

# ***ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHITUNGGAN INTEGRASI SOLAR ENERGI MENGGUNAKAN METODE QUADRATIC PROGRAMMING***

Tan Karunia Dzikra<sup>1</sup>, Firmansyah Nur Budiman<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia (UII)

Jl. Kaliurang, Yogyakarta

15524043@students.uui.ac.id<sup>1</sup>

145240501@uui.ac.id<sup>2</sup>

**Abstrak-** *Economic dispatch (ED)* merupakan suatu skema dalam pengoperasian unit pembangkit termal yang bertujuan untuk menghemat biaya pengoperasian seluruh unit pembangkit yang dioperasikan. Dalam optimasi ED penggunaan bahan bakar dan fungsi biaya dari setiap bahan bakar akan diperhitungkan agar didapatkan total biaya pembangkitan yang seminimal mungkin. Dalam penelitian ini optimasi ED akan diselesaikan dengan menggunakan metode *Quadratic Programming (QP)* yang diimplementasikan dengan memperhatikan kekangan daya minimal dan maksimal tiap unit. Dengan fungsi objektif berupa persamaan kuadrat dan kekangannya berupa batasan linier, QP dapat menyelesaikan permasalahan optimasi salah satunya dengan bantuan library CVXPY pada software Python dan akan diimplementasikan pada sistem IEEE 24 bus dengan 26 unit termal dengan penambahan solar energi. Hasil dari simulasi ED didapatkan biaya operasi total seluruh unit pembangkit termal dalam dalam 24 jam sebesar \$759705, sedangkan dengan memperhitungkan integrasi solar energi sebesar \$742483 dengan total energi yang dibangkitkan secara keseluruhan sebesar 54910 MWh.

**Kata kunci :** *Economic Dispatch, Quadratic Programming (QP)*

## I. PENDAHULUAN

Pada zaman teknologi saat ini, tenaga listrik merupakan kebutuhan pokok yang tidak dapat dihindarkan dalam setiap aktifitas manusia, baik itu siang hari maupun pada malam hari. Permintaan dan pemakaian daya listrik yang besar mengakibatkan daya yang harus disalurkan oleh pembangkit listrik juga menjadi besar pula. Saat kebutuhan energi listrik begitu besar dan terus meningkat maka harus diimbangi dengan ketersediaan energi yang memadai. Sumber energi yang dapat diperbaharui dan ekonomis merupakan

salah satu faktor yang dapat meningkatkan standar hidup masyarakat. Di zaman yang sekarang, energi yang digunakan berasal dari energi fosil seperti minyak dan batu bara, walaupun sebagian sudah menggunakan energi terbarukan.

Sejak perkembangan teknologi industri, kebutuhan energi listrik meningkat dengan sangat tajam. Pembangkitan energi listrik memerlukan biaya yang sangat besar dalam hal biaya yang dikeluarkan, setiap pembangkit energi listrik memiliki karakteristik biaya yang berbeda-beda. Agar didapatkan biaya operasi yang optimal dalam memenuhi kebutuhan energi listrik yang akan diberikan kepada konsumen, maka terkoordinasinya antar pembangkit sangat diperlukan untuk menghasilkan beban optimal yang mampu mendapatkan biaya operasi yang ekonomis dan optimal dari kapasitas unit pembangkit dengan memperhatikan batasan-batasan dari pembangkitan unit pembangkit tersebut.

Untuk mengatasi masalah tersebut berbagai teknik optimasi telah diterapkan, sejumlah upaya dan usaha telah dilakukan serta dikembangkan agar masalah ini terpecahkan dengan menggunakan pemrograman matematika yang mana salah satunya adalah *economic dispatch*. *Economic dispatch (ED)* adalah suatu hal yang penting dalam kaitannya dengan kontrol dan operasi pada sistem tenaga listrik [1]. Fungsi utama *economic dispatch* yaitu untuk merancang penjadwalan pembangkitan dari setiap pembangkit yang beroperasi agar mencukupi keperluan beban pada biaya pembangkitan yang paling minimal [2]. Metode yang digunakan pada *economic dispatch* dalam skripsi ini yaitu menggunakan metode *quadratic programming (QP)* melalui program perhitungan yang dijalankan dalam *software python*. Metode *quadratic programming* ini dipilih karena dirasa

efektif serta lebih mudah dimengerti, dan energi terbarukan yang digunakan ialah solar energi.

