

# Optimisasi Operasi Ekonomis PLTG Tambak Lorok dengan Metode Iterasi Lamda dan Kombinasi Unit Pembangkit

Junas Haidi, Novalio Daratha, Zoni Mutaqin

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

E-mail: junas.haidi@unib.ac.id

**Abstrak:** paper ini membahas operasi ekonomis pembangkit listrik tenaga gas dengan menggunakan metode iterasi lamda dan kombinasi unit pembangkit. Pada penelitian ini hanya satu beban daya yang digunakan untuk pembuktian perhitungan yaitu beban 280 MW. Jumlah PLTG Tambak Lorok ada 6 unit, maka ada 64 kombinasi operasi unit pembangkit. Pada saat PLTG dibebani daya 280 MW, maka ada 41 kombinasi operasi unit pembangkit yang akan dihitung dengan menggunakan metode iterasi lamda. Dari penelitian yang dilakukan, pengoperasian yang paling optimal ketika kombinasi operasi unit pembangkit mengoperasikan unit 3, unit 5 dan unit 6 dengan total bahan bakar yang digunakan sebesar 75.153,0 MMBTU/h. Dan konsumsi bahan bakar terbesar ketika kombinasi operasi unit pembangkit unit 1, unit 2, unit 4, unit 5 dan unit 6 dioperasikan dengan total pemakaian bahan bakar sebesar 97.072 MMBTU/h. dengan pemilihan kombinasi yang tepat apabila dibandingkan dengan mengoperasikan semua unit pembangkit akan menghemat bahan bakar sebesar 21.919 MMBTU/h.

**Abstract:** This paper discusses the economical operation of a gas power plant using the lamda iteration method and a combination of generating units. In this study only one power load was used to prove the calculation which is the load of 280 MW. There are 6 units of Tambak Lorok PLTG, so there are 64 combinations of generating operations. When the power plant is loaded with 280 MW of power, there are 41 combinations of generating unit operations that will be calculated using the Lamda iteration method. From the research conducted, the most optimal operation when the combined operation of the generating unit operates unit 3, unit 5 and unit 6 with a total fuel used of 75.153,0 MMBTU/h. And the biggest fuel consumption when a combination of generating unit operations units 1, unit 2, unit 4, unit 5 and unit 6 is operated with total fuel consumption of 97.072 MMBTU/h. By selecting the right combination when compared to operating all generating units, it will save fuel by 21.919 MMBTU/h.

**Keywords—** PLTG Economic Operations, Lamda Iteration, Combination of Generating Units.

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya harga bahan bakar minyak, gas dan batu bara dipasar internasional, hal ini menyebabkan kenaikan biaya produksi listrik sangat signifikan. Dari waktu ke waktu harga gas akan selalu mengalami kenaikan.

Biaya operasi dari system merupakan biaya terbesar dari suatu perencanaan yaitu mencapai 70% dari seluruh biaya. Maka perencanaan operasi Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) perlu dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik optimasi[1][2] agar dapat dicapai biaya operasi yang betul-betul dapat dipertanggung jawabkan[2]. Dengan bertambah besarnya biaya produksi hal ini membuat pengeluaran perusahaan semakin besar. Sehingga untuk menekan pengeluaran perusahaan yang sangat besar, maka semua bidang harus bekerja dengan optimal terutama pada divisi operasi pembangkit. Biaya operasional PLTG adalah yang paling besar dibandingkan dengan biaya operasional lainnya karena harga bahan bakar selalu berubah-ubah setiap tahunnya. Biaya produksi yang dikeluarkan untuk membangkitkan energi listrik terdiri dari biaya tidak tetap dan biaya tetap. Biaya tidak tetap ini tergantung dari cara menjalankan unit pembangkit yaitu berhubungan erat dengan jumlah energi listrik yang dibangkitkan, berarti ditentukan oleh total harga bahan bakar. Dari biaya produksi listrik biaya tetap dan biaya tidak tetap, yang masih bisa dimanipulasi adalah biaya tidak tetap. Cara melakukan penghematan biaya tidak tetap ini dengan melihat biaya bahan bakar terhadap produksi listrik yang dihasilkan yaitu dengan mencari pengoperasian unit PLTG yang paling optimal (ekonomis).

