



# ANALISIS DESAIN RANCANG BANGUN ALAT PENUKAR KALOR TIPE *DOUBLE PIPE* ALIRAN *COCURRENT* DAN *COUNTER FLOW*

(<sup>1</sup>) Irna Sari Maulani, (<sup>2</sup>) Hendra Firdaus

(<sup>1</sup>) Teknik Mesin Universitas Galuh, (<sup>2</sup>) Teknik Sipil Universitas Galuh  
Jln RE Martadinata No 150 Ciamis

irna.maulani@gmail.com

**Abstract—** A heat exchanger is a device used to exchange heat between two fluids having different temperatures. The type of heat exchanger used in this study is a double pipe (double pipe). This type was chosen because it has a fairly simple design and fairly easy thermal analysis calculations. The types of fluid flow used are cocurrent flow and counter flow. The aim of this research is to know the characteristics of heat transfer type of concurrent flow and counter flow. The calculation method used is the LMTD (Log Mean Temperature Difference) calculation, which is the logarithmic average of the temperature difference between the hot fluid flow and the cold fluid flow. The results obtained from the calculation of the LMTD for both types of fluid flow, namely, concurrent flow of 173,056 °K and for counter flow, a value of 173,057 °K is obtained. The difference obtained from the LMTD calculation of the two types of fluid has an insignificant value, this is because the inlet temperature and the outlet temperature of the heat exchanger have a relatively small difference, thus affecting the LMTD calculation. The heat load obtained from the two types of fluid flow, namely concurrent flow is 11.512. 58 W and for the type of counter flow of 11,512. 59 W.

**Keywords—** Double Pipe, Heat Exchanger, LMTD Method.

**Abstrak—** Alat penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk pertukaran kalor antara dua fluida yang memiliki temperatur berbeda. Jenis alat penukar kalor yang digunakan pada penelitian ini adalah double pipe (pipa ganda). Jenis ini dipilih karena mempunyai desain yang cukup simple dan perhitungan analisis termal yang cukup mudah. Jenis aliran fluida yang digunakan adalah aliran searah (*cocurrent flow*) dan aliran berlawanan arah (*counter flow*). Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui karakteristik perpindahan kalor jenis aliran fluida searah (*concurrent flow*) dan aliran berlawanan arah (*counter flow*). Metode perhitungan yang digunakan menggunakan perhitungan LMTD (*Log Mean Temperatur Difference*) yaitu rata rata logaritmik dari perbedaan temperature aliran fluida panas dan aliran fluida dingin. Hasil yang diperoleh dari perhitungan LMTD kedua jenis aliran fluida yaitu, aliran searah (*concurrent flow*) sebesar sebesar 173,056 °K dan untuk aliran berlawanan arah (*counter flow*) diperoleh nilai sebesar 173,057 °K. Selisih yang diperoleh dari perhitungan LMTD kedua jenis fluida mempunyai nilai yang tidak signifikan, hal ini dikarenakan temperatur masuk dan temperature keluar dari alat penukar kalor mempunyai selisih yang relative kecil, sehingga memengaruhi terhadap perhitungan LMTD. Beban kalor yang diperoleh dari kedua jenis aliran fluida yaitu aliran searah (*concurrent*) sebesar 11,512. 58 W dan untuk jenis aliran berlawanan arah (*counter flow*) sebesar 11,512. 59 W.

**Kata kunci—** Alat Penukar Kalor, Double Pipe, Metode LMTD.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri terutama pada bidang teknologi membutuhkan sebuah alat untuk memindahkan sejumlah energi panas dari suatu fluida ke fluida lain dikarenakan

adanya beda temperatur. Alat ini dinamakan alat penukar kalor atau heat exchanger. Alat penukar kalor digunakan pada industri yang berkaitan dengan proses produksi atau operasi, pembangkit tenaga listrik, industri bahan kimia, industri minyak, industri pesawat

terbang, industri otomotif, pengeringan, pendinginan dan sebagainya. Aplikasi rekayasa industri diantaranya radiator pada mobil, oil coller pada mesin pesawat terbang, kondensor pada mesin pendingin, feed water heater pada boiler dan lain-lain. Alat penukar kalor yang paling sederhana secara konstruksi adalah tipe double pipe. Kelebihann tipe ini adalah memiliki pipa yang mempunyai diameter kecil, pipa dapat diatur pemasangan sesuai jenis aliran fluida, perhitungan desain mudah dibuat dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Perancangan alat penukar kalor terbagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap analisis termal, perancangan mekanik dan perancangan produksi. Mengingat luasnya penelitian ini, maka penelitian ini dibatasi untuk analisi termal dengan jenis fluida yang digunakan adalah air dan oli. Jenis aliran fluida yang digunakan adalah aliran *counter flow* (berlawanan arah) dan *concurrent flow* (searah atau paralel). Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui karakteristik perpindahan kalor jenis aliran fluida searah (*concurrent flow*) dan aliran berlawanan arah (*counter flow*).

