

Optimalisasi Operasi Ekonomis PLTMG Pada Kawasan Industri Dengan Metode Monte Carlo

Kristianto Adi Widiatmoko

Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Disain – BPPT Indonesia

kristianto.adi@bppt.go.id

ABSTRACT

Efforts to reduce greenhouse gas emissions in thermal power generation are needed today. This is because greenhouse gases are harmful to the environment. Indonesia's efforts to reduce greenhouse gas emissions from thermal generators continue to be encouraged, especially since most of Indonesia's power plants have fossil fuels. One of the efforts is to carry out economic dispatch to reduce fuel consumption which leads in reducing greenhouse gas emissions. This study uses the Monte Carlo method to solve the problem of optimizing the economic dispatch in a gas engine based power plant. The Monte Carlo method is a statistical technique for estimating integral and optimization calculations using a random sample pool. A total of 35,000 random data samples were generated to solve this economic dispatch optimization problem. In this study, the capacity of the generator is limited from 50% - 100% with a minimum spinning reserve of the capacity of one generator engine. This research does not consider transmission losses in the analysis. Three loading scenarios which represent real condition were used in this study.

Keywords: *Power Plant, Economic Dispatch, Monte Carlo*

ABSTRAK

Usaha untuk menurunkan emisi gas rumah kaca pada pembangkit listrik termal diperlukan dewasa ini. Hal ini disebabkan karenad gas rumah kaca berbahaya bagi lingkungan. Usaha Indonesia dalam menurunkan emisi gas rumah kaca pada pembangkit termal terus didorong terlebih lagi sebagian besar pembangkit di Indonesia menggunakan bahan bakar fosil. Salah satu upaya adalah dengan melakukan operasi ekonomis sehingga menurunkan konsumsi bahan bakar yang secara langsung mengurangi emisi gas rumah kaca. Penelitian ini menggunakan metode Monte Carlo untuk menyelesaikan permasalahan optimalisasi operasi ekonomis di dalam pembangkit berbasis pada mesin gas. Metode Monte Carlo adalah teknik statistik untuk perkiraan perhitungan integral dan optimisasi yang menggunakan kumpulan sampel acak. Sebanyak 35.000 sampel data acak dibangkitkan untuk menyelesaikan permasalahan optimalisasi operasi ekonomis ini. Pada penelitian ini kapasitas dari pembangkit dibatasai dari 50% - 100% dengan cadangan berputar minimal sebesar kapasitas satu mesin pembangkit. Penelitian ini tidak memperhitungkan rugi-rugi transmisi di dalam analisis. Tiga skenario pembebanan yang merepresentasikan kondisi nyata dipakai pada penelitian ini.

Kata kunci: *Pembangkit, Operasi Ekonomis, Monte Carlo*

1. PENDAHULUAN

Setiap usaha pembangkitan energi listrik pasti berupaya untuk mengoperasikan pembangkitnya seekonomis mungkin. Terlebih lagi dengan adanya dorongan untuk menurunkan tingkat emisi gas rumah kaca dari pembangkit termal mengakibatkan para produsen listrik lebih berhati-hati dalam mengoperasikan pembangkitnya. Tuntutan penurunan emisi gas rumah kaca ini timbul karena efek buruk gas rumah kaca bagi lingkungan terlebih lagi lingkungan di sekitar pembangkit [1].

Sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Berdasarkan pada data statistik mengenai ketenagalistrikan di Indonesia pada tahun 2019 prosentase pembangkit dengan bahan bakar fosil mencapai 89,83% dari total keseluruhan pembangkit yang ada di Indonesia [2]. Mengacu pada data tersebut maka perlu usaha yang keras untuk mengurangi tingkat emisi gas rumah kaca. Salah satu cara dalam mengurangi tingkat emisi gas rumah kaca dari pembangkit termal adalah dengan melakukan operasi ekonomis.

Operasi ekonomis pembangkit sering kali disebut dengan istilah *economic dispatch*. Operasi ekonomis pembangkit adalah operasi pembagian beban pada pembangkit-pembangkit dengan memperhatikan nilai keekonomian dari operasional pembangkit tersebut pada harga beban sistem tertentu [3]. Secara langsung pelaksanaan operasi ekonomis dari pembangkit akan menghemat pemakaian bahan bakar yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik.

