

# ANALISIS PERFORMANSI PADA HEAT EXCHANGER JENIS SHEEL AND TUBE TIPE BEM DENGAN MENGGUNAKAN PERUBAHAN LAJU ALIRAN MASSA FLUIDA PANAS (Mh)

Aznam Barun, Eko Rukmana

Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jurusan Teknik Mesin

## ABSTRAK

Perpindahan panas adalah proses yang sangat penting dalam dunia perindustrian. Ekonomisnya suatu proses pabrik sering ditentukan oleh keefektifan dari pemanfaatan dan *recovery* panas yang dikandung suatu bahan. Banyaknya *steam* dan sistim pendingin yang dibutuhkan ditentukan oleh efisiensi dari alat yang digunakan. Ada banyak jenis *heat exchanger* yang dapat digunakan dalam industri, tergantung pada proses apa yang akan ditangani. Kemudian dari satu jenis mempunyai bermacam-macam tipe, tetapi yang penting dari karakter *heat exchanger* ini adalah terjadinya perpindahan panas dari fase yang bersuhu tinggi ke fase yang bersuhu rendah atau sebaliknya sesuai dengan dari fungsinya. Untuk menentukan besar kecilnya panas yang dipindahkan pada beda temperatur yang sama, ini tergantung kepada harga koefisien perpindahan panas total dari alat yang digunakan, dimana pada suatu alat *heat exchanger* tersebut koefisien ini dapat diperkirakan besarnya melalui perhitungan.

*Kata Kunci : Heat Exchanger, Shell, Tube, Fluida Panas*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari – hari banyak penomena perpindahan panas dari material atau fluida yang mempunyai temperatur lebih tinggi ke material atau fluida yang mempunyai temperatur lebih rendah. Dalam dunia industri penomena perpindahan panas tersebut dimanfaatkan untuk keperluan proses dengan menggunakan suatu alat yang biasa disebut alat penukar panas atau *heat exchanger* . Dalam aplikasinya alat penukar panas ini digunakan untuk menaikkan atau menurunkan temperatur fluida dan juga dipergunakan untuk mengubah suatu fasa fluida. Objek penelitian disini adalah heat exchanger yang baru saja diproduksi oleh PT. Prakarsa Langgeng Maju Bersama dengan jenis shell and tube dengan tipe BEM (*Bonnet – One pass shell – fixed tube sheet* yang) yang diharapkan bisa memiliki keefektifan sebesar 70% atau lebih, alat penukar panas ini dipergunakan untuk suatu proses kondensasi dari uap – uap yang dihasilkan oleh suatu reaktor dalam industri perekat. Alat penukar panas ini belum diketahui apakah sudah memiliki daya guna (*performance*) yang diinginkan atau tidak. Untuk kebutuhan di atas tersebut perlu dilakukan suatu analisis tentang keefektifan suatu alat penukar panas (*effektivness pada heat exchanger*) untuk mengetahui daya guna (*performance*) alat penukar panas tersebut. Dalam melakukan penelitian ini perlu menggunakan sebuah perhitungan dengan menggunakan metode *effektifnes number of trnsfer unit* ( $\epsilon - NTU$ ) sehingga dapat mengetahui daya-guna (*performance*) *heat exchanger* tersebut dan mengetahui apakah *heat exchanger* tersebut dapat bekerja dengan baik atau sebaliknya.

## 2. LANDASAN TEORI

### *Aliran Fluida.*

Menurut hukum newton Sebuah aliran fluida jika di lihat dari pergerakannya dapat dibedakan menjadi tiga aliran. Yaitu aliran laminar, turbulen dan transisi. Aliran laminar adalah sebuah aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan – lapisan atau lamina - lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecendrungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antara lapisan yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran. Sedangkan aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Untuk mengetahui aliran itu lamninar, turbulen atau transisi dapat diketahui dengan menghitung seberapa besarnya bilangan reynold dari aliran – aliran tersebut dengan menggunakan rumus:

$$Re = \rho VD / \mu$$

Dimana: V = kecepatan (rata-rata) fluida yang mengalir (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

$\rho$  = masa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/m.s}$ ) atau ( $\text{N. det/ m}^2$ )

