

Pengaruh Penggunaan Baffle pada Shell-and-Tube Heat Exchanger

Ekadewi Anggraini Handoyo

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Shell-and-tube heat exchanger merupakan jenis alat penukar panas yang banyak digunakan. Untuk membuat perpindahan panas lebih baik dan untuk menyangga *tube* yang ada di dalam *shell*, maka sering dipasang *baffle*. Perpindahan panas yang lebih baik sangat diharapkan dalam suatu *heat exchanger*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *baffle* terhadap efektifitas dan penurunan tekanan dalam *heat exchanger*. Dari hasil penelitian didapat bahwa efektifitas meningkat dengan dipasangnya *baffle*. Efektifitas meningkat seiring dengan mengecilnya jarak antar *baffle* hingga suatu jarak tertentu, kemudian menurun.

Kata kunci: penukar kalor, *baffle*, efektifitas.

Abstract

Shell-and-tube heat exchanger is a device commonly used to transfer heat. To enhance the heat transfer occurred and to support the tubes inside the shell, baffles are installed. Better heat transfer is obviously expected in a heat exchanger. A research is done to find out the effect of baffle used toward the effectiveness and pressure drop in heat exchanger. The result is that the effectiveness increases when the baffles are installed. Effectiveness increases as the spacing between the baffles is smaller until certain spacing, and then it decreases.

Keywords: heat exchanger, baffles, effectiveness.

1. Pendahuluan

Dalam suatu *shell and tube heat exchanger*, fluida yang satu mengalir dalam pipa-pipa kecil (*tube*) dan fluida yang lain mengalir melalui selongsong (*shell*). Perpindahan panas dapat terjadi di antara kedua fluida, dimana panas akan mengalir dari fluida bersuhu lebih tinggi ke fluida bersuhu lebih rendah.

Umumnya, aliran fluida dalam *shell and tube heat exchanger* adalah paralel atau berlawanan. Untuk membuat aliran fluida dalam *shell-and-tube heat exchanger* menjadi *cross flow* biasanya ditambahkan penyekat atau *baffle*. Aliran *cross flow* yang didapat dengan menambahkan *baffle* akan membuat luas kontak fluida dalam *shell* dengan dinding *tube* makin besar, sehingga perpindahan panas di antara kedua fluida meningkat. Selain untuk mengarahkan aliran agar menjadi *cross flow*, *baffle* juga berguna untuk menjaga supaya *tube* tidak melengkung (berfungsi sebagai penyangga

dan mengurangi kemungkinan adanya vibrasi atau getaran oleh aliran fluida.

Secara teoritis, *baffle* yang dipasang terlalu berdekatan akan meningkatkan perpindahan panas yang terjadi di antara kedua fluida, namun hambatan yang terjadi pada aliran yang melalui celah antar *baffle* menjadi besar sehingga penurunan tekanan menjadi besar. Sedang jika *baffle* dipasang terlalu berjauhan penurunan tekanan yang terjadi akan kecil, namun perpindahan panas yang terjadi kurang baik dan timbul bahaya kerusakan pipa-pipa karena melengkung atau vibrasi. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antar *baffle* tidak boleh terlalu dekat ataupun terlalu jauh, ada jarak tertentu yang optimal untuk *heat exchanger* tertentu. Untuk itu akan dilakukan suatu penelitian untuk mempelajari pengaruh penggunaan *baffle* pada suatu *shell and tube heat exchanger*.

2. Teori Dasar

Menurut Frank P. Incropera dan David P. Dewitt (1981), efektifitas suatu *heat exchanger*

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 3 Nomor 2 Oktober 2001.

didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* tersebut.

$$\dot{a} = \frac{\text{perpindahan panas yang diharapkan}}{\text{perpindahan panas maksimum yang mungkin}}$$

Perpindahan panas yang diharapkan dalam penelitian ini adalah perpindahan panas yang diterima udara dingin:

$$Q_{\text{udara dingin}} = (\dot{c}_p)_{\text{udara dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1)$$

