

# EVALUASI KONSUMSI BAHAN BAKAR GAS TURBIN GENERATOR PADA UNIT UTILITAS INDUSTRI PUPUK MENGUNAKAN METODE SIKLUS BRAYTON DENGAN KAPASITAS 23,5 MW

Achmad Naufal Azhari dan Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

nazhari186@gmail.com ; [anang.takwanto@polinema.ac.id]

## ABSTRAK

Perkembangan tenaga listrik di Indonesia berlangsung dengan cepat. Hal ini seiring dengan bertambahnya permintaan beban masyarakat ataupun pada suatu industri, khususnya industri pupuk. Di dalam sistem turbin gas digunakan bahan bakar gas tentunya akan mempengaruhi unjuk kerja pada turbin gas salah satunya adalah terhadap performa sistem turbin gas. Pada turbin gas di unit utilitas industri pupuk yang menjadi permasalahan yaitu tidak mampu menyimpulkan konsumsi bahan bakar gas yang digunakan sudah tepat atau berlebih. Kebutuhan bahan bakar akan berpengaruh terhadap pengeluaran dari pabrik, semakin sedikit bahan bakar yang digunakan akan menghemat pengeluaran pabrik. Hal tersebut perlu dilakukan penelitian evaluasi dari proses produksi daya yang dihasilkan gas turbin. Metode siklus brayton digunakan untuk menentukan beban daya dengan menghitung efisiensi kompressor dan turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan bahan bakar gas alam pada gas turbin generator. Evaluasi ini dilakukan dengan cara observasi lapangan pada gas turbin generator unit utilitas industri pupuk untuk pengumpulan data, data yang diperoleh berupa data tekanan, temperatur dan laju alir massa. Pada analisa daya yang dihasilkan gas turbin generator digunakan siklus brayton untuk mengevaluasi bahan bakar gas. Hasil dari perhitungan diperoleh untuk daya net yang tetap 23,5 MW, konsumsi bahan bakar gas dapat dikurangi dari 8,50 MMSCFD menjadi 8,33 MMSCFD dengan cara menaikkan tekanan bahan bakar gas dari 108 psig menjadi 170 psig. Jadi hasil perhitungan dan evaluasi tersebut bahwa penggunaan bahan bakar gas alam pada gas turbin bisa dikurangi sehingga bisa menghemat pengeluaran.

**Kata kunci:** bahan bakar, gas turbin generator, siklus brayton

## ABSTRACT

*The development of electric power in Indonesia is taking place rapidly. This is in line with the increasing demand for community loads or in an industry, especially the fertiliser industry. In the gas turbine system used gas fuel will certainly affect the performance of the gas turbine, one of which is the performance of the gas turbine system. In the gas turbine in the fertiliser industry utility unit, the problem is that it is unable to conclude that the consumption of fuel gas used is correct or excessive. Fuel needs will affect the expenses of the factory, the less fuel used will save factory expenses. Because of this, it is necessary to conduct an evaluation research of the power production process produced by the gas turbine. The brayton cycle method is used to determine the power load by calculating the efficiency of the compressor and turbine. This study aims to evaluate the use of natural gas fuel in gas turbine generators. This evaluation is carried out by means of field observations on the gas turbine generator of the fertiliser industry utility unit for data collection, the data obtained is in the form of pressure, temperature and mass flow rate data. In the analysis of the power generated by the gas turbine generator, the Brayton cycle will be used to evaluate the gas fuel used. The results of the calculation obtained For a fixed net power of 23.5 MW, gas fuel consumption can be reduced from 8.50 MMSCFD to 8.33 MMSCFD by increasing the*

---

Corresponding author: Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: [anang.takwanto@polinema.ac.id](mailto:anang.takwanto@polinema.ac.id)



*fuel gas pressure from 108 psig to 170 psig. So the results of these calculations and evaluations show that the use of natural gas fuel in the gas turbine can be reduced so that it can save expenses.*

