiga pembangkit Blok 1 dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3 Hasil metode iterasi lambda untuk tiga pembangkit

Pemintaan Beban (MW)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	Total Energi (MMBTU/ Jam)
200	51,6001	51,3999	97	58.651,181
225	66,0394	61,9606	97	64.259,271
250	80,4787	72,5213	97	70.028,359

Tabel 4. Hasil metode Algoritma Kelelawar untuk tiga pembangkit

Pemintaan Beban (MW)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	Total Energi (MMBTU/ Jam)
200	51,69	51,31	97	58.651,2
225	66,043	61,957	97	64.259,3
250	80,514	72,486	97	70.028,4

Pada Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan daya keluaran dan biaya dari metode Iterasi Lambda dan metode Algoritma Kelelawar untuk tiga unit pembangkit pada blok 1. Dapat dilihat hasil perbandingan simulasi antara metode Iterasi Lambda dengan metode Algoritma Kelelawar memiliki nilai energi yang mendekati pada permintaan daya yang sama. Dengan demikian, metode Algoritma Kelelawar merupakan metode yang dapat digunakan untuk solusi permasalahan *economic dispatch* pada sistem tenaga listrik.

3.2 Hasil Simulasi Algoritma Kelelawar Secara Diskret

Tabel 4 memperlihatkan hasil *economic dispatch* untuk sistem PLTG Tambak Lorok yang hanya memperhatikan batas minimum dan maksimum kapasitas generator tanpa memperhatikan operasi sistem.

Tabel 4. Hasil simulasi Algoritma kelelawar secara diskret PLTG Tambak Lorok

Daya	G.1	G.2	G3	G.A	G.B	G.C	Total Energi	Biaya
30		30					9.831,27	37.634.10
50		50					13.030,8	49.881.90
75		75					17.237,4	65.984.76
100		70				30	29.695,2	113.673.2
125		95				30	34.086,1	130.481.5
150		97				53	39.483,1	151.141.3
175		97				78	45.051,7	172.457.9
200		97			61,875	41,125	57.288	219.298.4
225		97			69,527	58,473	62.794,4	240.376.9
250		97			77,28	75,72	68.369,2	261.717.2
275		97			84,976	93,024	74.012,4	283.319.4
300		97	41,194	79,847	81,959		86.520,7	331.201.2
325		97	48,874	85,237	93,889		92.176,8	352.852.7
350	66,77	97		87,419	98,804		97.864,2	374.624.1
375	78	97		100	100		103.618	396.649.7
400	66,433	97	51,445	86,775	98,347		116.028	444.155.1
425	71,915	97	61,731	94,354	100		121.751	466.062.8
450	78,572	97	74,428	100	100		127.541	488.226.9
475	87,282	97	90,718	100	100		133.418	510.724.1
500	73,693	67,566	97	65,196	95,545	100	146.067	559.144.4
525	79,638	71,909	97	76,453	100	100	151.873	581.369.8
550	86,576	76,972	97	89,452	100	100	157.752	603.874.6
575	95,023	82,975	97	100	100	100	163.710	626.681.8
591	97	97	97	100	100	100	167.617	641.637.8

Pada optimasi dengan metode Algoritma Kelelawar secara diskret mengabaikan sistem operasi, dengan kata lain generator yang sudah dalam kondisi menyala dapat

mati kembali untuk mendapatkan hasil yang paling optimal.

3.3 Hasil Simulasi Algoritma Kelelawar Secara Operasi Sistem

Operasi sistem berarti pembangkit listrik beroperasi secara terus menerus setelah dinyalakan sesuai dengan berubahnya permintaan daya. Tabel 5 memperlihatkan *economic dispatch* untuk sistem PLTG Tambak Lorok yang hanya memperhatikan batas minimum dan maksimum kapasitas generator serta memperhatikan operasi sistem.

