



KINERJA TURBIN GAS MIKRO BERBAHAN BAKAR LPG DENGAN VARIASI NILAI AIR FUEL RATIO (AFR)

Elisna Tirta Cahyani¹, Nasrul Ilminnafik², Fransiscus Xaverius Kristianta³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Indonesia

email: nasrul.teknik@unej.ac.id

ABSTRAK

The demand for electrical energy is expected to increase annually, making it necessary to reduce reliance on the main power grid. One solution is the use of micro gas turbines, which have a smaller power capacity and require fewer components compared to general gas turbines. In an experimental study, the impact of variations in air fuel ratio on the performance of micro gas turbines was investigated. The results showed that higher air fuel ratios led to an increase in the turbine's performance. The highest values recorded were 0.10 kJ/s for compressor work, 2.81 kJ/s for turbine work, 2.77 kJ/s for net work, 26.25 kJ/s for incoming heat, 8.54% for back work ratio, and 22.3% for thermal efficiency. This indicates that the air fuel ratio indeed influences the performance of micro gas turbines.

Kata kunci: *air fuel ratio, micro gas turbine, LPG fuel, micro gas turbine performance.*

PENDAHULUAN

Salah satu teknologi yang sangat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia adalah pembangkit energi skala mikro, contoh dari pembangkit energi skala mikro adalah mikro gas turbin (MGT). MGT adalah prototipe mesin turbin gas, diklasifikasikan sebagai mikro gas turbin karena kemampuan daya listriknya di bawah 200 kW [1]. MGT terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk ruang bakar, rangkaian sistem pelumasan, dan rakitan kompresor dan turbin *turbocharger* [2]. Kelebihan turbin gas mikro yaitu mudah diaplikasikan pada berbagai jenis bahan bakar, densitas energi yang tinggi, dan mudah dalam pengoperasian [3] serta cocok untuk diaplikasikan dalam unit pembangkitan pada daerah terpencil dan memiliki akses lokasi yang susah [4].

Air fuel ratio (AFR) adalah faktor penting dalam mengatur pembakaran yang efisien dan ekonomis dalam operasional turbin gas mikro. *AFR* mengacu pada perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar sehingga variasi *AFR* dapat memengaruhi karakteristik pembakaran seperti suhu dan tekanan ruang bakar serta jumlah emisi yang dihasilkan.

Penelitian Qardhawi dkk [5] meneliti tentang Analisis Kinerja Mikro Turbin Gas Bahan Bakar LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pembuatan alat, identifikasi desain yang dibuat, dan pengujian kerja alat serta analisa simulasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil pengujian kinerja serta analisis perbandingan perancangan dan pengujian alat turbin gas mikro. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kinerja turbin gas mikro yang dihasilkan relatif rendah, hal ini dikarenakan beberapa faktor yang mempengaruhi salah satunya adalah bagian ruang bakar yang masih sederhana sehingga proses pemampatan udara dan bahan bakarnya tidak termampatkan dengan baik.

Penelitian Puspawan dkk. [6] meneliti tentang Pengaruh *Air fuel ratio (AFR)* Terhadap Efisiensi Turbin Gas Pada Pltgu Unit 2 PT. PLN (Persero) Keramasan Palembang-Provinsi

Sumatera Selatan. Penelitian dilakukan pada PLTGU unit 2 dengan melakukan pengamatan, wawancara, pengukuran, dan pengolahan data. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *air fuel ratio* (AFR) terhadap efisiensi turbin gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *load* turbin gas yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai AFR dan efisiensi turbin gas yang didapat. Selain itu juga didapat bahwa nilai efisiensi turbin gas yang dihasilkan semakin meningkat saat nilai AFR naik. Yang membuktikan bahwa nilai AFR juga berbanding lurus dengan efisiensi turbin gas yang dihasilkan.

Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menghitung efisiensi termal dalam kerja kompresor dari turbin gas mikro adalah sebagai berikut:

1. Kerja Netto

Kerja netto dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$W_{net} = W_t - W_k \quad (2.1)$$

Keterangan:

W_t : Kerja turbin (kJ/s)

W_k : Kerja kompresor (kJ/s)

2. Kerja Kompresor

Kerja kompresor dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$W_k = \dot{m}_{udara} \times (h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{udara}$: Laju massa udara (kg/s)

h_2 : Entalpi udara keluar kompresor (kJ/kg)

h_1 : Entalpi udara masuk kompresor (kJ/kg)

3. Kerja Turbin

Kerja turbin dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$W_t = (\dot{m}_{udara} + \dot{m}_{bahan\ bakar}) \times (h_3 - h_4) \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{udara}$: Laju massa udara (kg/s)

$\dot{m}_{bahan\ bakar}$: Laju massa bahan bakar (kg/s)

h_3 : Entalpi udara masuk turbin (kJ/kg)

h_4 : Entalpi udara keluar turbin (kJ/kg)

4. Kalor Masuk

Panas masuk dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut [9]:

$$Q_{in} = LHV \times \dot{m}_{bahan\ bakar} \quad (2.4)$$

Keterangan:

LHV: Lower Heating Value

$\dot{m}_{bahan\ bakar}$: Laju massa bahan bakar (kg/s)

5. Efisiensi Termal

Efisiensi termal dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

W_{net} : Kerja netto (kJ/s)

Q_{in} : Kalor masuk (kJ/s)

6. Back work ratio (BWR)

Kerja kompresor dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$BWR = \frac{W_k}{W_t} \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan:

W_t : Kerja turbin (kJ/s)

W_k : Kerja kompresor (kJ/s)

7. Equivalence Ratio

Ekivalensi rasio merupakan perbandingan antara nilai rasio udara–bahan bakar (*Air fuel ratio*) stoikiometri dengan nilai rasio udara–bahan bakar (*Air fuel ratio*) aktual dan sebaliknya [10].

Persamaan ekivalensi rasio dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{AFR_{stoikiometri}}{AFR_{aktual}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$AFR_{stoikiometri}$: Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometri

AFR_{aktual} : Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi aktual

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dan menganalisis pengaruh variasi *air fuel ratio* (*AFR*) terhadap kinerja sistem turbin gas mikro. Bagian dari penelitian ini akan melakukan sejumlah eksperimen yang dirancang dengan cermat untuk mengukur dampak perubahan *AFR* pada berbagai parameter kinerja, seperti kerja turbin dan efisiensi termal.

PROSEDUR EKSPERIMEN

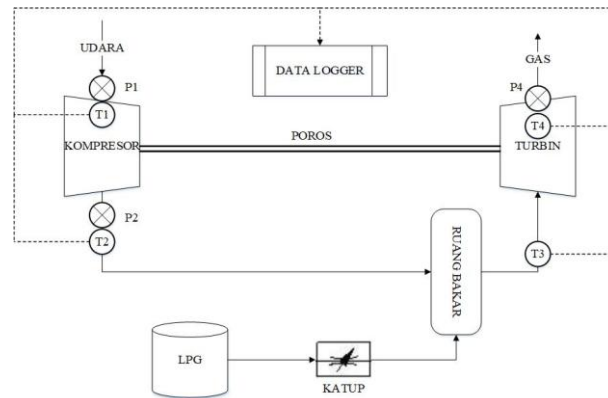
Penelitian ini dilakukan dengan metode penelitian eksperimental, yaitu dengan melakukan pengamatan serta pengukuran langsung guna mendapatkan data penelitian yang dapat digunakan melakukan perhitungan. Data penelitian kemudian diolah dengan perhitungan sehingga menghasilkan data akhir untuk perbandingan analisis.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat turbin gas mikro yang terdiri dari kompresor, ruang bakar, dan turbin, kemudian termokopel, blower, sensor tekanan, dan data *logger*.



Gambar 1. Alat penelitian

Sedangkan untuk bahan penelitian yang digunakan adalah *liquefied petroleum gas* (*LPG*) 3 kg.



Gambar 2. Skema turbin gas mikro

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dalam menghitung kinerja turbin gas mikro maka diperlukan data seperti pada tabel di bawah ini yang merupakan hasil pengukuran pada air fuel ratio 9.30; 11.75; dan 19.22. Nilai *LHV LPG* adalah sebesar 47089.29 kJ/kg [11].

