

ECONOMIC DISPATCH MENGGUNAKAN METODE QUADRATIC PROGRAMMING

Patria Julianto¹, Rasmi²

^{1,2} Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹patria@borneo.ac.id

²rasmimi46@gmail.com

Abstract— *In the power system, the electrical energy needed by consumers must be provided by power plants. These power plants have different characteristics in terms of fuel type, capacity, and operation pattern. To obtain the most minimal generation costs, the operation of power plants must be carried out optimally, which in this research was conducted by means of load sharing (economic dispatch). In economic dispatch, the main problem was how to get the roots of non-linear equations (quadratic equations) which were mathematical modeling of the characteristics of each power plant. In this research, the Quadratic Programming method was employed to solve the economic dispatch problem, while the software used was GAMS software. To test the economic dispatch modeling, the data of IEEE 30 Bus System and Java Bali 500 kV System were used. The simulation result was compared with the Lamda Iteration method and the Flower Pollination Algorithm method with the comparison results indicating that the Quadratic Programming method was superior to other methods.*

Keywords— *Economic dispatch, Fuel Cost, Quadratic Programming*

Intisari— Pada sistem tenaga listrik, energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen harus disediakan oleh pembangkit-pembangkit listrik. Pembangkit-pembangkit tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda baik dari sisi jenis bahan bakar, kapasitas maupun pola pengoperasiannya. Untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang paling minimum, maka pengoperasian pembangkit-pembangkit listrik harus dilakukan secara optimum yang dalam penelitian ini dilakukan dengan cara pembagian pembebanan (*economic dispatch*). Pada *economic dispatch* yang menjadi permasalahan utama adalah bagaimana mendapatkan nilai akar-akar persamaan non linier (persamaan kuadrat) yang merupakan pemodelan matematika dari karakteristik pada masing-masing pembangkit listrik. Pada penelitian ini metode *Quadratic Programming* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *economic dispatch*, sedangkan software yang digunakan adalah software GAMS. Untuk menguji pemodelan *economic dispatch* digunakan data Sistem IEEE 30 Bus dan Sistem Jawa Bali 500 kV. Hasil simulasi juga dibandingkan dengan metode Iterasi Lamda dan metode Flower Pollination Algorithm dengan hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode *Quadratic Programming* lebih unggul dibandingkan dengan metode lainnya.

Kata Kunci— *Economic dispatch, biaya bahan bakar, Quadratic Programming.*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang begitu pesat membuat

banyak perubahan pada kebutuhan hidup manusia di berbagai bidang. Hal tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan energi listrik. Peningkatan tersebut harus diimbangi dengan penyediaan listrik oleh perusahaan pembangkitan. Dengan berbagai macam pola beban yang harus ditanggung oleh perusahaan pembangkit listrik maka diperlukan sebuah metode agar dapat mengurangi biaya bahan bakar pembangkit tersebut. Semakin besar biaya yang ditanggung oleh pembangkit sejalan dengan semakin besarnya permintaan maupun pemakaian daya listrik oleh konsumen. Oleh sebab itu dibutuhkan pola pengoperasian yang optimal untuk dapat memenuhi permintaan beban dengan biaya yang paling minimal [1-3].

Pada penelitian ini akan membahas terkait penyelesaian optimasi menggunakan *economic dispatch* dengan metode *Quadratic Programming* (QP). Penelitian ini akan menentukan pembagian daya paling optimal pada setiap unit pembangkit dengan biaya bahan bakar yang ekonomis.

Dzikra, T. K. [4] pada penelitiannya yang berjudul “*Economic dispatch Dengan Memperhitungkan Integrasi Solar Energi Menggunakan Metode Quadratic Programming*”. Pada proses pengoperasiannya tiap unit pembangkit listrik pasti memiliki karakteristik yang berbeda. Karakteristik input-output memperlihatkan hubungan dari masukan biaya bahan bakar (Rp) dan keluaran yang dihasilkan oleh unit pembangkit (MW). Dilakukan optimasi pengoperasian pada unit pembangkitan yaitu dengan memahami perbedaan karakteristik seluruh pembangkit. Besar beban permintaan dari konsumen harus sama dengan total daya yang dibangkitkan oleh seluruh unit pembangkit dengan mempertimbangkan batasan pembangkitan daya minimum dan daya maksimum untuk tiap unit pembangkit tersebut. Dari hasil simulasinya diperoleh tiap daya yang dibangkitkan masing-masing unit pembangkit tidak lebih kecil dari daya minimum dan tidak lebih besar dari daya maksimum yang telah ditentukan dan total biaya yang dianggap ekonomis pada simulasi.