Tahapan awal yang dilakukan adalah menentukan kondisi awal desain yang terdiri dari ukuran diameter pipa dan jenis pipa yang digunakan dan panjang pipa yang digunakan. Tahap selanjutnya perhitungan numerik menggunakan software Microsoft Excel 2010 dimulai dengan menentukan sifat fisik fluida dan karakteristik fluida. Karakteristik fluida digunakan untuk menghitung LMTD dan beban kalor yang diperlukan alat penukar kalor. Langkah terakhir yaitu menghitung kesetimbangan energy dari beban kalor alat penukar kalor, beban kalor fluida air dan beban kalor fluida oli. Ketiga beban kalor tersebut harus berada pada kesetimbangan kalor.

## II. LANDASAN TEORI

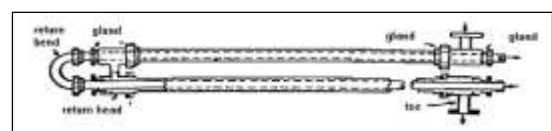
Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa kalor tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat diubah dari suatu jenis energi ke bentuk energi lain. Perpindahan kalor merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan kalor yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan kalor secara

konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam medium yang bersinggungan secara langsung.

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan kalor pada suatu zat disertai perpindahan partikel zat tersebut, perpindahan ini dapat terjadi pada fluida mengalir (zat cair dan gas). Perpindahan kalor secara radiasi terjadi dimana kalor mengalir dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah dan kedua benda tersebut terpisah di dalam ruangan.

Alat penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk pertukaran kalor antara dua fluida yang memiliki temperatur berbeda. Tujuan perpindahan kalor diantaranya untuk memanaskan atau mendinginkan fluida sehingga mencapai temperature tertentu untuk memenuhi persyaratan proses selanjutnya. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya diatas suhu fluida disekitarnya dapat terjadi dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah kalor mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel fluida yang berbatasan.

Alat penukar kalor tipe double pipe (pipa ganda) terdiri dari dua pipa yang kedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat seperti terlihat pada Gambar 1. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida lainnya mengalir di dalam ruang annulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Penukar kalor double pipe dapat bekerja pada skala kecil, umumnya skala labolatorium yang mempunyai laju aliran fluida yang kecil, temperatur sekitar 600°C dan tekanan operasi yaitu diatas 300 atm pada annulus dan 1400 atm pada tube. Alat penukar kalor double pipe mempunyai kelebihan yaitu kontruksi yang sederhana, pemeliharaan yang mudah dan dapat bekerja pada tekanan tinggi.



Gambar 1. Konstruksi Alat Penukar Kalor Tipe *Double Pipe*

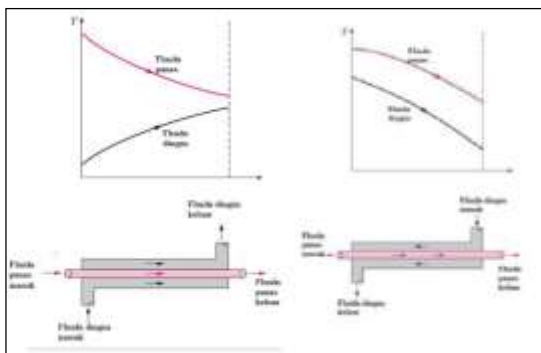
LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) adalah suatu perhitungan yang digunakan untuk menentukan temperatur penggerak

perpindahan kalor pada system aliran. LMTD adalah nilai rata-rata logaritma dari perbedaan temperatur antara sisi panas dan dingin pada alat penukar kalor. Semakin besar nilai LMTD maka semakin banyak perpindahan kalor yang terjadi. LMTD dihitung berdasarkan jenis aliran fluida. Jenis aliran fluida yang umum digunakan adalah aliran searah (*cocurrent flow*) dan aliran berlawanan (*counter flow*) seperti terlihat pada **Gambar 2**. Perhitungan aliran fluida searah (*cocurrent flow*) menggunakan persamaan:

$$LMTD = \frac{(T_{h,in} - T_{c,in}) - (T_{h,out} - T_{c,out})}{\ln \left[ \frac{(T_{h,in} - T_{c,in})}{(T_{h,out} - T_{c,out})} \right]} \quad (1)$$