Tabel 1. Data hasil penelitian AFR 9.30

No	Hasil Pengujian	Nilai
		AFR 9.30
1	Laju massa udara (kg/s)	0.0052
2	Laju massa bahan bakar (kg/s)	0.00056
3	Temperature inlet kompresor (T1) (K)	300.97
4	Temperature outlet kompresor (T2) (K)	319.46
5	Temperature inlet turbin (T3) (K)	1087.82
6	Temperature outlet turbin (T4) (K)	915.56
7	Tekanan inlet kompresor (P1) (kPa)	193.348
8	Tekanan outlet kompresor (P2) (kPa)	195.706
9	Tekanan outlet turbin (P4) (kPa)	186.83
10	Rasio kompresi kompresor	1.012
11	Entalpi inlet kompresor (h1) (kJ/kg)	301.1358
12	Entalpi outlet kompresor (h2) (kJ/kg)	319.7478
13	Entalpi inlet turbin (h3) (kJ/kg)	1146.953
14	Entalpi outlet turbin (h4) (kJ/kg)	950.3967

Tabel 2. Data hasil penelitian AFR 11.75

No	Hasil Pengujian	Nilai
		AFR 11.75
1	Laju massa udara (kg/s)	0.0047
2	Laju massa bahan bakar (kg/s)	0.00040
3	Temperature inlet kompresor (T1) (K)	302.21
4	Temperature outlet kompresor (T2) (K)	313.825
5	Temperature inlet turbin (T3) (K)	1153.63
6	Temperature outlet turbin (T4) (K)	932.94
7	Tekanan inlet kompresor (P1) (kPa)	191.502
8	Tekanan outlet kompresor (P2) (kPa)	193.432
9	Tekanan outlet turbin (P4) (kPa)	191.054
10	Rasio kompresi kompresor	1.010
11	Entalpi inlet kompresor (h1) (kJ/kg)	302.4132

12	Entalpi <i>outlet</i> kompresor (h2) (kJ/kg)	314.0879
13	Entalpi <i>inlet</i> turbin (h3) (kJ/kg)	1223.483
14	Entalpi <i>outlet</i> turbin (h4) (kJ/kg)	969.9633

Tabel 3. Data hasil penelitian AFR 19.22

No	Hasil Pengujian	Nilai
		AFR 19.22
1	Laju massa udara (kg/s)	0.0051
2	Laju massa bahan bakar (kg/s)	0.00024
3	Temperature <i>inlet</i> kompresor (T1) (K)	301.89
4	Temperature <i>outlet</i> kompresor (T2) (K)	310.15
5	Temperature <i>inlet</i> turbin (T3) (K)	1120.01
6	Temperature <i>outlet</i> turbin (T4) (K)	648.1
7	Tekanan <i>inlet</i> kompresor (P1) (kPa)	186.052
8	Tekanan <i>outlet</i> kompresor (P2) (kPa)	188.604
9	Tekanan <i>outlet</i> turbin (P4) (kPa)	196.026
10	Rasio kompresi kompresor	1.012
11	Entalpi <i>inlet</i> kompresor (h1) (kJ/kg)	302.0913
12	Entalpi <i>outlet</i> kompresor (h2) (kJ/kg)	310.3905
13	Entalpi <i>inlet</i> turbin (h3) (kJ/kg)	1184.3
14	Entalpi <i>outlet</i> turbin (h4) (kJ/kg)	657.8

4.2 Pembahasan

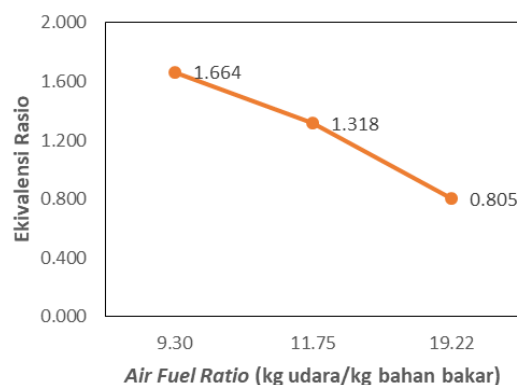
Dengan menggunakan persamaan 2.1-2.7 maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil perhitungan

No	Kinerja Turbin Gas Mikro	Nilai		
		AFR 9.30	AFR 11.75	AFR 19.22
1	<i>Equivalence ratio</i>	1.664	1.318	0.805
2	Kerja Kompresor (kJ/s)	0.10	0.06	0.04
3	Kerja Turbin (kJ/s)	1.13	1.30	2.81
4	Kerja Netto (kJ/s)	1.03	1.24	2.77
5	Kalor Masuk (kJ/s)	26.25	18.91	12.44
6	<i>Back work ratio</i> (%)	8.54	4.24	1.50
6	Efisiensi Termal (%)	3.9	6.6	22.3

1. Pengaruh *Air fuel ratio* Terhadap *Equivalence ratio*

Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kerja kompresor dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

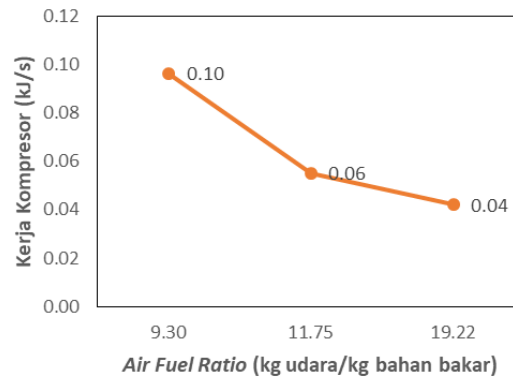
Gambar 3. Pengaruh *air fuel ratio* terhadap *equivalence ratio*

Nilai *equivalence ratio* tertinggi didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 9.30 sebesar 1.664 dan nilai *equivalence ratio* terendah didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 19.22 sebesar

0.805. Karena nilai *equivalence ratio* pada *afr* 19.22 menunjukkan nilai 0.805 berarti *equivalence ratio* tersebut termasuk ke dalam rasio yang miskin karena kurang dari satu <1 . Sedangkan pada *afr* 9.30 dan 11.75, masing-masing *equivalence rationya* adalah 1.664 dan 1.318, maka rasio ini termasuk ke dalam campuran bahan bakar dan udara yang kaya, karena menunjukkan lebih dari satu >1 .

2. Pengaruh *Air fuel ratio* Terhadap Kerja Kompresor

Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kerja kompresor dapat dilihat seperti pada Gambar 4.

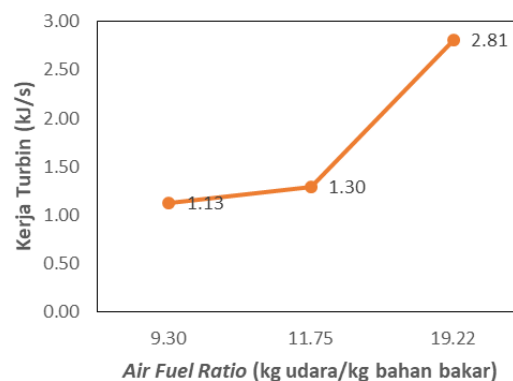


Gambar 4. Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kerja kompresor

Nilai kerja kompresor tertinggi didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 9.30 sebesar 0.10 kJ/s dan nilai kerja kompresor terendah didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 19.22 sebesar 0.04 kJ/s. Menurunnya nilai kerja kompresor dikarenakan terjadinya perubahan nilai laju aliran massa udara dan nilai entalpi kerja kompresor.

3. Pengaruh *Air fuel ratio* Terhadap Kerja Turbin

Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kerja turbin dapat dilihat seperti pada Gambar 5.

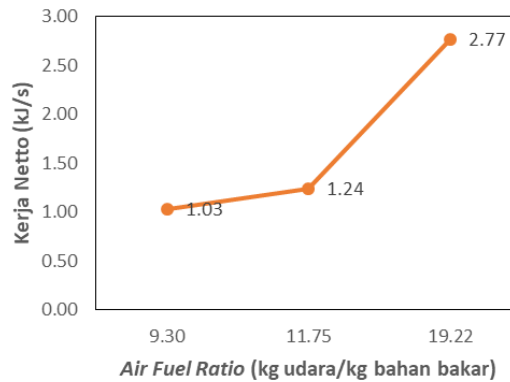


Gambar 5. Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kerja turbin

Nilai kerja turbin tertinggi didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 19.22 sebesar 2.81 kJ/s dan nilai kerja turbin terendah didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 9.30 sebesar 1.13 kJ/s. Kenaikan nilai kerja turbin dikarenakan oleh nilai laju aliran massa udara dan laju aliran massa bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar seiring dengan meningkatnya nilai *air fuel ratio*. Serta dikarenakan selisih entalpi udara masuk turbin dan entalpi udara keluar turbin.

4. Pengaruh *Air fuel ratio* Terhadap Kerja Netto

Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kerja netto dapat dilihat seperti pada Gambar 6.

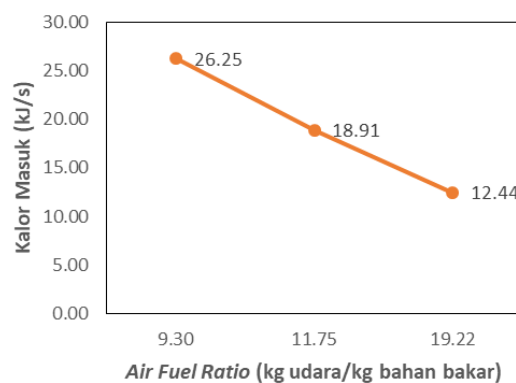


Gambar 6. Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kerja netto

Nilai kerja netto tertinggi didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 19.22 sebesar 2.76 kJ/s dan nilai kerja netto terendah didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 9.30 sebesar 1.02 kJ/s. Nilai kerja netto dipengaruhi oleh nilai kerja turbin dan nilai kerja kompresor. Kerja netto meningkat saat terjadi peningkatan laju aliran massa bahan bakar yang masuk, menyebabkan temperatur ruang bakar dan entalpi meningkat [12].

5. Pengaruh *Air fuel ratio* Terhadap Kalor Masuk

Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kalor masuk dapat dilihat seperti pada Gambar 7.

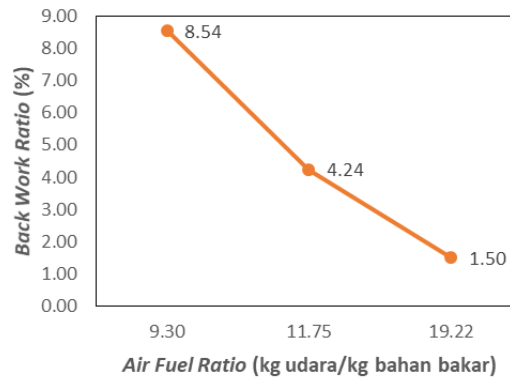


Gambar 7. Pengaruh *air fuel ratio* terhadap kalor masuk

Nilai kalor masuk tertinggi didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 9.30 sebesar 27.61 kJ/s dan nilai kalor masuk terendah didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 19.22 sebesar 12.44 kJ/s. Nilai kalor masuk dipengaruhi oleh nilai laju aliran massa bahan bakar.

6. Pengaruh *Air fuel ratio* Terhadap *Back work ratio*

Pengaruh *air fuel ratio* terhadap *back work ratio* dapat dilihat seperti pada Gambar 8.

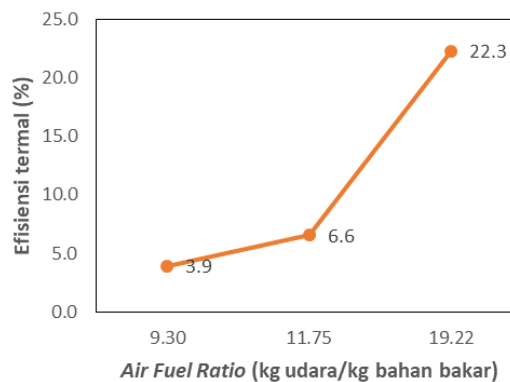


Gambar 8. Pengaruh *air fuel ratio* terhadap *back work ratio*

Nilai *back work ratio* tertinggi didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 9.30 sebesar 8.60 % dan nilai *back work ratio* terendah didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 19.22 sebesar 1.50 %. Nilai *back work ratio* dipengaruhi oleh perbandingan antara nilai kerja kompresor dan nilai kerja turbin.

7. Pengaruh *Air fuel ratio* Terhadap Efisiensi Termal

Pengaruh *air fuel ratio* terhadap efisiensi termal dapat dilihat seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh *air fuel ratio* terhadap efisiensi termal

Nilai efisiensi termal tertinggi didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 19.22 sebesar 24.0 % dan nilai efisiensi termal terendah didapatkan pada variasi *air fuel ratio* 9.30 sebesar 4.2 %. Nilai efisiensi termal dipengaruhi oleh perbandingan antara nilai kerja netto dan nilai kalor masuk. Rasio kompresi udara mempengaruhi efisiensi termal pada turbin gas, semakin besar rasio kompresi yang dihasilkan oleh kompressor menyebabkan efisiensi termal meningkat [13].

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Pada penelitian pengaruh *air fuel ratio* 9.30; 11.75; dan 19.22 terhadap kerja kompresor, semakin tinggi nilai *air fuel ratio* menyebabkan nilai kerja kompresor semakin menurun sedangkan nilai kerja turbinnya meningkat. Sehingga nilai kerja netto akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai *air fuel ratio* dikarenakan selisih nilai kerja turbin dan kerja kompresor yang besar.
2. Semakin tinggi nilai *air fuel ratio* maka semakin turun nilai *back work ratio* yang dihasilkan.

3. Semakin tinggi nilai *air fuel ratio* maka nilai efisiensi termalnya akan semakin meningkat.

Adapun saran yang diberikan setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Melakukan *maintenance* alat turbin gas mikro agar hasil yang didapatkan bisa maksimal.
2. Membuat turbin gas bertingkat sehingga kalor yang terbuang dapat dimanfaatkan kembali.
3. Menambahkan *cooler* pada turbin gas mikro agar tidak terjadi *overheat*.

REFERENSI

- [1] Lee, J. J., Yoon, J. E., Kim, T. S., & Sohn, J. L. (2007). Performance test and component characteristics evaluation of a micro gas turbine. *Journal of Mechanical Science and Technology*, volume 21, 141–152. <https://doi.org/10.1007/BF03161720>
- [2] Hermawan, R., Prasetyo, E., Rhakasywi, D., Artanto, A., & Pane, E. (2017). Analisa Perancangan Ruang Bakar Pada Pembangkit Listrik Mikro Turbin Gas Bahan Bakar LPG. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, TM-008*, 1–12.
- [3] Renzi, M., Caresana, F., Pelagalli, L., & Comodi, G. (2014). Enhancing micro gas turbine performance through fogging technique: Experimental analysis. *Applied Energy*, volume 135, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.084>
- [4] Prasetyo, E., Hermawan, R., Putra, A. L., & Zariatn, D. L. (2017). Fluid Flow Analysis of Micro Gas Turbine using Computational Fluid Dynamics (CFD). *Journal Online Jaringan COT POLIPD*, Volume 11, 576–582. <https://www.researchgate.net/publication/323308364>
- [5] Qardhawi, Y., Ghaffar, N., Prasetyo, E., Hermawan, R., & Pane, E. A. (2021). Analisis Kinerja Mikro Turbin Gas Bahan Bakar LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). *Rekayasa*, 14(3), 393–400. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i3.12230>
- [6] Puspawan, A., Sulthan, R., Suandi, A., & Witanto, Y. (2023). Pengaruh *Air fuel ratio* (*Afr*) Terhadap Efisiensi Turbin Gas Pada Pltgu Unit 2 PT. PLN (Persero) Keramasan Palembang-Provinsi Sumatera Selatan. *Teknosia*, 17(1), 56–62. <https://ejournal.unib.ac.id/index.php/teknosia>
- [7] Kusnadi, Arifin, M., Darussalam, R., & Rajani, A. (2016). Rancangan Mikro Gas Turbin Berbahan Bakar Biogas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Biomass Berkapasitas 2,5 Kw, Studi Kasus:Ciparay Bandung. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 67–72. <https://doi.org/10.21009/0305020613>
- [8] Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2014). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (L. Ratts, H. Ellis, W. Ashenberg, T. Lindner, & K. Pepper, Eds.; 8th ed.). Don Fowley.
- [9] Annur, M. N. (2017). Pengaruh Variasi Beban Terhadap Performa Turbin Gas di PLTGU GT 1.3 PT. Indonesia Power Grati, Pasuruan. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [10] Raman, P., Ram, N. K., & Gupta, R. (2013). *A dual fired downdraft gasifier system to produce cleaner gas for power generation: Design, development and performance analysis*. *Energy*, volume 54, 302–314. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.019>
- [11] Mallombasang, A., Djafar, Z., & Piarah, W. H. (2021). Utilization of Gasoline Fuel as an Alternative Fuel for LPG Substitution. *EPI International Journal of Engineering*, 3(2), 138–142. <https://doi.org/10.25042/epi-ije.082020.08>
- [12] Khan, M. N. 2020. Energy And Exergy Analyses Of Regenerative Gas Turbine Air-Bottoming Combined Cycle: Optimum Performance. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 45(7):5895–5905.
- [13] Shukla, A. K. dan O. Singh. 2014. Effect of compressor inlet temperature & relative humidity on gas turbine cycle performance. *International Journal of Science and Engineering*. 5(5):664–671.

- [14] Capata, R., Kylykbashi, K., Calabria, A., & Veroli, M. di. (2016). Experimental Tests on a Pre-Heated Combustion Chamber for Ultra Micro Gas Turbine Device: Air/Fuel Ratio Evaluation. *Engineering*, 08(11), 789–805. <https://doi.org/10.4236/eng.2016.811071>.
- [15] Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics an Engineering Approach* (B. Stenquist, Ed.; Eighth Edition). McGraw-Hill Education.