

ANALISIS HEATEXCHANGER PADA GEAR BOX OLI REDUCER DRYER DI PT. PETROKIMIA GRESIK

Sugeng Hariyadi, Elang Adi Saputra
Program Studi Teknik Mesin Univeritas Gresik

ABSTRAK

PT. Petrokimia Gresik merupakan sebuah perusahaan yang bergerak pada bidang produksi pupuk dan bahan kimia lainnya yang manadalam proses produksinya diperlukan berbagai macam alat yang digunakan sebagai penunjang proses produksi itu sendiri. Dan seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi serta perkembangan ilmu pengetahuan, kebutuhan akan alat penunjang produksi yang lebih efisien, sederhana, dan juga ekonomis akan bertambah. Salah satunya adalah Heat Exchanger. Pada proyek akhir ini dibuatlah sebuah analisis mengenai Heat Exchanger pada Gear Box Oil Reducer Dryer di PT. Petrokimia Gresik.

Penelitian yang dibuat proyek akhir ini dilakukan di PT. Petrokimia Gresik khususnya unit PHONSKA III. Jenis penelitian adalah perhitungan suhu rata-rata pada Output Heat Exchanger yang sesuai dengan batasan maximum suhu yang diinginkan. Serta diperlukan juga beberapa variabel pada penelitian ini, yaitu data dari Hot Fluid serta Cold Fluid Temperature input dan output; data jumlah pipa dan juga efektifitas dari Heat Exchanger.

Pada penelitian ini didapat bahwa luas penampang tube saat kondisi Heat Exchanger mengalami over heat adalah 15.14 m^2 , sedangkan untuk nilai design luas penampang tube adalah 19.752 m^2 . Jugadidapat bahwa besar nilai ΔLMTD pada design parallel flow saat ini adalah 54.74°C , sedangkan bila diubah dalam design cross flow mencapai 40.59°C . Heat Exchanger dengan range tinggi berarti alat tersebut telah mampu menurunkan suhu secara efektif dan memiliki kinerja yang bagus. Tetapi Range Heat Exchanger yang digunakan pada penelitian ini hanya didapat sebesar 15°C dengan nilai efisiensi yang didapat hanya sebesar 27.27%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Heat Exchanger yang digunakan pada unit PHONSKA III PT. Petrokimia Gresik ini sudah tidak layak.

Kata kunci : Heat Exchanger, Temperature Input dan Output, parallel flow, cross flow.

PENDAHULUAN

PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan yang berjalan dalam lingkup departemen perindustrian dan perdagangan yang bergerak dalam produksi pupuk, bahan-bahan kimia dan jasa lainnya seperti kontruksi dan *engineering*. PT. Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk tertua kedua di Indonesia setelah pupuk sriwijaya Palembang dan juga pabrik pupuk terlengkap di antara pabrik lainnya. Jenis pupuk yang di produksi oleh PT. Petrokimia Gresik antara lain adalah : Zwavelzuur Ammonium (ZA I, ZA II, ZA III). Super phospat (SP-36 I/ TSP I, SP-36 II/ TSP2), NPK/PHONSKA dan UREA.

Dalam unit produksi PHONSKA terdapat suatu equiptmen yaitu *Rotary Dryer*. *Rotary Dryer* sendiri adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengeringkan aneka bahan padatan, bahan padatan dimasukan melalui ujung *inlet screw conveyor* dan dikeringkan sepanjang tabung yang berputar, adanya kemiringan tabung dan sirip-sirip di dalam tabung menyebabkan bahan akan keluar menuju *screw conveyor outlet*.

Rotary Dryer sendiri digerakan oleh motor listrik dengan tegangan 6 Kv, dalam proses putaran *dryer* pastinya di tambahkan *gear box* sebagai pengatur *speed dryer*.

Gear box sendiri bila di jalankan terus menerus pastinya akan mengalami aus dan cepat panas, di PT. Petrokimia sendiri *gear box* sendiri di isi oli sebagai media pelumas dan pendingin yang disirkulasikan secara terus menerus dengan tambahan *heat exchanger* untuk menstransfer panas yang dihasilkan oleh *outlet gear box*.