**Keywords:** *fuel, gas turbine generator, brayton cycle*

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik saat ini menjadi kebutuhan utama bagi manusia, hampir semua sektor seperti industri, perkantoran, dan masyarakat umum memerlukannya [1]. Di Industri Pupuk selain mendapat distribusi listrik dari PLN sebagai pemasok listrik cadangan, juga biasanya memiliki pembangkit listrik sendiri yaitu Gas Turbin Generator (GTG). Generator adalah alat yang menghasilkan energi listrik dari energi mekanik, biasanya melalui induksi elektromagnetik [2]. Sedangkan, Gas Turbin Generator adalah salah satu unit pembangkit listrik yang digunakan untuk mendukung proses produksi. Alat ini menggunakan gas sebagai fluida kerja untuk memutar turbin melalui pembakaran internal, sehingga dapat menggerakkan generator dan menghasilkan listrik [3]. Pembangkit listrik tenaga gas terdiri dari tiga komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin gas yang semuanya terletak pada satu poros [4]. Pembangkit tenaga listrik di servis unit utilitas yang digunakan untuk keperluan pabrik dipenuhi dari Gas Turbin Generator (GTG) dengan kapasitas operasi normal 23,5 MW. Pada turbin gas di Unit Utilitas Industri Pupuk yang menjadi permasalahan yaitu tidak mampu menyimpulkan konsumsi bahan bakar gas yang digunakan sudah tepat atau berlebih. Kebutuhan bahan bakar akan berpengaruh terhadap pengeluaran dari pabrik, semakin sedikit bahan bakar yang digunakan akan menghemat pengeluaran pabrik [5]. Dengan kondisi tersebut dibutuhkan evaluasi dari proses produksi daya yang dihasilkan gas turbin untuk mengetahui konsumsi bahan bakar gas sudah tepat dan optimal.

Pada analisa daya yang dihasilkan Gas Turbin Generator akan di gunakan siklus brayton. Siklus ini adalah siklus daya termodinamika ideal untuk turbin gas. Siklus ini sangat populer digunakan oleh para pembuat mesin turbin atau produsen dalam analisis untuk meningkatkan kinerja [6]. Siklus Brayton melibatkan proses kompresi isentropik yang diikuti dengan proses pelepasan panas pada tekanan konstan [7]. Cara kerja turbin gas menggunakan metode siklus brayton sehingga sangat tepat bila menggunakan metode tersebut untuk mengetahui daya yang optimal.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Yudhanto (2020), yaitu tentang optimisasi konsumsi bahan bakar pada gas turbine generator berbasis artificial intelligence menggunakan dasar siklus brayton [8]. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil perhitungan menggunakan simulasi optimisasi dan didapatkan penurunan pemakaian fuel gas sekitar 280,8 kg/h apabila *air mass flow* ditingkatkan dari 2,4 kg/s menjadi 2,7 kg/s, dan efisiensi bisa ditingkatkan hingga 10,6% [8]. Pada penelitian lainnya yang telah dilakukan oleh Wahyudi (2021), yaitu dengan menggunakan dasar siklus brayton dan Particle Swarm Optimization (PSO) sebagai metode untuk penentuan daya optimal pada generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Perak Grati. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan program simulasi Matlab untuk menentukan daya yang optimal. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil perhitungan adanya penghematan konsumsi gas antara metode PSO dengan kondisi aktual, dimana dengan daya 310 MW, terjadi penghematan konsumsi gas sebesar 0,5968 BBTU/h [9].

Dari latar belakang dan penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa evaluasi bahan bakar pada penggunaan gas turbin generator diperlukan karena jumlah bahan bakar gas sangat berpengaruh terhadap pengeluaran pabrik. Jumlah bahan bakar berdampak terhadap industri dan lingkungan. Semakin sedikit penggunaan bahan bakar gas, maka industri akan semakin profit dan menghemat bahan bakar. Sehingga dapat menyelesaikan permasalahan industri terkait kelebihan proses produksi daya sesuai daya maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan bahan bakar dari gas turbin generator di Unit Utilitas Industri Pupuk dengan kapasitas daya maksimal 23,5 MW.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan pendahuluan yang telah dijabarkan diatas, penelitian ini dilakukan berdasarkan pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data-data operasi industri Pupuk. Selanjutnya melakukan analisis daya pada gas turbin generator untuk menentukan bahan bakar gas yang optimal. Metode yang digunakan untuk analisis yaitu metode siklus brayton. Setelah perhitungan menggunakan metode siklus brayton hasilnya akan dianalisa untuk menentukan daya yang optimal.

### 2.1. Pengambilan Data Kondisi Operasi Gas Turbin Generator di Industri Pupuk

Kondisi operasi Gas Turbin Generator pada Unit Utilitas Industri Pupuk di Tabel 1.