Sedang perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *Heat exchanger* ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Jika } (\dot{c}_p)_{\text{udara dingin}} > (\dot{c}_p)_{\text{udara panas}}, \text{ maka } Q_{\text{max}} = (\dot{c}_p)_{\text{udara panas}} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2)$$

$$\text{Jika } (\dot{c}_p)_{\text{udara dingin}} < (\dot{c}_p)_{\text{udara panas}}, \text{ maka } Q_{\text{max}} = (\dot{c}_p)_{\text{udara dingin}} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (3)$$

Perpindahan panas maksimum mungkin terjadi bila salah satu fluida mengalami perbedaan suhu sebesar beda suhu maksimum yang terdapat dalam *Heat exchanger* tersebut, yaitu selisih antara suhu masuk fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang mungkin mengalami perbedaan suhu maksimum ini ialah fluida yang mempunyai nilai kapasitas panas $(\dot{c}_p)_{\text{minimum}}$.

Dengan demikian efektivitas pemanasan *heat exchanger* dalam penelitian ini adalah:

$$\dot{a} = \frac{(\dot{g} \cdot \dot{c}_p)_{\text{udara dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i})}{(\dot{g} \cdot \dot{c}_p)_{\text{min}} (T_{h,i} - T_{c,i})}$$

Laju aliran massa dapat ditentukan dengan mengetahui kecepatan dan kerapatan fluida serta luas penampang aliran, yaitu:

$$= \rho v A \quad (5)$$

3. Metodologi Penelitian dan Batasan Masalah

3.1 Metodologi:

- Mempersiapkan *shell-and-tube heat exchanger* yang telah dilengkapi dengan *baffle* yang telah dipersiapkan Sdr. Hendri Koesijono.
- Melakukan eksperimen untuk menentukan efektivitas *heat exchanger* dan besar penurunan tekanan di sisi *shell* dengan kondisi:

Laju aliran massa udara diubah-ubah untuk jarak antar *baffle* yang sama dan kemudian jarak antar *baffle* diubah-ubah untuk variasi laju aliran massa udara yang sama seperti pada kondisi sebelumnya.

Untuk ini, maka data yang diambil saat eksperimen adalah:

- Jarak antar *baffle*,
- kecepatan aliran kedua fluida saat masuk dan keluar *heat exchanger*,
- temperatur kedua fluida saat masuk dan keluar *heat exchanger*
- penurunan tekanan di sisi *shell* sebagai akibat digunakannya *baffle*.

- Menganalisa data hasil eksperimen dan membuat kesimpulan.

3.2 Batasan Masalah:

- Fluida yang digunakan dalam eksperimen adalah udara yang dialirkan masuk *heat exchanger* dengan bantuan blower.
- Udara panas dihasilkan dengan mengalirkan udara melalui elemen pemanas, sehingga temperatur udara panas konstan 165°C.
- Udara yang bertemperatur lebih rendah (disebut dingin) masuk pada temperatur kamar yang dijaga konstan 27°C.
- *Shell-and-tube heat exchanger* yang digunakan berasal dari Tugas Akhir No.00.54.411 atas nama Hendri Koesijono, dengan spesifikasi seperti pada bagian 3.
- Data diambil pada saat aliran fluida dianggap telah *steady*.
- Udara dingin mengalir dalam sisi *shell* dan udara panas mengalir dalam *tube-tube*. Hal ini ditentukan berdasar hasil Tugas Akhir Sdr. Henry Ariyanto (2000)
- Laju aliran massa udara dingin pada sisi *shell* dibuat sama dengan laju aliran massa udara panas di sisi *tube*. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh laju aliran massa dalam perpindahan panas antara udara panas dan udara dingin, mengingat panas jenis (c_p) udara panas hampir sama dengan panas jenis udara dingin. Dengan membuat laju aliran massa keduanya sama, kenaikan atau penurunan suhu benar-benar disebabkan perpindahan panas di antaranya.

4. Peralatan yang dipakai dan Prosedur Eksperimen

4.1 Peralatan yang dipakai:

- *Shell and tube heat exchanger* dengan spesifikasi:
Shell: 1 pass dan *tube*: 1 pass.

