

PEMILIHAN PENUKAR PANAS ALIRAN SILANG DENGAN VARIASI SUSUNAN DAN PENAMPANG PIPA

Iskandar R^[1]

[1] Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang
Tlp. (751) 72586, Fax (751) 72566
e-mail : iskandar@ft.unand.ac.id

Abstract

Modification and development on heat exchanger are most applied in field application which more concerns in ability of the heat exchanger itself to gain high heat transfer and effectivity. By concerning characteristics happening to the heat exchanger, it can be concluded which the best heat exchanger is. In this research, the type of heat exchanger used is cross flow heat exchanger-rectangular fin with flattened and circular tubes which are arranged alignment and staggered. The research is done by flowing hot water with 60 °C temperature and then being blown by a blower. Air and water flow rate going through the heat exchanger are varied by arranging blower and pump opening. From the research, it can be concluded that flattened tube-staggered array heat exchanger is better than other. If it is compared with the lowest point., it will be gained better points i.e, about 754.18 watt in heat transfer and 62.06 pa in pressure drop.

Keyword : heat exchanger, rectangular fin, compact heat exchanger

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, penggunaan dan kebutuhan dari alat penukar panas semakin banyak dan kompleks, sehingga perlu pemilihan dan penggunaan yang tepat dari alat penukar panas. Pemilihan penukar panas terkait dengan aplikasi, antara lain seperti kebutuhan panas, hidrolik, dimensi (panjang, ukuran dan jumlah pipa), kesesuaian dengan fluida kerja, suku cadang, faktor ekonomis dan pemeliharaan. Bagian terpenting yang perlu diperhatikan pada alat penukar panas tersebut adalah kemampuannya dalam memindahkan panas dengan tingkat efektifitas yang tinggi.

Melihat hal ini maka pada penelitian ini dikaji mengenai karakteristik perpindahan panas penukar panas dengan memvariasikan susunan pipa (sejajar/*alignment* dan selang-seling/*staggered*) dan geometri pipa (oval dan bulat).

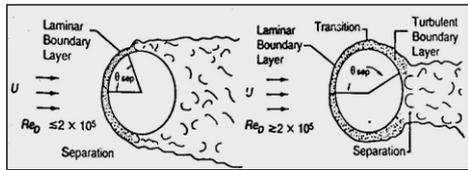
2. TEORI DASAR

Alat penukar panas adalah alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida

dengan cara mengambil atau memberikan panas dari suatu fluida ke fluida lain, sehingga terjadi perpindahan panas dari fluida bertemperatur tinggi ke fluida bertemperatur rendah. Penukar panas ini umumnya merupakan peralatan dimana kedua jenis fluida berbeda temperatur bertukar panas melalui bidang-bidang pertukaran panas. Dalam meningkatkan laju perpindahan panas, dapat dilakukan dengan meningkatkan koefisien konveksi yang terjadi. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan kecepatan fluida yang mengalir, tapi kadang-kadang hal ini tidak efektif, karena akan meningkatkan kebutuhan akan daya yang digunakan (daya pompa atau daya blower). Adapun cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menambah permukaan perpindahan panas (*secondary surface*) yang biasanya dikenal dengan sirip (*fin*), variasi penggunaan penampang pipa dan variasi penyusunan pipa.

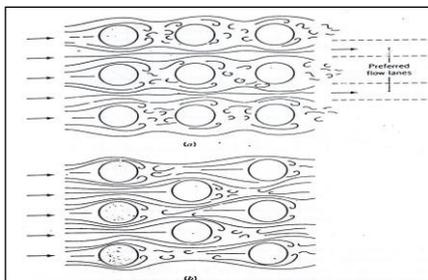
Pola aliran fluida yang mengalir pada penukar panas akan mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi. Pola aliran yang terjadi pada penukar panas aliran silang dapat dalam

bentuk laminar atau turbulen. Aliran turbulen ini sangat berguna untuk menghasilkan perpindahan panas yang besar dan gambaran aliran turbulen pada permukaan pipa diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Aliran turbulen

