

## Analisis Peningkatan Efisiensi *Direct-Fired Heater*

Choirul Anam<sup>1,a)</sup>, Jones Victor Tuapetel<sup>2,b)</sup>, M. Kurniadi Rasyid<sup>2,c)</sup>, Putu M. Santika<sup>2,d)</sup>, Dwita Suastiyanti<sup>2,e)</sup>

<sup>1</sup> Fired Heater Design Engineer PT Surya Besindo Sakti ,  
Lippo Karawaci Office Park, Blok Futuris, No. 12-15, Karawaci, Tangerang, Banten, Indonesia, 15138

<sup>2</sup>Dosen Tetap Program Studi Teknik Mesin ITI ,  
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

<sup>a)</sup> anam.choirul@gmail.com, <sup>b)</sup> jvictor\_tuapetel@yahoo.com, <sup>c)</sup> kurniadirasyid@gmail.com, <sup>d)</sup> putumsantika@yahoo.com, <sup>e)</sup> dwita\_suastiyanti@yahoo.com

### Abstrak

*Direct Fired Heater* umumnya disebut *heater* merupakan suatu alat perpindahan panas yang menggunakan gas panas dari hasil pembakaran untuk meningkatkan temperatur fluida kerja yang mengalir pada rangkaian pipa di dalam *heater*. *Debutanizer Reboiler Heater* di kilang PT Pertamina Balikpapan yang berkapasitas *137,185,000.00 Btu/h* telah diganti sehingga diperlukan peningkatan efisiensi baik dari sisi mampu serap panas dan konsumsi bahan bakar, dimana diperlukan analisis berdasarkan kondisi perancangan sebelumnya. Metode analisis yang diterapkan adalah berdasarkan *API 560*, *API 530*, dan *Direct-Fired Heater Design Handbook*, serta menggunakan alat bantu Microsoft Excel. Guna meningkatkan efisiensi serapan panas dan konsumsi bahan bakar, diperlukan tambahan luasan bidang perpindahan panas dan masukan udara bertemperatur diatas temperatur ruangan, sehingga penambahan *Air-Preheater* (APH) diperlukan untuk memanfaatkan gas sisa pembakaran yang masih bertemperatur tinggi untuk meningkatkan temperatur udara pembakaran, sehingga konsumsi bahan bakar menurun dan panas yang dilepaskan meningkat. Efisiensi aktual serapan panas dari rangkaian pipa fluida terhitung sebesar 87% atau *137,961,133.00 Btu/h* dari total panas yang dilepaskan oleh *burner* sebesar *162,224,800.00 Btu/h*. *Flue gas temperature* 500°F dengan laju massa *152,161.75 lb/h* bisa digunakan APH untuk memproses temperatur udara luar yang 86°F. Perpindahan panas APH yang terhitung sebesar *11,275,185.33 Btu/h*, menghasilkan peningkatan temperatur udara masukan pembakaran menjadi 392°F. Dengan melewati gas buang pada APH maka menurunkan pemakaian bahan bakar sebesar *565.7 lb/h* atau 8% pada temperatur gas buang 250°F; dari *7.615.7 lb/h* sebelum menggunakan APH.

**Kata kunci:** *air-preheater, burner, debutanizer reboiler heater, direct fired heater, flue gas temperature*

### Abstract

*Direct-Fired Heater*, usually called *heater* is a heat exchanger equipment that uses hot gasses from combustion to rise up process fluid temperature which flows through tubes coil in the heater. *Debutanizer Reboiler Heater* at PT Pertamina Balikpapan refinery which had capacity of *137,185,000.00 Btu/h* was replaced and therefore need efficiency improvement both in heat absorption and fuel consumption. So therefore the analysis of the existing design being needed. The analysis method is based on *API 560*, *API 530*, and *Direct-Fired Heater Design*, and using Microsoft Excel as a tool. For efficiency improvement in heat absorption and fuel consumption, need to modify heating surface area and combustion air input at elevated temperature. So, by adding *Air-Preheater* (APH) for rising up combustion air input by using stack flue gas, the fuel combustion can be decreased while increasing liberated heat. Calculated tubes process fluid efficiency is 87% or *137,961,133.00 Btu/h* from heat liberated by burner *162,224,800.00 Btu/h*. 500°F flue gas temperature with mass flow rate of *152,161.75 lb/h* can be used for APH to process outside air temperature which is 86°F. Calculated APH heat transfer is *11,275,185.33 Btu/h* which yields combustion air intake temperature at 392°F and decreasing fuel consumption as of *565.7 lb/h* or 8% at flue gas temperature of 250°F leaving APH, compared with *7.615.7 lb/h* before using APH.