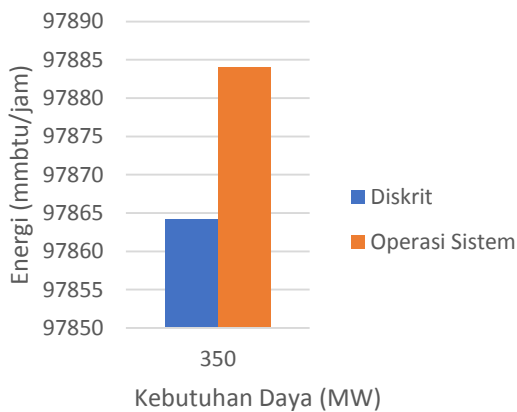
Tabel 5. Hasil simulasi Algoritma Kelelawar secara operasi sistem PLTG Tambak Lorok

Daya	G.1	G.2	G3	G.A	G.B	G.C	Total Energi	Biaya
30			30				9.831,27	37.634.10
50			50				13.030,8	49.881.90
75			75				17.237,4	65.984.76
100			70			30	29.695,2	113.673.2
125			95			30	34.086,1	130.481.5
150			97			53	39.483,1	151.141.3
175			97			78	45.051,7	172.457.9
200			97		61,87	41,12	57.288	219.298.4
225			97		69,52	58,47	62.794,4	240.376.9
250			97		77,28	75,72	68.369,2	261.717.2
275			97		84,97	93,02	74.012,4	283.319.4
300			97	41,19	79,84	81,95	86.520,7	331.201.2
325			97	48,87	85,23	93,88	92.176,8	352.852.7
350	350			97	60,28	92,71	100	97.884
375	375			97	78	100	100	103.676
400	66,433		97	51,44	86,77	98,34	116.028	444.155.1
425	71,915		97	61,73	94,35	100	121.751	466.062.8
450	78,572		97	74,42	100	100	127.541	488.226.9
475	87,282		97	90,71	100	100	133.418	510.724.1
500	73,693	67,566	97	65,19	95,54	100	146.067	559.144.4
525	79,638	71,909	97	76,45	100	100	151.873	581.369.8
550	86,576	76,972	97	89,45	100	100	157.752	603.874.6
575	95,023	82,975	97	100	100	100	163.710	626.681.8
591	97	97	97	100	100	100	167.617	641.637.8

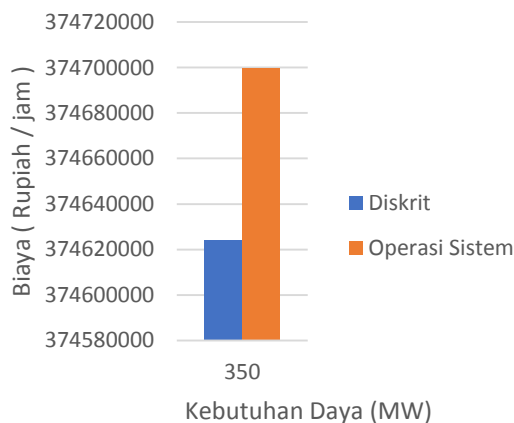
3.4 Hasil Perbandingan Simulasi Metode Algoritma Kelelawar Secara Diskret dengan Operasi Sistem

Penjadwalan ekonomis unit pembangkit menggunakan Algoritma Kelelawar secara diskret berarti hanya memperhatikan batas minimum dan maksimum kapasitas

generator tanpa memperhatikan operasi sistem. Penjadwalan ekonomis unit pembangkit menggunakan Algoritma Kelelawar secara operasi sistem berarti pembangkit listrik beroperasi kontinu setelah dinyalakan dengan bertambahnya permintaan daya. Untuk melihat perbedaan hasil simulasi metode Algoritma Kelelawar secara diskret dengan Algoritma Kelelawar secara operasi sistem maka dilakukan perbandingan hasil total energi dan total biaya. Secara keseluruhan tidak ada perbedaan yang signifikan, perbedaan terjadi saat permintaan daya sebesar 350 MW dan 375 MW.



(a)

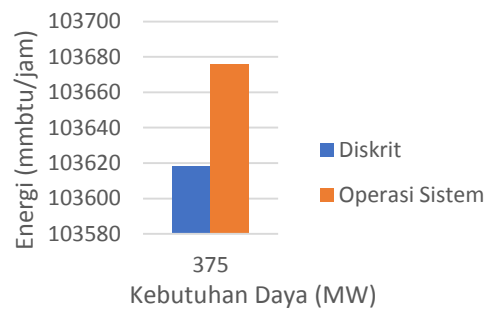


(b)

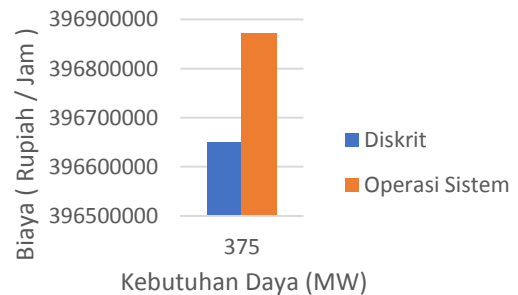
Gambar 9. a. grafik perbandingan energi pada kebutuhan daya 350 MW b. grafik perbandingan biaya pada kebutuhan daya 350 MW

Pada Gambar 9 menunjukkan biaya yang dihasilkan dari simulasi secara diskret pada permintaan beban 350 MW adalah sebesar 374.624.158 rupiah/jam dengan total energi 97.864,2 mmbtu/jam. Sedangkan Biaya yang dihasilkan dari simulasi secara sistem operasi pada permintaan beban 350 MW adalah sebesar 374.799.952 rupiah/jam dengan total energi 97884 mmbtu/jam. Pada Gambar 9 menunjukkan selisih energi sebesar 19,8 mmbtu/ jam dan biaya sebesar 75.794,4 rupiah/jam pada

kebutuhan daya 350 MW. Pada simulasi secara diskret dengan permintaan daya 350 MW menghasilkan konfigurasi unit pembangkit Generator 1 66,77 MW, Generator 3 97 MW, Generator B 87,419 MW dan Generator C 98,804 MW serta Generator 2 dan Generator A dalam kondisi mati. Pada simulasi secara operasi sistem dengan permintaan daya 350 MW menghasilkan konfigurasi unit pembangkit Generator 3 97 MW, Generator A 60,28 MW, Generator B 92,71 MW dan Generator C 100 MW serta Generator 1 dan Generator 2 dalam kondisi mati.



(a)



(b)

Gambar 10. a. grafik perbandingan energi pada kebutuhan daya 375 MW b. grafik perbandingan biaya pada kebutuhan daya 375 MW

Pada Gambar 10 menunjukkan biaya yang dihasilkan dari simulasi secara diskret pada permintaan beban 375 MW adalah sebesar 396.649.704 rupiah/jam dengan total energi 103.618 mmbtu/jam. Biaya yang dihasilkan dari simulasi secara operasi sistem pada permintaan beban 375 MW adalah sebesar 398.871.728 rupiah/jam dengan total energi 103.676 mmbtu/jam. Pada Gambar 10 menunjukkan selisih energi sebesar 58 mmbtu/ jam dan biaya sebesar 222.024 rupiah/jam pada kebutuhan daya 375 MW. Pada simulasi secara diskret dengan permintaan daya 375 MW menghasilkan konfigurasi unit pembangkit Generator 1 78 MW, Generator 3 97 MW, Generator B 100 MW dan Generator C 100 MW serta Generator 2 dan Generator A dalam kondisi mati. Pada simulasi secara operasi sistem dengan permintaan daya 375 MW menghasilkan konfigurasi unit pembangkit Generator 3 97

MW, Generator A 78 MW, Generator B 100 MW dan Generator C 100 MW serta Generator 1 dan Generator 2 dalam kondisi mati.

4. Kesimpulan

Metode Algoritma Kelelawar dapat digunakan untuk solusi dari masalah *economic dispatch* yang optimal pada unit pembangkit PLTG di PLTGU blok 1 dan blok 2 Tambak Lorok. Dari hasil pengujian, metode optimisasi Algoritma Kelelawar menunjukkan hasil yang baik untuk masalah *economic dispatch*. Hal ini dapat dilihat dari hasil perbandingan dengan metode Iterasi Lambda yang digunakan sebagai validitas pada percobaan kebutuhan daya 200MW, 225MW dan 250MW. Pada percobaan penjadwalan ekonomis unit pembangkit secara diskret dan operasi sistem terdapat perbedaan pada permintaan beban 350 MW dan 375 MW. Dari hasil pengujian, penjadwalan ekonomis unit pembangkit dalam keadaan operasional menghasilkan biaya yang lebih mahal dibandingkan dengan secara diskret. Ini dapat dilihat dari perbandingan pada permintaan beban 350 MW memiliki selisih biaya sebesar 75.794,4 rupiah/jam dengan selisih total energi 19,8 mmbtu/jam. Sedangkan pada permintaan beban 375 MW memiliki selisih biaya 222.024 rupiah/jam dengan total energi 58 mmbtu/jam. Dari hasil simulasi dapat dilihat hasil secara diskrit lebih cocok untuk beban secara kontinu sedangkan hasil secara operasi sistem lebih cocok saat keadaan beban berubah-ubah. Saran untuk penelitian ini untuk optimisasi penjadwalan ekonomis pada unit pembangkit PLTG di PLTGU Tambak Lorok dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan daya yang dihasilkan pada Turbin Uap (STG) pada saat pola operasi *Combine Cycle*.

Referensi

- [1] D. Marsudi, *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga, 2011.
- [2] X.S. Yang, *Nature-Inspired Optimization Algorithm*. London: Elsevier, 2014
- [3] Budi Santosa, Paul Willy, *Metoda Metaheuristik konsep dan implementasi*, 2011
- [4] A. Priyadi, I. Robandi, Suharto, 2015. "Penalaan *Power System Stabilizer* (PSS) untuk Perbaikan Stabilitas Dinamik pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan *Bat Algorithm* (BA)". Indonesia
- [5] E.V.B. Sitorus, "Optimasi *Economic Dispatch* Pada Unit Pembangkit PLTG di PLTGU Tambak Lorok menggunakan metode Algoritma *Artificial Bee Colony*."
- [6] Cekdin. Cekmas, "Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan MATLAB. Yogyakarta : Andi Offset, 2007
- [7] M. Siswanto. "Optimasi Pembagian Beban Pada Unit Pembangkit PLTG Tambak Lorok Dengan Metode *Lagrange Multiplier*" 2005
- [8] Y.N.V. Kumar, S. Sivanagaraju, C.V. Suresh "Security Constrained *economic load dispatch* in the presence of *interline power flow controller* using *modified bat algorithm*."
- [9] K. S. Pandya, S. K. Joshi, D. A. Dabhi "Comparative of *bat and flower pollination optimization algorithms* in *highly stressed large power system*."
- [10] H. Saadat, *Power System Analysis*. New York: Kevin Kane, 1999
- [11] Suharto, I. Subandi, A. Priyadi "Penalaan *Power System Stabilizer* (PSS) untuk perbaikan stabilitas dinamik pada sistem tenaga listrik menggunakan *Bat Algorithm* (BA)."
- [12] M. Pujiantara, M. Abdillah "Adaptive *PI Controller* berbasis *Bat Algorithm* (BA) dan *Extreme Learning Machine* (ELM) untuk control kecepatan *permanen magnet synchronous motor*."
- [13] S. Wantoro, Basuki. "Particle Swarm Optimization Untuk Optimasi Penjadwalan Pembebanan Pada Unit Pembangkit PLTG di PLTGU Tambak Lorok"
- [14] X.S. Yang, *A New Metaheuristic bat inspired algorithm*. London: Elsevier, 2014