



NOZEL

Jurnal Pendidikan Teknik Mesin

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/nozel>



ANALISIS PERPINDAHAN KALOR PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER* BERALIRAN LAWAN ARAH MENGGUNAKAN SIRIP TRAPESIUM DENGAN FLUIDA CAIR

Muhammad Tsany Zulfahmi¹, Dinar Susilo Wijayanto¹, Indah Widiastuti¹

Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret

e-mail: tsany.lemu@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the counter flow performance of a double pipe heat exchanger using an experimental method with the influence of the flow rate of hot and cold substances. The results showed that the counter-flow double-pipe heat exchanger produced a total heat transfer coefficient of 69.229 W/m²°C. The double pipe heat exchanger produces Reynolds number of 82.17 and Nusselt number of 1.18 in hot fluids, while in cold fluids it produces Reynolds number of 4.528.42 and Nusselt number of 31.52. The double pipe heat exchanger has an effectiveness rate of 116.16%.

Keywords: *heat exchanger counter flow double-pipe, fin, liquid fluid, heat transfer, LMTD, NTU Effectiveness*

A. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini berkembang sangat pesat. Hal tersebut berpengaruh pada munculnya dampak positif pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, selain itu juga muncul dampak negatif yang merugikan. Salah satunya yang terjadi di negara China yang menghasilkan limbah panas sekitar 50% dari total kehilangan panas boiler. Limbah panas

tersebut terbuang ke atmosfer yang menyebabkan limbah energi dan polusi panas yang berdampak signifikan terhadap lingkungan (Cheng et al., 2019). Hal tersebut membuat efisiensi energi banyak yang terbuang sia-sia karena belum dapat dihemat penggunaannya.

Menurut Jouhara et al., (2017) ketidakefisienan penggunaan energi berdampak pada sebuah proses industri. Industri baja adalah

salah satu industri yang mengkonsumsi energi terbesar, terhitung 5% dari total konsumsi energi dunia dengan biaya energi sekitar 30% dari total biaya produksi. Pemulihan kelebihan panas pada proses pembuatan baja menjadi tantangan. Salah satu cara yang dilakukan untuk membantu proses pemulihan panas pada proses pembuatan baja yaitu dengan menggunakan alat penukar kalor.

Alat penukar kalor atau dalam istilah bahasa Inggris disebut *heat exchanger* merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida yang memiliki temperatur berbeda tanpa terjadinya pencampuran antara fluida yang satu dengan yang lain (Budiman et al., 2014). Proses tersebut dimanfaatkan untuk memindahkan kalor dari fluida bertemperatur tinggi menuju fluida bertemperatur rendah pada suatu sistem, yang berfungsi sebagai media pendingin ataupun pemanas.

Dalam pengaplikasian *heat exchanger*, pada kenyataannya masih banyak terjadi permasalahan yang timbul sehingga belum bisa bekerja secara maksimal terutama pada proses

perpindahan kalor yang terjadi pada suatu proses produksi, sehingga menjadi tidak efisien. Penggunaan alat penukar kalor bertujuan untuk menjaga temperatur pada alat penukar kalor yang digunakan terus menerus dalam jangka waktu yang lama agar tetap beroperasi dengan stabil dan tahan lama. Oleh karena itu, agar kinerja *heat exchanger* lebih maksimal dibuatlah inovasi secara terus-menerus untuk memperbaiki kekurangan dari alat tersebut.

Salah satu inovasi tersebut dapat dilakukan dengan penambahan sirip pada pipa tembaga, sehingga dapat memperluas bidang perpindahan kalor dari alat penukar kalor tersebut. Salah satu penelitian menerapkan adanya variasi tambahan berupa sirip berlubang bertujuan untuk memaksimalkan perpindahan kalor pada alat penukar kalor tabung sirip dengan pitch besar. Dengan menganalisis massa es, ketebalan es, kecepatan transfer panas dan koefisien perpindahan kalor dari tabung penukar kalor sirip berlubang. Hasilnya laju perpindahan kalor dan koefisien perpindahan kalor dari sirip berlubang meningkat sebesar 38,9% dan 31,8% (Liu et al., 2020).