Alat penukar panas atau *Heat Exchanger* (HE) adalah alat yang

digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Penukar panas sangat luas dipakai dalam industri seperti kilang minyak, pabrik kimia maupun petrokimia, industri gas alam, refrigerasi, pembangkit listrik. Salah satu contoh sederhana dari alat penukar panas adalah radiator mobil di mana cairan pendingin memindahkan panas mesin.

Pada saat ini khusus nya dalam unit PHONSKA untuk *hot in* yang masuk ke *heat exchanger* berkisar antara *temperature* 80⁰ – 90⁰C, untuk *hot out* besaran *temperature* yang di inginkan adalah 40⁰ – 55⁰C. Tetapi pada kenyataannya saat ini *hot out* selalu berkisar antara *temperature* 60⁰C – 75⁰C. Pada *temperature* tersebut tentu nya sangat beresiko apabila *gear box rotary dryer* ini tetap di jalan kan, karena oli pada *temperature* tersebut bisa dikatakan encer sehingga tidak layak digunakan sebagai pelumasan pada *gear box rotary dryer*, untuk itu perlu dilakukan analisa mengapa *temperature hot out* selalu di atas batas yang di inginkan sehingga akan dapat memperpanjang usia *gear box rotary dryer*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kerja *heat exchanger* sehingga suhu rata-rata oli pada *gear box dryer* bisa tercapai.

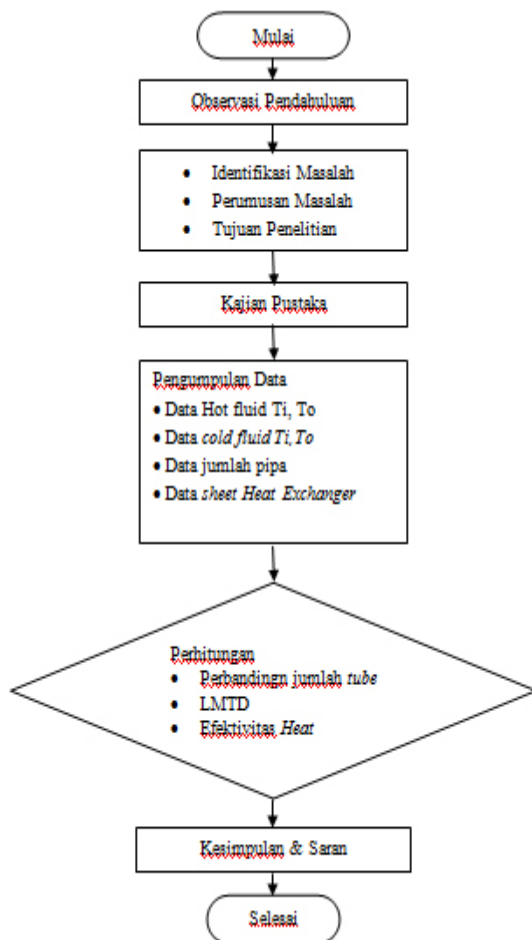
METODE PENELITIAN

Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Petrokimia Gresik khususnya untuk unit PHONSKA III mulai 01 juli sampai 01 desember 2015. Jenis penelitian adalah perhitungan suhu rata-rata pada *output heat exchanger* yang sesuai dengan batasan maximum suhu yang di inginkan. Variabel yang diperlukan dalam penelitian adalah data *hot fluid Temperaturee input* dan *output*, data *cold fluid temperaturee input* dan *output*, data jumlah pipa dan efektivitas *heat exchanger*.

