

## STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI *PITCH COILED TUBE* TERHADAP NILAI *HEAT TRANSFER* DAN *PRESSURE DROP* PADA *HELICAL HEAT EXCHANGER* ALIRAN SATU FASA

**Rianto Wibowo.<sup>1)</sup>, Samsul K.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Teknik Mesin, Universitas Muria Kudus,

<sup>2)</sup>Teknik Mesin, UGM Jogjakarta

e mail : Riantowibowo\_umk@yahoo.com

### Abstrak

*Pada penelitian ini telah dilakukan studi pengaruh perubahan pitch pada coiled tube terhadap nilai heat transfer dan pressure drop yang terjadi pada helical heat exchanger dengan type counter flow. Pengukuran dilakukan pada 3 variasi pitch dan 2 diameter pipa yang digunakan sebagai tube. Pengumpulan data meliputi pengukuran suhu inlet dan outlet pada tube shell, serta tekanan air yang mengalir pada sisi tube dengan variasi laju aliran air. Nusselt number dan total pressure drop meningkat sebanding dengan laju aliran massa air dan berbanding terbalik dengan pertambahan panjang pitch pada coiled tube.*

**kata kunci :** *helical heat exchanger, pitch, koefisien heat transfer, pressure drop.*

### Pendahuluan

Penukar kalor / heat exchanger merupakan alat yang berfungsi untuk melakukan transfer energy antara dua fluida, dan saat ini penggunaan heat exchanger telah meluas meliputi : power plant, reaktor nuklir, sistem AC (Air Conditioning), industri otomotif, sistem heat recovery, proses kimia, industri makanan dan lain-lain.

Beberapa kajian tentang performance pada helical heat exchanger telah dilakukan. Naphon (2006) mengamati heat transfer dan pressure drop pada helical heat exchanger dengan menggunakan coiled tube dengan diameter helical tube 127 mm – 197 mm, dan diameter tube 9,5 mm. Selain itu, bahwa aliran fluida dalam spiral plate memberikan efek yang positif terhadap nilai heat transfer pada heat exchanger juga telah dieeliti oleh Rajavel dan Saravanan (2007).

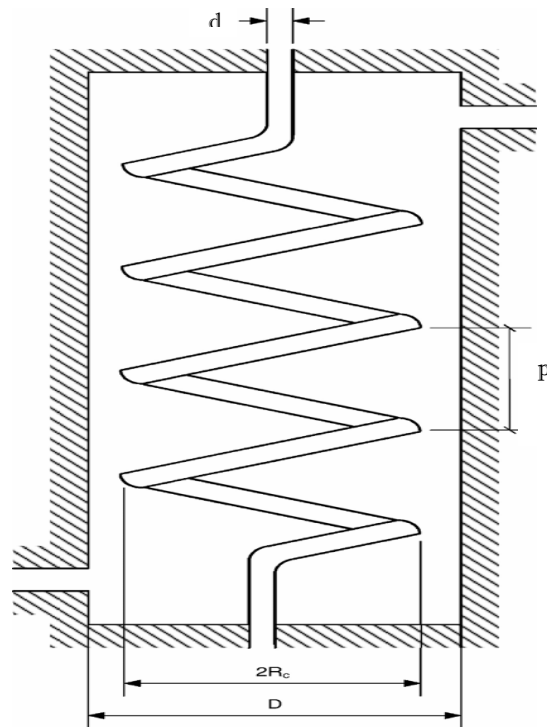
Inti dari beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti tercantum diatas adalah mempelajari efek aliran fluida yang melingkar dalam coiled tube (tidak terdapat pada type heat exchanger lainnya) terhadap performa heat exchanger yang dihasilkan, khususnya heat transfer yang dihasilkan dan pressure drop yang terjadi. Masalahnya adalah belum adanya korelasi antara geometri pada helical heat exchanger terhadap heat transfer dan pressure drop pada fluida kerja dalam heat exchanger, sehingga perlu dilakukan kajian terhadap pengaruh perubahan geometri alat terhadap performanya.

