

KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH DIAMETER SELONSONG TERHADAP UNJUK KERJA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA**Anwar¹, Kennedy²**¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno - Hatta KM.9, Tondo, Mantikolore, kota palu, Sulawesi tengah

Abstract: An experimental study of the effect of the diameter of the sleeve on the performance of a double pipe heat exchanger. This study aims to determine the performance of double pipe heat exchanger. The test is carried out by varying the diameter of the tubing, which is 1 inch, 1.5 inch and 2 inch and the variation of discharge used on hot fluid 1 L / min and 2 L / min, and constant cold fluid flow 15 L / min. For the effectiveness of the highest heat exchanger found in a 1 inch diameter sling with a discharge of 1 L / minute that is 60.96% and the lowest effectiveness value occurs in a 2 inch diameter sling with a 2 L / minute discharge that is 21%.

Keywords: Diameter of the sling, flowrate, heat transfer, effectiveness of the heat exchanger.

Abstrak: Kaji eksperimental pengaruh diameter selongsong terhadap unjuk kerja alat penukar kalor pipa ganda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat penukar kalor pipa ganda. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan diameter selongsong yaitu 1 inch, 1,5 inch dan 2 inch serta variasi debit yang digunakan pada fluida panas 1 L/menit dan 2 L/menit, dan debit fluida dingin konstan 15 L/menit. Untuk efektivitas penukar kalor tertinggi terdapat pada diameter selongsong 1 inch dengan debit 1 L/menit yaitu 60,96% dan nilai efektivitas terendah terjadi pada diameter selongsong 2 inch dengan debit 2 L/menit yaitu 21%.

Kata Kunci : Diameter selongsong, debit aliran, perpindahan kalor, efektivitas alat penukar kalor.

PENDAHULUAN

Alat penukar kalor (heat exchanger) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida. Proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi secara langsung, dimana fluida yang akan dipanaskan bercampur dengan fluida pemanasnya (tanpa pemisah) dalam satu bejana maupun secara tidak langsung dimana fluida pemanasnya tidak berhubungan secara langsung dengan fluida pemanasnya.

Salah satu jenis alat penukar kalor yaitu alat penukar kalor pipa ganda, dimana terdiri dari sebuah pipa besar dan pipa kecil di dalamnya. Prinsip kerja dari alat penukar kalor ini yaitu dua jenis fluida yang mempunyai temperatur berbeda di alirkan ke masing-masing pipa sehingga terjadi pertukaran kalor dimana fluida panas melepaskan kalor sedangkan fluida dingin menyerap kalor dari fluida panas.

TEORI DASAR

Salah satu jenis dari alat penukar kalor ialah alat penukar kalor pipa ganda (*Double Pipe Heat Exchanger*). Dalam jenis ini alat tersebut dapat digunakan berlawanan arah aliran (*Counter Flow*) atau searah arah aliran (*Parallel Flow*), baik dengan fluida panas atau fluida dingin yang terkandung dalam ruang selongsong dan cairan lainnya dalam pipa.

1. Analisis perpindahan kalor

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperature antara daerah tersebut.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

Dimana :

\dot{Q} = laju perpindahan kalor (kW)

\dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

C_p = panas spesifik (Kj/kg.°C)

T_{in} = temperature fluida masuk (°C)

T_{out} = temperature fluida keluar (°C)

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V \quad (2)$$

Dimana :

- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
- A = luas penampang fluida masuk (m²)
- V = kecepatan fluida (m/s)

Selanjutnya dengan substitusi pers. (2) ke (1) maka dihasilkan persamaan :

$$\dot{Q} = \rho \cdot A \cdot V \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (3)$$

2. Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah suatu proses dimana panas yang terjadi didaerah yang bersuhu tinggi bergerak mengalir menuju daerah yang memiliki suhu lebih rendah dengan perantara suatu medium atau antar medium yang bersinggungan secara langsung.

$$\dot{Q}k = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \quad (4)$$

Dimana :

- $\dot{Q}k$ = perpindahan kalor konduksi (watt)
- k = konduktivitas thermal (w/m.k)
- L = panjang pipa silinder (m)
- r_o = jari-jari luar pipa silinder (m)
- r_i = jari-jari dalam pipa silinder (m)
- T_{in} = temperature masuk (°C)
- T_{out} = temperature keluar (°C)