Pranata, D. A. [5] pada penelitiannya yang berjudul “*Economic dan Emission Dispatch Pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL 2015–2024 Menggunakan Modified Bee Colony Algorithm*”. Dalam penelitian ini terdapat dua permasalahan yaitu *economic dispatch* yang lebih mengutamakan faktor ekonomis dan *emission dispatch* untuk mengurangi emisi gas buang tiap unit pembangkit. Pada dasarnya fungsi memperhitungkan *economic dispatch* yaitu untuk menentukan pembagian daya yang optimal dan paling baik dari pembangkit yang

tersedia dalam proses melayani konsumen [6]. Setelah dilakukan simulasi diperoleh bahwa faktor pembobotan sangat mempengaruhi biaya pembangkitan, apabila faktor pembobotan lebih diutamakan pada faktor ekonomis maka biaya pembangkitan akan lebih murah sedangkan emisi gas buang akan lebih tinggi, begitu pula apabila terjadi sebaliknya.

Faulianur, R. [7] pada penelitiannya yang berjudul “Komparasi Metode Iterasi Lamda Dengan *Quadratic Programming* Pada Sistem Pembangkit Termal”. Ada berbagai macam metode yang ditawarkan untuk diterapkan dalam memperhitungkan *economic dispatch* dua diantaranya yaitu dengan menggunakan metode iterasi Lamda tanpa mempertimbangkan batasan dari kemampuan pembangkit dan untuk metode *Quadratic Programming* adanya pertimbangan batasan kemampuan dari pembangkit. Berdasarkan perbandingan antara keduanya metode *Quadratic Programming* menjadi lebih unggul daripada metode iterasi Lamda, dikarenakan dari simulasi yang telah dilakukan metode ini dapat mempertimbangkan batas pembangkitan yang diizinkan.

Pada penelitian ini metode *Quadratic Programming* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* menggunakan software GAMS. Untuk menguji pemodelan *economic dispatch* digunakan data Sistem IEEE 30 Bus dan Sistem Jawa Bali 500 kV. Hasil dari simulasi akan dibandingkan dengan metode Iterasi Lamda dan metode Flower Pollination Algorithm dengan metode *Quadratic Programming* lebih unggul dibandingkan dengan metode lainnya.

II. ECONOMIC DISPATCH MENGGUNAKAN METODE QP

Economic dispatch adalah pembagian pembebanan daya yang harus dibangkitkan oleh per unit pembangkit untuk dapat memenuhi permintaan/kebutuhan beban sistem. Untuk menentukan pembagian daya yang optimal dan paling baik agar dapat memenuhi kebutuhan beban dengan beberapa pertimbangan batasannya. Dengan tujuan untuk meminimalkan penggunaan konsumtif bahan bakar dari pembangkit dengan memperhitungkan berapa besar pembebanan dari tiap unit pembangkit. Bahan bakar merupakan faktor yang paling mempengaruhi biaya pembangkitan pada sistem tenaga listrik. Fungsi objektif untuk memperoleh biaya bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\min(FE_T) = \sum_{i=1}^T \left(\sum_{g=1}^n (\alpha_g^t P_g^t + \beta_g^t P_g^t + \gamma_g^t) \right) \quad (1)$$

Pada perhitungan optimasi terdapat batasan yang harus diperhatikan yaitu batasan keseimbangan daya yang merupakan total daya yang dibangkitkan dengan total beban yang akan disuplai harus sama. Berikut merupakan persamaan dari batasan keseimbangan daya aktif.