## II. DASAR TEORI

### A. Economic Dispatch

*Economic dispatch* (ED) yaitu merupakan skema pada sistem tenaga listrik yang mana dengan menganalisis aliran daya optimal yang dilakukan untuk meminimalisir biaya serta mendapatkan biaya yang ekonomis dari operasi pembangkitan. Pada ED, unit-unit pembangkit termal yang terdapat pada sistem dibagi secara optimal sehingga pada biaya operasi menjadi lebih minim, namun total beban yang diminta tetap dapat dipenuhi dan dengan memperhatikan hambatan-hambatan teknis serta operasional dari tiap unit pembangkit [3].

Dalam pengoperasiannya setiap dari unit pembangkit termal memiliki kriteria dan katakteristik yang berbeda-beda. Kriteria input dan output dari pembangkit memperlihatkan suatu hubungan antara input biaya bahan bakar (\$) dan output yang dihasilkan dari unit pembangkit (MW). Unit pembangkitan dapat dilakukan optimasi pengoperasian dengan memahami perbedaan karakteristik dari seluruh pembangkit. Secara umum, karakteristik input dan output unit pembangkitan diselesaikan dengan menggunakan fungsi polinomial orde dua [3] yaitu sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 1:

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (1)$$

$F_i$  : Biaya bahan bakar unit i.

$i$  : Masing-masing unit pembangkit.

$a_i, b_i, \text{ dan } c_i$  : Koefisien biaya bahan bakar dari unit i.

$P_i$  : Daya pada unit i.

Sehingga biaya total pembangkitan untuk seluruh unit pembangkit dapat direpresentasikan sebagai persamaan 2. Dan untuk meminimalisasi penggunaan biaya bahan bakar pada pembangkitan total diperlukan nilai daya yang optimal dan dapat diselesaikan dengan persamaan 3.

$$F_t = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (2)$$

$F_t$  : Total biaya bahan bakar.

$i$  : Masing-masing unit pembangkit.

$P_i$  : Pembangkitan dari unit i.

$n$  : Jumlah unit pembangkit.

$$\min F_t = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (3)$$

$\min F_t$  : Minimal total biaya bahan bakar.

$i$  : Masing-masing unit pembangkit.

$a_i, b_i, \text{ dan } c_i$  : Koefisien biaya bahan bakar dari unit i.

$P_i$  : Daya pada unit i.

### B. Sel Surya

Sel surya adalah energi terbarukan yang dihasilkan dari sinar matahari yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi. Dengan berbagai macam proses, sinar matahari dapat diubah menjadi energi listrik yang dapat menunjang aktifitas manusia khususnya dalam kebutuhan listrik. Pembangkit sel surya merupakan sistem yang mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik. Karakteristik dari sel surya saat beroperasi berbeda dengan kondisi standar (1000 W/m<sup>2</sup>, suhu sel 25°C) maka pengaruh radiasi dan suhu pada karakteristik sel surya dimodelkan. Pengaruh intensitas matahari dimodelkan dengan mempertimbangkan output daya dari modul sel surya yang akan sebanding dengan radiasinya. Modul sel surya diuji dalam *Standard Test Condition* (STC) [4]. Daya keluaran dari sel surya dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{pv} = M \left\{ P_{STC} \frac{G_{ING}}{G_{STC}} (1 + K(T_c - T_r)) \right\} \quad (4)$$

$P_{pv}$  : Daya keluaran dari modul saat radiasi  $G_{ING}$  (W).

