Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

ISSN (Online) 3025 - 2598

Artikel Penelitian

Pengaruh Penambahan Sirip Longitudinal Terhadap Karakteristik Penukar Kalor Pipa Ganda

Iskandar Ridwan [a], *Insannul Kamil* [a]

[a] *Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas, Limau Manis-Padang 25163, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 20 Juni 2024
Revisi Akhir: 28 Juni 2024
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2024

KATA KUNCI

Penukar Kalor Pipa Ganda

Sirip Longitudinal

Efektivitas Pernukar Kalor

KORESPONDENSI

E-mail: iskandar@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

A heat exchanger is a device for exchanging energy in the form of heat between two or more fluids of different temperatures. There are several types of heat exchangers, including a double-pipe heat exchanger. This double-pipe heat exchanger is used widely in field practice. Double pipe heat exchangers are especially suited to standard thick surfaces in fins shape so that heat transfer is increased. The research is conducted to observe how far the use of fins in double-pipe heat exchange affects its characteristics. The fins added in the study are elongated fins on the outer surface of the inner pipe. The research is carried out using the working fluid water, with cold fluid in the heat exchanger annulus. From the research carried out, it can be said that heat transfer increases with the addition of fins, namely around 15%, but the pressure drop also increases, i.e., around 904 Pa (29%), compared to double pipe heat exchangers without fins. Research has also shown that the highest effectiveness of double pipe finned heat exchanger is 0.28, while without fins, it is 0.19.

1. PENDAHULUAN

Penukar kalor atau disebut juga penukar panas (*heat exchanger*) merupakan alat perpindahan panas yang sangat banyak ditemui dan dimanfaatkan pada saat sekarang ini, seperti di industri, rumah tangga ataupun kendaraan. Alat ini berfungsi untuk mempertukarkan energi di antara dua atau lebih fluida yang berbeda temperatur.

Kemampuan melepas atau menerima panas suatu alat penukar kalor dapat dipengaruhi oleh panjang, ukuran (luas penampang/permukaan) dan jumlah pipa yang dipergunakan [1]. Perubahan dari luas penampang perpindahan panas mengakibatkan fluida yang melintasi pipa mengalami perubahan kecepatan aliran. Kecepatan aliran yang berubah ini akan mempengaruhi besarnya bilangan Reynolds, koefisien perpindahan panas serta besarnya laju aliran panas yang dihasilkan oleh alat penukar kalor tersebut.

Saat ini, telah banyak dilakukan penelitian yang berkaitan dengan penukar kalor khususnya penukar kalor pipa ganda. Kajian karakteristik perpindahan panas secara keseluruhan dari penukar kalor pipa ganda dilakukan secara eksperimen dan prediksi korelasi standar oleh M. A. Mehrabian dan M. Hemmat. Kajian yang dilakukan untuk bilangan Reynolds yang bervariasi dan dilaporkan bahwa koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi berada dalam rezim aliran laminar [2]. Kajian numerik dilakukan oleh B. Vijayaragavan *et al* pada penukar kalor pipa ganda bersirip labirin pada pipa bagian dalam diperoleh hasil yaitu jalur labirin tambahan di permukaan pertukaran panas

https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.29-35.2024

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

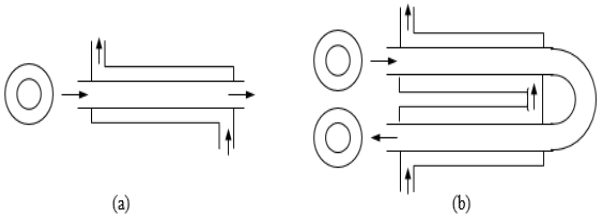
meningkatkan laju perpindahan panas dan dapat mengurangi panjang penukar kalor [3]. Sedangkan kajian numerik yang lain dilakukan oleh G. Arvind Rao dan Yeshyahou Levy untuk mengevaluasi perpindahan panas dan kerugian gesekan pada penukar kalor pipa ganda bersirip dalam dan/atau luar. Dari penelitian yang dilakukan secara semi-empiris didapatkan bahwa penambahan sirip pada penukar panas pipa ganda tersebut mengurangi bilangan Nusselt, namun meningkatkan perpindahan panas karena peningkatan panas secara perpindahan keseluruhan per satuan luas [4], [5].

