

# Komparasi Metode Iterasi Lamda Dengan Quadratic Programming Pada Sistem Pembangkit Termal

Rizki Faulianur<sup>1</sup>, Muhammad Agil Haikal<sup>2</sup>, M Nur Hasan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektronika Industri, Politeknik Aceh, Banda Aceh

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>3</sup>Teknik Elektronika Industri, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

E-mail : rizkifaulianur@gmail.com

*Abstract—Generating units are not in the same distance from the load center and generation units have variation generation costs. At normal operating conditions, generating capacity must be greater than the amount of load and power losses in the system. Consumers pay an amount of power that they use to power companies, power companies produce electricity effectively so that no power is wasted. One way to minimize the generation costs by using the economic dispatch. Economic dispatch is used to split the power that must be generated by each generation power plants to meet the needs of load and the purpose to get the minimum fuel costs so that power companies can reduce financial expenses. Two methods of economic dispatch will be compared in this research that are lambda iteration method and quadratic programming methods. This comparison aims to determine the amount of power and cost of the thermal generating system. Lambda iteration method has the disadvantage that can not consider the limits of a plant, while the quadratic Programming method can consider the limits of the power plant.*

**Keywords:** *Economic dispath, Iterasi lamda, Quadratic programming*

*Intisari—Unit-unit pembangkit tidak berada dalam jarak yang sama dari pusat beban dan unit-unit pembangkit tersebut mempunyai biaya pembangkitan yang berbeda-beda. Pada kondisi operasi normal, kapasitas pembangkit harus lebih besar dari jumlah beban dan rugi-rugi daya pada*

sistem. Konsumen membayar sejumlah daya yang mereka gunakan kepada perusahaan listrik, perusahaan listrik memproduksi listrik secara efektif supaya tidak ada daya yang terbuang. Salah satu cara memperkecil biaya pembangkitan yaitu menggunakan economic dispatch. Economic dispatch digunakan untuk membagi daya yang harus dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dari sejumlah pembangkit yang ada untuk memenuhi kebutuhan beban yang bertujuan untuk mendapatkan biaya bahan bakar yang minimum sehingga perusahaan listrik dapat meredam pengeluaran keuangan. Dua buah metode economic dispatch akan dibandingkan pada penelitian ini yaitu metode iterasi lamda dan metode quadratic programming. Perbandingan ini bertujuan untuk menentukan besarnya daya dan biaya pada sistem pembangkit termal. Metode iterasi lamda mempunyai kelemahan yaitu tidak mempertimbangkan batas kemampuan dari sebuah pembangkit, sedangkan metode quadratic programming mempertimbangkan batas kemampuan dari pembangkit. Hasil penelitian menunjukkan metode quadratic programming mempunyai hasil yang lebih baik. Pada perhitungan economic dispatch dengan jumlah pembangkit yang lebih banyak, metode quadratic programming lebih unggul jika dibandingkan dengan metode iterasi lamda.

**Kata kunci:** *Economic dispath, Iterasi lamda, Quadratic programming*

## I. PENDAHULUAN

Pengoperasian suatu pembangkit termal sangat tergantung pada bahan bakar, dengan demikian hal tersebut yang perlu mendapatkan perhatian khusus, karena sebagian besar biaya operasi yang dikeluarkan adalah untuk keperluan bahan bakar. Biaya bahan bakar sebuah unit pembangkit termal merupakan fungsi beban suatu pembangkit. Kemampuan memikul beban menentukan keandalan sistem energi listrik, sehingga selalu diupayakan besar daya yang dibangkitkan harus sama dengan besar kebutuhan di sisi beban setiap saat. Pada unit pembangkit termal yang berbahan bakar fosil, penambahan beban akan mendorong pertambahan kuantitas (jumlah) bahan bakar per satuan waktu yang akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu. Fluktuasi kebutuhan energi listrik di sisi beban akan menimbulkan fluktuasi biaya bahan bakar, berkaitan dengan hal tersebut perlu ditentukan pola korelasi keduanya, yang biasa disebut input output suatu pembangkit tenaga listrik.