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data dari paper yang berjudul metode koloni semut pada domain kontinu untuk optimisasi penjadwalan ekonomis unit pembangkit PLTG di PLTGU PT. Indonesia Power Tambak Lorok[3]. Dari data operasi PLTG Tambak Lorok yang telah ada, maka akan dilakukan optimalisasi pembangkit dengan menggunakan iterasi lamda[4][5] dan kombinasi unit pembangkit.

Iterasi lamda digunakan untuk menghitung biaya bahan bakar unit dan total pembangkit sedangkan kombinasi unit pembangkit digunakan untuk menentukan unit pembangkit yang beroperasi sehingga mendapatkan bahan bakar yang paling minimal. Dengan menggunakan

metode Iterasi Lamda yaitu kenaikan nilai panas atau biaya bahan bakar dimana dengan metode ini dilakukan pendekatan terhadap karakteristik pembangkit *thermal*[2][4] dengan menggunakan fungsi plinomial pangkat dua dan diselesaikan dengan persamaan garis lurus dengan cara menurunkan persamaan fungsi kuadrat dari hasil polynomial sehingga akan menyederhanakan perhitungan dan dianggap cukup teliti. Dengan pendekatan ini biaya energy pada beberapa tingkat pembebanan suatu unit pembangkit merupakan *segmen-segmen linier*[6].

Karena blok I dan blok II terdiri dari 6 unit PLTG, maka terdapat 64 kombinasi unit pembangkit yang bisa dilakukan. Pada penelitian ini hanya akan dilakukan pengujian pada beban total pembangkit sebesar 300 MW dengan 22 kombinasi unit pembangkit sehingga akan terlihat operasi unit pembangkit yang mana yang paling hemat bahan bakar (ekonomis).

## II. OPERASI EKONOMIS PLTG

### A. Lamda ( $\lambda$ ).

Lamda adalah kenaikan biaya bahan bakar pembangkit terhadap daya yang dibangkitkan dalam satuan MBTU/MWh. Metode Iterasi Lamda adalah melakukan perhitungan operasi ekonomis suatu pembangkit dengan melihat karakteristik suatu pembangkit pada persamaan polynomial tingkat dua, dimana pendekatan akan melakukan pendekatan rata-rata dengan cara menurunkan persamaan karakteristik tersebut.

Untuk memperoleh system input minimum pengoperasian system pembangkitan digunakan metode Iterasi Lamda. Suatu unit pembangkit yang dioperasikan mempunyai no load heat input penetapan untuk membebani atau tidak membebani unit tersebut dilakukan dengan membandingkan *incremental heat rates* pembangkit tersebut terhadap *incremental heat rates* unit-unit pembangkit yang terdapat didalam system.[7]. Untuk mencari pemakaian bahan bakar produksi unit pembangkit dapat dinyatakan dengan Persamaan 1.

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

Dan apabila disuatu pembangkit menggunakan banyak unit pembangkit maka karakteristik masing-masing unit pembangkit tersebut dilakukan penjumlahan yang dinyatakan pada Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$C_{Tot} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

$$C_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (3)$$

Pada suatu sistem pembangkit listrik, daya yang disuplai harus sama dengan beban yang ditanggung oleh pembangkit dan ditulis dalam Persamaan 4 dan daya yang harus disuplai pada setiap unit pembangkit dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{beban} \quad (4)$$

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{P_{beban} + \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (6)$$

Konsumsi bahan bakar pembangkit listrik saat terjadi kendala dari perhitungan dimana daya yang dihasilkan kurang dari batas minimal pengoperasian unit pembangkit atau daya yang dihasilkan melebihi batas maksimum pengoperasian unit pembangkit dapat dihitung dengan Persamaan 7. Maka pemakaian bahan bakar yang sebenarnya dalam MBTU/MWh adalah penjumlahan dari persamaan 6 dan persamaan 7 sehingga didapatkan Persamaan 8[7].

$$\Delta \lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (7)$$

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta \lambda^{(k)} \quad (8)$$