### Metodologi

#### 1. Geometri Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan seperti pada gambar 1.1 berupa helical heat exchanger. Pada gambar terlihat bahwa Rc adalah radius coiled tube, d adalah diameter pipa tube, D adalah diameter dalam shell, p adalah pitch coiled tube. Beberapa parameter non dimensional yang digunakan pada pembahasan data hasil penelitian ini, meliputi Reynold number (Re), Dean number (De), Nuselt number (Nu), Prandtl number (Pr) dan pitch ( $\gamma$ ) dengan persamaan :

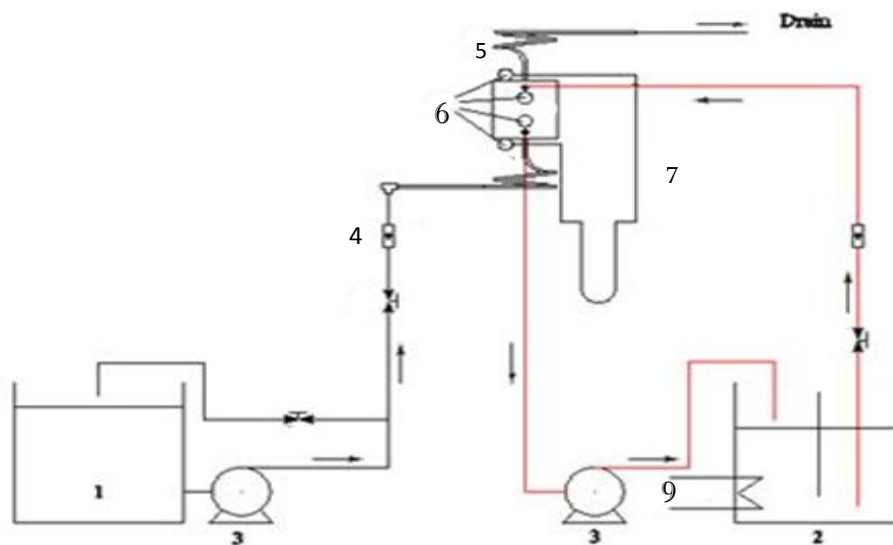
$$\text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad \text{Pr} = \frac{\mu c_p}{k}, \quad \text{Nu} = \frac{h d}{k}, \quad \text{De} = \text{Re} \sqrt{\frac{d}{R}}, \quad \gamma = \frac{p}{\pi D_c}$$



Gambar 1 Geometri seksi uji alat penelitian

## 2. Set up Alat Penelitian

Diagram skematik dari peralatan penelitian yang digunakan terlihat pada gambar 1.2. Pada penelitian ini type aliran yang digunakan adalah counter flow vertikal pada aliran satu fasa. Dimensi seksi uji yang digunakan seperti tercantum pada tabel 1.1. Air yang akan disirkulasikan dalam heat exchanger ditampung dalam bak penampungan air, untuk air panas dilengkapi dengan heater listrik dan Thermostat. Sebagai pengukur laju aliran air, digunakan flow meter dan suhu air pada sisi tube diukur dengan menggunakan termokopel dengan akurasi  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Tekanan pada sisi inlet dan outlet tube diukur dengan menggunakan manometer air dengan menambah pewarna agar mudah dalam pembacaan. Pada bagian body luar shell diisolasi sehingga diharapkan tidak ada heat transfer yang terjadi antara lingkungan dengan heat exchanger.



Gambar 2. Skema alat penelitian

Keterangan :

- |                      |               |
|----------------------|---------------|
| 1. Tangki air dingin | 6. Termokopel |
| 2. Tangki air panas  | 7. Manometer  |
| 3. Pompa air         | 8. Katup      |
| 4. Flow meter        | 9. Heater.    |
| 5. Seksi uji         |               |

Tabel 1 Karakteristik dimensi seksi uji alat penelitian

	do (mm)	di (mm)	Dc (mm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	P (mm)	n	L (mm)
Koil 1	12,7	10,2	150	3	50	4	2822
Koil 2	12,7	10,2	150	2.4	40	4	2823,2
Koil 3	12,7	10,2	150	1.8	30	4	2824,6
Koil 4	9,52	7,02	150	3.4	50	4	2821
Koil 5	9,52	7,02	150	2.8	40	4	2822,6
Koil 6	9,52	7,02	150	2.2	30	4	2823,9

### Hasil Dan Pembahasan

Beberapa parameter yang digunakan pada penelitian terlihat pada tabel 2. Laju aliran massa air divariasikan dalam 6 nilai debit yang digunakan pada tiap tube dengan 3 variasi pitch. Perpindahan kalor dalam helical heat exchanger ini dirumuskan dengan:

$$q = U A \Delta T_m$$

dimana q merupakan nilai kalor yang dipindahkan, U adalah koefisien perpindahan kalor menyeluruh, dan A adalah luas perpindahan kalor, serta  $\Delta T_m$  adalah beda suhu rata-rata dalam heat exchanger. LMTD (log mean temperature difference) merupakan fungsi dari  $\Delta T_1$  dan  $\Delta T_2$  yang dirumuskan dengan :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \left[ \frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}} \right]}$$