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_D^t = 0 \quad (2)$$

Setiap pembangkit mempunyai kapasitas dan karakteristik yang berbeda, yaitu pembangkit tidak boleh membangkitkan daya di luar kapasitasnya. Selanjutnya batas daya output minimum dan maksimum setiap unit pembangkit, daya yang akan dibangkitkan setiap pembangkit tidak boleh kurang dari batas minimum dan tidak boleh lebih dari batas maksimum yang telah ditentukan, dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (3)$$

Keterangan:

FE_{Total} = Hasil biaya yang dioptimalkan

n : jumlah pembangkit

P_G^t : daya yang dibangkitkan pembangkit G pada periode waktu t (MW)

P_i : daya *output* yang dibangkitkan

α, β, γ : koefisien biaya pembangkit

$P_{i \min}$: batas minimal daya pembangkit

$P_{i \max}$: batas maksimal daya pembangkit

Linier programming adalah sebuah model yang sangat handal dapat digunakan dalam menganalisa berbagai persoalan sains, engineering, industri dan bisnis. Akan tetapi pada model ini terdapat batasan dimana tidak semua permasalahan dalam bentuk linier. Dengan menggunakan model linier hanya memberikan hasil terbaik pada permasalahan orde pertama. Model *Quadratic Programming* adalah model yang terbaik dari model ini. Dengan menggunakan model *Quadratic Programming* dapat menyelesaikan permasalahan non linier, juga dapat memodelkannya ke dalam sebuah persamaan objektif [8-10].

Fungsi objektif dari *Quadratic Programming* dimodelkan dalam sebuah persamaan sebagai berikut:

$$F(x) = \frac{1}{2} x^T H x + f^T x + c \quad (4)$$

Batasan (*constraints*) linier dari *Quadratic Programming* dimodelkan sebagai berikut:

$$Aeq \cdot x = Beq \quad (5)$$

$$LB \leq x \leq UB \quad (6)$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \quad (7)$$

Keterangan:

f : matriks komponen linier;

H : matriks komponen kuadratik;

UB : batas atas variabel;

LB : batas bawah variabel;

Aeq : matriks persamaan;

Beq : matriks persamaan (konstan);

c : konstanta matriks n-vektor;

x : n-vektor yang nilainya akan dioptimasi.

III. IMPLEMENTASI ECONOMIC DISPATCH MENGGUNAKAN GAMS

Untuk prosedur dan proses optimasi dilakukan pada sistem IEEE 30 Bus menggunakan metode *Quadratic Programming* dengan tetap memperhatikan batasan-batasan equality dan inequality. Berikut merupakan proses penyelesaian masalah *economic dispatch* dengan metode *Quadratic Programming* (QP) pada software GAMS [11-13] menggunakan CONOPT solver. Flowchart *economic*

dispatch terdapat pada gambar 1. Berikut merupakan langkah-langkah optimasi *economic dispatch*, yaitu:

- 1) Data input seperti koefisien biaya, batasan daya minimum dan maksimum tiap unit pembangkit serta jumlah beban yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit tersebut.

- (a) Menentukan banyaknya jumlah pembangkit termal dan total beban pembangkitan sebagai berikut.

```
Set
Gen / G1*G6 /;
Scalar load / 283.4 /;
```

- (b) Berikut merupakan inisialisasi parameter input terdiri dari koefisien biaya α , β , γ serta kapasitas minimum dan maksimum pembangkit.

	a	b	c	Pmin	Pmax
G1	0.00375	2.00	0	50	200
G2	0.01750	1.75	0	20	80
G3	0.06250	1.00	0	15	50
G4	0.00834	3.25	0	10	35
G5	0.02500	3.00	0	10	30
G6	0.02500	3.00	0	12	40;

- (c) Berikut ini variabel keluaran daya minimum dan daya maksimum pembangkit.

```
Variable
OBJ
P.lo(gen) = data(gen, 'Pmin');
P.up(gen) = data(gen, 'Pmax');
```

- 2) Memasukkan persamaan matematika yang menjelaskan hubungan antara data dan variabel yaitu, biaya bahan bakar pembangkit, keseimbangan daya, dan lain-lain.

