

## ANALISIS PENGARUH UDARA AMBIENT TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA GAS TURBINE COOLING AIR COOLER

Siti Sofariyah<sup>1</sup>, Adi Syuriadi<sup>2</sup>, Sonki Prasetya<sup>3</sup>

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,  
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

[shiso.sitisofariyah@gmail.com](mailto:shiso.sitisofariyah@gmail.com); [adi.syuriadi@mesin.pnj.ac.id](mailto:adi.syuriadi@mesin.pnj.ac.id); [sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id](mailto:sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id)

Alat penukar kalor adalah komponen penting dalam industri pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), Salah satu contoh pada PLTGU X terdapat pendingin turbin (TCA cooler) dan pemanas bahan bakar gas. Keduanya merupakan alat penukar kalor dengan tipe aliran silang yang tersusun menjadi satu bagian dan menggunakan udara ambient sebagai media pendinginnya. Prinsip kerjanya adalah fan akan mengalirkan udara ambient menuju TCA Cooler untuk mendinginkan udara panas dengan temperatur 400 – 467.3 °C dari keluar dari kompresor pada bagian terakhir yang selanjutnya digunakan sebagai pendingin pada sudu – sudu turbin. Udara ambient yang keluar dari TCA Cooler masih berada pada temperatur 200 – 250 °C, kemudian akan dimanfaatkan oleh pemanas bahan bakar gas untuk menaikkan temperatur gas sebelum masuk ruang bakar, hal ini dilakukan agar proses pembakaran menjadi lebih cepat dan meningkatkan efisiensi termal pada turbin gas. Perubahan temperatur ambient sangat berpengaruh terhadap kinerja dari alat penukar kalor tersebut. Oleh karena itu perlu adanya analisis perhitungan efektifitas dan laju perpindahan panas dengan metode Number Thermal of Unit (NTU) – efektifitas dan metode Log Mean Differential Temperatur (LMTD).

**Kata kunci :** pendingin sudu turbin, temperatur ambien, efektivitas, laju perpindahan panas.

### Abstract

Heat exchanger is an important component in the Gas Turbine Power Plant (GTPP) industry, such as Turbine Cooling Air (TCA) Cooler and Fuel Gas Heater. They are heat exchanger with cross flow type arranged into one part and used the ambient air as a cooling medium. The principle that the fan will draft the ambient air to the TCA Cooler to cool the hot air with a temperature of 400 - 467.3 °C from the last stage compressor discharge is used as a coolant on the turbine blades. The ambient air which came out from the TCA Cooler was have a temperature range 200 - 250 °C , then it would be utilized by the fuel gas heater to heat the fuel gas before entered to the combustion chamber, then, combustion process is worked perfectly and it would be increased the thermal efficiency in the gas turbine. Changes in ambient temperature greatly affected to the performance of the heat exchanger. Therefore it is necessary to calculate the effectiveness and rate of heat transfer with the method of Thermal of Unit - effectiveness and Log Mean Differential Temperature (LMTD) method.

**Keyword :** turbine cooling air cooler, ambient temperature, effectiveness of heat transfer, Energy of heat transfer

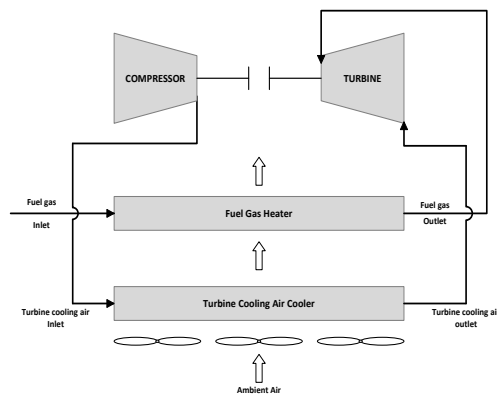
### Nomenklatur

$T_{fh}$	=	temperatur referensi fluida panas [°C]
$T_{hi}$	=	temperatur fluida masuk panas [°C]
$T_{ho}$	=	temperatur fluida keluar panas [°C]
$C_{ph}$	=	Koefisien fluida panas [J/kg K]
$\dot{m}_h$	=	laju massa fluida panas [kg/s]
$\dot{m}_c$	=	laju massa fluida pendingin [kg/s]
$T_{ci}$	=	temperatur fluida masuk dingin [°C]
$T_{co}$	=	temperatur fluida keluar dingin [°C]
$C_{pc}$	=	Koefisien fluida dingin [J/kg K]
$Ch$	=	Kapasitas Panas fluida panas [W/K]
$Cc$	=	Kapasitas Panas fluida dingin [W/K]
$q_{max}$	=	laju perpindahan panas maksimal [W]
$U$	=	overall heat transfer coefficient [W/m <sup>2</sup> K]
LMTD	=	Log Mean Temperatur Differential [°C]
$A$	=	luas perpindahan panas [m <sup>2</sup> ]
$F$	=	faktor koreksi
$Q$	=	laju perpindahan panas [W]
NTU	=	Number of thermal Unit
$\varepsilon$	=	Efektifitas [%]