**Keywords:** *Direct Fired Heater, Debutanizer Reboiler Heater, Air-Preheater, Burner, Flue Gas Temperature*

### I. PENDAHULUAN

Sebuah dapur pemanas atau *fired heater* adalah perangkat perpindahan panas langsung atau *direct-fired heat exchanger* yang memanfaatkan gas panas dari hasil

pembakaran untuk meningkatkan temperatur fluida kerja yang mengalir melalui rangkaian pipa atau *tube coils* yang disusun sedemikian rupa di dalam suatu konstruksi yang disebut *Fired Heater* atau *Furnace* atau *Process*

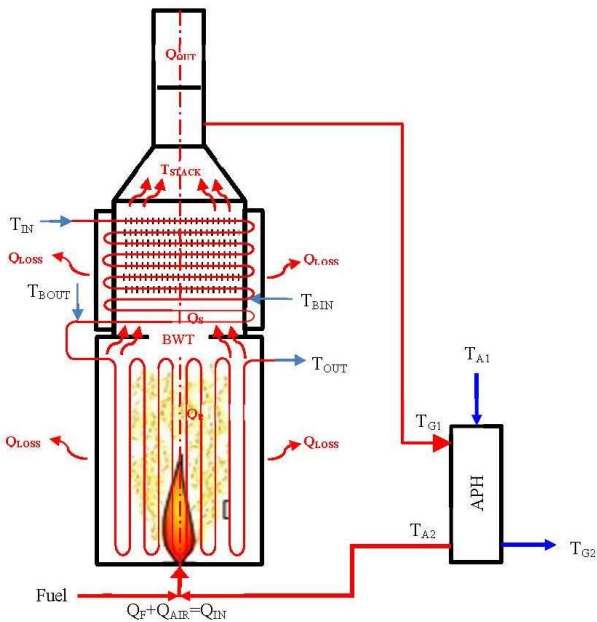
Heater. Fired Heater banyak digunakan diantaranya Chemical Processing Plant, Gas Processing Plant, Refinery, Power Plant dll. Pada umumnya dalam satu processing plant membutuhkan lebih dari satu fired heater sebagai start-up heater, fired reboiler, cracking furnace, vaporizer, crude oil heater dan untuk proses lainnya.

Perancangan heater yang ada di processing plant di Indonesia umumnya menggunakan tipe Vertical Cylindrical Type Heater tanpa menggunakan Air-Preheater. Tipe heater seperti ini, gas pembakaran yang telah dipakai dan masih memiliki temperatur tinggi dibuang langsung ke atmosfer. Tentunya hal ini menyebabkan polusi di udara. Dengan menggunakan Air-Preheater maka panas yang dilepaskan melalui cerobong bisa digunakan lagi untuk memanaskan udara yang disuplai untuk pembakaran melalui Air-Preheater Heat Exchanger. Dengan demikian, maka pencemaran udara bisa dikurangi dan konsumsi bahan bakar bisa dikurangi.

Direct-Fired Heater terdiri atas ruang bakar di mana proses pembakaran bahan bakar gas atau cair terjadi dan panas hasil pembakaran dipindahkan terutama dengan proses perpindahan panas secara radiasi, terhadap susunan pipa fluida di dalam ruang pembakaran dimana fluida kerja mengalir di dalam pipa tersebut. Fluida kerja bisa berupa gas, cairan atau fasa keduanya.

**II. LANDASAN TEORI**

Susunan pipa fluida di dalam ruang pembakaran di tempatkan dekat dengan dinding dan jauh dari nyala api pembakaran. Susunan pipa fluida baik vertikal maupun horizontal, tersusun secara lurus atau dalam bentuk coil untuk tipe Vertical Cylindrical Heater. Secara garis besar, fired heater memiliki empat bagian penting, yaitu (1) Radiant Section, (2) Shield Section, (3) Convection Section, (4) Breeching and Stack Section. Gambar 1 menunjukkan skema perpindahan panas di dalam Vertical Cylindrical Direct-Fired Heater [1].