3. Perpindahan panas konveksi

Arus fluida yang melintas pada suatu permukaan, akan ikut terbawa sejumlah entalpi, aliran entalpi ini disebut aliran konveksi kalor atau konveksi.

$$\dot{Q}_{con} = h A \Delta T \quad (5)$$

Dimana :

- \dot{Q}_{con} = laju perpindahan panas konveksi (watt)
- h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)
- A = luas penampang yang dilewati fluida (m²)

ΔT = beda antara suhu permukaan dengan suhu fluida (K)

$$h = \frac{Nu.k}{D_i} \quad (6)$$

Dimana :

- h = koefisien perpindahan panas konveksi di dalam tabung (W/m².°K)
- Nu = bilangan *nusselt*
- K = konduktivitas thermal bahan (w/m.k)
- D_i = diameter dalam pipa (m)

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (7)$$

Sedangkan jika aliran yang terjadi merupakan aliran laminar persamaan yang disarankan Edwards (Cengel, 2003) sebagai berikut :

$$Nu = 3,66 + \frac{0,03 \left(\frac{D_i}{L_t}\right) Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{D_i}{L_t}\right) Re \cdot Pr\right]^{2/3}} \quad (8)$$

Dalam penentuan jenis aliran transisi merupakan kondisi yang sulit ditebak, hal ini disebabkan aliran transisi berada dalam kondisi laminar yang akan berubah menjadi turbulenta. Petukhov dan Gnielinski (Cheresource, 2010) menyatakan bahwa untuk aliran transisi dapat menggunakan persamaan :

$$Nu_h = \frac{\xi (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 \sqrt{\frac{\xi}{8} (Pr^{2/3} - 1)}} \left[1 + \left(\frac{D}{L}\right)^{2/3} \right] \quad (9)$$

Dimana ξ merupakan faktor koreksi.

$$\xi = \frac{1}{(1,82 \log Re - 1,64)^2} \quad (10)$$

dimana :

- Nu = bilangan *Nusselt*
- Re = bilangan *Reynolds*
- Pr = bilangan Prandtl
- D = diameter tube (m)
- L = panjang tube (m)

Besaran yang dapat menghubungkan antara kecepatan aliran (v), kondisi fluida (ρ, μ), dan diameter penampang pipa (D) ialah angka

Reynolds. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = \rho \frac{vD}{\mu} \quad (11)$$

Dimana:

- Re = angka *Reynolds*
- V = kecepatan (m/s)
- μ = viskositas dinamik (kg/m.s)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

4. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh perpindahan kalor menyeluruh dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \frac{Ti - To}{\frac{1}{h1A1} + \frac{\ln(\frac{r0}{r1})}{2\pi kL} + \frac{1}{hoAo}} \quad (12)$$

Untuk analisis penukar kalor, tahanan thermal (Cengel, 2003) dikombinasikan menjadi :

$$R = R_{tot} = Ri + R_{wall} + Ro = \frac{1}{h1A1} + \frac{\ln(Do - Di)}{2\pi kL} + \frac{1}{hoAo} \quad (13)$$

Maka perpindahan kalor rata-rata antara kedua fluida yang mengalir dalam pipa (Cengel, 2003) dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T_{LMTD}}{R_{tot}} \quad (14)$$

Dimana :

- \dot{Q} = perpindahan kalor rata-rata (watt)
- ΔT_{LMTD} = beda temperatur rata-rata logaritma (°C)
- R_{tot} = resistensi termal total (W/m.°C)

Sedangkan untuk menentukan luas permukaan pada pipa (Cengel, 2003) digunakan persamaan berikut ini :

$$Ai = \pi \cdot Di \cdot L ; Ao = \pi \cdot Do \cdot L \quad (15)$$

Dimana :

- Ai = luasan pipa bagian dalam (m²)
- Ao = luasan pipa bagian luar (m²)
- Di = diameter pipa bagian dalam (m)
- Do = diameter pipa bagian luar (m)
- L = panjang pipa (m)

5. Beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD)

Faktor perhitungan pada alat penukar kalor adalah masalah perpindahan panasnya. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai perpindahan kalor adalah :

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (16)$$

Dimana :

- \dot{Q} = kalor yang dilepaskan/diterima (watt)
- U = koefisien perpindahan panas menyeluruh (watt)
- A = luas perpindahan panas (m²)
- ΔT_{LMTD} = selisih temperatur rata-rata

Untuk menentukan nilai dari ΔT_{LMTD} hal ini dapat ditinjau dari beda temperatur dari fluida yang masuk dan keluar dari alat penukar kalor (Cengel, 2003).

