

Operasi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Keramasan Dengan Metoda Pendekatan Lagrange Multiplier

Dedy Hermanto¹, Feby Ardianto²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
dbagindosaid@gmail.com¹, ardianto.feby@gmail.com²

Copresent Author : ardianto.feby@gmail.com

Received 20 September 2019 | Revised 12 Agustus 2020 | Accepted 15 Agustus 2020

ABSTRAK

Operasi ekonomis sistem pembangkit tenaga listrik pada pembangkitan keramasan yang terdiri dari unit PLTG, PLTGU 1 dan PLTGU2 dilakukan dengan jalur pembagian penjadwalan atau *economic dispatch* dari masing-masing pembangkit sehingga operasi secara optimum sistem pembangkit tenaga listrik dapat mencapai biaya bahan bakar yang minimum. Tujuan penelitian optimasi ekonomis pada operasi sistem pembangkit tenaga listrik dengan metode langrange multiplier. Metode penelitian dilakukan menggunakan pendekatan metode Lagrange Multiplier dengan 4 tahapan, yaitu: 1. Perhitungan Karakteristik Input-Output Unit-unit Pembangkit; 2. Pemodelan Matematis Koefisien Persamaan Karakteristik Input-Output; 3. Perhitungan Dengan Pendekatan Metoda Lagrange Multiplier; 4. Analisis . Hasil perhitungan, biaya terbesar yang dipergunakan pada perusahaan listrik adalah biaya bahan bakar, sehingga dalam perencanaan operasi sistem agar biaya bahan bakar serendah mungkin, dicapai biaya bahan bakar yang optimum, dengan tetap memperhatikan kendala-kendala sistem seperti kemampuan pembangkit dari generator. Beban sistem sebesar 50,98 MW sampai dengan 63,91 MW, dengan mengoperasikan PLTGU 1, PLTGU 2 dan PLTG Keramasan menghasilkan penghematan biaya bahan bakar Rp.443.4600,54 sampai dengan Rp. 616.598,83per-jam.

Kata kunci: *Economic Dispatch, , Lagrange Multiplier, Pembangkit Listrik Tenaga Gas*

ABSTRACT

The economical operation of the power plant system in the generation of keramasan which consists of PLTG, PLTGU 1 and PLTGU2 units is carried out by sharing scheduling or economic dispatch from each plant so that the optimum operation of the power generation system can achieve minimum fuel costs. The research objective of economic optimization in the operation of a power plant system using the Langrange multiplier method. The research method was carried out using the Lagrange Multiplier method approach with 4 stages, namely: 1. Calculation of Input-Output Characteristics of Generating Units; 2. Mathematical Modeling of the Input-Output Characteristics Coefficient; 3. Calculation with Lagrange Multiplier Method Approach; 4. Analysis. The results of the calculation, the largest cost used by the power company is the cost of fuel, so that in planning the system operation to keep fuel costs as low as possible, optimum fuel costs are achieved, while still paying attention to system constraints such as the power of the generator. The system load is 50.98 MW to 63.91 MW, by operating PLTGU 1, PLTGU 2 and PLTG Keramasan resulting in fuel cost savings of Rp. 443.4600.54 to Rp. 616,598.83 per hour.

Keywords: Economic Dispatch, Lagrange Multiplier, Gas Power Plant

I. PENDAHULUAN

Sektor energi sangat penting bagi perekonomian Indonesia karena selain sebagai komoditas ekspor juga digunakan di dalam negeri sebagai bahan bakar dan bahan baku. Sektor ketenagalistrikan merupakan bagian dari sektor energi yang sangat berperan dalam proses industrialisasi (Hermawati, Putra, Hidayat & Poerbosisworo, 2016). Sementara ketersediaan energi minyak bumi dan gas bumi semakin berkurang karena eksploitasi yang terus menerus dan penemuan-penemuan sumber energi baru yang tidak sebanding dengan besarnya konsumsi energi itu sendiri maupun dengan laju pertumbuhan sektor industri yang melaju pesat yang akhirnya membawa konsekuensi pada kebutuhan energi yang semakin meningkat pula, khususnya energi listrik (Susilo, 2015).