- (a) Memasukkan fungsi objektif Persamaan (2)

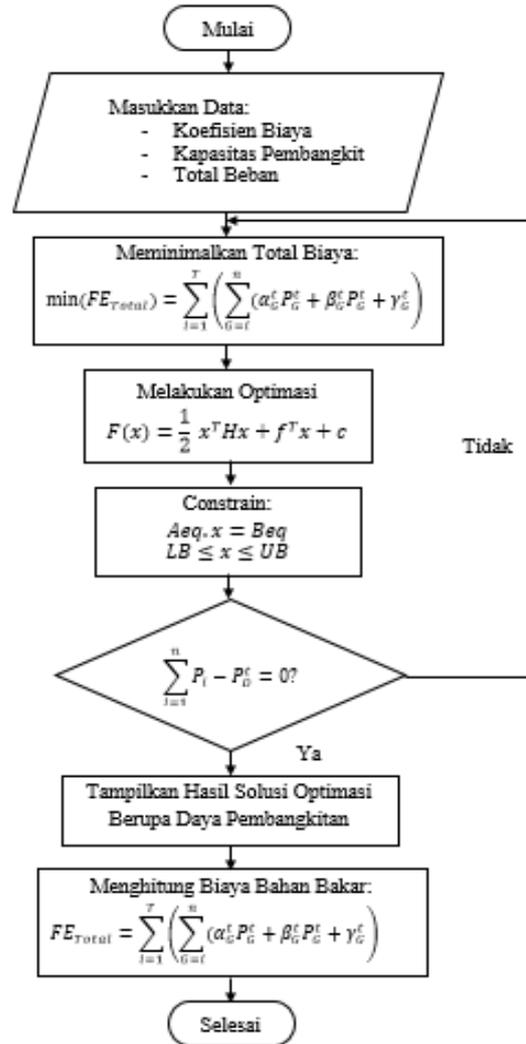
```
OF =e= sum(gen,
data(gen, 'd') * P(gen) * P(gen) +
data(gen, 'e') * P(gen) +
data(gen, 'f'));
```

- (b) Memasukkan kendala keseimbangan daya.

```
sum(gen, P(gen)) =g= load;
```

- (c) Penyelesaian *economic dispatch* untuk meminimalkan biaya bahan bakar pembangkitan menggunakan metode *Quadratic Programming* (QP).

```
Model ED / eq1, eq2 /;
solve ED using qcp minimizing
of;
```



Gambar 1. Flowchart Metode QP

IV. DATA PENGUJIAN

Pengujian dalam penelitian ini menggunakan data sistem IEEE 30 Bus dan sistem Jawa Bali 500 kV. Untuk penyelesaian masalah *economic dispatch* dengan menerapkan metode *Quadratic Programming* (QP) pada software GAMS menggunakan CONOPT solver. Simulasi dilakukan bertujuan untuk memperoleh seberapa besar biaya bahan bakar yang akan digunakan tiap unit pembangkit serta mampu mengoptimasi biaya bahan bakar sehingga dihasilkan biaya yang paling minimum, Untuk menguji pemodelan *economic dispatch* digunakan data Sistem IEEE 30 Bus [14] dan Sistem Jawa Bali 500 kV [15]. Hasil simulasi menggunakan metode *Quadratic Programming* akan dibandingkan dengan metode Iterasi Lamda dan metode Flower Pollination Algorithm.

A. Sistem IEEE 30-Bus

Sistem ini terdiri dari 6 unit pembangkit termal dengan beban sebesar 283,4 MW. Untuk koefisien biaya bahan bakar terdapat pada tabel 1, data kapasitas daya pembangkit terdapat pada tabel 2 dan data beban pada tabel 3.

B. Sistem Jawa Bali 500 kV

Pada sistem ini koefisien biaya bahan bakar terdapat pada tabel 4 dan untuk kapasitas daya minimum dan daya maksimum dapat dibangkitkan terdapat pada tabel 5. Sistem Jawa Bali 500 kV terdiri dari 20 unit pembangkit, dengan 17 unit pembangkit termal dan 3 unit PLTA. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pada pukul 20.00 WIB dengan beban sebesar 39578 MW.