Pada penelitian ini, peneliti akan memilih *double pipe heat*

exchanger sebagai alat penukar kalor yang akan dikaji terkait kinerjanya. Menurut El Maakoul et al., (2020), *double pipe heat exchanger* merupakan salah satu jenis alat penukar kalor yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Dipilihnya jenis ini karena konstruksi yang dimiliki oleh *double pipe heat exchanger* ini cukup sederhana, biaya pembuatan yang relatif rendah dibandingkan dengan tipe lain, mudah dibongkar untuk perawatan, tidak memakan banyak tempat. *Double pipe heat exchanger* terdiri dari dua pipa konsentris, dimana terdapat dua jenis arah aliran fluida yaitu aliran searah dan aliran berlawanan arah.

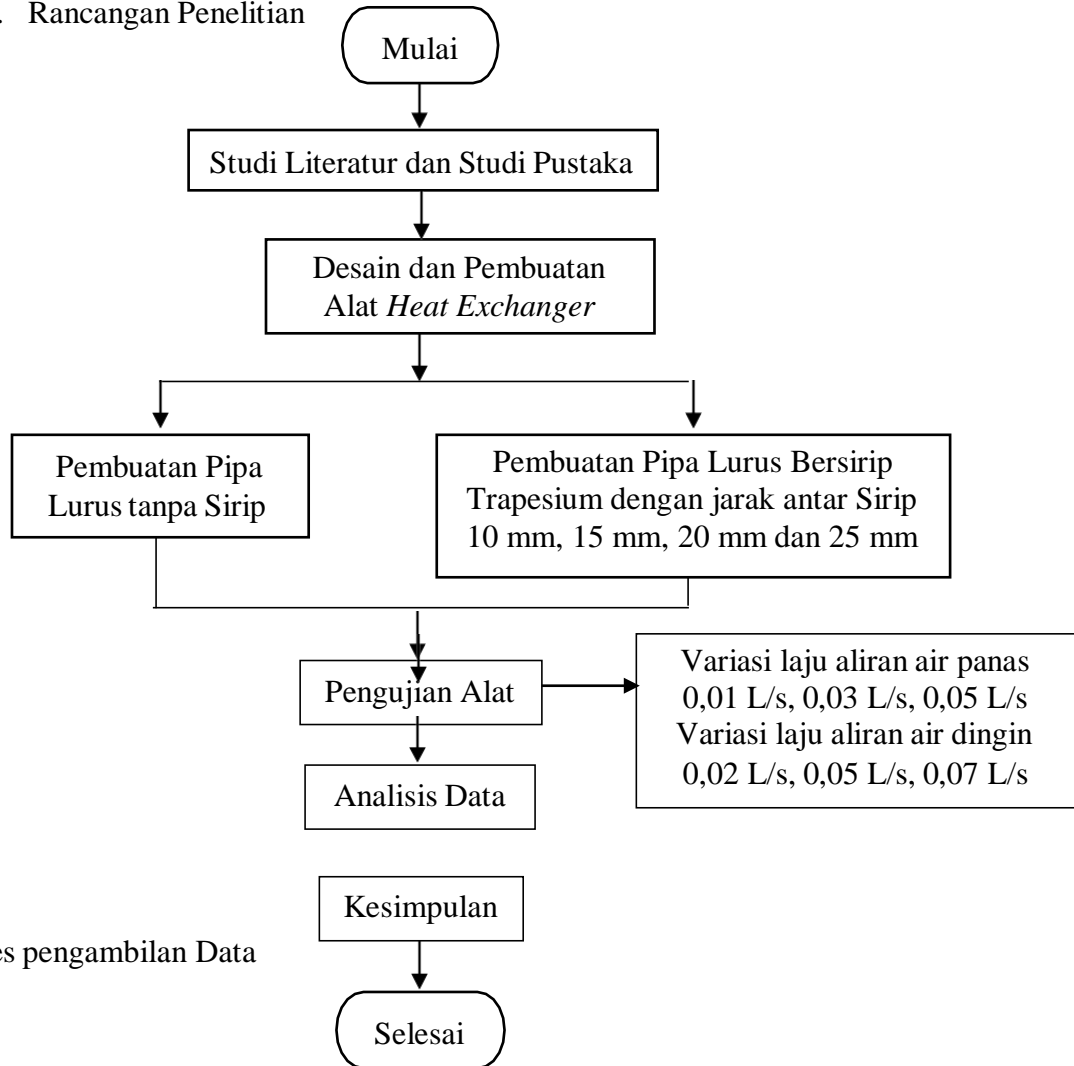
Penelitian sebelumnya sudah membahas tentang alat penukar kalor dengan adanya variasi sirip berbentuk jarum dan spiral dengan desain pipa

