

STUDI PERFORMANSI ECONOMIZER JENIS ALIRAN SILANG UNTUK PROSES DEGREASING DI PT. X PLANT KARAWANG

Komarudin¹, Reza Rahmaputra²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta
email : komarudin.mt@gmail.com

Abstract

Economizer is Heat Exchanger with Crossflow type that have function as reheater the water to degreasing process. System of Economizer had operated continuously for 7 years. So from this condition Effectiveness and Temperature possibility Can't achieve the Requirement. Degreasing Process is a part of Painting process in Vehicle manufacturing that have function to decrease the oil, dust and etc. A decrease in the effectiveness of this, we need recalculation and compare with design condition to get better effectiveness. Analysis will be refer to fluid flow, overall heat transfer coefficient (U), and Effectiveness of Economizer it self. Based on result of Calculation and Experiment, the flow of fluid is turbulent flow with Reynold number 12002.14 (Max Condition). Overall heat transfer coefficient (U) is 16.18 W/mK, while the design condition is 48 W/m.K also for Effectiveness is 32.16% and the design condition is 50%. This calculation Proved decreasing of that the performance of economizer. It is caused by scaling of the inner pipe with ratio 2.26%. Scaling will be reduce thermal conductivity of the pipe and also gradient of Temperature.

Keywords: Economizer, Degreasing Process, Turbulent, Effectiveness, overall heat transfer Coefficient (U), Scaling, gradient of Temperature.

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar sangat mendominasi pembiayaan produksi di proses Manufacturing. Penggunaan energi untuk proses produksi di PT.X Plant Karawang mencakup bagian yang terbesar dari total biaya produksi. Peralatan utilitas yang ada di proses manufacturing pada umumnya berumur 7 tahunan semenjak pendirian pabrik di Karawang. Efektivitas peralatan utilitas menurun sejalan dengan bertambahnya umur peralatan tersebut.

Salah satu proses produksi di PT. X Plant Karawang adalah Proses Oven di Painting Shop. Diketahui pula bahwa temperatur gas buang yang dihasilkan dari

Chimney Oven masih tinggi antara 200-300 °C. Temperatur gas buang yang masih tinggi ini dapat dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air yang akan masuk ke dalam proses degreasing.

Dengan memanfaatkan kembali gas buang tentunya akan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar. Salah satu pilihan dalam memanfaatkan panas dari Chimney oven ini adalah dengan pemasangan Economizer. Economizer digunakan sebagai penukar panas untuk mengurangi biaya

operasi atau mengekonomiskan biaya untuk bahan bakar dengan memanfaatkan kembali gas buang sisa dari pembakaran.

Sistem kerja Economizer yang dioperasikan secara terus menerus selama 7 tahun tentunya akan mengurangi efektivitas dan temperatur yang dibutuhkan untuk proses degreasing. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi dan perhitungan ulang untuk mempertahankan kinerja alat penukar panas pada nilai efisiensi yang diharapkan.

Studi kasus yang dilakukan terfokus pada nilai efektivitas Economizer. Adanya kemungkinan penurunan nilai efektivitas Economizer untuk proses degreasing, salah satunya disebabkan oleh temperatur yang dibutuhkan untuk proses degreasing sering tidak mencapai spesifikasi temperatur yang sudah ditentukan. Untuk itu dengan Menghitung dan mengetahui Efektivitas dari Economizer aktual, tujuan akhir dari penelitian ini adalah Memberikan rekomendasi untuk mengoptimalkan kinerja Economizer berdasarkan perhitungan efektivitas Economizer yang sudah dilakukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (panas) dari satu zat ke zat lain akibat adanya perbedaan suhu pada daerah tersebut (Muhammad Awwaluddin, 2007). Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah di dalam medium yang bersinggungan langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan panas serta energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energi akan berpindah secara konduksi, laju perpindahan kalornya dinyatakan sebagai berikut :

$$q = -k.A.\frac{\partial T}{\partial x}$$

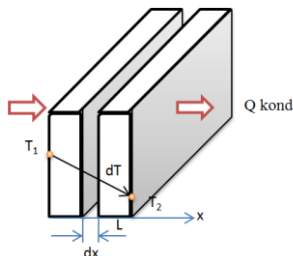
Dimana :

q = laju perpindahan kalor (W)

$\partial T/\partial x$ = gradien suhu perpindahan kalor

k = konduktivitas thermal bahan (W/m.K)

A = luas bidang perpindahan kalor (m²)



Gambar 1 Laju aliran kalor pada dinding datar

Dari gambar diatas, jika persamaan diintegrasikan sesuai kondisi batas dimana laju aliran merambat pada titik 1 ke titik 2 karena $T_1 > T_2$ Maka persamaan menjadi : $q \cdot L = k A (T_1 - T_2)$, dengan demikian besar laju aliran kalor total pada dinding tersebut :

$$q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L}$$

Dimana :

q konduksi= Laju perpindahan kalor (W)

L = Tebal dinding (m)

A = Luas bidang perpindahan kalor

K = konduktivitas termal bahan (W/m.K)

Radiasi

Radiasi yaitu pertukaran panas antara dua atau lebih pada permukaan tanpa media perantara yaitu yang dipancarkan oleh gelombang elektromagnetik dimana dipancarkan oleh suatu benda karena adanya suhu dan rambatan secepat cahaya.



