

OPERASI EKONOMIS PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK DENGAN METODE ITERASI LAMBDA MENGGUNAKAN KOMPUTASI PARALEL

Dheo Kristianto¹, Hadi Suyono, ST, MT, Ph.D.², Ir. Wijono, MT, Ph.D.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: dheokristiantoteub10@yahoo.co.id

Abstrak—Operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik merupakan aspek penting dalam manajemen sistem tenaga listrik. Penelitian ini membahas tentang operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik dengan menerapkan metode iterasi lambda menggunakan komputasi paralel. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan penjadwalan pada masing – masing unit pembangkit tenaga listrik sehingga didapatkan daya keluaran yang optimal dengan biaya total bahan bakar yang minimum dan membandingkan waktu perhitungan iterasi lambda pada operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan komputasi paralel dan serial. Data yang diuji dalam penelitian ini adalah pembangkit listrik tenaga termal sistem IEEE 30 Bus dan sistem 500 kV Jawa – Bali. Perhitungan operasi ekonomis pada penelitian ini dilakukan dengan mencari kombinasi penjadwalan (*On/Off*) dari masing – masing unit pembangkit. Kemudian menentukan biaya bahan bakar pada masing – masing kombinasi menggunakan metode iterasi lambda komputasi serial. Kombinasi yang dipilih adalah kombinasi yang menghasilkan biaya bahan bakar yang paling minimum. Kombinasi penjadwalan yang menghasilkan biaya bahan bakar paling minimum akan dianalisis menggunakan metode iterasi lambda komputasi paralel

Kata Kunci—Operasi ekonomis, iterasi lambda, komputasi serial, komputasi paralel, core prosesor.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengoperasian pembangkit listrik tenaga termal secara ekonomis dipengaruhi oleh karakteristik pembangkit, batas – batas daya keluaran pembangkit, dan biaya bahan bakar untuk mengoperasikan pembangkit.

Pada saat ini, perhitungan operasi ekonomis dengan metode iterasi dilakukan dengan menggunakan komputer. Komputer mampu mempercepat proses perhitungan iterasi dibandingkan dengan perhitungan secara manual. Berdasarkan penggunaan komputer, perhitungan iterasi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu

perhitungan iterasi komputasi serial dan perhitungan iterasi komputasi paralel.

Perhitungan iterasi dengan komputasi paralel merupakan perhitungan yang diparalelkan pada beberapa prosesor. Perhitungan ini merupakan pengembangan dari perhitungan iterasi dengan komputasi serial yang perhitungannya dikerjakan secara bersama – sama dengan menggunakan beberapa prosesor.

Pada penelitian ini akan membahas tentang operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik dengan mengabaikan rugi – rugi transmisi. Perhitungan iterasi lambda komputasi paralel pada penelitian ini menggunakan dua core prosesor dengan memanfaatkan *toolbox* PCT (*Parallel Computing Toolbox*) Matlab.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Operasi Ekonomis Sistem Tenaga Listrik

Operasi sistem tenaga listrik pada frekuensi tetap dikatakan berada pada kondisi “daya seimbang” jika total daya nyata yang dibangkitkan sama dengan total beban sistem. Dalam bentuk persamaan ditulis sebagai [1]:

$$P_G = P_R + P_L \quad (2.1)$$

dimana:

$$P_G = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2.2)$$

P_G = Daya total yang dibangkitkan oleh generator (MW)

P_i = Daya yang dibangkitkan oleh generator ke- i (MW)

n = Jumlah generator dalam sistem

P_R = Total beban sistem (MW)

P_L = Total rugi – rugi daya nyata saluran transmisi (MW)

2.2 Operasi Ekonomis Metode Iterasi Lambda

Dalam sebuah teknik penyelesaian secara iterasi, harga λ didapat dari hasil perhitungan dengan harga estimasi awal yang telah ditentukan terlebih dahulu dan sampai nilai ΔP_i berada dalam sebuah ketelitian yang akurat [2].

