STUDI NUMERIK PENGARUH JARAK SIRIP TERHADAP LAJU ALIRAN PADA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA

Khoirudin[1*)], Sukarman[1)], Murtalim[1)], Muhammad Arif Rahman[1)], Muhammad Ihsan Fadlilah[1)]

[1)] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang
*Email Korespondensi : khoirudin@ubpkarawang.ac.id

ABSTRAK

Alat penukar panas adalah alat yang digunakan untuk memindahkan energi kalor antara dua fluida. Pada alat penukar kalor pipa ganda, laju perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Jenis material, luas penampang, dan laju aliran merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi laju perpindahan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jarak antar sirip pada alat penukar kalor pipa ganda. Material yang digunakan adalah pipa tembaga berdiameter dalam 10,7mm dan berdiameter luar 12,7mm. Pipa tembaga sebagai pipa dalam dan dialiri fluida dengan temperature konstan sebesar 60 °C. Material pipa luar menggunakan alumunium berdiameter dalam 19,4 dan berdiameter luar 25,4 mm dan dialiri fluida dengan temperature konstan sebesar 30 °C. Sirip dengan jarak antar sirip 10 mm, 15 mm, dan 20 mm dipasang pada bagian luar pipa tembaga. Laju aliran massa diatur konstan sebesar 0,1 kg/s. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode numerik yang disimulisasikan dengan perangkat lunak. Dari hasil penelitian terlihat ada perbedaan laju perpindahan panas dari setiap variasi jarak sirip pada pipa tembaga. Laju perpindahan panas paling kecil terjadi pada pipa polos atau tanpa sirip yaitu sebesar 647.745 watt. Laju Perpindahan panas paling besar terjadi pada pipa dengan jarak sirip 10mm yaitu sebesar 1621.452 watt.

Kata kunci: Alat Penukar Kalor, Jarak Antar Sirip, Laju Perpindahan Kalor, Metode Numerik, Pipa Ganda

ABSTRACT

A heat exchanger is a device used to transfer thermal energy between two fluids. This study aimed to find out the effect of distance between fins using two pipes, namely copper pipe with inner diameter 10.7 mm and outer diameter 12.7 mm fed with hot water and aluminum pipe with inner diameter 19.4 and outer diameter 25.4 mm fed with cold water. There are four variations of copper pipe, namely pipe without fins, the distance between fins is 10 mm, 15 mm, and 20 mm. The inlet temperature of the hot fluid is constant at 60 C and the cold fluid is constant at 30 C. The mass flow rate of hot and cold fluids is constant at 0.1 kg/s. This research was conducted using numerical methods simulated with software. The results show that there is a difference in the value of heat transfer rate from each variation of copper pipe. The lowest heat transfer rate occurred in pipe without fins, at 647,745 watts. The highest heat transfer rate occurred on pipes with a fin distance of 10 mm, i.e. 1621,452 watts.

Keywords: *Double Pipe, Distance Between Fins, Heat Exchanger, Heat Transfer Rate, Numerical Method*

PENDAHULUAN

Alat panukar panas merupakan alat untuk memindahkan energi panas antara dua fluida [1]. Penggunaan alat penukar panas banyak dipakai dalam penelitian maupun penggunaan pada skala yang lebih besar yaitu industri. Salah satu pemanfaatan alat penukar kalor adalah untuk pemanfaatan energy panas yang di ambil dari cerobong pada

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

ketel uap yang mempunyai tekanan rendah untuk memanaskan fluida yang masuk pada proses *degreaser* [2].

Pada alat penukar kalor banyak parameter yang harus dipertimbangkan, salah satunya adalah laju perpindahan kalor. Salah satu faktor yang penting dalam alat penukar kalor adalah laju perpindahan panas karena akan mempengaruhi dimensi dan biaya. Laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh laju aliran, jenis material, dan luas penampang. Penambahan luas penampang merupakan salahsatu cara untuk meningkatkan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor. Penambahan luas penampang bisa dilakukan dengan menambah sirip [3].