Gambar 2 Perpindahan panas secara radiasi

Mekanisme perpindahan panas secara radiasi merupakan perubahan energi dalam zat yang permukaannya mempunyai suhu lebih tinggi menjadi energi dalam bentuk gelombang

$$c = \lambda \cdot v$$

Dimana :

c = kecepatan cahaya

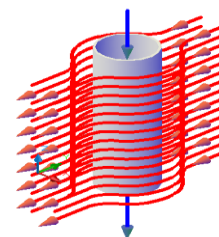
λ = panjang gelombang (10^{-8} cm)

v = frekuensi

Konveksi

Menurut Incopera dan Hewitt (1981) Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur.

Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida disekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan.



Gambar 3 Perpindahan kalor secara konveksi

Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-

partikel fluida tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya.

Laju perpindahan kalor antara suatu permukaan pipa dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan:

$$q_c = hc.A. \Delta T$$

Keterangan:

Qc= Laju perpindahan kalor secara konveksi (W)

Hc= Koefisien perp. kalor konveksi (W/m².K)

A = Luas perpindahan kalor (m²)

ΔT = Beda suhu permukaan Tw dan fluida T~

Persamaan untuk menghitung Efektivitas Economizer

Bilangan Reynold

Bilangan Reynold adalah bilangan yang menunjukkan bentuk suatu aliran dalam ruang tertutup (pipa) ataupun terbuka.

$$Re = \rho d v / \mu$$

Keterangan:

Re = Bilangan Reynold

ρ = Massa jenis (kg/m³)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

d = Diameter Pipa (m)

μ = Viskositas dinamik (N s/m²)

Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan rasio perpindahan panas konveksi dengan konduksi normal (Wikipedia, 2011). Untuk mendapatkan nilai bilangan Nusselt dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Nud = \frac{hd}{k}$$

Keterangan:

Nud = Bilangan Nusselt

h = Koefisien konveksi (W/m² OC)

d = Diameter pipa (m)

k = Koefisien konduksi (W/m² OC)

Untuk aliran fluida dalam tabung dengan bilangan Reynolds turbulen, maka untuk mencari bilangan Nusselt Number dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Nud = 0,023 Red^{0,8} Pr^n$$

Pada persamaan di atas terdapat bilangan eksponen n, yang syaratnya sebagai berikut :

n =0,4 fluida mengalami pemanasan

n =0,3 fluida mengalami pendinginan

Economizer di PT.X Plant Karawang memiliki pipa tube berjumlah 10 baris (NL<10), sehingga fluida udara yang melintasi banyak pipa tube dapat menggunakan persamaan berikut untuk mencari nilai bilangan Nusselt.

$$Nud = C_2 C Re^{m, \max} Pr^{0,36} (Pr/Pr_s)^{1/4}$$

Keterangan :

Nud = Bilangan Nusselt

d = Diameter pipa (m)

Re,max= Bilangan Reynolds

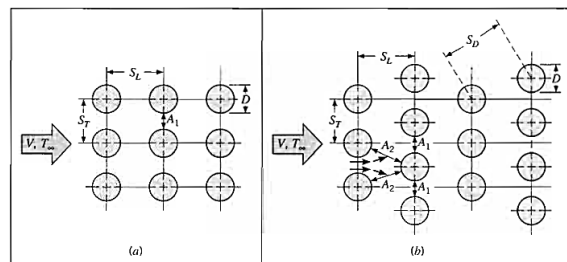
Pr = Bilangan Prandtl

Prs =Bilangan Prandtl suhu permukaan pipa

C2 = Koreksi Faktor

C dan m = Konstanta

Untuk membedakan aliran sejajar (Aligned) dan aliran Silang (Staggered) bisa dilihat gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4 Aliran Sejajar (a) dan Aliran Silang (b)

Koefisien Perpindahan Panas Total

Koefisien perpindahan panas total didefinisikan sebagai koefisien hambatan termal total menuju perpindahan panas diantara dua fluida.

Berikut adalah persamaan untuk mencari koefisien perpindahan panas total.

$$U_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} + \frac{A_i}{A_o h_o}}$$

Keterangan:

U = Koef. Perpindahan panas total (W/m²K)

h_i = Koef. konveksi pada dalam pipa (W/m² K)

h_o = Koef. konveksi di luar pipa (W/m² K)

L= Panjang pipa (m)

r_i= Jari jari bagian dalam pipa (m)

r_o= Jari jari bagian luar pipa (m)

k = konduktifitas termal dinding tube (W/m K)

Catatan :

Nilai h_i dan h_o didapat dari rumus mencari bilangan Nusselt.

