

OPTIMASI EFISIENSI GAS TURBIN GENERATOR UNIT 2 DENGAN MENAIKKAN TEKANAN MASUK TURBIN DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP (PLTGU)

I Ketut Warsa¹, Aji Indrayan Pratama¹, Debora Ariyani¹, Eka Megawati^{1*}

¹Program Studi Pengolahan Minyak dan Gas,
Sekolah Tinggi Teknologi Migas, Balikpapan.

*E-mail: ekamegawati89@yahoo.com

Abstract

Electrical energy is a basic need that is widely used for household needs, industry and other activities. To produce electrical energy, a system is needed which is called a power plant. In Steam Gas Power Plants (PLTGU) Electrical energy is produced from power generating units where there are two types of electricity generating equipment and one of them is the Gas Turbine Generator. In the process of operating a Gas Turbine Generator, it is very important to know whether the tool can still work optimally. The aim of increasing the turbine inlet pressure by 30 Psi is to obtain an optimization value for the pressure entering the turbine and to analyze the performance optimization comparison produced by the Gas Turbine Generator Unit 2 PLTGU. Optimizing the performance of the Gas Turbine Generator Unit 2 was carried out by increasing the turbine inlet pressure by 30 Psi from 102 Psi to 342 Psi. Optimal performance in Gas Turbine Generator Unit 2 PLTGU was obtained at a pressure of 342 Psi resulting in an efficiency value of 83.82%.

Keywords: *Optimization, Inlet Pressure, Gas Turbine Generator Unit 2*

Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok yang banyak digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, industri dan kegiatan lainnya. Untuk menghasilkan energi listrik maka dibutuhkan suatu sistem yang disebut pembangkit listrik. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) energi listrik dihasilkan dari unit pembangkit listrik yang dimana ada terdapat dua tipe alat pembangkit Listrik dan salah satunya adalah Gas Turbin Generator. Gas Turbin Generator adalah mesin pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas hasil pembakaran antara gas alam dan udara atmosfer menjadi energi mekanik (putaran turbin), dari putaran turbin akan dihubungkan ke generator menjadi putaran generator yang menghasilkan energi listrik. Dalam proses operasi Gas Turbin Generator sangatlah penting untuk mengetahui apakah alat tersebut masih bisa bekerja dengan optimal. Kenaikan tekanan masuk turbin sebesar 30 Psi bertujuan untuk memperoleh nilai

optimasi tekanan yang masuk pada turbin dan untuk menganalisa perbandingan optimasi kinerja yang dihasilkan oleh Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU. Optimasi kinerja Gas Turbin generator Unit 2 dilakukan dengan menaikkan tekanan masuk turbin sebesar 30 Psi dari 102 Psi sampai dengan 342 Psi. Optimal kinerja pada Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU didapatkan pada tekanan 342 Psi menghasilkan nilai efisiensi sebesar 83,82 %.

Kata Kunci: Optimasi, Tekanan Masuk, Gas Turbin Generator Unit 2

PENDAHULUAN

Gas Turbin bekerja dengan memanfaatkan energi hasil dari pembakaran gas alam yang bercampur dengan udara atmosfer dan diubah menjadi energi mekanis dengan memutar sudu-sudu turbin yang dihubungkan dengan generator oleh *shaft* untuk menghasilkan energi listrik. Pada Gas Turbin Generator, gas yang digunakan berasal dari alam dan direaksikan dengan udara atmosfer untuk dilakukan pembakaran sehingga hasil pembakaran berekspansi ke turbin untuk memutar sudu-sudu turbin. Hasil pembakaran gas dan udara yang telah digunakan untuk memutar turbin lalu dimanfaatkan pada *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) yang mana temperatur dari gas buang tersebut masih tinggi untuk di buang langsung ke atmosfer dan sebaiknya masih dapat digunakan untuk memanaskan air demin pada *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) (Sigiyo and Prawoto, 2023; Franco and Giannini, 2006).