Alur Penelitian

Penelitian yang dilakukan sesuai alur pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Sheet Heat Exchanger

Tabel 4.1 Heat Exchanger Specifications

HEAT EXCHANGER SPECIFICATIONS		
GENERAL		
POSITION	HORIZONTAL	VERTIKAL
SIZE : 457-2114 TYPE : B E M CONNECTED IN : 1 SERIES 1 PARALLEL		
SURFACES PER SHELL : (EFF.) 26.61 m ²		
CONSTRUCTION CODE : ASME SECT.VIII-DIV. I, EDIT. 2004 A.90/TEMA CLASS "R" EDIT. 1988		
WEIGHT (KG.) EMPTY (SHIPPING) : - KG. FULL OF WATER : - KG. TUBE BUNDLE : - KG.		
ASME STAMP : -		

Tabel 4.2 Data Construction

CONSTRUCTION		
PROPERTIES	SHELL	TUBE
FLUIDA	OIL	WATER
DESIGN PRESSURE kg/cm ² (G)	26	10
OPERATING PRESSURE kg/cm ² (G)	11	2.9
DESIGN TEMPERATURE °C	100	80
DESIGN OPERATING °C	55-82	28-30
HYDROTEST PRESSURE kg/cm ² (G)	33.8	13
CORROSION ALLOWANCE mm	-	-
NO. OF PASSES	2	2
RADIOGRAPHY	-	-
PWHT	NONE	NONE
NO. OF TUBE : 326 ; OD = 9,5 mm ; THK.(min) 0,89 ; LONG : 2336 mm; PITCH 12.5 Δ		

Perbedaan Suhu Rata-rata (LMTD)

Dalam perpindahan panas perbedaan suhu mengendalikan laju perpindahan panas. Suhu fluida sering tidak tetap untuk itu diperlukan perhitungan perbedaan suhu rata-rata. Perhitungan LMTD ini nantinya akan digunakan untuk menentukan koefisien perpindahan panas.

Tabel 4.3 Data *Output Summary*

Process Conditions		Hot Shellside		Cold Tubeside	
<i>Output Summary</i> Page 1 Released to the following HTRI Member Company Pkg K3pg Xist E Ver. 5.00 28/09/2015 10:28 SN: Friendly MKH Units Simulation - Horizontal Multipass Flow TEMA BEM Shell With Single-Segmental Baffles See Data Check Messages Report for Informative Messages. See Runtime Message Report for Warning Messages.					
Exchanger Performance					
Fluid name					
Flow rate (1000-kg/hr)		42,0000		380,000	
Inlet/Outlet Y (Wt. Frac vap.)	0,000	0,000	0,000	0,000	
Inlet/Outlet T (Deg C)	90,00	54,56	26,00	27,97	
Inlet P/Avg (kgf/cm2A)	27,033	25,972	11,033	0,000	
dP/Allow. (kgf/cm2)	2,121	0,000	17,610	0,000	
Fouling (m2-hr-C/kcal)		0,000349		0,000349	
Shell h (kcal/m2-hr-C)	4964,68		Actual U (kcal/m2-hr-C)	904,76	
Tube h (kcal/m2-hr-C)	40305,8		Required U (kcal/m2-hr-C)	902,46	
Hot regime (-) Sens. Liquid			Duty (MM kcal/hr)	0,7464	
Cold regime (-) Sens. Liquid			Area (m2)	19,752	
EMTD (Deg C)	41,9		Overdesign (%)	0,25	
Shell Geometry			Baffle Geometry		
TEMA type (-)	BEM		Baffle type (-)	Single-Seg	
Shell ID (mm)	250,000		Baffle cut (Pct Dia.)	25,00	
Series (-)	1		Baffle orientation (-)	Perpend.	
Parallel (-)	1		Central spacing (mm)	59,507	
Orientation (deg)	0,00		Crosspasses (-)	21	
Tube Geometry			Nozzles		
Tube type (-)	Plain		Shell inlet (mm)	154,051	
Tube OD (mm)	9,525		Shell outlet (mm)	154,051	
Length (mm)	2100,		Inlet height (mm)	12,275	
Pitch ratio (-)	1,1549		Outlet height (mm)	12,275	
Layout (deg)	30		Tube Inlet (mm)	200,000	
Tube count (-)	322		Tube Outlet (mm)	200,000	
Tube Pass (deg)	2				
Thermal Resistance; %		Velocities; m/s		Flow Fractions	
Shell	18,22	Shellside	1,33	A	0.464
Tube	2,84	Tubeside	14,79	B	0.155
Fouling	71,57	Crossflow	5,35	C	0.077
Metal	7,363	Window	2,38	E	0.304
				F	0.000