Dilihat dari kecepatan alirannya, aliran laminar mempunyai bilangan reynold kurang dari 2300, aliran turbulen mempunya bilangan reynold lebih dari 4000 sedangkan bilangan transisi jika memiliki bilangan reynold antara 2300 dan 4000, bias juga disebut bilangan reynold kritis. Seperti telah diketahui sebelumnya bahwa ada dua macam aliran fluida yang mengalir di dalam alat penukar panas, yaitu aliran fluida yang mengalir melalui pipa ( *tube side* ) dimana fluida tersebut mengalir di dalam pipa dan aliran fluida yang mengalir di dalam cangkang ( *shell side* ). Aliran fluida dalam pipa akan mengalami tiga hal, yaitu:

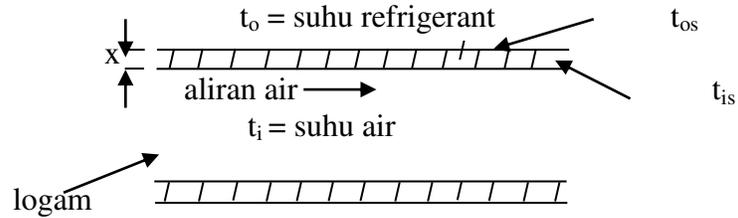
1. Kontraksi atau penyempitan aliran, yaitu pada saat fluida hendak masuk ke dalam pipa.
2. Ekspansi atau penyebaran, yang dialami saat fluida ke luar dari pipa.
3. Pembelokan arah aliran, di mana terjadi perubahan pass ( dari pass ke pass yang lain ) .

Aliran fluida yang berada dalam cangkang ( *shell* ), yaitu:

1. Aliran aksial, aliran yang sejajar dengan tube bundle.
2. Aliran melintang ( *cross flow* ), yang menyebrangi tube bundle.

### **Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan**

Koefisien perpindahan panas keseluruhan ( *heat exchanger* ) merupakan suatu perbandingan yang tetap, yang apabila dikalikan dengan luas permukaan perpindahan panas dan rata – rata perbedaan suhu di antara dua fluida, akan menghasilkan laju perpindahan panas.



Gambar 1. Perpindahan panas antara refrigerant dan air melalui sebuah pipa<sup>(ref:2)</sup>

Apabila panas menembus pipa seperti gambar di atas yaitu antara refrigeran di sisi luar dan air di sisi dalam, maka kondisi mantap ( *steady state* ) laju perpindahan panas  $q$  (dalam watt ) dari refrigeran ke permukaan pipa, dari permukaan luar pipa kepermukaan dalam pipa, dan dari permukaan dalam pipa ke air, sama besarnya. Rumusan untuk  $q$  dalam masing – masing proses perpindahan panas tersebut adalah.

$$q = h_o A_o ( t_o - t_{os} )$$

$$q = \frac{k}{x} A_m ( t_{os} - t_{is} )$$

$$q = h_i A_i ( t_{is} - t_i )$$

Untuk menyatakan koefisien perpindahan panas keseluruhan, maka luas bidang tempat koefisien tersebut didasarkan harus diketahui. Dua rumusan yang bisa digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan panas total adalah :

$$q = U_o A_o ( t_o - t_i )$$

$$q = U_i A_i ( t_o - t_o )$$

Besarnya nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan berdasarkan jenis alat penukar panas dan fluida di dalam maupun di luar pipa, selain dengan menggunakan perhitungan – perhitungan di atas bisa juga dengan menggunakan tabel tipikal koefisien perpindahan panas keseluruhan di bawah ini.

Tabel 1. Tipikal koefisien perpindahan panas keseluruhan<sup>(ref:8)</sup>

Penukar panas menggunakan shell dan tube		
Fluida panas	Fluida dingin	U ( W/m <sup>2</sup> °C )
Heat exchanger		
Water	Water	800 – 1500
Organic solvents	Organic	100 – 300
Light oils	solvents	100 – 400
Heavy oils	Light oils	50 – 300
Gases	Heavy oils	10 – 50
	Gases	

### Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat di definisikan sebagai suatu perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat lain sebagai akibat dari beda temperatur antara tempat - tempat tersebut. Dalam hal ini

berpindahnya energi panas dari suatu tempat ke tempat yang lain dapat diramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu.

### Viskositas

Viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur hal ini disebabkan gaya – gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan berturunya viskositas dari zat cair tersebut.

### Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor- faktor diatas tersebut, untuk viskositas dinamik air pada temperatur standar lingkungan (27<sup>0</sup> C) adalah 8.6 x 10<sup>-4</sup> kg/m.s.

### Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatan (*density*) massa jenis dari fluida tersebut.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dimana:  $\mu$  = Viskositas dinamik.

$\rho$  = Kerapatan massa jenis fluida.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan di penelitian ini adalah metode perhitungan dimana hasilnya nanti akan menggambarkan performa dari heat exchanger yang menggunakan fluida air panas

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### ✓ Menghitung Temperature Fluida Panas Keluar.

$$m_h \cdot C_{ph} (T_{hi} - T_{ho}) = m_c \cdot C_{pc} (T_{co} - T_{ci})$$

$$4,8 \times 2,116 (130 - T_{ho}) = 16,8 \times 2,326 (70 - 20) = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### ✓ Menghitung LMTD.

$$\text{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} = \frac{(130 - 70) - (62 - 20)}{\ln \frac{(130 - 70)}{(62 - 20)}} = 51,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### ✓ Menghitung beda suhu tanpa dimensi P.

$$P = (T_{tk} - T_{tm}) / (T_{sm} - T_{tm}) = P = (70 - 20) / (130 - 20) = 0,45$$

### ✓ Parameter kurva Z.

$$Z = \frac{m_t C_{pt}}{m_s C_{ps}} = \frac{T_{sm} - T_{sk}}{T_{tk} - T_{tm}} \dots Z = \frac{130 - 62}{70 - 20} = 1,36$$

### ✓ Menghitung beda suhu rata-rata.

$$\Delta T_{\text{rata-rata}} = \text{LMTD} \times F = 51,4 \times 0,73 = 37,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### ✓ Menghitung laju aliran kapasitas panas fluida dingin per jam (C<sub>c</sub>).

$$-C_h (T_{hk} - T_{hm}) = C_c (T_{ck} - T_{cm}) = 13,813 \text{ KW/}^\circ\text{C} = 13,813 \text{ kw/}^\circ\text{C}$$

- ✓ **f. Menghitung laju aliran kapasitas panas fluida panas per jam ( $C_h$ ).**

$$C_h = (m_c \cdot C_{p_c}) \cdot \frac{T_{ck} - T_{cm}}{T_{hk} - T_{hm}} = (16,8 \times 2326) \frac{70 - 20}{62 - 130} = 28,525 \text{ KW}^\circ\text{C}$$

- ✓ **Konduktansi keseluruhan.**

$$UA = \frac{q(T_{hm} - T_{hk})}{\Delta T} = \frac{28,525 (130 - 62)}{37,5} = 51,7 \text{ KW}^\circ\text{C}$$

- ✓ **Keefektifan penukar panas.**

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-[1 + (C_c/C_h)]UA/C_c}}{1 + (C_c/C_h)} = 67\%$$

- ✓ **Menghitung Temperature Fluida Panas Keluar.**

$$m_h \cdot C_{p_h} (T_{hi} - T_{ho}) = m_c \cdot C_{p_c} (T_{co} - T_{ci}) \quad 4,8 \times 2,116 (130 - T_{ho}) = 17,2 \times 2,326 (70 - 20) = 64^\circ\text{C}$$

- ✓ **Menghitung LMTD.**

$$LMTD = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} = \frac{(130 - 70) - (64 - 20)}{\ln \frac{(130 - 70)}{(64 - 20)}} = 53,3^\circ\text{C}$$

- ✓ **Menghitung beda suhu tanpa dimensi P.**

$$P = (T_{tk} - T_{tm}) / (T_{sm} - T_{tm}) \quad P = (70 - 20) / (130 - 20) = 0,45$$

- ✓ **Parameter kurva Z**

$$Z = \frac{m_t C_{p_t}}{m_s C_{p_s}} = \frac{T_{sm} - T_{sk}}{T_{tk} - T_{tm}} \quad Z = \frac{130 - 64}{70 - 20} = 1,3$$

- ✓ **Menghitung beda suhu rata-rata.**

$$\Delta T_{\text{rata-rata}} = LMTD \times F = 53,3 \times 0,76 = 40,5^\circ\text{C}$$