Ketika rugi – rugi daya pada saluran transmisi diabaikan, maka jumlah permintaan beban P_R sama dengan jumlah daya dari semua pembangkit,

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_R \quad (2.7)$$

Suatu kondisi untuk pengiriman biaya produksi dari pembangkit ke- i yang optimal adalah:

$$\frac{\partial F_i}{\partial P_i} = \lambda \quad (2.8)$$

dimana λ adalah pengali lagrange.

atau

$$2a_i P_i + b_i = \lambda \quad (2.9)$$

Dari persamaan diatas, untuk menentukan nilai P_i adalah:

$$P_i^{(k)} = \frac{\lambda^{(k)} - b_i}{2a_i} \quad (2.10)$$

Persamaan diatas dapat diselesaikan secara iterasi. Harga λ didapat dengan mensubstitusikan nilai P_i pada persamaan 7.28 ke persamaan 7.26 yang hasilnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\lambda - b_i}{2a_i} = P_R \quad (2.11)$$

atau

$$\lambda = \frac{P_R + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{2a_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2a_i}} \quad (2.12)$$

Persamaan 2.30 dapat ditulis ulang sebagai :

$$f(\lambda) = P_R \quad (2.13)$$

Persamaan diatas apabila ditulis dalam deret taylor pada sebuah titik operasi $\lambda^{(k)}$ dan dengan mengabaikan bentuk orde paling tinggi akan menghasilkan:

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2a_i}} \quad (2.14)$$

Sehingga

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)} \quad (2.15)$$

Dan

$$\Delta P^{(k)} = P_R - \sum_{i=1}^n P_i^{(k)} \quad (2.16)$$

Syarat *Kuhn - Tucker* melengkapi syarat lagrangian untuk mengikuti ketentuan ketidaksamaan. Syarat - syarat untuk pengiriman daya nyata yang optimal dari pembangkit dengan mengabaikan rugi - rugi daya adalah sebagai berikut [2]:

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad \text{untuk} \quad P_i^{(min)} \leq P_i \leq P_i^{(maks)}$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \leq \lambda \quad \text{untuk} \quad P_i = P_i^{(maks)}$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \geq \lambda \quad \text{untuk} \quad P_i = P_i^{(min)}$$

P_i didapat dari persamaan 2.10 dan iterasi berlangsung sampai $\sum P_i = P_R$

2.3 Komputasi Paralel

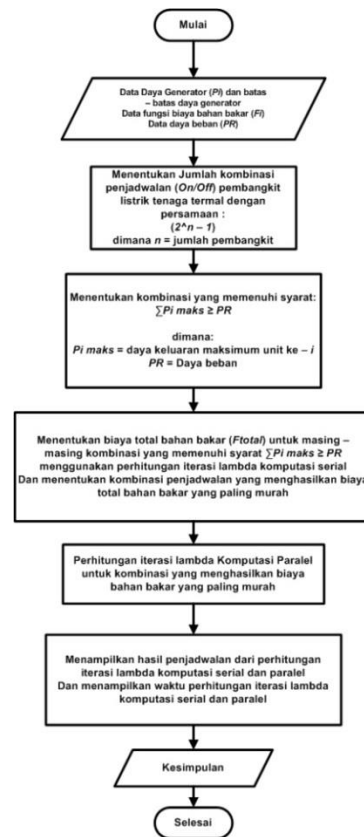
Komputer tradisional memiliki prosesor tunggal untuk melaksanakan tugas - tugas dari suatu program. salah satu cara untuk meningkatkan kecepatan komputer adalah menggunakan beberapa prosesor dalam satu komputer (*multiprocessor*) maupun beberapa komputer yang mengerjakan satu tugas.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan dari solusi paralel, tetapi yang lebih penting adalah sebagai [3]:

1. Keseimbangan beban diantara mengambil bagian pada prosesor.
2. Performance dari prosesor.
3. Kecepatan dari komunikasi data antara prosesor.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir perhitungan operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik ditunjukkan pada Gambar 3.1.