**Tabel 1.** Data kondisi operasi gas turbin generator pada unit utilitas industri pupuk

No.	Kondisi Operasi	Nilai	Satuan
1	Suhu Udara masuk Kompresor	35	°C
2	Tekanan Udara masuk Kompresor	1	atm
3	Suhu Gas masuk Combustion	35	°C
4	Tekanan Gas masuk Combustion	108	psig
5	Laju Alir Gas Masuk Combustion	8,52	MMSCFD
6	Suhu Keluar Kompresor	320,78	°C
7	Tekanan Keluar Kompresor	108	psig
8	Suhu Keluar Turbin	547,3	°C
9	Daya Net	23,5	MW

**Tabel 2.** Data bahan bakar gas yang terkandung pada gas turbin generator

No.	Bahan Bakar	Jumlah (%)
1	Nitrogen	0,634
2	Metana	94,284
3	CO <sub>2</sub>	2,098
4	Etana	1,940
5	Propana	0,690
6	i-Butana	0,126
7	n-Butana	0,138
8	i-Pentana	0,038
9	n-Pentana	0,024
10	Heksana	0,028

Data yang tidak diketahui dan akan digunakan untuk evaluasi pada kondisi operasi yaitu laju alir udara masuk, suhu udara masuk turbin, serta efisiensi dari kompresor dan turbin. Data-data yang tidak diketahui selanjutnya akan dicari dan digunakan untuk perhitungan trial. Data-data kandungan pada bahan bakar gas yang akan digunakan juga diambil dan digunakan untuk perhitungan menggunakan simulasi. Data-data bahan bakar gas didapatkan terdapat pada Tabel 2.

## 2.2. Mencari data-data kondisi operasi yang belum diketahui

Pada kondisi operasi yang belum diketahui terdapat efisiensi kompresor, laju alir udara, suhu masuk turbin dan efisiensi turbin. Data tersebut dicari menggunakan siklus brayton. Siklus Brayton dalam bentuk idealnya terdiri dari dua proses isobarik dan dua proses proses isentropik. Dua proses isobarik terdiri dari sistem pembakaran turbin gas dan sisi gas pemulihan kalor. Kedua proses isentropik mewakili kompresi (Kompresor) dan ekspansi (Turbin *expander*) proses di turbin gas [10]. Efisiensi pada kompresor dapat dihitung dengan menggunakan tahapan rumus sebagai berikut:

$$\eta_c = \frac{h_2' - h_1}{h_2 - h_1} \quad (1)$$

Keterangan :  $\eta_c$  = Efisiensi Kompresor (%)

$h_1$  = Entalpi dari T1 (kJ/kg)

$h_2$  = Entalpi dari T2 (kJ/kg)

$h_2'$  = Entalpi dari T2' (kJ/kg)

Pada proses ekspansi, gesekan antara gas hasil pembakaran dan sudu-sudu turbin menyebabkan temperatur gas buang yang keluar dari turbin lebih tinggi dibandingkan dengan proses ideal (isentropis) [11]. Jumlah kerja dan efisiensi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan beberapa tahapan rumus berikut ini:

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4'} \quad (2)$$

Keterangan :  $\eta_t$  = Efisiensi turbin (%)

$h_3$  = Entalpi dari T3 (Temperatur ruang bakar (kJ/kg)

$h_4$  = Entalpi dari T4 (Temperatur *exhaust*) (kJ/kg)

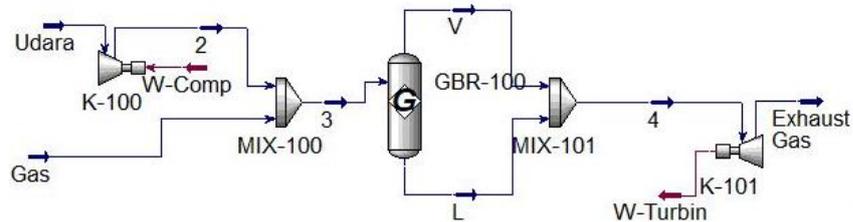
$h_4'$  = Entalpi dari T4' (Temperatur *exhaust* teoritis) (kJ/kg)

Untuk mencari efisiensi kompresor yaitu dengan menginputkan angka tekanan dan temperatur di simulasi berupa input udara masuk ke kompresor dan output keluar dari kompresor. Setelah mendapatkan data, nilai angka efisiensi kompresor ditetapkan. Selanjutnya, mencari laju alir udara bersamaan dengan mencari efisiensi turbin, kedua variabel ditebak hingga data yang didapatkan sesuai dengan kondisi yang ada. Dengan langkah sebagai berikut:

1. Laju alir udara di-*trial* angkanya sampai didapatkan daya net sebesar 23,5 MW.
2. Efisiensi turbin ditebak sampai didapatkan temperatur *exhaust* sebesar 547,3°C.
3. Mengubah efisiensi turbin mengakibatkan perubahan daya net. Apabila daya net tidak sama dengan 23,5 MW, maka kembali ke langkah 1.
4. Lakukan tebakan hingga daya net dan temperatur exhaust sesuai.