Data yang diperoleh :

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 90,00^\circ\text{C} & t_1 &= 26,00^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 54,56^\circ\text{C} & t_2 &= 27,97^\circ\text{C} \\
 Q &= 4964,68 \text{ w} \\
 A &= 19,725 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maka Δ_t dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= \ln \frac{(T_2 - t_2) - (T_1 - T_1)}{\frac{(T_2 - t_2)}{(T_1 - t_1)}} \\
 \Delta t &= \ln \frac{(54,56 - 27,97) - (90,00 - 26,00)}{\frac{(54,56 - 27,97)}{(90,00 - 26,00)}} \\
 \Delta t &= \ln \frac{(26,59) - (64)}{(64)} \\
 \Delta_t &= \ln \frac{-37,41}{0,41} \\
 \Delta_t &= \frac{-37,41}{-0,89} \\
 \Delta_t &= 42,03^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Koefisien Perpindahan Panas

Pada dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada *temperature* yang berbeda dimana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung. Menentukan koefisien perpindahan panas ini nantinya akan digunakan untuk menentukan luasan penampang heart *exchanger* apabila *output* oli sudah mengalami *over heat*.

Data yang diperoleh :

$$\begin{aligned}
 Q &= 4964,68 \text{ kW} \\
 A &= 19,725 \text{ m}^2 \\
 \Delta_t \text{ LMTD} &= 42,03^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Maka koefisien perpindahan panas dapat diketahui dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 Q &= U \cdot A \cdot \Delta_t \text{ LMTD} \\
 4964,68 &= U \times 19,725 \times 42,03 \\
 4964,68 &= U \times 829,04 \\
 U &= \frac{4964,68}{829,04} \\
 U &= 5,99 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan LMTD pada saat *Over Heat*

Dalam perhitungan ini nilai dari *output* oli yang ada pada data HTRI kita rubah dengan kenyataan yang ada di lapangan dan hasil dari perhitungan LMTD ini nantinya akan digunakan untuk perbandingan luasan penampang yang seharusnya digunakan pada saat *output* oli mengalami *over heat*.. Jika T_2 menjadi 75°C , maka :

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 90^\circ\text{C} & U &= 5,99 \text{ W/m}^2 \\
 T_2 &= 75^\circ\text{C} & Q &= 4964,68 \text{ kW} \\
 t_1 &= 26^\circ\text{C} \\
 t_2 &= 27,97^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= \ln \frac{(T_2 - t_2) - (T_1 - t_1)}{\frac{(T_2 - t_2)}{(T_1 - t_1)}} \\
 \Delta t &= \ln \frac{(75 - 27,97) - (90 - 26)}{\frac{(75 - 27,97)}{(90 - 26)}} \\
 \Delta t &= \ln \frac{(47,03) - (64)}{(64)} \\
 \Delta_t &= \ln \frac{-16,97}{0,73} \\
 \Delta_t &= \frac{-16,97}{-0,31} \\
 \Delta_t &= 54,74^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Luas Penampang

Dari perhitungan koefisien perpindahan panas dan perhitungan LMTD yang sudah diperoleh maka luas

penampang pada saat *over heat* dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$Q = 4964,68 \text{ kW}$$

$$U = 5,99 \text{ W/m}^2$$

$$\Delta_i \text{LMTD} = 54,74 \text{ }^\circ\text{C}$$

Maka luas penampang (A) adalah :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta_i \text{LMTD}$$

$$4964,68 = 5,99 \times A \times 54,74$$

$$A = \frac{4964,68}{327,8}$$

$$A = 15,14 \text{ m}^2$$

Perbandingan Jumlah Tube

Spesifikasi Tube

$$N = 326 \text{ pcs} \quad A_1 = 19,752 \text{ m}^2$$

$$D = 9,53 \text{ mm} \quad A_2 = 15,14 \text{ m}^2$$

$$L = 2336 \text{ mm}$$

$$A = \pi \cdot D \cdot L \cdot N$$

$$= 3,14 \times 9,53 \times 2336 \times 326$$

$$= 22 \text{ m}^2$$

$$F_c = \frac{22}{19,752}$$

$$F_c = 1,11$$

Maka Perbandingan jumlah tube adalah :

