

## PENGARUH AIR FUEL RATIO (AFR) TERHADAP EFISIENSI TURBIN GAS PADA PLTGU UNIT 2 PT. PLN (PERSERO) KERAMASAN PALEMBANG-PROVINSI SUMATERA SELATAN

Angky Puspawan<sup>1\*</sup>, Rifki Sulthan<sup>2</sup>, Agus Suandi<sup>3</sup>, Yovan Witanto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

\*) Email : [apuspawan@unib.ac.id](mailto:apuspawan@unib.ac.id),

### Informasi Naskah:

Diterima:

24 – 03 – 2023

Direvisi:

22 – 05 – 2023

Disetujui Terbit:

29 – 06 – 2023

Diterbitkan:

Cetak

11 – 07 – 2023

Online

11 – 07 – 2023

**Abstract:** Gas turbine efficiency is an indicator to determine the performance of a generator. The greater the efficiency value of the gas turbine in a generator, the better the performance of the generator. One of the things that affect the value of the efficiency of a gas turbine is the air fuel ratio. Air Fuel Ratio (AFR) is the ratio of the amount of air and fuel in the combustion process in units of mass or volume. Air fuel ratio is a factor that affects the perfection of the combustion process in the combustion chamber. In the graphic image it can be seen that the lowest AFR values are on July 3 and 4 2022, when the gas turbine produces a loading of 20900 kW and 20100 kW with an AFR value of 39.76 unitless each. Whereas the highest AFR value is on June 28 2022 when the gas turbine produces a loading of 20780 kW with an AFR value of 40.68 unitless. The highest gas turbine efficiency value is on June 30, 2022, at a loading of 20,650 kW with a gas turbine efficiency of 83.3%. The lowest efficiency value is on July 2, 2022, at a load of 20,800 kW with a gas turbine efficiency of 81.05%. From the results of existing data processing and graphs, it can be seen that the value of the air fuel ratio and the efficiency of the gas turbine are inversely proportional, which means that when the value of the air fuel ratio decreases, the value of the efficiency of the gas turbine tends to increase. However, there are some deviations when the value of the air fuel ratio decreases, the efficiency of the gas turbine also decreases. Therefore it can be concluded that the value of the air fuel ratio affects the value of the efficiency of the gas turbine, however, the value of the air fuel ratio is not the only factor that affects the value of the efficiency of the gas turbine.

**Keyword:** : *air fuel ratio, gas turbine efficiency*

**Abstrak:** Efisiensi turbin gas merupakan salah satu indikator untuk mengetahui performa suatu pembangkit. Semakin besar nilai efisiensi turbin gas pada suatu pembangkit maka semakin baik juga performa dari pembangkit tersebut. Salah satu hal yang mempengaruhi nilai efisiensi dari suatu turbin gas adalah *air fuel ratio*. *Air Fuel Ratio (AFR)* merupakan perbandingan jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran dalam satuan massa atau volume. *Air fuel ratio* adalah faktor yang mempengaruhi kesempurnaan proses pembakaran di dalam ruang bakar. Pada gambar grafik dapat dilihat bahwa nilai AFR terendah ada pada tanggal 3 dan 4 Juli 2022, saat turbin gas menghasilkan pembebanan sebesar 20900 kW dan 20100 kW dengan nilai AFR masing - masing sebesar 39,76 *unitless*. Sedangkan untuk nilai AFR tertinggi ada pada tanggal 28 Juni 2022 saat turbin gas menghasilkan pembebanan sebesar 20780 kW dengan nilai AFR sebesar 40,68 *unitless*. Untuk Nilai efisiensi turbin gas tertinggi ada pada tanggal 30 Juni 2022, pada pembebanan 20650 kW dengan efisiensi turbin gas sebesar 83,3%. Nilai efisiensi terendah ada pada tanggal 2 Juli 2022, pada pembebanan sebesar 20800 kW dengan efisiensi turbin gas

sebesar 81,05%. Dari hasil pengolahan data yang ada dan grafik bisa dilihat bahwa nilai *air fuel ratio* dan efisiensi turbin gas berbanding terbalik yang berarti pada saat nilai *air fuel ratio* menurun, nilai efisiensi turbin gas cenderung meningkat. Akan tetapi, ada beberapa penyimpangan pada saat nilai *air fuel ratio* mengalami penurunan, efisiensi turbin gas juga mengalami penurunan. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa nilai dari *air fuel ratio* mempengaruhi nilai dari efisiensi turbin gas, namun, nilai *air fuel ratio* bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi nilai dari efisiensi turbin gas.