Spesifikasi tube:

Jumlah 7 tube, dengan jarak *pitch* 17,5 mm, susunan tubes adalah segitiga (*triangular array*)

Bahan tembaga dengan diameter dalam 8,1 mm, diameter luar 9,5 mm.

Spesifikasi shell:

Bahan Besi dengan diameter dalam 70 mm, diameter luar 75 mm.

Spesifikasi isolator panas:

Bahan Glasswool dengan tebal 2,5 cm. panjang 1000 mm

Baffle yang digunakan adalah tipe *single segmental* dengan *baffle cut* 37%. Bentuk geometri *baffle* dapat dilihat pada gambar 1.

- 2 buah *blower* model D12F-24PLMCIX (*Nippon Denso Corporation*).
- 1 buah elemen pemanas 667 Watt (A.C) untuk menghasilkan udara panas 165°C.
- 4 buah *DC Regulator Power Supply* 30V untuk mengatur tegangan input ke *blower* sehingga kecepatan aliran udara masuk *Heat exchanger* dapat dijaga konstan.
- 1 buah *AC Regulator* 1000 Watt untuk mengatur tegangan input ke elemen pemanas sehingga temperatur udara panas masuk *Heat exchanger* dapat dijaga konstan.
- 2 buah *thermocouple* untuk mengukur temperatur udara dingin dan udara panas saat keluar dari *Heat exchanger*.
- 1 buah *velometer* tipe ALNOR untuk mengukur kecepatan aliran udara.

4.2 Prosedur Eksperimen:

1. Mengatur jarak antar *baffle* yang diinginkan.
2. Mengatur DC regulator 1 pada tegangan tertentu kemudian dihubungkan ke *blower* yang dihubungkan dengan elemen pemanas, sehingga *blower* menghasilkan udara dengan kecepatan (laju aliran massa) yang dikehendaki.
3. Mengatur AC regulator pada tegangan tertentu sehingga elemen pemanas menghasilkan panas dan udara panas yang keluar dari elemen pemanas adalah 165°C.
4. Mengukur temperatur udara yang keluar dari elemen pemanas (165°C) dengan menggunakan termokopel.
5. Setelah temperatur udara yang keluar dari elemen pemanas konstan 165°C, *blower* dihubungkan dengan *heat exchanger*, seperti pada gambar 2.
6. Mengatur peralatan seperti pada gambar 2.
7. Mengatur DC regulator 2 pada tegangan yang sama dengan tegangan DC regulator 1.
8. Menunggu sampai temperatur udara panas dan udara dingin yang keluar dari *heat exchanger* menjadi konstan.

9. Mencatat temperatur udara panas dan dingin yang keluar dari *heat exchanger* dan penurunan tekanan dengan mencatat beda tinggi air pada manometer U.
10. Melakukan langkah ke-2 sampai 9 dengan kondisi kecepatan udara masuk berbeda (5 macam)
11. Setelah selesai, mengulangi langkah ke-1 sampai 10 untuk jarak *baffle* yang berbeda (5 macam).

5. Hasil Eksperimen dan Analisa

Eksperimen dilakukan 2 (dua) kali untuk tiap jarak *baffle* dengan kecepatan masuk tertentu. Pada eksperimen, temperatur masuk udara dingin dijaga konstan 27°C dan udara panas 165°C. Dari eksperimen yang telah dilakukan, didapat data rata-rata seperti pada tabel 1. Pada tabel 1, data m adalah laju aliran massa udara yang didapat dari hasil perkalian kerapatan udara pada T masuk, kecepatan aliran masuk dan luas penampang saluran masuk.