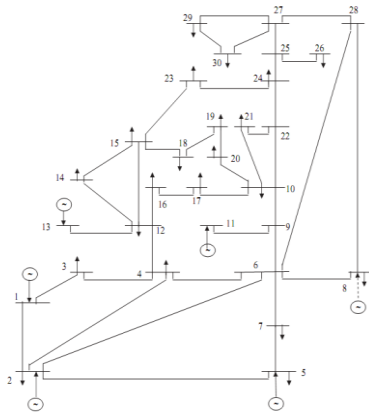
Gambar 3.1. Diagram alir perhitungan operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik

IV. PEMBAHASAN

Data yang diuji dalam penelitian ini adalah pembangkit listrik tenaga termal sistem IEEE 30 Bus dan sistem 500 kV Jawa - Bali .

4.1 Perhitungan operasi ekonomis data IEEE 30 Bus

Dalam sistem tenaga listrik IEEE 30 bus terdiri dari 6 unit pembangkit listrik tenaga termal. Perhitungan operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik dalam penelitian ini dilakukan dengan mengabaikan rugi - rugi transmisi.



Gambar 4.1 Diagram satu garis IEEE 30 Bus [4]

Data – data beban daya nyata yang digunakan dalam perhitungan operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik ditunjukkan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1

Data – data beban daya nyata sistem IEEE 30 Bus

No. Bus	P_R (MW)	No. Bus	P_R (MW)	No. Bus	P_R (MW)
1	0	11	0	21	17,5
2	21,7	12	11,2	22	0
3	2,4	13	0	23	3,2
4	7,6	14	6,2	24	8,7
5	94,2	15	8,2	25	0
6	0	16	3,5	26	3,5
7	22,8	17	9	27	0
8	30	18	3,2	28	0
9	0	19	9,5	29	2,4
10	5,8	20	2,2	30	10,6

Berdasarkan data beban pada tabel 4.1, maka total daya beban (P_R) adalah 283.4 MW.

Koefisien - koefisien dari fungsi bahan bakar dari masing – masing unit pembangkit pada data IEEE 30 bus ditunjukkan dalam tabel 4.2

Tabel 4.2

Data Koefisien – koefisien fungsi biaya bahan bakar IEEE 30 Bus

Pembangkit	a (\$/jam.MW ²)	b (\$/jam.MW)	c (\$/jam)
Pembangkit 1	0.00375	2	0
Pembangkit 2	0.0175	1.75	0
Pembangkit 3	0.0625	1	0
Pembangkit 4	0.00834	3.25	0
Pembangkit 5	0.025	3	0
Pembangkit 6	0.025	3	0

Batas – batas kemampuan daya aktif masing – masing unit pembangkit pada data IEEE 30 bus ditunjukkan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3

Data Batas – batas Daya Nyata IEEE 30 Bus

Pembangkit	P_{min} (MW)	P_{maks} (MW)	Pembangkit	P_{min} (MW)	P_{maks} (MW)
Pembangkit 1	50	200	Pembangkit 4	10	35
Pembangkit 2	20	80	Pembangkit 5	10	30
Pembangkit 3	15	50	Pembangkit 6	12	40

4.2 Operasi Ekonomis pembangkit tenaga listrik menggunakan data IEEE 30 Bus

Perhitungan operasi ekonomis pembangkit tenaga listrik pada IEEE 30 Bus dilakukan dengan mencari jumlah kombinasi penjadwalan (*On/Off*) dari 6 unit pembangkit termal yang akan beroperasi. Dengan menggunakan persamaan $2^n - 1$ dimana n adalah jumlah unit pembangkit. maka jumlah kombinasi yang dapat dibentuk adalah 63 kombinasi ($2^6 - 1 = 63$).

Selanjutnya dilakukan seleksi kombinasi (*On/Off*) unit pembangkit. Kombinasi yang dipilih adalah kombinasi yang memenuhi syarat $\sum P_i \geq P_R$. Kombinasi yang memenuhi syarat tersebut akan dilakukan perhitungan operasi ekonomis menggunakan metode iterasi lambda, sehingga didapatkan nilai daya optimal untuk masing – masing unit pembangkit. Selanjutnya adalah memilih kombinasi yang menghasilkan biaya total bahan bakar yang minimum.