- ✓ **Menghitung laju aliran kapasitas panas fluida dingin per jam ( $C_c$ ).**

$$-C_h (T_{hk} - T_{hm}) = C_c (T_{ck} - T_{cm}) = (4,8 \times 2116) \frac{64 - 130}{70 - 20} = 13,406 \text{ kw}^\circ\text{C}$$

- ✓ **Menghitung laju aliran kapasitas panas fluida panas per jam ( $C_h$ ).**

$$C_h = (m_c \cdot C_{p_c}) \cdot \frac{T_{ck} - T_{cm}}{T_{hk} - T_{hm}} = (17 \times 2326) \frac{70 - 20}{64 - 130} = 29,656 \text{ kw}^\circ\text{C}$$

- ✓ **Konduktansi keseluruhan.**

$$UA = \frac{q(T_{hm} - T_{hk})}{\Delta T} = \frac{29,656 (130 - 64)}{40,5} = 48,3 \text{ kw}^\circ\text{C}$$

- ✓ **Keefektifan penukar panas.**

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-[1 + (C_c/C_h)]UA/C_c}}{1 + (C_c/C_h)}$$

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-[1 + (13,406 / 29,656)]48,3 / 13,406}}{1 + (13,406 / 29,656)} = \varepsilon = 68\%$$

- ✓ **Menghitung Temperature Fluida Panas Keluar.**

$$m_h \cdot C_{p_h} (T_{hi} - T_{ho}) = m_c \cdot C_{p_c} (T_{co} - T_{ci}) = 4,8 \times 2,116 (130 - T_{ho}) = 17,2 \times 2,326 (70 - 20) = 67^\circ\text{C}$$

- ✓ **Menghitung LMTD.**

$$LMTD = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} = \frac{(130 - 70) - (67 - 20)}{\ln \frac{(130 - 70)}{(67 - 20)}} = 54,2^\circ\text{C}$$

- ✓ **Menghitung beda suhu tanpa dimensi P.**

$$P = (T_{tk} - T_{tm}) / (T_{sm} - T_{tm}) \quad P = (70 - 20) / (130 - 20) = 50 / 110 = 0,45$$

- ✓ **Parameter kurva Z.**

$$Z = \frac{m_t C_{p_t}}{m_s C_{p_s}} = \frac{T_{sm} - T_{sk}}{T_{tk} - T_{tm}} \quad Z = \frac{130 - 67}{70 - 20} = 1,26$$

- ✓ **Menghitung beda suhu rata-rata.**

$$\Delta T_{\text{rata-rata}} = \text{LMTD} \times F = 54,2 \times 0,79 = 42,8^\circ\text{C}$$

✓ **Menghitung laju aliran kapasitas panas fluida dingin per jam ( $C_c$ ).**

$$-C_h (T_{hk} - T_{hm}) = C_c (T_{ck} - T_{cm}) = (4,8 \times 2116) \frac{67 - 130}{70 - 20} = 12,797 \text{ kw/}^\circ\text{C}$$

✓ **Menghitung laju aliran kapasitas panas fluida panas per jam ( $C_h$ ).**

$$C_h = (m_c \cdot C_{pc}) \cdot \frac{T_{ck} - T_{cm}}{T_{hk} - T_{hm}} = (17,2 \times 2326) \frac{70 - 20}{67 - 130} = 31,605 \text{ kw/}^\circ\text{C}$$

✓ **Konduktansi keseluruhan.**

$$UA = \frac{q(T_{hm} - T_{hk})}{\Delta T} = \frac{31,605(130 - 67)}{42,8} = 46,5 \text{ kw/}^\circ\text{C}$$

✓ **Keefektifan penukar panas.**

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-[1+(C_c/C_h)]UA/C_c}}{1 + (C_c/C_h)}$$

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-[1+(12,797/31,605)]46,5/12,797}}{1+(12,797/31,605)} \quad \varepsilon = 70 \%$$

Keefektifan yang didapat dari data-data di atas dengan laju aliran massa fluida panas ( $m_h$ ) 4,8 kg/s dan laju aliran massa fluida dingin ( $m_c$ ) sebesar 17,2 kg/s adalah sebesar 70%. Artinya perhitungan ini bisa digunakan pada suatu alat penukar panas ini.