Dalam suatu sistem tenaga listrik, unit-unit pembangkit tidak berada dalam jarak yang sama dari pusat beban dan biaya pembangkitan tiap-tiap pembangkit pun berbeda. Pada kondisi operasi normal sekalipun, kapasitas pembangkitan harus lebih besar dari jumlah beban dan rugi-rugi daya pada sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu pengaturan terhadap pembangkitan. Analisis aliran daya optimal adalah suatu perhitungan untuk meminimalkan suatu fungsi tujuan yaitu biaya pembangkitan atau rugi-rugi transmisi dengan mengatur daya aktif dan daya reaktif pembangkitan tiap pembangkit sistem tenaga yang terinterkoneksi dengan memperhatikan batas-batas tertentu.

Analisis aliran daya optimal untuk meminimalkan biaya pembangkitan biasa dikenal dengan istilah *Economic Dispatch*. *Economic dispatch* adalah pembagian pembebanan pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomi, pada harga beban sistem

tertentu. Dengan penerapan *economic dispatch*, maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap 2 produksi daya listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan.

Kebutuhan tenaga listrik disuatu daerah secara terus menerus akan mengalami peningkatan sejalan dengan pembangunan dan kemajuan daerah tersebut. Kemajuan dan perkembangan teknologi dewasa ini mengakibatkan kebutuhan tenaga listrik akan semakin meningkat, baik yang berhubungan dengan listrik rumah tangga, komersil maupun industri. Sehingga dibutuhkan pasokan energi listrik yang akan terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan energy listrik, perusahaan listrik harus menyediakan energi secara berkesinambungan.

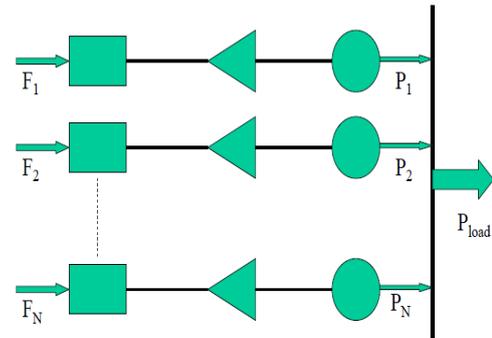
Sistem tenaga listrik yang besar yang memiliki pembangkit-pembangkit termal seperti PLTU, PLTD dan PLTG akan menghadapi permasalahan dalam hal biaya bahan bakar untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu upaya untuk mengurangi biaya operasi melalui pengurangan biaya bahan bakar sampai pada tingkat minimum [1]. Metode untuk memproduksi dan mendistribusikan tenaga listrik secara ekonomis sedang dipelajari secara intensif oleh peneliti-peneliti yang berkecimpung dalam persoalan ini. Permasalahannya kemudian bagaimana mengatur pembebanan pembangkit listrik tersebut, sehingga jumlah energi listrik yang dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan dan biaya produksi menjadi seminimal mungkin serta tetap memperhatikan tuntutan pelayanan. Cara yang dapat ditempuh adalah dengan melakukan koordinasi pembangkitpembangkit termal dengan pembangkit hidro seperti PLTA, karena PLTA tidak membutuhkan biaya bahan bakar. PLTA dan pembangkit-pembangkit termal diinterkoneksi untuk melayani beban sistem. Dalam hal ini PLTA akan dioperasikan secara maksimum dan unit-unit pembangkit termal dioperasikan setelah mencukupi kebutuhan tenaga listrik yang ada.

*Economic dispatch* digunakan untuk membagi daya yang harus dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dari sejumlah pembangkit yang ada untuk memenuhi kebutuhan beban sistem yang bertujuan untuk mendapatkan biaya bahan bakar yang minimum [2]. Oleh karena itu untuk memperoleh total biaya bahan bakar yang minimum, maka pada penelitian ini digunakan metode klasik yaitu melalui perhitungan matematika sederhana dan metode quadratic programming. Batasan *equality* mencerminkan suatu keseimbangan daya nyata dan batasan *inequality* mencerminkan batas minimum dan maksimum pembangkitan yang harus dipenuhi sehingga diperoleh total biaya bahan bakar yang minimum. Pembangkit-pembangkit yang dioptimasi dalam penelitian ini dibatasi pada pembangkit termal [3].