Penelitian mengenai cara-cara di dalam menghitung operasi ekonomis dari pembangkit telah banyak dilakukan sebelumnya. Salah satu metode yang telah diteliti adalah metode pemrograman kuadratis berurutan. Metode ini adalah pengembangan dari metode pemrograman kuadratis [4]. Penyelesaian operasi ekonomis dengan menggunakan pendekatan *lagrange multiplier* juga telah dilakukan sebelumnya. Metode *lagrange multiplier* ini termasuk ke dalam metode penyelesaian secara analitis [5]. Peneliti lain menggunakan metode iterasi lamda dalam memperoleh nilai operasi ekonomis [6]. Penggabungan metode iterasi lamda dengan komputasi paralel juga telah diteliti. Gabungan dua metode ini akan mempercepat perhitungan dalam memperoleh nilai operasi ekonomis dari pembangkit [7]. Penelitian dengan menggunakan pendekatan *metaheuristik* juga telah dilakukan. Salah satu metode metaheuristik yang dipergunakan dalam menghitung operasi ekonomis adalah *Artificial Bee Colony* (ABC) [8].

Dalam penelitian ini, metode Monte Carlo dipergunakan untuk memperoleh nilai operasi ekonomis dari pembangkit listrik tenaga mesin gas. Rugi-rugi transmisi tidak dimasukkan ke dalam parameter perhitungan. Sebanyak 35.000 data parameter yang dibangkitkan secara acak dipergunakan untuk dapat mencapai perhitungan yang akurat.

2. DISKUSI TEORITIS

2.1. Operasi Ekonomi Pembangkit

Secara matematis, operasi ekonomi pembangkit dapat dirumuskan sesuai dengan persamaan 1 berikut ini.

$$\min_p F_T = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (1)$$

Dimana F_T adalah total biaya pembangkitan, $F_i(P_i)$ adalah fungsi biaya bahan bakar pembangkit ke- i . Fungsi biaya pembangkitan dapat dinyatakan dalam biaya setiap energi listrik atau dapat dinyatakan dalam konsumsi bahan bakar terhadap setiap energi listrik yang dibangkitkan.

Dalam perhitungan operasi ekonomis pembangkit, perlu diperhatikan adanya keseimbangan antara pembangkitan, beban, dan rugi-rugi sistem tenaga listrik. Keseimbangan ini dapat dinyatakan dalam persamaan matematika seperti berikut ini

$$\sum_{i=1}^l P_i = \sum_{i=1}^m B_i + \sum_{i=1}^n R_i, \quad P_i, B_i, R_i \in R. \tag{2}$$

Dimana $\sum_{i=1}^l P_i$ adalah jumlah daya yang dibangkitkan, $\sum_{i=1}^m B_i$ adalah jumlah beban yang terdapat didalam sistem kelistrikan, dan $\sum_{i=1}^n R_i$ adalah total rugi-rugi pada sistem.

Faktor lain yang harus dipertimbangkan pada analisis operasi ekonomis pembangkit adalah kemampuan dari pembangkit tersebut dalam membangkitkan energi listrik. Persamaan matematis yang dapat mewakili adalah sebagai berikut

$$P_{min} \leq P \leq P_{maks}, \quad P \in R. \tag{3}$$

P_{min} adalah batas terendah daya yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit dan P_{maks} adalah batas tertinggi daya yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit.

2.2. Karakteristik Konsumsi Bahan Bakar

Dalam penelitian ini, konsumsi bahan bakar untuk daya selain dari data konsumsi mesin juga di peroleh melalui pendekatan regresi. Regresi adalah suatu analisis statistika yang bertujuan untuk menunjukkan hubungan matematis antara variabel terikat dengan variabel bebas. Regresi polinomial adalah salah satu model regresi yang menjumlahkan pengaruh masing-masing variabel bebas yang dipangkatkan sampai dengan orde ke- n . Bentuk umum dari persamaan regresi adalah seperti berikut ini $y(x) = a_0x^0 + a_1x^1 + a_2x^2 + \dots + a_nx^n + \varepsilon$. Dimana $y(x)$ adalah variabel respon, a_0 adalah intersep, a_1, a_2, \dots, a_n adalah koefisien regresi, x adalah variabel predictor, dan ε adalah galat. Nilai koefisien $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 4 [9].

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^n \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{n+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^n & \sum_{i=1}^n x_i^{n+1} & \sum_{i=1}^n x_i^{n+2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{n+m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x^0 y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^1 y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^n y_i \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.3 Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo adalah teknik statistik untuk perkiraan perhitungan integral dan optimisasi yang menggunakan kumpulan sampel acak. Dalam beberapa dekade terakhir, teknik ini telah digunakan secara luas dalam statistik dan secara khusus pada statistik Bayesian, karena memungkinkan menggunakan model realistik yang sering kali sulit dilakukan secara analitis [10].