Suhu masuk turbin didapatkan otomatis setelah didapatkan data-data diatas melalui simulasi. Setelah menebak nilai diatas, maka akan didapatkan data-data lengkap. Data-

data yang telah diketahui akan digunakan untuk perhitungan *trial* selanjutnya. Data yang tidak diketahui akan dicari menggunakan bantuan simulasi ASPEN. Pemodelan untuk simulasi gas turbin generator tertera seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Pemodelan gas turbin generator menggunakan simulasi ASPEN

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data hasil perhitungan menggunakan simulasi

Pemodelan dan simulasi menggunakan ASPEN dilakukan untuk memudahkan mendapatkan data-data kondisi operasi yang belum diketahui. Setelah melakukan *trial* maka didapatkan hasil data Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil kondisi operasi setelah *trial* perhitungan dengan simulasi ASPEN

No	Kondisi Operasi	Nilai	Satuan
1	Laju alir udara masuk Kompresor	15.630	kmol/h
2	Daya Kompresor	37,3	MW
3	Suhu Masuk Turbin	947,2	°C
4	Daya Turbin	60,8	MW

Dengan data-data yang diketahui didapatkan hasil efisiensi dari kompresor sebesar 86,4%. Lalu, untuk mendapatkan laju alir udara didapatkan bersamaan dengan efisiensi dari turbin. Didapatkan laju alir udara masuk kompresor sebesar 15.630 MW dan efisiensi turbin sebesar 81%. Setelah mendapatkan data menggunakan *trial* maka otomatis suhu masuk turbin akan muncul di simulasi dan didapatkan nilai sebesar 947,2 °C. Data yang telah didapatkan ini digunakan untuk melakukan evaluasi performa daya pada gas turbin generator dan menentukan penggunaan bahan bakar gas yang digunakan sudah optimal atau belum.

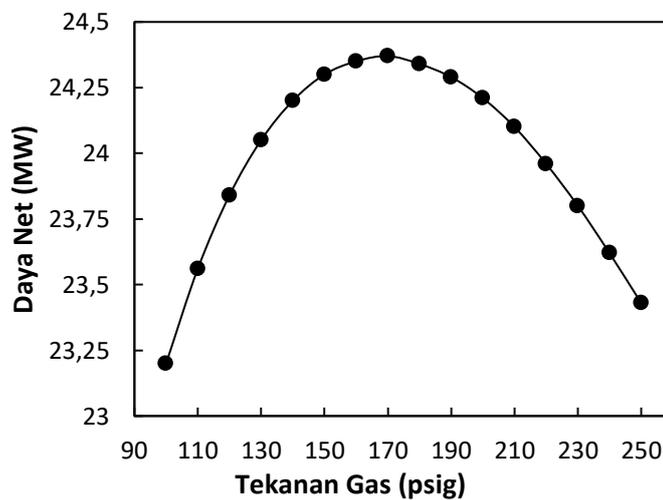
#### 3.2 Evaluasi Performa GTG berdasarkan Perubahan Tekanan Gas terhadap Daya Net

Data yang didapatkan diatas akan digunakan untuk menghitung daya net yang optimal jika dinaikkan tekanan gasnya. Hasil daya net akan menggunakan simulasi untuk kemudahan perhitungannya. Data hasil perhitungan didapatkan ada pada Tabel 4 bahwa terjadi peningkatan daya net yang sebanding dengan kenaikan tekanan hingga tekanan 170 psig, sebelum akhirnya tekanan gas yang ditingkatkan kembali akan menghasilkan daya net yang menurun. Dalam Tabel 4 didapatkan suhu turbin yang masuk tetap pada suhu 947,2°C dikarenakan jika suhu lebih tinggi material yang di proses tidak kuat, sedangkan jika suhunya lebih rendah, maka daya turbinnya berkurang dan menjadi tidak optimal. Syarat ruang bakar turbin gas salah satunya ialah panas temperatur harus dijaga agar umur dari turbin dan sudu pengacara bertahan lama [12]. Kinerja gas turbin dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti rasio tekanan, suhu masuk pembakaran,

suhu lingkungan, dan suhu masuk turbin [13]. Air fuel ratio (AFR) adalah perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam mesin turbin gas selama proses pembakaran. AFR yang sesuai sangat penting untuk efisiensi dan kinerja mesin yang optimal. AFR juga mempengaruhi kesempurnaan proses pembakaran di dalam ruang bakar [14].