ganda lawan arah. Untuk itu penelitian ini dilakukan dengan menambahkan variasi sirip berbentuk trapesium pada empat sisi pipa tembaga dengan aliran lawan arah yang akan dibandingkan dengan pipa tembaga tanpa sirip. Laju aliran fluida cair dalam dan luar akan menjadi salah satu variasi pada penelitian alat penukar kalor ini. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah bentuk sirip yang berbeda, jarak antar sirip serta laju aliran fluida berpengaruh pada kinerja alat penukar kalor pipa ganda beraliran lawan arah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi laju fluida cair dan gas terhadap perpindahan kalor, LMTD, NTU Efektivitas, bilangan Reynolds, bilangan Nusselt, dan bilangan Prandtl pada alat penukar kalor pipa ganda lawan arah.

B. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Penelitian dilaksanakan di laboratorium kampus V UNS Pabelan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas alat penukar kalor pipa ganda beraliran lawan arah.

1. Rancangan Penelitian



2. Proses pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan membandingkan fluida cair panas masuk-keluar dan fluida gas dingin masuk-keluar.

Langkah Pengujian:

a. Tahap Persiapan

1) Mempersiapkan semua alat dan

bahan yang akan digunakan selama proses pengujian. Alat dan bahannya yaitu alat penukar kalor, pemanas air, *thermostat*, pompa air, *flow sensor*, *blower*, fluida cair dan fluida gas.

- 2) Mempersiapkan peralatan pendukung untuk memperlancar proses pengujian berupa *Arduino* dan *digital thermocouple*.

b. Tahap Pelaksanaan

Tahap pengujian pada alat penukar kalor langkahnya sebagai berikut:

- 1) Memastikan alat *heatexchanger* pipa ganda beraliranlawan arah sudah siap untuk dilakukan proses pengujian.
- 2) Memanaskan air pada tangki air panas dengan menggunakan *heater* yang telah terhubung dengan *thermostat* untuk mengatur temperatur agar sesuai dengan yang telah ditentukan 60 °C.
- 3) Memasang *thermocouple* bagian masuk dan keluar pada *thermodisplay*.
- 4) Menyalakan pompa air dan membiarkan satu siklus berjalan tanpa ada perhitungan bertujuan untuk mengusir gelembung air dan kotoran di dalam pipa. Setelah satu siklus selesai, pada siklus berikutnya akan masuk ke dalam proses pengambilan data.
- 5) Mengalirkan air panas menuju ke pipa tembaga dengan laju aliran 0,01 lt/s denganmengatur kran *by pass* dan mengamati *arduino uno* yang telah terhubung dengan *flowsensor*.
- 6) Mengalirkan air dingin ke pipa akrilik dengan laju 0,02 lt/s dengan mengatur kran *by pass* dan mengamati *arduino uno* yang telah terhubung dengan *flowsensor*.
- 7) Setelah mencapai kondisi yang tunak, melakukan pengambilan data yang diperlukan, yaitu temperatur air panas masukdan keluar, temperatur air dingin masuk dan keluar dengan menggunakan *thermodisplay* yang telahterpasang.
- 8) Mengulangi langkah pengujian a. s/d g. untuk laju aliran air dingin 0,05 lt/s dan 0,7 lt/s dengan laju aliran panas tetap 0,01 lt/s
- 9) Mengulangi langkah pengujian f. s/d h. dengan mengubah laju aliran panas menjadi 0,03 lt/s dan 0,05 lt/s.

10) Jika sekiranya sudah cukup, menghentikan siklus dengan mematikan pompa air, *heater*, dan kelengkapan lainnya, serta membuang air yang telah digunakan.