Tabel I
Koefisien Biaya Pembangkit Sistem IEEE-30 Bus

Unit	α (\$/MW ²)	β (\$/MW)	γ (\$)
G1	0,00375	2,00	0
G2	0,01750	1,75	0
G3	0,06250	1,00	0
G4	0,00830	3,25	0
G5	0,02500	3,00	0
G6	0,02500	3,00	0

Tabel II
Kapasitas Daya Pembangkit

Unit	p^{min} (MW)	p^{max} (MW)	Rup (MW/h)	RDn (MW/h)
G1	50	200	65	85
G2	20	80	12	22
G3	15	50	12	15
G4	10	35	8	16
G5	10	30	6	9
G6	12	40	8	16

Tabel III
Kapasitas Daya minimum dan maksimum Pembangkit sistem Jawa Bali 500 kV

Unit	p^{min} (MW)	p^{max} (MW)
G1	1610	4200
G2	690	1725
G3	800	2000
G4	800	2000
G5	848	2119
G6	1149	2872
G7	1080	2700
G8	360	900
G9	1886	4714
G10	640	1600
G11	403	1008
G12	696	1740
G13	824	2060
G14	760	1900
G15	1060	2650
G16	1856	4640
G17	1216	3040
G18	1200	3000
G19	546	1365
G20	1436	3589

Tabel IV
Data Beban Sistem IEEE-30 Bus

Bus No.	Beban (MW)	Beban (MVar)
1	0,00	0,00
2	21,7	12,7

Bus No.	Beban (MW)	Beban (MVar)
3	2,40	1,20
4	7,60	1,60
5	94,2	19,0
6	0,00	0,00
7	22,8	10,9
8	30,0	30,0
9	0,00	0,00
10	5,80	2,00
11	0,00	0,00
12	11,2	7,50
13	0,00	0,00
14	6,20	1,60
15	8,20	2,50
16	3,50	1,80
17	9,00	5,80
18	3,20	0,90
19	9,50	3,40
20	2,20	0,70
21	17,5	11,2
22	0,00	0,00
23	3,20	1,60
24	8,70	6,70
25	0,00	0,00
26	3,50	2,30
27	0,00	0,00
28	0,00	0,00
29	2,40	0,90
30	10,60	1,90
Total Beban	283,4	126,20

Tabel V
Koefisien Biaya Pembangkit Pada Sistem Jawa Bali 500 kV

Unit	α (\$/MW ²)	β (\$/MW)	γ (\$)
G1	-400,81	3.332.794,44	57.5743.208,50
G2	123,80	982.201,25	45.915.179,30
G3	-216,78	1.687.044,26	26.078.106,50
G4	-216,78	1.687.044,26	26.078.106,50
G5	203,72	2.707.932,51	66.802.287,30
G6	-51,78	2.707.932,51	175.648.457,90
G7	691,77	3.047.098,70	519.353.767,10
G8	0,00	400,00	0,00
G9	218,29	2.104.640,99	180.205.527,90
G10	-198,13	16.260.663,24	36.865.968,40
G11	0,00	400,00	0,00
G12	0,00	600,00	0,00
G13	-123,97	1.535.364,19	49.030.275,10
G14	-52,12	1.745.451,56	44.057.796,00
G15	551,86	1.577.296,45	138.462.967,60
G16	-80,97	2.828.349,26	133.177.025,60
G17	-73,82	5.877.235,44	112.522.922,10
G18	-108,39	2.530.566,39	39.117.159,80
G19	203,41	2.545.843,46	140.621.312,50
G20	-102,23	2.480.952,82	110.670.582,70

V. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada tahap ini akan menampilkan hasil simulasi *economic dispatch* menggunakan software GAMS

dilakukan untuk memperoleh berapa besar biaya yang dapat dioptimalkan setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *Quadratic Programming* (QP). Hasil simulasi berupa total biaya bahan bakar yang dapat dioptimalkan oleh pembangkit serta daya aktif optimum tiap unit pembangkit.

Tabel VI

Hasil Simulasi *Economic dispatch* Pada Sistem IEEE 30-Bus

Unit	Daya Optimum (MW)	Biaya Bahan Bakar (\$)
G1	185,404	499,713
G2	46,872	120,473
G3	19,124	41,982
G4	10,000	33,334
G5	10,000	32,500
G6	12,000	39,600
Total	283,400	767,602

Tabel VII

Hasil Simulasi *Economic dispatch* Pada Sistem Jawa-Bali 500 kV

Unit	Daya Optimum (MW)	Biaya Bahan Bakar (Rp)
G1	4200	6.985.079.656
G2	1725	2.108.603.637
G3	2000	2.533.062.627
G4	2000	2.533.062.627
G5	848	2.509.624.923
G6	2580	7.300.450.915
G7	1080	4.617.098.558
G8	900	360.000
G9	1886	4.926.004.421
G10	1600	2.131.349.232
G11	1008	403.200
G12	1740	1.044.000
G13	2060	2.685.801.415
G14	1900	3.172.248.120
G15	1060	2.430.468.224
G16	4640	11.513.422.820
G17	1216	7.150.089.789
G18	3000	6.655.324.330
G19	546	1.591.284.717
G20	3589	7.697.955.057
Total	39578	78.542.738.268