Beberapa penelitian tentang alat penukar kalor telah dilakukan. M. Awwaluddin telah melakukan penelitian pada *double pipe heat exchanger*. *Tube* dalam alat penukar kalor menggunakan pipa tembaga, alumunium dan stainless. Pada tube dipasang sirip berbentuk *delta wing* dengan jarak bervariasi yaitu 10, 15, dan 20 cm. Pada masing-masing tube dilakukan variasi jumlah sirip yaitu 4 buah dan 6 buah. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 3% untuk variasi 4/10 terhadap 4/20 [4].

A. K. Dwivedi et al. telah melakukan penelitian terhadap alat penukar kalor menggunakan material yang berbeda yaitu alumunium, baja, dan tembaga. Hasil penelitian menunjukan material tembaga menghasilkan laju perpindahan panas paling bagus dibanding dengan alumunium dan baja[5].

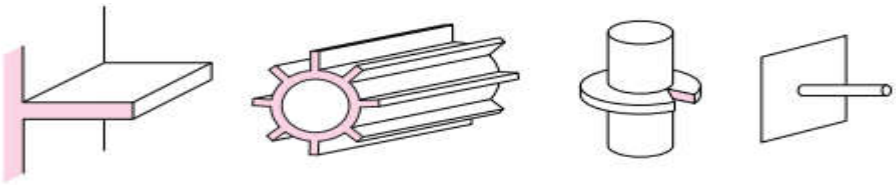
S. Sivalakshmi et al. melakukan penelitian pada *double pipe heat exchanger* dengan sirip *helical* dengan variasi laju aliran fluida 0.01-0.05 kg/dt. Suhu fluida masuk diatur konstan sebesar 80 ℃. Dari hasil penelitian menunjukan bahwa dengan penambahan sirip akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor. Selain itu penambahan sirip juga meningkatkan efektifitas alat penukar kalor hingga 38.46% [6].

Dari berbagai referensi dan penelitian seblumnya, maka peneliti akan melakukan penelitian pada alat penukar panas pipa ganda menggunakan pipa tembaga dengan diameter dalam 10,7 mm dan diameter luar 12,7 mm yang dialiri air panas dan pipa alumunium dengan diameter dalam 19,4 mm dan diameter luar 25,4 mm yang dialiri air dingin. Pipa tembaga dilakukan variasi yaitu pipa polos dan pipa dengan enam jarum dan dilakukan variasi jarak antar sirip yaitu 10, 15, dan 20 mm. Temperatur masuk fluida panas konstan sebesar 60 ˚C dan fluida dingin konstan sebesar 30 ˚C. Laju aliran massa fluida panas maupun dingin konstan sebesar 0,1 kg/s. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode numerik yang disimulasikan dengan perangkat lunak.

Landasan Teori

Alat penukar panas merupakan alat untuk memindahkan energi panas antara dua fluida. Alat penukar panas bisa dibedakan berdasarkan jenis aliran fluida yang digunakan yaitu aliran sejajar, lawan arah, dan aliran silang [7][3]. Terdapat banyak jenis fluida yang digunakan pada alat penukar kalor. Penggunaan fluida nano sangat menarik perhatian di beberapa tahun terakhir[8].

Ada beberapa cara untuk meningkatkan laju perpindahan kalor, salahsatunya adalah dengan menambah luas penampang. [9]. Penambahan luas penampang bisa dilakukan dengan penambahan sirip.



Gambar 1. Macam-macam bentuk sirip [7]

Dalam menghitung laju perpindahan kalor bisa menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dari persamaan diatas maka jika kondisi ΔT konstan, luas penampang (A) maka akan meningkatkan laju perpindahan panas (Q).

Pada silinder berlubang seperti alat penukar kalor pipa ganda yang menggunakan material silinder seperti pipa maka laju perpindahan kalor bisa dianalogikan sebagai tahanan listrik [10]. Maka laju perpindahan panas bisa dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(\frac{r_o}{r_1})}{2\pi kL} + \frac{1}{h_0 A_0}} \quad (2)$$

Luas penampang pipa pada bagian dalam (A_1), dan luas penampang pipa pada bagian luar (A_0). Untuk menghitung koefisien perpindahan kalor menyeluruh bisa menggunakan persamaan berikut:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{A1 \ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_0 A_0}} \quad (3)$$