Sedangkan nilai koefisien heat transfer total sebagai fungsi luas permukaan heat transfer dan koefisien konduktivitas dan konvektif dirumuskan dengan persamaan :

$$\frac{1}{U} = \frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o \ln \left( \frac{d_o}{d_i} \right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}$$

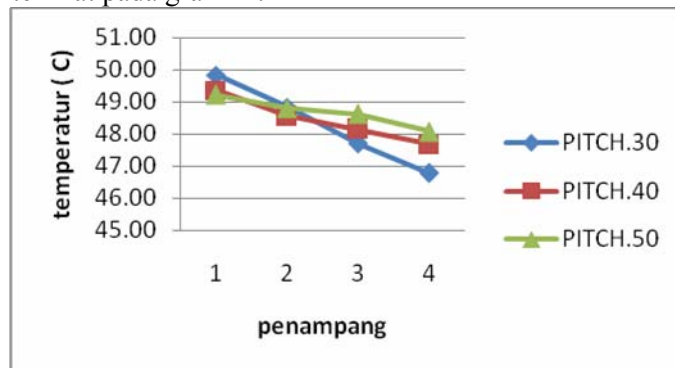
dimana  $h_i$  adalah koefisien heat transfer konvektif sisi inner,  $h_o$  adalah koefisien heat transfer konvektif sisi outer, k adalah koefisien heat transfer konduktif, A adalah luas permukaan, d adalah diameter pipa tube, L menunjukkan nilai panjang pipa tube.

Tabel 2 Parameter-parameter dalam penelitian

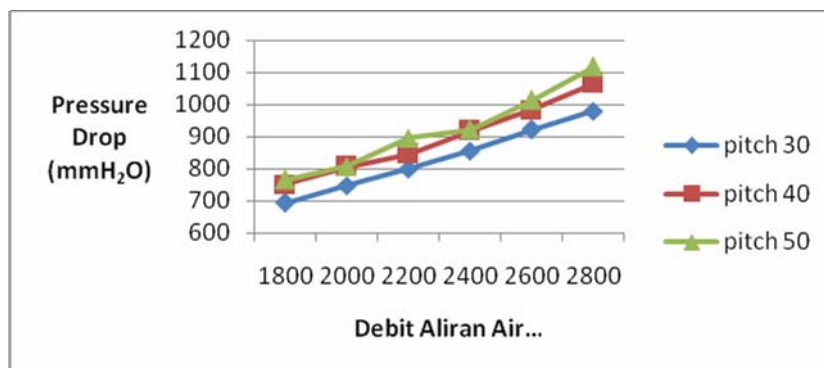
Parameters	Range
Debit air panas	1800 – 2800 ml/menit
Debit air dingin	2200 ml/menit
Temperatur masuk sisi tube	40 $^{\circ}$ C – 60 $^{\circ}$ C
Temperatur keluar sisi tube	36 $^{\circ}$ C – 59.5 $^{\circ}$ C
Temperatur masuk sisi shell	25 $^{\circ}$ C – 29.5 $^{\circ}$ C
Temperatur keluar sisi shell	26.5 $^{\circ}$ C – 34.5 $^{\circ}$ C
Perubahan tekanan pada sisi tube	440 - 1100 mmH <sub>2</sub> O

Data hasil penelitian seperti terlihat pada grafik 1. yang menunjukkan temperatur pada bagian *tube heat exchanger* untuk beberapa penampang pada lintasan tube, terlihat adanya penurunan suhu yang berbeda antara ukuran pitch 30 , 40 dan 50 mm. Sebaliknya pada hubungan antara pressure

drop terhadap debit aliran air menunjukkan bahwa semakin besar pitch akan semakin besar pressure drop seperti terlihat pada grafik 2.