Setelah melakukan perhitungan seperti yang telah dilakukan di atas, maka *performance heat exchanger* dengan menggunakan perbandingan laju aliran massa fluida dingin ( $m_c$ ) dapat diketahui dengan tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2. Data hasil perhitungan**

perhitungan	$m_c$ kg/s	$m_h$ kg/s	$T_{ho}$ °C	LMT D °C	P	Z	F	$\Delta T$ °C	$C_c$ w/°C	$C_h$ w/°C	UA w/°C	$\varepsilon$ %
I	16,8	4,8	62	51,4	0,45	1,36	0,73	37,5	13,813	28,525	51,7	67
II	17	4,8	64	53,3	0,45	1,36	0,76	40,5	13,406	29,656	48,3	68
III	17,2	4,8	67	54,2	0,45	1,26	0,79	42,8	12,797	31,605	46,5	70

Jika kita melihat dari tabel data hasil perhitungan di atas, daya guna suatu alat penukar panas (*performance heat exchanger*) dapat ditingkatkan dengan menggunakan perubahan laju aliran massa fluida dinginnya ( $m_c$ ), karena setiap fluida dingin yang mengalir ke dalam alat penukar panas akan membawa panas yang dialirkan melalui dinding-dinding pipa suatu alat penukar panas tersebut (*konduktansi*), selain itu kecepatan fluida dingin yang mengalir akan semakin mempermudah panas meresap kedalam fluida dingin (*konveksi*). Maka dari itu, semakin besar laju aliran massa fluida dingin yang dialirkan pada suatu alat penukar panas maka akan semakin besar keefektifan yang akan dihasilkan oleh alat penukar panas tersebut.

## 5.1.KESIMPULAN

1. Panjang pipa yang digunakan untuk alat penukar panas di atas adalah sepanjang 3000 mm dan panjang cangkang yang digunakannya adalah sepanjang 2959 mm.
2. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada suatu alat penukar panas tersebut yaitu dengan perpindahan panas konveksi dan perpindahan panas konduksi.
3. Semakin besar laju aliran massa fluida dingin ( $m_c$ ) yang digunakan pada suatu alat penukar panas maka akan semakin efektif perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar panas tersebut.
4. Untuk mendapatkan keefektifan suatu alat penukar panas sebesar 70% dengan laju aliran massa fluida panas ( $m_h$ ) sebesar 4,8 kg/s dapat digunakan laju aliran massa fluida dingin ( $m_c$ ) sebesar 17,2 kg/s atau lebih.

## 5.2.SARAN

1. Selain dengan meningkatkan laju aliran fluida dingin ( $m_c$ ), untuk menambah daya guna suatu alat penukar panas bisa juga dengan menambah jumlah pipa pada suatu alat penukar panas tersebut.
2. Faktor pengotoran harus di minimalisasi untuk menjaga kesetabilan daya guna suatu alat penukar panas tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

1. An internasional code 2010 asme boiler sect II A dan preasure vessel code.
2. Holman, Jack P, ( Terj. Jasjfi, E ). 1993 “Perpindahan panas, Cetakan 3” , Jakarta, Erlangga.
3. <http://changerheat.blogspot.com/>
4. <http://priyantoreza.blogspot.com/>
5. Megyesy, Eugene F. 1995 “*Pressure Vessel Handbook, Tenth Edition*”, Tusal, *Pressure Vessel*.
6. Munson, Bruce R, Young, Donald F, Okiishi, Theodore H. 2006 “ Mekanika Fluida, Edisi Keempat”, Jakarta, Erlangga.
7. Reynolds, William C, Perkins, Hanry C, ( Terj. Harahap, Filino ). 1996 “ Termodinamika Teknik, Edisi Kedua ”, Jakarta, Erlangga
8. Sitompul, Tunggal M. 1993 “ Alat Penukar Kalor ( *Heat Exchanger* )” Jakarta, Rajawali Pres.
9. Soeryatmo, F. 1975 “ Dasar – Dasar Pengetahuan Ir Conditioning ( AC ) ”, Bandung, Prakarya.
10. Streeer, Victor L, Wylie, E Benjamin ( Terj. Prijono, Arko ). 1988 “ Mekanika Fluida, Edisi Delapan, Jilid 1 ”, Jakarta, Erlangga.