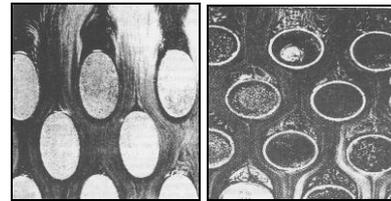
Kondisi lapisan batas akan menjadi lebih stabil saat fluida mengalami pengurangan kecepatan pada gradien tekanan positif ($d_p/d_x > 0$) daripada saat fluida mengalami penambahan kecepatan pada gradien tekanan negatif ($d_p/d_x < 0$) dan terjadi pemisahan lapisan batas yang biasanya disebut pemisah lapisan batas. Kondisi pemisah lapisan batas ini sangat penting karena akan mempengaruhi perpindahan panas dan juga gesekan yang terjadi pada permukaan. Biasanya kondisi pemisah lapisan batas ini dinyatakan dengan sudut putar ($\theta_{\text{separation}}$) dan salah satu ujungnya berawal dari titik macet.



Gambar 2.2 Profil aliran pada susunan pipa (a) sejajar (b) selang-seling

Aliran turbulen, momentum yang terjadi lebih besar dibanding aliran laminar, sehingga pemisahan tidak akan terjadi sampai sudut putar mencapai 90° . Dan juga pada aliran turbulen ketika mencapai titik pemisah maka akan timbul aliran turunan (*downstream*) yang memiliki tekanan lebih kecil dibanding dengan tekanan aliran pada aliran utama (*mainstream*) yang ditandai dengan terjadinya olakan. Pada Gambar 2.2 diperlihatkan profil aliran untuk susunan pipa sejajar dan selang-seling.

Untuk menganalisa pola aliran yang terjadi pada tiap susunan pipa tersebut, maka diperhitungkan dengan memperhatikan gradien tekanan yang ada dan hal ini berkaitan dengan profil kecepatan yang ditinjau pada daerah aliran istimewa (*preferred flow lanes*). Dengan demikian dapat ditentukan aliran yang mengalir pada susunan pipa tersebut. Karakteristik pola aliran yang terjadi untuk penampang bulat dan oval (*flattened tube*) diperlihatkan pada Gambar 2.3. Pola aliran pada sisi rangkaian pipa baris pertama serupa dengan pola aliran pada sisi pipa tunggal. Pada rangkaian pipa baris pertama, lapisan batas terpisah saat melewati kedua sisi pipa dan bagian belakang pipa terbentuk arus turbulensi. Akibat tingginya turbulensi, lapisan batas sisi pipa baris kedua dan seterusnya akan makin tipis.



Gambar 2.3 Profil aliran pada penampang pipa (a) oval, (b) bulat

2.1. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan besaran yang tak berdimensi dipakai untuk menentukan kondisi atau keadaan aliran. Besarnya bilangan Reynolds dapat dinyatakan dengan :

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{maks} \cdot D_h}{\mu} \quad (1)$$

Dengan D_h adalah diameter hidrolis, yaitu besaran ekuivalen dengan diameter fisik sebenarnya jika diterapkan dengan penampang lingkaran. Untuk geometri selain bulat maka dinyatakan dengan :

$$D_h = \frac{4LA_c}{A_t} \quad (2)$$

Kecepatan aliran maksimum V_{maks} adalah kecepatan aliran fluida yang terjadi pada daerah dimana luas penampang minimum, dinyatakan :

$$V_{maks} = V_o \cdot \frac{A_{fr}}{A_{min}} = V_o \cdot \frac{A_{fr}}{A_c} \quad (3)$$

Bila V_o adalah kecepatan aliran fluida rata-rata pada saluran, A_{fr} merupakan luas penampang arah tegak lurus aliran udara. $A_c = A_{min}$ yang merupakan luas penampang aliran bebas minimum yang tegak lurus dengan arah aliran udara.

2.2. Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan merupakan hal yang penting pada penukar panas yang bekerja dengan fluida gas yang memiliki densitas rendah. Densitas yang rendah akan menaikkan faktor gesekan permukaan.