Grafik 1 Penurunan temperatur air pada sisi tube (d=7.02mm)



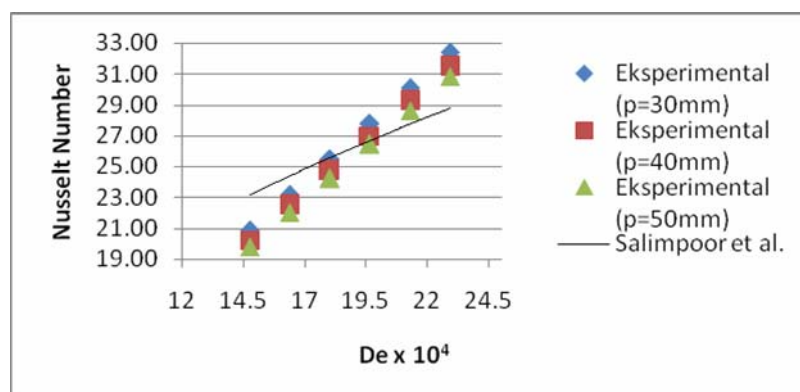
Grafik 2 Hubungan antara pressure drop terhadap debit aliran air (d=7.02mm)

Berdasar hasil perhitungan data penelitian didapatkan nilai Nusselt number yang makin meningkat untuk penurunan nilai pitch pada coiled tube (grafik 3), hal ini karena dengan pitch yang makin kecil maka rasio luas permukaan tube terhadap volume shell makin meningkat.

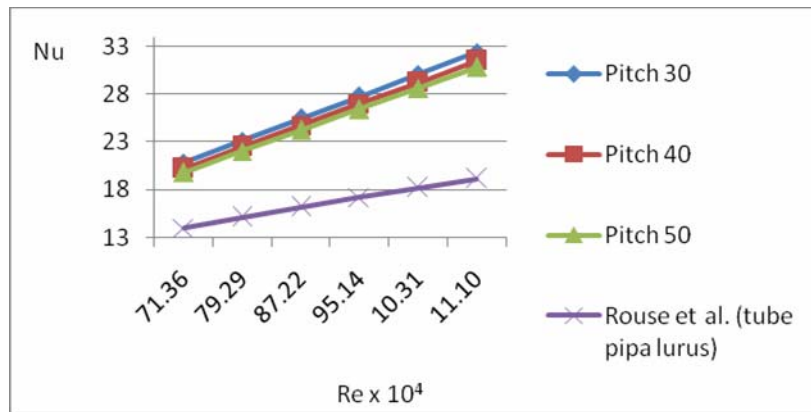
$$Nu = 8,25 De^{0,499} Pr^{0,616} \gamma^{-0,63} \quad (d=7,02 \text{ mm}). R^2 = 0,82$$

$$Nu = 5,41 De^{0,522} Pr^{0,645} \gamma^{-0,64} \quad (d=10,2 \text{ mm}). R^2 = 0,88$$

Dibandingkan dengan straight pipe tube heat exchanger, helical heat exchanger memiliki peningkatan koefisien heat transfer sebesar 36,38% (grafik 4)

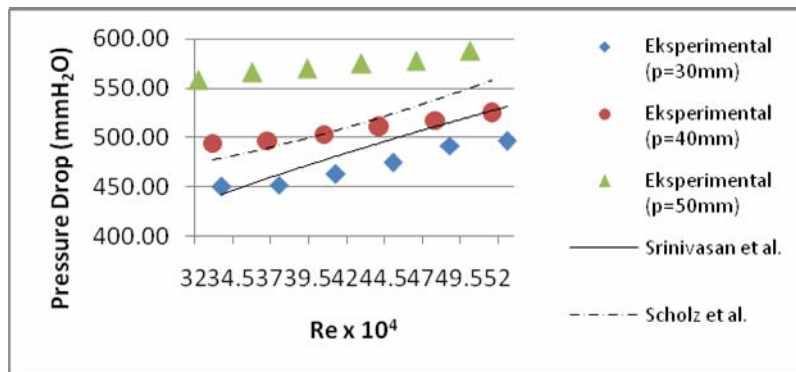


Grafik 3. Hubungan Nusselt number dan Dean Number (d=10.2mm)