## I. PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Turbin gas merupakan salah satu komponen penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan berfungsi mengkonversi energi panas berupa gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran pada sudu – sudu turbin.[1] Turbin gas bekerja dengan temperatur yang cukup tinggi dan dalam waktu yang cukup lama. Sehingga perlu adanya suatu sistem pendinginan yang efektif agar sudu turbin tidak overheating.[2] Pada PLTGU X sistem pendinginan sudu turbin menggunakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) tipe *compact* dengan aliran menyilang (*cross flow*). Prinsip kerjanya adalah udara *bypass* dari *discharge* kompresor dialirkan menuju *turbine cooling air (TCA) cooler* untuk didinginkan terlebih dahulu oleh udara *ambient* dengan bantuan kipas, kemudian *outlet* dari TCA cooler akan masuk ke *rotor cooling air* sebagai pendingin sudu – sudu turbin, setelah itu hasil mendinginkan TCA cooler, udara *ambient* kembali dimanfaatkan untuk memanaskan *fuel gas heater*, untuk menaikkan temperatur bahan bakar gas untuk proses pembakaran.[3]



Gambar 1. Skema Turbine Cooling Air dan fuel gas heater

## I.2. Tujuan Penelitian

Menganalisis pengaruh temperatur *ambient* terhadap kinerja *Turbine Cooling Air Cooler* dan mengevaluasi nilai efektivitas *Turbine Cooling Air Cooler* saat ini, apakah masih dalam kondisi yang optimal atau tidak.

## II. METODE PENELITIAN

### II.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 1 Agustus s/d 31 Agustus 2017. Dengan menetapkan variable terikatnya adalah temperatur *ambient* masuk *heat exchanger* pada beban 190 MW – 197 MW. Beberapa parameter untuk menghitung efektifitas perpindahan panas pada *turbine cooling air cooler* antara lain temperatur *dischager* kompresor, temperatur *inlet* rotor cooling air sebagai *outlet* daripada *turbine cooling air cooler* dan data spesifikasi TCA cooler. [4]

### II.2 Kalkulasi pada *Turbine Cooling Air Cooler*

#### i. Perhitungan Koefisien Fluida Panas

Koefisien fluida panas (Cph) diketahui dengan cara menghitung temperatur referensi fluida panas. [5] Kemudian mencari nilainya pada tabel *properties of dry air at atmosphere pressure* [6]

$$T_{fh} = \frac{T_{h\ in} + T_{h\ out}}{2} \quad \dots\dots (2.1)$$

#### ii. Perhitungan Laju Perpindahan Panas

Menghitung laju aliran massa fluida panas ( $\dot{m}_h$ ), dengan menggunakan persamaan  $Q_{desain} = Q_h$  [7] dan kapasitas panas fluida panas (Cph) yang diketahui dari tabel *properties of dry air at atmosphere pressure*

$$\dot{m}_h = \frac{Q_{\text{desain}}}{C_p \times (T_{hi} - T_{ho})} \quad \dots\dots (2.2)$$

#### iii. Perhitungan Temperatur Fluida Dingin Keluar Dari Alat Penukar Panas

Menentukan temperatur fluida dingin keluar penukar panas ( $T_{co}$ ) dengan menggunakan nilai laju perpindahan panas yang diasumsikan  $q = q_h = q_c$  [7] yang telah dihitung :

$$T_{co} = T_{ci} + \frac{Q_h}{\dot{m}_c \times C_{pc}} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Selanjutnya Menentukan nilai  $C_{min}$  dan  $C_{max}$  [8]

$$C_h = \dot{m}_h \times C_{ph} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$C_c = \dot{m}_c \times C_{pc} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Jika,  $C_h < C_c$  , maka  $C_{min} = C_h$   
 $C_c > C_h$  , maka  $C_{max} = C_c$

$C_{min}$  akan digunakan untuk menentukan nilai  $q_{max}$  pada *heat exchanger*. [8]

$$q_{\text{max}} = C_{min} \times (T_{hi} - T_{ci}) \quad \dots\dots (2.6)$$

**iv. Metode Log Mean Temperature Differential**

Setelah mengetahui temperatur *inlet* dan *outlet* untuk fluida panas dan fluida dingin, maka langkah selanjutnya adalah menentukan *Log Mean Temperature Differential* [9]

$$LMTD = \frac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln\left[\frac{(T_{hi}-T_{co})}{(T_{ho}-T_{ci})}\right]} \quad \dots (2.7)$$