Penurunan tekanan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta P = \frac{\dot{m}^2}{2\rho_i} \left[\left(1 + \sigma^2 \right) \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1 \right) + f \left(\frac{A}{A_c} \right) \left(\frac{\rho_i}{\rho_m} \right) \right] \quad (4)$$

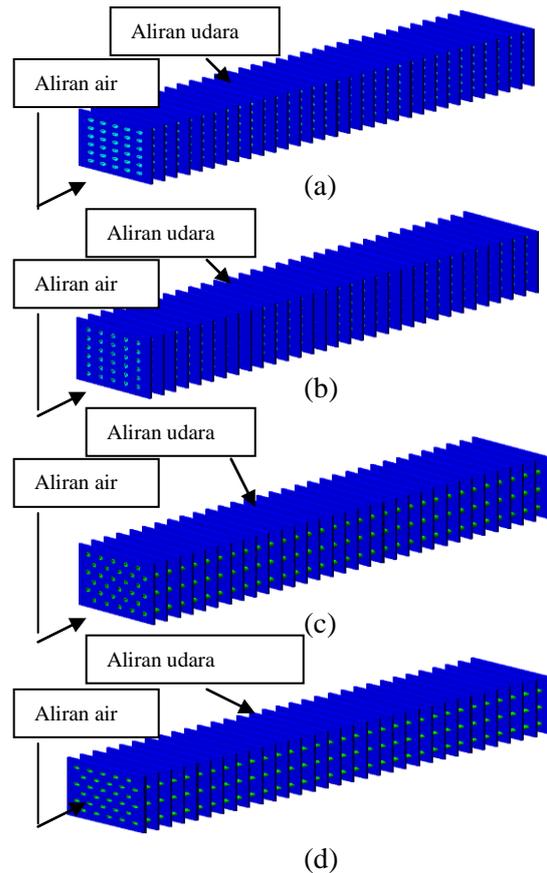
$$\rho_m = 2 \left(\frac{1}{1/\rho_1 + 1/\rho_o} \right) \quad (5)$$

untuk radius lintasan hidrolik tertentu dengan perbandingan $\sigma = \frac{A_c}{A_{fr}}$ yang berpengaruh terhadap penurunan tekanan.

3. METODOLOGI

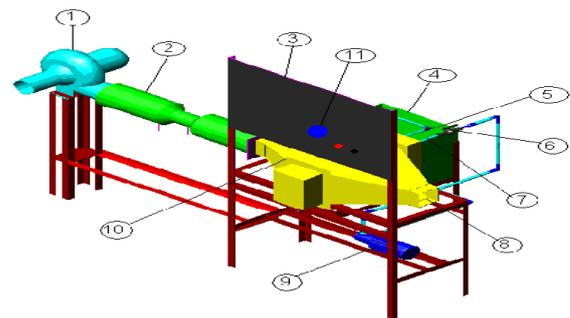
3.1 Instalasi Alat Uji

Alat penukar panas yang diuji terdiri dari empat jenis yang berbeda dengan dimensi yang sama. Penukar panas divariasikan secara penyusunan dan penampang pipa. Alat ini terdiri dari 30 buah pipa dengan diameter 12.7 mm dan panjang 400 mm. Pada rangkaian pipa ini diletakkan sirip dengan jumlah 30 buah dimana ukuran dari sirip ini adalah 158 x 230 mm dengan jarak antar sirip 12.8mm. Penampang dari penukar panas yang digunakan ini terdapat dalam dua bentuk yaitu penampang bulat (*round tube*) dan penampang oval (*flattened tube*). Variasi dari penukar panas yang diuji diperlihatkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 (a) Bulat sejajar (b) oval sejajar (c) bulat selang-seling (d) oval selang-seling

Keempat alat penukar panas ini akan secara bergantian dipasang pada alat uji. Instalasi dari alat uji secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Instalasi alat uji

Keterangan gambar :

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Blower | 7. Saluran air masuk |
| 2. Venturimeter | 8. Udara keluar |
| 3. Panel temperatur | 9. Pompa |
| 4. Reservoir | 10. Cangkang |
| 5. Saluran air keluar | 11. Panel termokopel |
| 6. Katup | |

Alat ukur termokopel yang dipakai pada alat uji ini diletakkan pada pipa masuk air, pipa keluar air, lubang venturimeter dan pada lubang keluar cangkang. Dimana kesemua alat ukur termokopel ini dihubungkan ke panel, sehingga pembacaan skala dapat dengan mudah dilakukan dengan multimeter digital.