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda$$

$$P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{load}$$



Gambar 1 Fungsi biaya pada pembangkit termal

II. METODE PENELITIAN

A. *Economic Dispatch Unit Pembangkit Termal*

*Input unit*  $F_i$  yang mempresentasikan fungsi biaya sebuah unit pembangkit termal. *Output unit*  $P_i$  adalah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit termal. Total biaya dari semua unit adalah jumlah dari biaya masing-masing pembangkit. Sebuah *constraint* (batasan) daya *output* pada saat sistem pembangkit beroperasi harus sama dengan permintaan beban. Dengan mengabaikan rugi-rugi, maka persamaan fungsi biaya dan daya *output unit* pembangkit termal adalah sebagai berikut [2].

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_N = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (1)$$

$$\phi = 0 = P_{load} - \sum_{i=1}^N P_i \quad (2)$$

Fungsi lagrange adalah :

$$L = F_T + \lambda \phi \quad (3)$$

Saat kondisi operasi minimum :

Sebuah kasus pembangkit termal yang telah dijabarkan oleh Allan J. Wood yaitu sebagai berikut : terdapat tiga pembangkit yang mempunyai fungsi sebagai berikut

Tabel 1. Fungsi ke tiga pembangkit

No	Kurva	Output Max (MW)	Input Max (MW)	Fuel Cost (R/Mbtu)
UNIT 1	$H_1\left(\frac{MBtu}{h}\right) = 510 + 7,2P_1 + 0,00142P_1^2$	600	150	1,1
UNIT 1	$H_2\left(\frac{MBtu}{h}\right) = 310 + 7,85P_2 + 0,00194P_2^2$	400	100	1,0
UNIT 1	$H_3\left(\frac{MBtu}{h}\right) = 78 + 7,97P_3 + 0,00482P_3^2$	200	50	1,0

Sehingga persamaan karakteristik input output dalam R/h :

$$F_1(P_1) = H_1(P_1) \times 1,1 = 561 + 7,92P_1 + 0,00156P_1^2 \quad (5)$$

$$F_2(P_2) = H_2(P_2) \times 1,0 = 310 + 7,85P_2 + 0,00194P_2^2 \quad (6)$$

$$F_3(P_3) = H_3(P_3) \times 1,0 = 78 + 7,97P_3 + 0,00482P_3^2 \quad (7)$$

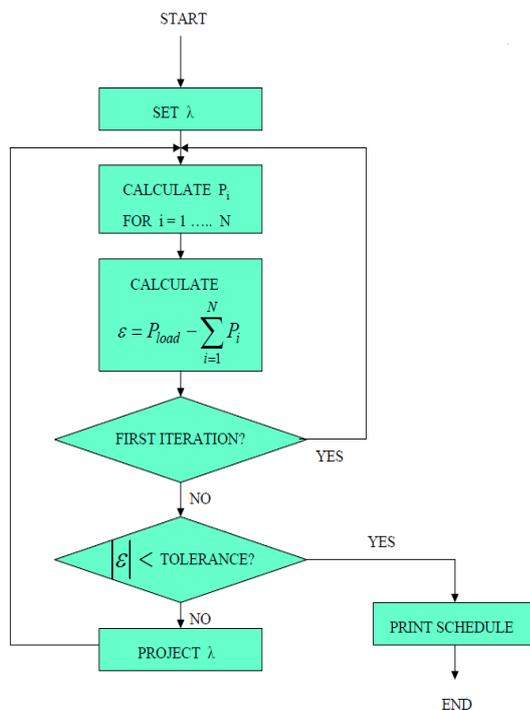
Persamaan tersebut bisa dikatakan sebagai fungsi biaya.

Hasil dari turunan fungsi biaya terhadap daya

$$\frac{dF_1}{dP_1} = 7,92 + 0,00312P_1 = \lambda$$

$$\frac{dF_2}{dP_2} = 7,85 + 0,00388P_2 = \lambda$$

$$\frac{dF_3}{dP_3} = 7,97 + 0,00964P_3 = \lambda$$



Gambar 5 Economic Dispatch dengan iterasi lamda

Jumlah daya yang diminta oleh beban adalah sebagai berikut :

Kasus 1.

$$P_1 + P_2 + P_3 = 850MW$$

Kasus 2.