Tabel 1. Data rata-rata hasil eksperimen

Jarak antar <i>baffle</i> (cm)	m (kg/s)	T _{c,out} (°C)	T _{h,out} (°C)	Δh (mH ₂ O)
0.0	0.00118	52.35	32.4	Tidak diukur
	0.00154	68	37.95	
	0.0021	83.5	42.65	
	0.00235	88.95	43.3	
	0.0026	77.9	44.35	
5.0	0.00118	70.45	28.55	2.05
	0.00154	81.1	32.6	4.35
	0.0021	90.4	45.75	7.55
	0.00235	96.7	46.6	9.7
	0.0026	91.65	47.35	10.6
7.5	0.00118	67.75	28.25	1.5
	0.00154	82.8	30.6	1.85
	0.0021	91.25	35.9	4.1
	0.00235	98.0	45.5	5.05
	0.0026	92.95	47.1	6.6
10.0	0.00118	64.9	28.9	0.9
	0.00154	78.7	31.95	1.55
	0.0021	88.85	39.4	3.05
	0.00235	93	41.9	3.8
	0.0026	91.65	43.15	4.5
15.0	0.00118	62.85	29.1	0.65
	0.00154	75.05	31.9	1.2
	0.0021	86.05	41.4	2.25
	0.00235	91.95	44.15	2.45
	0.0026	87.35	45.8	3.2
20.0	0.00118	57.35	31.4	0.5
	0.00154	70.3	34.85	0.95
	0.0021	85.3	42.1	1.75
	0.00235	88.85	43.4	2.55
	0.0026	81.9	44.6	2.95

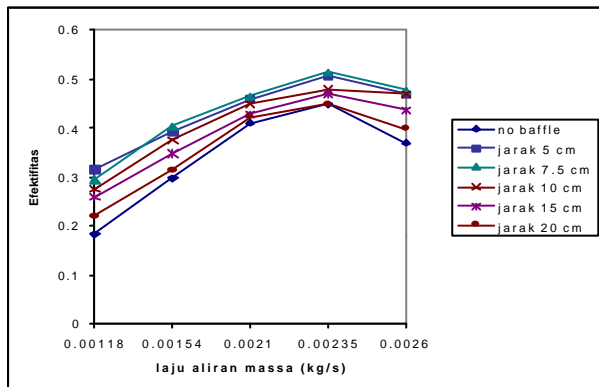
Penurunan tekanan pada sisi *shell* saat tidak ada *baffle* tidak dilakukan dengan pertimbangan bahwa penurunan tekanan yang ingin dipelajari di sini adalah karena pengaruh variasi jarak antar *baffle*.

Dari data pada tabel 1 dilakukan perhitungan efektifitas pemanasan dengan persamaan (4) seperti pada contoh perhitungan di bawah:

$$\dot{a} = \frac{(g \cdot c_p)_{\text{udara dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i})}{(g \cdot c_p)_{\text{min}} (T_{h,i} - T_{c,i})}$$

$$\dot{a} = \frac{(0.00118 \times 1 \cdot 0.007664)(5 \cdot 2.35 - 27)}{(0.00118 \times 1 \cdot 0.007664)(1 \cdot 65 - 27)} = 0.1837$$

Hasil perhitungan efektifitas pemanasan dari *shell-and-tube* heat exchanger yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.

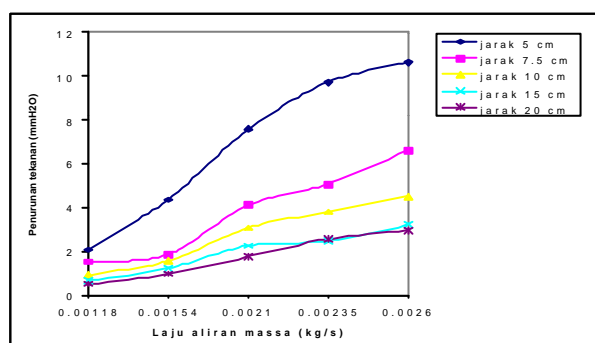


Gambar 3. Efektifitas pemanasan dari *heat exchanger*

Dari gambar 3 terlihat bahwa efektifitas pemanasan meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran massa sampai titik tertentu dan kemudian menurun. Hal ini dapat dimengerti karena dengan naiknya laju aliran massa berarti kecepatan aliran meningkat. Kecepatan aliran yang meningkat membuat bilangan Reynold aliran membesar (lebih turbulen), dimana hal ini membawa dampak yang menguntungkan yaitu kenaikan koefisien perpindahan panas konveksi yang pada akhirnya meningkatkan koefisien perpindahan panas total dalam *heat exchanger*. Namun, kenaikan laju aliran massa juga membuat waktu kontak/singgung antara kedua fluida (dalam hal ini udara panas dan udara dingin) menjadi lebih singkat. Jadi, dengan meningkatnya laju aliran massa perpindahan panas dalam *heat exchanger* lebih baik namun waktu kontak lebih singkat. Fenomena ini memungkinkan adanya nilai optimum dari efektifitas pada laju aliran massa tertentu.