Alat ukur lainnya pada penelitian ini adalah air flowmeter dan stopwatch.

3.2 Asumsi-Asumsi pada Pengujian

Untuk menganalisis data-data pengujian yang diperoleh, maka asumsi-asumsi yang digunakan sebagai berikut:

1. Panas spesifik di sepanjang bagian pengujian adalah konstan.
2. Laju aliran fluida konstan dan tidak ada kebocoran pada sambungan pipa dan katup.
3. Perpindahan panas antara dinding pipa dengan dasar sirip terjadi secara konduksi dan perpindahan panas secara radiasi diabaikan.

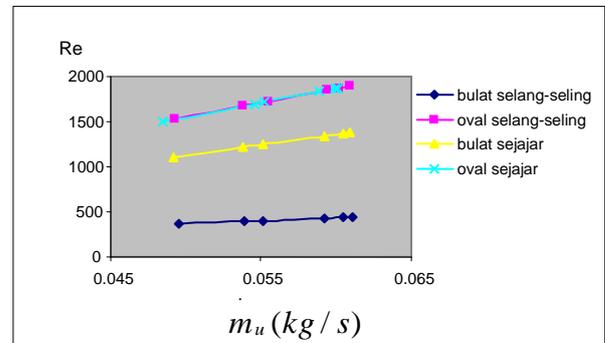
4. Pembahasan

4.1 Bilangan Reynolds

Pada Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa pada pertambahan laju aliran massa udara dan untuk laju aliran massa air yang sama, alat penukar panas dengan susunan pipa oval selang-seling mempunyai nilai bilangan Reynolds yang lebih besar dibandingkan dengan alat penukar panas jenis yang lain, sedangkan susunan pipa bulat selang-seling menunjukkan nilai bilangan Reynolds yang paling rendah dari keempat penukar panas yang diuji.

Bila dipilih penukar panas oval selang-seling sebagai penukar panas pembanding, didapatkan perbedaan peningkatan bilangan Reynolds rata-rata antara susunan pipa oval selang-seling dengan penukar panas jenis yang lain. Dimana perbandingan antara susunan pipa oval selang-seling dengan penukar panas oval sejajar didapat sekitar 10.03, dengan penukar panas bulat sejajar sekitar 484.58, dengan penukar panas bulat selang-seling sekitar 1345.96. Peningkatan ini dikarenakan kecepatan maksimum atau kecepatan udara yang melintasi susunan penukar panas oval selang-seling lebih besar

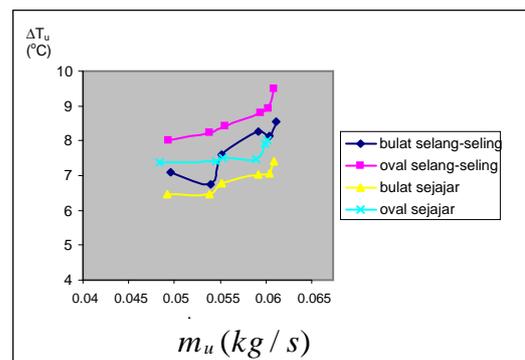
dibanding dengan susunan pipa yang lain, dimana kemaksimuman yang terjadi itu disebabkan luas daerah aliran yang dilewati pada susunan oval selang-seling lebih besar dibanding pada susunan penukar panas yang lain.



Gambar 4.1 Bilangan Reynolds untuk laju massa air 0.0318 kg/s

4.2 Perubahan Temperatur

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar laju kecepatan udara yang melintasi susunan pipa, maka semakin besar pula perubahan temperatur yang terjadi. Dari gambar terlihat bahwa perubahan temperatur udara masuk dan udara keluar pada alat penukar panas dengan susunan pipa oval selang-seling lebih besar dibandingkan dengan penukar panas susunan yang lain.