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1100MW$$

**B. Quadratic Programming**

Ada banyak aplikasi yang berhubungan dengan metode linear dan quadratic yang mempunyai batas (constraint) atas dan bawah. batas atas dan batas bawa diperlakukan sebagai kendala yang berbeda pada metode algoritma quadratic programming yang bertujuan untuk mencapai optimasi pada suatu kasus. Pada penelitian ini metode quadratic programming digunakan untuk menghitung economic dispatch tiga pembangkit [4].

$$F_1(P_1) = H_1(P_1) \times 1,1 = 561 + 7,92P_1 + 0,001562P_1^2$$

a1    b1    c1

$$F_2(P_2) = H_2(P_2) \times 1,0 = 310 + 7,85P_2 + 0,00194P_2^2$$

a2    b2    c2

$$F_3(P_3) = H_3(P_3) \times 1,0 = 78 + 7,87P_3 + 0,00482P_3^2$$

a3    b3    c3

Pload = 850 MW

Ploss = 0 MW

Pin = Pload + Ploss = 850 + 0 = 850 MW

Rumus umum Quadratic Programming pada persamaan di bawah [5]

$$\min_x \frac{1}{2} x^T Hx + f^T x \quad (8)$$

Jika dikaitkan dengan persoalan di atas maka

$$F \text{ cost} = \frac{1}{2} P^T H P + B1^T x + \text{sum}(C) \quad (9)$$

Keterangan:    **a**    **b**    **c**

B : persamaan daya loss

H : Symmetric matrix

B1 : Vector bagian b

Aeq : Matrix for linear equality constraints (banyaknya data persamaan)

beq : Vector for linear equality constraints (jumlah beban daya)  
 l : Vector of lower bounds (batas max daya)  
 u : Vector of upper bounds (batas min daya)

$$A1 = 0,001562P1^2$$

$$A2 = 0,00194P2^2$$

$$A3 = 0,00482P3^2$$

Mencari nilai H dengan cara menurunkan persamaan diatas

jika nilai H sama dengan nol (0) maka akan menjadi persamaan linier

$$H1 = \frac{dA1}{dP1} = 0,0031P1$$

$$H2 = \frac{dA2}{dP2} = 0,0039P2$$

$$H3 = \frac{dA3}{dP3} = 0,0096P3$$

$$P_{loss} = l^T \times B \times l$$

$$= [150 \ 100 \ 50] \times 0 \times \begin{bmatrix} 150 \\ 100 \\ 50 \end{bmatrix} = 0$$

Kasus 1.

$$P_{in} = P_{load} + P_{loss} = 850 + 0 = 850 \text{ MW}$$

Kasus 2.

$$P_{in} = P_{load} + P_{loss} = 850 + 0 = 1100 \text{ MW}$$

Menghitung batas min dari pengaruh daya loss

$$A_{eq} \cdot P = Pd1, \quad l \leq P \leq u$$

$$A^T P \leq B \quad A = [] \text{ dan } B = []$$

$$llp1 = 1 - 2 \cdot B \cdot l1 = 1 - 2 \cdot 0 \cdot 150 = 1$$

$$llp2 = 1 - 2 \cdot B \cdot l2 = 1 - 2 \cdot 0 \cdot 100 = 1$$

$$llp3 = 1 - 2 \cdot B \cdot l3 = 1 - 2 \cdot 0 \cdot 50 = 1$$

Mengolah bagian a

$$\begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} llp1 & 0 & 0 \\ 0 & llp2 & 0 \\ 0 & 0 & llp3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} llp1 & 0 & 0 \\ 0 & llp2 & 0 \\ 0 & 0 & llp3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,001562 \\ 0,00194 \\ 0,00482 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,001562 \\ 0,00194 \\ 0,00482 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,001562 \\ 0,00194 \\ 0,00482 \end{bmatrix}$$

Maka persamaan baru dari bagian a

**P**

Jika H ditulis dalam bentuk matrik

$$H = \begin{bmatrix} H1 \\ H2 \\ H3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0031 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0039 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0096 \end{bmatrix}$$