3. Analisis Data

Dari hasil penelitian kemudian akan dianalisis data menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif. Teknik analisis ini dilakukan dengan mengamati proses pengujian dengan menggunakan alat ukur yang telah disiapkan. Hasil pengukuran laju aliran air dan temperatur fluida panas maupun dingin dibuat dalam tabel dan grafik pada Microsoft Excel, kemudian dilakukan analisis data.

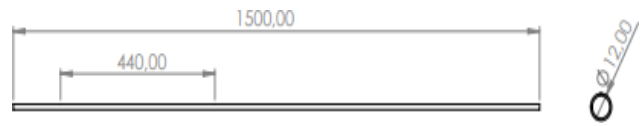
4. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam mengumpulkan data terdiri dari tiga macam, di antaranya :

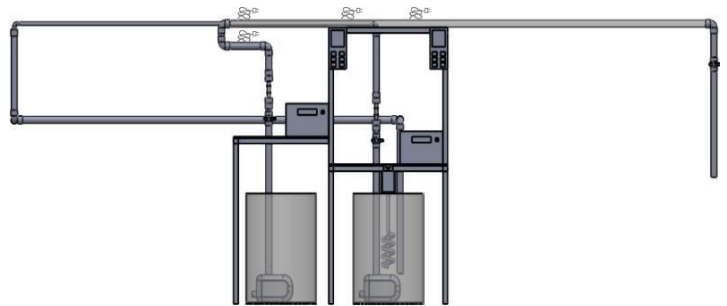
- a. Fluida air
- b. Pipa akrilik, digunakan sebagai pelindung dari rangkaian pipa dan agar terlihat transparan saat proses terjadinya pertukaran panasnya.
- c. Pipa tembaga, digunakan sebagai media penghantar panas.

Pipa tembaga lurus dengan diameter pipa 12 mm, panjang

keseluruhan 1500 mm, dan panjang seksi uji 440 mm.



Gambar 2 Pipa Tembaga



Gambar 3 *Double Pipe Heat Exchanger*

Kelengkapan *Double Pipe Heat Exchanger*:

a. *Double pipe heat exchanger*

Double pipe heat exchanger sebuah alat yang digunakan untuk memindahkan kalor dari fluida air dingin ke fluida air panas begitu juga sebaliknya.

b. Pompa Air

Pompa air merupakan alat untuk mengalirkan fluida cair.

c. *Flowsensor*

Flowsensor merupakan alat untuk mengukur debit air dengan satuan (L/menit)

d. Kabel Termokopel

Kabel termokopel merupakan salah satu jenis sensor temperatur yang digunakan sebagai alat pengukur

temperatur air panas maupun air dingin dengan satuan ($^{\circ}\text{C}$)

e. *Digital Thermometer*

Digital Thermometer merupakan perangkat listrik yang terdiri dari dua konduktor listrik berbeda yang membentuk sambungan listrik. Alat ini digunakan sebagai alat pengukur temperatur air masuk dan temperatur air keluar.

f. *Arduino Uno*

Arduino Uno merupakan sebuah perangkat *platform* yang yang dirancang untuk memudahkan penggunaan rekayasa elektronik untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang.

g. *Thermostat*

Thermostat digunakan untuk mengatur suhu fluida cair ($^{\circ}\text{C}$).

h. *Heater*

Heater digunakan untuk memanaskan fluida cair berupa air.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Koefisien Perpindahan Kalor

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh merupakan gabungan proses dari perpindahan kalor konveksi dan konduksi dalam luasan perpindahan kalor (Holman, 2002). Koefisien perpindahan kalor dipengaruhi

kecepatan fluida. Pelaksanaan penelitian ini menggunakan alat penggerak fluida berupa pompa air yang mengakibatkan konveksi paksa pada alat penukar kalor sehingga berpengaruh pada perpindahan kalor (Forsberg, 2021).