**Kata Kunci:** *air fuel ratio*, efisiensi turbin gas

## PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia yang sangat penting untuk menunjang kegiatan sehari-hari. Diikuti dengan kemajuan teknologi serta laju pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan tenaga listrik kian meningkat setiap tahunnya. Tentu perusahaan pembangkit listrik harus dapat mengimbangi permintaan tersebut. Hal ini tentu menjadi perhatian yang serius dan diperlukan upaya agar dapat memanfaatkan energi dengan lebih aman dan efisien.

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi yaitu dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi, hal itu dapat dilakukan dengan cara menerapkan model *combine cycle* yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. Istilah *combine cycle* dalam pembangkit listrik siklus gabungan terdiri dari dua siklus termodinamika dalam satu pembangkit. Dengan menggabungkan dua siklus, efisiensi dapat ditingkatkan dibandingkan Pembangkit Listrik Satu Siklus. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) atau pembangkit jenis *combine cycle* adalah gabungan antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pada PLTGU gas buang yang dikeluarkan oleh cycle PLTG akan dimanfaatkan untuk cycle PLTU. *Heat recovery steam generator* atau yang disingkat HRSG merupakan suatu komponen penting dalam PLTGU yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang<sup>[1]</sup>.

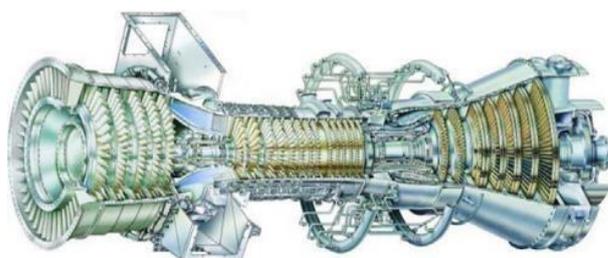
Efisiensi turbin gas merupakan salah satu indikator untuk mengetahui performa suatu pembangkit. Semakin besar nilai efisiensi turbin gas pada suatu pembangkit maka semakin baik juga

performa dari pembangkit tersebut. Salah satu hal yang mempengaruhi nilai efisiensi dari suatu turbin gas adalah *air fuel ratio* (AFR). *Air Fuel Ratio* (AFR) merupakan perbandingan jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran dalam satuan massa atau volume. *Air fuel ratio* adalah faktor yang mempengaruhi kesempurnaan proses pembakaran di dalam ruang bakar<sup>[2]</sup>.

## TINJUAN PUSTAKA

### Turbin Gas

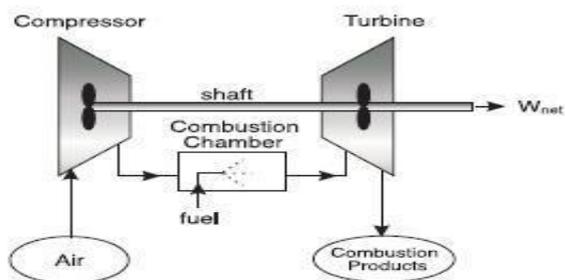
Turbin gas adalah adalah komponen pada pembangkit listrik yang menggunakan gas panas hasil pembakaran pada ruang bakar untuk bergerak. Di dalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan turbin sehingga menghasilkan daya. Bagian turbin yang berputar disebut rotor atau roda turbin, dan bagian turbin yang diam disebut stator atau rumah turbin. Rotor memutar poros daya yang terhubung dengan generator listrik dan kompresor. Turbin gas dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Turbin Gas Siklus Brayton pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas <sup>[3]</sup>.

Pembangkit listrik tenaga gas adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan gas suhu tinggi dan

tekanan tinggi untuk memutar sudu turbin yang satu poros dengan generator untuk menghasilkan listrik. Tujuan utama turbin gas adalah untuk bisa beroperasi dengan parameter optimal untuk menawarkan efisiensi maksimum sambil menggunakan konsumsi bahan bakar terendah selama operasi dalam kondisi lingkungan yang ada. Udara dan bahan bakar bereaksi membentuk gas, menghasilkan energi mekanik, dan kemudian menghasilkan energi listrik. Bahan bakar yang digunakan di pembangkit turbin gas biasanya solar dan gas alam cair atau *Liquid Natural Gas (LNG)*. Proses pembakaran yang baik di ruang bakar membutuhkan 3 (tiga) komponen utama yaitu udara pembakaran, bahan bakar, panas<sup>[4]</sup>. Prinsip kerja turbin gas dapat dilihat pada Gambar 2