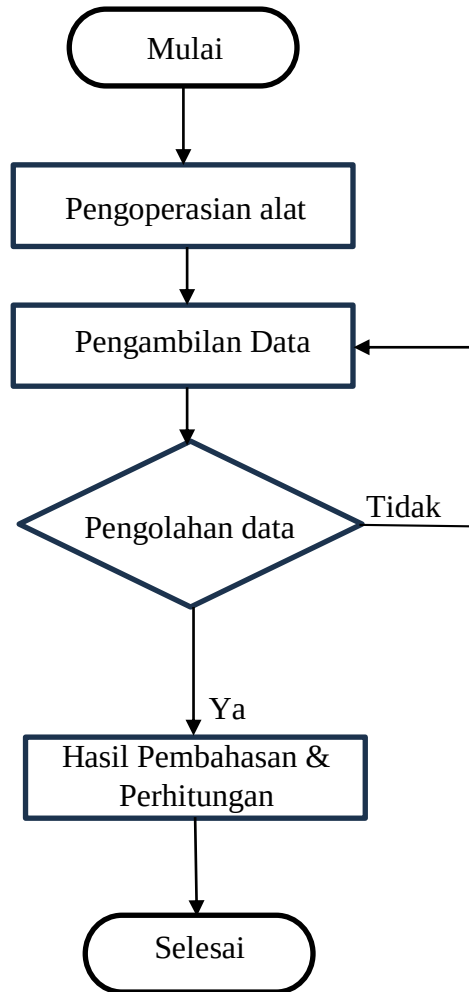
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Gas Turbin Generator (GTG) merupakan suplai utama untuk menghasilkan listrik sesuai dengan permintaan Perusahaan Listrik negara (PLN). Terdapat 2 unit Gas Turbin generator (GTG) yang beroperasi secara bergantian dengan dengan kurun waktu selama 1 bulan dengan catatan kedua unit tidak memiliki kerusakan dalam jadwal pengoperasiannya.

Beragamnya efisiensi dari gas turbin dipengaruhi oleh permintaan beban dari konsumen yang berubah-ubah sehingga tekanan yang masuk ke turbin mempengaruhi putaran turbin dan berpengaruh pula terhadap daya yang dibangkitkan (Gusnita and Said, 2017). Oleh karena itu, perlu pengoptimalan efisiensi dari Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU dengan harapan efisiensi gas turbin dapat beroperasi dengan optimal (Syahidin, et. al., 2020).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menganalisa data operasi dengan DCS (*Distributed Control System*). DCS merupakan suatu pengembangan *system control* dengan menggunakan komputer dan alat

elektronik lainnya agar mengontrol suatu *loop system* yang lebih terpadu dan dapat dikendalikan oleh orang yang diberikan wewenang untuk mengoperasikan suatu alat dengan cepat dan mudah (Rifa'I, et. al., 2021) dan data *Logsheet* yaitu kumpulan dari catatan atau informasi yang dirangkum kedalam sebuah tabel yang dilakukan dengan cara mencatat semua perlakuan terhadap peralatan pada saat bekerja.



Gambar 1. Alur Penelitian

Pada perhitungan turbin gas kali ini dimulai pada proses ekspansi isentropik karena untuk menghitung kinerja dari turbin. Setelah didapatkan data properties pada masing-masing titik, maka selanjutnya adalah perhitungan performa turbin gas dengan menggunakan data properties gas ideal dengan percobaan menaikkan tekanan masuk pada turbin.

Proses Ekspansi Isentropic

Pada tahap ini terjadi proses pembakaran di dalam ruang bakar (*combustion chamber*) dan

fluida bahan bakar natural gas diinjeksikan sehingga bercampur dengan udara dan terjadi proses pembakaran (Irawan, et. al., 2021; Rabeta, 2019). Fuel gas yang sudah terbentuk dari pembakaran akan keluar dari ruang bakar menuju turbin. Nilai temperatur keluar ruang bakar dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_3 = T_4 \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

Keterangan :

T_3 = Temperatur keluar Ruang bakar ($^{\circ}\text{R}$)

T_4 = Temperatur keluar Turbin ($^{\circ}\text{R}$)

P_3 = Tekanan keluar Ruang bakar (Psi)

P_4 = Tekanan keluar Turbin (Psi)

k = Nilai rasio spesifik

(Lyshevski, 2017).