A. Analisa Perhitungan Pada Sistem IEEE 30-Bus

Setelah hasil simulasi diperoleh maka dilakukan perhitungan manual untuk membuktikan keakuratan data sistem IEEE 30 Bus, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Persamaan biaya:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= 0,00375P^2 + 2P + 0 \\
 E_2 &= 0,0175P^2 + 1,75P + 0 \\
 E_3 &= 0,0625P^2 + 1P + 0 \\
 E_4 &= 0,00834P^2 + 3,25P + 0 \\
 E_5 &= 0,025P^2 + 3P + 0 \\
 E_6 &= 0,025P^2 + 3P + 0
 \end{aligned}$$

Batasan:

$$\begin{aligned}
 A_{eq} &= B_{eq} \\
 P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 &= P_D \\
 P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 &= 283,4 \\
 LB &\leq P \leq UB \\
 50 &\leq P \leq 200 \\
 20 &\leq P \leq 80 \\
 15 &\leq P \leq 50 \\
 10 &\leq P \leq 35 \\
 10 &\leq P \leq 30 \\
 12 &\leq P \leq 40
 \end{aligned}$$

Fungsi objektif:

$$\text{Min } F(x) = \frac{1}{2} x^T H_x + f^T x + c$$

$$H = 2 \times \begin{bmatrix} 0,00375 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,01750 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,06250 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,00834 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,02500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,02500 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,0075 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,035 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,125 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,01668 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,05 \end{bmatrix}$$

$$f = \begin{bmatrix} 2 \\ 1,75 \\ 1 \\ 3,25 \\ 3 \\ 3 \end{bmatrix}$$

$$f^T = [2 \quad 1,75 \quad 1 \quad 3,25 \quad 3 \quad 3]$$

$$e = 0$$

Batasan:

$$LB = \begin{bmatrix} 50 \\ 20 \\ 15 \\ 10 \\ 10 \\ 12 \end{bmatrix}$$

$$UB = \begin{bmatrix} 200 \\ 80 \\ 50 \\ 35 \\ 30 \\ 40 \end{bmatrix}$$

$$A_{eq} = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]$$

$$B_{eq} = 283,4$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } F(x) &= \frac{1}{2} x^T H_x + f^T x + c \\
 &= \frac{1}{2} \times [P_1 \quad P_2 \quad P_3 \quad P_4 \quad P_5 \quad P_6]
 \end{aligned}$$

$$\times \begin{bmatrix} 0,0075 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,035 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,125 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,01668 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,05 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} + [2 \quad 1,75 \quad 1 \quad 3,25 \quad 3 \quad 3]$$

$$\times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} + 0$$

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 185,4036 \\ 46,8722 \\ 19,1242 \\ 10 \\ 10 \\ 12 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan hasil perhitungan sistem IEEE 30 Bus diatas dapat diamati untuk menghasilkan biaya bahan bakar yang optimal sebagai berikut:

- $P_1 = 185,4036 \text{ MW}$
- $P_2 = 46,8722 \text{ MW}$
- $P_3 = 19,1242 \text{ MW}$
- $P_4 = 10 \text{ MW}$
- $P_5 = 10 \text{ MW}$
- $P_6 = 12 \text{ MW}$