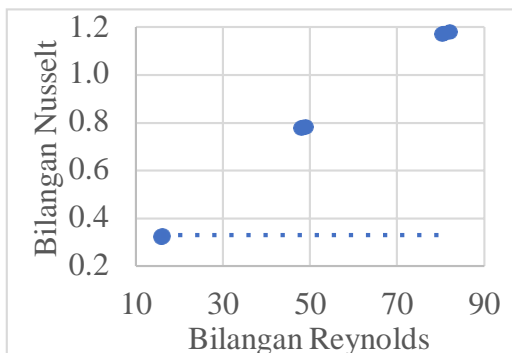
Dari hasil penelitian, bahwa koefisien perpindahan kalor menyeluruh paling rendah terjadi pada variasi kecepatan aliran air panas 0,01 L/s dan kecepatan aliran air dingin 0,07 L/s yaitu sebesar 19,043 $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$. Sedangkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh paling tinggi terjadi pada variasi kecepatan aliran fluida air panas 0,05 L/s dan kecepatan aliran air dingin 0,07 L/s sebesar 69,229 $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$.

Pada hasil penelitian sebelumnya, diketahui menggunakan variasi laju aliran fluida panas sebesar 0,01 kg/s, 0,02 kg/s, 0,04 kg/s dan 0,05 kg/s dengan suhu konstan sebesar 80°C dan suhu fluida dingin sebesar 30°C . Hasilnya menunjukkan koefisien perpindahan kalor meningkat dengan adanya penambahan sirip. Koefisien perpindahan kalor awal sebesar 386 $\text{W}/\text{m.K}$ meningkat sebesar 38,5% menyesuaikan dengan meningkatnya laju aliran fluida dan hal ini mampu meningkatkan keefektifitasan *heat*

exchanger hingga sebesar 35%

2. Bilangan Reynolds dan Nusselt Aliran Air Panas

Hasil penelitian alat penukar kalor pipa ganda beraliran lawan arah yang sudah dilaksanakan yaitu bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt fluida air panas. Hasil alat penukar kalor tanpa sirip pada fluida air panas, nilai bilangan Nusselt yang paling rendah 0,32 dan paling tinggi 1,18. Bilangan Reynolds paling kecil 15,74 dan paling besar 82,17. Rata-rata bilangan Nusselt 0,76 dan bilangan Reynolds 48,59.



Gambar 4 Pengaruh Laju Aliran Air Panas terhadap bilangan Reynolds dan Nusselt

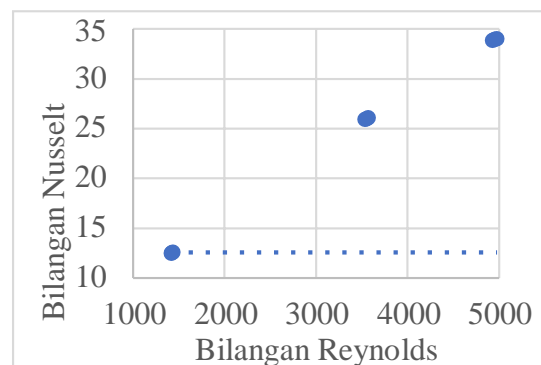
Pada penelitian sebelumnya, mengatakan bahwa penambahan sirip memberikan perubahan yang wajar pada sifat fisik kerja fluida seperti nanofluida. Penggunaan sirip lurus di anulus

(Sivalakshmi et al., 2020).

mampu meningkatkan perpindahankalor lebih tinggi daripada anulus tanpa menggunakan sirip (Yassin et al., 2018). Penelitian lainnya menjelaskan bilangan Reynolds yang lebih tinggi menyebabkan laju perpindahan kalor yang lebih tinggi (Yan et al., 2020).

3. Bilangan Reynolds dan Nusselt Aliran Air Dingin

Selanjutnya fluida gas berfungsi sebagai pendingin pada alat penukar kalor beraliran silang. Hasil pengujian akan dijabarkan mulai nilai dari bilangan Nusselt pada alat penukar kalor tanpa sirip paling kecil 11,56 dan paling besar 31,52 Bilangan Reynolds paling kecil 1.290,67 dan paling besar 4.528,42. Rata-rata bilangan Nusselt 22,37 dan bilangan Reynolds 3.012,37.