Proses pembuangan panas

Pada state ini terjadi ekspansi gas buang hasil pembakaran dari dalam turbin. Pada proses ini terjadi gesekan antara gas hasil pembakaran dengan sudu-sudu turbin, sehingga temperatur gas buang yang keluar dari turbin menjadi lebih tinggi dari gas ideal (isentropis). Nilai temperatur ideal keluar turbin dapat ditentukan dengan persamaan 2:

$$T_{4s} = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2)$$

Keterangan :

T_{4s} = Temperatur Ideal keluar Turbin ($^{\circ}\text{R}$)

T_3 = Temperatur keluar Ruang bakar ($^{\circ}\text{R}$)

P_4 = Tekanan keluar Turbin (Psi)

P_3 = Tekanan keluar Ruang bakar (Psi)

k = Nilai rasio spesifik

(Lyshevski, 2017).

Efisiensi Turbin

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

η_t = Efisiensi Turbin (%)

h_3 = Entalpi keluar Ruang bakar (*Btu/lb*)

h_4 = Entalpi keluar Turbin (*Btu/lb*)

h_{4s} = Entalpi Ideal keluar Turbin (*Btu/lb*)

(Antara and Sinaga, 2023; Kurniasari, et. al., 2017).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dilakukan selama Tujuh (7) Hari. Khusus Data Kondisi Operasi Gas Turbin Generator unit 2 PLTGU, pengambilan data dilakukan pada pukul 12.00 WITA. Tabel 1 dan 2 menunjukkan data desain Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU dan data kondisi operasi gas turbin generator unit 2 PLTGU:

Tabel 1. Data Desain Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU

Parameter	Nilai	Satuan
Tipe Turbin	Proses tertutup	-
Tahun Pembuatan	2013	-
Total Output	60	MW
Kecepatan Gas Turbin	10.000	Rpm
Tekanan keluar Ruang bakar	485	Psi _a
Tekanan Keluar Turbin	122	Psi _a
Suhu keluar Turbin	1668	°F

Tabel 2. Data Kondisi Operasi *Gas Turbin Generator unit 2 PLTGU*

Waktu	Total Beban (MW)	Tekanan keluar Ruang Bakar (P _{si})	Tekanan keluar Turbin (P _{si})	Suhu keluar Turbin (°R)
01/07/2023	33,10	103	98,3	1499,3
02/07/2023	33,49	102	98,8	1503,7
03/07/2023	30,13	99,8	94,5	1466,3
04/07/2023	31,26	101,1	96	1477,8
05/07/2023	31,63	100	96,6	1485,5
06/07/2023	31,35	102	96,2	1485
07/07/2023	32,60	101,4	97,6	1495,8
Rata-rata	31,94	101,33	96,86	1499,3

Sumber : *Logsheet* Harian GTG PLTGU

Data Properties gas ideal

Harga properties bahan bakar (*natural gas*) dan udara yang digunakan pada perhitungan ini, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data *Harga properties bahan bakar (natural gas) dan udara*

Gas	k	C _p (Btu/lbm.R)	C _v (Btu/lbm.R)
Udara	1,4	1,02	0,718
Natural Gass	1,3	2,34	1,85

Sumber : Tabel Properties pada Berbagai Gas (English Units)

Perhitungan Optimasi Kinerja Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU

Optimasi akan dilakukan dengan menggunakan data operasional tertinggi berdasarkan tekanan masuk turbin yaitu pada tanggal 2 Juli 2023 yang dimana efisiensinya adalah 80,87 %, dengan menaikkan tekanan masuk turbin sebesar 30 Psi hingga mencapai batas optimal data desain 485 Psi dengan besar daya yang dibangkitkan adalah 60 MW dan efisiensinya sebesar 84,09 %. Dan optimasi ini menggunakan perhitungan siklus brayton untuk mengetahui nilai efisiensi setelah dilakukannya optimasi.