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}})} \quad (17)$$

Untuk menghitung beda temperatur tipe aliran searah (*parallel*) adalah :

$$\Delta T_{max} = (T_1 - t_1) ; \Delta T_{min} = (T_2 - t_2) \quad (18)$$

Untuk menghitung beda temperatur tipe aliran berlawanan arah (*counter*) adalah :

$$\Delta T_{max} = (T_1 - t_2) ; \Delta T_{min} = (T_2 - t_1) \quad (19)$$

6. Efektivitas alat penukar kalor

Efektivitas dari alat penukar kalor adalah perihal yang sangat penting dalam urusan desain suatu alat penukar kalor. Hal ini dikarenakan efektivitas dari alat penukar kalor menjadi parameter untuk mendapatkan unjuk kerja dari sebuah alat penukar kalor. Adapun persamaan (Cengel, 2003) sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}_{act}}{\dot{Q}_{max}} \quad (20)$$

Dimana :

- ϵ = efektivitas alat penukar kalor
- \dot{Q}_{act} = laju perpindahan kalor aktual (watt)
- \dot{Q}_{max} = laju perpindahan kalor maksimum (watt)

Berdasarkan buku karangan Ramesh,K (*Fundamentals Of Heat*

Exchanger Design, 2003), menyatakan bahwa laju perpindahan kalor aktual dalam alat penukar kalor dapat ditentukan dari persamaan kesetimbangan energi dari fluida panas maupun dingin sebagai berikut :

$$\dot{Q} = C_c (T_{co}-T_{ci}) = C_h (T_{hi}-T_{ho}) \quad (21)$$

Dimana :

$C_c = \dot{m}_c C_{pc}$ = laju kapasitas panas fluida dingin

$C_h = \dot{m}_h C_{ph}$ = laju kapasitas panas fluida panas

\dot{m}_c = laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

\dot{m}_h = laju aliran massa fluida panas (kg/s)

T_{ci} = suhu masuk fluida dingin (°C)

T_{co} = suhu keluar fluida dingin (°C)

T_{hi} = suhu masuk fluida panas (°C)

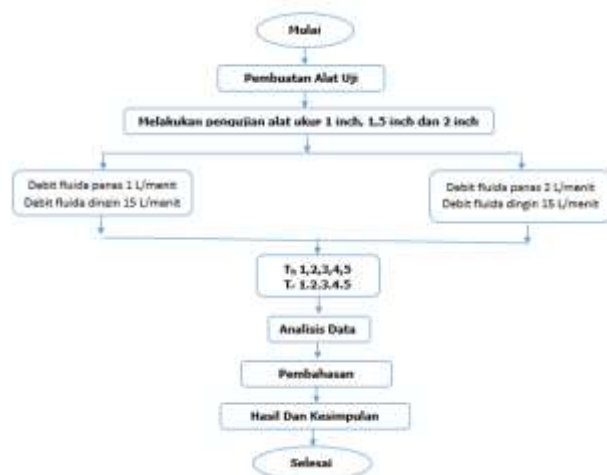
T_{ho} = suhu keluar fluida panas (°C)

Laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin dalam alat penukar kalor berdasarkan perbedaan temperatur maksimum dan laju kapasitas panas yang minimum, yaitu :

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} (T_{hi}- T_{ci}) \quad (22)$$

dimana, C_{min} adalah yang lebih kecil dari C_h dan C_c .

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. diagram tahapan penelitian

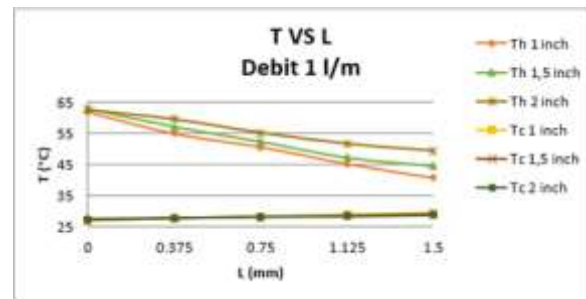
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data pengujian temperature rata-rata untuk debit 1 L/menit

Variasi	$T_{h in}$	$T_{h out}$	$T_{c in}$	$T_{c out}$
Diameter selonsong 1 inch	61.950	40.750	27.175	28,338
Diameter selonsong 1,5 inch	63.025	44.59	27.163	28,188
Diameter selonsong 2 inch	62.675	49.488	27.5	28.213