Mengolah bagian b

$$\begin{bmatrix} b1 \\ b2 \\ b3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} llp1 & 0 & 0 \\ 0 & llp2 & 0 \\ 0 & 0 & llp3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} llp1 & 0 & 0 \\ 0 & llp2 & 0 \\ 0 & 0 & llp3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} b1 \\ b2 \\ b3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,001562 \\ 0,00194 \\ 0,00482 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7,92 \\ 7,85 \\ 7,97 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,92 \\ 7,85 \\ 7,97 \end{bmatrix}$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan untuk menganalisis kinerja *quadratic programming* dalam mencari *economic dispatch*. Hasil dari simulasi akan dibandingkan dengan hasil dari metode lagrange. Hasil dari metode iterasi lamda dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil dengan metode iterasi lamda

Total Daya (MW)	No	Daya yang dibangkitkan (MW)	Lamda $\lambda$ (R/MWh)
850	Unit 1	393,2	9,148
	Unit 2	334,6	
	Unit 3	122,2	
1100	Unit 1	510,3	9,514
	Unit 2	428,9	
	Unit 3	160,8	

Pada tabel 2 terlihat bahwa saat total kebutuhan beban sebesar 1100MW, maka pembangkit unit dua membangkitkan daya yang lebih besar dari maksimum daya yang diijinkan.

Sedangkan dengan metode quadratic programming dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3. Hasil dengan metode quadratic programming

Total Daya (MW)	No	Daya yang dibangkitkan (MW)
850	Unit 1	393,1698
	Unit 2	334,6038
	Unit 3	122,2264
1100	Unit 1	534,5917
	Unit 2	400
	Unit 3	167,4083

Dari tabel 2 dan 3, baik metode iterasi lamda dan metode quadratic programming mempunyai hasil yang sama saat menghitung *economic dispatch* tiga pembangkit saat total daya pembangkitan 850MW. Pada total daya pembangkitan 1100MW, *metode quadratic programming* terlihat mampu membangkitkan tanpa keluar dari batas yang diijinkan dari masing-masing pembangkit. Sedangkan pada

metode iterasi lamda terdapat unit pembangkit yang keluar dari batas pembangkitan.

Metode quadratic programming batas pembangkit dari masing-masing unit dipertimbangkan, sehingga tidak ada pembangkit yang kurang atau lebih dari batas yang diijinkan. Hal ini berbeda dengan metode iterasi lamda yang bisa lebih besar dari batas yang diijinkan dari unit pembangkit. Unit 2 Pada pembangkitan 1100MW batas yang diijinkan sebesar 400MW dengan iterasi lamda menghasilkan 428,9MW (melebihi), dengan Metode quadratic programming membangkitkan 400MW.

Dari sisi bisnis, tujuan economic dispatch adalah dengan menggunakan karakteristik input-output masing-masing pembangkit, ditentukan pengoperasian optimum (ekonomis) sejumlah unit pembangkit dimana akan dicari total biaya operasi minimal, sehingga dapat meredam biaya operasional dan biaya pemeliharaan sebuah unit pembangkit.

F(P) adalah fungsi biaya yang didapatkan dari persamaan karakteristik pembangkit termal yang telah dijelaskan sebelumnya. Perhitungan biaya dengan metode quadratic programming untuk pembangkitan 850MW dijelaskan pada tabel 4 dan pembangkitan 1100MW pada table 5.

Tabel 4. Quadratic Programming pada pembangkitan 850MW

Fungsi Biaya	P	Biaya
$F_1(P_1) = H_1(P_1) \times 1,1 = 561 + 7,92P_1 + 0,00156P_1^2$	393,1698	3922,2
$F_2(P_2) = H_2(P_2) \times 1,0 = 310 + 7,85P_2 + 0,00194P_2^2$	334,6038	3149,4
$F_3(P_3) = H_3(P_3) \times 1,0 = 78 + 7,97P_3 + 0,00482P_3^2$	122,2264	1123,9
Total Biaya Minimal (R/h)		81944

Tabel 5. Quadratic Programming pada pembangkitan 1100MW

Fungsi Biaya	P	Biaya
$F_1(P_1) = H_1(P_1) \times 1,1 = 561 + 7,92P_1 + 0,00156P_1^2$	534,1698	5236,8
$F_2(P_2) = H_2(P_2) \times 1,0 = 310 + 7,85P_2 + 0,00194P_2^2$	400	3760,4
$F_3(P_3) = H_3(P_3) \times 1,0 = 78 + 7,97P_3 + 0,00482P_3^2$	167,4083	1547,5
Total Biaya Minimal (R/h)		<b>10544,5</b>