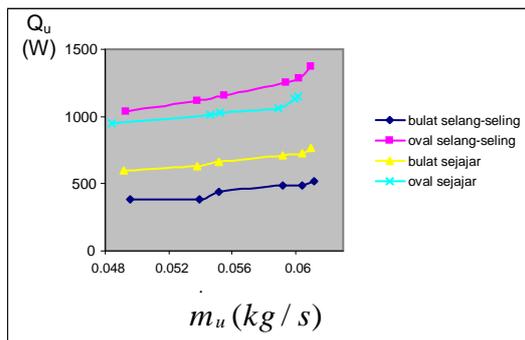


Gambar 4.2 Perbandingan perubahan temperatur udara untuk laju massa air 0.0318 kg/s

Besarnya perubahan temperatur pada susunan oval selang-seling ini dikarenakan kecepatan aliran udara dan luas daerah bebas yang dilewati (daerah *free flow*) yang terjadi pada susunan oval selang-seling lebih besar dibandingkan dengan susunan pipa yang lain, dengan demikian lapisan batas dan kontak permukaan yang terjadi pada susunan oval

selang-seling akan besar, sehingga menyebabkan energi panas yang dipindahkan pada susunan oval selang-seling ini juga besar. Dimana besar perbandingan yang didapat antara susunan oval selang-seling dengan penukar panas oval sejajar didapat sekitar 1.03 °C, dengan penukar panas bulat sejajar sekitar 1.78 °C, dengan penukar panas bulat selang-seling sekitar 0.86 °C.

4.3 Laju Perpindahan Panas

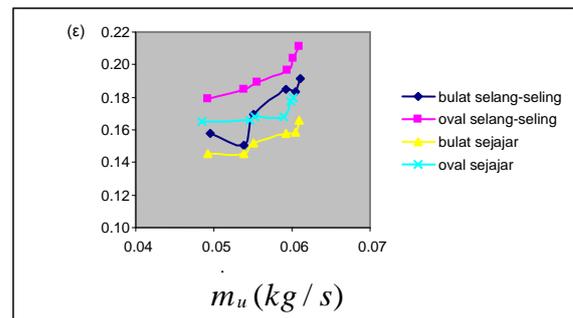


Gambar 4.3 Laju perpindahan panas untuk laju massa air 0.0318 kg/s

Laju perpindahan panas udara yang terjadi, berkaitan dengan luas penampang total yang dilewati udara, perbedaan temperatur udara, serta koefisien perpindahan panas yang terjadi pada fluida itu. Pada Gambar 4.3 terlihat rangkaian oval selang-seling memiliki perubahan panas yang paling tinggi dibanding dengan susunan pipa yang lain dan pada susunan bulat selang-seling perpindahan panas yang terjadi merupakan perpindahan panas yang paling rendah. Secara keseluruhan perpindahan panas yang terjadi pada susunan pipa oval selang-seling lebih baik dibanding dengan penukar panas susunan yang lain. Dimana perbandingan susunan pipa oval selang-seling dengan penukar panas oval sejajar didapat sekitar 148.8 W, dengan penukar panas bulat sejajar sekitar 521.32 W, dengan penukar panas bulat selang-seling sekitar 754.18 W. Hal ini disebabkan oleh besarnya energi panas yang dipindahkan udara, ketika melalui susunan pipa oval selang-seling lebih besar dibanding dengan susunan yang lain, yang ditandai dengan meningkatnya perubahan temperatur udara serta tingginya nilai koefisien perpindahan panas konveksi udara yang terjadi.

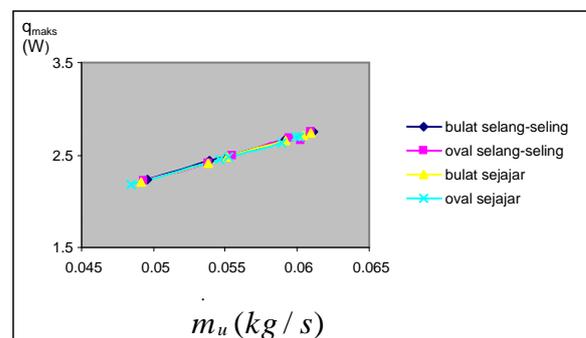
4.4 Efektifitas

Selain laju massa fluida yang mengalir, perubahan temperatur sangat berpengaruh terhadap nilai efektifitas penukar panas yang digunakan. Semakin besar perubahan temperatur yang dihasilkan maka efektifitas yang dihasilkan juga akan makin besar. Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa untuk bukaan pompa yang sama, maka efektifitas yang terbesar adalah pada penukar panas susunan oval selang-seling, karena disini perbedaan temperatur yang paling besar.