Untuk mengantisipasi ketergantungan terhadap suplai energi (khususnya energi listrik), yang harus ditanggulangi sendiri, perlu ditingkatkan efisiensi dan optimalisasi yang terkait dalam penggunaan energi listrik. Salah satu upaya optimalisasi adalah melakukan operasi ekonomis pembangkitan dengan mengatur pembebanan pembangkit pada unit-unit pembangkit tenaga listrik yang ada pada sistem (Harun, 2011). Tujuan penelitian ini optimasi ekonomis pada operasi sistem pembangkit tenaga listrik dengan metode langrange multiplier

Pendekatan Metode Lagrange Multiplier digunakan untuk mengoptimalkan pembangkitan dengan menjadwalkan besarnya Output pembangkitan unit pembangkit untuk mendapatkan Output yang optimal untuk semua pembangkit yang akan dioperasikan (Galla, Nursalim & Mauboy, 2019). Sistem pembangkitan listrik, dimana pada kondisi awal semua pembangkit dianggap beroperasi pada tiap jamnya sehingga sistem memiliki supply yang berlebih akibatnya hasil operasi sistem tidak ekonomis. Penelitian ini diharapkan mendapatkan output maksimum dan minimum biaya pembangkitan.

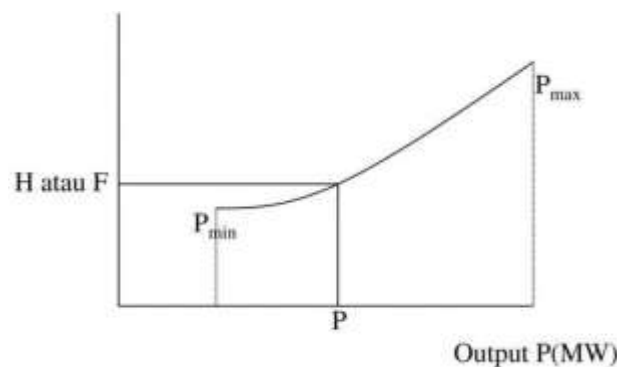
II. TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik pembangkit merupakan modal dasar dalam melakukan pengaturan ouput pembangkit untuk menekan pembiayaan bahan baku energi. Melalui karakteristik pembangkit ini dibuat model matematisnya sehingga dapat dilakukan proses optimasi dalam memperoleh optimum ekonomi biaya pembangkitan (Syamsudin, Makkulau, & Nizar, 2016). Karakteristik input output pembangkit termal adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar (liter/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit (MW). Pada umumnya karakteristik input output pembangkit termal didekati dengan fungsi polinomial orde dua (Tuegeh & Soeprijanto, 2015) seperti persamaan 1.

$$H_i = a + b p_i + c p_i^2 \tag{1}$$

dengan :

- H_i = Input bahan bakar pembangkit thermal ke – i (MBtu/jam)
- P_i = Output pembangkit thermal ke-I (MW)
- a_i, b_i, c_i = Konstanta input – output pembangkit thermal ke i



Gambar 1 Karakteristik input-output unit pembangkit termal (ideal)

Gambar 1 karakteristik input-output unit pembangkit termal dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Input dari pembangkit dinyatakan dalam $H = \text{Mbtu/jam}$ (energi panas yang dibutuhkan), atau $F = \text{Rp/jam}$ (total biaya bahan bakar)
2. Output dari pembangkit dinyatakan dalam $P = \text{MW}$ (daya).

Untuk memperoleh persamaan karakteristik input-output dalam penelitian ini berdasarkan data pemakaian bahan bakar / hasil pengamatan secara faktual di lapangan. Dengan menggunakan metoda Least Square persamaan karakteristik input – output untuk masing-masing PLTG (William ; Kamal Idris,1994)

A. Economic Dispatch

Economic Dispatch adalah pembagian pembebanan pada pembangkit-pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomi, pada harga beban sistem tertentu. Besar beban pada suatu sistem tenaga selalu berubah setiap periode waktu tertentu, oleh karena itu untuk mensuplai beban secara ekonomis maka perhitungan economic Dispatch dilakukan pada setiap besar beban tersebut, atau dengan kata lain untuk mencari nilai optimum dari output daya dari kombinasi unit pembangkit yang bertujuan untuk meminimalkan total biaya pembangkitan dan dapat memenuhi batasan *equality* dan *inequality* (William ; Kamal Idris,1994). Secara umum fungsi biaya dari tiap pembangkit dapat diformulasikan secara matematis sebagai suatu fungsi obyektif seperti yang diberikan pada persamaan 2.1 di atas.