Gambar 1. Diagram alir proses pembakaran dalam heater

**A. Total Heat Absorbtion**

Total perpindahan panas atau serapan panas (heat absorbtion) di keseluruhan heater dihitung dengan persamaan (1) [1]:

$$Q = m \cdot C_p (T_{OUT} - T_{IN}) \tag{1}$$

Dimana:

- Q = Total serapan panas, Btu/h
- m = Laju massa fluida kerja, lb/h
- C<sub>p</sub> = Panas spesifik fluida kerja, Btu/lb.°F
- T<sub>IN</sub> = Temperatur masuk fluida kerja, °F
- T<sub>OUT</sub> = Temperatur keluar fluida kerja, °F

**B. Heat Balance in the Vertical Cylindrical Heater with Convection section**

Ada empat sumber utama masukan panas dan ada lima keluaran panas dalam Vertical Cylindrical Type Direct-Fired Heater [2]

$$Q_F + Q_{AIR} + Q_{STEAM} + Q_{RFG} = Q_R + Q_S + Q_C + Q_{LOSS} + Q_{OUT} \tag{2}$$

Dimana

- Q<sub>F</sub> = Heat liberated by fuel (LHV), Btu/h
- Q<sub>AIR</sub> = Sensible heat from combustion air, Btu/h
- Q<sub>STEAM</sub> = Sensible heat from steam for oil atomization, Btu/h (neglected if use gas fuel)
- Q<sub>RFG</sub> = Sensible heat from recirculated flue gas, Btu/h (mostly is neglected in the calculation)
- Q<sub>R</sub> = Heat absorbed in radiant section, Btu/h
- Q<sub>S</sub> = Heat absorbed in shield section, Btu/h
- Q<sub>C</sub> = Heat absorbed in convection section, Btu/h
- Q<sub>LOSS</sub> = Heat loss through heater walls, Btu/h
- Q<sub>OUT</sub> = Heat loss trough stack, Btu/h

**C. Perpindahan panas di Radiant Section dan Shield Section**

Total perpindahan panas atau serapan panas (heat absorbtion) di radiant section dan shield section dihitung dengan persamaan (3) [2]:

$$Q_{FIREBOX} = (\sigma(\alpha_R A_{CPR}) + \sigma(\alpha_S A_{CPS}))F(T_G^4 - T_S^4) + 2A_R \Delta T + (2A_S \Delta T) \tag{3}$$

dimana:

- Q<sub>FIREBOX</sub> = Radiant and Shiled section absorption, Btu/h
- σ = Stevan-Boltzmann constant, 0.173x10<sup>-8</sup> Btu/ft<sup>2</sup>.h.R<sup>4</sup>
- α<sub>R</sub> = Reduction factor radiant section
- α<sub>S</sub> = Reduction factor shield section
- A<sub>CPR</sub> = Equivalent cold plane radiant section, ft<sup>2</sup>
- A<sub>CPS</sub> = Equivalent cold plane shield section, ft<sup>2</sup>
- F = Exchange factor
- T<sub>G</sub> = Bridgewall temperature, °F+460
- T<sub>S</sub> = Tube wall mean temperature, °F+460 = 100+0.5(T<sub>IN</sub>+T<sub>OUT</sub>)

dimana:

- ACP = L<sub>RTL</sub> . CC . N
- L<sub>RTL</sub> = Straigh tube lenth, ft
- CC = Center to center tube distance, ft

$N$  = Number of tubes

#### D. Perpindahan Panas di Convection Section

Convection section terdiri atas susunan *finned tubes*, dimana serapan panas pada *finned tubes* dihitung dengan rumus sebagai berikut [2]:

$$Q_C = U_o A_c LMTD \quad (4)$$

dimana:

$Q_C$  = Heat absorbed by finned tubes, Btu/h  
 $U_o$  = Overall heat transfer coefficient, Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F  
 $A_c$  = Heat transfer surface are, ft<sup>2</sup>  
 $LMTD$  = Log Mean Temperature Difference, °F

sedangkan,

$$U_o = \frac{1}{R_{to}} \quad (5)$$

dimana:

$R_{to}$  = Total outside thermal resistance, h.ft<sup>2</sup>.°F/Btu  
 $= R_o + R_{wo} + R_{io}$   
 $R_o$  = Outside thermal resistance, h.ft<sup>2</sup>.°F/Btu  
 $R_{wo}$  = Tube wall thermal resistance, h.ft<sup>2</sup>.°F/Btu  
 $R_{io}$  = Insidel thermal resistance, h.ft<sup>2</sup>.°F/Btu

sedangkan,

$$R_o = \frac{1}{h_e} \quad (6)$$

$$R_{wo} = \left( \frac{t_w}{k_w} \right) \left( \frac{A_o}{A_w} \right) \quad (7)$$

$$R_{io} = \left( \left( \frac{1}{h_i} \right) + R_{fi} \right) \left( \frac{A_o}{A_i} \right) \quad (8)$$

Dimana:

$h_e$  = Outside heat transfer coefficient, Btu/h. ft<sup>2</sup>.°F  
 $h_i$  = Inside film heat transfer coefficient, Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F  
 $t_w$  = Tube wall thickness, ft  
 $k_w$  = Tube wall thermal conductivity, Btu/h.ft.°F  
 $A_o$  = Outside tube surface area, ft<sup>2</sup>/ft  
 $A_w$  = Mean area of tube wall, ft<sup>2</sup>/ft  
 $A_i$  = Inside tube surface area, ft<sup>2</sup>/ft  
 $R_{fi}$  = Inside fouling resistance, h.ft<sup>2</sup>.°F /Btu

#### E. Effective Outside Heat Transfer Coefficient

$$h_e = \frac{h_o}{A_o} x (EA_{FO} + A_{PO}) \quad (9)$$

dimana:

$h_o$  = Average outside heat transfer coefficient, Btu/h.ft.°F  
 $A_{PO}$  = Prime tube surface area, ft<sup>2</sup>/ft

$A_o$  = Total Solid Fins surface area, ft<sup>2</sup>/ft

$A_{FO}$  = Nett fins surface area, ft<sup>2</sup>/ft

$E$  = Fins efficiency, %

#### F. Inside Film Heat Transfer Coefficient

$$h_i = 0.021 \left( \frac{k_l}{d_i} \right) R_e^{0.8} P_r^{0.4} \left( \frac{T_b}{T_w} \right)^{0.5} = \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \cdot \text{ft} \cdot \text{°F} \quad (10)$$

dimana:

$k_l$  = Thermal conductivity of process fluid, Btu/h.ft.°F  
 $d_i$  = Tube inside diameter, ft  
 $R_e$  = Reynold number  
 $P_r$  = Prandtl number  
 $T_b$  = Average bulk temperature of process fluid, °R  
 $T_w$  = Average inside film temperature, °R

Reynold number:

$$R_e = \frac{d_i x G}{\mu_b} \quad (11)$$

dimana:

$d_i$  = Tube inside diameter, ft  
 $G$  = Mass flow of fluid, lb/hr-ft<sup>2</sup>  
 $\mu_b$  = Absolute viscosity at bulk temperature, lb/ft.hr

Prandtl number:

$$P_r = \frac{C_p \mu_b}{k_l} = 23.53 \quad (12)$$

dimana:

$C_p$  = Specific heat of fluid at bulk temperature, Btu/lb.°F  
 $\mu_b$  = Absolute viscosity at bulk temperature, lb/ft.hr  
 $k_l$  = Thermal conductivity of process fluid, Btu/h.ft.°F

#### G. Log Mean Temperature Difference

$$LMTD = \frac{(T_{FBOUT} - T_{BIN}) - (T_{STACK} - T_{IN})}{\ln \left( \frac{T_{FBOUT} - T_{BIN}}{T_{STACK} - T_{IN}} \right)} \quad (13)$$

dimana:

$T_{FBOUT}$  = Flue gas temperature leaving shield section, °F  
 $T_{BIN}$  = Fluid temperature entering shield section, °F  
 $T_{STACK}$  = Flue gas temperature leaving convection section, °F  
 $T_{IN}$  = Fluid temperature entering convection section, °F