Berdasarkan perhitungan iterasi lambda komputasi serial, maka biaya total bahan bakar minimum adalah pada kombinasi 1-1-1-1-1-1 yaitu sebesar \$767.6023/jam. Sehingga kombinasi yang dipilih adalah kombinasi 1-1-1-1-1-1.

4.3 Hasil Perhitungan operasi ekonomis komputasi serial data IEEE 30 Bus untuk kombinasi 1-1-1-1-1-1.

Berdasarkan pada perhitungan iterasi lambda komputasi serial, maka didapatkan nilai lambda, dan nilai daya dari masing – masing unit pembangkit yang beroperasi sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Iterasi Lambda komputasi Serial data IEEE 30 Bus.

Lambda = \$3.3905/MWh

P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	P_4 (MW)	P_5 (MW)	P_6 (MW)
185.4036	46.8722	19.1242	10	10	12

4.4 Hasil Perhitungan operasi ekonomis komputasi paralel data IEEE 30 Bus untuk kombinasi 1-1-1-1-1-1.

Hasil perhitungan iterasi lambda komputasi paralel pada masing – masing core prosesor ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5
Hasil Perhitungan Iterasi lambda komputasi paralel data IEEE 30 Bus

Core 1

Lambda (\$/MWh)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)
3.3905	185.4036	46.8722	19.1242

Core 2

Lambda (\$/MWh)	P_4 (MW)	P_5 (MW)	P_6 (MW)
3.3905	10	10	12

4.5 Waktu Perhitungan iterasi lambda komputasi serial dan paralel data IEEE 30 Bus.

Waktu perhitungan iterasi lambda komputasi serial data IEEE 30 Bus ditunjukkan pada tabel 4.6.

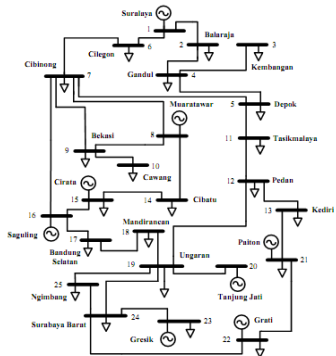
Tabel 4.6

Waktu perhitungan iterasi lambda komputasi serial data IEEE 30 Bus.

Waktu perhitungan iterasi lambda komputasi serial (detik)	Waktu perhitungan iterasi lambda komputasi paralel (detik)
0,01706	0,00784

4.6 Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa – Bali

Sistem interkoneksi tenaga listrik 500 kV Jawa – Bali terdiri dari 8 unit pembangkit tenaga listrik. Pembangkit yang terpasang terdiri dari dua unit pembangkit listrik tenaga air (Cirata dan Saguling), dan 6 unit pembangkit listrik tenaga termal (Suralaya, Muaratawar, Tanjung Jati, Gresik, Paiton, dan Grati).



Gambar 4.2 Diagram satu garis sistem 500 kV Jawa – Bali [5]

Dari gambar 4.2 menunjukkan ke delapan pembangkit tersebut terhubung interkoneksi melalui saluran transmisi 500 kV Jawa – Bali. Dalam penelitian ini yang akan digunakan dalam operasi ekonomis adalah pembangkit listrik tenaga termalnya dengan mengabaikan rugi – rugi transmisi.