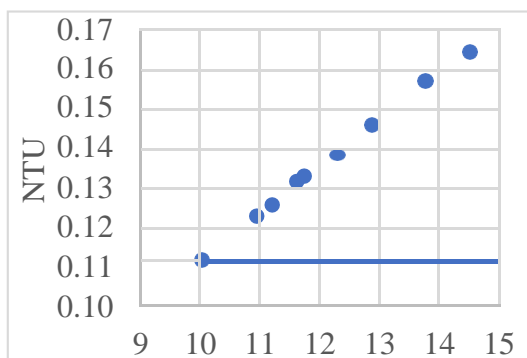


Gambar 5 Pengaruh Laju Aliran Air Dingin terhadap Bilangan Reynolds dan Nusselt

Dari hasil tersebut semakin besar nilai perpindahan kalor, maka bilangan Nusselt juga akan mengalami peningkatan. Seperti penelitian sebelumnya menyebutkan laju perpindahan kalor jumlah bilangan Nusselt dari pipa bersirip cukup lebih tinggi daripada pipa tanpa sirip (Amini et al., 2018).

4. NTU Efektivitas

Alat penukar kalor tanpa sirip memiliki nilai efektivitas paling kecil 11,25% dan paling besar 16,16 %. Nilai NTU paling kecil 0,112 dan paling besar 0,164. Rata-rata nilai efektivitas pada alat penukar kalor tanpa sirip sebesar 13,52 % dan rata-rata nilai NTU 0,136.



Gambar 6 NTU Efektivitas Double Pipe Heat Exchanger

Penelitian sebelumnya, bahwa penambahan sirip secara langsung pada

pipa tembaga akan meningkatkan luas bidang panas alat penukar kalor. Nilai NTU pada alat penukar kalor bersirip *groove* akan lebih tinggi dibandingkan tanpa sirip (Sunu et al., 2016).

PENUTUP

Simpulan

1. Variasi dari laju fluida air panas dan fluida air dingin mempengaruhi koefisien perpindahan kalor, bilangan Reynolds, bilangan Nusselt, LMTD, laju perpindahan kalor. Dengan hasil koefisien perpindahan kalor sebesar 69,229 W/m²°C, bilangan Reynolds fluida air panas 82,17 dan fluida air dingin 4.528,42, bilangan Nusselt fluida air panas 1,18 dan fluida air dingin 31,52, LMTD, laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor pipa ganda beraliran lawan arah tanpa sirip.

2. Alat penukar kalor pipa ganda beraliran lawan arah tanpa sirip memiliki tingkat keefektivan sebesar 11,25 % s.d. 16,16 %.

Saran

Adapun saran yang dapat dilaksanakan untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlunya ketelitian dalam proses perakitan alat penukar kalor karena sangat rawan terjadi kebocoran dan

diperhatikan juga setiap bagian-bagian dari alat penukar kalor tersebut.

2. Untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan variasi sirip pada alat penukar kalor agar menghasilkan kinerja yang lebih efektif, perlu diperhatikan beberapa

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, R., Amini, M., Jafarina, A., & Kash, M. (2018). *Numerical investigation on effects of using segmented and helical tube fins on thermal performance and efficiency of a shell and tube heat exchanger*. 138(March), 750–760.
- Awwaluddin, M. (2007). Analisa Perpindahan Kalor pada Heat Exchanger Pipa Ganda dengan Sirip Berbentuk *Delta Wing*. In *Igarss 2014* (Vol. 2, Issue 1).
- Babus’Haq, R., & Probert, S. D. (1991). *Radiation heat transfer: Fundamentals and applications*. *Applied Energy*, 39(4), 341–344.
- Borjigin, S., Zhang, S., Ma, T., Zeng, M., & Wang, Q. (2020). *Performance enhancement of cabinet cooling system by utilizing cross-flow plate heat exchanger*. *Energy Conversion and Management*, 213(April), 112854.
- Budiman, A., Syarief, A., & Isworo, H. (2014). Analisis Perpindahan Panas dan Efisiensi Efektif High Pressure Heater (HPH) di PLTU Asam-Asam. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, 03(2), 76–82.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2016). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2007). *Heat and Mass Transfer Fundamentals and Applications*. In *Heat and Mass Transfer* (Fifth Edit). McGraw- Hill Education.
- Chalim, A., Ariani, Mufid, & Hardjono. (2017). Koefisien Perpindahan Kalor Total (U) Sistem Air- Etilen Glikol Menggunakan Alat Penukar Kalor *Shell and Tube*. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*, 1, 69–76.
- Cheng, M., Chen, Z., Liao, Q., Zhang, J., & Ding, Y. (2019). *Experimental research on the ash deposition characteristics of 3-D finned tube bundle*. *Applied Thermal Engineering*, 153(November 2018), 556–564.
- Dinesh Kumar, S., Chandramohan, D., Purushothaman, K., & Sathish, T. (2020). *Optimal hydraulic and thermal constrain for plate heat exchanger using multi objective wale optimization*. *Materials Today: Proceedings*, 21, 876–881.
- Forsberg, C. H. (2021). *Heat Transfer Principles and Applications*. Katey Birtcher.
- Galeazzo, F. C. C., Miura, R. Y., Gut, J. A. W., & Tadini, C. C. (2006).