H. Perpindahan Panas pada Air-Preheater

Perpindahan panas dari *flue gas* ke udara melalui dinding pipa dihitung dengan persamaan (14) [3]:

$$Q_{APH} = Q_0 - Q_{LOSS} \quad (14)$$

sedangkan,

$$Q_0 = M_{FG} \cdot C_{PG} \cdot (T_{G1} - T_{G2}) \quad (15)$$

dimana:

- $Q_{APH}$  = Perpindahan panas keseluruhan, Btu/h
- $Q_0$  = Perpindahan panas *netto*, Btu/h
- $Q_{LOSS}$  = Panas yang hilang, 2%  $Q_{APH}$ , Btu/h
- $M_{FG}$  = Laju massa *flue gas*, lb/h
- $C_{PG}$  = *Flue gas specific heat*, Btu/lb. $^{\circ}$ F
- $T_{G1}$  = *Flue gas inlet temperature*,  $^{\circ}$ F
- $T_{G2}$  = *Estimated flue gas outlet temperature*,  $^{\circ}$ F

I. Peningkatan Temperatur Udara untuk Pembakaran

Nilai temperatur keluaran udara dari APH yang dialirkan ke *burner*, dihitung dengan persamaan sebagai berikut [3]:

$$T_{A2} = T_{A1} + Q_{APH} / (M_A \cdot C_{PA}) \quad (16)$$

dimana:

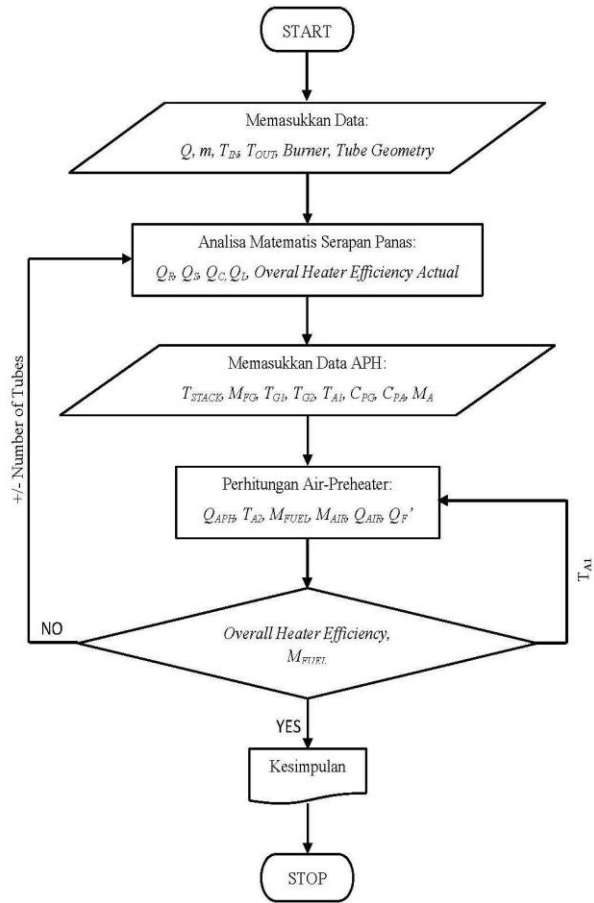
- $T_{A1}$  = temperatur udara masuk,  $^{\circ}$ F
- $M_A$  = Laju massa udara, lb/h
- $C_{PA}$  = *Air specific heat*, Btu/lb. $^{\circ}$ F

III. METODE PENELITIAN

Informasi dasar untuk perhitungan dan simulasi didapatkan dari data desain dari perancangan sebelumnya berupa:

- a. *Heater Data Sheet*.
- b. *Burner Data Sheet*.
- c. *Drawing*.

Proses simulasi dilakukan melalui perhitungan matematis dengan mengacu prosedur di dalam *Fired Heater Handbook*, API Standard 560/530 dan rumus-rumus dari jurnal-jurnal sebagai referensi. Kemudian dengan perhitungan tersebut diketahui aktual panas yang bisa dipindahkan untuk proses fluida kerja, efisiensi dan kebutuhan bahan bakar. Hasil perhitungan tersebut dipakai sebagai acuan untuk penambahan *Air-Preheater* untuk meningkatkan panas yang dilepaskan oleh *burner* dan nilai penurunan pemakaian bahan bakar. Diagram alir proses perhitungan dan analisis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir perhitungan dan analisis

IV. ANALISIS

A. Serapan Panas Aktual

Nilai serapan panas aktual dihitung menggunakan metode perhitungan Roger Newnham [1], Mahesh N. Jethva, C. G. Bhagchandani [2], dan Reyad Awwad Shawabkeh [4]:

- $Q_c'$  = Actual heat absorbed in convection tubes, 25,293,426 Btu/h
- $Q_c$  = Required heat absorbed in convection tubes, 24,517,293 Btu/h
- $Q_s$  = Evaluated heat absorbed in shield tubes, 7,131,824 Btu/h
- $Q_r$  = Heat absorbed in radiant tubes, 105,535,883 Btu/h
- $Q_L$  = Heat loss along radiant wall = 2%  $Q_{IN}$  = 3,244,496 Btu/h
- $Q'$  = Actual Overall heat absorbed, 137,961,133 Btu/h

Kemudian dengan *overall heat transfer efficiency actual* sebesar 87% maka, efisiensi perpindahan panas *heater* lebih besar 0.1%. Dengan demikian design *heater* sudah sesuai dengan yang disyaratkan.

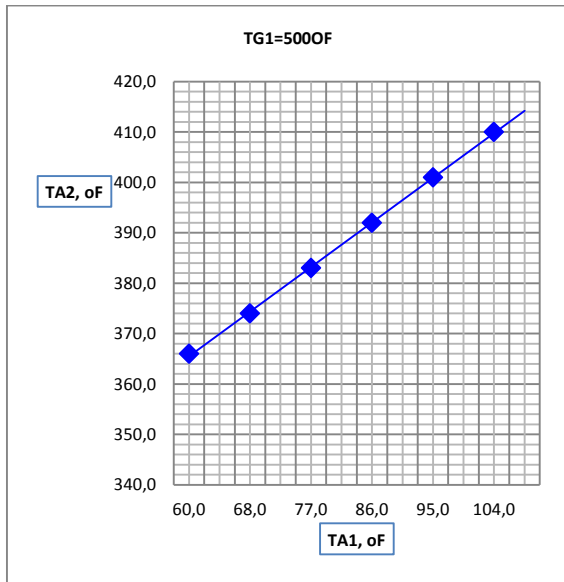
B. Gas Buang dari Heater

Nilai temperatur gas buang  $T_{STACK}$  yang didapatkan berdasarkan *data sheet* adalah 545 $^{\circ}$ F. Dengan mempertimbangkan rugi-rugi pada jalur gas buang menuju *Air-Preheater* dan kebocoran pada *Damper*

Converter, maka nilai temperatur yang diambil adalah 500°F. Sementara itu, flue gas mass flow rate  $M_{FG}$  yang dihitung dengan metode Roger Newnham [1] mendapatkan nilai sebesar 152,161.75 lb/h.  $T_{STACK}$  dan  $M_{FG}$  merupakan parameter utama yang mempengaruhi perpindahan panas pada Air-Preheater.

C. Temperatur Masukan Udara dari Air-Preheater

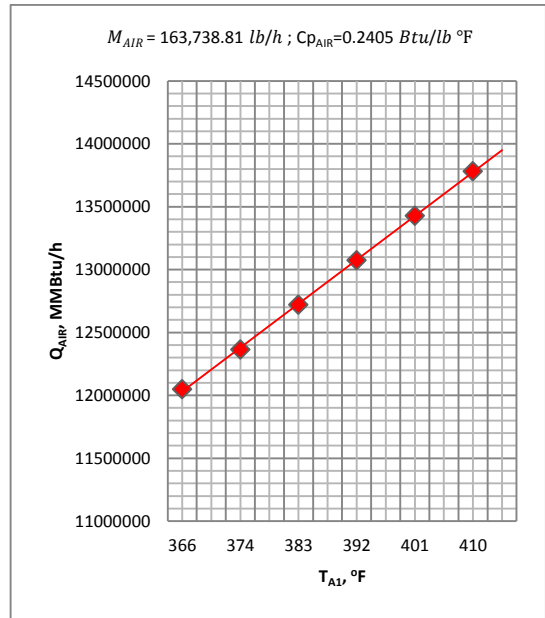
Dengan menggunakan  $T_{STACK}$ ,  $M_{FG}$ , dan  $M_{FG} = M_A$ , maka didapatkan nilai temperatur udara keluar dari Air-Preheater sebagai masukan udara pembakaran. Nilai temperatur ini akan berbeda-beda sesuai dengan temperatur udara yang masuk Air-Preheater. Nilai temperatur udara keluaran Air-Preheater ditunjukkan pada gambar 3.