Batas kemampuan daya aktif (P_{maks} dan P_{min}) untuk masing – masing pembangkit listrik tenaga termal ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4.7

Batas kemampuan daya aktif sistem 500 kV Jawa – Bali

No.	Pembangkit	P_{maks} (MW)	P_{min} (MW)
1	Suralaya	1500	3400
2	Muaratawar	1040	2200
3	Tanjung Jati	600	1220
4	Gresik	238	1050
5	Paiton	1425	3254
6	Grati	150	827

Koefisien – koefisien dari biaya bahan bakar dari masing – masing pembangkit listrik tenaga termal ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8

Koefisien – koefisien biaya bahan bakar sistem 500 kV Jawa – Bali

No.	Pembangkit	a (Rp/jam.MW ²)	b (Rp/jam.MW)	c (Rp/jam)
1	Suralaya	65.95	395668.05	31630.21
2	Muaratawar	690.98	2478064.47	107892572.17
3	Tanjung Jati	21.88	197191	1636484.18
4	Gresik	132.15	777148.77	13608770.96
5	Paiton	52.19	37370.67	8220765.38
6	Grati	533.92	2004960.63	86557397

Fungsi biaya pembangkit listrik tenaga air pada sistem 500 kV Jawa – Bali ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9

Fungsi biaya pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga air sistem 500 kV Jawa – Bali

No.	Pembangkit	Fungsi Biaya Pembangkitan (Rp/Jam)
1	Cirata	$F_{cirata} = 6000P_{cirata}$
2	Saguling	$F_{saguling} = 5502P_{saguling}$

Data daya beban (P_R) untuk penjadwalan 24 jam sistem 500 kV Jawa – Bali ditunjukkan pada tabel 4.11

Tabel 4.11
Data daya beban untuk penjadwalan 24 jam sistem
500 kV Jawa – Bali

Jam (WIB)	Beban (MW)	Jam (WIB)	Beban (MW)
1.30 – 2.29	8350	13.30 – 14.29	10361
2.30 – 3.39	8179	14.30 – 15.29	10454
3.30 – 4.29	8138	15.30 – 16.29	10401
4.30 – 5.29	8138	16.30 – 17.29	10401
5.30 – 6.29	8304	17.30 – 18.29	10454
6.30 – 7.29	8128	18.30 – 19.29	11292
7.30 – 8.29	8138	19.30 – 20.29	11301
8.30 – 8.29	9256	20.30 – 21.29	10734
9.30 – 10.29	9237	21.30 – 22.29	10454
10.30 – 11.29	9337	22.30 – 23.29	8885
11.30 – 12.29	9320	23.30 – 24.29	7997
12.30 – 13.29	9318	24.30 – 1.29	7196

Pada penelitian ini, pembangkit listrik tenaga air dianggap terus beroperasi dengan daya tetap (tidak dilakukan optimasi).

4.7 Penjadwalan jangka pendek sistem 500 kV Jawa – Bali menggunakan metode Iterasi Lambda.

Penjadwalan jangka pendek sistem 500 kV Jawa – Bali setelah dilakukan operasi ekonomis menggunakan metode iterasi lambda ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12
Penjadwalan jangka pendek sistem 500 kV Jawa – Bali menggunakan metode iterasi lambda.

Jam (WIB)	Beban (MW)	Daya Pembangkit (MW)							
		Surabaya	Cirebon	Sugiluh	Muntarah	Tanjung Lati	Gresik	Paiton	Grati
1.30 – 2.29	8350	2232	946	698	0	1220	0	3254	0
2.30 – 3.29	8179	2061	946	698	0	1220	0	3254	0
3.30 – 4.29	8138	2020	946	698	0	1220	0	3254	0
4.30 – 5.29	8138	2020	946	698	0	1220	0	3254	0
5.30 – 6.29	8304	2186	946	698	0	1220	0	3254	0
6.30 – 7.29	8128	2010	946	698	0	1220	0	3254	0
7.30 – 8.29	8138	2020	946	698	0	1220	0	3254	0
8.30 – 9.29	9248	3130	946	698	0	1220	0	3254	0
9.30 – 10.29	9237	2881	946	698	0	1220	238	3254	0
10.30 – 11.29	9337	3219	946	698	0	1220	0	3254	0
11.30 – 12.29	9320	3202	946	698	0	1220	0	3254	0
12.30 – 13.29	9318	3200	946	698	0	1220	0	3254	0
13.30 – 14.29	10361	3400	946	698	0	1220	843	3254	0
14.30 – 15.29	10454	3400	946	698	0	1220	936	3254	0
15.30 – 16.29	10401	3400	946	698	0	1220	883	3254	0