$$A_2 \times F_c$$

$$15,14 \times 1,11 = 16,8$$

$$\frac{326}{16,8} = \frac{X}{22}$$

$$X = \frac{7171}{16,8}$$

$$X = 427 \text{ pcs}$$

Laju Aliran Massa

Laju aliran massa pada *heat exchanger* yang dibangun berdasarkan prinsip *Thermodynamika*, dapat dihitung menggunakan rumus persamaan, sebagai berikut:

$$Q_c = 40305,8 \text{ kW}$$

$$C_{p \text{ Air}} = 4,203 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta t_1 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 27,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

Cold

$$Q_c = m_c \cdot C_{p \text{ Air}} \cdot \Delta t$$

$$40305,8 = m_c \times 4,2 \times (27,97 - 26)$$

$$M_c = \frac{40305,8}{8,274}$$

$$M_c = 4871,38 \text{ kg/s}$$

Hot

$$Q_h = 4964,68 \text{ kW}$$

$$C_{p \text{ oli}} = 0,45889 \text{ kal/ g}^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_1 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_h = m_h \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$4964,68 = m_c \times 0,4588 \times (90 - 75)$$

$$4964,68 = m_h \times 0,4588 \times 15$$

$$M_h = \frac{4964,68}{6,882}$$

$$M_h = 721,4 \text{ kg/s}$$

Cross Flow

Design Heat Exchanger saat ini yang menggunakan tipe aliran paralel *flow* memiliki nilai 54,74 $^\circ\text{C}$, jika menggunakan tipe aliran *cross flow* maka di dapat kan persamaan sebagai berikut :

$$\text{LMTD} = \ln \frac{(\Delta t_1) - (\Delta t_2)}{\frac{(\Delta t_1)}{(\Delta t_2)}}$$

$$\text{LMTD} = \ln \frac{(90 - 27,97) - (75 - 26)}{\frac{(90 - 27,97)}{(75 - 26)}}$$

$$\text{LMTD} = \ln \frac{(62,03) - (49)}{\frac{(62,03)}{(45)}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{13,03}{0,32095562}$$

$$\text{LMTD} = 40,5975 \text{ }^\circ\text{C}$$

Range Approach dan efektifitas Heat Exchanger

Range dan Approach yang dicapai dalam penelitian *heat exchanger* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Approach } (^{\circ}\text{C}) &= (T_{\text{out}} - T_{\text{wb}}) \\ &= 75^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C} \\ &= 40^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rangs } (^{\circ}\text{C}) &= (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) \\ &= 90^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C} \\ &= 15^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Rumus persamaan untuk menentukan kapasitas *heat exchanger* penelitian adalah, sebagai berikut:

$$\eta = \frac{T_{\text{in}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{in}} - T_{\text{wb}}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{90-75}{90-35} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{15}{55} \times 100 \%$$

$$\eta = 27,27 \%$$

Sehingga dengan perhitungan dengan menggunakan persamaan rumus di atas maka didapatkan *Approach Heat Exchanger* penelitian adalah 40°C , sedangkan untuk efisiensi atau kapasitas pendinginan *Heat Exchanger* adalah $27,27 \%$.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Dari perhitungan luas penampang *tube* pada saat kondisi *Heat Exchanger* mengalami *over heat* adalah $15,14 \text{ m}^2$. Sedangkan untuk nilai *design* luas penampang *tube* adalah $19,752 \text{ m}^2$
2. Jumlah *Tube* yang seharusnya digunakan pada saat *Heat Exchanger*

mengalami *over heat* adalah 427 *Tube*. Sedangkan pada *design Heat Exchanger* saat ini adalah 326 *Tube*. Karena semakin kecil luas penampang *tube* dan semakin banyak jumlah *Tube* maka kecepatan transfer panas akan semakin besar pula.