Dengan melihat perkembangan penelitian-penelitian yang telah dilakukan dapat dikatakan penukar kalor pipa ganda secara khusus cocok untuk penerapan permukaan yang diperluas (*extended surface*) dalam bentuk sirip (*fin*) sehingga perpindahan panas meningkat. Sirip-sirip digunakan sewaktu bagian cangkang (pipa bagian luar) mempunyai koefisien perpindahan panas yang rendah, yaitu kurang dari setengah bagian pipa dalam. Kasus ini terjadi ketika fluida pada bagian cangkang adalah gas atau cairan viskositas rendah.

Dari penelitian dilakukan di atas, dimana secara umum untuk kajian numerik dan empirik pada penukar kalor pipa ganda bersirip logitudinal maka dilakukan penelitian secara eksperimen. Penelitian dilakukan pada penukar kalor pipa ganda menggunakan sirip longitudinal dengan jarak yang seragam pada permukaan luar pipa bagian dalam dan dibandingkan karakteristiknya dengan penukar kalor pipa ganda tanpa sirip. Sirip yang digunakan mempunyai bahan yang sama dengan pipa bagian dalam penukar kalor. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh penambahan sirip longitudinal pada penukar kalor pipa ganda secara eksperimen dengan fluida kerja air-air.

1.1 Penukar Kalor Pipa Ganda

Bentuk penukar kalor yang paling sederhana adalah pipa ganda (*double pipe*), seperti tampak pada Gambar 1. Alat ini terdiri dari dua pipa, satu pipa di dalam pipa yang lainnya, dengan fluida pertama yang mengalir dalam pipa tengah dan fluida kedua yang mengalir di dalam anulus. Penukar kalor pipa ganda bisa dibuat dengan pipa lurus atau pipa-U seperti Gambar 2.4b, bahkan disainnya dapat disesuaikan dengan penambahan sirip membujur pada permukaan luar pipa dalam, sehingga dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas di dalam anulus. Hal ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1944 dan banyak diaplikasikan pada pabrik [6]. Sejak itu, disain penukar kalor pipa ganda ditingkatkan menjadi multi pipa bersirip dari pipa tunggal bersirip.



Gambar 1. Skema penukar kalor pipa ganda,

(a) Tipe pipa tunggal (b) Tipe pipa U

Penukar kalor pipa ganda pipa lurus terdiri dari dua pipa dengan sumbu yang sama, mudah dibuat dan relatif mudah dibersihkan, dirawat, atau dimodifikasi. Namun, alat ini membutuhkan banyak ruang dan unit-unit tunggal yang memiliki kapasitas termal terbatas. Penukar kalor jenis ini kadang-kadang dibuat "in-house" untuk aplikasi berskala kecil tertentu, tetapi kebanyakan penukar kalor pipa-ganda dibeli dari pabrikan khusus yang menyediakan berbagai model, termasuk pipa lurus, pipa-U, dan unit lainnya.

1.2 Metode LMTD

LMTD (*Logarithmic Mean Temperature Difference*) adalah hubungan antara beda temperatur logaritmik dari kedua fluida kerja, seperti dinyatakan dalam persamaan 1.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln\left(\Delta T_o / \Delta T_i\right)} \quad (1)$$

Metode LMTD ini digunakan untuk jenis penukar kalor lintasan tunggal dan tidak bersilangan sedangkan untuk lintasan ganda dan bersilangan beda temperatur efektif antara fluida panas dan fluida dingin diperoleh dengan menambahkan faktor koreksi (F).

1.3 Efektivitas

 https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.29-35.2024

Efektivitas penukar kalor didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas nyata dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada penukar kalor. Secara matematis dapat ditulis [7], [8]:

$$\varepsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maks yang mungkin}}$$
$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{maks}} \quad (2)$$

Perpindahan panas maksimum hanya mungkin terjadi dan diperoleh dari fluida yang mempunyai beda temperatur maksimum atau fluida yang mempunyai laju aliran massa minimum ($\dot{m}\, c_{p,min}$). Fluida tersebut mungkin pada fluida yang panas atau fluida yang dingin, tergantung pada laju aliran massa dan panas jenis, dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_{maks} = (\dot{m} c_p)_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (3)$$

Nilai perpindahan panas nyata adalah :

$$Q = \varepsilon.(\dot{m} c_p)_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (4)$$

1.4 Faktor Gesekan

Fluida yang mengalir dengan kecepatan rata-rata um melewati tabung silinder dengan diameter dalam D dan panjang L akan mengalami penurunan tekanan ΔP. Hubungannya dengan faktor gesekan f adalah :