Laju Kapasitas Perpindahan Panas

Untuk menghitung kapasitas perpindahan panas (C_f), dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$C_f = \dot{m}_f \cdot C_{p_f}$$

Keterangan :

C_f = Kapasitas Perpan Fluida (W/K)

\dot{m}_f = Laju Massa Alir Fluida (kg/s)

C_{p_f} = Kalor Spesifik Fluida (kJ/kg K)

NTU (Jumlah Satuan Perpindahan Panas)

Nilai NTU ini memberikan petunjuk mengenai ukuran penukar kalor. Untuk mencarinya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Holman, Edisi 10):

$$NTU = \frac{U_i A_i}{C_{min}}$$

Keterangan :

U_i = Koef. Perp. Panas Total (W/m² K)

A_i = Luas Perpindahan Panas (m²)

C_{min} = Laju Kapasitas Perpindahan Panas Minimal (W/K)

Nilai Efektivitas

Efektivitas adalah nilai yang menunjukkan seberapa besar/baik suatu penukar kalor untuk menyerap panas. Efektivitas penukar kalor (heat exchanger effectiveness) untuk crossflow dirumuskan sebagai berikut (Holman, Edisi 10):

$$\epsilon = 1 - \exp\left[\frac{\exp(-NTU C_r n) - 1}{C_r n}\right]$$

dengan $n = NTU^{-0,22}$

Keterangan :

NTU = Jumlah Satuan Perpindahan Panas

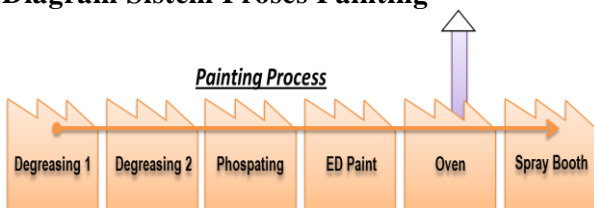
A = Luas perpindahan panas (m²)

C_r = Rasio antara C_{max} Dan C_{min}

C_{max} = Laju Kapasitas Perpindahan Panas Maksimal (W/K)

C_{min} = Laju Kapasitas Perpindahan Panas Minimal (W/K)

Diagram Sistem Proses Painting

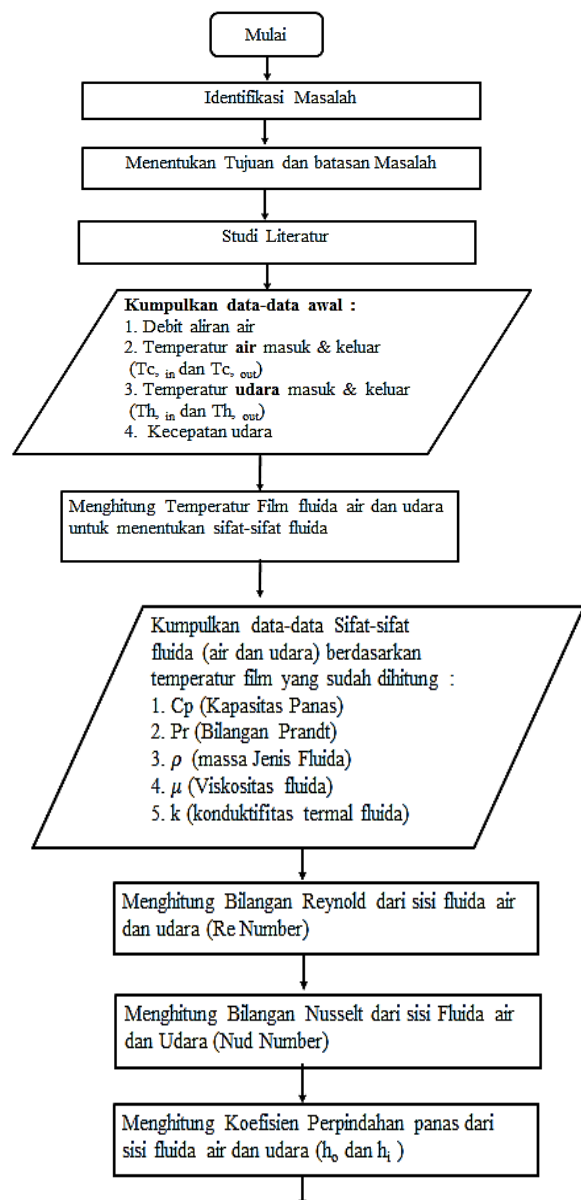


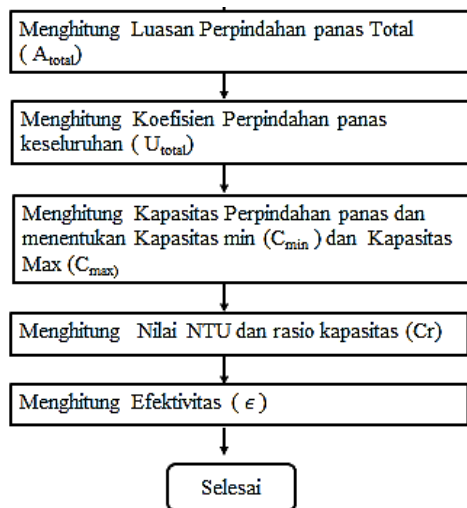
Gambar 5 Painting Process PT. X Plant Karawang

Degreasing Line merupakan proses untuk menghilangkan minyak atau oli dan kotoran pada body mobil. Sehingga senyawa C (karbon) dapat berikatan dengan Na (natrium) membentuk NaC dan H₂O₂ sehingga minyak dapat dengan mudah untuk dilarutkan. (Toyota Equipment Standard, 2016).