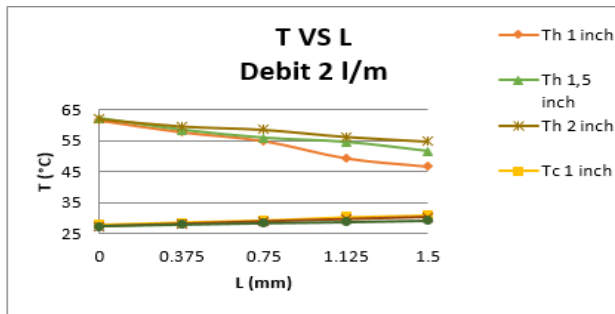
Tabel 2 Data pengujian temperature rata-rata untuk debit 2 L/menit

Variasi	$T_{h in}$	$T_{h out}$	$T_{c in}$	$T_{c out}$
Diameter selonsong 1 inch	61.6	46.65	27.9	29,7
Diameter selonsong 1,5 inch	62.263	51.675	27.375	28,56
Diameter selonsong 2 inch	62.1	53.8	27.338	28,16



Gambar 2. Grafik perbandingan temperatur fluida panas dan fluida dingin terhadap panjang alat penukar kalor dengan debit 1 L/menit

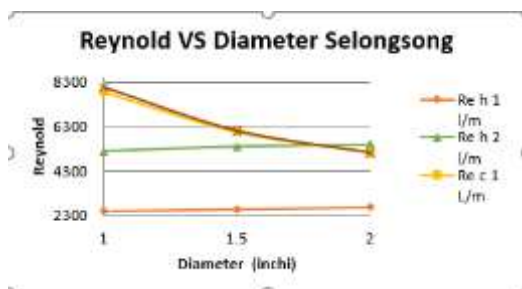
Dari grafik 2. Dan grafik 3. memperlihatkan bahwa semakin panjang alat penukar kalor maka pada fluida panas dan fluida dingin akan mengalami penurunan dan peningkatan temperatur secara terus menerus hingga mencapai kondisi setimbang pada sisi keluar fluida.



Gambar 3. Grafik perbandingan temperatur fluida panas dan fluida dingin terhadap panjang alat penukar kalor dengan debit 2 L/menit

Jika dilihat dari gambar 2. dan gambar 3. memperlihatkan penurunan temperatur fluida panas terbesar terjadi pada diameter selongsong 1 inci hal ini disebabkan oleh pengecilan diameter selongsong sehingga kecepatan fluida dingin meningkat dan berdampak pada peningkatan bilangan reynold jika dibandingkan diameter selongsong 1,5 inci dan diameter selongsong 2 inci memiliki kecepatan dan bilangan reynold yang lebih rendah.

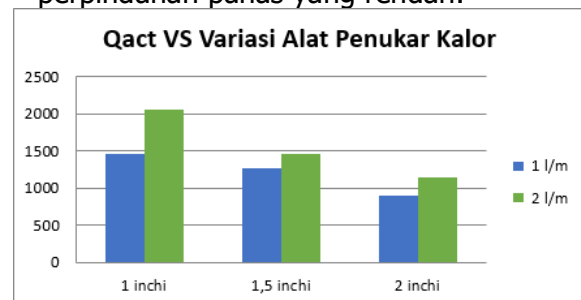
Dari gambar 2. dan gambar 3. terlihat perbedaan temperatur masuk dan temperatur keluar lebih besar terjadi pada diameter 1 inch pada debit 1 L/menit dibandingkan pada debit 2 L/menit, hal ini disebabkan perbedaan debit sehingga kecepatan pada debit 1 L/menit lebih kecil yaitu 0,0854 m/s sedangkan 2 L/menit sebesar 0.1708 m/s, sehingga perambatan kalor yang terjadi lebih besar dan menyeluruh.



Gambar 4. Grafik perbandingan bilangan Reynold terhadap diameter selongsong

Jika dibandingkan bilangan reynold fluida dingin pada debit fluida panas 1 L/menit memiliki nilai lebih besar dari pada bilangan reynold fluida dingin pada debit 2 L/menit hal ini disebabkan nilai viskositas dinamik dimana semakin kecil nilai viskositas dinamik maka nilai bilangan reynold akan meningkat. Sedangkan untuk perbandingan bilangan reynold fluida dingin pada diameter selongsong 1 inci, 1,5 inci dan 2 inci diperoleh nilai bilangan reynold fluida dingin terbesar pada diameter selongsong 1 inci dan terendah pada diameter selongsong 2 inci, hal ini disebabkan luas penampang yang berakibat pada perbedaan kecepatan pada debit fluida dingin yang konstan.