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i (P_i) \tag{2}$$

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \tag{3}$$

dengan

- F_T = total biaya pembangkitan (Rp)
- $F_i(P_i)$ = fungsi biaya (Rp/jam)
- a_i, b_i, c_i = koefisien biaya pembangkit i
- P_i = output pembangkit ke i (MW)
- n = jumlah unit pembangkit
- i = indeks dispatchable unit

Pemodelan biaya bahan bakar untuk pembangkit thermal yang beroperasi optimal berkaitan dengan daya aktif yang diproduksi oleh pembangkit dan bahan bakar yang merupakan input dan keluaran adalah daya aktif (Tuegeh & Soeprijanto, 2015). Model biaya bahan bakar dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$H = a + \beta p_1 + \gamma p_1^2 \tag{4}$$

Keterangan:

- H_1 = input bahan bakar unit pembangkit thermal ke-i (Mbtu/jam)
- P_1 = Output pembangkit thermal ke-i (MW)
- $a, \beta,$ dan γ = Konstanta input-output pembangkit thermal ke-i

Dalam suatu standar internasional (SI) yang merupakan input adalah thermal dengan satuan MJ/h atau Kcal/h dan satuan British Temperatur Unit dengan satuan Mbtu/h dengan daya keluaran dengan satuan Megawatt (MW). Biaya total operasi sistem tenaga listrik adalah terdiri dari : biaya bahan bakar, biaya pegawai dan biaya pemeliharaan.

Untuk memperoleh jawaban a, β dan γ , defrensial parsial J disamakan dengan nol.

$$\frac{\partial J}{\partial a} \sum_{i=1}^n 2 [a + \beta P_i + \gamma P_i^2 - F(P_i)] = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \beta} \sum_{i=1}^n 2 P_i [a + \beta P_i + \gamma P_i^2 - F(P_i)] = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \gamma} \sum_{i=1}^n 2 P_i^2 [a + \beta P_i + \gamma P_i^2 - F(P_i)] = 0$$

Persamaan dihitung kembali, diperoleh:

$$(n) a + (\sum_{i=1}^n P_i) \beta + (\sum_{i=1}^n P_i^2) \gamma = \sum_{i=1}^n F(P_i) \tag{5}$$

$$(\sum_{i=1}^n P_i) a + (\sum_{i=1}^n P_i^2) \beta + (\sum_{i=1}^n P_i^3) \gamma = \sum_{i=1}^n P_i F(P_i) \tag{6}$$

$$(\sum_{i=1}^n P_i^2) a + (\sum_{i=1}^n P_i^3) \beta + (\sum_{i=1}^n P_i^4) \gamma = \sum_{i=1}^n P_i^2 F(P_i) \tag{7}$$

Dengan menyelesaikan persamaan linear di atas, maka a , δ dan γ dapat ditentukan nilainya (William ; Kamal Idris, 1994)

B. Lagrange Multiplier

Ketika rugi-rugi daya pada saluran transmisi diabaikan, dimana jumlah permintaan beban P_D sama dengan jumlah daya dari semua unit pembangkit, fungsi biaya C_i diasumsikan dari masing-masing stasiun pembangkit (Kusumadewi, 2003). Untuk menentukan total biaya produksi pada pembangkit dimasing-masing stasiun adalah sebagai berikut :

$$Ct = \sum_{i=1}^{ng} ai + \beta iPi + \gamma iPi^2 \quad (8)$$

dan

$$PD = \sum_{i=1}^{ng} Pi \quad (9)$$

Keterangan:

Ct	= Total biaya pembangkitan energi listrik (Rp/jam)
Ci	= biaya pembangkitan energi listrik dari unit pembangkit ke i (Rp/jam)
α_i, β_i dan λ_i	= merupakan suatu kostanta.
Pi	= daya yang dibangkitkan unit pembangkit ke i (MW)

Sebagai pendekatan matematis untuk menambah batasan ke dalam fungsi objektif dilakukan dengan menggunakan *bilangan Pengali Lagrange* (λ), seperti persamaan berikut :

$$L = Ci + \lambda \{PD - \sum_{i=1}^{ng} Pi\} \quad (10)$$

Nilai minimum dari fungsi tanpa batas untuk menentukan titik dimana sebagian dari fungsi untuk variabel-variabel sama dengan nol.