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

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

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

D_h = Diameter hidrolis (m)

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

2. Koefisien perpindahan kalor konveksi bagian luar (h_o)

$$h_0 = \frac{N_u\ K}{D_h} \quad (6)$$

D_h = Diameter hidrolis (m)

$$D_h = 4\ \frac{\left(\frac{\pi}{4}(D_0^2 - {D_i}^2)\right)}{\pi\ (D_0 + D_i)} \quad (7)$$

Beda suhu pada pipa akan berbeda pada masing-masing titik. Maka laju perpindahan panas menjadi berbeda meskipun memiliki tahanan termal yang tetap atau konstan. Peristiwa ini terjadi karena laju perpindahan panas dipengaruhi oleh perbedaan suhu fluida panas dan dingin dengan luas penampang tertentu. Maka laju perpindahan kalor bisa dihitung dengan persamaan berikut:

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

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

Untuk penukar panas dengan aliran lawan arah, besarnya panas yang dipindahkan melalui unsur luas dituliskan dalam persamaan berikut:

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

Hasil kali $\dot{m}_h . c_h$ dan $\dot{m}_c . c_c$ dapat dinyatakan dalam perpindahan kalor total (Q) dan beda temperatur total antara fluida panas dan fluida dingin dapat ditulis dalam persamaan berikut:

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

Efektivitas sirip dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

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

Jika ada fluida yang mengalir pada suatu permukaan, maka gerakan partikel yang ada di dekat permukaan akan diperlambat oleh gaya viskos. Pengaruh gaya viskos yang terjadi bisa menggunakan besaran bilangan *Reynolds*. Bilangan *Reynolds* merupakan hasil perbandingan dari gaya-gaya kelembaman terhadap gaya-gaya viskos.

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

Bilangan *Prandtl* bisa digunakan untuk menyatakan perbandingan antara viskositas kinematik fluida dengan difusitas termalnya. Bilangan *Prandtl* bisa dihitung dengan persamaan berikut:

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

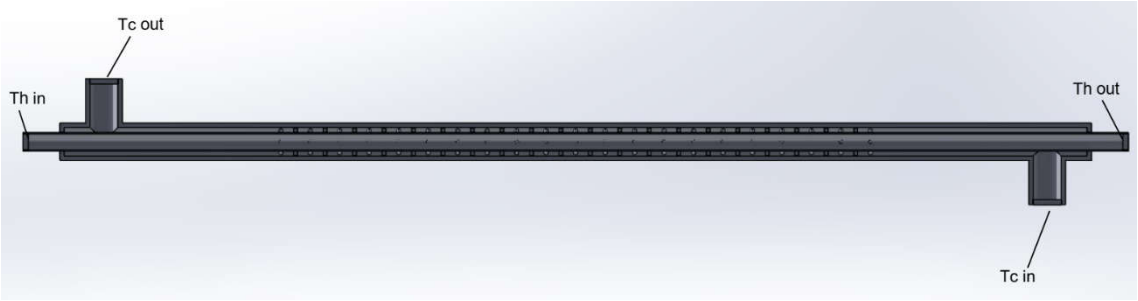
Untuk aliran dalam tabung, maka bilangan *Nusselt* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

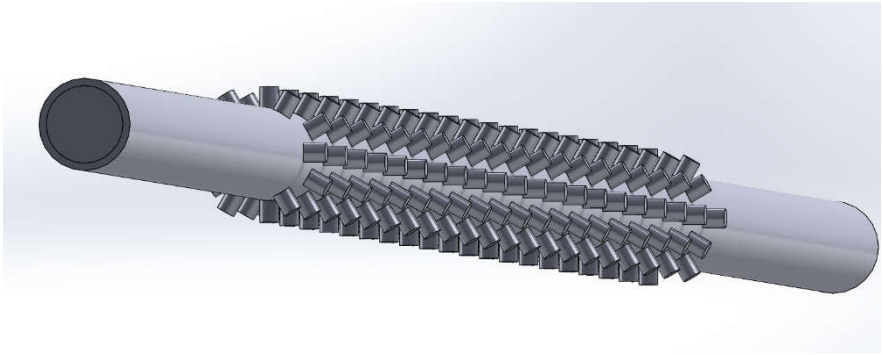
METODE PENELITIAN

Beberapa variabel yang ditentukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