Total biaya bahan bakar yang dihasilkan oleh sistem IEEE 30 bus adalah $E_{G1} + E_{G2} + E_{G3} + E_{G4} + E_{G5} + E_{G6}$. Adapun hasil perhitungannya dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} E_{Gi} &= \alpha_{Gi} P_i^2 + \beta_{Gi} P_i + \gamma_{Gi} \\ E_{G1} &= (0,00375 \times (185,4036)^2) + (2 \times 185,4036) + 0 \\ &= 499,7115558 \text{ MW} \\ E_{G2} &= (0,01750 \times (46,8722)^2) + (1,75 \times 46,8722) + 0 \\ &= 120,4739048 \text{ MW} \\ E_{G3} &= (0,06250 \times (19,1242)^2) + (1 \times 19,1242) + 0 \\ &= 41,9826391 \text{ MW} \\ E_{G4} &= (0,00834 \times (10)^2) + (3,25 \times 10) + 0 \\ &= 33,334 \text{ MW} \\ E_{G5} &= (0,02500 \times (10)^2) + (3 \times 10) + 0 \\ &= 32,5 \text{ MW} \\ E_{G6} &= (0,02500 \times (12)^2) + (3 \times 12) + 0 \\ &= 39,6 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$FE_{Total} = \sum_{i=1}^T \left(\sum_{G=i}^n (\alpha_G^t P_G^t + \beta_G^t P_G^t + \gamma_G^t) \right)$$

$$\begin{aligned} FE_{Total} &= E_{G1} + E_{G2} + E_{G3} + E_{G4} + E_{G5} + E_{G6} \\ &= 499,7115558 + 120,47390 + 41,9826391 \\ &\quad + 33,334 + 32,5 + 39,6 \\ &= 767,602 \text{ MW} \end{aligned}$$

B. Perbandingan Perhitungan *Economic Dispatch* Dengan Beberapa Metode

Tabel VIII

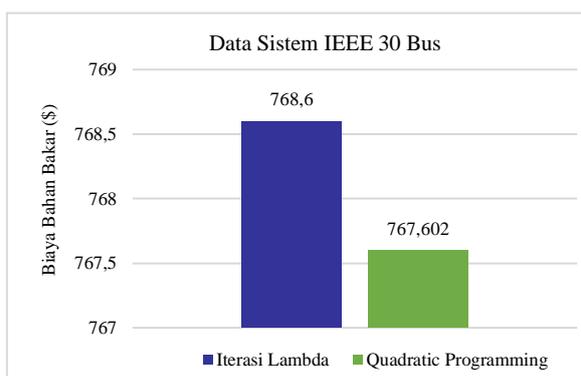
Perbandingan Hasil *Economic dispatch* Dengan Beberapa Metode Pada Sistem IEEE 30-Bus

Metode	Total Biaya (\$)
Iterasi Lamda	768,600
<i>Quadratic Programming</i>	767,602

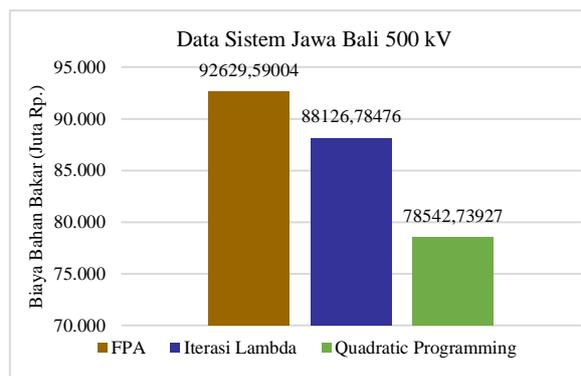
Tabel IX

Perbandingan Hasil *Economic dispatch* Dengan Beberapa Metode Pada Sistem Jawa-Bali 500 kV

Metode	Total Biaya (Rp)
<i>Flower Pollination Algorithm</i>	92.629.590.057
Iterasi Lamda	88.126.784.760
<i>Quadratic Programming</i>	78.542.738.268



Gambar 2. Grafik perbandingan hasil Biaya Bahan Bakar menggunakan metode QP dengan metode lain



Gambar 3. Grafik perbandingan hasil Biaya Bahan Bakar menggunakan metode QP dengan metode lain

VI. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi dan analisis *Economic dispatch* (ED) menggunakan metode *Quadratic Programming* (QP) pada sistem IEEE 30 Bus dan sistem Jawa-Bali 500 kV dengan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada sistem IEEE 30 Bus dengan total beban sebesar 283,4 MW, perhitungan *economic dispatch* menggunakan metode Iterasi Lamda menghasilkan biaya pembangkitan sebesar \$ 768,600 per jam sedangkan menggunakan metode *Quadratic Programming* menghasilkan biaya pembangkitan sebesar \$ 767,602 per jam.