$P_{STC}$  : Daya maksimum modul saat STC (W).

$G_{ING}$  : Radiasi aktual (W/m<sup>2</sup>).

$G_{STC}$  : Radiasi saat STC (1000 W/m<sup>2</sup>).

$M$  : Jumlah modul sel surya

$K$  : Koefisien suhu untuk daya modul(%/°C).

- $T_C$  : Suhu sel ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_r$  : Referensi suhu ( $25^{\circ}\text{C}$ )

### C. Batasan – batasan Dalam Pembangkitan

Pengoperasian pembangkit tenaga listrik yang ekonomis harus memenuhi batasan-batasan atau *constraints* yang ada. Dalam penelitian ini *constraints* yang digunakan adalah *equality constraints* dan *inequality constraints*. *Equality constraint* merupakan batasan dari kesetimbangan daya yang dihasilkan saat pengoperasian unit pembangkit, yang mengharuskan daya total yang dihasilkan oleh setiap unit pembangkit harus sesuai dengan jumlah kebutuhan beban konsumen dan rugi-rugi transmisi [3], yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_R \quad (5)$$

- $P_i$  : Daya output pembangkit (MW).  
 $P_R$  : Total beban pada sistem (MW).

*Inequality constraint* merupakan batasan yang mengharuskan daya output dari setiap unit pembangkit yang ada lebih besar atau sama dengan daya minimum yang diperbolehkan dan juga lebih kecil atau sama dengan daya maksimum yang diperbolehkan oleh batasan yang telah ditentukan pada tiap unit pembangkit [3]. Yang dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut:

$$P_{i\min} \leq P_i \leq P_{i\max} \quad (6)$$

- $P_{i\min}$  : Batas minimal daya pembangkitan unit  $i$ .  
 $P_{i\max}$  : Batas maksimal daya pembangkitan pada unit  $i$ .  
 $P_i$  : Daya pembangkitan unit  $i$ .

Kemudian batasan pembangkitan oleh sel surya dapat dilihat pada persamaan 7 berikut:

$$P_V(t) \leq P_{V\max}(t) \quad (7)$$

- $P_V(t)$  : Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (MW).  
 $P_{V\max}(t)$  : Daya pembangkitan maksimum dari sel surya (MW).

### D. Pemodelan Quadratic Programming (QP)

Pemodelan Quadratic programming (QP) merupakan salah satu metode dengan perhitungan optimasi. QP menyelesaikan permasalahan non linier dan memodelkannya ke dalam sebuah fungsi objektif. QP adalah salah satu metode optimisasi yang secara khusus digunakan untuk mengoptimalkan (meminimalkan atau memaksimalkan) masalah-masalah fungsi kuadrat dari beberapa variabel yang bergantung pada batasan linier pada variabel-variabel yang ditentukan. Permasalahan optimisasi linier yang dibatasi dengan fungsi tujuan kuadrat disebut QP. Dengan fungsi objektif yang berupa batasan linier dan persamaan kuadrat, QP dapat menyelesaikan permasalahan optimasi.