Perhitungan Pada Percobaan ke-8

Tabel 4. Data Tertinggi Setelah Dilakukan Optimasi

P_3 (Psi _a)	T_3 (°R)	P_4 (Psi _a)	T_4 (°R)	T_{4s} (°R)	η_t %
102	1514,80	98,80	1503,70	1501,07	80,82
132	1607,67	98,80	1503,70	1479,95	81,48
162	1685,47	98,80	1503,70	1463,39	82,08
192	1752,86	98,80	1503,70	1449,80	82,52
222	1812,59	98,80	1503,70	1438,28	82,88
252	1866,39	98,80	1503,70	1428,30	83,16
282	1915,47	98,80	1503,70	1419,50	83,42
312	1960,68	98,80	1503,70	1411,63	83,64
342	2002,66	98,80	1503,70	1404,53	83,82

Pada Tabel 4 data tertinggi setelah dilakukannya percobaan optimasi dan didapatkan 8 percobaan kenaikan dengan cara menaikkan tekanan masuk turbin sebesar 30 Psi pada setiap kenaikan.

Proses ekspansi isentropic

Pada tahap ini terjadi proses pembakaran di dalam ruang bakar (*combustion chamber*) dan fluida bahan bakar natural gas diinjeksikan sehingga bercampur dengan udara dan terjadi proses pembakaran. *Fuel gas* yang sudah terbentuk dari pembakaran akan keluar dari ruang bakar menuju turbin. Dari tabel operasi didapatkan data, yaitu:

$$P_3 = 342 \text{ Psi}_a$$

$$P_4 = 98,8 \text{ Psi}_a$$

$$T_4 = 1503,7 \text{ } ^\circ R$$

$$k = 1,3$$

Setelah didapatkan nilai P_3 dari tabel data operasi, maka temperatur combustor dapat dicari dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{T_3}{T_4} &= \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{k-1}{k}} \\ T_3 &= T_4 \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{k-1}{k}} \\ T_3 &= 1503,70 \text{ } ^\circ R \left(\frac{342 \text{ Psi}_a}{98,80 \text{ Psi}_a} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} \\ &= 1503,70 \text{ } ^\circ R \times 1,33 \end{aligned}$$

$$= 2002,66^{\circ}R$$

Untuk mencari entalpi fluida, digunakan Tabel termodinamika dari “*Fundamental of Engineering Thermodynamics*” 7th edition karangan Michael J. Moran dan Howard N. Saphiro pada bagian tabel A-22E *Ideal Gas Properties of Air*. Besar enthalpy didapatkan dengan menggunakan interpolasi:

$$\begin{aligned}\frac{2050 - 2000}{2050 - 2002,66} &= \frac{518,61 - 504,71}{518,61 - x} \rightarrow \frac{50}{47,34} = \frac{13,9}{518,61 - x} \\ \rightarrow 47,34 \times 13,9 &= 50 \times (518,61 - x) \\ 685,03 &= 25930,5 - 50x \\ 50x &= 25930,5 - 685,03 \\ 50x &= 25245,47 \\ x &= \frac{25245,47}{50} \\ &= 505,01 \text{ Btu/lb}\end{aligned}$$

Pembuangan panas

Pada state ini terjadi ekspansi gas buang hasil pembakaran dari dalam turbin. Pada proses ini terjadi gesekan antara gas hasil pembakaran dengan Sudu-sudu turbin, sehingga temperatur gas buang yang keluar dari turbin menjadi lebih tinggi dari gas ideal (isentropis). Maka didapatkan data tekanan dan temperatur keluar turbin, yaitu:

$$P_4 = 98,80 \text{ Psi}_a$$

$$T_4 = 1503,70^{\circ}R$$

Untuk mencari entalpi fluida, digunakan Tabel termodinamika dari “*Fundamental of Engineering Thermodynamics*” 7th edition karangan Michael J. Moran dan Howard N. Saphiro pada bagian tabel A-22E *Ideal Gas Properties of Air*. Besar enthalpy didapatkan dengan menggunakan interpolasi:

$$\begin{aligned}\frac{1520 - 1480}{1520 - 1503,70} &= \frac{374,47 - 363,89}{374,47 - x} \rightarrow \frac{40}{16,3} = \frac{10,58}{374,47 - x} \\ \rightarrow 16,3 \times 10,58 &= 40 \times (374,47 - x) \\ 172,45 &= 14978,8 - 40x\end{aligned}$$

$$40x = 14978,8 - 172,45$$

$$40x = 14805,55$$

$$x = \frac{14805,55}{40}$$

$$= 370,14 \text{ Btu/lb}$$

Karena pada proses ini berlangsung proses kompresi isentropis, maka untuk menentukan temperatur ideal keluar turbin dengan cara:

Diketahui :

$$T_3 = 2002,66 \text{ } ^\circ R$$

$$P_4 = 98,80 \text{ Psi}_a$$

$$P_3 = 342 \text{ Psi}_a$$

$$k = 1,4$$

Setelah didapatkan nilai T_3 dari proses ekspansi isentropic, maka temperatur ideal keluar turbin dapat dicari dengan cara sebagai berikut:

$$T_{4s} = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{4s} = 2002,66 \text{ } ^\circ R \left(\frac{98,80 \text{ Psi}_a}{342 \text{ Psi}_a} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}}$$

$$= 2002,66 \text{ } ^\circ R \times 0,70$$

$$= 1404,53 \text{ } ^\circ R$$

Untuk mencari entalpi fluida, digunakan tabel termodinamika dari “*Fundamental of Engineering Thermodynamics*” 7th edition karangan Michael J. Moran dan Howard N. Saphiro pada bagian tabel A-22E *Ideal Gas Properties of Air*. Besar enthalpy didapatkan dengan menggunakan interpolasi:

$$\frac{1440 - 1400}{1440 - 1404,53} = \frac{353,47 - 342,9}{353,47 - x} \rightarrow \frac{40}{35,47} = \frac{10,57}{353,47 - x}$$

$$\rightarrow 35,47 \times 10,57 = 40 \times (353,47 - x)$$

$$374,92 = 14138,8 - 40x$$

$$40x = 14138,8 - 374,52$$

$$40x = 13764,28$$

$$x = \frac{13764,28}{40}$$

$$= 344,11 \text{ Btu/lb}$$

Menghitung Nilai Efisiensi

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \times 100\%$$

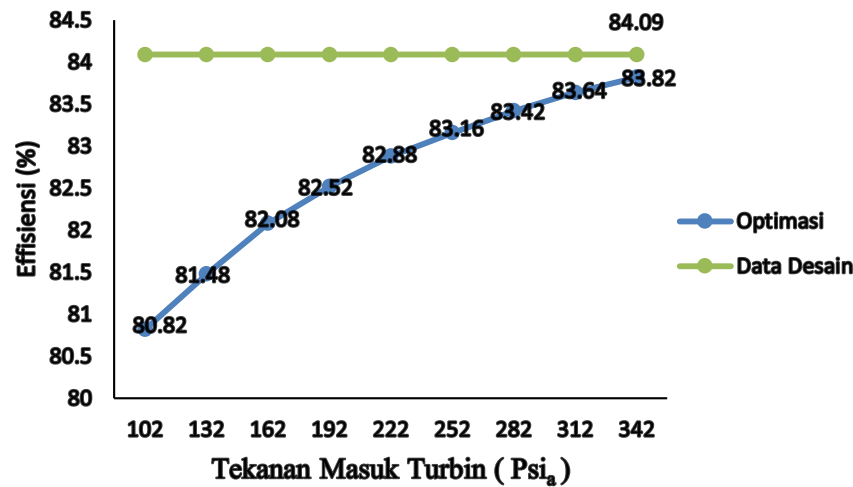
$$\eta_t = \frac{505,01 \text{ Btu/lb} - 370,14 \text{ Btu/lb}}{505,01 \text{ Btu/lb} - 344,11 \text{ Btu/lb}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 83,82 \%$$

Pembahasan Hasil Perhitungan

Tabel 5. Nilai Optimasi Tekanan masuk Turbin Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU

No	P ₃ (Psi _a)	Efisiensi (%)
Sebelum Optimasi	102	80,82
Percobaan 1	132	81,48
Percobaan 2	162	82,08
Percobaan 3	192	82,52
Percobaan 4	222	82,88
Percobaan 5	252	83,16
Percobaan 6	282	83,42
Percobaan 7	312	83,64
Percobaan 8	342	83,82



Gambar 1. Grafik Pengaruh Tekanan masuk Turbin Terhadap Efisiensi

Data yang digunakan dalam perhitungan adalah dari data tertinggi yaitu tanggal 2 Juli 2023 Gas Turbin Generator unit 2 membangkitkan daya listrik sebesar 33,49 MW dengan tekanan masuk turbin sebesar 102 Psi_a dan didapatkan nilai efisiensi sebesar 80,82 %, kemudian data tersebut dilakukannya optimasi kinerja dengan meningkatkan tekanan masuk kedalam Turbin sebesar 30 Psi_a. Pada percobaan 1 dilakukannya kenaikan tekanan masuk turbin sebesar 30 Psi_a maka tekanan yang masuk sebesar 132 Psi_a dan menghasilkan nilai efisiensi sebesar 81,48 %. Lalu pada percobaan ke 8 dilakukannya kenaikan terakhir pada tekanan sehingga tekanan yang masuk adalah sebesar 342 Psi_a dan nilai efisiensi yang didapatkan adalah 83,82 %. Pada data desain Gas Turbin Generator diketahui efisiensinya yaitu sebesar 84,09 % dengan tekanan yang masuk turbin sebesar 485 Psi_a. Dapat dibandingkan kenaikan nilai efisiensi berdasarkan tekanan masuk turbin setelah dilakukannya 8 kali percobaan antara data desain dan data tertinggi operasi harian dimana tekanan yang masuk pada turbin sangat mempengaruhi kenaikan efisiensi dari Gas Turbin Genreator Unit 2 PLTGU.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data dan perhitungan yang telah dilakukan maka disimpulkan bahwa nilai optimasi tekanan masuk Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU adalah sebesar 83,82 %. Meningkatnya efisiensi karena semakin besar tekanan yang masuk ke dalam turbin maka, semakin tinggi efisiensi kinerja dari Gas Turbin Generator Unit 2. Perbandingan nilai optimasi kinerja Gas Turbin Generator Unit 2 PLTGU antara data desain dan data setelah optimasi adalah

sebesar 0,27 %. Diketahui nilai efisiensi dari data optimasi adalah 83,82 % dengan tekanan masuk turbin sebesar 342 Psi_a dan nilai efisiensi data desain adalah 84,09 % dengan tekanan masuk turbin sebesar 485 Psi_a .

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu sehingga penyusunan artikel dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antariksa, A. A., and Sinaga, N. (2023). Optimisasi Performa Gas Turbine Generator (GTG) Unit Pltgu Cilegon PGU Melalui Analisis Performa Pada Variabel Beban Berbeda Dan Strategi Peningkatan Efisiensi PT. PLN Indonesia Power Cilegon Pgu. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2), pp. 39–48.
- Franco, A., and Giannini, N. (2006). A General Method for the Optimum Design of Heat Recovery Steam Generators. *Energy*, 31(15), pp. 3342-3361.
- Gusnita, N., and Said, K. S. (2017). Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alstom pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 14(2), pp. 209-218.
- Irawan, O. W., Pratama, L. S., and Insani, C. (2021). Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga UAP Kapasitas 1500 kW. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(3), pp. 109-118.
- Rabeta, B. (2019). Analisis Performa Engine Marchetti SF 260. *JTK: Jurnal Teknologi Kedingrintaraan*, 4(2), pp. 29-37.
- Rifa'i, M, Aripriharta, A., and Edo, D. (2021). Analisis Metode PID pada Mini Plant Pasteurisasi susu berbasis sistem DCS (Distributed Control System). *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*, 1(10), pp. 747-757.
- Sigiro, D., and Prawoto. (2023). Optimasi Pemanfaatan Energi Panas Gas Buang Turbin Gas 2 X 7.500 kW pada Tri-Generation Plant untuk Meningkatkan Efisiensi Thermal Sistem.” *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 13(3), pp. 145–52.
- Kurniasari, B., Handajadi, W., and Hani, S. (2017). Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada PLTU Pabrik Gula Madukismo. *Jurnal Elektrikal*, 4(2), pp. 20-27.

Lyshevski, S. E. (2017). *Mechatronic and Control of Electromechanical Systems*. Boca Raton, CRC Press.

Syahidin, A., Setiawidayat, S., and Rofii, F. (2021). 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*, 1(2), pp. 1–15.