16.30 – 17.29	10401	3400	946	698	0	1220	883	3254	0
17.30 – 18.29	10454	3400	946	698	0	1220	936	3254	0
18.30 – 19.29	11292	3400	946	698	0	1220	1050	3254	724
19.30 – 20.29	11301	3400	946	698	0	1220	1050	3254	733
20.30 – 21.29	10734	3400	946	698	0	1220	1050	3254	166
21.30 – 22.29	10454	3400	946	698	0	1220	936	3254	0
22.30 – 23.29	8885	2767	946	698	0	1220	0	3254	0
23.30 – 24.29	7997	1879	946	698	0	1220	0	3254	0
24.30 – 1.29	7196	1500	946	698	0	1220	0	2832	0

4.8 Waktu Perhitungan iterasi lambda komputasi serial dan paralel sistem 500 kV Jawa – Bali .

Perbandingan waktu rata – rata perhitungan iterasi lambda komputasi serial dan paralel sistem 500 kV Jawa – Bali ditunjukkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.14
Perbandingan waktu rata – rata perhitungan iterasi lambda komputasi serial dan paralel.

Jam (WIB)	Beban (MW)	Kombinasi						waktu perhitungan Iterasi Lambda (detik)	
		U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	Serial	Paralel
1.30 – 2.29	8350	1	0	1	0	1	0	0.0204	0.0258
2.30 – 3.29	8179	1	0	1	0	1	0	0.0186	0.0291
3.30 – 4.29	8138	1	0	1	0	1	0	0.0190	0.0285
4.30 – 5.29	8138	1	0	1	0	1	0	0.0190	0.0285
5.30 – 6.29	8304	1	0	1	0	1	0	0.0182	0.0275
6.30 – 7.29	8128	1	0	1	0	1	0	0.0198	0.0273
7.30 – 8.29	8138	1	0	1	0	1	0	0.0194	0.0263
8.30 – 9.29	9248	1	0	1	0	1	0	0.0194	0.0239
9.30 – 10.29	9237	1	0	1	1	1	0	0.0213	0.0265
10.30 – 11.29	9337	1	0	1	0	1	0	0.0215	0.0239
11.30 – 12.29	9320	1	0	1	0	1	0	0.0219	0.0233
12.30 – 13.29	9318	1	0	1	0	1	0	0.0212	0.0237
13.30 – 14.29	10361	1	0	1	1	1	0	0.0218	0.0497
14.30 – 15.29	10454	1	0	1	1	1	0	0.0240	0.0532
15.30 – 16.29	10401	1	0	1	1	1	0	0.0232	0.0489
16.30 – 17.29	10401	1	0	1	1	1	0	0.0232	0.0489
17.30 – 18.29	10454	1	0	1	1	1	0	0.0240	0.0532
18.30 – 19.29	11292	1	0	1	1	1	1	0.0391	0.3634
19.30 – 20.29	11301	1	0	1	1	1	1	0.0335	0.3613
20.30 – 21.29	10734	1	0	1	1	1	1	0.0949	1.1118
21.30 – 22.29	10454	1	0	1	1	1	0	0.0240	0.0532
22.30 – 23.29	8885	1	0	1	0	1	0	0.0208	0.0243
23.30 – 24.29	7997	1	0	1	0	1	0	0.0197	0.0274
24.30 – 1.29	7196	1	0	1	0	1	0	0.0192	0.0179