$$\frac{\partial L}{\partial Pi} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0$$

persamaan diberikan :

$$\frac{\partial Ci}{\partial Pi} = \lambda (0 - 1) = 0$$

Karena $Ct = C_1 + C_2 + \dots + C_{ng}$

Maka

$$\frac{\partial Ci}{\partial Pi} = \frac{dCi}{dPi} = \lambda$$

Sehingga kondisi biaya bahan bakar untuk penyuplaian daya ke beban dari pembangkit ke i yang optimum adalah:

$$\frac{dCi}{dPi} = \lambda$$

atau

$$\beta i + 2\gamma iPi = \lambda$$

Jika,

$$\frac{\partial Ci}{\partial Pi} = \frac{dCi}{dPi} = \lambda$$

Sehingga kondisi biaya bahan bakar untuk penyuplaian daya ke beban dari pembangkit ke i yang optimum adalah:

$$\frac{dCi}{dPi} = \lambda$$

atau

$$\beta i + 2\gamma i Pi = \lambda$$

Dari persamaan di atas, untuk menentukan harga P_i adalah :

$$Pi = \frac{\lambda - \beta i}{2\gamma}$$

Hubungan-hubungan yang diberikan dari persamaan di atas diketahui sebagai persamaan-persamaan koordinat sebagai fungsi dari λ dan penyelesaiannya dapat dilakukan secara iterasi. Teknik solusi secara iterasi, harga λ diperoleh dari hasil perhitungan dengan harga estimasi awal yang telah ditentukan terlebih dahulu sampai ΔP mendekati nol atau iterasi mencapai konvergen. Dalam hal ini :

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\Sigma 1/2\gamma}$$

Sehingga :

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

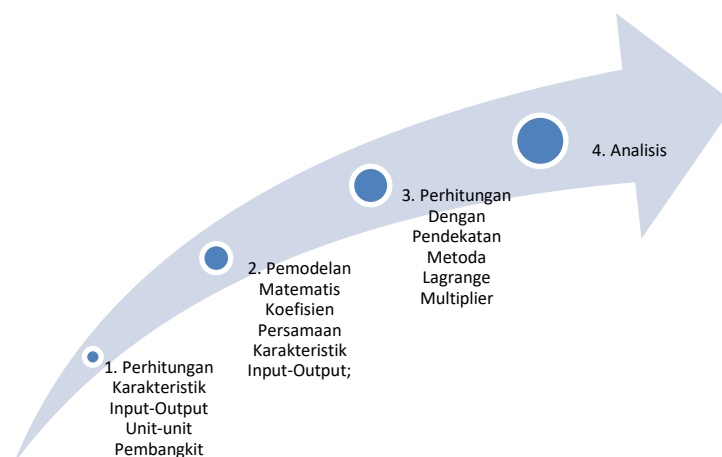
dan

$$(\Delta P)^k = PD - \sum_{i=k}^{ng} Pi^k$$

Proses dilanjutkan sampai $\Delta P^{(k)}$ mendekati nol atau batasan ketelitian yang diinginkan atau dengan kata lain iterasi telah konvergen.

III. METODA PENELITIAN

Tahapan pertama menghitung karekteristik input-output unit pembangkit dengan menggunakan variabel daya dan bahan bakar yang menghasilkan karakteristik setiap pembangkit. Tahapan kedua pemodelan matematis koefisien persamaan karakteristik input-output dengan menggunakan data karetristik pembangkit dari tahapan pertama yang menghasilkan Polinomial orde 2 pada setiap pembangkit. Tahapan ketiga perhitungan dengan pendekatan metoda lagrange multiplier dengan input data hasil perhitungan tahapan kedua untuk persamaan determinan matriks serta iterasi. Tahapan keempat analisis dari setiap biaya pembangkitan, total beban dan bahan bakar. Terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Digram blok penelitian
Tabel 1 Data Batasan Daya Pembangkit Listrik PT PLN (PERSERO)
Keramasan Palembang

NO.:	Unit Pembangkit	Minimum	Maksimum
		Daya (MW)	Daya (MW)
1	PLTGU 1	2,5	40
2	PLTGU 2	2,5	40
3	PLTG	3	17

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, diimplementasikan metoda pendekatan Lagrange Multiplier untuk solusi masalah *economic dispatch* pada sistem pembangkit Sektor Keramasan Palembang.