**Tabel 4.** Hasil *trial* perhitungan daya net dengan kenaikan tekanan gas

Flow udara (kmol/h)	Flow gas (kmol/h)	Air Fuel Ratio (AFR)	T to turbin (°C)	Tekanan gas (psig)	W net (MW)
15.363	424,4	36,2	947,2	100	23,2
15.700	424,4	37,0	947,2	110	23,56
16.028	424,4	37,8	947,2	120	23,84
16.354	424,4	38,5	947,2	130	24,05
16.675	424,4	39,3	947,2	140	24,2
16.996	424,4	40,0	947,2	150	24,3
17.313	424,4	40,8	947,2	160	24,35
17.628	424,4	41,5	947,2	170	24,37
17.940	424,4	42,3	947,2	180	24,34
18.255	424,4	43,0	947,2	190	24,29
18.567	424,4	43,7	947,2	200	24,21
18.878	424,4	44,5	947,2	210	24,1
19.190	424,4	45,2	947,2	220	23,96
19.505	424,4	46,0	947,2	230	23,8
19.820	424,4	46,7	947,2	240	23,62
20.132	424,4	47,4	947,2	250	23,43



**Gambar 2.** Hasil grafik *trial* perhitungan daya net dengan kenaikan tekanan gas

Pada Gambar 2 diketahui bahwa titik optimal yang didapatkan berada pada tekanan gas sebesar 170 psig dengan daya net 24,37 MW. Hal ini membuktikan jika performa Gas Turbin Generator di Unit Utilitas di Industri pupuk masih bisa dioptimalkan dengan daya net yang bisa dimaksimalkan. Sesuai dengan penelitian dari Dwi dan Ary (2013) didapatkan bahwa perubahan tekanan masuk pada turbin dan perubahan beban pada generator dapat

mempengaruhi kerja turbin [15]. Peningkatan rasio tekanan mempunyai pengaruh langsung terhadap kerja kompresor, kerja turbin dan kerja bersih siklus [16].

Permasalahan selanjutnya adalah mengenai kebutuhan daya. Daya yang seharusnya dibutuhkan gas turbin hanya sebesar 23,5 MW. Dari hasil *trial* peningkatan tekanan gas titik optimal menghasilkan daya net sebesar 24,37 MW. Dengan perbedaan daya net yang dihasilkan sebesar 0,87 MW, menimbulkan permasalahan karena tidak diinginkan dan tidak ada tempat untuk menampung kelebihan daya. Bahan bakar mengikuti kenaikan beban, jika beban naik maka konsumsi bahan bakar juga akan naik [17].

Kelebihan daya net sebesar 0,87 MW tersebut dapat diatasi dengan cara yaitu mengurangi molar flow gas yang dialirkan. Seperti yang tertera pada Gambar 2 dititik berwarna jingga diharapkan pada tekanan 170 psig daya net yang dihasilkan bukan 24,37 MW akan tetapi sesuai kapasitas yaitu sebesar 23,5 MW. Hal yang harus dilakukan ialah dengan mengurangi laju alir gas yang dari sebelumnya diketahui sebesar 8,52 MMSCFD menjadi 8,33 MMSCFD dengan begitu Industri Pupuk dapat menghemat bahan bakar gas sebesar 0,19 MMSCFD.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi didapatkan untuk daya net yang tetap 23,5 MW pada gas turbin generator di industri pupuk. Hasil perhitungan dan analisis daya gas turbin dapat diambil kesimpulan bahwa konsumsi bahan bakar gas dapat dikurangi dari 8,50 MMSCFD menjadi sebesar 8,33 MMSCFD dengan cara menaikkan tekanan bahan bakar gas dari 108 psig menjadi 170 psig.