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho . u_m^2}{2} \quad (5)$$

Diameter tabung D pada persamaan 5 digantikan dengan diameter hidrolik D_h untuk aliran fluida yang melewati diameter saluran yang tidak silindris, sehingga :

$$\Delta P = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho . u_m^2}{2} \quad (6)$$

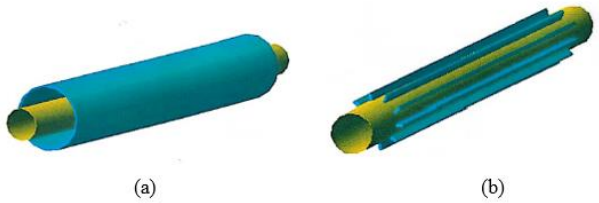
dengan :

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (7)$$

dimana A_c adalah luas permukaan melintang terhadap aliran dan P adalah keliling bidang kontak perpindahan panas

2. METODOLOGI

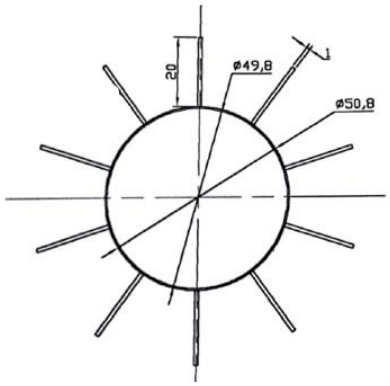
Instalasi pengujian dibuat dalam bentuk sederhana, efisien, dan praktis dengan tidak mengurangi fungsi dari instalasi sebagai alat pengujian karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan. Skema dari penukar kalor pipa ganda yang ditambahkan sirip longitudinal pada bagian luar pipa dalam ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penukar kalor pipa ganda

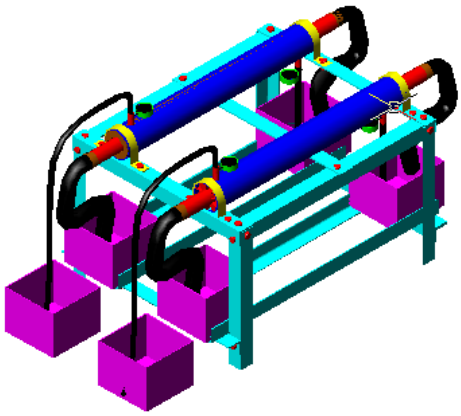
(a) Tanpa ditambah sirip, (b) Penambahan sirip pada bagian luar pipa dalam

Penukar kalor pipa ganda dibuat dari material tembaga untuk sirip dan pipa bagian dalam (diameter 2 in) sedangkan pipa bagian luar dibuat dari material PVC (diameter 4 in) yang bertujuan sebagai isolator (mengurangi kerugian energi ke lingkungan). Sirip yang digunakan mempunyai panjang 800 mm mengikuti panjang dari penukar kalor yang dibuat. Spesifikasi detil dari sirip yang digunakan di dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesifikasi sirip longitudinal yang digunakan pada penukar kalor pipa ganda

Susunan instalasi pengujian secara keseluruhan dalam bentuk skema diperlihatkan pada Gambar 4.



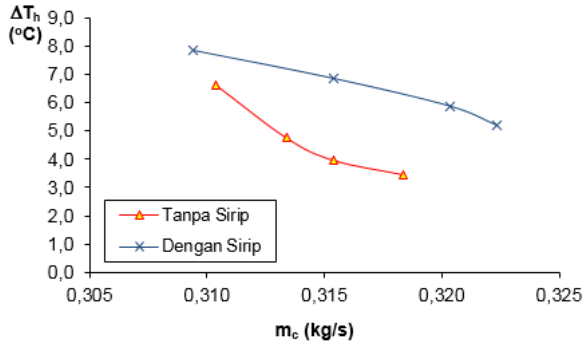
Gambar 4. Susunan instalasi pengujian

Beberapa parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah temperatur masuk-keluar, perbedaan tekanan fluida masuk dan keluar, dan volume air yang melewati penukar kalor pipa ganda beserta dengan waktunya. Pengukuran dilakukan dengan metode dan alat ukur yang sudah standar [9], [10].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Laju Aliran Massa Fluida Dingin Terhadap Perubahan Temperatur Fluida