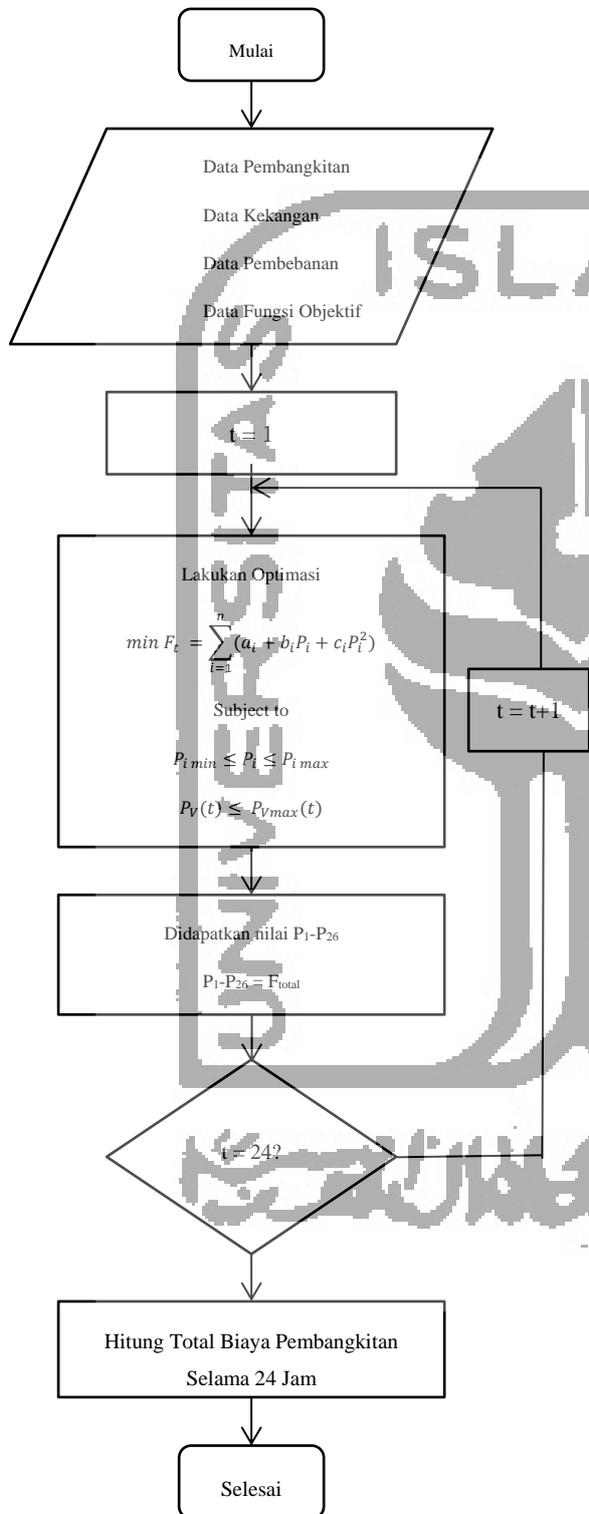
Simulasi dalam proses pemecahan masalah ED disini dengan menggunakan metode QP dan software *Python*. Untuk menginisiasikan permasalahan ED, metode QP akan memproses nilai fungsi objektif menjadi fungsi kuadratik yang sumbernya dari nilai koefisien biaya pada masing-masing pembangkit [5] sebagaimana dalam persamaan 3.

## III. METODE PENELITIAN

Simulasi pemecahan masalah ED ini menggunakan software *Python* akan diimplementasikan pada sistem IEEE 26 unit pembangkit termal. Dengan QP permasalahan pengoptimalan penggunaan bahan bakar pada tiap unit pembangkit termal dapat diselesaikan dengan cara mencari nilai minimum dari biaya yang digunakan dalam pengoperasian unit pembangkit termal. Sistem kerja penyelesaian ED dengan QP pertama, deklarasi data fungsi biaya, permintaan daya dan kekangan-kekangan yang ada pada pengoperasian unit pembangkit termal serta pada solar energi dan fungsi-fungsi objektif yang diperlukan guna keperluan perhitungan komputasi QP.

Selanjutnya untuk mengoptimalkan permasalahan yang akan diselesaikan, parameter-parameter pada kekangan, permintaan daya dan fungsi biaya akan dikomputasi sehingga mendapatkan nilai optimal dari daya tiap unit pembangkit, hasil perhitungan biaya tiap unit pembangkit yang paling ekonomis, serta biaya total unit pembangkit.

Berikut Gambar 2 merupakan *flow chart* dari sistem kerja dari simulasi *Python* yang akan dilakukan untuk memecahkan skema ED dengan metode QP.



Gambar 2. *Flow Chart* Penyelesaian ED Dengan QP

#### IV. HASIL DAN ANALISA

##### A. Hasil Simulasi ED dengan QP

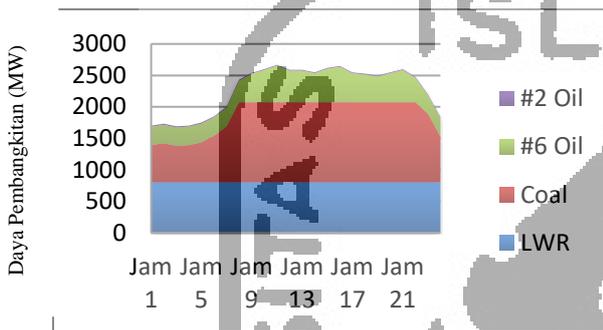
Dari hasil running simulasi QP dengan *Python* didapatkan hasil daya optimal dan biaya paling ekonomis dalam operasi pembangkitan setiap unit yang terlihat seperti pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat diamati beban permintaan oleh konsumen adalah sebesar 2670MW dan total pembangkitan oleh seluruh unit adalah 2669,99MW, berarti hasil dari total daya yang dibangkitkan sudah sesuai dan dapat memenuhi permintaan beban oleh konsumen. Kekangan pembangkitan daya minimum dan maksimal pada setiap unit juga telah terpenuhi dalam simulasi tersebut, setiap daya yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit tidak kurang dari nilai pembangkitan minimal dan tidak lebih dari nilai pembangkitan maksimal yang telah ditentukan dan total biaya yang dianggap ekonomis pada simulasi QP dalam pembangkitan 2670MW adalah \$38295,9762.

Tabel 1. Data Keluaran Daya dan Biaya Tiap Unit Pembangkit Pada Beban 2670MW

No.	Jenis Bahan bakar	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Pi (MW)	Biaya (\$)
1.	#6 Oil	2,4	12	2,40	85,8482
2.		2,4	12	2,40	86,1843
3.		2,4	12	2,40	86,7260
4.		2,4	12	2,40	87,1605
5.		2,4	12	2,40	87,5930
6.	#2 Oil	4	20	4,00	268,1509
7.		4	20	4,00	268,9648
8.		4	20	4,00	269,7550
9.		4	20	4,00	270,6082
10.	Coal	15,2	76	76,00	1144,6013
11.		15,2	76	76,00	1147,8820
12.		15,2	76	76,00	1150,9437
13.		15,2	76	76,00	1154,4130
14.	#6 Oil	25	100	100,00	1880,1951
15.		25	100	100,00	2089,5350
16.		25	100	100,00	2089,5752
17.	Coal	54,25	155	155,00	1911,5045
18.		54,25	155	155,00	1917,5540
19.		54,25	155	155,00	1923,0666
20.		54,25	155	155,00	1928,1354

No.	Jenis Bahan bakar	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Pi (MW)	Biaya (\$)
21.	#6 Oil	68,95	197	109,11	2799,5162
22.		68,95	197	89,46	2346,9943
23.		68,95	197	69,42	1883,5972
24.	Coal	140	350	350,00	4166,0425
25.	LWR	100	400	400,00	3617,2421
26.		100	400	400,00	3625,1502
TOTAL				2670,00	38295,9762

unit	Harga Bahan Bakar (\$)	unit	Harga Bahan Bakar (\$)
5	2,3	18	1,2
6	3	19	1,2
7	3	20	1,2
8	3	21	2,3
9	3	22	2,3
10	1,2	23	2,3
11	1,2	24	1,2
12	1,2	25	0,6
13	1,2	26	0,6



Gambar 3. Grafik Data Prioritas Penggunaan Bahan Bakar Pada Beban 24 Jam

Pada Gambar 3 menunjukkan susunan penggunaan bahan bakar agar mendapatkan biaya operasi yang ekonomis, dimana susunan tersebut dipilih dalam simulasi QP untuk penyelesaian ED berdasarkan dari biaya bahan bakar yang paling murah hingga yang paling mahal. Data harga biaya bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 3 sedangkan Tabel 2 menunjukkan persentase penggunaan tiap bahan bakar pada beban 2670MW.

Tabel 2. Persentase Total Penggunaan Tiap Bahan Bakar

Bahan Bakar	Pembangkitan Maksimal (MW)	Daya yang Dibangkitkan (MW)	Persentase Penggunaan Bahan Bakar (%)
LWR	800	800	100
Coal	1274	1274	100
#6 Oil	951	579,99	60,99
#2 Oil	80	16	20

Tabel 3. Data Biaya Bahan bakar

unit	Harga Bahan Bakar (\$)	unit	Harga Bahan Bakar (\$)
1	2,3	14	2,3
2	2,3	15	2,3
3	2,3	16	2,3
4	2,3	17	1,2

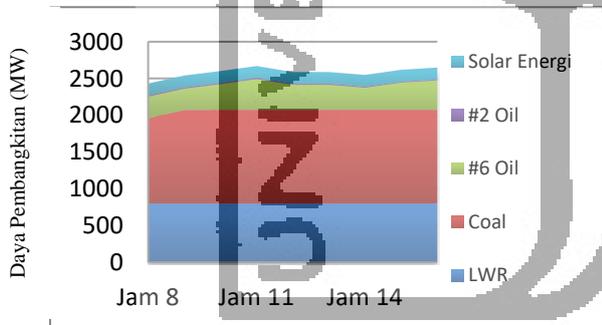
### B. Hasil Simulasi ED dengan Penambahan Solar Energi Menggunakan Metode QP

Dari hasil running simulasi QP dengan Python didapatkan hasil daya optimal dan biaya paling ekonomis dalam operasi pembangkitan setiap unit yang terlihat seperti Tabel 4. Dari Tabel 4 dapat diamati beban permintaan oleh konsumen adalah sebesar 2670MW dan total pembangkitan oleh seluruh unit adalah 2669,99MW, berarti hasil dari total daya yang dibangkitkan sudah sesuai dan dapat memenuhi permintaan beban oleh konsumen. Kekangan pembangkitan daya minimum dan maksimal pada setiap unit juga telah terpenuhi dalam simulasi tersebut, setiap daya yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit tidak kurang dari nilai pembangkitan minimal dan tidak lebih dari nilai pembangkitan maksimal yang telah ditentukan dan total biaya yang dianggap ekonomis pada simulasi QP dalam pembangkitan 2670MW adalah \$34969,5902.

Tabel 4. Data Keluaran Daya dan Biaya Tiap Unit Pembangkit Dengan Penambahan Solar Energi Pada Beban 2670MW

No.	Jenis Bahan bakar	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Pi (MW)	Biaya (\$)
1.	#6 Oil	2,4	12	2,40	85,8482
2.		2,4	12	2,40	86,1843
3.		2,4	12	2,40	86,7260
4.		2,4	12	2,40	87,1605
5.		2,4	12	2,40	87,5930
6.	#2 Oil	4	20	4,00	268,1509
7.		4	20	4,00	268,9648
8.		4	20	4,00	269,7550
9.		4	20	4,00	270,6082

No.	Jenis Bahan bakar	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Pi (MW)	Biaya (\$)
10.	Coal	15,2	76	76,00	1144,6013
11.		15,2	76	76,00	1147,8820
12.		15,2	76	76,00	1150,9437
13.		15,2	76	76,00	1154,4130
14.	#6 Oil	25	100	73,87	1381,6523
15.		25	100	67,03	1459,1368
16.		25	100	60,24	1336,8700
17.	Coal	54,25	155	155,00	1911,5045
18.		54,25	155	155,00	1917,5540
19.		54,25	155	155,00	1923,0666
20.		54,25	155	155,00	1928,1354
21.	#6 Oil	68,95	197	68,95	1857,2941
22.		68,95	197	68,95	1864,7546
23.		68,95	197	68,95	1872,3193
24.	Coal	140	350	350,00	4166,0425
25.	LWR	100	400	400,00	3617,2421
26.		100	400	400,00	3625,1502
27.	Solar Energi	154	160	160,00	0
TOTAL				2670,00	34969,5902



Gambar 4. Grafik Data Prioritas Penggunaan Bahan Bakar Pada Beban 24 Jam Dengan Penambahan Solar Energi

Pada Gambar 4 menunjukkan susunan penggunaan bahan bakar serta energi terbarukan agar mendapatkan biaya operasi yang ekonomis, dimana susunan tersebut dipilih dalam simulasi QP untuk penyelesaian ED berdasarkan dari biaya bahan bakar yang paling murah hingga yang paling mahal. Data harga biaya bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 3 sedangkan Tabel 5 menunjukkan persentasi penggunaan tiap bahan bakar dan energi terbarukan pada beban 2670MW.

Tabel 5. Persentasi Total Penggunaan Tiap Bahan Bakar

Bahan Bakar	Pembangkitan Maksimal (MW)	Daya yang Dibangkitkan (MW)	Persentasi Penggunaan Bahan Bakar (%)
LWR	800	800	100
Coal	1274	1274	100
#6 Oil	951	419,99	44,16
#2 Oil	80	16	20
Solar Energi	160	160	100

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi QP menggunakan library CVXPY pada software Python untuk penyelesaian permasalahan ED pada sistem IEEE 26 unit termal dengan penambahan solar energi. Dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi, penggunaan bahan bakar LWR selalu dimaksimalkan dalam setiap pengoperasian unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban karna bahan bakar LWR merupakan bahan bakar dengan biaya pengoperasian paling ekonomis dibandingkan dengan bahan bakar lain yang juga digunakan dalam proses pengoperasian unit pembangkit.
2. Dengan penambahan energi terbarukan, penggunaan solar energi mampu mengurangi biaya total keseluruhan.
3. Penggunaan bahan bakar #2 oil sangat diminimalisir penggunaannya, karna bahan bakar tersebut merupakan bahan bakar dengan biaya pengoperasian yang paling mahal.
4. Urutan prioritas penggunaan bahan bakar dalam simulasi ini yang bertujuan untuk menekan biaya pengoperasian unit pembangkit secara berurutan adalah: bahan bakar LWR (*nuclear*), coal (batu bara), #6 oil, #2 oil.
5. Untuk operasi tanpa penambahan solar energi, hasil minimum biaya operasi yang didapatkan selama 24 jam sebesar \$759705. Sedangkan untuk operasi dengan penambahan solar energi didapatkan biaya operasi sebesar \$742483, menghemat sekitar \$17222.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Yorino, H. M. Hafiz, Y. Zoka, Y. Sasaki, A. Sudo, and Y. Ohnishi, "Dynamic Economic Dispatch with Generator's Feasible Operation Region," *Power Energy Eng. Conf.*, 2010.
- [2] D. L. Akbar, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Dynamic Economic Dispatch dengan Mempertimbangkan Kerugian Transmisi Menggunakan Metode Sequential Quadratic Program," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2019.
- [3] S. Khamshawang and S. Jiriwibhakorn, "Solving the Economic Dispatch Problem Using Novel Particle Swarm Optimization," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 529–534, 2009.
- [4] F. A. Mohamed and H. N. Koivo, "System Modelling and Online Optimal Management of MicroGrid using Mesh Adaptive Direct Search," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 32, no. 5, pp. 398–407, 2010.
- [5] G. B. Virgiansyah, R. S. Wibowo, and C. Riawan, "Dynamic Economic Dispatch pada Sistem dengan Wind Turbine dan Media Penyimpanan Energi Mempertimbangkan Energy Cycle Limit," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 265–269, 2017.