Untuk mencari keakuratan perhitungan pada unit pembangkit adalah daya yang disalurkan harus sama dengan daya yang diserap oleh beban yang ditanggung oleh pembangkit listrik dan idealnya selisih dari pengurangan daya yang disalurkan dengan daya yang diserap beban adalah nol [7].

$$\Delta P^{(k)} = P_{beban} - \sum_{i=1}^n P_i^{(k)} \quad (9)$$

### B. Kendala Unit Pembangkit

Minimalisasi biaya dilakukan melalui penyesuaian dalam nilai variable control. Penyesuaian ini dibatasi dalam batas yang disepesifikasi yang didasarkan pada pertimbangan engineering dari unit pembangkit. Pembangkitan daya aktif dari masing-masing unit pembangkit dibatasi antara batas bawah dan batas atas dimana batas bawah adalah batas minimal pengoperasian unit pembangkit, sedangkan batas atas adalah batas maksimal pengoperasian unit pembangkit dan ditulis dalam Persamaan 10 sampai dengan Persamaan 12[7].

$$\frac{dC_i}{dP_i} = \lambda \quad \text{untuk } P_{i\min} < P_i < P_{imak} \quad (10)$$

$$\frac{dC_i}{dP_i} \leq \lambda \quad \text{untuk } P_i = P_{imak} \quad (11)$$

$$\frac{dC_i}{dP_i} \geq \lambda \quad \text{untuk } P_i = P_{imin} \quad (12)$$

### C. Pembagian Kerja Unit Pembangkit

Pada pusat tenaga listrik biasanya terdapat beberapa unit pembangkit listrik, sehingga perlu untuk mengatur urutan kerja mesin-mesin tersebut sesuai dengan kebutuhan beban yang harus dilayani. Pembagian kerja

ini disusun atas dasar beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Terjaminnya kontinuitas pelayanan yaitu jumlah unit yang bekerja tidak perlu dari jenis yang sama atau mempunyai kapasitas yang sama ditentukan sedemikian rupa sehingga apabila unit yang terbesar kapasitasnya tiba-tiba rusak, maka unit sisanya harus dapat melayani kebutuhan beban yang ada.
2. Mesin-mesin yang lebih efisien diberikan prioritas yang utama untuk bekerja terlebih dahulu.
3. Pembagian beban terhadap unit-unit yang bekerja harus berdasarkan persyaratan perubahan masukan terhadap perubahan keluaran yang sama.

Prinsip paling dasar pada penentuan unit *commitment* suatu system pembangkitan adalah bahwa pengoperasian system lebih ekonomis dengan jumlah unit minimum[7].

Karena PLTG Tambak Lorok ada dua blok yaitu Blok I dan Blok II, masing masing blok ada 3 unit PLTG. Dengan demikian jumlah pembangkit listrik tenaga gas di Blok I dan Blok II sebanyak 6 Unit PLTG. Karena ada 6 unit pembangkit maka ada 64 kombinasi pengoperasian unit pembangkit Blok I dan Blok II.

Data PLTG Tambak Lorok Blok I dan Blok II diambil dari data karya ilmiah yang berjudul metode kloni semut pada domain kontinu untuk optimisasi penjadwalan ekonomis unit pembangkit PLTG di PLTGU PT. Indonesia Power oleh Ivan Darren Alber dkk. Berdasarkan dari karya ilmiah tersebut didapatkan data batas pengoperasian minimal dan maksimal unit pembangkit[4] dari unit 1 sampai dengan unit 6 sebagai berikut[3].

$$\text{PLTG1 } 30\text{MW} \leq P_1 \leq 97\text{MW}$$

$$\text{PLTG2 } 30\text{MW} \leq P_2 \leq 97\text{MW}$$

$$\text{PLTG3 } 30\text{MW} \leq P_3 \leq 97\text{MW}$$

$$\text{PLTG4 } 30\text{MW} \leq P_4 \leq 100\text{MW}$$

$$\text{PLTG5 } 30\text{MW} \leq P_5 \leq 100\text{MW}$$

$$\text{PLTG6 } 30\text{MW} \leq P_6 \leq 100\text{MW}$$

Karakteristik *polynomial* tingkat dua kenaikan daya terhadap bahan bakar gas dari unit pembangkit 1 sampai dengan unit pembangkit 6 sebagai berikut[3].