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan pada analisis hasil perhitungan, hasil perhitungan iterasi lambda komputasi serial dan paralel menghasilkan nilai daya yang sama.
2. Pada data IEEE 30 Bus biaya total bahan bakar minimum terdapat pada kombinasi 1-1-1-1-1 yaitu sebesar \$767.6023/Jam. Sedangkan pada sistem 500 kV Jawa – Bali biaya total bahan bakar minimum adalah sebagai berikut:
 - Pada jam 1.30 - 2.29 WIB sebesar Rp2.169.200.000/Jam.
 - Pada jam 2.30 - 3.29 WIB sebesar Rp2.053.100.000/Jam.
 - Pada jam 3.30 - 4.29 WIB dan 4.30 - 5.29 WIB sebesar Rp2.025.900.000/Jam.
 - Pada jam 5.30 - 6.29 WIB sebesar Rp2.137.600.000/Jam.
 - Pada jam 6.30 - 7.29 WIB sebesar Rp2.019.300.000/Jam.
 - Pada jam 7.30 - 8.29 WIB sebesar Rp2.025.900.000/Jam
 - Pada jam 8.30 - 9.29 WIB sebesar Rp2.845.300.000/Jam.
 - Pada jam 9.30 - 10.29 WIB sebesar Rp2.850.900.000/Jam.
 - Pada jam 10.30 - 11.29 WIB sebesar Rp2.914.500.000/Jam.
 - Pada jam 11.30 - 12.29 WIB sebesar Rp2.900.600.000/Jam.
 - Pada jam 12.30 - 13.29 WIB sebesar Rp2.899.000.000/Jam.
 - Pada jam 13.30 - 14.29 WIB sebesar Rp3.827.800.000/Jam.
 - Pada jam 14.30 - 15.29 WIB, 17.30 - 18.29 WIB, dan 21.30 - 22.29 WIB sebesar Rp3.922.000.000/Jam.
 - Pada jam 15.30 - 16.29 WIB dan 16.30 - 17.29 WIB sebesar Rp3.868.000.000/Jam.
 - Pada jam 18.30 - 19.29 WIB sebesar Rp5.858.500.000/Jam.
 - Pada jam 19.30 - 20.29 WIB sebesar Rp5.858.500.000/Jam.
 - Pada jam 20.30 - 21.29 WIB sebesar Rp4.474.600.000/Jam.
 - Pada jam 22.30 - 23.29 WIB sebesar Rp2.557.300.000/Jam.
 - Pada jam 23.30 - 24.29 WIB sebesar Rp1.933.800.000/Jam.
 - Pada jam 24.30 - 1.29 WIB sebesar Rp1.549.600.000/Jam.

3. Waktu perhitungan iterasi lambda komputasi paralel pada data IEEE 30 bus membutuhkan waktu yang lebih cepat daripada perhitungan komputasi serial. Waktu perhitungan iterasi lambda komputasi paralel adalah 0,00784 detik, sedangkan waktu perhitungan iterasi lambda komputasi serial adalah 0,01706 detik. Sedangkan pada perhitungan iterasi lambda komputasi paralel pada sistem 500 kV Jawa – Bali membutuhkan waktu lebih lama daripada komputasi serial. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah pembangkit yang dihitung lebih sedikit daripada data IEEE 30 Bus.

5.2 Saran

Saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan operasi ekonomis pada penelitian ini dilakukan dengan dengan memperhitungan rugi – rugi transmisi pada sistem.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan jumlah core prosesor yang lebih banyak.
3. Penelitian ini perlu dikembangkan dengan menggunakan sistem dengan jumlah pembangkit yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shidiq, Mahfudz. 2004. *Diktat Kuliah Operasi Sistem Daya Elektrik*. Malang : Universitas Brawijaya.
- [2] Cekdin, Cekmas. 2010. *Sistem Tenaga listrik Contoh Soal dan Penyelesaiannya menggunakan Matlab*. Yogyakarta : Andi Publisher.
- [3] Siregar, Y., Soeprijanto, A., and Purnomo, M. H. 2009. *Pemodelan Paralel Load Flow untuk Sistem Tenaga Listrik*. Surabaya : Jurusan teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November.
- [4] Zhu, Jizhong. 2009. *Optimization of Power System Operation*. New Jersey : John Wiley and Son Inc.
- [5] Muharnis. 2011. Thesis : *Penjadwalan jangka pendek sistem 500 kV Jawa – Bali menggunakan metode Improved Particle Swarm Optimization*. Tidak diterbitkan