Sementara untuk aliran fluida berlawanan (*counter flow*) menggunakan persamaan:

$$LMTD = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln \left[ \frac{(T_{h,in} - T_{c,out})}{(T_{h,out} - T_{c,in})} \right]} \quad (2)$$



Gambar 2. Jenis Aliran Fluida

Kemampuan sebuah alat penukar kalor dalam menukarkan energi dalam bentuk kalor dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD \quad (3)$$

Dimana Q adalah kalor yang dipindahkan persatuan waktu (Watt),

U: koefisien perpindahan kalor keseluruhan ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ),

A: luas area perpindahan kalor ( $m^2$ ),

LMTD: selisih temperatur rata-rata logaritmik ( $^\circ C$ )

Neraca panas (*heat balance*) adalah energi panas yang dilepaskan oleh aliran fluida panas yang masuk kedalam bagian *shell* harus sama dengan energi panas yang diserap oleh aliran fluida dingin yang keluar dari bagian *tube*, sesuai dengan persamaan:

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_c \quad (4)$$

$$\dot{m}_h \cdot C_{p_h} (T_{h,in} - T_{h,out}) = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} (T_{c,out} - T_{c,in})$$

Luas perpindahan kalor yang melewati dinding luar *tube* ( $D_o$ ) adalah:

$$A = \pi D_o L \quad (5)$$

Dimana  $D_o$  adalah diameter luar *tube* (m) dan L adalah panjang alat penukar kalor (m).

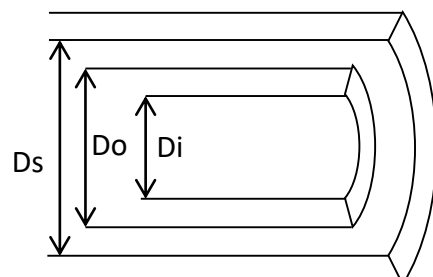
### III. METODE PENELITIAN

Langkah pertama yang dilakukan dalam melakukan analisis perpindahan panas adalah menentukan fluida kerja, yaitu fluida panas menggunakan air dan fluida dingin menggunakan oli. Langkah selanjutnya menentukan kondisi batas dan kondisi awal penukar kalor double pipe seperti terlihat pada Tabel 1.

TABEL I  
KONDISI BATAS ALAT PENUKAR KALOR DOUBLE PIPE

Diameter Pipa		
d-inner (di)	<b>0.04094</b>	m
d-outer (do)	<b>0.04830</b>	m
d-shell (ds)	<b>0.07500</b>	m
Temperatur Panas		
Th,in-air	<b>189</b>	$^\circ C$
Th,out-air	<b>187.863</b>	$^\circ C$
Temperatur Dingin		
Tc,in-oli	<b>15</b>	$^\circ C$
Tc,out-oli	<b>15.74854</b>	$^\circ C$
Laju aliran massa		
mh-water	<b>2.28073</b>	kg/s
mc-oli	<b>8.263</b>	kg/s

Diameter pipa yang terdiri dari diameter dalam pipa ( $d_i$ ), diameter luar pipa ( $d_o$ ) dan diameter shell ( $d_s$ ) pada Tabel I didefinisikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diameter Pipa Double Pipe Heat Exchanger

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai koefisien perpindahan kalor dengan aliran counter flow dan concurrent, dengan tahapan sebagai berikut:

- Menghitung laju aliran masing-masing fluida panas dan dingin menggunakan persamaan:

$$v = \frac{\dot{m}}{A \cdot \rho} \quad (6)$$

Luas penampang untuk fluida dingin ( $A_c$ ) dan fluida panas ( $A_h$ ) adalah sebagai berikut:

$$A_h = \left(\frac{\pi}{4}\right) D_i^2 \quad (7)$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} (D_s^2 - D_o^2) \quad (8)$$