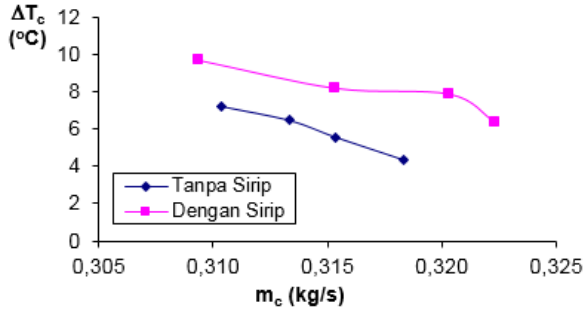
Perpindahan panas terjadi akibat perbedaan temperatur antara dua fluida. Dari Gambar 5 dapat dilihat perubahan temperatur pada fluida panas (ΔT_h) penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip. Semakin besar laju aliran massa fluida dingin ($\dot{m}_c$ = m_c) maka semakin kecil perubahan temperatur. Hal ini dapat disebabkan oleh semakin berkurangnya persentuhan partikel fluida dingin dengan dinding pipa yang akan berakibat pada perpindahan panas yang terjadi.



Gambar 5. Perubahan temperatur fluida panas pada penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip

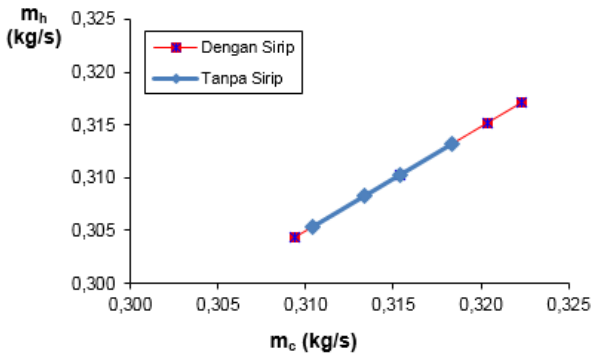
Perbedaan temperatur tertinggi pada penukar kalor bersirip diperoleh 7,8 °C pada laju aliran mass fluida dingin 0,309 kg/s, sedangkan pada penukar kalor tanpa sirip adalah 6,6 °C pada laju aliran massa 0,310 kg/s. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa penukar kalor pipa ganda dengan sirip lebih besar menurunkan temperatur dari fluida panas. Dengan arti kata lain, sirip yang digunakan pada bagian luar pipa dalam dapat meningkatkan perpindahan energi ke fluida dingin. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh perbedaan 1,7 °C untuk penurunan temperatur rata-rata fluida panas penukar kalor, dimana rata-rata penukar kalor bersirip adalah 6,4 °C sedangkan penukar kalor tanpa sirip adalah 4,7 °C.

Kecenderungan yang sama juga ditunjukkan oleh perubahan temperatur fluida dingin (ΔT_c), dimana semakin tinggi laju aliran massa fluida dingin maka penurunan temperatur juga semakin kecil seperti ditampilkan pada Gambar 6. Perbedaan yang diperoleh adalah 2,1 °C untuk penurunan temperatur rata-rata fluida dingin penukar kalor. Perbedaan hasil yang diperoleh antara fluida panas dan fluida dingin disebabkan adanya sedikit perbedaan laju aliran massa antara fluida panas dan dingin, karena pada penelitian yang dilakukan pengaturan laju aliran fluida hanya menggunakan katup yang sudah diatur sedemikian rupa. Pada Gambar 7 ditampilkan grafik perbandingan laju aliran massa fluida panas ($\dot{m}_h$ = m_h) dan fluida dingin untuk penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip.

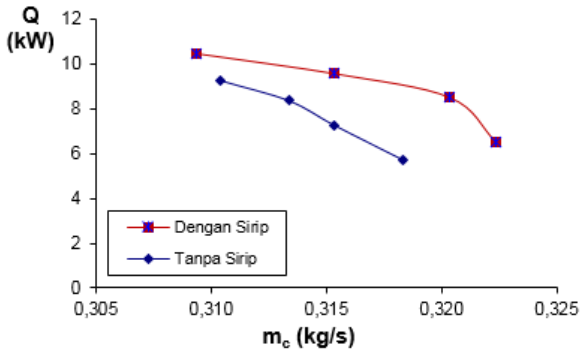


Gambar 6. Perubahan temperatur fluida dingin pada penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip

 https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.29-35.2024



Gambar 7. Perbandingan laju aliran massa fluida panas dan fluida dingin untuk penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip



Gambar 8. Perpindahan panas penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip

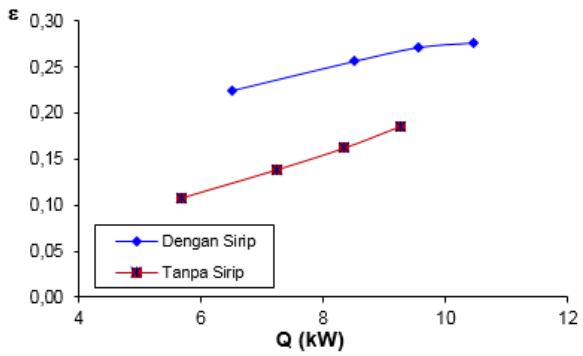
3.2. Pengaruh Luas Permukaan (Sirip) Terhadap Perpindahan Panas

Salah satu faktor yang mempengaruhi perpindahan panas adalah luas permukaan yang dilaluinya. Hal ini mengakibatkan penyerapan panas secara konveksi dari fluida panas ke fluida dingin akan semakin lebih besar. Konduktivitas termal pipa tembaga cukup tinggi sehingga menyebabkan laju perpindahan panas dan perubahan temperatur yang besar antara fluida panas dan fluida dingin.

Pada Gambar 8 ditampilkan pengaruh pemakaian sirip terhadap perpindahan panas (Q) yang terjadi. Penukar kalor pipa bersirip menghasilkan perpindahan panas sebesar 9,57 kW sedangkan pada penukar panas tanpa sirip dihasilkan 7,24 kW untuk laju aliran massa fluida dingin yang sama yaitu 0,315 kg/s. Sedangkan perpindahan panas tertinggi dari penukar kalor bersirip tetap diperoleh pada laju aliran mass fluida dingin 0,309 kg/s yaitu 10,57 kW. Hubungan perpindahan panas dengan bertambahnya laju aliran massa berbanding lurus tetapi karena dipengaruhi faktor pengali perubahan temperatur yang terjadi pada penukar panas dengan sirip dan tanpa sirip, dimana pertambahan laju aliran massa membuat perubahan temperatur semakin kecil maka laju perpindahan panas menurun. Perbedaan dari perpindahan panas rata-rata antara penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip adalah 1,14 kW.

3.3. Efektivitas Penukar Kalor

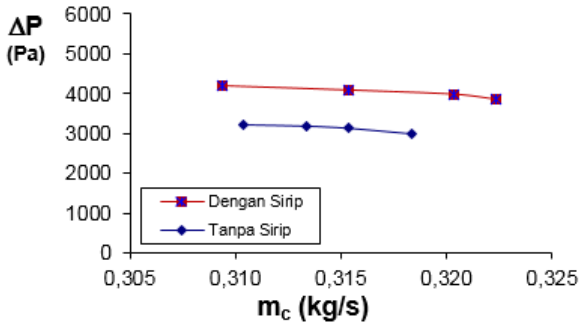
Efektivitas (ε) menyatakan perbandingan nilai perpindahan panas nyata dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada penukar panas. Nilai efektivitas menentukan kemampuan alat untuk melaksanakan fungsinya sehingga dengan nilai efektivitas yang tinggi berarti semakin besar perpindahan panas yang terjadi. Pada Gambar 9 ditampilkan grafik efektivitas antara penukar kalor tanpa sirip yang lebih kecil dari penukar kalor dengan sirip. Pada penukar kalor dengan sirip efektivitas penukar kalor yang dihasilkan sekitar 0,25 sedangkan pada penukar panas tanpa sirip 0,16 untuk nilai perpindahan panas 8,35 kW. Dari grafik dapat dikatakan bahwa semakin besar perpindahan panas yang terjadi maka efektivitas penukar kalor semakin besar juga. Efektivitas tertinggi dari penukar kalor dengan sirip adalah 0,28 dengan perpindahan panas 10,47 kW pada laju aliran massa fluida dingin 0,309 kg/s sedangkan tanpa sirip adalah 0,19. Perbedaan dari efektivitas rata-rata antara penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip adalah 0,11 kW. Hal ini menunjukkan bahwa sirip longitudinal yang ditambahkan pada penukar kalor pipa ganda akan meningkatkan perpindahan panas yang terjadi sehingga menjadi lebih efektif.



