

PENJADWALAN OPTIMUM PEMBANGKIT THERMAL MENGUNAKAN METODE ITERASI LAMBDA STUDI KASUS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP BOLOK

Wellem F. Galla¹, Nursalim², Evtaleny Mauboy³, Fransiskus H. Wete⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknik Undana,
Jl Adisucipto Penfui, Kupang, Indonesia 85000
Email: fridzgalla@yahoo.coml.com

ABSTRACT

The research aims to perform optimum scheduling on the PLTU Bolok thermal plant by using lambda iterations simulated with MATLAB software. Hacyl Research suggests that minimum fuel consumption at LOADS of 10 to 25 MW is done optimization with 2 operation units. Minimum fuel consumption at a load of 10 to 20 MW is carried out optimization with the operation of Unit 2 and Unit 3. Minimum fuel consumption at a load of 25 MW minimum fuel consumption carried out an optimization of Unit 3 and Unit 4 operation. Minimum fuel consumption in the simulation load of 30 MW to 40 MW carried out optimization with 3 units operation. Minimum fuel consumption on the load of 30 MW and 35 MW carried out an optimization of units 2, 3 and 4. Minimum fuel consumption at 40 MW loads carried out an optimization of the 1.3- and 4-unit operations. The minimum fuel consumption at a load of 45 to 55 MW is conducted 4-unit operation optimization where the 1st unit is most dominant in carrying the load between the other unit, while the most dominant unit 4 carries the load between the other unit when the load is 55 MW.

Keywords: MATLAB, Economic Dispatch, at Least Square, Lambda iteration.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penjadwalan optimum pada pembangkit thermal PLTU Bolok dengan menggunakan iterasi lambda yang disimulasikan dengan software MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, konsumsi bahan bakar minimum pada beban 10 sampai 25 MW dilakukan optimasi dengan pengoperasian 2 unit. Konsumsi bahan bakar minimum pada beban 10 sampai 20 MW dilakukan optimasi dengan pengoperasian unit 2 dan unit 3. Konsumsi bahan bakar minimum pada beban 25 MW konsumsi bahan bakar minimum dilakukan optimasi pengoperasian unit 3 dan unit 4. Konsumsi bahan bakar minimum pada simulasi beban 30 MW sampai 40 MW dilakukan optimasi dengan pengoperasian 3 unit. Konsumsi bahan bakar minimum pada beban 30 MW dan 35 MW dilakukan optimasi pengoperasian unit 2, 3 dan 4. Konsumsi bahan bakar minimum pada beban 40 MW dilakukan optimasi pengoperasian unit 1,3 dan 4. Konsumsi bahan bakar minimum pada beban 45 sampai 55 MW dilakukan optimasi pengoperasian 4-unit dimana unit 1 paling dominan dalam memikul beban diantara unit lainnya, sedangkan unit 4 paling dominan memikul beban diantara unit lainnya saat beban 55 MW.

Kata Kunci: MATLAB, Economic Dispatch, Least Square, Iterasi Lambda.

1. PENDAHULUAN

Pada sistem tenaga listrik, energi listrik yang dibangkitkan berasal dari pusat listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik

Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan lain-lain. Pembangkit Thermal merupakan pembangkit listrik yang dibangkitkan dari energi panas hasil pembakaran bahan bakar fosil atau energi alam seperti solar, batu bara, panas bumi dan lain-lain, kemudian energi panas ini dikonversikan