Ciri khas dari metode Monte Carlo adalah pembangkitan nilai paramerter secara acak sesuai dengan kaidah distribusi Gaussian. Parameter tersebut di pergunakan untuk menyelesaikan

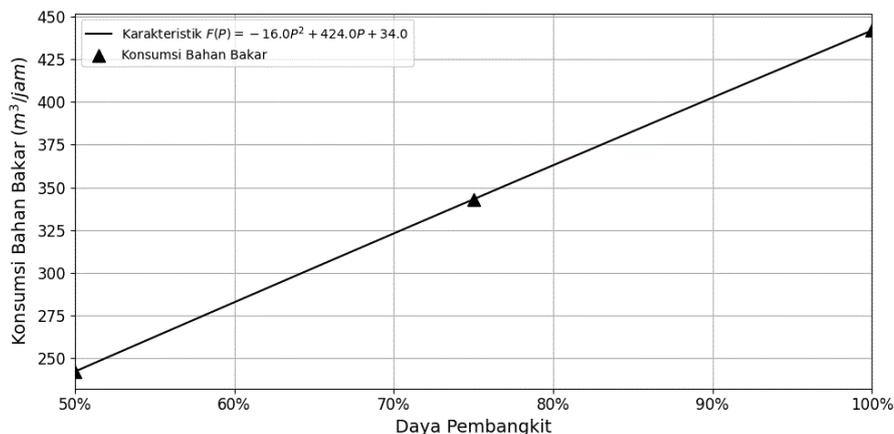
permasalahan seperti perhitungan integral maupun optimisasi. Akurasi dari hasil perhitungan dengan metode ini ditentukan oleh jumlah iterasi yang dilakukan, semakin banyak iterasi maka hasil perhitungan akan menjadi semakin akurat. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh William Oberle, jumlah minimal iterasi untuk mendapatkan hasil perhitungan yang akurat dengan menggunakan metode Monte Carlo adalah sesuai dengan persamaan 5.

$$n = \left[z_{\alpha/2} \frac{100s}{\varepsilon \cdot Y_{rata-rata}} \right]^2 \quad (5)$$

Dimana n adalah jumlah iterasi, $z_{\alpha/2}$ adalah nilai probabilitas dari tabel distribusi Z (nilai $z_{\alpha/2}$ bernilai 1,96 untuk tingkat kepercayaan sebesar 95%), s adalah standar deviasi, ε adalah galat maksimal, dan $Y_{rata-rata}$ adalah nilai rata-rata sampel [11].

3. FORMULASI PERMASALAHAN

Penelitian ini menggunakan data konsumsi bahan bakar dari mesin Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) yang telah beroperasi di salah satu pembangkit listrik milik swasta. Pembangkit ini dipergunakan untuk melayani kebutuhan listrik pada suatu kawasan industri sehingga profil beban relatif datar. Mesin-mesin tersebut identik satu dengan lainnya. Nilai konsumsi bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan oleh mesin gas tersebut adalah sebesar 242 m³/jam untuk daya 50%, 343 m³/jam saat menghasilkan daya mencapai 75%, dan 442 m³/jam saat bekerja 100%.



Gambar 1. Langgam fungsi biaya

Dengan menggunakan metode regresi polinomial sesuai dengan persamaan 4, dapat diketahui grafik konsumsi bahan bakar dari mesin gas ini. Langgam konsumsi bahan bakar terhadap daya yang mampu dihasilkan oleh mesin ini dapat dilihat pada Gambar 1. Persamaan fungsi biaya untuk mesin ini adalah

$$F(P) = -16 \cdot P^2 + 424 \cdot P + 34 \text{ m}^3 / \text{jam}. \quad (6)$$

Nilai P adalah besar daya listrik yang dihasilkan oleh mesin. Persamaan fungsi biaya diperoleh dengan menggunakan regresi polynomial orde dua karena metode ini menghasilkan nilai galat yang paling kecil. Dengan demikian fungsi objektif dari optimalisasi operasi ekonomis pembangkit dapat diturunkan dari persamaan 1 dan persamaan 6 menjadi:

$$\min_P F_T = \sum_{i=1}^n (-16 \cdot P_i^2 + 424 \cdot P_i + 34) \text{ m}^3 / \text{jam} \quad (7)$$

Mesin pembangkit ini mampu untuk membangkitkan daya listrik secara efisien pada kapasitas 50% - 100%. Kapasitas maksimum dari mesin ini adalah sebesar 1.8 MW. Batasan kemampuan ini dapat ditulis secara matematis sesuai dengan persamaan 8 menjadi sebagai berikut

$$0.9 \text{ MW} \leq P \leq 1.8 \text{ MW}. \quad (8)$$

PLTMG ini memiliki 10 mesin gas yang bekerja dengan 1 mesin sebagai cadangan. Sebelas mesin yang terdapat pada PLTMG ini adalah mesin baru sehingga setiap mesin mempunyai karakteristik konsumsi bahan bakar yang serupa. Mesin cadangan dipergunakan ketika terdapat mesin yang sedang dilakukan perawatan. Untuk tetap dapat menjaga kehandalan di dalam melayani beban-beban pelanggan, pembangkit ini dioperasikan dengan tetap memiliki cadangan berputar. Kapasitas dari cadangan berputar ini minimal sebesar kapasitas mesin terbesar yang sedang beroperasi atau minimal sebesar 1.8 MW. Persamaan matematis untuk kondisi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut ini

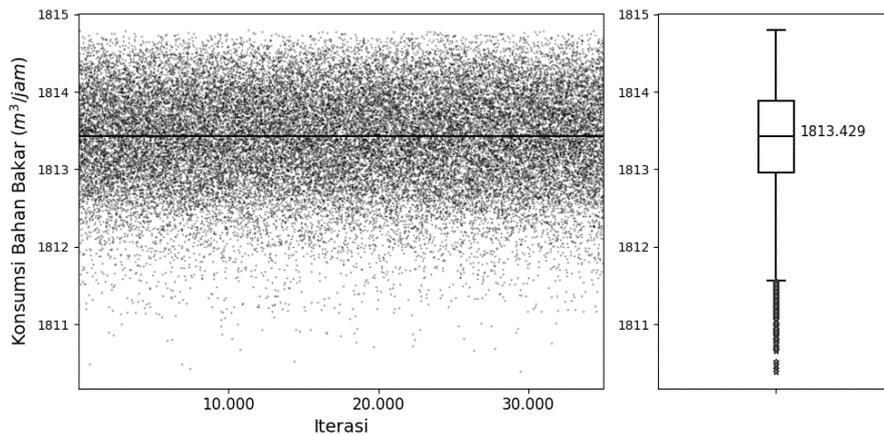
$$\sum_{i=1}^l P_i^{mampu} \geq \sum_{i=1}^m B_i + \sum_{i=1}^n R_i + 1.8 \text{ MW} \quad (9)$$

dimana $\sum_{i=1}^l P_i^{mampu}$ adalah jumlah kapasitas daya mampu dari pembangkit, $\sum_{i=1}^m B_i$ adalah jumlah beban di dalam sistem kelistrikan, dan $\sum_{i=1}^n R_i$ adalah jumlah dari rugi-rugi.

Operasi ekonomis dari pembangkit dipengaruhi oleh beban yang harus dilayani. Oleh karena itu pada penelitian ini, beban disimulasikan bervariasi mulai dari 40%, 80% dan 100% dari kapasitas total pembangkit. Simulasi percobaan operasi ekonomis dari pembangkit ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Python. Jumlah data parameter acak yang dibangkitkan untuk simulasi dengan menggunakan metode Monte Carlo adalah sebanyak 35.000 parameter. Jumlah parameter ini sesuai dengan persyaratan simulasi Monte Carlo dalam memperoleh hasil akurat sesuai dengan persamaan 5.

