

## Pengaruh Temperatur Inlet Kompresor Terhadap Kinerja Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

**Dianta Mustofa Kamal, Nadira Firbarini**

Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta  
Jalan Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425  
Email : dianta@pnj.ac.id

### Abstrak

*PLTG ini menggunakan mesin turbin gas sebagai penggerak generator untuk memproduksi listrik. Prinsip kerja turbin gas adalah mengubah energi panas dari hasil pembakaran antara bahan bakar, udara, dan pemantik menjadi energi mekanik dan selanjutnya menghasilkan energi listrik. Kinerja PLTG dipengaruhi oleh temperatur dan kelembapan udara pada inlet compressor. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan pengaruh perubahan temperatur udara masuk kompresor terhadap unjuk kerja peralatan PLTG di Lab Konversi Energi PNJ. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode eksperimental dengan mengkondisikan temperatur udara masuk kompresor. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa ketika temperatur udara pada inlet compressor menurun dari 33<sup>o</sup>C menjadi 16<sup>o</sup>C, nilai efisiensi PLTG pun meningkat sekitar 24,04 % dari 13,31% menjadi 37,35%, nilai konsumsi bahan bakarnya (SFC) menurun dari 574,6 g/kWh menjadi 204,7 g/kWh, Heat Rate pun menurun dari 27053,6 kJ/kWh menjadi 9638,5 kJ/kWh.*

*Kata kunci : Temperatur Inlet, Kinerja PLTG, Efisiensi, SFC, Heat Rate*

### 1. Pendahuluan

Salah satu sumber energi fosil yang digunakan sebagai bahan bakar utama di unit pembangkitan di Indonesia untuk menghasilkan listrik adalah pembangkit listrik yang bertenaga gas. PLTG ini menggunakan mesin turbin gas sebagai penggerak generator untuk memproduksi listrik. Prinsip kerja turbin gas adalah mengubah energi panas dari hasil pembakaran antara bahan bakar, udara, dan pemantik menjadi energi mekanik dan selanjutnya menghasilkan energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) memiliki beberapa komponen utama, yaitu *compressor*, *combustion chamber*, dan *gas turbine*. Banyak variabel yang mempengaruhi efisiensi dari PLTG, salah satunya adalah temperatur dan kelembapan udara pada *inlet compressor*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gilani (2011) menemukan bahwa pada saat temperatur udara *inlet compressor* rendah, performa gas turbin semakin baik. Temperatur udara *inlet compressor* ini juga mempengaruhi nilai konsumsi bahan bakar [1]. Selanjutnya Arbor dkk pada tahun 2017 ini mengatakan bahwa kenaikan nilai kelembapan dari 32% menjadi 60%, menyebabkan pembakaran yang terjadi di ruang bakar menjadi melambat [2]. Sebelumnya Fella pada tahun 2010, telah membuktikan bahwa meningkatnya temperatur *inlet compressor* dari 15 °C sampai 40 °C, efisiensi turbin gas menurun 8,3% dan menyebabkan meningkatnya *specific fuel consumption* dari 289.56 menjadi 315.91 g/kWh, yang dimana *specific fuel consumption* meningkat sampai 9,1% [3].

Hal inilah yang menjadi latar belakang penelitian ini dilakukan untuk menaikkan efisiensi PLTG dan menurunkan nilai konsumsi bahan bakar (*Specific Fuel Consumption*) dibutuhkanannya pendinginan udara sebelum *inlet compressor*. Maka penelitian ini bertujuan untuk membuktikan pengaruh temperatur dan kelembapan (kandungan air) udara saat memasuki *inlet compressor* terhadap *specific fuel consumption*, *heat rate* dan efisiensi PLTG.