menjadi energi gerak untuk memutar turbin generator listrik sehingga menghasilkan energi listrik seperti PLTU, PLTD, dan PLTG. Dalam hal biaya operasi sistem tenaga listrik pada pembangkit thermal terutama biaya bahan bakar mengambil 60% dari total biaya operasi sistem tenaga listrik secara keseluruhan [1]. Oleh karena itu biaya yang cukup besar dari biaya bahan bakar dapat mempengaruhi biaya produksi dari sistem pembangkit listrik [2]. Untuk itu perlu dilakukan optimasi agar mendapat biaya bahan bakar yang minimum [3]. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melakukan *Economic dispatch*. *Economic Dispatch* digunakan untuk membagi beban di antara unit-unit thermal yang beroperasi agar dicapai biaya bahan bakar yang minimum [4-7]. Salah satu cara atau metode yang digunakan dalam melakukan penjadwalan ekonomis adalah dengan metode iterasi lambda [8]. Beberapa penelitian menggunakan metode pendekatan fuzzy logi [9], dan sine cosine algoritma [10]. Dalam penelitian ini penulis menggunakan bantuan komputer dengan aplikasi MATLAB dalam melakukan perhitungan yang bertujuan untuk mempermudah dalam menentukan karakteristik input-output unit pembangkit dan melakukan penjadwalan unit - unit pembangkit. Data yang diperlukan dalam menentukan penjadwalan optimum pembangkit adalah data konsumsi bahan bakar, daya keluaran pembangkit, dan beban harian yang dipikul masing-masing unit pembangkit. PLTU Bolok merupakan salah satu pembangkit listrik Thermal yang berada di Desa Bolok Kecamatan Kupang Barat, Kabupaten Kupang NTT. Dalam PLTU Bolok terdapat 4 unit yang beroperasi untuk menyuplai daya listrik yakni 2 unit milik PLN dengan kapasitas 2 x 16,5 MW dan 2 unit milik PT. SMSE dengan kapasitas 2 x 18 MW yang telah terinter-koneksi untuk menyuplai daya listrik ke beban sistem Timor.

2. METODE PENELITIAN

Economic Dispatch adalah suatu usaha untuk menentukan besar daya yang harus di suplai dari tiap unit generator untuk memenuhi beban tertentu dengan tujuan meminimalkan biaya operasi pembangkit [11-12]. Dalam *Economic Dispatch*, ada dua batasan atau *constraints* tertentu yang harus dipenuhi, yaitu *equality constraint* dan *inequality constraints*. *Equality constraint* adalah batasan kesetimbangan daya, yaitu mengharuskan total daya

yang dibangkitkan harus memenuhi total kebutuhan daya yang dinyatakan pada persamaan 1.

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_i = P_D \tag{1}$$

Dimana :

P_i = Daya keluaran pembangkit unit i. (MW)

P_D = Daya yang dibutuhkan. (MW)

Inequality constraints adalah batasan yang mengharuskan daya keluaran yang dibangkitkan unit harus lebih besar atau sama dengan daya minimum yang diperbolehkan dan lebih kecil atau sama dengan daya maksimum yang diperbolehkan. Batasan ini dinyatakan pada persamaan 2.3 [3].

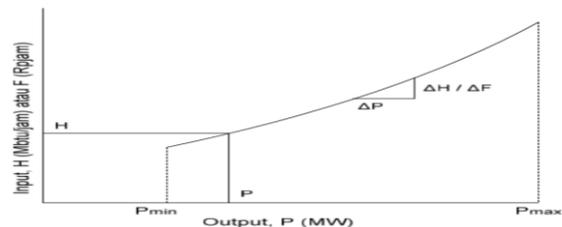
$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \tag{2}$$

Karakteristik input-output pembangkit thermal adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar berupa konsumsi bahan bakar dalam bentuk (Kg/Jam) atau bisa juga dalam bentuk energi panas (kCal/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit berupa daya (MW). Dengan mengetahui perbedaan karakteristik di antara semua pembangkit yang ada, optimasi pengoperasian pembangkit dapat dilakukan. Secara umum, karakteristik input-output pembangkit didekati dengan fungsi polynomial yaitu

$$F(P) = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \tag{3}$$

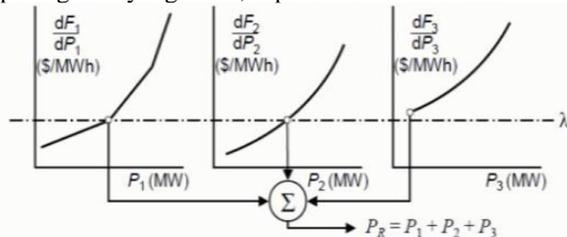
Dimana:

- F(P) atau H = input bahan bakar (Btu/jam)
- F_i = biaya bahan bakar pembangkit thermal ke-i (Rp/jam)
- P_i = output pembangkit thermal ke-i (MW)
- $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = konstanta input-output pembangkit thermal ke-i (Rp/MW.jam)
- i = indeks pembangkit ke i (i = 1,2, 3,.....N)



Gambar 1 Kurva karakteristik input-output unit thermal

Metode Iterasi Lambda adalah salah satu metode yang digunakan dalam *Economic Dispatch* di mana tingkat biaya tambahan diasumsikan terlebih dahulu. Misalkan untuk menemukan titik operasi optimum yang ekonomis dengan tiga unit pembangkit maka, dilakukan pendekatan dengan cara menentukan plot pada karakteristik biaya tambahan untuk setiap unit pada grafik yang sama, seperti membuat sketsa



Gambar 2. Grafik solution untuk *Eco-nomic Dispatch*

Dalam membuat titik operasi dari setiap unit dengan biaya minimum dan waktu yang sama dapat menggunakan sketsa dan penggaris untuk menemukan solusi. Dengan mengasumsikan sebuah λ untuk menemukan keluaran daya dari setiap unit, maka dapat diketahui biaya tambahan yang dibutuhkan tiap unit. Estimasi λ pertama akan menjadi salah karena total keluaran daya terlalu kecil, sehingga dibutuhkan solusi baru yang dapat meningkatkan keluaran daya yang kecil. Dengan adanya dua solusi dapat meramalkan kemungkinan nilai yang diinginkan dari total daya yang diterima. Jika mengetahui total permintaan dan biaya tambahan maka dengan cepat menemukan titik operasi yang diinginkan.

Langkah pertama dalam penelitian yang dilakukan dalam menentukan penjadwalan optimum pembangkit thermal menggunakan metode iterasi lambda studi kasus PLTU Bolok yaitu mencari data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan. Data-data yang dicari yaitu data input berupa energi panas bahan bakar kCal/Jam, data output berupa daya listrik pembangkit thermal, batas maksimum dan minimum pengoperasian pembangkit thermal serta beban harian pembangkit thermal.

Langkah berikutnya menentukan karakteristik input output pembangkit dengan melakukan pendekatan metode kuadrat terkecil

Kemudian melakukan economic dispatch menggunakan metode iterasi lambda

- Mengasumsikan besar tingkat biaya tambahan, λ^k . Persamaan $\lambda = \frac{dF_1}{dP_1}$
- Menentukan besar beban yang dipikul untuk semua pembangkit P_D
- Menghitung besar daya yang dibangkitkan unit ke i , P_i . Persamaan $P_i^k = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}$

- Menghitung selisih antara permintaan daya dan jumlah daya yang dibangkitkan unit ΔP^k . Persamaan $P_D = \sum_{i=1}^{N_g} \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}$

$$\Delta P^k = P_D - \sum_{i=1}^{N_g} P_i^k \quad (4)$$

- Menghitung besar $\Delta \lambda^k$ untuk memperoleh besar tingkat biaya tambahan yang baru, $\lambda^{(k+1)}$. Persamaan

$$\Delta \lambda^k = \frac{\Delta P^k}{\left(\frac{\partial f(\lambda)}{\partial \lambda}\right)^k} = \frac{\Delta P^k}{\sum_{i=1}^{N_g} \left(\frac{dP_i}{d\lambda}\right)^k} = \frac{\Delta P^k}{\sum_{i=1}^{N_g} \frac{1}{2\gamma_i}}$$