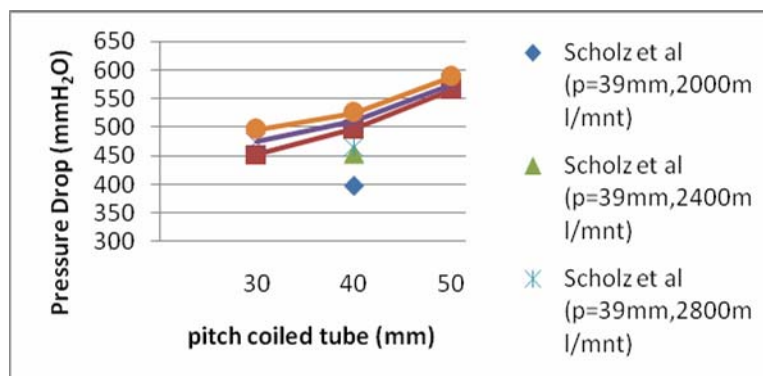


Grafik 4. Hubungan Nusselt number dan Reynold number (d=10.2 mm)

Hasil pengukuran pressure drop aliran air pada sisi tube menunjukkan bahwa semakin besar nilai Reynolds number maka makin tinggi nilai pressure drop yang dialami (grafik 5). Hubungan pressure drop terhadap nilai pitch, pada grafik 6 menunjukkan bahwa peningkatan pitch akan memperbesar nilai pressure dropnya, hal ini disebabkan karena dengan penambahan pitch akan memperbesar  $\Delta p$  grafitasi.



Grafik 5. Hubungan pressure drop dan Reynold number (d=7.02mm)



Grafik 6. Hubungan pressure drop dan pitch coiled tube (d=7.02mm)

Pumping power merupakan faktor yang menentukan nilai cost instalasi suatu heat exchanger, sehingga dalam penelitian ini dibandingkan antara pumping power yang dibutuhkan pada helical heat exchanger dengan straight pipe tube. Nilai rata-rata pumping power hasil penelitian didapatkan nilai sebesar 205,74 Watt. Sedangkan pada straight pipe pada panjang dan debit aliran air yang sama didapat nilai rata-rata pumping power sebesar 174,47 Watt, sehingga kenaikan pumping power yang terjadi untuk instalasi helical heat exchanger sebesar 27,94%.

---

## Kesimpulan

Berdasar hasil penelitian didapatkan hasil bahwa nilai heat transfer koefisien pada helical heat exchanger makin meningkat dengan makin kecilnya pitch pada coiled tube. Kondisi dapat dijelaskan bahwa pada pitch yang makin kecil, maka akan menghasilkan rasio luas permukaan tube terhadap volume shell yang makin meningkat. Selanjutnya juga akan memperbesar gaya sentrifugal aliran air pada sisi tube.

Pada helical heat exchanger, pressure drop yang terjadi lebih besar jika dibandingkan dengan straight pipe heat exchanger yang pada akhirnya akan memperbesar pumping power yang dibutuhkan.

## Daftar Pustaka

- Holloway and Smith. 1990. *Single and Two Phase Flow In Helical Coils*. Chalk River Laboratory, Ontario, Canada and East Kilbride, United Kingdom. pp. 245 -278.
- Holman, J.P. 2002. *Heat Transfer*. Mc Graw Hill, Singapore. pp.189-203.
- Incropera, Frank P.1996. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp.205-237.
- Kakac, Hongtan.1997. *Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design*. CRC Press, United States of America. pp. 28-97.
- Naphon, P.2006. *Thermal Performance and Pressure Drop of Helical-Coil Heat Exchangers* . Journal of Heat and Mass Transfer. pp.142-149
- Neeras.2004. *Experimental Shell-Side Heat Transfer and Pressure Drop in Gas Flow for Spiral-Wound Heat Exchanger*. International Journal of Heat and Mass Transfer. pp. 353-361.
- Rajavel and Sarvanan.2008. *An Experimental Study of Spiral Plate Heat Exchanger for Electrolytes*. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy. pp. 255-260.
- Salimpour,M.2008. *Heat Transfer Characteristics of a Temperature-dependent-property fluid in Shell and Coiled Tube Heat Exchanger*. International Communcations in Heat and Mass Transfer. **Vol.** 35. pp. 1190-1195.
- Salimpour,M. 2008. *Heat Transfer Coefficients of Shell and Coiled Tube Heat Excahnger*. Experimental Thermal and Fluid Science. **Vol.**348. pp.120-125.
- Saunders.1988. *Heat Exchangers Selection, Design, and Construction*. The Bath Press, Great Britain. pp. 18-76
- Welly, J.R. Wicks, C. Wilson, R. *Fundamentals of Momentum, Heat, adan Mass Transfer*, 4<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 2001.
- Yildiz.1995. *Heat Transfer and Pressure Drops in Rotating Helical Pipes*. Journal of Applied Energy. Vol. 153. pp. 85-94.