

KAJIAN EKSPERIMENTAL PERFORMA *CROSS-FLOW HEAT EXCHANGER* BERPENDINGIN UDARA

*Dimas Gerald Ikhwanul Mukmin¹, Khoiri Rozi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

E-mail: dimasgerald@students.undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa karakteristik termal variasi konfigurasi tube bundle pada heat exchanger, dengan fokus pada kecepatan aliran maksimum dan daya pemanas. Penelitian ini menggunakan tiga model uji *tube bundle* konfigurasi berbeda dengan menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi koefisien perpindahan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan aliran fluida, yang menyebabkan aliran menjadi lebih turbulen, dan meningkatkan konveksi panas. Selain itu, koefisien perpindahan panas juga meningkat dengan peningkatan daya pemanas. Konfigurasi 1 menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi 2 dan konfigurasi 3. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengoptimalan desain heat exchanger untuk meningkatkan efisiensi dalam aplikasi industri yang lebih luas.

Kata kunci: daya pemanas; kecepatan aliran; koefisien perpindahan panas; penukar panas; *tube bundle*

Abstract

This study aims to evaluate the thermal performance characteristics of different tube bundle configurations in heat exchangers, focusing on maximum flow velocity and heating power. The study uses three different tube bundle test models and employs an experimental method to evaluate the heat transfer coefficient. The results show that the heat transfer coefficient increases as the fluid flow velocity increases, causing the flow to become more turbulent, thereby enhancing heat convection. Additionally, the heat transfer coefficient also increases with the increase in heating power. Configuration 1 demonstrates better performance compared to configurations 2 and 3 in terms of heat transfer coefficient. This study is expected to contribute to the optimization of heat exchanger design to improve efficiency in a wider range of industrial applications.

Keywords: *flow velocity; heat exchanger; heat transfer coefficient; heating power; tube bundle*

1. Pendahuluan

Penukar panas memiliki peran penting dalam berbagai sistem termal seperti pembangkit listrik, pendingin udara, dan pendingin elektronik, dan seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi, peningkatan efisiensi penukar panas telah menjadi prioritas [1]. Dalam berbagai aplikasi, penukar panas tipe tabung-tabung adalah yang paling banyak digunakan dan mereka mewakili pangsa pasar terbesar dari penukar panas [2-3]. Penukar panas tube bank digunakan secara luas di berbagai bidang industri karena efektivitasnya yang tinggi dan kesederhanaannya [4]. Peningkatan efisiensi heat exchanger dapat dicapai melalui pengoptimalan konfigurasi tube, yang mempengaruhi pola aliran fluida dan koefisien perpindahan panas [5].

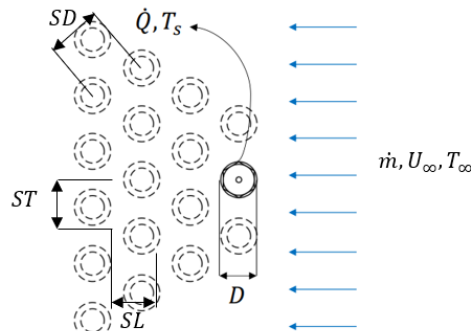
Penelitian oleh Zhang et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan tube berbentuk helical dapat meningkatkan turbulensi aliran, yang berujung pada peningkatan laju perpindahan panas. Namun, hal ini sering disertai dengan peningkatan beban tekanan [6]. Sementara itu, pada penelitian oleh Kumar et al. (2019), penggunaan tube dengan insert kawat spiral terbukti dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas secara signifikan pada aliran turbulen rendah [7]. Lebih lanjut, penelitian oleh Ibrahim et al. (2017) menunjukkan bahwa kombinasi konfigurasi tube yang berbeda, seperti kombinasi tube datar dan melengkung, dapat meningkatkan keefektifan heat exchanger di bawah berbagai kondisi operasi [8]. Sebuah kajian oleh Saini et al. (2019) menyatakan bahwa desain heat exchanger dengan konfigurasi tube berbentuk non-silinder seperti tube multi-fin dapat meningkatkan efisiensi termal dalam aplikasi pendinginan industri [9]. Dalam penelitian oleh Kumar et al. (2018), dilakukan evaluasi eksperimental terhadap berbagai konfigurasi tube untuk memahami peran penting mereka dalam memaksimalkan laju perpindahan panas dalam heat exchanger pada kondisi tekanan rendah [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana performa karakteristik termal variasi *tube bundle* sebagai representasi *tube model system* dari *heat exchanger* yang mencakup faktor kecepatan aliran maksimum dan daya pemanas. Dengan menggunakan metode eksperimental, diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi peningkatan