**Gambar 2.** Prinsip kerja Turbin gas.

Udara yang digunakan untuk pembakaran pertama-tama masuk melalui *inlet air filter* untuk disaring dan masuk ke kompresor. Udara yang masuk kompresor dikompresi dalam 17 tahap atau *stage*, menyebabkan temperatur dan tekanan udara naik. Kemudian udara masuk ke ruang bakar atau *combustion chamber*. Pembakaran terjadi di ruang bakar, meningkatkan suhu gas, yang kemudian memasuki turbin untuk menggerakkan sudu dan memutar generator<sup>[5]</sup>.

### Parameter Perhitungan

#### A. Enthalphy

Nilai *enthalpy* didapat dari tabel ideal gas properties of air pada buku *fundamentals of engineering thermodynamics*<sup>[6]</sup>. Adapun rumus interpolasi dapat digunakan untuk membantu mencari *enthalpy*. Rumus

*interpolasi* dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\frac{T_n - T_x}{T_n - T_y} \times \frac{h_n - h_x}{h_y - h_x} \dots \dots \dots (2.1)$$

#### B. Air Fuel Ratio (AFR)

*Air Fuel Ratio (AFR)* merupakan perbandingan jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran dalam satuan massa atau volume.

$$\frac{A}{F} = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bb}} \dots \dots \dots (2.2)$$

kita ketahui bahwa rumus  $\dot{W}_{nett}$  adalah sebagai berikut :

$$\dot{W}_{nett} = \dot{W}_{GT} - \dot{W}_C = \frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} = (\dot{m}_{bb} + \dot{m}_{udara})(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \dot{m}_{udara}(h_{out,com} - h_{in,com}) \dots \dots \dots (2.4)$$

Maka dengan mensubsitusikan persamaan diatas maka didapati nilai *air fuel ratio* sebagai berikut :

$$\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} = \left(1 + \left(\frac{A}{F}\right)\right) \dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \left(\frac{A}{F}\right) \dot{m}_{bb}(h_{out,com} - h_{in,com}) \dots \dots \dots (2.5)$$

Maka :

$$\frac{A}{F} = \frac{\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} - \dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb})}{\dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \dot{m}_{bb}(h_{out,com} - h_{in,com})} \dots \dots \dots (2.6)$$

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dipakai untuk mendapatkan data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut yaitu dengan melakukan pengamatan (*observasi*) dan mempelajari proses pengoperasian turbin gas PLTGU unit 2. Wawancara langsung dengan pihak Sumber Daya Manusia (SDM), bagian mekanik dan operator serta pihak-pihak lain yang bersangkutan. Studi literatur dari buku-buku dan jurnal-jurnal yang terkait dengan penelitian ini. Melakukan pengukuran dan pengolahan data-data lapangan maupun dari data *logsheet*.

#### Diagram Alir Penelitian

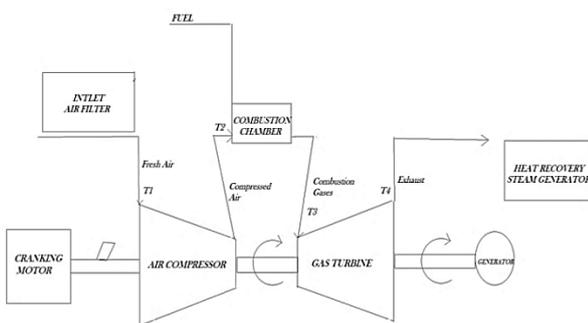
Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Diagram Alir Penelitian dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

### Skema Instalasi

Skema instalasi PLTG Unit I di PT. PLN (Persero) UDK Keramasan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Instalasi PLTG Unit 2

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Data Penelitian

Analisis nilai AFR terhadap efisiensi termal turbin gas PLTGU Unit 2 PT PLN (Persero) UDK Keramasan bersumber dari logsheet performa PLTGU Unit 2 tanggal

28 Juni 2022 sampai tanggal 04 Juli 2022 yang diperoleh dari ruang Operasi dan Pengamatan (OPHAR) PT PLN (Persero) UDK Keramasan. Logsheets Turbin Gas PLTGU Unit 2. Dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