- Menghitung Bilangan Reynolds dan Prandtl menggunakan persamaan

	Fluida Air	Fluida Oli	
Density, $\rho$	879.48	890.86	kg/m <sup>3</sup>
specific heat, $c_p$	4.440,27	1.861,33	J/kg.K
Conductivity, $k$	0,67	0,15	W/m.K
Viscosity, $\mu$	1.430E-04	1.189E+00	(N.s)/m <sup>2</sup>

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (9)$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (10)$$

- Menghitung Bilangan Nusselt menggunakan persamaan

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (11)$$

- Menghitung Koefisien Perpindahan kalor masing masing fluida panas dan dingin menggunakan persamaan

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_e} \quad (12)$$

Diameter pipa yang dilalui fluida panas adalah

$$D_{e_h} = D_i \quad (13)$$

sedangkan diameter pipa yang dilalui fluida dingin

$$D_{e_c} = D_s - D_o \quad (14)$$

- Menghitung LMTD berdasarkan jenis aliran, fluida searah (*concurrent*) menggunakan persamaan (1) Sedangkan untuk aliran fluida berlawanan arah (*counterflow*) menggunakan persamaan (2)
- Menghitung luas permukaan yang dilalui fluida kerja menggunakan persamaan 5. Panjang penukar kalor yang sebesar 6,7 meter.
- Menghitung koefisien perpindahan kalor menyeluruh menggunakan

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{D_o}{2 \cdot k_w} \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) + \frac{1}{h_h} \left(\frac{D_o}{D_i}\right) \quad (15)$$

#### IV. HASIL PENELITIAN

Perhitungan numerik berdasarkan keseimbangan kalor fluida kerja alat penukar kalor. Pengembangan desain alat penukar kalor double pipe menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2010 didasari pada perhitungan numerik. Sifat fisik fluida kerja dari temperatur masuk dapat dilihat pada Tabel II.

Tabel II. Sifat Fisik Fluida

Koefisien perpindahan kalor, dengan panjang penukar kalor sebesar 6,7 meter didapat sebagai berikut:

Tabel III. Koefisien Perpindahan Panas

Kecepatan, v	1,97	2,10
Bilangan Re	496.095,2	41,98
Bilangan Pr	0.94	15.267,73
Bilangan Nu	809,19	21,56
Koefisien perpindahan panas, h	1.3301,68	117,11

Hasil koefisien perpindahan yang didapat selanjutnya digunakan untuk menentukan luas penampang tabung dalam yaitu sebesar 0,001316 m<sup>2</sup> sementara luas penampang tabung annulus sebesar 0,004418 m<sup>2</sup>. Diameter hidolik rata-rata yang digunakan

untuk fluida dingin sebesar 0,0257 m, sedangkan untuk fluida panas sebesar 0,0409 m.

Perhitungan LMTD untuk aliran searah (cocurrent) diperoleh sebesar 173,056 °K, sementara hasil perhitungan LMTD untuk aliran berlawanan arah (counterflow) adalah 173,057 °K. Nilai LMTD selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai perpindahan kalor, dengan menggunakan persamaan (3).

Luas area yang dilalui fluida dihitung menggunakan persamaan (5) diperoleh nilai sebesar 1,02 m<sup>2</sup>. koefisien panas menyeluruh dihitung menggunakan persamaan (15) diperoleh nilai sebesar 65,44 W/(m<sup>2</sup>.K). Nilai perpindahan kalor untuk aliran searah (*concurrent*) sebesar 11.512, 58 Watt, sementara untuk aliran berlawanan arah (*counter flow*) diperoleh sebesar 11.519,59 Watt.

Kesetimbangan energy dilakukan untuk menentukan kalor yang masuk dan kalor diserap harus sama dengan kalor yang dikeluarkan oleh alat penukar kalor, persamaan kesetimbangan energy dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = Q_{air} = Q_{oli} \quad (16)$$

Beban kalor yang diperoleh dari perhitungan selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap kalor yang dilepas dan kalor yang diserap. Hasil yang diperoleh untuk jenis aliran searah (cocurrent) diperoleh selisih antara beban kalor air dan oli sebesar 0,37 Watt, sementara untuk beban kalor pli terhadap beban kalor alat penukar kalor tidak ada selisih, artinya beban kalor mencapai beban yang setimbang. Nilai beban kalor dapat dilihat pada Tabel IV.