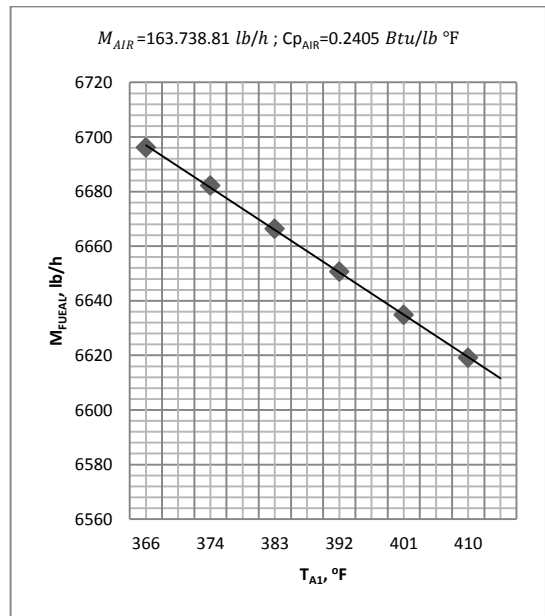
Gambar 3. Suhu udara pembakaran yang tersedia dari APH.

D. Pengaruh Air-Preheater

Sesuai dengan kondisi aktual kemampuan serap panas heater sebesar  $Q' = 137,961,133 \text{ Btu/h}$ , dan mempertahankan efisiensi serapan panas sebesar 87% menggunakan combustion air temperature  $T_{A2} = T_{AIR-IN} = 366 \text{ °F}$  dimana  $T_{A2} = 86 \text{ °F}$  atau  $30 \text{ °C}$ , didapatkan  $Q_{AIR}$  sebesar 12,049,937.5 Btu/h. Kemudian pemakaian bakar  $M_{FUEL}$  berkurang dari 7615.7 lb/h menjadi 7050.0 lb/h dengan air fuel ratio sebesar 18.58. Nilai  $Q_{AIR}$  dan konsumsi bahan bakar  $M_{FUEL}$ , ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Panas dari pembakaran udara,  $Q_{AIR}$ , setelah temperatur udara masukan ditingkatkan melalui APH.



Gambar 5. Penurunan konsumsi bahan bakar sesuai dengan temperatur udara masukan.

V. KESIMPULAN

Dengan menggunakan metode perhitungan Roger Newnham [1], Mahesh N. Jethva, C. G. Bhagchandani [2], dan Reyad Awwad Shawabkeh [4], diketahui bahwa efisiensi perpindahan panas atau mampu serap rangkaian pipa fluida untuk memanaskan fluida kerja adalah memiliki kelebihan sebesar 0.1% dari yang disyaratkan oleh design sebesar 87%. Kemudian dengan penambahan Air-Preheater dan dioperasikan pada temperatur udara

luar sebesar 86°F atau 30°C didapatkan temperatur udara untuk masukan pembakaran sebesar 392 °F atau 200 °C. Dengan nilai temperatur tersebut didapatkan penurunan pemakaian bahan bakar dari 7615.7 lb/h menjadi 7050 lb/h atau 4,887,648 lb/tahun.

#### REFERENSI

- [1] Roger Newnham, *Direct-Fired Heater: A Practical Guide to their Design and Operation*. Cochrane, Alberta, Canada: Kingsley Knowledge Publishing, 2012.
- [2] Mahesh N. Jethva & C. G. Bhagchandani, Fired Heater Design and Simulation. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol 4, Issue 2, 2013, pp.
- [3] M.Nageswara rao, Improving the Overall heat transfer coefficient of an Air Preheater by Design, Fabrication and CFD Analysis. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 NATIONAL CONFERENCE on Developments, Advances & Trends in Engineering Sciences (NCDATES- 09th & 10th January 2015)*, 2015.
- [4] Reyad Awwad Shawabkeh, *Steps for design of Furnace/Fired Heater*, 2015.  
Website: <https://www.researchgate.net/publication/281460206>, diakses 9 Agustus 2017.