Tanggal	Temperatur (°C)				Ẇ (MW)	Q̇ (m³/s)	Specific Gravity (sg)	η <sub>gen</sub> (%)	η <sub>gt</sub> (%)
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>					
28/06/22	28,16	389,67	1118,30	576,82	21,35	2,602	0,615	0,98	82,97
29/06/22	27,18	389,33	1118,26	576,95	21,20	2,602	0,615	0,98	82,94
30/06/22	28,89	391,32	1120,00	576,95	21,32	2,588	0,615	0,98	83,30
01/06/22	27,21	389,66	1119,62	577,03	21,39	2,602	0,615	0,98	83,25
02/06/22	27,62	388,51	1116,39	576,82	20,90	2,629	0,615	0,98	81,05
03/06/22	28,95	392,16	1116,12	576,85	20,97	2,602	0,615	0,98	82,95
04/06/22	29,98	393,33	1116,55	577,96	20,80	2,602	0,615	0,98	82,83

### Perhitungan Data Pengujian

#### A. Perhitungan Air Fuel Ratio (AFR)

Setelah didapatkan hasil dari nilai entalpi dan laju aliran massa bahan bakar, maka dapat dilakukanlah perhitungan AFR. Air fuel ratio (AFR) merupakan perbandingan antara mass flow rate udara dan mass flow rate bahan bakar. Dapat dilihat sebagai berikut :

$$\frac{A}{F} = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bb}}$$

Diketahui bahwa :

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{GT} - \dot{W}_C = \frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}}$$

$$\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} = (\dot{m}_{bb} + \dot{m}_{udara})(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \dot{m}_{udara}(h_{out,com} - h_{in,com})$$

$$\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} = \left(1 + \left(\frac{A}{F}\right)\right)\dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \left(\frac{A}{F}\right)\dot{m}_{bb}(h_{out,com} - h_{in,com})$$

Maka didapatkan :

$$\frac{A}{F} = \frac{\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} - \dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb})}{\dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \dot{m}_{bb}(h_{out,com} - h_{in,com})}$$

Dengan mengambil sampel data pada tanggal 28 Juni 2022, maka perhitungan air fuel ratio adalah sebagai berikut :

$$\frac{A}{F} = \frac{\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} - \dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb})}{\dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \dot{m}_{bb}(h_{out,com} - h_{in,com})}$$

$$\frac{A}{F} = \frac{\frac{21350 \text{ kW}}{0,98\%} - 1,92 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1504,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 876,97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}{1,92 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1504,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 876,97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) - 1,92 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (673,32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 301,36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}$$

$$\frac{A}{F} = 41,86 \text{ (Unitless)}$$

### A. Menghitung Load Turbin Gas

Setelah mendapatkan nilai Air Fuel Ratio (AFR) maka kita bisa mendapatkan nilai dari laju aliran massa udara. Maka perhitungannya menggunakan persamaan berikut :

$$\dot{m}_{udara} = \frac{A}{F} \times \dot{m}_{bb}$$

$$\dot{m}_{udara} = 41,86 \text{ unitless} \times 1,92 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{udara} = 80,37 \text{ kg/s}$$

Untuk mendapatkan nilai beban turbin ( $W_t$ ) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$W_t = \dot{m}_g (h_{in,turb} - h_{out,turb})$$

Namun sebelum menentukan nilai daya turbin gas, maka diperlukan  $\dot{m}_g$  yang dapat dicari dengan persamaan :

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{udara} + \dot{m}_{bb}$$

Dengan mengambil sampel data perhitungan tanggal 28 Juni 2022, dengan  $\dot{m}_{udara} = 78,10 \text{ kg/s}$  dan  $\dot{m}_{bb} = 1,92 \text{ kg/s}$  maka perhitungan sebagai berikut :

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{udara} + \dot{m}_{bb}$$

$$\dot{m}_g = 80,37 \text{ kg/s} + 1,92 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_g = 82,29 \text{ kg/s}$$

Maka perhitungan beban turbin gas adalah :

$$W_t = \dot{m}_g (h_3 - h_4)$$

$$W_t = 82,29 \text{ kg/s} (1504,99 \text{ kJ/kg} - 876,97 \text{ kJ/kg})$$

$$W_t = 51679,76 \text{ kW}$$

### Data Hasil Analisa

Data hasil perhitungan/ analisa dapat dilihat pada Tabel 2.