4. HASIL & DISKUSI

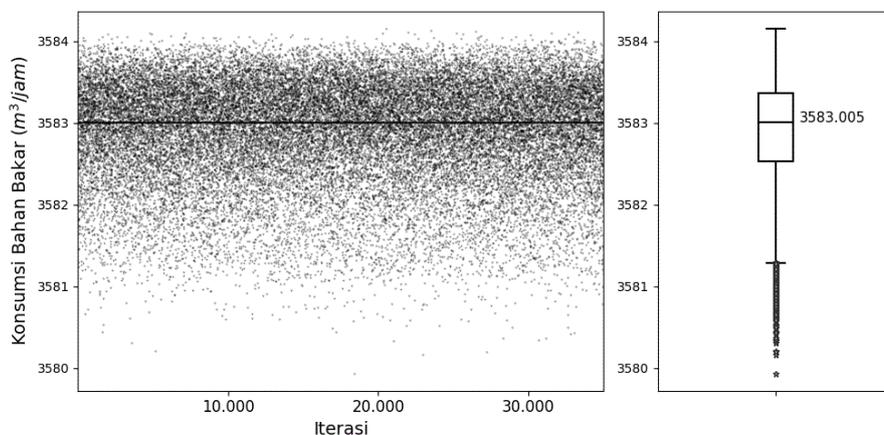
Simulasi dimulai dengan memakai parameter pembebanan sebesar 40% dari total kapasitas pembangkit terpasang atau pembebanan sebesar 7,2 MW. Dengan beban sebesar 7,2 MW maka diperlukan lima buah pembangkit yang bekerja. Hal ini untuk menjaga bahwa dalam setiap operasi terdapat cadangan berputar minimal sebesar kapasitas mesin atau 1.8 MW.



Gambar 2. Hasil optimalisasi operasi ekonomis pembangkit untuk beban 40%

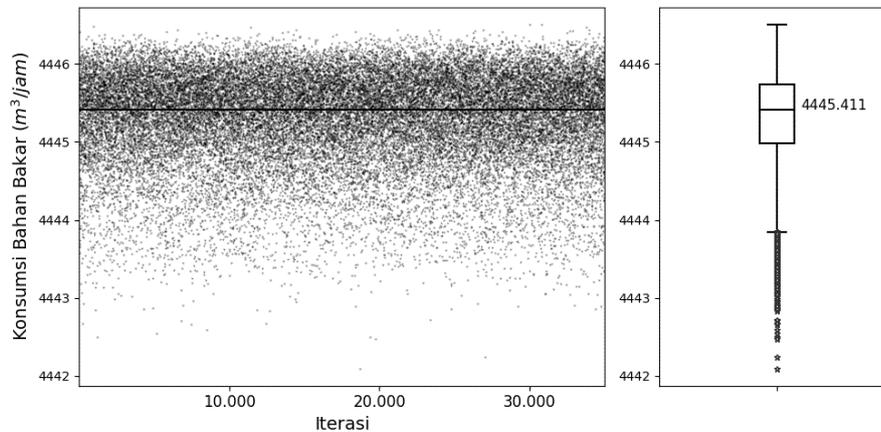
Sebanyak 35.000 data operasi pembangkit yang memenuhi persyaratan pada persamaan 7, persamaan 8 dan persamaan 9 dibuat secara acak. Data acak tersebut dibuat dengan mengikuti kaidah distribusi Gaussian. Hasil dari operasi ekonomis dengan menggunakan metode Monte Carlo untuk beban sebesar 7,2 MW dapat dilihat pada Gambar 2. Nilai operasi ekonomis terbesar adalah sebesar 1.814,792 sedangkan nilai operasi ekonomis terkecil adalah sebesar 1.811,439. Terdapat 186 data *outlier* yang tidak dipergunakan pada saat analisis. Nilai rata-rata, median, dan standar deviasi dari data hasil simulasi secara berturut-turut adalah sebesar 1.813.409, 1.813,429 dan 0,635. Dari hasil analisis statistik secara deskriptif ini dapat disimpulkan bahwa nilai operasi ekonomis dari kebutuhan bahan bakar apabila dicari dengan menggunakan metode Monte Carlo untuk kasus beban sebesar 40% adalah 1.813,509 m³/jam. Nilai standar deviasi sebesar 0,635 mengindikasikan jika nilai data random yang digenerasi tidak jauh melenceng dari nilai rata-rata.

Simulasi kedua adalah dengan menggunakan parameter pembebanan sebesar 80% dari total kapasitas pembangkit atau sebesar 14,4 MW. Sebanyak 35.000 data acak dari operasi sembilan mesin pembangkit di buat dengan mengikuti kaidah distribusi Gaussian. Data-data tersebut juga sesuai dengan persyaratan pada persamaan 7, persamaan 8, persamaan 9. Hasil operasi ekonomis dengan menggunakan data-data acak tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil optimalisasi operasi ekonomis pembangkit untuk beban 80%

Dari 35.000 data terdapat 156 *outlier* yang tidak turut dalam analisis. Data terbesar dan terkecil hasil simulasi secara berturut-turut adalah sebesar 3.584,155 dan 3.581,021. Nilai rata-rata, median dan standar deviasi dari hasil simulasi secara berturut-turut adalah sebesar 3.582,904, 3.583,005, dan 0,609. Dari hasil analisis statistik deskriptif ini dapat disimpulkan bahwa nilai operasi ekonomis dari konsumsi bahan bakar untuk kasus 80% beban adalah sebesar 3.582,904 m³/jam. Pada kasus ini, sembilan mesin pembangkit harus dinyalakan untuk melayani beban dengan tetap mempunyai cadangan berputar sebesar satu mesin pembangkit.