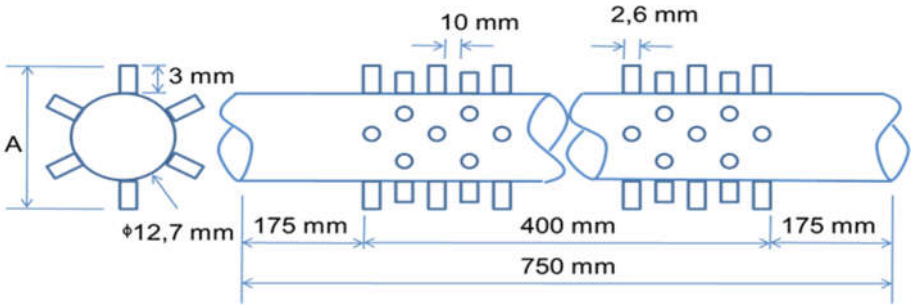
1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jarak antar sirip yaitu 10, 15 mm, 20 mm.
2. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah Laju perpindahan kalor.
3. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah pipa tembaga tanpa sirip yang dijadikan sebagai variabel pembanding terhadap variabel yang akan diuji.



Gambar 2. Desain penelitian



Gambar 3. Model Sirip



Gambar 4. Pipa tembaga yang dipasang sirip

Langkah-langkah pengujiannya dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

1. Membuat desain pipa luar, pipa dalam tanpa sirip, pipa dalam tanpa sirip, dengan jarak sirip 10, 15, dan 20mm.
2. Lakukan *assembly* pipa luar dan pipa dalam sehingga menjadi alat penukar kalor pipa ganda

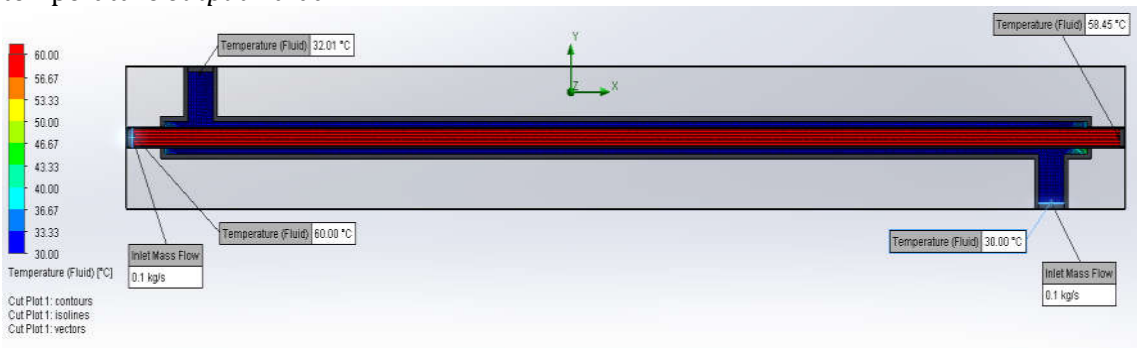
Gambar 5. Alat penukar kalor yang sudah di *assembly*

3. *Input* material properties dari pipa luar dan pipa dalam
4. *Input* temperatur air panas (Th in) 60^0C.
5. *Input* temperatur air panas (Tc in) 30^0C.
6. Fluida panas menggunakan air dialirkan kedalam pipa tembaga dengam laju aliran sebesar 0,1 kg/dt.
7. Fluida dingin menggunakan air dialirkan kedalam pipa alumunium dengan laju aliran sebesar 0,1 kg/dt.
8. Lakukan meshing
9. Lakukan *running software*
10. Lakukan *plotting* temperatur *Th in, Th out, Tc in,* dan *Tc out*
11. Langkah nomor 1 s/d 10 diulangi menggunakan pipa bersirip dengan jarak antar sirip 10, 15, dan 20 mm.