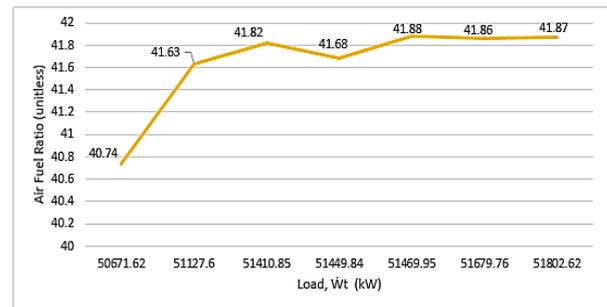
Tabel 2. Data Analisis

Tanggal	$W_t$ (kW)	$\eta_{gt}$ (%)	AFR (Unitless)
28/06/2022	51679,76	82,97	41,86
29/06/2022	51449,84	82,94	41,68
30/06/2022	51469,95	83,30	41,88
01/07/2022	51802,62	83,25	41,87
02/07/2022	50671,62	81,05	40,74
03/07/2022	51410,85	82,95	41,82
04/07/2022	51127,60	82,83	41,63

### Pembahasan

#### Hubungan Load per Hari dengan Air Fuel Ratio (AFR)

Hubungan antara load per hari dengan air fuel ratio diilustrasikan melalui grafik pada Gambar 5.

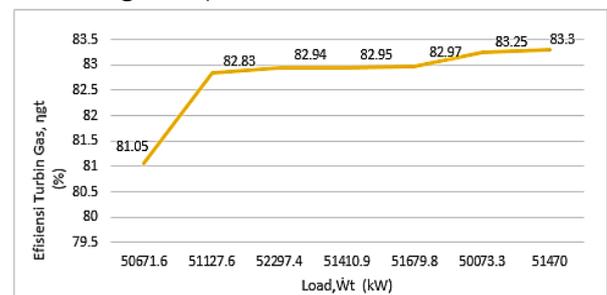


Gambar 5. Grafik Hubungan load Turbin Gas per Hari dengan (AFR)

Hubungan antara air fuel ratio terhadap beban turbin gas yang dihasilkan setiap harinya dapat dilihat pada gambar grafik 5. Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai AFR tertinggi ada pada tanggal 30 Juni 2022, saat turbin gas menghasilkan load sebesar 51469,95 kW dan dengan nilai AFR sebesar 41,88 unitless. Sedangkan untuk nilai AFR terendah ada pada tanggal 02 Juli 2022 saat turbin gas menghasilkan load sebesar 50671,62 kW dengan nilai AFR sebesar 40,74 unitless.

#### Hubungan Efisiensi per Hari dengan Load Turbin Gas

Hubungan antara efisiensi per hari dengan load turbin gas diilustrasikan melalui grafik pada Gambar 6.



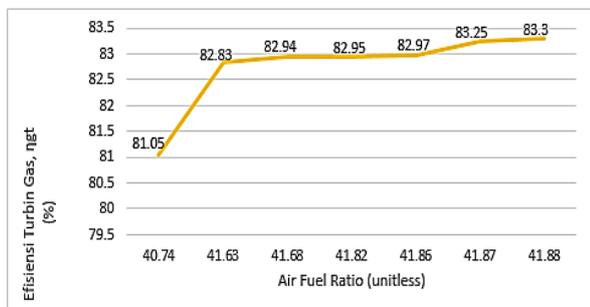
Gambar 6. Grafik Hubungan Efisiensi Turbin Gas per Hari dengan Load Turbin Gas

Dari gambar grafik 6. dapat dilihat hubungan antara load per hari dengan efisiensi turbin gas. Nilai efisiensi turbin gas tertinggi ada pada tanggal 30 Juni 2022, dengan load sebesar 51469,95 kW menghasilkan efisiensi turbin gas sebesar 83,3%. Nilai efisiensi terendah ada pada tanggal 02 Juli 2022, dengan load sebesar

50671,62 kW menghasilkan efisiensi turbin gas sebesar 81,05%.

### Hubungan Air Fuel Ratio (AFR) dengan Efisiensi Turbin Gas

Hubungan antara *air fuel ratio* dengan efisiensi turbin gas diilustrasikan melalui grafik pada gambar 7.



**Gambar 7.** Hubungan Efisiensi Turbin Gas dengan Air Fuel Ratio

Gambar grafik 7. menunjukkan hubungan *air fuel ratio* dengan efisiensi turbin gas. Grafik menunjukkan bahwa *air fuel ratio* dan efisiensi turbin gas cenderung meningkat. Dapat dilihat pada Tanggal 02 Juli 2022, nilai *air fuel ratio* berada pada nilai terendah dengan nilai 40,74 dan menghasilkan nilai efisiensi turbin gas tertinggi yaitu 81,05%. Dan nilai AFR tertinggi pada tanggal 30 Juni 2022 dengan nilai 41,88 *unitless* dan menghasilkan nilai efisiensi turbin gas sebesar 83,3%.