desain *heat exchanger* yang lebih efisien dalam berbagai aplikasi industri, serta memperluas wawasan mengenai performa proses perpindahan panas pada sistem perpindahan panas.

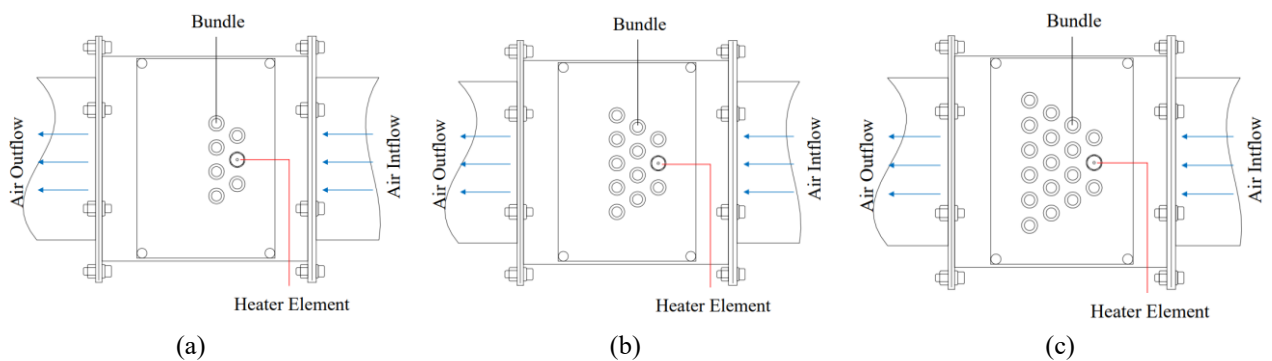
2. Bahan dan Metode Penelitian

Pada studi ini menggunakan model uji *tube bundle* dan elemen pemanas yang disusun dalam beberapa konfigurasi sebagai bahan eksperimen. Gambar 1 merepresentasikan skematik model uji sebagai berikut ini.