Kemudian menentukan nilai perpindahan panas total [9]

$$U = \frac{q \max}{A \times F \times LMTD} \quad \dots (2.8)$$

**Perhitungan Efektivitas**

Untuk menentukan nilai efektivitas terlebih dahulu menghitung nilai dari *Number of Thermal Unit* [9]

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}} \quad \dots (2.9)$$

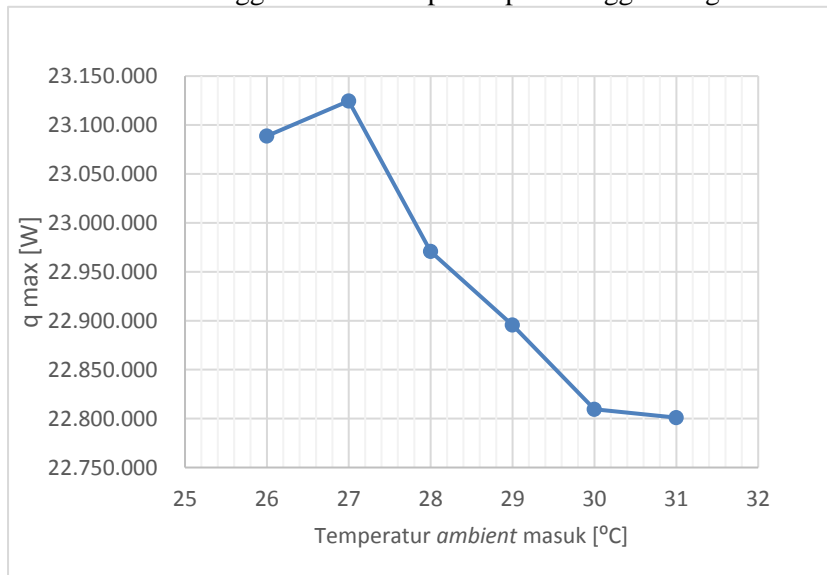
Setelah menentukan NTU maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai efektivitas [9]

$$e = 1 - \exp\left[-\left(1 - \exp(-NC)\right)/C\right] \quad \dots (2.10)$$

Dimana  $C = \frac{C_{min}}{C_{max}}$

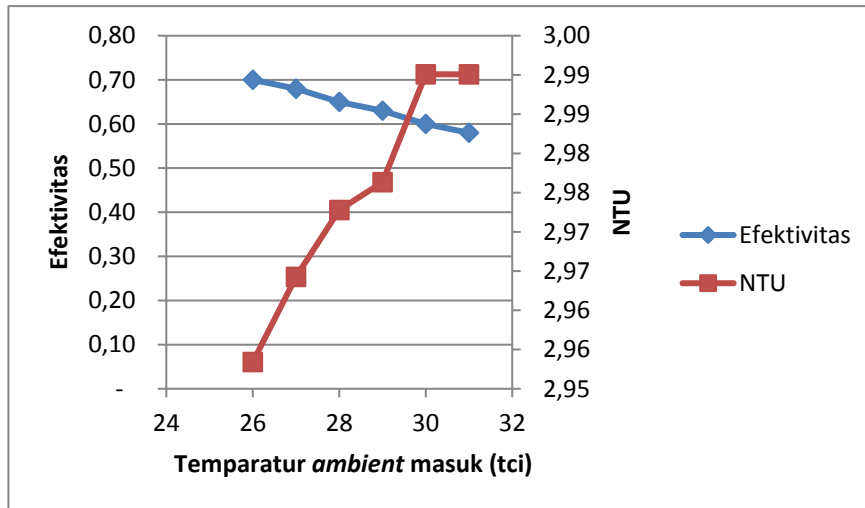
**III. ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN**

Berikut adalah hasil pembahasan dari kalkulasi pada *Turbine Cooling Air Cooler*. Penelitian dilakukan pada PLTGU X dan menggunakan data operasi pada tanggal 1 Agustus – 31 Agustus 2017.



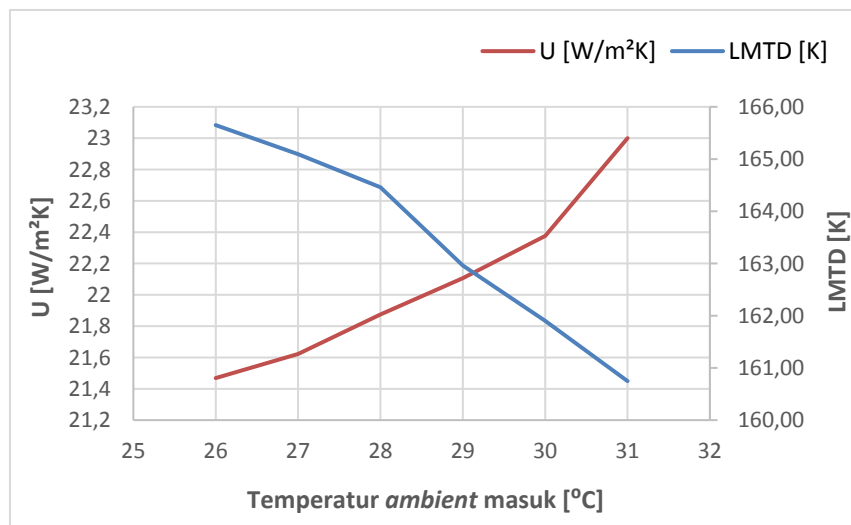
Grafik 1. Pengaruh variasi Temperatur *ambient* masuk (*Tci*) terhadap laju perpindahan panas pada *Turbine Cooling Air cooler*

Mula – mula Laju perpindahan panas mengalami kenaikan di temperature 26 [°C], namun setelah itu terjadi penurunan tiap kenaikan 1 °C, hal ini disebabkan ketika kondisi lingkungan berada pada temperatur yang rendah secara otomatis udara yang dihisap kompresor juga berada pada temperatur yang rendah, sehingga udara panas dari *discharge* kompresor pun menjadi lebih rendah temperaturnya. Nilai laju perpindahan panas tertinggi saat temperatur *ambient* masuk TCA cooler mencapai 27°C yakni 23.100 kW dan terendah ketika temperatur mencapai 31 °C.



Grafik 2. Pengaruh variasi Temperatur *ambient* masuk (Tci) terhadap NTU dan efektifitas pada TCA Cooler

Pada grafik digambarkan bahwa ada keterkaitan antara perubahan nilai temoeratur dengan NTU dan efektifitas. Sebab nilai fluida pendingin yang lebih kecil akan meningkatkan laju perpindahan panas, itu berarti panas yang dipindahkan menjadi lebih banyak, dan TCA cooler pun jadi lebih efektif.



Grafik 3. Pengaruh variasi temperatur *ambient* masuk terhadap nilai koefisien perpindahan panas dan

Adanya variasi temperatur *ambient* masuk TCA cooler membuat nilai *Log Mean Temperature* meningkat untuk tiap 1°C, namun nilai koefisien turun, sebab berbanding terbalik dengan hasil LMTD yang didapatkan.

#### IV. PENUTUP

Kesimpulan dari hasil perhitungan adalah :

- 1 Laju Perpindahan Panas terbesar dihasilkan sebesar 23.100 kW dengan *Number Of Transfer Unit* (NTU) sebesar 2.99 dengan temperatur udara *ambient* sekitar 27 °C dan Laju Perpindahan Panas terkecil dihasilkan sebesar 22.800 kW dengan *Number Of Transfer Unit* (NTU) sebesar. Dengan temperatur udara *ambient* sebesar 31 °C.
- 2 Efektivitas terbesar padaturbine cooling air cooler sebesar 70% dan dihasilkan efektivitas terkecil sebesar 58%.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] UDIKLAT. 2007. *Dasar Operasi PLTGU*. PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. Suralaya
- [2] Dietzel, Fritz. 1980. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Penerbit Erlanga. Jakarta
- [3] UDIKLAT. 2007. *Alat Bantu pada PLTGU*. PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. Suralaya
- [4] Indonesia Power. 2004. *PT PLN (Persero) Cilegon Combine Cycle Power Plant (740 MW) Design Manual*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- [5] Sumarno, Gatot F. 2014. *Analisis Perpindahan Panas Pada Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger Di Sektor PLTGU Cilegon*. Jurnal Teknik Energi Vol. 10, No.3. Politeknik Negeri Semarang.
- [6] Serth, Robert W. 2007. *Process Heat Transfer Principles and Applications*. Oxford UK : Elsevier.
- [7] Kroger, Detlev G. 2004. *Air Cooled Heat Exchanger and Cooling Tower*.
- [8] Yunus, A. Cengel. 2003. *Heat and Mass Transfer. A Practical Approach*, 2nd, New York : Mc.Graw-Hill.
- [9] Holman, J.P. 1994. *Perpindahan Kalor*. E. Jasjfi. Jakarta : Erlangga