$$C_1 = 7758,4 + 198,09P_1 + 0,223P_1^2$$

$$C_2 = 8388,5 + 189,76P_2 + 0,3049P_2^2$$

$$C_3 = 5308,5 + 145,23P_3 + 0,1843P_3^2$$

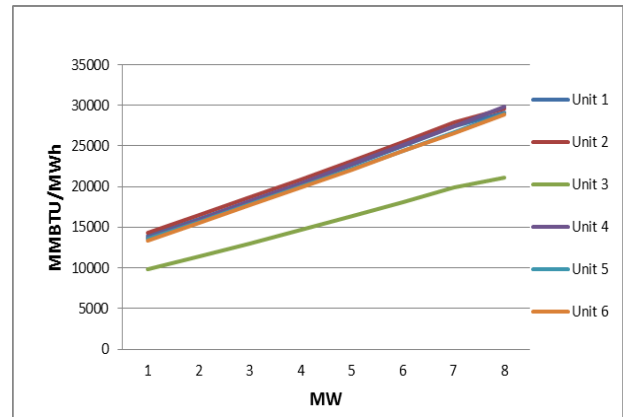
$$C_4 = 7093,2 + 215,49P_4 + 0,1187P_4^2$$

$$C_5 = 7549,3 + 196,98P_5 + 0,1771P_5^2$$

$$C_6 = 6875,1 + 212,37P_6 + 0,0792P_6^2$$

Dari karakteristik unit pembangkit PLTG Tambak Lorok dari unit 1 sampai dengan unit 6 dapat dilihat dalam Gambar grafik 1. Dari Gambar karakteristik unit 1 sampai dengan unit 6 dapat dilihat karakteristik unit pembangkit yang paling boros bahan bakar dan unit pembangkit yang paling hemat bahan bakar. Unit pembangkit yang prioritas operasi adalah unit 3

sedangkan unit 2 adalah unit yang paling boros dengan bahan bakar dibandingkan dengan unit yang lain.



Gambar 1. Karakteristik unit pembangkit

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Perhitungan Operasi Ekonomis PLTG Tambak Lorok Dengan menggunakan Iterasi Lamda.

Dari data PLTG yang telah didapat, akan dilakukan proses perhitungan dengan menggunakan metode Iterasi Lamda. Pada penelitian ini hanya dilakukan satu titik beban saja untuk membuktikan perhitungan dengan Metode Iterasi Lamda dan Kombinasi unit pembangkit, dapat menghemat total bahan bakar yang ditanggung pembangkit listrik yang sedang beroperasi. Pada penelitian ini total beban daya yang ditanggung oleh pembangkit adalah 280 MW. Dan perhitungan dengan metode iterasi lamda akan dilakukan dua kombinasi unit pembangkit. Operasi pertama untuk beban 280 MW PLTG Unit 3, 5, 6 sebagai berikut.

Dengan menggunakan Persamaan 6 nilai lamda dapat dihitung

$$\lambda = \frac{P_{beban} + \sum_{i=1}^4 \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{2\gamma_i}} = 216,96 \text{ MMBTU} / \text{MWh}$$

Setelah nilai Lamda didapatkan, untuk menghitung daya yang dibangkitkan disetiap unit pembangkit menggunakan Persamaan 5 sebagai berikut.

$$P_3 = \frac{\lambda - \beta_3}{2\gamma_3} = 194,60 \text{ MW}$$

$$P_5 = \frac{\lambda - \beta_5}{2\gamma_5} = 56,41 \text{ MW}$$

$$P_6 = \frac{\lambda - \beta_6}{2\gamma_6} = 28,98 \text{ MW}$$

Karena  $P_3 > P_{3\min}$  maka PLTG unit 3 harus beroperasi maksimal 97 MW dan  $P_5 < P_{5\min}$  sehingga unit 5 harus beroperasi minimal 30 MW

$$\Delta P = 280 - \sum_{i=1}^4 P_i^{(k)} = 96,59 \text{ MW}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta P}{\sum \frac{1}{2\gamma_i}} = 10,57 \text{ MMBTU} / \text{MWh}$$