Gambar 9. Hubungan efektivitas penukar kalor dengan perpindahan panas

3.4. Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan (ΔP) terjadi karena adanya perbedaan ketinggian antara sisi masukan dan faktor gesekan (rintangan yang dilewati oleh aliran fluida). Perbedaan ketinggian antara masukan dan keluaran adalah sama untuk setiap permukaan, sementara gesekan berbeda. Perbedaan permukaan pada sisi pipa bagian dalam untuk penukar panas dengan sirip dan tanpa sirip memungkinkan terjadi perbedaan faktor gesekan dan pengukuran tekanan fluida dingin yang mengalir dilakukan pada daerah anulus penukar kalor. Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa pipa yang memakai sirip menimbulkan gesekan yang besar sehingga penurunan tekanan pun semakin besar. Sebaliknya pada pipa tidak memakai sirip penurunan tekanan yang kecil. Penurunan tekanan yang dihasilkan pada penukar kalor dengan sirip 4086 Pa dan penukar kalor tanpa sirip 3129 Pa pada laju aliran massa fluida dingin 0,315 kg/s. Perbedaan dari penurunan tekanan rata-rata antara penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip adalah 904 Pa.



Gambar 10. Penurunan tekanan pada penukar kalor dengan sirip dan tanpa sirip

Dari penelitian yang dilakukan dapat dilihat bahwa peningkatan rata-rata perpindahan panas dari penambahan sirip pada penukar kalor adalah 15% sedangkan penurunan tekanan rata-rata yang tejadi dengan penambahan sirip adalah 29%. Hal ini menunjukkan bahwa selain penambahan luas permukaan (sirip), penurunan tekanan juga dipengaruhi jenis permukaan, rintangan aliran skala minor, laju aliran dan keseragaman fluida yang digunakan.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan : (a) Semakin besar laju aliran massa fluida dingin maka perubahan temperatur fluida panas dan perpindahan panas yang terjadi semakin kecil. (b) Perubahan temperatur tertinggi dan perpindahan panas tertinggi pada penukar kalor bersirip adalah 7,8 oC dan 10,57 kW pada laju aliran mass fluida dingin 0,309 kg/s. (c) Dengan menggunakan sirip pada permukaan luar dari pipa bagian dalam akan meningkatkan perpindahan panas sekitar 15 % terhadap penukar kalor tanpa sirip. (d) Efektivitas penukar kalor semakin meningkat dengan pemakaian sirip dan efektivitas tertinggi yang dicapai adalah 0,28 untuk perpindahan panas 10,47 kW. (e) Penurunan tekanan terjadi juga karena perbedaan sisi permukaan bagian dalam dengan penambahan sirip pada daerah anulus penukar panas. Adapun penurunan tekanan dengan sirip akan meningkat sekitar 904 Pa dibandingkan terhadap penukar panas tanpa sirip. (f) Penambahan sirip pada penukar kalor meningkatkan penurunan tekanan rata-rata sebesar 29%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Arthur P. Fraas, “Heat Exchanger Design” *John Wiley & Sons*, New York, 1989.

[2] M. A. Mehrabian, M. Hemmat, “The overall heat transfer characteristics of a double pipe heat exchanger: comparison of experimental data with predictions of standard correlations”, *Transactions on Modelling and Simulation* vol. 30:607-618, WIT Press, 2001.

 https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.29-35.2024

[3] B. Vijayaragavan, S. P. Asok, C. R. Shakthi Ganesh, "Heat Transfer Characteristics Of Double Pipe Heat Exchanger Having Externally Enhanced Inner Pipe", *Acta Polytechnica* 63(1):65–74, Czech Technical University, Prague, 2023.

[4] G. Arvind Rao, Yeshyahou Levy, "A Semi Empirical Methodology For Performance Estimation Of A Double Pipe Finned Heat Exchanger", *Proceedings of the 9th Biennial ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA08,* July 7-9, Haifa, 2008.

[5] Mustafa M. Gabir, Dhirgham Alkhafaji, "Comprehensive Review on Double Pipe Heat Exchanger Techniques", *Journal of Physics: Conference Series* 1973-012013, 2021.

[6] B. De Lorenzo, E. D. Anderson, Elyria, "Heat Transfer and Pressure Drop of Liquids in Double-Pipe Fin-Tube Exchangers", *Transactions of the ASME,* vol. 67 no. 8. Ohio, 1945.

[7] T.L. Bergman, Frank P. Incropera, and David P. DeWitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition", *John Wiley & Sons*, United States of America, 2011.

[8] J.P. Holman, "Heat Transfer, Tenth Edition", *Mc.Graw-Hill*, New York, 2010.

[9] Thomas G. Beckwith, Roy D. Marangoni, John H. Lienhard V., "Mechanical Measurements, 6th Edition", *Pearson Prentice Hall*, 2007.

[10] McGee, Thomas D., "Principles and Methods of Temperature Measurement", *John Wiley & Sons*, USA, 1988.