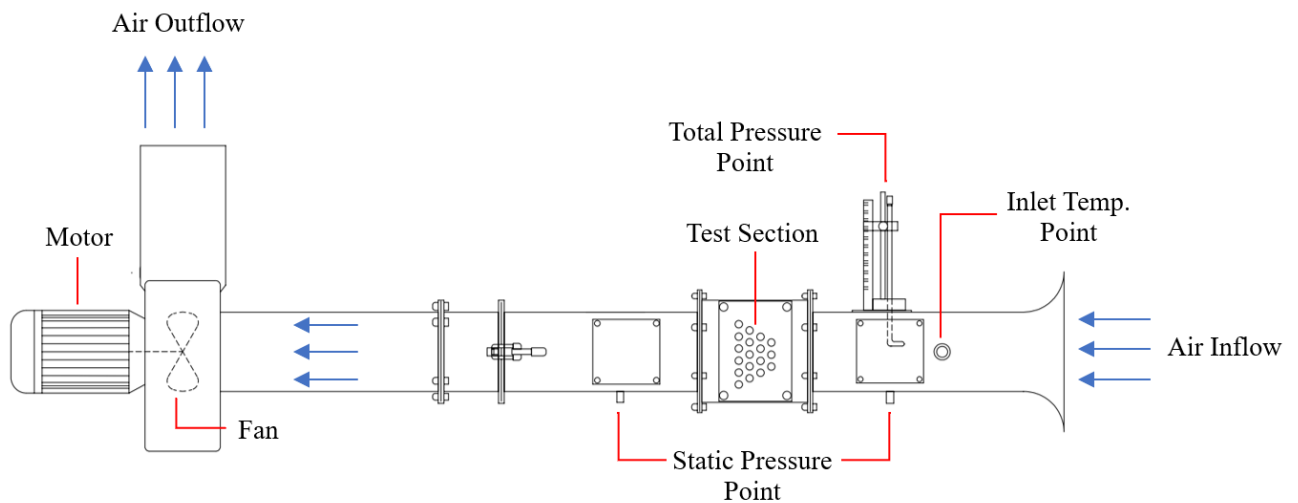
Gambar 1. Skematik model uji

Studi ini terdapat 3 susunan konfigurasi tube bundle sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2 (a), (b), dan (c) berikut ini.



Gambar 2. Konfigurasi model uji (a) konfigurasi 1 (b) konfigurasi 2 (c) konfigurasi 3

Gambar 3 menggambarkan unit eksperimen yang digunakan untuk menguji performa thermal dari ketiga konfigurasi. Kemudian, parameter koefisien perpindahan panas dievaluasi.

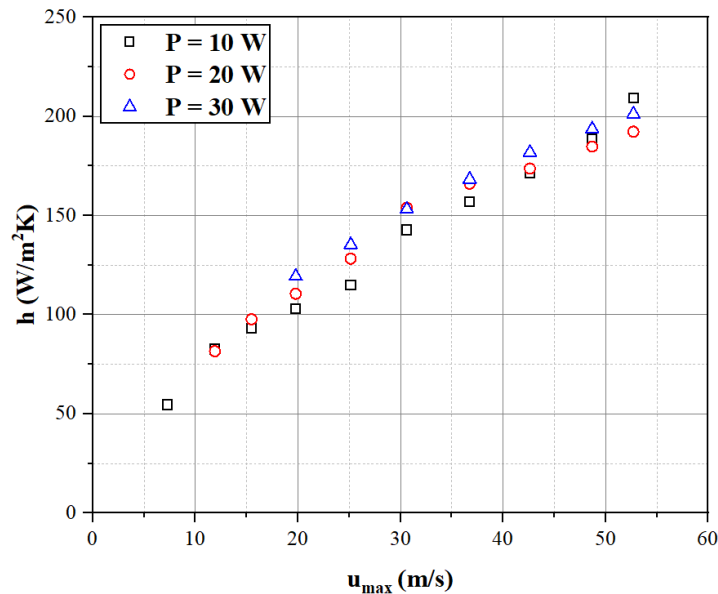


Gambar 3. Unit eksperimen

3. Hasil dan Pembahasan

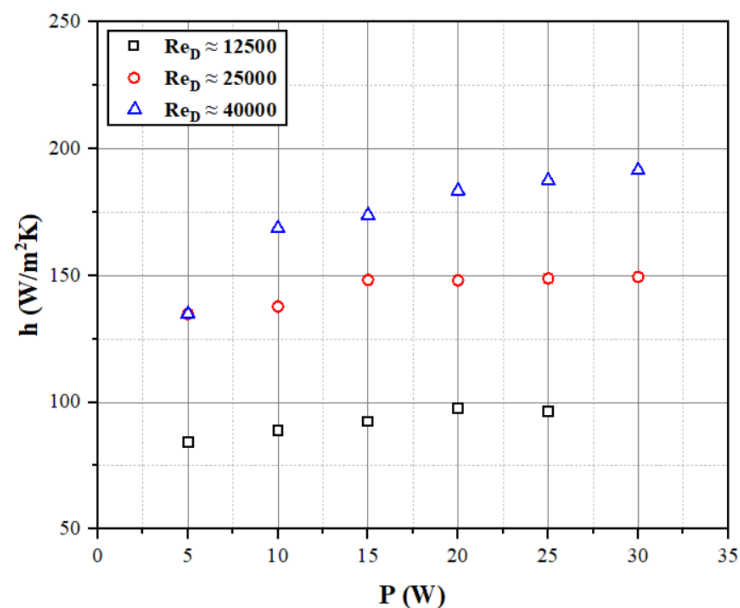
3.1 Karakteristik Thermal Pada Konfigurasi 1