Saran kajian penelitian lebih lanjut untuk peningkatan kerja gas turbin generator selanjutnya sebaiknya dilakukan perhitungan secara berkala perhitungan sesuai dengan peningkatan kapasitas daya yang berbeda untuk mengetahui penggunaan konsumsi bahan bakar yang tepat dan tidak berlebih.

#### REFERENSI

- [1] G. Novi dan P. Bayu, "Analisa Teknis dan Ekonomis Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar PLTMG Terhadap PLTG di Pusat Listrik Balai Pungut – Duri," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 15, hal. 1–13, 2017.
- [2] B. Kurniasari, W. Handajadi, dan S. Hani, "Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada PLTU Pabrik Gula Madukismo," *Jurnal Elektrikal*, vol. 4, no. 2, hal. 20–27, 2017.
- [3] M. Sayuti dan S. Maulinda, "Analisis Efektivitas Gas Turbine Generator dengan Metode Overall Equipment Effectiveness," *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, vol. 5, no. 1, hal. 7, 2019.
- [4] T. H. Mulud, "Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum dan Setelah Overhaul Combustor Inspection di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon," *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, vol. 12, no. 2, 2016.
- [5] K. Sekti dan M. G. Tina, "Evaluasi Kinerja Turbin Gas ABB GT 13-E1 di PT Indonesia Power, UBP Priok," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 2, no. 1, hal. 122–129, 2011.

- [6] H. Dwipayana dan A. A. Baraf, "Analisis Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas TM 2500 Jakabaring Unit 2 dan Unit 3 Pada Waktu Beban Puncak," *Jurnal TEKNIKA*, vol. 6, no. 2, hal. 217–232, 2013.
- [7] N. Gusnita dan K. S. Said, "Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 14, no. 2, hal. 209–218, 2017.
- [8] Y. Risma, "Optimisasi Konsumsi Bahan Bakar pada Gas Turbine Generator Berbasis Artificial Intelligence untuk Peningkatan Performansi Kontrol Multi Variabel," Tesis, Departemen Fisika, Universitas Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2020.
- [9] M. F. Wahyudi, S. Setiawidayat, dan F. Hunaini, "Metode Particle Swarm Optimization untuk Menentukan Daya Optimal Turbin Gas PLTGU Grati Berdasarkan Heat Rate," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 2, no. 01, hal. 37–46, Apr 2021.
- [10] M. P. Boyce, "Gas Turbine Engineering Handbook Second Edition", *United States of America: Gulf Professional Publishing*, 2011.
- [11] M. Faizal, B. Teguh Prasetyo, dan E. S. Effendy, "Analisis Performance TM 2500 Gas Turbine Generator Package PLTG X Pada Factory Test dan Site Test," *Bina Teknika*, vol. 13, no. 2, hal. 157–163, 2017.
- [12] N. S. Teguh, A. S. Sehat, dan E. Eddy, "Analisa Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Gas Terhadap Performance Sistem Turbin Gas Penggerak Generator Listrik," *Journal Universitas Islam Riau*, 2018.
- [13] T. Khalillbrahim, M. K. Mohammed, W. H. A. Al-Doori, A. T. Al-Sammarraie, dan F. Basrawi, "Study of The Performance of The Gas Turbine Power Plants from The Simple to Complex Cycle: A Technical Review," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 57, no. 2, hal. 228–250, 2019.
- [14] A. Puspawan, R. Sulthan, A. Suandi, dan Y. Witanto, "Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Efisiensi Turbin Gas Pada PLTGU Unit 2 PT PLN (persero) Keramasan Palembang-Provinsi Sumatera Selatan," *Jurnal TEKNOSIA*, vol. 17, no. 1, hal. 56–62, 2023.
- [15] D. R. Dwi dan B. K. Ary, "Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan Inlet Turbin dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik Turbin Pada Organic Rankine Cycle," *Jurnal Teknik POM ITS*, vol. 2, no. 3, hal. 414–418, 2013.
- [16] A. Kamranpey, "A Study on Effects of Mass Flow Rate and Compressor Pressure Ratio on Gas Turbine Cycle Performance," *International Journal of IC Engines and Gas Turbines*, vol. 8, no. 2, hal. 1–8, 2022.
- [17] S. Setiawidayat dan F. Rofii, "Analisis Efisiensi Thermal Untuk Menentukan Beban Optimal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Menggunakan Metode Siklus Brayton," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 1, no. 02, hal. 66–80, 2020.