A. Data Pemakaian Bahan Bakar

Tabel 2. Pemakaian Bahan Bakar Gas dan Uap Rata-rata Unit PLTGU 1 Keramasan

No.	DAYA (MW)	BAHAN BAKAR (Mbtu/Jam)
1	26,462	121,933
2	23,572	122,560
3	26,477	120,606
4	26,050	116,371
5	26,659	123,438

Tabel 3 Pemakaian Bahan Bakar Gas dan Uap Rata-rata Unit PLTGU 2 Keramasan

No.:	DAYA (MW)	BAHAN BAKAR (Mbtu/Jam)
1	22,175	117,561
2	25,514	122,723
3	26,286	120,445
4	28,422	116,254
5	27,887	105,000

Tabel 4 Pemakaian Bahan Bakar Gas Rata-rata Unit PLTG Keramasan

No.	DAYA (MW)	BAHAN BAKAR (Mbtu/Jam)
1	8,837	61,586
2	4,764	60,294
3	6,537	60,472
4	6,571	62,030
5	6,087	59,038

B. Perhitungan Karakteristik Input-Output Unit-unit Pembangkit

Pembangkitan energi listrik dengan mengabaikan rugi-rugi transmisi dan memperhitungkan batas-batas generator, maka pada sistem pembangkitan energi listrik keluaran daya dari generator seharusnya tidak

melebihi keperluan operasi stabilitas sistem sehingga daya dari generator tersebut harus berada pada batas minimum dan maksimum yang diberikan. Batasan minimum dan maksimum dua unit PLTGU dan satu unit PLTG di PT PLN (PERSERO) Keramasan Palembang seperti pada tabel 1. bahwa masing-masing unit pembangkit memiliki karakteristik yang berbeda.

C. Pemodelan Matematis Koefisien Persamaan Karakteristik Input-Output

Pemodelan unit pembangkit menunjukkan karakteristik dari suatu unit pembangkit. Dalam membuat pemodelan ini biaya-biaya operasi dari setiap variable unit tersebut harus dinyatakan sebagai fungsi keluaran daya dan dimasukkan kedalam persamaan biaya bahan bakar Grafik yang menunjukkan pemodelan dari suatu unit pembangkit merupakan pemetaan (plot) antara fungsi bahan bakar yang diperlukan terhadap keluaran daya dari unit tersebut. Untuk mendapatkan persamaan karakteristik bahan bakar yang dibutuhkan terhadap daya keluarannya pada PLTGU unit 1,2 dan PLTG di PT PLN (PERSERO) Keramasan Palembang diperlukan data pemakaian bahan bakar pada pembangkitan daya yang berbeda seperti pada tabel (2), (3) dan (4).

Karakteristik input-output pembangkit thermal didekati dengan fungsi polinomial orde dua seperti persamaan 2.

$$H_1 = a_1 + \beta_1 P_1 + \gamma_1 (P_1)^2$$

Menentukan konstanta a_{1B} , β_{1B} , γ_{1B} menggunakan metoda Least Square dengan langkah-langkah :

$$\begin{aligned} \Sigma P_{1B} &= (26,462 + 23,572 + 26,447 + 26,050 + 26,659) \\ &= 129,190 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma(P_{1B})^2 &= (26,462^2 + 23,572^2 + 26,447^2 + 26,050^2 + 26,659^2) \\ &= 3344,625 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma(P_{1B})^3 &= (26,462^3 + 23,572^3 + 26,447^3 + 26,050^3 + 26,659^3) \\ &= 86749,608 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma(P_{1B})^4 &= (26,462^4 + 23,572^4 + 26,447^4 + 26,050^4 + 26,659^4) \\ &= 2253888,108 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma(P_{1B})(F_{1B}) &= (26,462) (121,933) + (23,572) (122,560) + (26,447) (120,606) + (26,050) (116,371) + \\ &\quad (26,659) (123,438) \\ &= 15627,440 \text{ MW. Mbtu/jam} \end{aligned}$$

Tabel 5 Polinomial orde 2 PLTGU 1,PLTGU 2 dan PLTG Keramasan

NO	Unit Pembangkit	ΣP	$\Sigma(P)^2$	$\Sigma(P)^3$	$\Sigma(P)^4$	$\Sigma(P)(F)$	$\Sigma(P)^2(F)$
1	PLTGU 1	129,190	3344,625	86749,608	2253888,108	15627,440	404535,630
2	PLTGU 2	130,284	3419,143	90.322	2.400.321	15136,393	396486,607
3	PLTG	32,796	223,750	1.587	11.677	1993,745	13627,719

Selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} 0,000 & 129,190 & 3344,625 \\ 129,190 & 3344,625 & 86749,608 \\ 3344,625 & 86749,608 & 2253888,108 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \beta_1 \\ \gamma_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 604,608 \\ 15627,440 \\ 404535,630 \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan determinan matriks, diperoleh masing-masin koefisien a_1 , β_1 , dan γ_1 :

$$\begin{aligned} a_1 &= -0,002 \\ \beta_1 &= 10,002 \\ \gamma_1 &= - 0,205 \end{aligned}$$

Sehingga persamaan karakteristik input-output untuk unit pembangkit PLTGU 1 Keramasan adalah

$$H_1 = -0,002 + 10,002 P - 0,205 (P)^2$$

Dengan cara yang sama diperoleh :

$$H_2 = 0,014 + 10,634 P - 0,235 (P)^2$$

$$H_3 = -0,100 + 17,519 P - 1,212 (P)^2$$

D. Perhitungan Dengan Pendekatan Metoda Lagrange Multiplier Untuk Beban $P_D = 50,511$ MW

Dengan menggunakan persamaan (2.14) :

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

Dan estimasi awal $\lambda = 5$

Iterasi = 0

$$P_1 = \frac{5 - 10,002}{2(-0,205)} = 12,1716 \text{ MW}$$

$$P_2 = \frac{5 - 10,634}{2(-0,235)} = 11,9879$$

$$P_3 = \frac{5 - 17,519}{2(-1,212)} = 5,1658$$

Untuk $P_D = 50,511$ MW,

$$\Delta \lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum 1/(2\gamma)}$$

Dan persamaan (2.19)

$$(\Delta P)^k = PD - \sum_{i=k}^{ng} P_i^k$$

Diperoleh :

$$\Delta P^{(0)} = 21,1858$$

$$\Delta \lambda^{(0)} = -4,2598, \text{ maka nilai baru } \lambda^{(k+1)}$$

$$\lambda^{(0+1)} = \lambda^{(1)} = 0,7402$$

Iterasi 1

Dengan memasukkan harga λ baru yaitu $\lambda^{(1)}$ yang diperoleh pada iterasi sebelumnya, dengan langkah perhitungan yang sama didapatkan :

Pada $\lambda^{(1)} = 0,740199512$

$$P_1 = 22,5363 \text{ MW}$$

$$P_2 = 21,0513 \text{ MW}$$

$$P_3 = 6,9234 \text{ MW}$$

Maka

$$\Delta P^{(1)} = 0,0000$$

$$\Delta \lambda^{(1)} = 0,000, \text{ maka nilai baru } \lambda^{(k+1)}$$

$$\lambda^{(1+1)} = \lambda^{(2)} = 0,740199512$$

Iterasi 2

$$\lambda^{(2)} = \lambda^{(3)} = 0,740199512$$

$$P_1 = 22,5363 \text{ MW}$$

$$P_2 = 21,0513 \text{ MW}$$

$$P_3 = 6,9234 \text{ MW}$$

Karena $\Delta P = 0$, iterasi sudah konvergen, maka nilai pembangkitan di atas merupakan nilai optimasi untuk pembebanan 50,511 MW, terlihat pada tabel 6.

Tabel 6. Pembebanan Pembangkitan Optimum Pada Beban rendah, medium dan tinggi

NO	Kondisi Pembebanan	Pembagian pembebanan masing- masing pembangkit			TOTAL
		PLTGU 1	PLTGU 2	PLTG	PEMBANGKIT (MW)
1	Rendah	22,5363	21,0513	6,9234	50,982
2	Medium	26,2662	26,2860	7,5559	57,474
3	Tinggi	29,0954	26,7869	8,0357	63,914

Nilai optimasi sistem pembangkit Listrik PLTGU 1, PLTGU 2 dan PLTG Keramasan pada kondisi pembebanan Rendah, Medium dan Tinggi dengan metode Lagrange dapat disubstitusikan ke persamaan 2.2 sehingga menjadi:

Pembebanan Rendah PLTGU 1, PLTGU 2 dan PLTG

$$H_1 = -0,002 + 10,002 (22,5363) + -0,205 (22,5363)^2 = 121,0476$$

$$H_2 = -0,002 + 10,002 (21,0513) + -0,205 (21,0513)^2 = 119,7383$$

$$H_3 = -0,00,2 + 10,002(6,9234) + -0,205(6,9234)^2 = 55,8584$$

Dengan cara dan perhitungan yang sama diperoleh seperti tertuang dalam tabel 4.4

E. Analisis

Hasil perhitungan setiap biaya pembangkitan dengan asumsi pada saat penelitian harga gas 8,6 US\$ per 1 Mbtu dan 1 US\$ = Rp 14.000,00, terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Biaya Pembangkitan Dengan Metode Lagrange

PLTGUI		PLTGU2		PLTG		TOTAL BEBAN (MW)	TOTAL BAHAN BAKAR (Mbtu- Jam)	TOTAL BIAYA (Rp)
P (MW)	F (Mbtu- jam)	P (MW)	F (Mbtu- jam)	P (MW)	F (Mbtu- jam)			
22,5363	121,0476	21,0513	119,7383	6,9234	55,8584	50,98	296,6443	34.760.775
26,2662	120,9496	24,3129	119,6526	8,6910	60,6158	59,27	301,2180	35.296.729

29,0954	117,0619	26,7869	116,2530	8,0357	62,4310	63,91	295,7459	34.655.501
---------	----------	---------	----------	--------	---------	-------	----------	------------

Tabel 8. Biaya Pembangkitan Real Sistem

P IB		P II		P III		TOTAL BEBAN (MW)	TOTAL BAHAN BAKAR (Mbtu-Jam)	TOTAL BIAYA (Rp)
P (MW)	F (Mbtu-jam)	P (MW)	F (Mbtu-jam)	P (MW)	F (Mbtu-jam)			
23,5720	122,5600	22,1750	117,5610	4,7640	60,2940	50,98	300,4150	35.202.630
26,4470	120,6060	26,2860	120,4450	6,5370	60,4720	59,27	301,5230	35.332.465
26,6590	123,4380	28,4220	116,2540	8,8370	61,5860	63,91	301,2780	35.303.756

Maka perbandingan biayanya dapat ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 9. Perbandingan Biaya Pembangkitan

TOTAL BEBAN (MW)	REAL SISTEM (Rp)	LAGRANGE	PENGHEMATAN BIAYA per Mbtu-jam
50,51	Rp 35.202.629,70	Rp 34.759.204,41	Rp 443.460,54
59,27	Rp 35.332.465,14	Rp 35.296.729,07	Rp 35.736,07
63,92	Rp 35.303.756,04	Rp 34.687.135,38	Rp 616.598,66

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan dan analisis di atas dapat disimpulkan berdasarkan penghematan biaya bahan bakar dapat diperoleh dengan menggunakan metode pendekatan Lagrange Multiplier pada pembebanan tenaga listrik sebesar 50,51 MW sampai dengan 63,92 MW adalah Rp 443.460,54 sampai dengan Rp 616.598,83 per-jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Hermawati, W., Putra, P. B., Hidayat, D., & Poerbosisworo, I. R. (2016). *Influential Factors Of Evidence-Based Energy Policy-Making: Government Regulation On Targeting Renewable Energy In Indonesia*. STI Policy and Management Journal, 1(1).
- Susilo, S. (2015). *Tinjauan Yuridis Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2001 Tentang Minyak Dan Gas Bumi Terhadap Pelaksanaan Kontrak Bagi Hasil* (Doctoral dissertation, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta).
- Harun, N. (2011). *Bahan Ajar Perancangan Pembangkit Tenaga Listrik*. Makassar: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Galla, W. F., Nursalim, N., & Mauboy, E. (2019). *Penjadwalan Optimum Pembangkit Thermal Menggunakan Metode Iterasi Lambda Studi Kasus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Bolok*. Media Elektro, 140-148.
- Syamsudin, Z., Makkulau, A., & Nizar, L. (2016). *Evaluasi Perencanaan Kelistrikan*. JURNAL ILMIAH SUTET, 6(1), 28-34.
- Tuegeh, M., & Soeprijanto, A. (2015, June). *Optimal Generator Scheduling Based On Particle Swarm Optimization*. In Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF) (Vol. 1, No. 1).
- Stevenson, William D., Jr; Kamal Idris. (1994). *Analisis sistem tenaga listrik / William D. Stevenson, Jr. ; penterjemah, Kamal Idris*. Jakarta :: Erlangga,.

Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik Dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 278.