- Menghitung besar tingkat biaya tambahan yang baru, $\lambda^{(k+1)} = \lambda^k + \Delta \lambda^k$.
- Menghitung kembali besar daya yang dibangkitkan, P_i^{k+1} sampai diperoleh total daya yang dibangkitkan unit sama dengan kebutuhan beban.
- Memasukkan besar daya, P_i^k ke dalam Persamaan $F_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$
- Menghitung total konsumsi bahan bakar, Total CF, dengan menjumlahkan konsumsi bahan bakar setiap pembangkit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal untuk melakukan optimasi penjadwalan sistem pembangkit thermal, perlu ditentukan persamaan karakteristik input-output pembangkit. Sama seperti pada pembangkit PLTU Bolok, persamaan dicari dengan metode least square. Persamaan karakteristik input output untuk setiap unit pembangkit thermal dapat dilihat pada tabel I.

Tabel 1 karakteristik input output unit PLTU Bolok
Setelah mendapatkan karakteristik input output setiap unit PLTU Bolok maka dilakukan perhitungan *economic dispatch* menggunakan metode iterasi lambda, dalam penelitian ini perhitungan dilakukan dengan MATLAB. Untuk membuat perhitungan economic dispatch hal yang pertama dilakukan adalah pengujian perhitungannya economic dispatch terhadap data sampel yang diambil dari dispatcher milik PLN pada tanggal 29 oktober 2018 pada pukul 01.00 – 03.00 WITA.

Tabel 2 Hasil Pengujian economic dispatch terhadap data dispatcher

No	Waktu	Economic Dispatch	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	Ptotal (MW)	konsumsi bahan bakar (Kg/Jam)
1	01:00	Sebelum	14	12,4	15	15	56,4	49974,11267
		Sesudah	14,8317	12,7	13,8683	15	56,4	49689,20578
2	02:00	Sebelum	14	12,2	14,5	14,6	55,3	49118,95929
		Sesudah	14,6756	12,1559	13,4685	15	55,3	48880,62287
3	03:00	Sebelum	14	12,1	13,7	13,6	53,4	47838,27638
		Sesudah	14,5031	10,8704	13,0266	15	53,4001	47608,2053

Berdasarkan pengujian economic dispatch terhadap data dispatcher konsumsi bahan bakar dari ketiga sampel uji mengalami penghematan setelah melakukan Economic Dispatch. Hal ini dilihat dari nilai konsumsi bahan bakar yang lebih besar sebelum melakukan economic dispatch terhadap nilai konsumsi bahan bakar setelah melakukan economic dispatch. Pada pukul 01:00 mengalami penghematan konsumsi bahan bakar sebesar 284,9068875 Kg/Jam. Kemudian pukul 02:00 juga mengalami penghematan sebesar 238,33642 Kg/Jam. Dan pukul 03:00 mengalami penghematan sebesar 230,07108 Kg/Jam. Jadi rata-rata penghematan konsumsi bahan bakar un-tuk semua unit PLTU Bolok beroperasi selama 3 jam adalah 251,1047 Kg/Jam. Berdasarkan pengujian sesudah dilakukan economic dispatch dapat menghemat konsusmsi bahan bakar se-hingga perhitungan economic dispatch ini dapat digunakan dalam pengoperasian PLTU Bolok dalam menyuplai daya ke beban.

Dalam menentukan economic dispatch dengan studi kasus 4-unit beroperasi digunakan metode iterasi lambda yang perhitungannya dapat diaplikasikan dalam MATLAB. Dalam studi ka-sus ini simulasi beban yang diberikan adalah 10 MW – 55 MW. hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 3 Economic dispatch 4-unit PLTU Bolok dengan simulasi beban 10 - 55 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	10	-17399880	4	2	2	2	10	65284,78
2	15	-7855980	9	2	2	2	15	50251,53
3	20	-3531957,90	11,2653	2	4,7347	2	20	44217,16
4	25	-1381404,51	12,392	2	7,6201	2,9879	25	41506,73
5	30	-353769,43	12,9304	2	8,9989	6,0708	30	40473,88
6	35	540937,55	13,3991	2,6468	10,1993	8,7548	35	40641,43
7	40	1111184,46	13,6979	4,8722	10,9644	10,4655	40	41624,84
8	45	1681431,37	13,9966	7,0976	11,7295	12,1763	45	43287,11
9	50	2251678,27	14,2954	9,3231	12,4946	13,887	50	45628,30
10	55	2925538,86	14,6484	11,9529	13,3987	15	55	48669,79