2. Pada sistem Jawa-Bali 500 kV dengan total beban sebesar 39578 MW, perhitungan *economic dispatch* menggunakan metode Iterasi Lamda menghasilkan biaya pembangkitan sebesar Rp 88.126.784.760 per jam dan pada penelitian yang menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* [15] menghasilkan biaya sebesar Rp 92.629.590.057 per jam sedangkan menggunakan metode *Quadratic Programming* menghasilkan biaya pembangkitan sebesar Rp 78.542.738.268 per jam.
3. Dari hasil perbandingan perhitungan *economic dispatch* menggunakan metode *Quadratic Programming* dengan metode lainnya, dapat dilihat bahwa metode *Quadratic Programming* lebih unggul dibandingkan dengan metode lainnya.

REFERENSI

- [1] Angdrie, S. V., Patras, L. S., Tumaliang, H., & Lisi, F. (2012). Optimalisasi Biaya Bahan Bakar Untuk Penjadwalan Unit-Unit Pada Pembangkit Thermal Sistem Minahasa Dengan Metode Iterasi Lamda. *Jurnal Teknik elektro dan Komputer*, 1(2), 1-6.
- [2] Gama, N., Fielman, L., Maickel, T. & Nelwan, A. F. (2012). Aliran Daya Optimal Pada Sistem Minahasa. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 1(3), 1-10.
- [3] Riswandi, S., Lubis, R. S., & Syukri, M. (2021). Operasi Ekonomis pada Sistem Pembangkit Thermal Sumatera Barat dengan Menggunakan metode Iterasi Lamda. *KITEKTRO : Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 6(1), 19-25.
- [4] Dzikra, T. K. (2019). *Economic dispatch Dengan Memperhitungkan Integrasi Solar Energi Menggunakan Metode Quadratic Programming* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- [5] Pertiwi, N. P., Ramdhan, H. S., & Syahrizal. (2018). Analisa *Economic dispatch* Pada Unit Pembangkit Menggunakan Metode Iterasi Lamda Berdasarkan Base Point And Participation Factors. *Jurnal KITEKTRO: Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 3(2), 24-29.
- [6] Pratama, D. A. (2016). *Economic and Emission Dispatch pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500KV Berdasarkan Ruptil 2015-2024 Menggunakan Modified Artificial Bee Colony Algorithm* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [7] Faulianur, R., Haikal, M. A., & Hasan, M. N. (2021). Komparasi Metode Iterasi Lamda Dengan *Quadratic Programming* Pada Sistem Pembangkit Termal. *Jurnal Intake: Jurnal Penelitian Ilmu Teknik dan Terapan*, 12(1), 37-44.
- [8] P. Julianto, A. Soeprijanto, Mardlijah, *Dynamic Economic Dispatch with Integration of Compressed Air Energy Storage Considering Large Penetration of Photovoltaic Generation Systems*, *International Review on Modelling and Simulations (IREMOS)*, 14,5:388-398(2021).
- [9] P. Julianto, A. Soeprijanto, Mardlijah, *Confronting the Duck curve Problem using Dynamic Economic Emission Dispatch with CAES*, *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 15,4:520-532(2022).
- [10] Arifin, K. A. R. (2018). *Dynamic Economic dispatch Mempertimbangkan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan Quadratic Programming* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [11] Soroudi, A. (2017). *Power System Optimization Modeling in GAMS* (Vol. 78). Switzerland: Springer.
- [12] O.D.M. Giraldo, *Solving a Classical Optimization Problem Using GAMS Optimizer Package: Economic Dispatch Problem Implementation*, *Ingenierfa y Ciencia*, 13,26:39-63(2017).
- [13] P. Julianto, *Unit Commitment dengan Integrasi Pump Storage Hydroelectricity untuk Mengatasi Masalah Duck Curve*, *Jurnal Elekrika Borneo*, 8,2:12-17(2022).
- [14] Appendix A: Data for IEEE-30 Bus Test System. [Online]. Available from: <https://alroomi.org/multimedia/PowerFlow/30BusSystem/IEEE30BusSystemDATA2.pdf>.
- [15] Sugianto, S. P., Mardiyah, N. A., & Suhardi, D. (2021, Januari) *Combined Economic and Emission Dsipatch Menggunakan Flower Pollination Algorithm Pada Transmisi 500 kV Jawa Bali*. In *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa)*. (No. 6, pp.8-17).