Dari hasil analisa, perhitungan dan pengolahan data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa nilai *load* cenderung berbanding lurus dengan nilai *air fuel ratio* dan efisiensi turbin gas namun ada sedikit penyimpangan yang membuat grafik tidak stabil yang berarti nilai *load* bukanlah satu – satunya faktor yang mempengaruhi nilai AFR dan efisiensi turbin gas. Dan dari hasil analisa tersebut didapat bahwa nilai AFR berbanding lurus dengan efisiensi turbin gas yang berarti nilai AFR mempengaruhi tinggi rendahnya nilai efisiensi suatu turbin gas. Dapat disimpulkan juga bahwa nilai AFR mempengaruhi temperatur gas setelah terjadi pembakaran. Nilai AFR yang semakin rendah cenderung menghasilkan temperatur gas setelah pembakaran ( $T_3$ ) yang lebih tinggi.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan pembahasan dan analisa yang telah dilakukan adalah nilai *load* turbin gas yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai AFR dan efisiensi turbin gas yang didapat. Namun terdapat beberapa penyimpangan yang membuat grafik tidak stabil yang berarti bahwa nilai *load* yang dihasilkan bukanlah satu - satunya faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya suatu nilai AFR dan efisiensi turbin gas. Dari hasil analisa juga didapat 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. Maka dapat disimpulkan juga bahwa nilai *Air Fuel Ratio* (AFR) mempengaruhi tinggi rendahnya nilai efisiensi suatu turbin gas.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan berbahagia ini penulis menyampaikan dan mengucapkan terima kasih kepada pihak PT. PLN (Persero) UPDK Keramasan, Palembang, Provinsi Sumatra Selatan dan Institusi Program Studi Teknik Mesin FT UNIB atas izin dan kesempatan yang diberikan dan kerjasama yang baik dalam melakukan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fadillah, Dimas Dinalda. (2020). "Analysis of The Comparative Unit 2.3 Gas Turbine Performance Before and After Combustor Maintenance with The Commissioning Condition in PLTGU Gresik". Skripsi. Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi. STT-PLN: Jakarta
- Fahmi, Al-Tekreeti W. K., et al. (2022). "A comprehensive review on mechanical failures cause vibration in the gas turbine of combined cycle power plants". Department of Mechanical and Instrumental Engineering. RUDN University. Engineering Failure Analysis.
- Jamaludin, dan Iwan Kurniawan. (2017). "Analisis Perhitungan Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap pada Unit 1 dan Unit 2 di PY.

*Indonesia Power Uboh UJP 3 Lontar*".  
Banten.

- Moran, Michael J., dan Howard N. Shapiro. (2006). "Fundamentals of engineering thermodynamics: SI version". Great Britain: Scotprint, East Lothian
- Sunarwo, Teguh Harijono M. (2016). "Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum dan Setelah Overhaul Combustor Inspection di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon". Jurnal Teknik Energi. Vol 12. No. 2, 50-57
- Syammery, Rakha. Hendri. Lukfianto. (2020). "Analisis Efisiensi Turbin Gas Tipe V94.2 Sebelum dan Sesudah Minor Inspection Pada Blok 4 Unit 3 Pltgu Muara Tawar". Jurnal Power Plant. Vol 8 No.2.
- Yusron, Ahmad. dan Danang Dwi Saputro. (2018). " Analisa Performa Heat Recovery Steam generator Sebelum dan Sesudah Cleaning di PT Indonesia Power Tambak Lorol Semarang Menggunakan Software Mat.
- Hendra Dwipayana, M Alf Akbar Baraf. 2019. Analisis Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas TM 2500 Jakabaring Unit 2 dan Unit 3 pada waktu beban puncak, TEKNIKA: Jurnal Teknik: Vol 6 No 2
- Boyce, P. Mehewan. 2012. Gas Turbine Engineering Handbook 4th Edition. The boyce Consultancy Fellow, American Society of Mechanical Engineers (ASME). United Kingdom.
- V. Ganesan. 2010. Gas turbines 3rd edition. Tata McGraw-Hill. New delhi.
- Michael J. Moran and Howard N. Shapiro. 2014. Fundamental Engineering Thermodynamic. Wiley. USA.
- Firmansyah. Fikri Logi. 2017. Analisa Perbandingan Performa Turbin Gas PLTGU unit 1.2 dan 1.3 pada beban 50 MW dan 100 MW. Insitut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.