Berdasarkan tabel 3 untuk simulasi beban 10 MW sampai 55 MW konsumsi bahan bakar yang paling

sedikit adalah simulasi beban 30 MW dengan nilai konsumsi bahan bakar yang di-peroleh 28383,0744 Kg/Jam dengan daya optimal P1 = 12,9304 MW, P2 = 2 MW, P3 = 8,9989 MW dan P4 = 6,0708 MW.

Economic dispatch dengan studi kasus 3-unit beroperasi dengan simulasi 10 MW sampai 40 MW. Pada studi kasus ini terdapat empat kemungkinan kombinasi terjadi, yaitu kombinasi unit 1,2 dan 3 beroperasi, kemudian kombinasi unit 1, 2 dan 4 beroperasi, lalu kombinasi unit 1, 3 dan 4 beroperasi dan yang terakhir kombinasi unit 2, 3 dan 4 beroperasi. hasil simulasi dengan beban 10 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4 Economic dispatch 3-unit beroperasi dengan simulasi beban 10 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	p Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	10	-13582320	6	2	2	0	10	46726,43333
2	10	-13582320	6	2	0	2	10	42545,68095
3	10	-13582320	6	0	2	2	10	50424,51429
4	10	-2588880	0	2	6	2	10	30142,32857

Berdasarkan tabel 4 untuk simulasi beban 10 MW, kombinasi 3-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2,3 dan 4 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 30142,32857 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 2 MW, P3 = 6 MW dan P4 = 2 MW.

Hasil simulasi dengan beban 15 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5 Economic dispatch 3-unit beroperasi dengan simulasi beban 15 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	15	-5140019,3	10,4229	2	2,5771	0	15	36132,65939
2	15	-4038420	11	2	0	2	15	32057,14524
3	15	-5140019,3	10,4229	0	2,5771	2	15	39830,74034
4	15	-830462,1	0	2	8,3593	4,6407	15	28383,0744

Berdasarkan tabel 5 untuk simulasi beban 15 MW kombinasi 3-unit konsumsi bahan bakar yang pal-ting sedikit adalah kombinasi unit 2,3 dan 4

dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 28383,0744 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 2 MW, P3 = 8,3593 MW dan P4 = 4,6407 MW.

Hasil simulasi dengan beban 20 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6 Economic dispatch 3-unit beroperasi dengan simulasi beban 20 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	20	-2459917	11,827	2	6,173	0	20	31608,8878
2	20	-637874,61	12,7815	2	0	5,2185	20	30165,49807
3	20	-2459917	11,827	0	6,173	2	20	35306,96875
4	20	321174,975	0	2	9,9044	8,0956	20	28079,92731

Berdasarkan tabel 6 untuk simulasi beban 20 MW kombinasi 3-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2,3 dan 4 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 28383,0744 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 2 MW, P3 = 8,3593 MW dan P4 = 4,6407 MW.

Hasil simulasi dengan beban 25 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7 Economic dispatch 3-unit beroperasi dengan simulasi beban 25 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	25	220185,335	13,2311	2	9,7689	0	25	30275,7142
2	25	567773,303	13,4132	2,7515	0	8,8353	25	30214,40549
3	25	-970350,48	12,6073	0	8,1716	4,2211	25	33463,23985
4	25	953237,916	0	4,2558	10,7525	9,9917	25	28853,01743

Berdasarkan tabel 7 untuk simulasi beban 25 MW kombinasi 3-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2,3 dan 4 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 28079,92731 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 2 MW, P3 = 9,9044 MW dan P4 = 8,0956 MW.