Tabel IV. Kesetimbangan Beban Kalor Aliran fluida searah (*concurrent*)

CHECK HEAT BALANCE		
Qh,water	11,512.96	W
Qc, oil	11,512.58	W
Q:	11,512.58	W

Beban kalor pada aliran berlawanan (counter flow) diperoleh selisih antara beban kalor air dan oli sebesar 0,37 Watt, sementara selisih beban kalor oli dan beban kalor alat penukar kalor diperoleh selisih sebesar 0,11 Watt. Nilai beban kalor aliran

fluida berlawanan arah (counter flow) dapat dilihat pada Tabel V.

Tabel V. Kesetimbangan Beban Kalor Aliran Fluida Berlawanan Arah (*counter flow*)

CHECK HEAT BALANCE		
Qh,water	11,512.96	W
Qc, oil	11,512.58	W
Q:	11,512.69	W

#### IV. PEMBAHASAN

Perhitungan numerik kesetimbangan kalor untuk fluida kerja air dan oli dilakukan menggunakan aliran searah (*concurrent*) dan berlawanan arah (*counter flow*). Nilai LMTD pada kedua jenis aliran mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda, yaitu untuk aliran searah (*concurrent*) sebesar 173,056 °K dan untuk aliran berlawanan arah (*counter flow*) diperoleh nilai sebesar 173,057 °K. Nilai LMTD kedua jenis aliran fluida mempunyai nilai yang hamper sama, hal ini disebabkan karena selisih Temperatur masuk dan Temperatur yang keluar mempunyai nilai yang relative kecil, sehingga pada perghitungan LMTD menghasilkan nilai yang relative sama.

Nilai LMTD memengaruhi pada nilai kalor pada alat penukar kalor. Nilai kalor yang diperoleh untuk jenis aliran searah (*concurrent flow*) sebesar 11,512. 58 W dan aliran berlawanan arah (*counter flow*) sebesar 11,512.59 W. Selisih antara kedua jenis aliran tersebut juga disebabkan karena Temperatur air dan temperature oli yang dilepas dan diserap mempunyai nilai yang relative kecil.

Beban kaor antara kedua jenis fluida, yaitu air dan oli mempunyai nilai yang relatif mendekati, dengan selisih sebesar 0,37 watt. Hal ini dapat dikatakan bahwa beban kalor mengalami beban yang setimbang. Dengan kata lain teori hukum termodinamika II terpenuhi untuk kasus ini.

#### V. KESIMPULAN

Hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk fluida panas air dan fluida dingin oli, menggunakan perhitungan LMTD dengan jenis aliran fluida searah (*concurrent flow*) dan aliran berlawanan arah (*counter flow*). Hasil perhitungan LMTD untuk jenis aliran fluida searah (cocurrent flow) sebesar 173,056 °K dan untuk aliran fluida berlawanan arah (counter flow) sebesar



173,057 °K. Selisih yang diperoleh menunjukkan nilai yang tidak signifikan. Nilai LMTD selanjutnya digunakan untuk menentukan beban kerja alat penukar kalor. Beban kerja alat penukar kalor untuk aliran searah (cocurent flow) sebesar 11,512. 58 W dan untuk jenis aliran berlawanan arah (counter flow) sebesar 11,512. 59 W.

#### REFERENSI

- Gawande, Shravan H. *Design and Development of Shell and Tube Heat Exchanger for Beverage*. Journal, College of Engineering, Pune: India. 2002
- Soekardi, Chandrasa. *Evaluasi Performance Sebuah Rancangan Penukar Kalor dengan Modifikasi Geometri*. Jurnal teknik Universitas Pancasila: Jakarta. 2001.
- Hewitt, G.F, 1994. *Process Heat Transfer*. Begel House, New York.
- Kern, Donald Q. 1950. *Process Heat Transfer*. Mc.Graw-Hill, New York.
- Williams, Jeffrey B. 2002. *Procedures manual Double Pipe Heat Exchanger, Project No IH*. Laboratory Manual
- Cengel, A.Y. 2003. *Heat Transfer A Practicel Approach, 2<sup>nd</sup> Edition*. McGraw-Hill: Nevada
- Mainil, Afhdal K, 2012. *Penyusunan Program Komputasi Perancangan Heat Exchanger Tipe Shell and Tube dengan Fluida Panas Oli dan Fluida Dingin Air*, Jurnal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Bengkulu: Bengkulu.
- Gandidi, I M. 2009. *Pendekatan Statik-Numerik Berbasis Komputer Sebagai Software untuk Proses Desain dan Analisis Unjuk Kerja Termal Penukar Kalor*. Jurnal ISJD. Indonesian Scientific Journal Database.