Gambar 4. Hasil optimalisasi operasi ekonomis pembangkit untuk beban 100%

Skenario terakhir adalah ketika pembangkit harus melayani beban sampai dengan 100% kapasitasnya. Untuk dapat memenuhi beban sampai 100%, maka sebelas mesin pembangkit harus dinyalakan secara bersamaan. Hasil simulasi perhitungan operasi ekonomis pembangkit dengan menggunakan 35.000 data acak dapat dilihat pada Gambar 4. Terdapat 315 *outlier* yang tidak masuk ke dalam analisis statistik. Hasil perhitungan operasi ekonomis tersebar diantara nilai 4.443,527 sampai dengan nilai 4.446,499. Nilai rata-rata, median dan standar deviasi dari simulasi ini secara berturut-turut adalah sebesar 4.445,318, 4.445,411, dan 0,562. Dari hasil analisis deskriptif ini dapat diketahui bahwa nilai operasi ekonomis dari konsumsi bahan bakar untuk kasus 100% beban adalah sebesar 4.445,318 m³/jam.

5. KESIMPULAN

Simulasi mengenai optimisasi operasi pembangkit berbahan bakar gas dengan menggunakan metode Monte Carlo telah dilakukan. Sebanyak 35.000 sampel data acak dari biaya pembangkitan pada setiap kasus pembebanan pembangkit dipergunakan di dalam perhitungan optimalisasi dalam mencari biaya minimal dari operasi ekonomis pembangkit. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa operasi ekonomis pembangkit untuk beban 40% adalah sebesar 1.813,509 m³/jam, 80% sebesar 3.582.904 m³/jam dan 100% sebesar 4.445,318 m³/jam.

Metode Monte Carlo adalah metode yang sederhana untuk perhitungan optimisasi operasi ekonomis pembangkit. Metode ini menggunakan data acak sebagai tebakan awal. Semakin banyak data yang dipergunakan untuk mencari nilai optimal, maka semakin akurat hasil yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. Fakinle, O. B. Okedere, and J. A. Sonibare, "Impact of Power Plant Greenhouse Gases Emissions in an Urban Environment," 2018.
- [2] D. J. K. L. ESDM, "Statistik Ketenagalistrikan 2019 Edisi No. 33 Tahun Anggaran 2020," 2019.
- [3] G. B. S. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Power Generation, Operation, and Control, 3rd Edition. Wiley, 2013.
- [4] 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, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16217.
- [5] P. L. Multiplier et al., "Operasi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Keramasan Dengan Metoda Pendekatan Lagrange Multiplier," vol. 4, no. 2, pp. 381–390, 2020.
- [6] Monice and Syafii, "Operasi Ekonomis (Economic Dispatch) Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dan (PLTG) Dalam Melayani Beban Puncak Kelistrikan Sumbar," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, pp. 35–39, 2013.
- [7] D. Kristanto, H. S. M. P. . Suyono, and I. W. M. Ph.D, "Operasi Ekonomis Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Metode Iterasi Lambda Menggunakan Komputasi Paralel," *J. Mhs. TEUB*, vol. 2, no. 6, pp. 1–6, 2014.
- [8] D. Pramudia, Hardiansyah, and Junaidi, "Penyelesaian Economic Dispatch Pada Unit Unit Pembangkit Thermal Dengan Menggunakan Artificial Bee Colony (Abc) Algorithm," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1.
- [9] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Numerical Methods For Engineer*, 7th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [10] A. M. Johansen, "Monte Carlo Methods," in *International Encyclopedia of Education (Third Edition)*, Third Edit., P. Peterson, E. Baker, and B. McGaw, Eds. Oxford: Elsevier, 2010, pp. 296–303.
- [11] W. Oberle, "Monte Carlo Simulations: Number of Iterations and Accuracy," *US Army Res. Lab.*, p. 25, 2015.