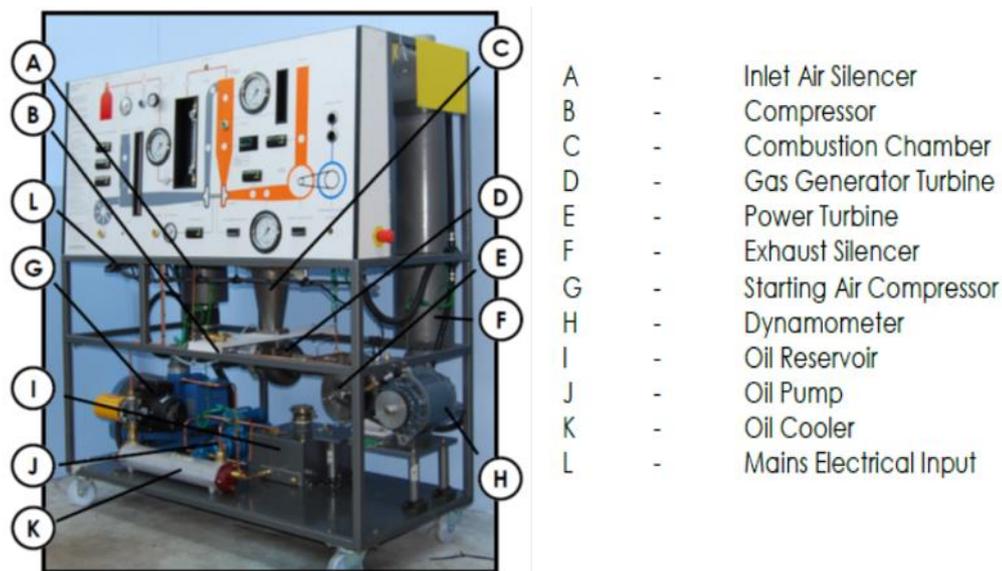
Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh perubahan temperatur udara *inlet compressor* terhadap performa PLTG Lab Konversi Energi PNJ.

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta menggunakan peralatan praktik Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG). Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- Kondisi 1 dimana temperatur udara *inlet compressor* merupakan temperatur udara lingkungan sekitar PLTG (*ambient temperature*) (Non-AC)
- Kondisi 2 dimana temperatur udara pada *inlet compressor* merupakan temperatur udara hasil pendinginan oleh *air conditioner* (AC).

Peralatan PLTG yang digunakan:



Gambar 1. Komponen Peralatan PLTG Lab Konversi Energi PNJ

Prinsip kerja pada PLTG Lab Konversi Energi PNJ ini adalah ketika starting awalnya menggunakan *starting air compressor* untuk membersihkan *combustion chamber* dari bekas pembakaran. Ketika putaran *gas generator turbine* sudah mencapai 1000 rev/s, *starting air compressor* atau *blower* ini dimatikan. Udara lingkungan akan masuk melalui *Inlet Air Silencer* sebagai pengarah udara ke *compressor* untuk dimampatkan udaranya, agar menjadi udara bertekanan. Udara bertekanan ini mengalir menuju *combustion chamber* untuk dilakukannya pembakaran. Kemudian hasil pembakaran berupa campuran gas dan udara bertemperatur dan tekanan tinggi ini,

diekspansikan ke sudu-sudu di *gas generator turbine*. Keluaran *gas generator turbine* ini diekspansikan ke sudu-sudu di *power turbine*, dimana *power turbine* ini terkopel oleh *dynamometer*, sehingga menghasilkan daya listrik mekanik.

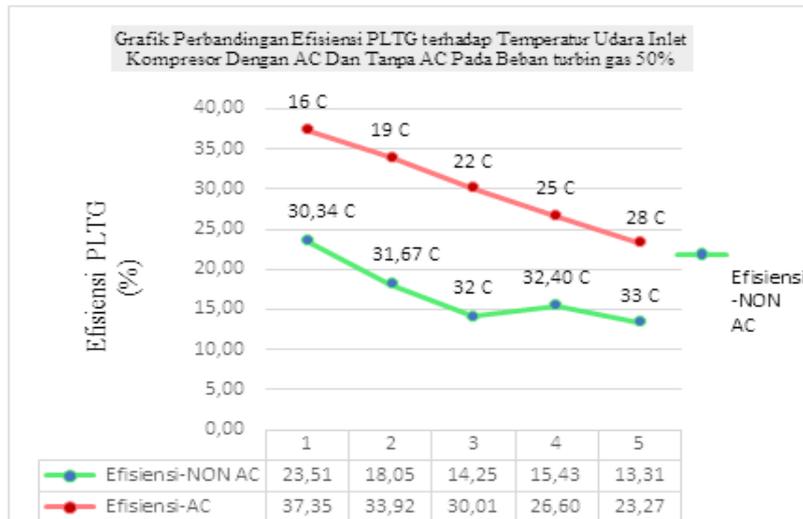
Data spesifikasi peralatan PLTG:

**Tabel 1. Spesifikasi PLTG**

Peralatan PLTG	Spesifikasi
<i>Merk</i>	<i>General Electric (GE)</i>
<i>Type</i>	<i>P9005 CUSSONS Two Shaft Gas Turbine Unit</i>
<i>Country of Origin</i>	<i>United Kingdom (UK)</i>
<i>Press. Gas</i>	150 kPa (1,5 Bar)
<i>Flow Gas</i>	0,4-3,3 gr/sec
<i>Inlet Air</i>	40 °C
<i>Speed Turbine</i>	800 rev/s
<i>Speed Gen.</i>	2000 rev/s
<i>Frequency</i>	50 Hz
<i>Voltage</i>	220/240 Volt
<i>Power</i>	5000 W
<i>Humidity</i>	80%

### 3. Hasil dan Pembahasan

Peralatan PLTG ini menggunakan bahan bakar gas LPG 50 kg dengan nilai LHV yang digunakan sebesar 47.081 KJ/kg. Gambar 2 dibawah ini menunjukkan variasi temperatur dengan beban turbin gas sebesar 50% terhadap nilai efisiensi PLTG.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Efisiensi PLTG Terhadap Temperatur Inlet Kompresor Antara Kondisi 1 (Non-AC) Dan Kondisi 2 (Dengan AC) Pada Beban Turbin Gas 50%

Dari Gambar 2 diatas, menjelaskan bahwa saat beban turbin gas 50% *trendline* yang terbentuk pada kondisi 1 (Non-AC) dan kondisi 2 (Dengan AC) adalah terjadinya penurunan efisiensi PLTG seiring dengan meningkatnya temperatur udara pada *inlet compressor*. Pada temperatur udara *inlet compressor* 32 °C dapat dilihat pada gambar diatas mengalami penurunan, hal ini dikarenakan pada temperatur 32°C, nilai *heat rate* nya meningkat. Dan didapatkan efisiensi tertinggi pada kondisi 2 (dengan AC) yaitu

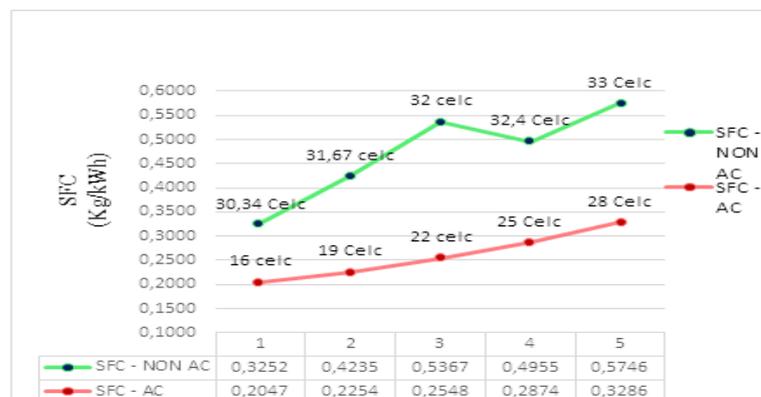
ketika temperatur udara *inlet compressor* diberi pendingin berupa *air conditioner* pada saat temperatur 16<sup>0</sup>C, efisiensi PLTG yang dicapai sebesar 37,35 %. Sedangkan efisiensi terendah didapatkan pada kondisi 1 (Non-AC) atau kondisi dimana udara yang masuk ke kompresor merupakan udara lingkungan dengan temperatur sebesar 33<sup>0</sup>C, efisiensi PLTG nya mencapai 13,31%.

Hal ini menunjukkan bahwa penurunan temperatur udara pada *inlet compressor* ini dapat meningkatkan efisiensi PLTG. Faktor yang mempengaruhi efisiensi PLTG salah satunya adalah temperatur udara pada *inlet compressor*. Pada saat temperatur udara yang masuk ke *inlet compressor* rendah, maka massa jenis dari udara masukan lebih rapat dari pada temperatur tinggi. Semakin rapat massa jenis udara yang masuk, maka kerja kompresor untuk mengompresi udara akan semakin kecil. Semakin kecil kerja kompresor maka akan meningkatkan kerja bersih turbin dan meningkatkan efisiensi PLTG. Efisiensi PLTG ini dipengaruhi oleh perbandingan energi listrik yang dihasilkan berupa daya mekanik terhadap energi masuk dari bahan bakar yang dibutuhkan. Semakin besar energi yang digunakan untuk menghasilkan 1 kWh, efisiensi PLTG ini akan menurun, maka sebaliknya jika semakin kecil energi yang dibutuhkan, efisiensi PLTG akan meningkat.

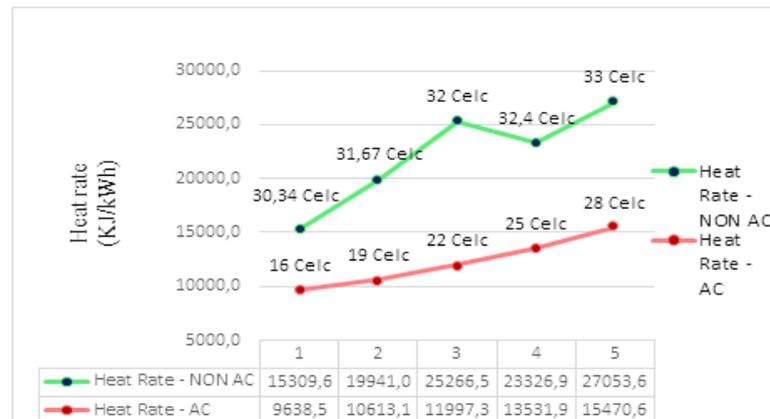
Temperatur udara pada *inlet compressor* dan beban turbin gas yang diatur pada PLTG mempengaruhi nilai konsumsi bahan bakar (SFC). Ketika nilai temperatur udara pada *inlet compressor* meningkat, otomatis laju aliran massa udara menjadi menurun sehingga menyebabkan menurunnya laju aliran massa bahan bakar pada pembakaran di *combustion chamber* karena adanya settingan *air fuel ratio* dimana massa udara yang masuk berbanding lurus dengan massa bahan bakar gas yang masuk sesuai dengan beban turbin gas yang diatur. Sebaliknya, jika temperatur udara pada *inlet compressor* menurun, laju aliran massa udara pun meningkat, sehingga laju aliran massa bahan bakar gas pun meningkat sesuai dengan kebutuhan beban turbin gas yang diatur.

*Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan banyaknya bahan bakar yang digunakan pada saat menghasilkan 1 kWh. Gambar 3 menunjukkan SFC pada kondisi 1 lebih besar daripada kondisi 2. Nilai SFC tertinggi didapatkan 0,5764 kg/kWh pada saat temperatur masuk kompresor 33<sup>0</sup>C, sedangkan SFC terendah sebesar 0,2047 kg/kWh ketika temperatur udara pada *inlet compressor* 16<sup>0</sup>C.

Nilai SFC yang tinggi disebabkan oleh udara masuk dengan kelembapan yang tinggi dan cenderung basah sehingga sangat sulit dilakukannya pembakaran. Sebaliknya, dengan kelembapan yang rendah maka udara cenderung kering dan sedikit kandungan air sehingga dapat mempercepat pembakaran di *combustion chamber* sehingga nilai SFC menjadi rendah.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Temperatur Inlet compressor Terhadap SFC



Gambar 4. Grafik Perbandingan Temperatur *Inlet compressor* terhadap *Heat Rate* PLTG

Gambar 4 merupakan perbandingan antara kondisi 1 (Non AC) dengan kondisi 2 (Dengan AC) terhadap *heat rate*. Nilai *heat rate* tertinggi terjadi pada kondisi Non AC, dikarenakan bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu listrik kWh nya lebih besar dari pada kondisi saat dengan AC. Semakin kecil nilai *heat rate* maka semakin efisien suatu sistem PLTG untuk mengkonversi energi yang terkandung didalam bahan bakar menjadi energi listrik yang dihasilkan.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa ketika temperatur udara pada inlet compressor menurun dari 33°C menjadi 16°C, nilai efisiensi PLTG pun meningkat sekitar 24,04 % dari 13,31% menjadi 37,35%, nilai konsumsi bahan bakarnya (SFC) menurun dari 574,6 g/kWh menjadi 204,7 g/kWh, *Heat Rate* pun menurun dari 27053,6 kJ/kWh menjadi 9638,5 kJ/kWh. Semakin efisien suatu sistem PLTG maka semakin rendah nilai *heat-ratenya*.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Baheta, A. T., Gilani, S. I. U. H. “*The effect of ambient temperature on a gas turbine performance in part load operation,*” AIP Conf. Proc., vol. 1440, no. Imat. 2011, pp. 889–893, 2012, doi: 10.1063/1.4704300.
- [2]. Arbor, A., and B. W. K., “*Effect Of Ambient Temperature And Humidity On Combustion And Emissions Of a Spark Assisted Compression Ignition Engine,*” pp. 1–7, 2017.
- [3]. Fellah, G. M., “*Effect of ambient temperature on the performance of a combined cycle power plant,*” Trans. Can. Soc. Mech. Eng., vol. 37, no. 4, pp. 1177–1188, 2013, doi: 10.1139/tcsme-2013-0099.
- [4]. Razak, A. M. Y., *Gas turbine performance modelling, analysis and optimisation.* Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [5]. Boyce, M. P., *Gas Turbine Engineering Handbook.* 2006.
- [6]. Rohmani, M. F. and I. Satria, “*Analisis Pengaruh Temperatur Udara Masukan Terhadap Kerja Turbin Gas Di Pt Pln ( Persero ) Sektor Pembangkitan Pltgu Cilegon ,*” 2016.
- [7]. Cussons Technology, “*P9005 Two Shaft Gas Turbine Unit,*” no. 3. 2007.



- [8]. Kumar S., C. and P. Deshmukh Narayan, “*Thermodynamics Term Paper 3 Brayton Cycle & Variations Spring Semester - 2015*,” 2015.
- [9]. R. Rohadi and I. Yulianti, “*Analisis Kelembapan dan Temperatur Permukaan Dangkal Di Daerah Gonoharjo*,” Raden rohadi,sujarwata,ian yuliat, vol. 6, no. 1, pp. 50–53, 2013.
- [10]. M. Hizbullah, “*Kajian Sistem Pendinginan Udara Masuk Turbin Gas Untuk Menaikkan Daya Output Turbin Gas Pada PLTG Gilimanuk yang Beroperasi pada waktu beban Puncak*,” 2014.
- A. Fadholi, “*Studi Pengaruh Suhu Dan Tekanan Udara Terhadap Daya Angkat Pesawat Di Bandara S . Babullah Ternate*,” Teor. dan Apl. Fis., vol. 01, no. 02, pp. 121–130, 2013.
- [11]. [12] A. K. Shukla and O. Singh, “*Effect of Compressor Inlet Temperature & Relative Humidity on Gas Turbine Cycle Performance*,” Int. J. Sci. Eng., vol. 5, no. 5, pp. 664–671, 2014.
- [12]. W. A. W. Alfina Widyastuti, “*Analisa Termodinamika Pengaruh Ambient Temperature Terhadap Unjuk Kerja Turbin Gas TEG 6210 dan TEG 6220 (Tipe Centaur 40 - 4501) Pada Tambora Field Operation , Total E&P Indonesia*,” vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2012.
- [13]. P. Studi, T. Mesin, D. T. Mesin, and F. Teknik, “*Kajian Sistem Pendinginan Udara Masuk Turbin Gas Untuk Menaikkan Daya Output Turbin Gas Pada PLTG Gilimanuk yang Beroperasi 24 Jam Indra Syifai*,” 2014.
- A. A. Pakarti and D. Ichsani, “*Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Coal Dryer dengan Tube Heater Tersusun Aligned*,” J. Tek. Pomits, vol. 2, no. 367–372, pp. 373–378, 2013.
- [14]. R. WIJAYA, “*ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA TURBIN GAS SEBELUM DAN SESUDAH TURBINE INSPECTION DENGAN VARIASI BEBAN DI PLTGU BLOK GT 3.2 DAN GT 3.3 PT.PJB UP GRESIK*,” p. 27, 2015.
- [15]. K. Alfansyah, I. W. D. W, and N. Ardhiyanga, *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dengan Kapasitas 20 MW. .*
- [16]. P. J. SHEPHERD, *Fundamentals of Thermodynamics*. 2013.
- [17]. P. Wira Asta Dharma, C. G. Indra Partha, and N. P. Satriya Utama, “*Analisa Unjuk Kerja Sistem PLTG di PT Indonesia Power Unit Pembangunan Bali*,” J. SPEKTRUM, vol. 5, no. 2, p. 145, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p18.
- [18]. G. Kahandagamage, “*Analysis of the effect of charge air temperature and humidity on the combustion process of diesel engines at Heladhanavi Power Plant , Puttalam , Sri Lanka*,” 2014.
- [19]. H. J. Kadhim, T. J. Kadhim, and M. H. Alhwayzee, “*A Comparative Study of Performance of Al-Khairat Gas Turbine Power Plant for Different Types of Fuel*,” IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 671, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/671/1/012015.
- [20]. N. Gusnita and B. Prima, “*Analisa Teknis dan Ekonomis Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar PLTMG Terhadap PLTG di Pusat Listrik Balai Pungut-Duri*,” vol. 15, no. 1, pp. 15–27, 2017.
- [21]. Hermawan and I. Idris, “*Kajian Potensi Energi Panas Buangan Dari Air Conditioner (Ac)*,” Teknovasi, vol. 1, no. 2, pp. 1–7, 2014.