Hasil simulasi dengan beban 30 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8 Economic dispatch 3-unit beroperasi dengan simulasi beban 30 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	30	1191893,31	13,7401	5,1872	11,0727	0	30	31175,05765
2	30	1241044,66	13,7659	5,379	0	10,8551	30	31291,08285
3	30	57284,5912	13,1457	0	9,5504	7,3039	30	32919,74825
4	30	1559722,19	0	6,6227	11,5662	11,8111	30	30348,82701

Berdasarkan tabel 8 untuk simulasi beban 30 MW kombinasi 3-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2,3 dan 4 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 30348,82701 Kg/Jam

dengan daya optimal P2 = 6,6227 MW, P3 = 11,5662 MW dan P4 = 11,8111 MW. Hasil simulasi dengan beban 35 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9 Economic dispatch 3-unit beroperasi dengan simulasi beban 35 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	35	2058716,09	14,1943	8,57	12,2357	0	35	33109,94419
2	35	1914316,01	14,1186	8,0065	0	12,8749	35	33169,27373
3	35	1084919,67	13,6841	0	10,9292	10,3868	35	33599,65756
4	35	2166206,46	0	8,9895	12,3799	13,6305	35	32566,5901

Berdasarkan tabel 9 untuk simulasi beban 35 MW kombinasi 3-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2,3 dan 4 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 32566,5901 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 8,9895 MW, P3 = 12,3799 MW dan P4 = 13,6305 MW.

Hasil simulasi dengan beban 35 MW dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10 Economic dispatch 3-unit beroperasi dengan simulasi beban 35 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	40	2925538,87	14,6484	11,9529	13,3987	0	40	36076,76262
2	40	2587587,37	14,4713	10,634	0	14,8947	40	35848,97812
3	40	2112554,74	14,2225	0	12,3079	13,4696	40	35502,89031
4	40	2858491,21	0	11,6912	13,3088	15	40	35519,09207

Economic dispatch dengan studi kasus 2-unit beroperasi dengan simulasi 10 MW sampai 25 MW. Pada studi kasus ini terdapat enam kemungkinan kombinasi terjadi, yaitu kombinasi unit 1 dan 2 beroperasi, kombinasi unit 1 dan 3 beroperasi, kombinasi unit 1 dan 4 beroperasi, kombinasi unit 2 dan 3 beroperasi, kombinasi unit 2 dan 4 beroperasi, dan terakhir kombinasi unit 3 dan 4 beroperasi.

Hasil simulasi untuk beban 10 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 11 Economic dispatch 2-unit beroperasi dengan simulasi beban 10 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	10	-9764760	8	2	0	0	10	25805,21
2	10	-9764760	8	0	2	0	10	33684,04
3	10	-9764760	8	0	0	2	10	29503,29
4	10	-1098240	0	2	8	0	10	18082,80
5	10	289320	0	2	0	8	10	17649,90
6	10	-1521444,34	0	0	7,4322	2,5678	10	21739,48

Berdasarkan tabel 11 untuk simulasi beban 10 MW kombinasi 2-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2 dan unit 3 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 17649,90 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 2 MW dan P3 = 8 MW.

Hasil simulasi untuk beban 15 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 12 Economic dispatch 2-unit beroperasi dengan simulasi beban 15 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	15	-220860	13	2	0	0	15	19861,39
2	15	-4067978,36	10,9845	0	4,0155	0	15	26456,72
3	15	-1489219,84	12,3355	0	0	2,6645	15	23441,61
4	15	951657,89	0	4,2496	10,7504	0	15	18390,16
5	15	1062252,9	0	4,6812	0	10,3188	15	18481,83
6	15	-369807,26	0	0	8,9773	6,0227	15	20613,73

Berdasarkan tabel 12 untuk simulasi beban 15 MW kombinasi 2-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2 dan unit 3 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 18390,16 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 4,2496 MW dan P3 = 10,7504 MW.