Penurunan bilangan Reynold pada fluida dingin dan fluida panas menyebabkan bilangan nusselt juga menurun dimana penurunan bilangan nusselt memengaruhi koefisien perpindahan panas konveksi fluida dingin dan akan berdampak pada laju perpindahan panas yang rendah.



Gambar 5. Grafik perbandingan perpindahan kalor aktual (Qact) terhadap variasi diameter selongsong alat penukar kalor pipa ganda

Hal ini memperlihatkan bahwa semakin kecil diameter selongsong pipa maka perpindahan kalor aktual yang terjadi akan semakin besar, begitupun sebaliknya. Terlihat bahwa Qact pada debit 2 L/menit lebih besar dibandingkan Qact pada debit 1 L/menit, hal ini dipengaruhi oleh debit fluida panas yang lebih besar yang mengakibatkan kecepatan dan laju aliran massa pada 2

L/menit lebih besar dari 1 L/menit. Jika laju aliran massa meningkat maka laju kapasitas kalor minimum juga meningkat yang berdampak pada peningkatan perpindahan kalor aktual yang terjadi.



Gambar 6. Grafik perbandingan efektifitas terhadap variasi diameter selongsong alat penukar kalor pipa ganda

Efektivitas dipengaruhi perbandingan laju perpindahan kalor aktual (Q_{act}) dengan laju perpindahan kalor maximum (Q_{max}) jika ingin memperoleh persentase efektifitas yang tinggi maka nilai Q_{act} harus lebih besar dari nilai Q_{max} . Nilai persentase efektifitas yang terjadi pada debit 1 L/menit lebih besar di bandingkan 2 L/menit, hal ini disebabkan kecepatan fluida dan laju aliran massa kecil memberikan dampak terhadap pelepasan kalor yang lebih menyeluruh pada alat penukar kalor.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan adanya perubahan diameter selongsong mampu meningkatkan laju perpindahan kalor dan efektifitas pada alat penukar kalor. Laju perpindahan kalor dan efektifitas akan semakin tinggi seiring dengan pengecilan diameter selongsong pada debit yang konstan.
2. Variasi laju aliran fluida panas (debit) berpengaruh terhadap unjuk kerja alat penukar kalor pipa ganda, semakin kecil debit fluida panas maka akan berdampak pada peningkatan efektifitas penukar

kalor pipa ganda namun terjadi penurunan nilai perpindahan kalor aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Y A., 2003, Heat Transfer A Practical Approach. 2nd Ed. McGRAW-Hill. New York
- Cheresource., correlations for convective heat transfer, termuat di: <http://www.cheresource.com/content/articles/correlations-for-convective-heat-transfer>.diakses 3 april 2019
- Holman, J. P.,1986, Heat Transfer. 3th Ed. McGRAW-Hill. New York
- Shivam B, Kale, dkk., 2017, "Experimental Analysis Dan Simulation Of Double Pipe Heat Exchanger", Vol 3 No 2, hal.2395-4396
- Kreith, F., 2000, Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas. Edisi Ke-3. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Kumar S., Karanth V., & Murthy K., 2015, "Numerical Study Of Heat Transfer In A Finned Double Pipe Heat Exchanger", World Journal Of Modelling And Simulation Vol. 11. England, UK.
- Ma'a, Mustaza., 2013, "Karakteristik Perpindahan Panas Double Pipe Heat Exchanger Perbandingan Aliran Pararel Dan Counter Flow", Jurnal Teknik Elektro dan Komputer,Vol.L, No 2 161-168.
- Putra, I. P., 2016, "Pengaruh Penambahan Silinder Pejal Tegak Lurus Aliran Pada Alat Penukar Kalor Pipa Ganda", Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, UNTAD.
- Rifan, 2016, " Pengaruh Penambahan Besi Pejal Berulir Terhadap Efektivitas Alat Penukar Kalor Pipa Ganda", Skripsi Jurusan Teknik Mesin, UNTAD
- Septiani,M., 2012, Heat exchanger, termuat di : <http://mhimns.blogspot.com/2012/1/1/heat-exchanger.html>.di akses 3 april 2019.

