

# PENGARUH AIR FUEL RATIO (AFR) TERHADAP EFISIENSI TURBIN GAS

## *Effect Air Fuel Ratio (AFR) On Efficiency Of Gas Turbine*

Rifki Sulthan, Angky Puspawan\*, Agus Nuramal

Program Studi. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, Indonesia, 38371

\*) Email : apuspawan@unib.ac.id

### 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.

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

## 1. 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 *HRS* merupakan suatu komponen penting dalam PLTGU yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang<sup>[1]</sup>.

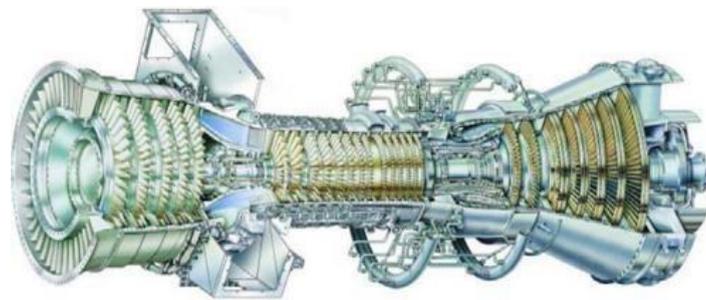
Efisiensi turbin gas merupakan salah satu indikator untuk mengetahui performa suatu pembangkit. Semakin besar nilai efisiensi turbin gas pada suatu pembangkit maka semakin baik juga performa dari pembangkit tersebut. Salah satu hal yang mempengaruhi nilai efisiensi dari suatu turbin gas adalah *air fuel 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>.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Turbin Gas

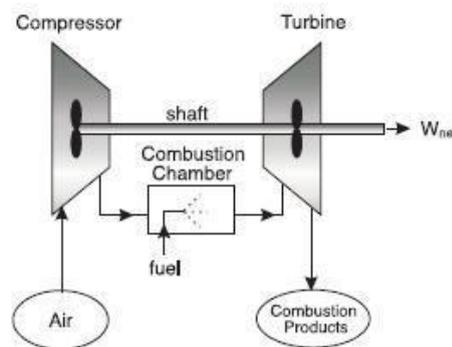
Turbin gas adalah komponen pada pembangkit listrik yang menggunakan gas panas hasil pembakaran pada ruang bakar untuk bergerak. Di dalam turbin gas energy kinetic dikonversikan menjadi energy mekanik

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 [3]

Pembangkit listrik tenaga gas adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan gas suhutinggiantekanan tinggi untuk memutar sudu turbin yang satu poros dengan generator untuk menghasilkan listrik. Tujuan utama turbin gas adalah untuk bias 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 energy mekanik, dan kemudian menghasilkan energy 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 [4]. 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 [5].

## 2.2 Parameter Perhitungan

### A. Enthalphy

Nilai *enthalpy* didapat dari table ideal gas [6]. 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 :

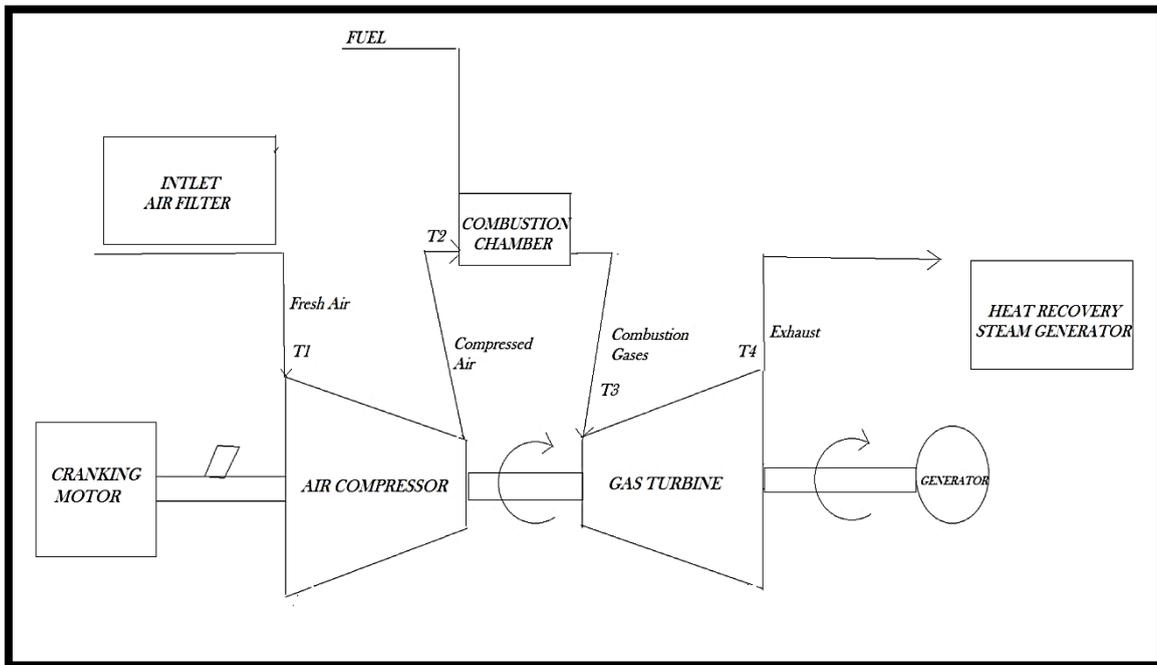
$$\frac{\dot{W}_{gen}}{\eta_{gen}} = \left(1 + \left(\frac{A}{F}\right)\right) \dot{m}_{bb}(h_{in,turb} - h_{out,turb}) - \left(\frac{A}{F}\right) \dot{m}_{bb}(h_{out,com} - h_{in,com}) \dots\dots\dots(2.5)$$

Maka :

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

### 3. METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini sebagai berikut: Mengamati dan mempelajari proses pengoperasian turbin gas PLTGU unit 2. Wawancara langsung dengan pembimbing lapangan, bagian mekanik dan operator serta pihak-pihak lain yang bersangkutan, Studi literature dari buku-buku dan jurnal-jurnal yang terkait dengan penelitian ini, Membaca dan melakukan pengolahan data-data lapangan maupun dari data *logsheet*. Skema instalasi PLTG Unit I di PT. PLN (Persero) UPDK Keramasan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Skema Instalasi PLTG Unit 2

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Penelitian

Analisis nilai *AFR* terhadap efisiensi termal turbin gas PLTGU Unit 2 PT PLN (Persero) UPDK Keramasan bersumber dari *logsheet* performa PLTGU Unit 2 tanggal 28Juni 2022 sampai tanggal 04 Juli 2022 yang diperoleh dari ruang Operasi dan Pengamatan (OPHAR) PT PLN (Persero) UPDK Keramasan. *Log sheet* Turbin Gas PLTGU Unit 2. Dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

Tanggal	Temperatur <sup>o</sup> C				$\dot{W}$ MW	Q m <sup>3</sup> /s	Spesific Gravity (SG)	$\eta_{gen}$ %	$\eta_{gt}$ %
	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

#### 4.2 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 :

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

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

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

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:

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

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

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

##### B. Menghitung Load Turbin Gas

Setelah mendapatkan nilai Air Fuel Ratio (AFR) maka kita bias 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  $\dot{m}_{udara} = 78,10$  kg/s dan  $\dot{m}_{bb} = 1,92$  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 :

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

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

$$\dot{W}_t = 51679,76 \text{ kW}$$

### 4.3 Data Hasil Analisa

Data hasil perhitungan/analisa dapat dilihat pada Tabel 2.

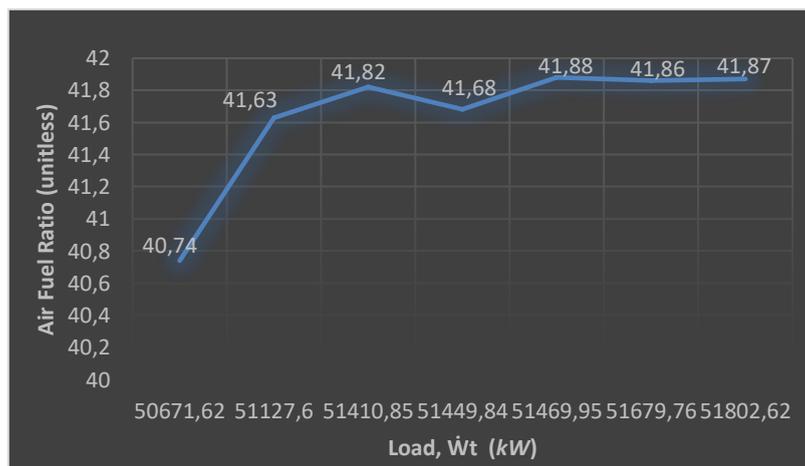
Tabel 2. Data Analisis

Tanggal	$\dot{W}_t$ (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

### 4.3 Pembahasan

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

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

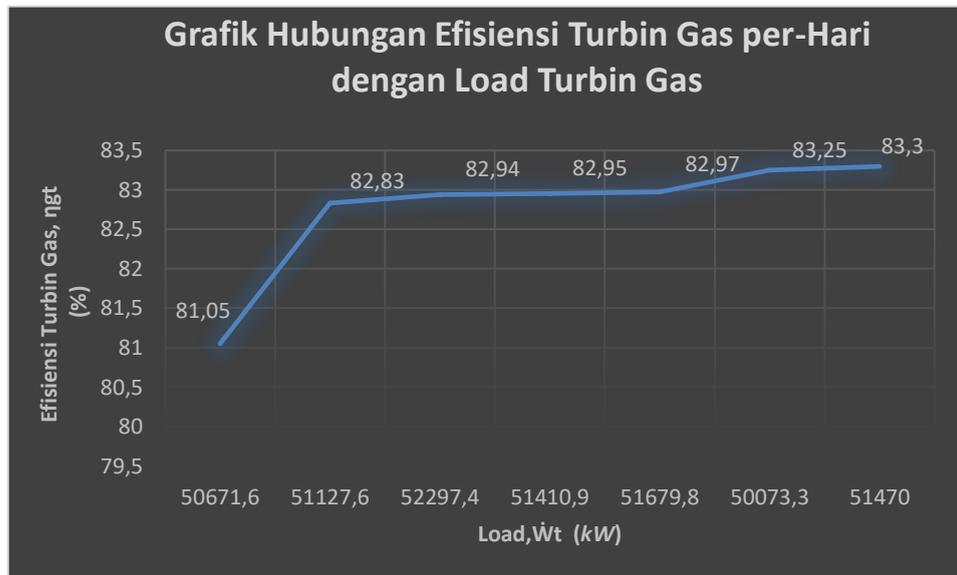


Gambar 5. Grafik Hubungan load Turbin Gas per Hari dengan (AFR)

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 51469,95kW 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 50671,62kW dengan nilai *AFR* sebesar 40,74 *unitless*.

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

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

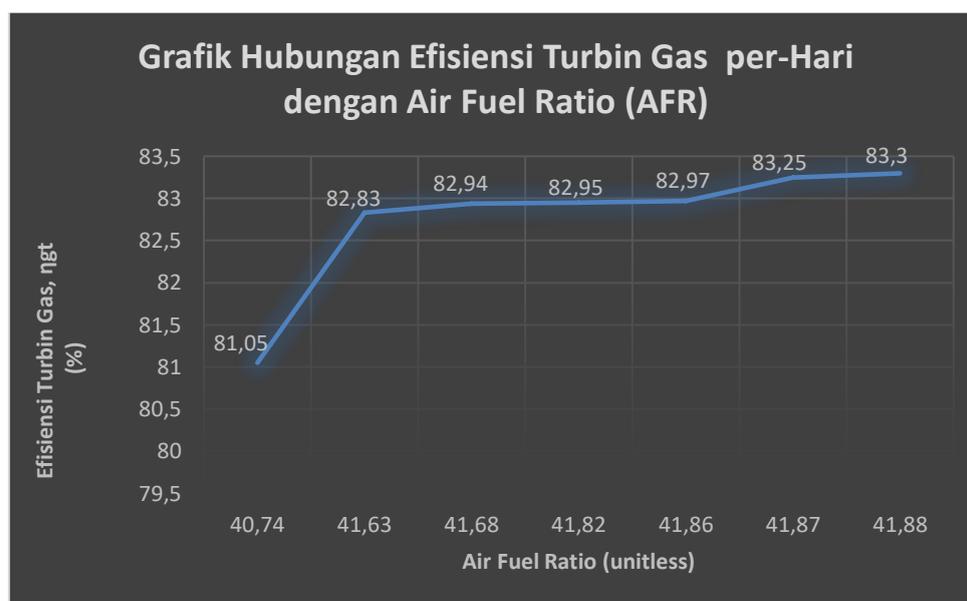


**Gambar 6.** Grafik Hubungan Efisiensi Turbin Gas per Hari dengan *Load* Turbin Gas

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

#### 4.3.3 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 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 (*T3*) yang lebih tinggi.

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan pembahasan dan analisa yangtelah 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.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fadillah,D. Dinalda. (2020). "*Analysis of The Comparative Unit 2.3 Gas Turbine Performance Before and After Combustor Maintenance with The Commisioning Condition in PLTGU Gresik*". Skripsi. Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi. STT-PLN: Jakarta
- [2] Fahmi, W.K Al-Tekreeti., Yunarwo (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.
- [3] Jamaludin, dan I. Kurniawan.(2017). "*Analisis Perhitungan Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap pada Unit 1 dan Unit 2 di PY. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar*".
- [4] Syammary, Rakha. H. 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.
- [5] Sunarwo,T.H. Harijono. (2016). "*Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum dan Setelah Overhaul Combustor Inspection di PT PLN (Persero) SektorPembangkitan PLTGU Cilegon*". Jurnal Teknik Energi. Vol 12. No. 2, 50-57
- [6] Moran, Michael., dan H.N. Shapiro. (2006). "*Fundamentals of engineering thermodynamics: SI version*". Great Britain: Scotprint, East Lothian.