Gambar 4.4 Efektifitas untuk laju massa air 0.0318 kg/s

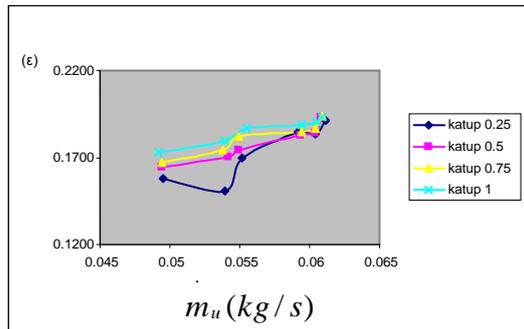
Keefektifan susunan pipa oval selang-seling dalam menerima dan memindahkan panas, dikarenakan laju aliran massa udara dan perubahan temperatur udaranya lebih besar dibanding dengan susunan pipa yang lain. Hal ini disebabkan perpindahan panas maksimum fluida udara cenderung konstan seperti terlihat pada Gambar 4.5, sedangkan perubahan panas pada aliran udara akan meningkat, saat laju aliran massa dan perubahan temperatur yang meningkat.



Gambar 4.5 Perpindahan panas maksimum penukar panas

Dimana perbandingan yang didapat antara susunan pipa oval selang-seling dengan penukar panas oval sejajar didapat sekitar 0.0237, dengan penukar panas bulat sejajar

sekitar 0.0402, dengan penukar panas bulat selang-seling sekitar 0.0213.

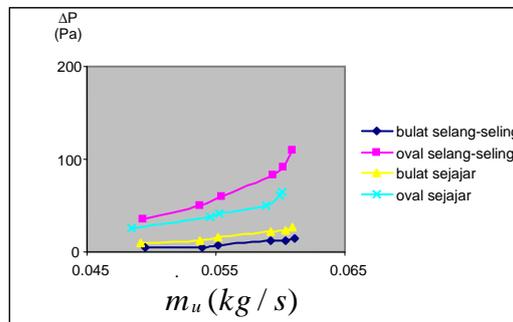


Gambar 4.6 Efektifitas untuk laju massa udara yang sama

Pada saat laju massa air dipercepat seperti Gambar 4.6, maka akan semakin banyak massa yang membawa energi panas, dan akan semakin baik pula efektifitas yang terjadi.

4.5 Penurunan Tekanan

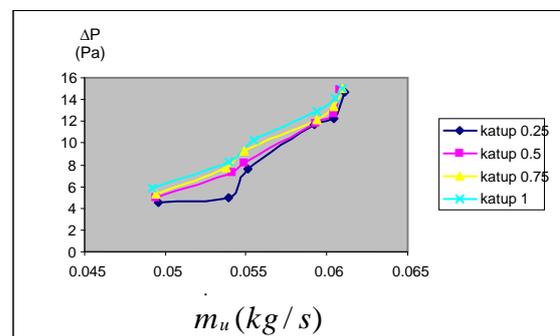
Pada saat fluida yang digunakan memiliki densitas yang rendah, maka akan menyebabkan gesekan yang terjadi semakin besar ketika laju kecepatan yang terjadi besar, hal ini diperlihatkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Penurunan tekanan pada laju massa air 0.0318 kg/s