Daya yang dibangkitkan tidak kurang dan tidak lebih dari batas (*constraint*) yang diijinkan. Biaya minimal yang dikeluarkan oleh perusahaan listrik saat pembangkitan 850MW sebesar 81944 R/h dan saat pembangkitan 1100MW sebesar 10544,5 R/h

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibandingkan dua metode yaitu metode iterasi lamda dan metode quadratic programming untuk economic dispatch. Hasil yang diperoleh bahwa kedua metode mempunyai hasil yang hampir sama untuk menyelesaikan economic dispatch tiga pembangkit termal saat pembangkitan 850MW. Pada saat pembangkitan 1100MW, metode quadratic programming mempunyai hasil yang lebih baik, dikarenakan metode ini mampu mempertimbangkan batas pembangkitan yang diijinkan.

Pada perhitungan economic dispatch dengan jumlah pembangkit yang lebih banyak, maka metode quadratic programming akan lebih unggul jika dibandingkan dengan metode iterasi lamda.

Economic dispatch bertujuan untuk memperoleh biaya pembangkitan yang minimal, sehingga perusahaan listrik akan membayar produksi listrik yang murah.

Penelitian *economic dispatch* sudah mengarah ke dalam ranah metode metaheuristik seperti *artificial intelligence*. Sehingga penelitian selanjutnya diharapkan ada perbandingan metode konvensional dan metode *artificial*

*intelligence* dimana tujuannya adalah memperoleh biaya pembangkit yang termurah

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Q. Wang, H. B. Gooi: "A Mixed Integer Quadratic Programming for Dynamic Economic Dispatch With Valve point Effect", IEEE Transaction on Power and Energy Society, 2014.
- [2] Allan J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation Operation and Control Second Edition", Wiley-Interscience Publication, 1996.
- [3] Wael T. Elsayed: "A Fully Decentralized Approach for Solving the Economic Dispatch Problem", IEEE Transaction on Power System, 2014.
- [4] Yanwu Liu, Zhongzhen Zhang: "A Fast Algorithm for Linearly Constrained Quadratic Programming Problem with Lower and Upper Bound", MultiMedia and Information Technology Conference, 2008.
- [5] M. Q. Wang, H. B. Gooi: "A Mixed Integer Quadratic Programming for Dynamic Economic Dispatch With Valve point Effect", IEEE Transaction on Power and Energy Society, 2014.
- [6] R. Firmansyah, B. Budiman, D. Ajiatmo, A. Raikhani, and M. Ali, "Optimasi AVR Pada Pembangkit Listrik Mikro-hidro Menggunakan Metode Differential Evolution (DE)," Sinarfe7-2, vol. 2, no. 1, pp. 365-369, 2019.
- [7] M. Ali, D. Ajiatmo, and A. H. Zulkarnain, "Perbaikan Saidi Dan Saifi Dengan Optimisasi Radio Gateway Over Internet Protocol Di Area Banyuwangi," J. Intake

- J. Penelit. Ilmu Tek. dan Terap., vol. 10, no. 1, pp. 17–25, 2019.
- [8] M. Ali, M. R. Djalal, M. Fakhrurozi, Kadaryono, Budiman, and D. Ajiatmo, “Optimal Design Capacitive Energy Storage (CES) for Load Frequency Control in Micro Hydro Power Plant Using Flower Pollination Algorithm,” in 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar, EECCIS 2018, 2018, pp. 21–26.
- [9] B. Kadaryono, Kadaryono; Rukslin, Rukslin; Ali, Machrus; Budiman, “Optimasi PID dan SMES pada Mikrohidro Berbasis Firefly Algorithm,” J. Tecnoscienza, vol. 3, no. 1, pp. 65–80, 2018.
- [10] M. Choiruddin, Choiruddin; Ridhwan, Fauzi, Ahmad; Muhlasin, Muhlasin; Nurohmah, Hidayatul; Ali, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Penyulang Benteng Berbasis MICA,” SinarFe7, vol. 1, no. 1, pp. 112–116, 2018.