3. Kecepatan aliran massa *Heat Exchanger* yang diperoleh sebagai hasil dari panas spesifik, kapasitas dan perbedaan *temperature* pada Fluida air adalah $4871,38 \text{ kg/jam}$. Sedangkan untuk Fluida oli adalah $721,4 \text{ kg/jam}$.
4. Besar harga koefisien perpindahan panas adalah $5,99 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Semakin besar nilai koefisien perpindahan panas yang didapat maka semakin kecil nilai luas penampang yang dibutuhkan.
5. Besar nilai ΔT LMTD yang didapat pada *design* *pararel flow* saat ini adalah $54,74^{\circ}\text{C}$. Sedangkan apabila diubah dalam *design cross flow* mencapai nilai $40,59^{\circ}\text{C}$. Semakin besar nilai ΔT LMTD maka semakin besar nilai kecepatan transfer panas.
6. *Heat Exchanger* dengan *range* yang tinggi berarti alat tersebut telah mampu menurunkan suhu secara efektif dan memiliki kinerja yang bagus. Tetapi pada saat ini nilai *range* yang didapat hanya 15°C .
7. *Approach* yang dicapai saat ini adalah 40°C . Semakin rendah nilai *approach* yang didapat maka semakin baik pula kinerja *Heat Exchanger* tersebut.
8. Dalam hal efisiensi nilai yang didapat hanya $27,27\%$ sehingga dapat dikatakan kinerja *Heat Exchanger* saat ini sudah tidak layak karena $<80\%$..

Saran

1. Melihat dari perhitungan di atas di dapatkan hasil perbandingan jumlah

- tube* pada saat *Heat Exchanger* mengalami *over heat* dengan *Heat Exchanger* dalam maka keadaan normal, maka dari itu di sarankan untuk mengganti *Heat Exchanger* dengan jumlah *tube* yang lebih banyak sehingga efektivitas bisa tercapai.
2. Dari perhitungan laju aliran massa di dapati bahwa nilai fluida oli adalah 721,4 kg/s dan air 4871,38 kg/s. Untuk itu di sarankan untuk memperbaiki line aliran oli maupun air yang masuk dengan cara memperbesar luasan dari semula 15,14m² atau dengan membersihkan kotoran yang bisa menghambat laju aliran massa.
 3. Melihat dari segi efektifitas *Heat Exchanger* yang hanya mencapai nilai 27% dan dapat di kategori kan *Heat Exchanger* tersebut sudah tidak layak, untuk itu segera dilakukan perbaikan agar suhu oli yang masuk ke *gear box dryer* bisa normal kembali.

Hill, New York, 1985, Chapter 11, 12, 15

Kays, W.M. and London, A.L., "Compact Heat Exchanger", 2 nd Edition McGraw-Hill, New York, 1964

Kern, D.Q., *Process Heat Transfer*, Mc Graw Hill, New York, 1950.

Kern, D.Q. 1952. *Process Heat Transfer*.

Kern, DQ, "Process Heat Transfer", Mc.Graw-Hill, New York, 1965

McCabe, Smith dan Harriots, *Unit Operations in Chemical Engineering*, Mc Graw Hill, 1985.

Richard C. Byrne, *Standards of The Tubular Exchanger Manufactures Association*, Inc: New York, 2000

DAFTAR PUSTAKA

- Artono Koestoer, Raldi . "Perpindahan Kalor". Salemba Teknika. Jakarta 2002
- Foust, A.S., et al., *Principles of Unit Operations*, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- Geankoplis, C.J., *Transport Process and Unit Operations*, Allyn and Bacon Inc., 1987.
- Holman, J.P., *Heat Transfer*, Mc Graw Hill, New York, 1987.
- Holman, JP. Alih bahasa E.Jasifi. "Perpindahan Kalor". Penerbit Erlangga. Jakarta. 1995
- Incropera, F.P., dan Dewitt, D.P., *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, 2002.
- MC. Cabe, W.L, Smith, JC, Harriot, P, " Unit Operation of Chemical Engineering", 4th ed, Mc.Graw-