Koefisien perpindahan panas pada elemen pemanas dipengaruhi oleh karakteristik aliran. Peningkatan kecepatan aliran fluida dapat menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan panas. Hasil pengujian hubungan antara koefisien perpindahan panas dan kecepatan maksimum pada konfigurasi 1 yang ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan plot model uji menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas meningkat seiring dengan kenaikan nilai Re . Fenomena ini terjadi karena pada kecepatan maksimum yang lebih tinggi, aliran fluida menjadi lebih turbulen, yang dapat meningkatkan konveksi dan mempercepat proses perpindahan panas dari permukaan ke fluida.



Gambar 4. Koefisien perpindahan panas sebagai fungsi kecepatan maksimum

Gambar 5 menggambarkan hasil pengujian hubungan antara koefisien perpindahan panas dan daya pemanas pada konfigurasi 1. Grafik ini memperlihatkan bahwa seiring dengan peningkatan daya pemanas yang diberikan, koefisien perpindahan panas yang dihasilkan juga semakin besar. Sehingga, koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh besar daya pemanas yang diberikan pada sistem.

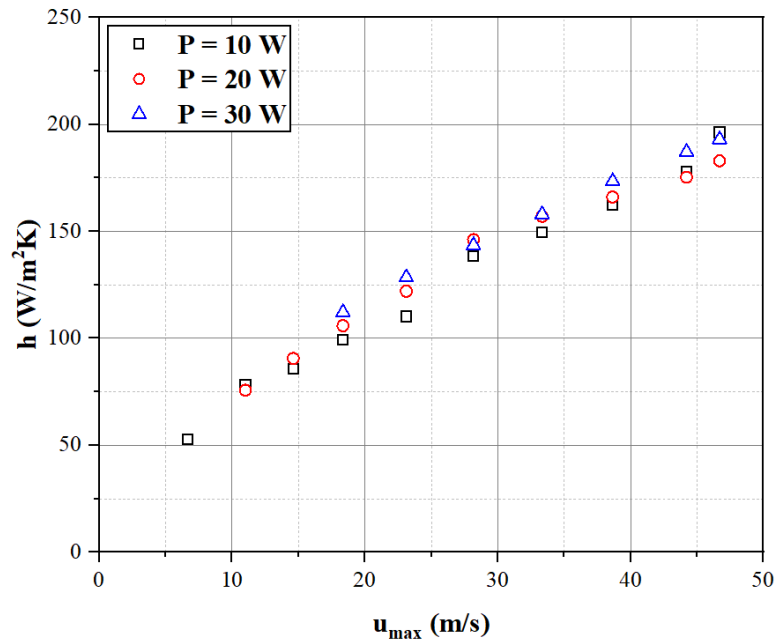


Gambar 5. Koefisien perpindahan panas sebagai fungsi daya pemanas

3.2 Karakteristik Thermal Pada Konfigurasi 2

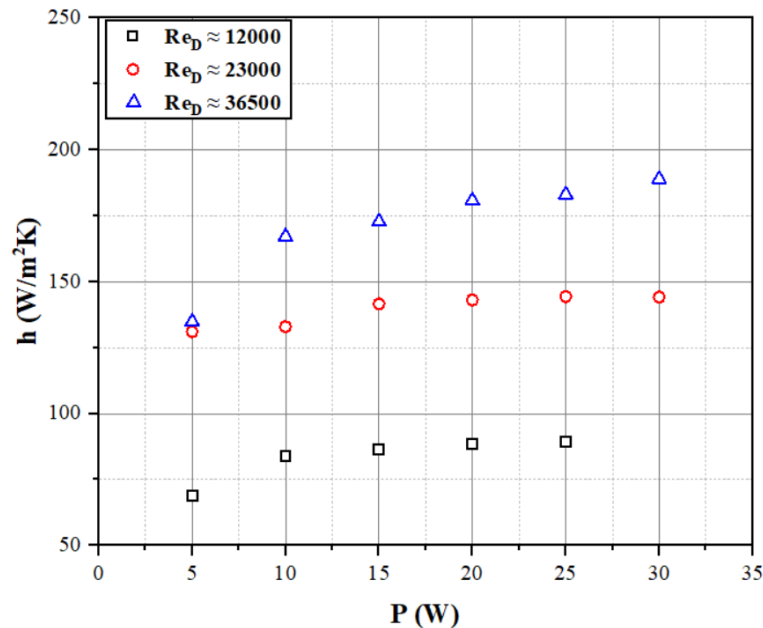
Hasil pengujian hubungan antara koefisien perpindahan panas dan Re pada konfigurasi 2 dengan variasi daya pemanas yang ditampilkan Gambar 6. Plot model ini menampilkan bahwa adanya kenaikan koefisien perpindahan panas seiring dengan meningkatnya nilai Re . Namun, data tercatat bahwa nilai koefisien perpindahan panas pada konfigurasi 2

memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi 1.



Gambar 6. Koefisien perpindahan panas sebagai fungsi kecepatan maksimum

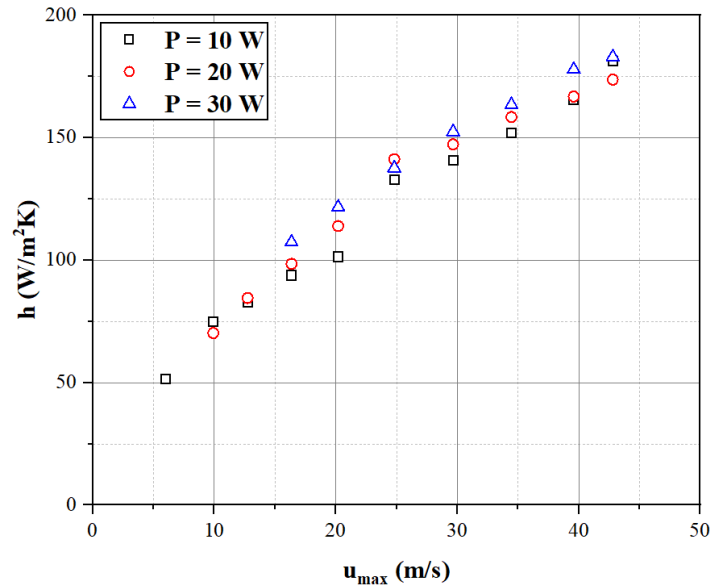
Gambar 7 menampilkan hasil pengujian hubungan antara koefisien perpindahan panas dan daya pemanas pada model uji konfigurasi 2. Hasil plot model uji ini menunjukkan karakteristik yang serupa dengan konfigurasi 1. Dimana, koefisien perpindahan panas meningkat seiring dengan peningkatan daya pemanas. Kemudian, data plot dapat dilihat bahwa koefisien perpindahan panas model uji ini memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi 1.



Gambar 7. Koefisien perpindahan panas sebagai fungsi daya pemanas

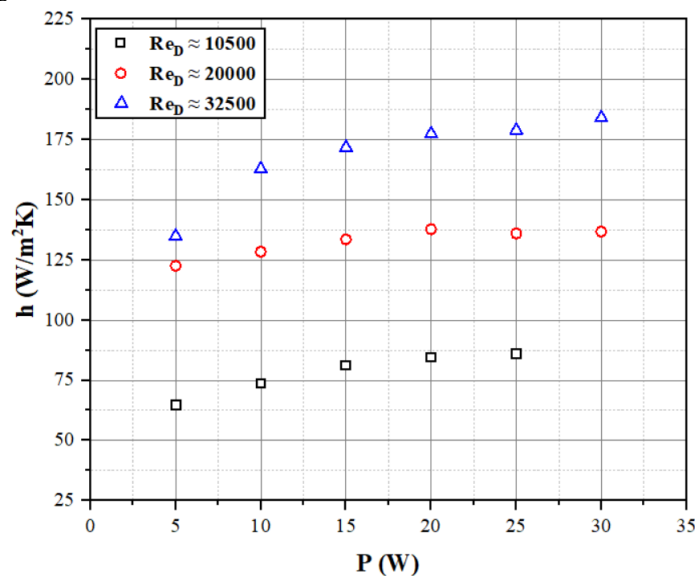
3.3 Karakteristik Thermal Pada Konfigurasi 3