Hasil simulasi untuk beban 20 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 13 Economic dispatch 2-unit beroperasi dengan simulasi beban 20 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	20	1434226,52	13,8671	6,1329	0	0	20	20876,90
2	20	-1387876,05	12,3886	0	7,6114	0	20	23209,18
3	20	-70311,11	13,0789	0	0	6,9211	20	22513,32
4	20	1905074,55	0	7,9704	12,0296	0	20	20090,60
5	20	1786624,84	0	7,5082	0	12,4918	20	20177,59
6	20	781829,80	0	0	10,5225	9,4775	20	20858,99

Berdasarkan tabel 13 untuk simulasi beban 20 MW kombinasi 2-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 2 dan unit 3 dengan nilai

konsumsi bahan bakarnya 20090,60 Kg/Jam dengan daya optimal P2 = 7,9704 MW dan P3 = 12,0296 MW.

Hasil simulasi untuk beban 25 MW dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 14 Economic dispatch 2-unit beroperasi dengan simulasi beban 25 MW

No	Beban (MW)	λ (kCal/MWh)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P Total	Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Jam)
1	25	2563790,65	14,4589	10,5411	0	0	25	23256,68
2	25	1292226,26	13,7927	0	11,2073	0	25	23152,25
3	25	1348597,60	13,8222	0	0	11,1778	25	23274,21
4	25	2858491,20	0	11,6912	13,3088	0	25	22926,05
5	25	2510996,78	0	10,3351	0	14,6649	25	22735,70
6	25	1933466,87	0	0	12,0677	12,9323	25	22475,23

Berdasarkan tabel 14 untuk simulasi beban 25 MW kombinasi 2-unit konsumsi bahan bakar yang paling sedikit adalah kombinasi unit 3 dan unit 4 dengan nilai konsumsi bahan bakarnya 22475,23 Kg/Jam dengan daya optimal P3 = 12,0677 MW dan P4 = 12,9323 MW.

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil perhitungan menentukan karakter-istik input output PLTU Bolok menggunakan metode *least square* menghasilkan persamaan karakteristik input output sebagai berikut:

Unit 1 yaitu PLTU Bolok 1:

$$I1 = 2,1615 \times 108 - 2,5035 \times 107P1 + 9,5439 \times 105P12$$

Unit 2 yaitu PLTU Bolok 2:

$$I2 = 3,1193 \times 107 - 0,0137 \times 107P2 + 0,0128 \times 107P22$$

Unit 3 yaitu PLTU Kupang Baru 1:

$$I3 = 7,7153 \times 107 - 0,7061 \times 107P3 + 0,0373 \times 107P32$$

Unit 4 yaitu PLTU Kupang Baru 2:

$$I4 = 3,1193 \times 107 - 0,0137 \times 107P4 + 0,0128 \times 107P42$$

2. Penjadwalan yang paling optimum dengan simulasi beban 10 MW sampai 55 MW adalah:
 - a. Untuk beban 10 MW sampai 25 MW penjadwalan yang optimum adalah kombinasi 2-unit beroperasi. Untuk simulasi 10 MW penjadwalan optimum adalah kombinasi unit 2 dan 3 beroperasi, kemudian untuk 15 MW penjadwalan optimum adalah kombinasi unit 2 dan 3 beroperasi, selanjutnya simulasi 20 MW penjadwalan optimum adalah kombinasi unit 2 dan 3 beroperasi