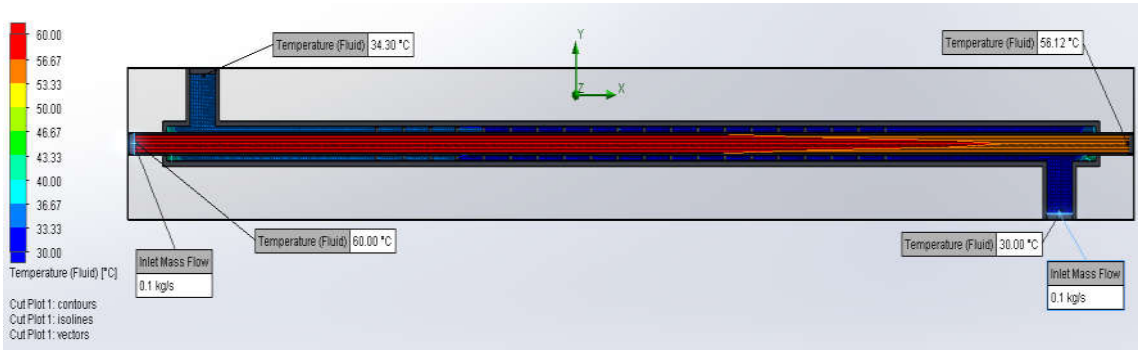
ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

HASIL DAN PEMBAHASAN

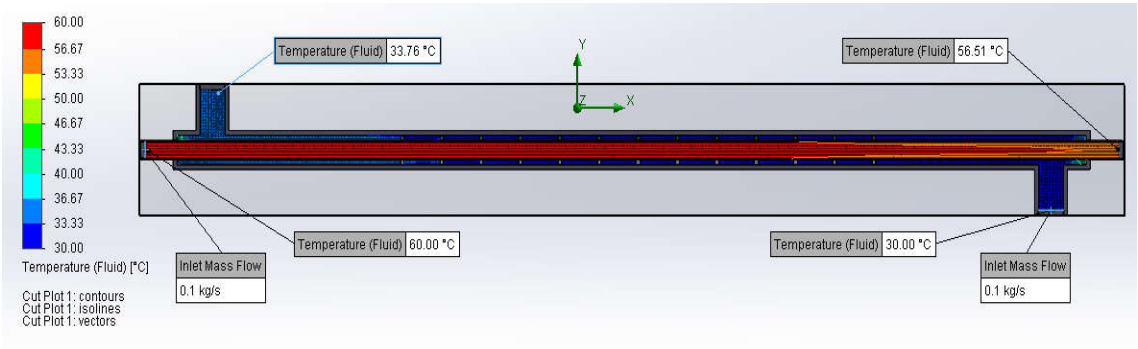
Hasil penelitian menunjukan adanya pengaruh variasi jarak antar sirip terhadap temperature *output* fluida:



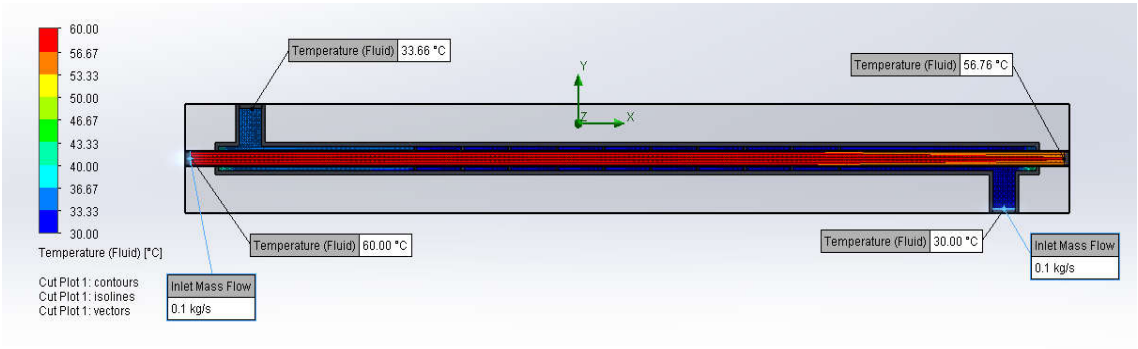
Gambar 6. Hasil simulasi pada pipa tanpa sirip



Gambar 7. Hasil simulasi pada pipa dengan jarak antar sirip 10mm



Gambar 8. Hasil simulasi pada pipa dengan jarak antar sirip 15mm



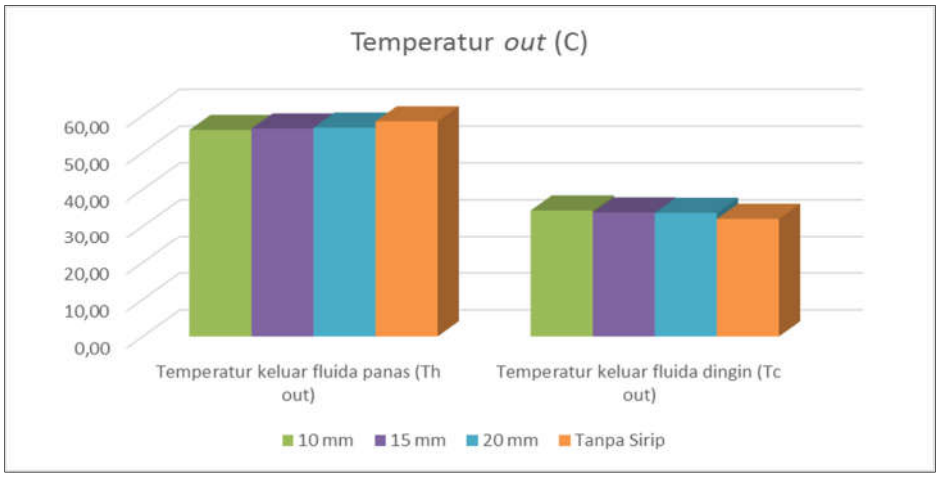
Gambar 9. Hasil simulasi pada pipa dengan jarak antar sirip 20mm

Hasil temperatur output pada alat penukar kalor selanjutnya bisa dihitung besarnya laju perpindahan kalor pada masing-masing variasi. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data hasil penelitian

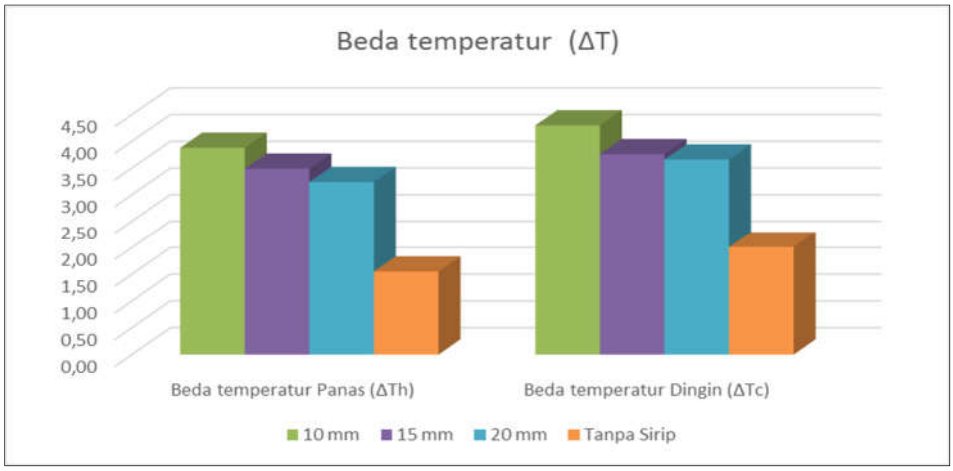
Jarak Sirip	Laju Aliran massa fluida panas (ṁh)	Laju Aliran massa fluida dingin (ṁc)	Temperatur masuk fluida panas (Th in)	Temperatur keluar fluida panas (Th out)	Temperatur keluar fluida panas (Tc out)	Temperatur masuk fluida panas (Tc in)	Beda temperatur fluida panas (ΔTh)	Beda temperatur fluida dingin (ΔTc)	Laju perpindahan kalor (Q)
10 mm	0.1 kg/s	0.1 kg/s	60.00 °C	56.12 °C	34.30 °C	30.00 °C	3.88 °C	4.30 °C	1621.45 Watt
15 mm	0.1 kg/s	0.1 kg/s	60.00 °C	56.51 °C	33.76 °C	30.00 °C	3.49 °C	3.76 °C	1458.47 Watt
20 mm	0.1 kg/s	0.1 kg/s	60.00 °C	56.76 °C	33.66 °C	30.00 °C	3.24 °C	3.66 °C	1354.00 Watt
Tanpa Sirip	0.1 kg/s	0.1 kg/s	60.00 °C	58.45 °C	32.01 °C	30.00 °C	1.55 °C	2.01 °C	647.74 Watt

Jika data pada tabel 1 divisualisasikan dalam bentuk grafik maka bisa dilihat sebagai berikut:



Gambar 9. Temperatur keluar fluida panas dan fluida dingin

Dari data pada gambar 9 di atas terlihat bahwa besarnya temperatur keluar fluida panas berbanding lurus dengan penambahan jarak sirip dan pipa tanpa sirip. Sedangkan pada fluida dingin berbanding terbalik dengan penambahan jarak sirip dan pipa tanpa sirip.



Gambar 10. Beda temperatur antara fluida masuk dan fluida keluar

Beda temperatur antara fluida masuk dengan fluida keluar berbanding terbalik dengan jarak sirip dan pipa tanpa sirip. Artinya adalah semakin panjang jarak sirip maka semakin kecil perbedaan temperatur antara fluida masuk dan fluida keluar, dan yang paling kecil adalah pipa tanpa sirip.

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

Gambar 11. Laju perpindahan kalor dengan variasi jarak sirip

Pada laju perpindahan panas juga terjadi hal yang sama yaitu besarnya laju perpindahan panas berbanding terbalik dengan jarak sirip dan pipa tanpa sirip. Artinya adalah semakin panjang jarak sirip maka semakin kecil laju perpindahan kalornya, dan yang paling kecil adalah pipa tanpa sirip. Laju perpindahan panas paling besar terjadi pada pipa dengan jarak sirip 10 mm yaitu sebesar 1621,45 Watt. Sedangkan laju perpindahan panas paling kecil terjadi pada pipa tanpa sirip yaitu sebesar 647,74 Watt.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. besarnya temperatur keluar fluida panas berbanding lurus dengan pertambahan jarak sirip dan pipa tanpa sirip. Sedangkan pada fluida dingin berbanding terbalik dengan pertambahan jarak sirip dan pipa tanpa sirip.
2. Beda temperatur antara fluida masuk dengan fluida keluar berbanding terbalik dengan jarak sirip dan pipa tanpa sirip.
3. Besarnya laju perpindahan panas berbanding terbalik dengan jarak sirip dan pipa tanpa sirip.
4. Laju perpindahan panas paling besar terjadi pada pipa dengan jarak sirip 10 mm yaitu sebesar 1621,45 Watt.
5. Laju perpindahan panas paling kecil terjadi pada pipa tanpa sirip yaitu sebesar 647,74 Watt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami ucapkan kepada LPPM Universitas Buana Perjuangan Karawang yang sudah memberikan *full support* atas penelitian yang telah dilakukan.

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] Khoirudin, D. Mulyadi, and N. Rahdiana, "Analisis pengaruh jarak antar sirip dan laju aliran terhadap koefisien perpindahan kalor pada alat penukar kalor pipa ganda," *Conf. Innov. Appl. Sci. Technol. (CIASTECH 2020)*, no. Ciastech, pp. 351–358, 2020.

[4] M. Awwaluddin, "Analisa perpindahan kalor pada Heat exchanger," Universitas Negeri Semarang, 2007.

[5] 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.ijsrd.com.

[6] 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.

[7] 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.

[8] M. Omidi, M. Farhadi, and M. Jafari, "A comprehensive review on double pipe heat exchangers," vol. 110, pp. 1075–1090, 2017.

[9] Y. A. Cengel and G. Afshin J, *Heat and Mass Transfer*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2011.

[10] Khoirudin and L. O. M. Firman, "OPTIMASI DESAIN PADA DINDING FURNACE DENGAN TEMPERATUR KERJA 1000 C," *J. Kaji. Tek. MESIN*, vol. 3, no. 1, pp. 1–56, Jul. 2018, [Online]. Available: http://sor.scitation.org/doi/10.1122/1.3445064.

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284