Hasil pengujian hubungan antara koefisien perpindahan panas dan Re pada konfigurasi 3 yang diperlihatkan Gambar 8. Hasil plot model ini menunjukkan karakteristik yang serupa dengan 2 konfigurasi lainnya. Namun, model uji ini memperlihatkan bahwa nilai koefisien perpindahan panas pada konfigurasi 3 lebih rendah dibandingkan 2 konfigurasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh adanya jumlah hambatan pada model uji ini lebih banyak dibandingkan dengan 2 konfigurasi lainnya. Sehingga, kecepatan aliran maksimum yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih rendah.



Gambar 8. Koefisien perpindahan panas sebagai fungsi kecepatan maksimum

Gambar 9 mempresentasikan hasil pengujian hubungan antara koefisien perpindahan panas dan daya pemanas konfigurasi 3. Pada model uji ini memperlihatkan bahwa koefisien perpindahan panas juga meningkat seiring dengan meningkatnya Re . Kemudian, karakteristik perubahan koefisien perpindahan panas pada konfigurasi 2 dan konfigurasi 1 serupa dengan model uji ini. Namun, nilai koefisien perpindahan panas pada 2 konfigurasi lainnya lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi 3.



Gambar 9. Koefisien perpindahan panas sebagai fungsi daya pemanas

4. Kesimpulan

1. Koefisien perpindahan panas meningkat dengan bertambahnya kecepatan aliran fluida yang menyebabkan aliran lebih turbulen dan meningkatkan konveksi.
2. Koefisien perpindahan panas meningkat seiring dengan peningkatan daya pemanas yang menunjukkan dampak langsung daya pemanas terhadap koefisien perpindahan panas.
3. Konfigurasi 1 menunjukkan memiliki nilai koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi 2 dan 3.

5. Daftar Pustaka

- [1] Moazezi, A., & Lavasani, A. M. (2025). The impact of spacing ratios on thermal hydraulic performance of a cam-shaped tube in a four-tube staggered configuration. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 164, 108869.
- [2] Master B.I., Chunanged K.S., Boxma A.J., Kral D., and Stehlik P.. (2006). Most frequently used heat exchanger

-
- from pioneering research to world wide application. *Heat Transfer Engineering*, 27(6). pp. 4-11.
- [3] HoSung Lee. (2010). *Thermal design – heat sinks, thermoelectrics, heat pipes, compact heat exchanger and solution*, John Wiley & Son, Inc..
 - [4] Tepe, A. Ü., & Yilmaz, H. (2022). Thermal–hydraulic performance of the circular-slice-shaped-winglet for tube bank heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 179, 107711.
 - [5] Zhang, L., Li, J., & Wei, X. (2020). The effect of helical tube heat exchangers on heat transfer and pressure drop. *Applied Thermal Engineering*, 174, 115229
 - [6] Tepe, A. Ü., & Yilmaz, H. (2022). Thermal–hydraulic performance of the circular-slice-shaped-winglet for tube bank heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 179, 107711.
 - [7] Kumar, S., Pandey, A., & Yadav, M. (2019). Performance of spiral coil insert in heat exchanger for enhancement of heat transfer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 106, 22-30.
 - [8] Ibrahim, M., Sadegh, M., & Zaki, A. (2017). Thermal performance analysis of non-cylindrical tube arrangements in a heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107, 145-156.
 - [9] Saini, R., Kumar, S., & Prasad, B. (2019). Investigation of tube multi-fin arrangements for improved heat transfer performance in heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 139, 174-186.
 - [10] Kumar, R., Yadav, S., & Kumar, V. (2018). Experimental investigation of heat transfer in heat exchangers with various tube arrangements. *International Journal of Thermal Sciences*, 130, 79-91.