Pengaruh penggunaan *baffle* terhadap efektifitas pemanasan juga dapat dilihat dari gambar 3. *Heat exchanger* yang dioperasikan tanpa *baffle* ternyata memiliki efektifitas terendah. Semakin kecil jarak antar *baffle* yang dipasang membuat efektifitas meningkat namun kemudian menurun. Hal ini menunjukkan adanya nilai optimum pula untuk jarak *baffle* yang dipasang dalam suatu *heat exchanger*. Penggunaan atau penambahan *baffle* membuat kecepatan udara dingin dalam *shell* meningkat karena luas penampang yang tegak lurus dengan aliran udara semakin kecil. Dengan bertambahnya kecepatan aliran, koefisien perpindahan panas akan meningkat. Oleh karena itu dengan bertambahnya jumlah *baffle* yang dipasang, atau semakin kecil jarak antar *baffle*, efektifitas meningkat. Namun, dengan bertambahnya jumlah *baffle* membuat fraksi aliran melintang (*cross flow*) menurun. Menurut Hewitt, G.F., Shires, G.L., and Bott, T.R. (1994), perpindahan panas yang paling efektif dalam *heat exchanger* adalah pada aliran jenis melintang (*cross flow*). Dengan berkurangnya fraksi aliran melintang berarti perpindahan panas dari udara panas ke udara dingin menjadi berkurang. Jadi, jarak antar *baffle* yang lebih kecil menaikkan koefisien perpindahan panas namun mengurangi fraksi aliran melintang. Fenomena ini membuat adanya harga optimum dari efektifitas pada jarak antar *baffle* tertentu.

Dalam eksperimen yang dilakukan, didapat efektifitas maksimum yaitu 0.5145 pada saat udara masuk dengan laju 0.00235 kg/s dan jarak antar *baffle* 7.5cm.



Gambar 4. Penurunan tekanan sisi *shell*.

Parameter lain yang penting yang terpengaruh dengan dipasangnya *baffle* adalah penurunan tekanan aliran di sisi *shell*. Penurunan tekanan aliran sisi *shell* dari eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.

Dari gambar 4 terlihat bahwa penurunan tekanan aliran sisi *shell* meningkat dengan naiknya laju aliran massa dan mengecilnya

jarak antar *baffle* yang digunakan. Semakin banyak *baffle* yang dipasang, luas penampang aliran melintang (*cross flow*) dari udara semakin kecil. Lintasan yang ditempuh udara dingin semakin panjang dan untuk laju aliran massa yang sama, dibanding dengan jika jumlah *baffle* sedikit, akan membuat kecepatan udara dingin meningkat sehingga penurunan tekanan membesar. Untuk laju aliran massa yang lebih besar, sesuai dengan persamaan (5) kecepatan fluida meningkat sehingga penurunan tekanan juga meningkat.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

- *Baffle* dapat meningkatkan efektifitas *heat exchanger*.
- Dalam penelitian ini, efektifitas pemanasan maksimum tercapai saat jarak antar *baffle* 7.5 cm dan laju aliran udara 0.00235 kg/s.

Daftar Pustaka

1. Hewitt, G.F., Shires, G.L., Bott, T.R. 1994., *Process Heat Transfer*. Begell House.
2. Fox, R.W., McDonald, A. T., *Introduction to Fluid mechanics*. 4th ed. John Wiley & Sons, New York.
3. Ariyanto, Henry. 2000., *Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Masuk Terhadap Efektifitas Heat exchanger Model Shell and Tube*, Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra.
4. Koesijono Hendri. 2000., *Pengaruh Laju Aliran Massa dan Jarak Antar Baffle Terhadap Performansi Heat exchanger Tipe Shell and Tube*, Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra.