

ANALISIS PENGARUH JARAK ANTAR SIRIP DAN LAJU ALIRAN TERHADAP KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR PADA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA

Khoirudin^{1*}, Dodi Mulyadi¹⁾, Nana Rahdiana²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang

²⁾ Program Studi Teknik Industri, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang

*Email Korespondensi : khoirudin@ubpkarawang.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak antar sirip, laju aliran dalam, dan laju aliran luar terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada alat penukar kalor pipa ganda. Penelitian ini menggunakan dua pipa, yaitu pipa tembaga 1/2 inch yang dialiri air panas dan pipa aluminium 1 inch yang dialiri air dingin. Populasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa bersirip enam jarum dengan variasi jarak antar sirip 10 mm, 15 mm, dan 20 mm, variasi laju aliran dalam 0,06 lt/dt, 0,08 lt/dt, 0,1 lt/dt, dan laju aliran luar 0,07 lt/dt, 0,1 lt/dt, 0,13 lt/dt. Hasil penelitian menunjukkan ada perbedaan nilai perpindahan kalor dari masing-masing variasi, antara variasi jarak antar sirip, laju aliran dalam, dan laju aliran luar. Koefisien perpindahan kalor paling rendah terjadi pada interaksi pipa tanpa sirip, laju aliran dalam 0,06 lt/dt, dan laju aliran luar 0,07 lt/dt, yaitu sebesar 890,74 W/m²°C. Sedangkan koefisien perpindahan kalor paling tinggi terjadi pada interaksi jarak antar sirip 15 mm, laju aliran dalam 0,1 lt/dt, dan laju aliran luar 0,13 lt/dt yaitu sebesar 1784,84 W/m²°C.

Kata kunci: alat penukar kalor, pipa ganda, koefisien perpindahan kalor

ABSTRACT

This study presents an experimental investigation of the effect of variation distance between the fins of six pin, variation inside flow rates, variation outside flow rates against heat transfer coefficient of a counter flow heat exchanger. This study uses double pipes are used for the inside of the copper pipe size 1/2 inch of hot water is flowing and the outside using a 1-inch aluminum pipe that fed cold water. The sample used in this study is a six-pin finned pipe with variation distance between the fin 10 mm, 15 mm, and 20 mm. The variation inside flow rates used 0,06 lt/s, 0,08 lt/s, and 0,1 lt/s. Outside flow rates used 0,07 lt/s, 0,1 lt/s, and 0,13 lt/s. The result showed differences in the value of heat transfer coefficient from the variation of the distance between the fins of six pin, the inside flow rates, and outside flow rates which the smallest heat transfer coefficient is the pipe without the fins, the inside flow rates of 0,06 lt/s and the outside flow rates 0,07 lt/s with heat transfer coefficient 890,74 W/m²°C and the optimal heat transfer coefficient is the pipe with distance between the fins 15 mm, the inside flow rates of 0,1 lt/s and the outside flow rates 0,13 lt/s with heat transfer coefficient 1784,84 W/m²°C.

Keywords: heat exchanger, double pipe, heat transfer coefficient

PENDAHULUAN

Alat penukar kalor adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida [1]. Alat penukar kalor sangat banyak digunakan dalam skala penelitian maupun dalam skala industri. Alat penukar kalor juga bisa digunakan untuk pemanfaatan energi gas buang yang diambil dari cerobong pada ketel uap tekanan rendah. Energi panas dipindahkan menggunakan alat penukar kalor, kemudian bisa digunakan untuk pemanasan air yang masuk pada proses *degreaser* [2].

Laju perpindahan kalor merupakan salah satu pertimbangan penting karena berpengaruh terhadap dimensi dan biaya. Laju perpindahan panas pada alat penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor. Beberapa faktor yang mempengaruhi laju perpindahan kalor adalah, jenis material, laju aliran, dan luas penampang.

Pada tahun 2017, A. K. Dwivedi telah melakukan penelitian dengan variasi tiga jenis material yaitu tembaga, alumunium, dan baja. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa alat penukar kalor menggunakan tembaga mempunyai laju perpindahan kalor paling baik dibanding dengan material alumunium maupun baja [3]. Dari hasil penelitiannya dapat diambil kesimpulan bahwa jenis material yang digunakan dalam alat penukar kalor akan mempengaruhi laju perpindahan kalor. Hal ini disebabkan oleh perbedaan konduktifitas *thermal* dari masing-masing material.

Pada tahun 2020, S. Sivalakshmi melakukan penelitian pada alat penukar kalor pipa ganda dengan penambahan sirip berbentuk *helical*, variasi laju aliran fluida dari 0.01 kg/dt sampai 0.05 kg/dt dan temperatur panas pada inlet dijaga konstan pada 80 °C. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas akan meningkat dengan penambahan sirip, dan efektifitas alat penukar kalor bisa meningkat hingga 38.46% [4]. Penambahan sirip juga akan meningkatkan *velocity* [5].

M. Awwaluddin melakukan penelitian menggunakan pipa tembaga, *stainless steel*, dan aluminium sebagai *tube* yang dipasang sirip (*delta wing*) dengan jarak bervariasi 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan jumlah sirip bervariasi 4 dan 6 pada masing-masing *tube* [6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor total paling besar terjadi pada pipa tembaga dengan sirip 6 buah dan jarak 10 cm yaitu 1186,567 W/m²°C, sedangkan yang terkecil menggunakan stainless dengan sirip 4 dan jarak 20 cm yaitu 468,019 W/m²°C [7].

M. E. T. Hastuti melakukan penelitian dengan penambahan sirip tegak beralur tanpa lengkung, 1 lengkung, dan 2 lengkung. Laju aliran dalam divariasi 0,06 lt/dt, 0,08 lt/dt, dan 0,1 lt/dt. Laju aliran di variasi 0,13 lt/dt, 0,1 lt/dt, dan 0,07 lt/dt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sirip tanpa lengkung dengan laju aliran dalam 0,08 lt/dt dan laju aliran luar 0,13 lt/dt memiliki koefisien perpindahan kalor paling optimal yaitu 0,04867 W/m²°C. Sirip dua lengkung dengan laju aliran dalam 0,06 lt/dt, dan laju aliran luar 0,07 lt/dt memiliki koefisien perpindahan kalor paling kecil yaitu 0,03357 W/m²°C [8].

Dari berbagai referensi dan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa jenis material, laju aliran dalam, laju aliran luar dan penambahan sirip akan mempengaruhi koefisien perpindahan kalor. Oleh sebab itu, penulis akan melakukan penelitian menggunakan dua pipa, yaitu pipa tembaga 1/2 inch yang dialiri air panas dan pipa alumunium 1 inch yang dialiri air dingin. Jarak sirip pada pipa tembaga akan divariasi yaitu 10 mm, 15 mm, dan 20 mm, variasi laju aliran dalam 0,06 lt/dt, 0,08 lt/dt, 0,1 lt/dt, dan laju aliran luar 0,07 lt/dt, 0,1 lt/dt, 0,13 lt/dt. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak antar sirip, laju aliran dalam, dan laju aliran luar terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada alat penukar kalor pipa ganda.

Landasan Teori

Alat penukar kalor yaitu alat yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari suatu fluida ke fluida lainnya. Berdasarkan aliran fluida pada alat penukar kalor maka alat penukar kalor dibedakan menjadi alat penukar kalor aliran sejajar, aliran lawan arah, dan aliran silang [9]. Fluida yang digunakan dalam alat penukar kalor juga bermacam-macam. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan nanofluida dalam alat penukar kalor pipa ganda sangat menarik perhatian [10].

Untuk meningkatkan laju perpindahan panas, salah satu cara yang dilakukan adalah menambah luas penampang. [11], persamaan laju perpindahan kalor adalah sebagai berikut:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Pada ΔT konstan, dan penambahan luas penampang (A) maka laju perpindahan kalor (Q) akan meningkat.

Pada silinder berlubang laju perpindahan panas bisa dianalogikan seperti tahanan listrik. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_0 A_0}} \quad (2)$$

Luas penampang dalam pipa adalah (A_1), dan luas penampang luar pipa adalah (A_0). Koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{A_1 \ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_0 A_0}} \quad (3)$$

Koefisien perpindahan kalor pada masing-masing proses perpindahan kalor dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Koefisien perpindahan kalor konveksi pipa bagian dalam (h_i)

$$h_i = \frac{Nu K}{D_h} \quad (4)$$

D_h = Diameter hidrolis (m)

$$D_h = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times d_i^2}{\pi \times d_i} \quad (5)$$

2. Koefisien perpindahan kalor konveksi bagian luar (h_o)

$$h_o = \frac{Nu K}{D_h} \quad (6)$$

D_h = Diameter hidrolis (m)

$$D_h = 4 \frac{\left(\frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)\right)}{\pi (D_o + D_i)} \quad (7)$$

Perbedaan temperatur pada sepanjang pipa akan berbeda dari satu titik ke titik. Laju perpindahan kalor akan berbeda-beda walaupun pada tahanan termal yang konstan. Hal ini terjadi karena laju perpindahan kalor tergantung pada perbedaan temperatur pada fluida panas dan fluida dingin pada luas penampang tertentu. Laju perpindahan panas dalam pipa ganda dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (8)$$

Untuk penular kalor aliran lawan arah, kalor yang dipindahkan melalui unsur luas dA dapat dituliskan sebagai berikut:

$$dQ = -\dot{m}_h \cdot c_h \cdot dT_h = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot dT_c \quad (9)$$

Hasil kali $\dot{m}_h \cdot c_h$ dan $\dot{m}_c \cdot c_c$ dapat dinyatakan dalam perpindahan panas total (Q) dan beda suhu total antara fluida panas dan fluida dingin:

$$\Delta T = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln[(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})]} \quad (10)$$

Untuk menghitung efektivitas sirip bisa menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_s = 1 - \frac{A_f}{A_s} (1 - \eta_f) \quad (11)$$

Jika ada fluida yang mengalir pada suatu permukaan maka gaya viskos akan memperlambat gerakan partikel yang ada di dekat permukaan. Pengaruh gaya viskos ini akan mempengaruhi fluida secara umum. Bilangan *Reynolds* bisa digunakan untuk mengetahui pengaruh gaya viskos yang terjadi. Bilangan *Reynolds* yaitu hasil perbandingan dari gaya-gaya kelembaman terhadap gaya-gaya viskos.

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D_e}{\mu} \quad (12)$$

Sedangkan untuk menyatakan perbandingan antara viskositas kinematik suatu fluida dengan difusitas termalnya maka bisa menggunakan bilangan *Prandtl* dengan persamaan sebagai berikut

$$Pr = \frac{v}{a} \quad (13)$$

Untuk aliran dalam tabung bilangan *Nusselt* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Nu = \alpha Re^p Pr^q \quad (14)$$

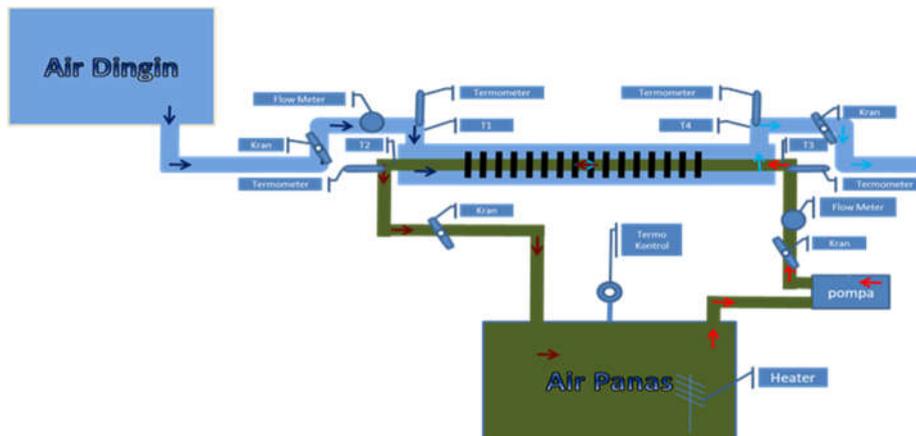
METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan ditentukan beberapa variabel sebagai batasan penelitian yaitu sebagai berikut :

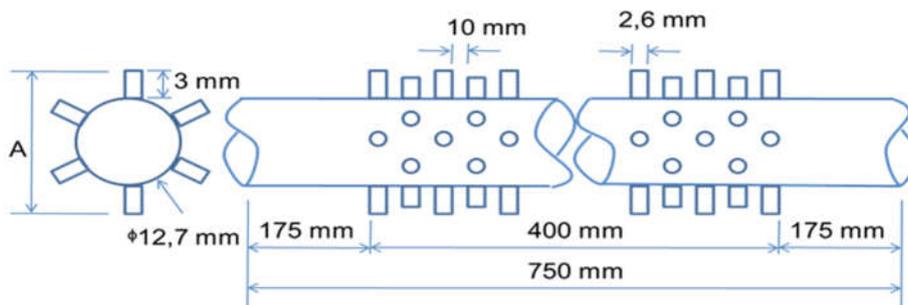
1. Variabel bebas : Variasi laju aliran dalam sebesar 0,06 lt/dt, 0,08 lt/dt, dan 0,1 lt/dt, variasi laju aliran luar yaitu sebesar 0,07 lt/dt, 0,1 lt/dt, dan 0,13 lt/dt, variasi jarak antar sirip yaitu 10 mm, 15 mm, dan 20 mm.
2. Variabel terikat : Koefisien perpindahan kalor
3. Variabel terkontrol : Pipa tembaga tanpa sirip sebagai variabel pembanding terhadap variabel yang akan diuji.

Perlengkapan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

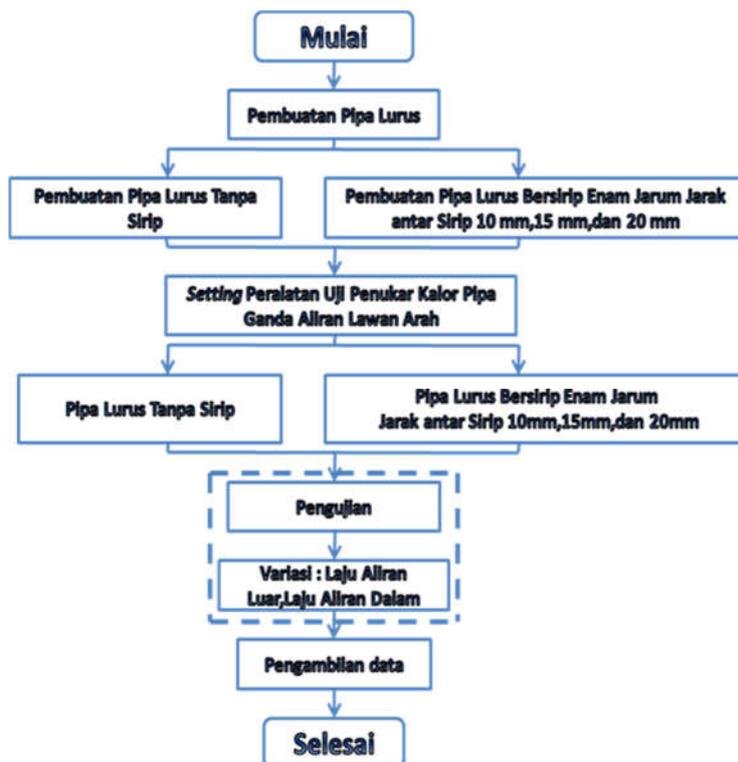
1. Pipa Tembaga
 - a. Pipa tanpa sirip berdiameter 12,7 mm dengan panjang 750 mm.
 - b. Pipa bersirip enam jarum dengan jarak bervariasi 10 mm, 15 mm, dan 20 mm.
2. Pemanas air.
3. Pompa air.
4. Tangki air untuk penyimpanan air yang akan dipanaskan dan air yang dingin.
5. Kran sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran air
6. *Flowmeter* untuk mengukur laju aliran air.
7. Termometer untuk mengukur temperatur masuk dan keluar.
8. Termokontrol, untuk menjaga temperatur air dalam tangki tetap stabil.



Gambar 1. Skema penelitian



Gambar 2. Pipa tembaga yang dipasang sirip



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Peralatan yang diperlukan selama proses pengujian dipersiapkan dan disusun seperti terlihat pada gambar 1. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

1. Pipa polos dipasang ke dalam pipa alumunium.
2. Hidupkan alat pemanas air.
3. Air dipanaskan dan ditahan konstan pada suhu 60°C.
4. Air panas di alirkan kedalam pipa tembaga sebesar 0,1 lt/dt.
5. Air dingin di alirkan kedalam pipa alumunium sebesar 0,13 lt/dt.
6. Lakukan pengambilan data pada temperatur air panas masuk, temperatur air panas keluar, temperatur air dingin masuk, temperatur air dingin keluar pada kondisi tunak.
7. Langkah nomor 4 diulangi menggunakan laju aliran air dingin sebesar 0,1 lt/dt dan 0,07 lt/dt dengan laju aliran air panas tetap sebesar 0,1 lt/dt.
8. Langkah nomor 3 s/d 5 diulangi menggunakan laju aliran air panas sebesar 0,08 lt/dt dan 0,06 lt/dt.
9. Langkah nomor 1 s/d 7 diulangi menggunakan pipa bersirip dengan jarak antar sirip 10 mm, 15 mm, dan 20 mm.

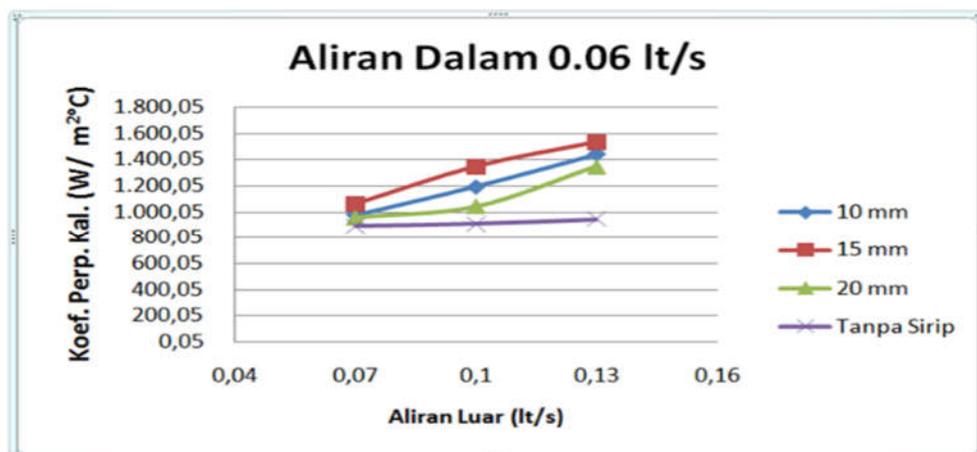
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian dapat dilihat adanya pengaruh variasi jarak antar sirip, laju aliran dalam dan laju aliran luar terhadap koefisien perpindahan kalor:

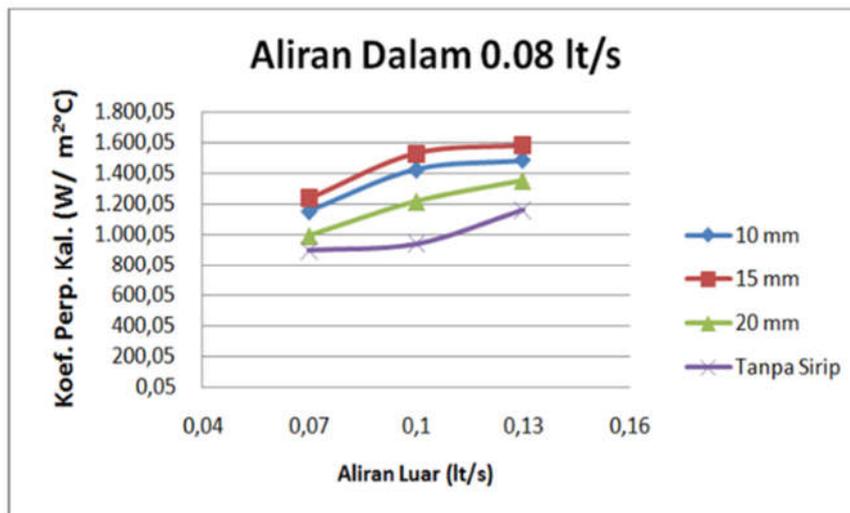
Tabel 1. Rata-rata Hasil Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor.

	Faktor B Laju aliran dalam								
	Aliran Dalam 0,06 lt/s			Aliran Dalam 0,08 lt/s			Aliran Dalam 0,1 lt/s		
	Faktor C Laju Aliran Luar (lt/s)			Faktor C Laju Aliran Luar (lt/s)			Faktor C Laju aliran Luar (lt/s)		
	0.07	0.1	0.13	0.07	0.1	0.13	0.07	0.1	0.13
10 mm	977.64	1,192.81	1,439.23	1,150.44	1,423.09	1,483.02	1,222.13	1,430.89	1,642.60
15 mm	1,060.71	1,343.66	1,531.55	1,234.95	1,528.27	1,582.07	1,258.00	1,601.08	1,784.44
20 mm	955.49	1,040.17	1,345.81	992.74	1,214.52	1,351.65	1,039.55	1,253.44	1,473.19
Tanpa Sirip	890.74	906.32	945.18	896.94	939.68	1,158.66	906.77	950.37	1,165.84

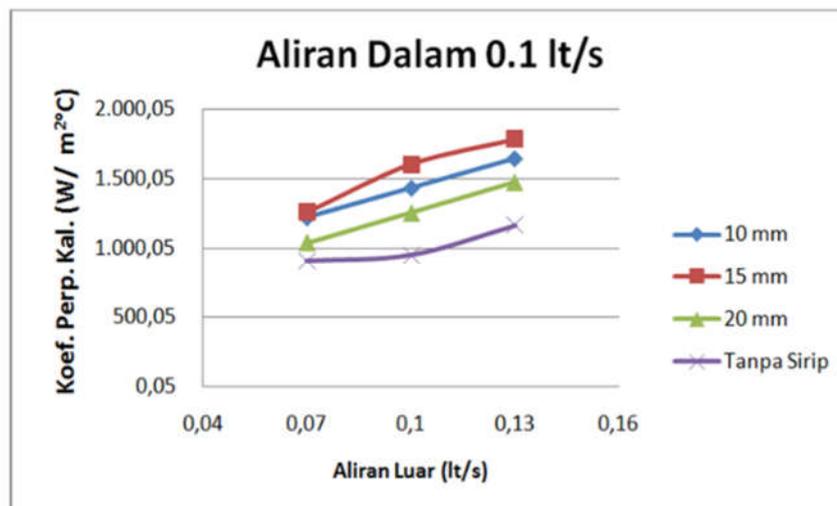
Jika data pada tabel diatas jika divisualisasikan dalam bentuk grafik maka bisa dilihat sebagai berikut:



Gambar 4. Pengaruh variasi jarak antar sirip dengan laju aliran dalam 0,06 lt/s terhadap koefisien perpindahan panas.



Gambar 5. Pengaruh variasi jarak antar sirip dengan laju aliran dalam 0,08 lt/s terhadap koefisien perpindahan panas.



Gambar 6. Pengaruh variasi jarak antar sirip, laju aliran dalam 0,1 lt/s terhadap koefisien perpindahan panas.

Pada gambar 4, 5, dan 6 dapat dilihat bahwa koefisien perpindahan kalor meningkat dengan adanya penambahan sirip. Penambahan sirip bertujuan untuk menambah area luas penampang perpindahan kalor, tetapi kerapatan jarak antar sirip bisa mengurangi koefisien perpindahan kalor. Hal ini terjadi karena untuk kasus trivial atau jika tidak ada sirip sama sekali yaitu dimana $L=0$, maka efisiensi sirip mencapai nilai maksimumnya. [9]. Sirip dengan jarak antar sirip 10 mm memiliki luas penampang yang paling besar, tetapi memiliki koefisien perpindahan kalor lebih yang lebih rendah dibanding dengan jarak sirip 15 mm. Dari Gambar 4, 5 dan 6 juga dapat dilihat bahwa setiap penambahan laju aliran meningkatkan koefisien perpindahan kalor.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penambahan sirip pada alat penukar kalor pipa ganda akan mempengaruhi koefisien perpindahan kalor.
2. Meningkatnya laju aliran dalam maka akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor.
3. Meningkatnya laju aliran luar maka akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor.

4. Koefisien perpindahan kalor paling rendah terjadi pada pipa tanpa sirip, laju aliran dalam 0.06lt/dt, laju aliran luar 0.07 lt/dt, yaitu sebesar 890,74 W/m²C.
5. Koefisien perpindahan kalor paling tinggi terjadi pada jarak antar sirip 15 mm, laju aliran dalam 0,1 lt/dt, dan laju aliran luar 0,13 lt/dt yaitu sebesar 1784,84 W/m²C.

REFERENSI

- [1] Anwar and Kennedy, "KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH DIAMETER SELONGSONG TERHADAP UNJUK KERJA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA," *J. Mek.*, vol. 10, no. 1, pp. 942–947, 2019.
- [2] Sukarman and Y. Gaos, "Optimasi Desain Alat Penukar Kalor Gas Buang untuk Pemanas Air Degreaser," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 8, no. 3, pp. 94–100, 2018, doi: 10.35814/teknobiz.v8i3.889.
- [3] A. K. Dwivedi, M. Suresh Kumar Badholiya, M. Rohit, and K. Choudhary, "Analysis of Heat Exchanger through Different Materials Tubes," *IJSRD-International J. Sci. Res. Dev.*, vol. 5, no. 09, pp. 2321–0613, 2017, [Online]. Available: www.ijssrd.com.
- [4] S. Sivalakshmi, M. Raja, and G. Gowtham, "Effect of helical fins on the performance of a double pipe heat exchanger," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.563.
- [5] L. Zhang, W. Du, J. Wu, Y. Li, and Y. Xing, "Fluid flow characteristics for shell side of double-pipe heat exchanger with helical fins and pin fins," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 36, pp. 30–43, 2012, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2011.08.001.
- [6] M. Awwaluddin, "Analisa perpindahan kalor pada Heat exchanger," Universitas Negeri Semarang, 2007.
- [7] M. Awwaluddin, "Analisa perpindahan kalor pada Heat exchanger," Universitas Negeri Semarang, 2007.
- [8] M. E. T. Hastuti, "ANALISIS PERPINDAHAN KALOR PADA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA DENGAN SIRIP TEGAK BERALUR," Universitas Sebelas Maret Surakarta, 2010.
- [9] J. P. Holman, *Heat Transfer*, 10th ed. New York: McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, 2010.
- [10] M. Omid, M. Farhadi, and M. Jafari, "A comprehensive review on double pipe heat exchangers," vol. 110, pp. 1075–1090, 2017.
- [11] Y. A. Cengel and G. Afshin J, *Heat and Mass Transfer*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2011.