METODE PENELITIAN DAN PENGOLAHAN DATA

Metode Penelitian





Gambar 6 Panel Indikator Temperatur air dan udara

- Mencatat debit dari air pendingin pada *flow meter magnetic*
- Mencatat kecepatan udara oven dengan *Anemometer Hot Wire TES-1340*
- Dan seterusnya s/d pukul 17.00 WIB

Prosedur Pengambilan data

Waktu Pengambilan Data

Data pengukuran *Economizer* Proses *Dergasing* diambil di *PT. X Plant Karawang* pada tanggal 20 **Januari 2017** dan diukur dari mulai pukul 13.00 s/d 17.00 WIB Perhitungan dan pembahasan menggunakan contoh data pada Pukul 15.00

Parameter Pengujian *Economizer* Proses *Degreasing*

Parameter-parameter riil yang diambil pada saat pengujian *Economizer* proses *Degreasing* yaitu:

1. Temperatur air masuk (°C)
2. Temperatur air keluar (°C)
3. Temperatur Udara masuk (°C)
4. Temperatur Udara keluar (°C)
5. Debit air dari Pompa (m³/s)
6. Kecepatan udara Chimney Oven (m/s)

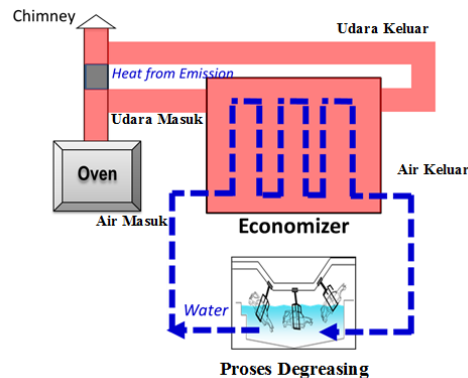
Langkah Pengambilan/Pengujian data

Pengujian dilaksanakan Pada tanggal 20 Januari 2017 Pada pukul 13.00 s/d 17.00 WIB dengan selang waktu pengambilan data 1 jam. Langkah langkah yang dilakukan pada pengujian *Economizer* proses *Degreasing* ini adalah :

- Mempersiapkan alat ukur yang akan digunakan, alat ukur yang digunakan adalah *Anemometer Hot Wire TES-1340* untuk mengukur kecepatan udara di Chimney oven serta *Termokopel tipe K* di tube dan Shell
- Pengukuran temperatur masuk dan keluar fluida air dan udara pada *Economizer* proses *Degreasing* (Gambar 6)

Data Spesifikasi *Economizer*

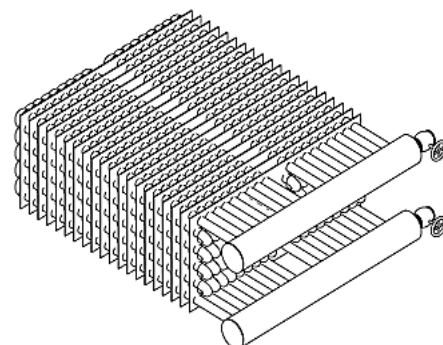
1. Skematik *Economizer*



Gambar 7 Skematik Economizer

Economizer ini secara skematik memiliki peranan yang penting dalam proses pemanasan yang terjadi di Proses *degreasing* karena suhu yang harus dijaga di proses *degreasing* ini sekitar **80 - 85 °C**, dimana apabila suhu air aktual yang masuk lebih dari range suhu yang sudah ditentukan maka kualitas proses *degreasing* akan berdampak ke proses selanjutnya yaitu *phospatting process*

2. Spesifikasi Data *Economizer*



Gambar 8 Economizer tube side view

- Tipe= Fins and Tube
- Design Code= ASME Code Sec VIII Div 1
- TEMA Class= C – General Service
- Material Standard= ASME
- Aliran Fluida= Aliran Menyilang (Cross Flow)
- Bahan Material Pipa = SA-106 K03006 Grd B Smls. Pipe
- Bahan Material Fins = Carbon Steel
- Bahan Material Header= SA-106 K03006 Grd B Smls. Pipe
- $Q_{air} = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diameter dalam pipa Air (D_i) = 0,039 m
- Jarak Antar Pipa (S_n) = 44,9 mm = 0,0449 m
- Jarak Antar pipa (S_p) = 52,5 mm = 0,0525 m
- Jumlah tube = 180
- Diameter dalam Pipa Udara (D_o) = 0,042 m
- Panjang Pipa air (L_i) = 1,8 m
- Efektivitas Perancangan = 50%
- Overall heat Coefficeient = 48 W/m.K

Perhitungan Efektivitas Economizer

Waktu Pengambilan data :

Januari 2017 Pukul 15.00 WIB

Diketahui:

- Perhitungan data sisi air (Tube)

$$T_{masuk} = 53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{keluar} = 76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Mencari Temperatur film fluida (T_f)

$$T_f = \frac{T_{masuk} + T_{keluar}}{2}$$

$$= \frac{(53 + 76) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 64,5 \text{ } ^\circ\text{C} = 273 + 64,5 = 337,5 \text{ K}$$

- Mencari sifat – sifat fisik fluida

Sifat – sifat fisik fluida air didapatkan dengan metode interpolasi (Holman, Edisi 10) ¹

$$\rho_{air} = 980,69 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{p_{air}} = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\mu_{air} = 4,3 \times 10^{-4} \text{ N s/m}^2$$

$$k_{air} = 0,659 \text{ W/m.K}$$

$$Pr_{air} = 2,75$$

- Menghitung Luas Penampang Tube (m^2)

$$A_i = \frac{\pi}{4} D_i^2 \times 180$$

$$A_i = \frac{\pi}{4} (0,039 \text{ m})^2 \times 180$$

$$A_i = 0,21 \text{ m}^2$$

- Menghitung kecepatan air (m/s)

$$v_{air} = \frac{Q_{air}}{A}$$

$$v_{air} = \frac{Q_{air}}{A_i}$$

$$v_{air} = \frac{0,028 \text{ m}^3/\text{s}}{0,21 \text{ m}^2} = 0,13 \text{ m/s}$$

- Menghitung bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \text{ di } v_{air}}{\mu}$$

$$Re = \frac{980,69 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,039 \text{ m} \cdot 0,13 \text{ m/s}}{4,3 \times 10^{-4} \text{ kg/m s}}$$

$$Re = 11563,019 \text{ (Aliran turbulen } Re > 4000)$$

- Menentukan bilangan Nusselt sisi air

$$Nud = 0,023 Re_{air}^{0,8} Pr_{air}^{0,4}$$

(mengalami pemanasan)

$$Nud = 0,023 \cdot (11563,019)^{0,8} \cdot (2,75)^{0,4}$$

$$Nud = 61,33$$

- Mencari Koefisien Perpindahan Panas Sisi Air (h_{air})

$$Nud_{air} = \frac{h_{air} \cdot d_{tube}}{k_{air}}$$

$$h_{air} = \frac{Nud_{air} \cdot k_{air}}{d_{tube}}$$

$$h_{air} = \frac{61,33 \cdot 0,659 \left[\frac{\text{W/m.K}}{\text{m}} \right]}{0,039}$$

$$h_{air} = 981,85 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

- Perhitungan data sisi Udara (CO_2)

$$T_{masuk} = 208 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{keluar} = 162 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Mencari temperatur film fluida udara

$$T_{f \text{ udara}} = \frac{T_{ui} + T_{uo}}{2}$$

$$= \frac{(208 + 162) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 185 \text{ } ^\circ\text{C} = 458 \text{ K}$$

- Mencari temperatur permukaan pipa tube

$$T_{wtube} = T_{f \text{ air}} + \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{h_{air}}{\frac{1}{h_{air}} + \frac{A_i}{A_o}} \times (T_{f \text{ udara}} - T_{f \text{ air}})$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{981,85} + \frac{1036,81}{(8,14) \cdot (0,039) \cdot (1,8) \cdot (86) \cdot (180)}} \times (458 - 337,5)$$

$$= \frac{0,1162}{6,810} = 0,017 \text{ K}$$

$$T_{w \text{ tube}} = T_{f \text{ air}} + \Delta T$$

$$= 337,5 + 0,017$$

$$= 337,517 \text{ K}$$

Konduktifitas termal bahan pipa *Carbon Steel* didapatkan di Tabel 5.3 (Holman, Edisi 10)² Nilai konduktifitas termal bahan pipa *Carbon Steel* Pada suhu dinding 337,517 K adalah **34 W/m K**

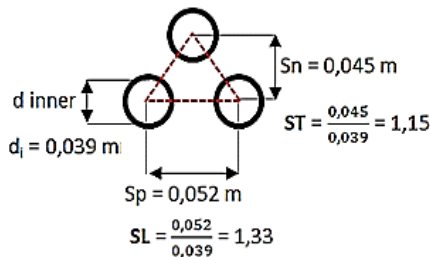
- Mencari sifat termodinamika udara

Untuk mencari sifat termodinamika udara, penulis menggunakan tabel 5.6 buku Heat Transfer Holman, Edisi ke-10

$$\begin{aligned} \rho_{\text{udara}} &= 1,173 \text{ kg/m}^3 \\ C_{p\text{udara}} &= 0,985 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \\ \mu_{\text{udara}} &= 220 \times 10^{-7} \text{ N s/m}^2 \\ k_{\text{udara}} &= 0,0296 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \\ Pr_{\text{udara}} &= 0,717 \\ Pr(T_{\text{pipa}}) &= 0,758 \\ V_{\text{udara}} &= 0,639 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Menghitung kecepatan maksimal udara

$$\begin{aligned} V_{\text{udara max}} &= V_{\text{udara}} \times \frac{S_T}{(S_T - d)} \\ &= 0,639 \times \frac{1,15}{(1,15 - 0,039)} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{\text{m}}{\text{m}} \right] \\ &= 0,66 \text{ m/s} \end{aligned}$$



- Menghitung Nilai Reynolds Udara

$$\begin{aligned} Re_{\text{udara}} &= \frac{\rho_{\text{udara}} \cdot v_{\text{max udara}} \cdot d_{\text{tube}}}{\mu_{\text{udara}}} \\ &= \frac{1,173 \cdot 0,66 \cdot 0,039}{220 \times 10^{-7}} \left[\frac{\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s} \cdot \text{m}}{\text{N s/m}^2} \right] \\ &= 1372,41 \end{aligned}$$

- Mencari konstanta C dan m

$$\begin{aligned} \frac{S_T}{S_L} &= \frac{1,15 \text{ m}}{1,33 \text{ m}} \\ &= 0,86 < 2 \end{aligned}$$

Mencari nilai C dan m dibutuhkan data bilangan Reynolds dan S_T/S_L . Lalu dari tabel 3.2 Konstanta *tube bank* pada aliran *crossflow* didapat konstanta C dan m sebagai berikut (Incropera, Edisi 6)³ :

Tabel 3.2 Mencari nilai C dan m dalam aliran Crossflow

Konfigurasi	Re_{max}	C	m
<i>Aligned</i>	$10 - 10^2$	0,80	0,40
<i>Staggered</i>	$10 - 10^2$	0,90	0,40
<i>Aligned</i> ($S_T/S_L > 0,7$)	$10^3 - 2 \times 10^5$	0,27	0,63
<i>Staggered</i> ($S_T/S_L < 2$)	$10^3 - 2 \times 10^5$	$0,35(S_T/S_L < 2)^{1/5}$	0,60

Koreksi factor (C2) didapat dari Tabel 3.3 dibawah :

Tabel 3.3 Koreksi Faktor (C2) untuk NL = 10

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13	16
<i>Aligned</i>	0,70	0,80	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99
<i>Staggered</i>	0,64	0,76	0,84	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99

Dari **Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3** didapat nilai

$$\begin{aligned} C &= 0,35 (1,15/1,33)^{1/5} & C_2 &= 0,97 \\ &= (0,35)(0,86)^{1/5} \\ &= (0,35 \times 0,97) = \mathbf{0,33} \end{aligned}$$

$$m = \mathbf{0,60}$$

- Menghitung Nilai *Nusselt Number* Udara

$$\begin{aligned} Nu_{\text{udara}} &= C_2 \cdot C \cdot Re_{\text{udara}}^m \cdot Pr_{\text{udara}}^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{udara}}}{Pr(T_{\text{pipa}})} \right)^{1/4} \\ &= 0,97 \cdot 0,33 \cdot (1372,41)^{0,60} \cdot (0,717)^{0,36} \cdot \left(\frac{0,717}{0,758} \right)^{1/4} \\ &= 21,63 \end{aligned}$$

- Menghitung Koefisien Konveksi Udara

$$\begin{aligned} Nu_{\text{udara}} &= \frac{h_{\text{udara}} \cdot d_{\text{tube}}}{k_{\text{udara}}} \\ h_{\text{udara}} &= \frac{Nu_{\text{udara}} \cdot k_{\text{udara}}}{d_{\text{tube}}} \\ &= \frac{21,63 \cdot 0,0296}{0,039} \left[\frac{\text{W/m} \cdot \text{K}}{\text{m}} \right] \\ &= 16,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menghitung Luas Daerah Perpindahan Panas Total

$$\begin{aligned} A_{\text{tot}} &= N \cdot \pi \cdot d \cdot L \\ &= (20) \cdot (9) \cdot 3,14 \cdot 0,039 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \\ &= 39,67 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Total

$$\begin{aligned} U_{\text{tot}} &= \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{udara}}} + \frac{A_o (\ln r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{A_o}{A_i \cdot h_{\text{air}}}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{16,41} + \frac{42,72 (\ln 0,042 / 0,039)}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,18} + \frac{42,72}{39,67 \cdot 1036,31}} \\ &= 16,16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

- Menghitung Kapasitas Perpindahan Panas

$$\begin{aligned} C_{\text{udara}} &= \dot{m}_{\text{udara}} \cdot C_{p\text{udara}} \\ &= (\rho_{\text{udara}} A_{\text{cooler}} V_{\text{udara}}) \cdot C_{p\text{udara}} \\ &= (1,173 \cdot (1,8 \cdot 1,2 \cdot 0,63) \cdot (0,985)) \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] (\text{m}^2) \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \end{aligned}$$

$$= 1,529 \text{ kW/K} \approx 1529,17 \text{ W/K}$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa C_{air} lebih besar dari C_{udara} , maka $C_{air} = C_{max}$, sedangkan $C_{udara} = C_{min}$.

- Menghitung NTU

$$NTU = \frac{U_i A_i}{C_{min}}$$

$$= \frac{(16,16)(39,67)}{1529,17} \left[\frac{\left[\frac{W}{m^2 K} \right] (m^2)}{W/K} \right]$$

$$= 0,42$$

- Menghitung rasio C_r

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

$$= \frac{1529,17}{114779}$$

$$= 0,01$$

- Menghitung Efektivitas *Economizer*

$$\epsilon = 1 - \exp \frac{[\exp(-NTUC_r n) - 1]}{C_r n}$$

$$n = NTU^{-0,22}$$

$$\epsilon = 1 - \exp \frac{[\exp((-0,42)(0,01)(0,42)^{-0,22}) - 1]}{(0,01)(0,42)^{-0,22}}$$

$$\epsilon = 1 - 0,657$$

$$\epsilon = 0,342 \approx 34,22 \%$$

ANALISIS HASIL PERHITUNGAN

Deskripsi Analisis

Proses Analisa yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan nilai unjuk kerja aktual dari *Economizer* proses *Degreasing* di PT. X Plant Karawang. Unjuk kerja aktual akan dibandingkan dengan unjuk kerja ketika perancangan (desain) sehingga bisa terlihat apakah performansi *Economizer* yang digunakan mengalami penurunan atau tidak.

Data Hasil Analisis

Dari hasil analisa yang didapatkan, pada *Economizer* proses *degreasing* di PT. X Plant Karawang ini dimulai dari menghitung Sifat-sifat termodinamika dari kedua fluida (air dan udara), Mencari bilangan Reynold, Menentukan jenis aliran kedua fluida, koefisien perpindahan panas keseluruhan, dan efektivitas perancangan dan pengujian *Economizer*.

- Bilangan Reynold dan Jenis aliran fluida

Pada sisi fluida air berdasarkan **tabel 4.1** Dapat diketahui bahwa aliran air pada saat pengujian aktual sama dengan aliran air pada saat perancangan yaitu merupakan aliran **turbulen**. Hal ini ditunjukkan dari hasil bilangan reynold fluida air baik pengujian maupun Desain lebih besar dari bilangan *reynold* fluida air ($Re > 4000$). Namun terdapat perbedaan

nilai bilangan *reynold* antara pengujian aktual dan Desain. Dimana, nilai pengujian aktual **lebih rendah** dari nilai Desainnya.

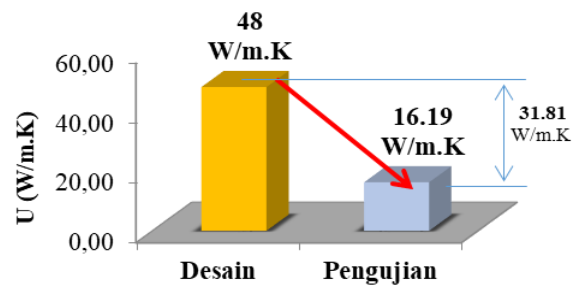
Tabel 4.1 Perbandingan Bilangan Reynold air (Desain x Pengujian)

	Desain		Pengujian Aktual	
	Min	Maks	Min	Maks
Reynold	149590	260006	10968.44	12002.14
Aliran	Turbulen ($Re > 4000$)		Turbulen ($Re > 4000$)	
ΔT (K)	40		23	

Nilai Bilangan reynold pada pengujian menjadi lebih rendah dari desainnya hal ini disebabkan oleh adanya gradient Suhu (ΔT). Gradient suhu akan mempengaruhi nilai massa jenis fluida dan viskositas fluida. Semakin besar gradient suhunya maka massa jenis (ρ) dan viskositas fluida (μ) menjadi lebih rendah sehingga pengaruh terhadap nilai bilangan reynold aktualnya pun akan menjadi lebih rendah.

Nilai bilangan Reynold Untuk fluida udara berdasarkan dari data perhitungan sebesar 1372.57 (Minimum) dan 1468.38 (Maksimum). Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa jenis aliran udara pada saat pengujian *Economizer* adalah aliran laminar.

- Koefisien Perpindahan panas Total

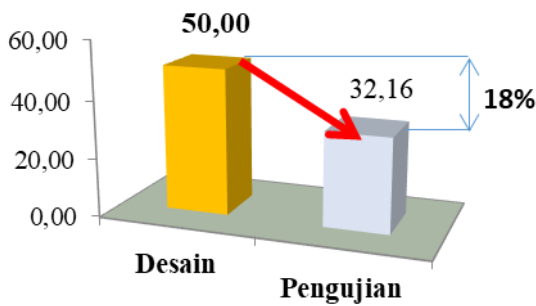


Grafik 4.1 Koef. Perpindahan panas (Desain x Pengujian)

Dari **grafik 4.1** diatas dapat diketahui bahwa nilai koefisien perpindahan keseluruhan pada saat pengujian dari *Economizer* proses *degreasing* di PT. X Plant Karawang mengalami **penurunan** secara signifikan yaitu sebesar **32%**.

Menurunnya nilai koefisien perpindahan panas *Economizer* proses *degreasing* di PT. X Plant Karawang salah satu penyebabnya yaitu akibat *Economizer* sudah beroperasi cukup lama, hal ini memungkinkan dari adanya pengerakan (*Scaling*) didalam pipa yang menyebabkan nilai konduktifitas termal nya pun menurun. Hal ini mengakibatkan gradient suhu menjadi lebih rendah.

- Efektivitas Perancangan dan Pengujian *Economizer*



Grafik 4.2 Efektivitas *Economizer* (Desain x Pengujian)

Menurunnya Efektivitas *Economizer* proses *degreasing* di PT. X Plant Karawang sama halnya dengan analisis koefisien perpindahan panas sebelumnya dimana salah satu penyebabnya yaitu akibat *Economizer* sudah beroperasi cukup lama. Jika melihat **grafik 4.2** Efektivitas actual *Economizer* jelas mengalami penurunan yang signifikan dari efektivitas Desainnya yaitu Persentase Penurunan sebesar 18%. Adanya penurunan performansi ini dipengaruhi salah satunya oleh pengerakan (*scaling*) pada pipa *tube* air sehingga perpindahan panas dari udara ke air tidak optimal.

Analisis Pengerakan (Scaling)

Untuk dapat mengetahui besarnya persentase pengerakan, dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

Tai standar perancangan (Desain) = 303 K

Tao standar perancangan (Desain) = 343 K

Tf air standar perancangan (Desain) = 323 K

Perhitungan untuk mencari bilangan Reynold, Nusselt, dan koefisien konveksi sebagai berikut :

- $\rho_{air} = 988,1 \text{ kg/m}^3$
- $C_{pair} = 4,181 \text{ kJ/kg.K}$
- $\mu_{air} = 547 \times 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$
- $k_{air} = 0,644 \text{ W/m.K}$
- $Pr_{air} = 3,55$

- Mencari Bilangan Reynolds Air

$$\begin{aligned} \text{Red}_{air} &= \frac{\rho_{air} \cdot v_{air} \cdot d_{tube}}{\mu_{air}} \\ &= \frac{988,1 \cdot 0,13 \cdot 0,039 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m} \right]}{547 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right]} \\ &= 9158,440 \end{aligned}$$

- Mencari Bilangan Nusselt Air

$$\begin{aligned} \text{Nud} &= 0,023 \cdot \text{Red}_{air}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{air}^{0,4} \\ &\text{(mengalami pemanasan)} \\ \text{Nud} &= 0,023 \cdot (9158,440)^{0,8} \cdot (4,181)^{0,4} \\ \text{Nud} &= 60,21 \end{aligned}$$

- Mencari Nilai Koefisien Konveksi Air

$$\text{Nud}_{air} = \frac{h_{air} \cdot d_{tube}}{k_{air}}$$

$$\begin{aligned} h_{air} &= \frac{\text{Nud}_{air} \cdot k_{air}}{d_{tube}} \\ h_{air} &= \frac{60,21 \cdot 0,644 \left[\frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right]}{0,039 \left[\text{m} \right]} \\ h_{air} &= 994,236 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

$h_{air} = 994,236 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ merupakan koefisien konveksi air sesuai desain awal (bersih dari pengerakan), lalu kita ambil rata-rata koefisien konveksi air dari seluruh data dan didapat $h_{air} = 971,71 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ini merupakan koefisien konveksi air aktual. Maka kita dapat menghitung persentase pengerakan sebagai berikut :

Persentase pengerakan (%)

$$= 100 - \left(\frac{h_{air} \text{ aktual}}{h_{air} \text{ desain}} \right) \times 100 \%$$

$$= 100 - \left(\frac{971,71}{994,236} \right) \times 100 \%$$

$$= 2,26 \%$$

Persentase 2,26 % ini merupakan rugi dari pengerakan pada *Economizer* proses *Degreasing* di PT. X Plant Karawang. Jika efektivitas *Economizer* adalah 32%, dan jika efektivitas desain *Economizer* adalah 50%, maka 15,74 % adalah rugi-rugi lainnya.

KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan Analisis yang dilakukan pada tanggal 20 Januari 2017 mengenai Performansi *Economizer* pada proses *degreasing* yang digunakan pada sistem pemanasan ulang (*re-heater*) di PT. X Plant Karawang, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Aliran air pada saat pengujian aktual sama dengan aliran air pada saat desainnya yaitu merupakan aliran turbulen.

Nilai Bilangan reynold pada pengujian menjadi lebih rendah dari desainnya hal ini disebabkan oleh adanya gradient Suhu (ΔT). Gradient suhu akan mempengaruhi nilai massa jenis fluida dan viskositas fluida.

Nilai koefisien perpindahan keseluruhan pada saat pengujian dari *Economizer* proses *degreasing* di PT. X Plant Karawang mengalami penurunan secara signifikan yaitu presentase penurunan sebesar 32%.

Efektivitas actual *Economizer* mengalami penurunan yang signifikan dari efektivitas Desainnya yaitu Persentase Penurunan sebesar 18%.

Adanya penurunan Nilai Koefisien perpindahan panas keseluruhan dan efektivitas disebabkan oleh adanya pengerakan (*scaling*) pada

pipa yang mengakibatkan konduktifitas termal menurun.

Adanya rugi-rugi yang disebabkan oleh pengerakan dapat dibuktikan dengan perhitungan presentase pengerakan sebesar 2.26%

DAFTAR PUSTAKA

- Awwaluddin, Muhammad. (2007), *Analisis Perpindahan Kalor Pada Heat Exchanger Pipa Ganda dengan Sirip Berbentuk Delta Wing*, UNS, Semarang.
- Holman, Jack P., *Heat Transfer*, Department of Mechanical Engineering Southern Methodist University, Edisi ke-10
- Incropera, Frank P. dan David P. Dewitt., (2010), *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 10th Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Komarudin, (2004), *Buku ajar Perpindahan Panas*, ISTN Press, Jakarta
- Miyagawa, Toyota *Safety and Equipment Manual Book Standardization*, Toyota Motor Corp., Aichi, Japan, 2016