Dari Gambar 4.7 dapat diperhatikan bahwa terjadi penurunan tekanan untuk semua penukar panas yang diuji. Dimana penurunan tekanan yang paling besar terjadi pada rangkaian penukar panas yang disusun oval selang-seling, hal ini disebabkan pada susunan oval selang-seling mengalami penurunan tekanan merugikan yang besar ($dp/dx > 0$) dan untuk rangkaian pipa bulat selang-seling menunjukkan nilai penurunan tekanan yang paling rendah. Dimana perbandingan yang didapat antara susunan pipa oval selang-seling dengan penukar panas oval sejajar didapat sekitar 24.59 Pa, dengan penukar panas bulat

sejajar sekitar 52.93 Pa, dengan penukar panas bulat selang-seling sekitar 62.06 Pa. Besarnya penurunan tekanan udara yang terjadi dipengaruhi oleh bilangan Reynolds, pola aliran udara yang terbentuk serta perbedaan luas bidang gesekan udara pada permukaan pipa. Pada susunan pipa oval selang-seling variabel-variabel yang mempengaruhi penurunan tekanan bernilai lebih besar dibanding dengan susunan pipa yang lain, sehingga pola aliran yang terbentuk lebih turbulen dibanding susunan pipa yang lain dan hal ini menimbulkan beda tekanan dibagian belakang yang lebih besar pula.



Gambar 4.8 Penurunan tekanan pada laju massa udara yang sama

Pada Gambar 4.8 memperlihatkan pengaruh laju aliran terhadap penurunan tekanan yang terjadi pada rangkaian saat laju massa air dipercepat, dimana semakin banyak massa air yang akan mengalami kontak dengan permukaan maka semakin banyak massa yang membawa energi panas serta timbul gesekan dan penurunan tekanan yang besar, dan tekanan yang terjadi pada susunan oval selang-seling akan lebih besar dibanding dengan susunan pipa yang lain.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan. Dimana secara garis besar alat uji penukar panas susunan selang-seling dengan geometri oval dipilih sebagai alat penukar panas yang paling baik dibanding penukar panas yang lain. Beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

1. Perubahan temperatur udara oval selang seling lebih baik, dimana perbandingan perubahan temperatur susunan oval selang-seling dengan susunan oval sejajar didapat

sekitar 1.03 °C, dengan bulat sejajar sekitar 1.78 °C, dengan bulat selang-seling sekitar 0.86 °C.

2. Perbandingan perpindahan panas susunan pipa oval selang-seling dengan oval sejajar didapat sekitar 148.8 W, dengan bulat sejajar sekitar 521.32 W, dengan bulat selang-seling sekitar 754.18 W.
3. Efektifitas yang dimiliki paling baik dibanding dengan yang lain, dimana perbandingan efektifitas susunan oval selang-seling dengan susunan oval sejajar didapat sekitar 0.0237, dengan bulat sejajar sekitar 0.0402, dengan bulat selang-seling sekitar 0.0213.
4. Kekurangan yang ada pada susunan ini adalah penurunan tekanan yang terjadi, dimana perbandingan penurunan tekanan susunan oval selang-seling dengan susunan oval sejajar didapat sekitar 24.59 Pa, dengan bulat sejajar sekitar 52.93 Pa, dengan bulat selang-seling sekitar 62.06 Pa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Frank P. Incropera and David P. De Witt, Introduction To Heat Transfer, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1990, ch.11, pp. 598-637.
- [2] F. E. Romie, "Transient Response of Counterflow Heat Exchanger", Journal of Heat Transfer, vol. 106, August 1984, pp.620-626.
- [3] J. Taborek, G.F. Hewit and N. Afgan, Heat Exchanger Theory and Practice, Hemisphere Publishing Corp., McGraw-Hill, New York, 1983.
- [4] S. Kakac, R. K. Shah, and A. E. Bergles, Low Reynolds Number Flow Heat Exchanger, Hemisphere Publishing Corp, New York, 1983.
- [5] S. A. Idem, C. Jung, G. J. Gonzales, and V. W. Goldschmidt, "Performance of Air to Water Copper Finned Tube Heat Exchanger at Moderately Low Air Side Reynolds Number", Including Effect of Baffles, Int.J. Heat Mass Transfer, vol. 30, no. 8, 1987.
- [6] W. M. Kays and A. L. London, Compact Heat Exchanger, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1984.