$$\lambda^{(1)} = \lambda + \Delta\lambda = 227,54 \text{ MMBTU} / \text{MWh}$$

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

$$P_5^{(1)} = \frac{\lambda^{(1)} - \beta_5}{2\gamma_5} = 83,47 \text{ MW}$$

$$P_6^{(1)} = \frac{\lambda^{(1)} - \beta_6}{2\gamma_6} = 89,45 \text{ MW}$$

$$\Delta P^{(1)} = 280 - \sum_{i=1}^4 P_i^{(k)} = 10,08 \text{ MW}$$

$$\Delta\lambda^{(1)} = \frac{\Delta P^{(1)}}{\sum \frac{1}{2\gamma_i}} = 1,10 \text{ MMBTU} / \text{MWh}$$

$$\lambda^{(2)} = \lambda^{(1)} + \Delta\lambda^{(1)} = 228,64 \text{ MMBTU} / \text{MWh}$$

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

$$P_5^{(2)} = \frac{\lambda^{(2)} - \beta_5}{2\gamma_5} = 89,38 \text{ MW}$$

$$P_6^{(2)} = \frac{\lambda^{(2)} - \beta_6}{2\gamma_6} = 102,71 \text{ MW}$$

Karena  $P_6^{(2)}$  melebihi batas maksimal operasi maka  $P_6^{(2)}$  beroperasi maksimal 100 MW.

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

$$P_5^{(3)} = \frac{\lambda^{(3)} - \beta_5}{2\gamma_5} = 83 \text{ MW}$$

$$P_6^{(3)} = \frac{\lambda^{(3)} - \beta_6}{2\gamma_6} = 100 \text{ MW}$$

$$C_3 = 5308,5 + 145,23P_3 + 0,1843P_3^2 = 21.130 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_5 = 7549,3 + 196,98P_5 + 0,1771P_5^2 = 25.119 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_6 = 6875,1 + 212,37P_6 + 0,0792P_6^2 = 28.904 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_{Tot} = \sum_{i=1}^6 C_i = 75153 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

Perhitungan operasi kombinasi kedua pembangkit untuk beban 280 MW PLTG unit 1, unit 2, unit 4, unit 5 dan unit 6 beroperasi sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{P_{beban} + \sum_{i=1}^6 \beta_i}{\sum_{i=1}^6 \frac{1}{2\gamma_i}} = 222,85 \text{ MMBTU} / \text{MWh}$$

Setelah nilai Lamda didapatkan, untuk menghitung daya yang dibangkitkan disetiap unit pembangkit menggunakan persamaan 5 sebagai berikut.

$$P_1 = \frac{\lambda - \beta_1}{2\gamma_1} = 55,85 \text{ MW}$$

$$P_2 = \frac{\lambda - \beta_2}{2\gamma_2} = 54,26 \text{ MW}$$

$$P_4 = \frac{\lambda - \beta_4}{2\gamma_4} = 31 \text{ MW}$$

$$P_5 = \frac{\lambda - \beta_5}{2\gamma_5} = 73 \text{ MW}$$

$$P_6 = \frac{\lambda - \beta_6}{2\gamma_6} = 66,16 \text{ MW}$$

$$\Delta P = 280 - \sum_{i=1}^6 P_i^{(k)} = 0 \text{ MW}$$

$$C_1 = 7758,4 + 198,09P_1 + 0,223P_1^2 = 19.443 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_2 = 8388,5 + 189,76P_2 + 0,3049P_2^2 = 19.584 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_4 = 7093,2 + 215,49P_4 + 0,1187P_4^2 = 13.889 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_5 = 7549,3 + 196,98P_5 + 0,1771P_5^2 = 22.882 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_6 = 6875,1 + 212,37P_6 + 0,0792P_6^2 = 21.274 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

$$C_{Tot} = \sum_{i=1}^6 C_i = 97.072 \text{ MMBTU} / \text{h}$$

Dari hasil perhitungan operasi PLTG pada saat unit 3, 5 dan unit 6 dioperasikan untuk memikul beban 280 MW, terlihat pada saat perhitungan daya yang ditanggung oleh setiap unit ada yang menemui kendala yaitu unit 3, karena secara perhitungan menyuplai daya diatas kemampuan pembangkit unit 3. Tentunya hal ini tidak diperbolehkan sehingga perlu diselesaikan dengan melakukan iterasi pada lamda, dari hasil perhitungan ini untuk mendapatkan perhitungan yang benar didapatkan iterasi lamda ke dua yaitu dengan nilai awal lamda 216,96 MMBTU/MWh karena masih ada kendala operasi pembangkit dilanjutkan dengan iterasi lamda pertama dengan mendapatkan hasil 227,54 MMBTU/MWh dan pada iterasi pertama ini unit pembangkit masih mempunyai kendala yaitu daya yang dibangkitkan masih belum sama dengan daya yang dibutuhkan. Karena lamda awal dan lamda iterasi pertama belum menyelesaikan permasalahan pengoperasian unit pembangkit maka dilakukan iterasi lamda yang kedua. Pada iterasi kedua ini didapatkan nilai lamda sebesar 228.64 MMBTU/MWh dengan iterasi lamda yang kedua ini setelah dimasukan keperhitungan maka daya yang dihasilkan pada setiap unit pembangkit untuk memikul beban sebesar 280 MW telah memenuhi standar operasi pembangkit sesuai dengan kemampuan operasional unit pembangkit tersebut.

Setelah nilai lamda dan daya pada unit pembangkit telah didapatkan, maka bahan bakar setiap unit PLTG Tambak Lorok pada saat kombinasi pertama didapatkan untuk pembangkit unit 3 sebesar 21130 MMBTU/h, unit 5 sebesar 25.119 MMBTU/h dan unit 6 sebesar 28.904 MMBTU/h. setelah didapatkan bahan bakar setiap unit pembangkit maka didapatkan total energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan pembangkit unit 3 sampai dengan unit 6 adalah 75.153 MMBTU/h. Dari hasil perhitungan kombinasi pertama ini dapat kita lihat konsumsi bahan bakar unit 3 yang paling hemat sehingga unit 3 dioperasikan maksimal pada beban 97 MW.

Konsumsi bahan bakar yang paling boros pada pembangkit unit 5 sehingga unit 5 harus dioperasikan seminimal mungkin.

#### B. Kombinasi unit operasi PLTG Tambak Lorok.

PLTG tambak lorok blok I dan blok II berjumlah 6 unit pembangkit, dari 6 unit pembangkit tersebut ada 64 kombinasi operasi pembangkit. Dengan banyaknya kombinasi tersebut maka bisa dihitung unit pembangkit yang mana harus beroperasi untuk mendapatkan bahan bakar sehemat mungkin. Dalam penelitian ini hanya akan dihitung satu titik beban yaitu beban total 280 MW, dengan beban 280 MW tersebut kombinasi PLTG Tambak Lorok mempunyai 41 kombinasi operasi. Adapun kombinasi unit pembangkit pada beban 280 MW dengan perhitungan Iterasi Lamda dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi Unit Pltg Tambak Lorok Dengan Beban 280 Mw

No	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Bahan Bakar
	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MMBTU/h
1	Off	Off	Off	80	100	100	82.953,0
2	Off	Off	97	Off	83	100	75.153,0
3	Off	Off	97	83	Off	100	75.831,0
4	Off	Off	97	83,8	99,1	Off	75.945,0
5	Off	Off	97	35,1	75,8	72,3	82.093,0
6	Off	80	Off	100	Off	100	83.443,0
7	Off	80,8	Off	99,1	100	Off	84.357,0
8	Off	60,3	Off	46,6	83,5	89,5	90.104,0
9	Off	82,1	97	100	Off	Off	76.069,0
10	Off	83	97	Off	100	Off	76.397,0
11	Off	97	97	Off	56	30	83.266,0
12	Off	83	97	100	Off	Off	77.193,0
13	Off	53	97	30	Off	100	83.001,0
14	Off	63,7	97	30	89,3	Off	83.059,9
15	Off	48,4	97	30	63	41,5	89.605,4
16	78,2	Off	Off	Off	100	100	83.009,9
17	87,9	Off	Off	92	Off	100	83.788,2
18	87,9	Off	Off	92	Off	100	83.858,9
19	63,6	Off	Off	46,3	83,3	86,8	89.707,2
20	83	Off	97	Off	Off	100	85.963,0
21	38,4	Off	97	Off	51,6	Off	75.884,3
22	66,3	Off	97	Off	48,4	30	68.960,5
23	83	Off	97	Off	100	Off	75.884,3
24	63,3	Off	97	30	Off	88,7	82.579,0
25	66,3	Off	97	30	86,6	Off	90.300,5
26	53	Off	97	30	70	30	89.212,1
27	96	83,9	Off	Off	Off	100	84.250,0
28	88	78,0	Off	Off	100	Off	84.328,2
29	61,2	58,4	Off	Off	80,2	80	90.158,7
30	96,7	83,9	Off	100	Off	Off	85.139,1
31	67,2	62,8	Off	53	Off	96,9	90.687,6
32	69,1	64,2	Off	56,5	90,1	Off	89.487,3
33	55,8	54,3	Off	31	73	66,2	97.072,0
34	97,8	85,2	97	Off	Off	Off	77.163,7
35	80,4	72,5	97	Off	Off	30	83.356,6
36	30	63,7	97	Off	89,3	Off	83.296,9
37	45,5	46,9	97	Off	60,5	30	89.786,8
38	80,4	72,5	97	30	Off	Off	83.693,0
39	50,6	50,6	97	30	Off	52,3	90.142,0
40	45,5	46,9	97	30	60,4	Off	90.123,0
41	35,4	39,6	97	30	47,8	30	96.914

Dari Tabel 1 dapat dilihat hasil perhitungan 41 kombinasi unit pembangkit PLTG Tambak Lorok dioperasikan untuk memikul beban sebesar 280 MW.

Pada tabel tersebut dapat dilihat total bahan bakar yang dibutuhkan pembangkit ketika pengoperasian kombinasi PLTG.

Kombinasi yang paling hemat bahan bakar pada saat memikul beban 280 MW adalah mengoperasikan pembangkit unit 3 sebesar 97 MW, unit 5 sebesar 83 MW, unit 6 sebesar 100 MW dengan total bahan bakar yang digunakan adalah 75.153,0 MMBTU/h. sedangkan pengoperasian yang paling boros ketika mengoperasikan pembangkit unit sebesar 55,85 MW, unit 2 sebesar 54,26 MW, unit 4 sebesar 31 MW, unit 5 sebesar 73 MW dan unit 6 sebesar 66,16 MW dengan total pemakaian bahan bakar sebesar 97.072 MMBTU/h. perbandingan dari operasi pembangkit yang paling hemat bahan bakar dan operasi pembangkit yang paling boros dengan bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Selisih Bahan Bakar Operasi Pltg Tambak Lorok Saat Memikul Beban 280 Mw

Konsumsi Total Bahan Bakar (MMBTU/h)		
Unit 3,5,6	Unit 1,2,4,5,6	Selisih Konsumsi BB
75.153,0	97.072	21.919

Dari perhitungan yang telah dilakukan, selisih dari kombinasi operasi PLTG Tambak Lorok yang paling hemat bahan bakar dengan yang paling boros bahan bakarnya sebesar 21.919 MMBTU/h. Dengan menggunakan kombinasi unit pembangkit yang tepat untuk memikul beban 280 MW dapat menghemat bahan bakar pembangkit listrik sebesar 21.919 MMBTU/h.

Dari hasil penelitian metode koloni semut pada domain kontinu untuk optimisasi penjadwalan ekonomis unit pembangkit PLTG di PLTGU PT. Indonesia Power Tambak Lorok didapatkan hasil pengoperasian unit pembangkit untuk memikul beban 280 MW dapat dilihat pada Tabel 3[3]. Adapun perbandingan hasil perhitungan operasi ekonomis unit pembangkit dengan menggunakan Iterasi lamda, koloni semut dengan gabungan iterasi lamda dan kombinasi unit pembangkit dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Metode Iterasi Lamda, Koloni Semut Dengan Gabungan Iterasi Lamda Dan Kombinasi Unit Pembangkit Saat Memikul Beban 280 Mw

Metode	Unit 1 (MW)	Unit 2 (MW)	Unit 3 (MW)	Unit 4 (MW)	Unit 5 (MW)	Unit 6 (MW)	Bahan Bakar (MMBTU/h)
Iterasi Lamda	97	86	97	Off	Off	Off	77.164,1
Koloni Semut	97	86	97	Off	Off	Off	77.164,1
Iterasi Lamda & Kombinasi Unit Pembangkit	Off	Off	97	Off	83	100	75.153,0
Selisih Konsumsi Bahan Bakar							2.011,1

Dari Tabel 3 dapat dilihat perbandingan perhitungan iterasi lamda dengan gabungan iterasi lamda dan kombinasi unit pembangkit. Pada saat PLTG Tambak Lorok memikul beban sebesar 280 MW dilakukan dengan perhitungan iterasi lamda dan koloni semut dengan unit 1 sampai unit 3 beroperasi bahan bakar yang dibutuhkan sebesar 77.164,1 MMBTU/h[3]. Sedangkan dengan menggunakan perhitungan gabungan iterasi lamda dengan kombinasi unit pembangkit mengoperasikan unit 3, unit 5 dan unit 6 membutuhkan bahan bakar sebesar 75.153 MMBTU/h. Dari ketiga

metode pada Tabel 3 tersebut terjadi selisih antara metode koloni semut dan gabungan iterasi lamda dengan kombinasi unit pembangkit sebesar 2.011,1 MMBTU/h. Dari hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan maka, metode iterasi lamda digunakan untuk menghitung bahan bakar yang dibutuhkan pembangkit dan kombinasi unit pembangkit menentukan pengoperasian yang paling optimal.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian operasi ekonomis PLTG Tambak Lorok dengan menggunakan metode iterasi lamda dan kombinasi unit pembangkit pada beban 280 MW dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari kombinasi operasi PLTG Tambak Lorok terdapat 41 kombinasi operasi, dengan konsumsi bahan bakar yang paling hemat apabila mengoperasikan pembangkit unit 3, unit 5 dan unit 6 dengan total bahan bakar 75.153,0 MMBTU/h.
2. Dari kombinasi operasi PLTG Tambak Lorok dengan konsumsi bahan bakar yang paling boros apabila mengoperasikan unit 1, unit 2, unit 4, unit 5 dan unit 6 dengan total bahan bakar 97.072 MMBTU/h.
3. Ketepatan dalam memilih kombinasi unit operasi pada beban 280 MW dapat menghemat bahan bakar PLTG Tambak Lorok sebesar 21.911 MMBTU/h.
4. Dari metode koloni semut dan gabungan iterasi lamda dengan kombinasi unit pembangkit terjadi selisih penghematan bahan bakar sebesar 2.011,1 MMBTU/h ketika menggunakan metode kombinasi unit pembangkit.

#### REFERENSI

- [1] Subiyanto, "Simulasi optimasi aliran daya sistem tenaga listrik sebagai pendekatan efisiensi biaya operasi," *Telkomnika*, vol. 3, no. 3, pp. 167–176, 2005.
- [2] A. S. Sinaga, "Pembebanan Ekonomis dengan Pengendalian Emisi pada Pembangkit Termis Menggunakan Algoritma Evolusi Diferensial," *JNTETI*, vol. 3, no. 2, pp. 159–163, 2014.
- [3] I. D. Alber and S. Handoko, "Metode Koloni Semut Pada Domain Kontinu Untuk Optimasi Penjadualan Ekonomis Unit Pembangkit PLTG Di PLTGU PT Indonesia Power Tambak Lorok," *Transient*, vol. 5, no. 4, pp. 543–550, 2016.
- [4] P. I. K. Syafii, "Analisa Operasi Ekonomis Pembangkit Termal untuk Melayani Beban Puncak Sistem Kelistrikan Sumbar," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [5] M. Tuegeh, A. Soeprijanto, and M. H. P, "Optimal Generator Scheduling Based On Particle," in *SemnasIF*, 2009, pp. 25–32.
- [6] Kontra Ketut, *Perencanaan System Tenaga Listrik*. Jakarta: Fakultas Teknik Industri Institut Sains dan Teknologi Nasional, 1990.
- [7] Saadat Hadi, *Power System Aalysis*. Singapore, 1999.