- dan simulasi 25 MW penjadwalan optimum adalah kombinasi unit 3 dan 4 beroperasi.
- b. Untuk beban 30 MW sampai 40 MW penjadwalan yang optimum adalah kombinasi 3-unit beroperasi. Penjadwalan optimum untuk simulasi 30 MW adalah kombinasi unit 2, 3 dan 4 beroperasi, kemudian penjadwalan optimum untuk simulasi 35 MW adalah kombinasi unit 2, 3 dan 4 beroperasi dan terakhir penjadwalan optimum untuk simulasi 1, 3 dan 4 beroperasi.
 3. Untuk beban 45 MW sampai 55 MW penjadwalan yang optimum adalah kombinasi 4-unit beroperasi. Untuk simulasi beban 45 MW penjadwalan optimum adalah unit 1 = 13,9966 MW, unit 2 = 7,0976 MW, unit 3 = 11,7295 MW dan unit 4 = 12,1763 MW, kemudian untuk simulasi beban 50 MW penjadwalan optimum adalah unit 1 = 14,2954 MW, unit 2 = 9,3231 MW, unit 3 = 12,4946 MW dan unit 4 = 13,887 MW dan terakhir untuk simulasi beban 55 MW penjadwalan optimum adalah unit 1 = 14,6484 MW, unit 2 = 11,9529 MW, unit 3 = 13,3987 MW dan unit 4 = 15 MW.
 4. Perbandingan dengan data dispatcher di Bolok dengan beban yang sama dapat disimpulkan untuk beban 56,4 MW penjadwalan optimum adalah P1 = 14,8317 MW, P2 = 12,7 MW, P3 = 13,8683 MW, P4 = 15 MW dengan konsumsi bahan bakarnya 49689,20578 Kg/Jam. Untuk beban 55,3 MW penjadwalan optimum adalah P1 = 14,6756 MW, P2 = 12,1559 MW, P3 = 13,4685 MW, P4 = 15 MW dengan konsumsi bahan bakarnya 48880,62287 Kg/Jam. Untuk beban 53,4 MW penjadwalan optimum adalah P1 = 14,5031 MW, P2 = 10,8704 MW, P3 = 13,0266 MW, P4 = 15 MW dengan konsumsi bahan bakarnya 47608,2053Kg/Jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Buku, Jakarta: ISTN, 2006.
- [2] K. Syah, H. S. Dachlan, R. N. Hasanah and M. Shidiq, "Analisis Perbandingan Economic Dispatch Pembangkit menggunakan Metode Lagrange dan CFPSO," *Jurnal EECCIS* Vol.6, 2012.
- [3] Yulisman, "Perancangan Perangkat Lunak Untuk Pembebanan Optimal dan Biaya Bahan Bakar Stasiun Pembangkit," *MENARA Ilmu* Vol. X Jilid 2 No.73, 2016.
- [4] Adrianti, "Penjadwalan Ekonomis Pembangkit Thermal dengan Memperhitungkan Rugi-rugi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Algoritma Genetik," *Teknika* No.33 Vol.1 Thn.XVII, 2010.
- [5] G. L. Thompson, "An Optimisation Model for Planning Radial System Distribution Network," *IEEE Transaction on Power Apparatus and System*, 1979.
- [6] M. Tuegeh, A. Soeprijanto and M. H. P, "Optimal Generator Scheduling Based on Particle Swarm Optimization," *Seminar Nasional Informatika 2009 (semnas IF 2009) UPN "Veteran" Yogyakarta*, 2009.
- [7] G. L. Thompson, "An Optimisation Model for Planning Radial System Distribution Network," *IEEE Transaction on Power Apparatus and System*, 1979.
- [8] H. Nabila, "Analisis Economic Dispatch Pada PLTU Sektor Bukit Asam Menggunakan Metode Iterasi Lambda dan Dynamic Programming", *Skripsi*, Bandar Lampung: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung, 2017.
- [9] R. N. Ma'rifah, Y. Mulyadi and A. G. Abdullah, "Operasi Ekonomis Pembangkit Thermal Sistem 500 kV Jawa-Bali dengan Pendekatan Algoritma Fuzzy Logic," *Electrons*, vol.12, NO.2, 2013.
- [10] A. Yulianto, B. Winardi and K., "Optimasi Economic Dispatch pada Unit Pembangkit PLTU Tanjung Jati B Menggunakan Metode Sine Cosine Algorithm," *Transient*, vol. 6, No. 4, 2017.
- [11] T. Gonen, "Electrical Power Distribution System engineering", McGraw-Hill Company, 1986.
- [12] A. E.-b. GH. Stags, "Computer Methods In Power System Analysis, New York: Mc. Hill, 1988.