- Experimental and numerical heat transfer in a plate heat exchanger. Chemical Engineering Science, 61(21), 7133–7138.*
- Holman, J. P. (2002). *Heat Transfer Tenth Edition*. In *The Mc Graw Hill Companies* (10th ed.).
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2015). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. In *Fluid Mechanics and its Applications* (6th, Vol. 112).
- Istanto, T., & Juwana, W. E. (2011). Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik dengan Sisipan Pita Terpilin Berlubang. *Jurnal Mechanical, 10(1), 7–14.*
- J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill, A., & Moore, J. G. (1969). *Index to Tables in SI Units*. In *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*.
- Jouhara, H., Almahmoud, S., Chauhan, A., Delpech, B., Bianchi, G., Tassou, S. A., Llera, R., Lago, F., & Jos, J. (2017). *Experimental and theoretical investigation of a fl at heat pipe heat exchanger for waste heat recovery in the steel industry. 141, 1928–1939.*
- Kern, D. Q. (1997). *Process Heat Transfer*. In *Tate McGraw-Hill Publishing Company*.
- Liu, X., Yu, J., & Yan, G. (2020). *An experimental study on the air side heat transfer performance of the perforated fi n-tube heat exchangers under the frosting conditions. Applied Thermal Engineering, 166(September 2019), 114634.*
- Mariam, S., Pribadi, K., Heru, G. B., Rosidi, A., & Juarsa, M. (2013). Kalibrasi Termokopel Tipe-K pada Bagian Uji Heating-03 menggunakan cDAQ - 9188. *Sigma Epsilon, 17(4), 160–168.*
- Nitsche, M., & Gbadamosi, R. (2015). *Heat Exchanger Design Guide A Practical Guide for Planning, Selecting and Designing of Shell and Tube Exchangers*. Joe Hayton.
- Prasetio Nugroho. (2012). Bilangan reynolds untuk Aliran Evaporasi Dua Fasa pada Kanal Mini Horizontal dengan Refrigeran R-290 dan R-600A. Universitas Indonesia.
- Roetzel, W., Luo, X., & Chen, D. (2020). Heat exchangers and their networks: A state-of-the-art survey. In *Design and Operation of Heat Exchangers and their Networks* (Issue 2012). Elsevier Inc.
- Singh, A., & Singh, S. (2017). *CFD investigation on roughness pitch variation in non-uniform cross-section transverse rib roughness on Nusselt number and friction factor characteristics of solar air heater duct. Energy, 128, 109–127.*
- Sivalakshmi, S., Raja, M., & Gowtham, G. (2020). *Proceedings Effect of helical fins on the performance of a double pipe heat exchanger. Elsevier, 30, 1–4.*
- Stewart M. & Lewis O.T. (2013). *Heat Transfer Theory*. In *Heat Exchanger Equipment Field Manual* (pp. 1–91).
- Sunu, P. W., Anakottapary, D. S., &

Santika, W. G. (2016). Efektifitas Perpindahan Panas pada *Double Pipe Heat Exchanger* dengan *Groove*. *May*, 7–8.

Yan, S. R., Moria, H., Pourhedayat, S., Hashemian, M., Assadi, S., Sadighi Dizaji, H., & Jermisittiparsert, K. (2020). *A critique of effectiveness concept for heat exchangers; theoretical-experimental study*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159, 120160.

Yassin, M. A., Shedid, M. H., El-hameed, H. M. A., & Basheer, A. (2018). *Heat transfer augmentation for annular flow due to rotation of inner finned pipe*. *International Journal of Thermal Sciences*, 30(40), 1–8.