

Studi Numerik Pengaruh Geometri Tube dan Variasi Baffle Terhadap Perpindahan Kalor Pada Heat Exchanger Tipe Shell and Tube

Eko Wahyu Saputro¹, Agus Jamaldi^{2*}

¹ Program Studi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta; email : ekow1507@gmail.com

² Program Studi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi “Warga” Surakarta; email : agus.jamaldi@sttw.ac.id

* Penulis : Eko Wahyu Saputro

Abstract: This research aims to numerically investigate the effect of tube geometry and baffle variation on heat transfer performance in a shell-and-tube heat exchanger. The model employed a honeycomb tube geometry with baffle height variations of 65%, 75%, and 85%. Numerical simulations were conducted using ANSYS Fluent 2024 R2 with mass flow rates ranging from 0.25 to 1 kg/s. The analyzed parameters included outlet temperatures of hot and cold fluids, heat flow, and flow distribution visualized through contour and streamline plots. The results show that increasing mass flow rate leads to a higher heat flow rate but reduces the hot fluid outlet temperature due to shorter contact time. Baffle variation significantly affected performance, with the 85% baffle height producing more turbulent flow and the highest heat flow, reaching 14.89 kW at 1 kg/s. Furthermore, the comparison of tube geometries revealed that oval tubes outperformed honeycomb tubes, achieving a heat flow of up to 40.55 kW under the same conditions. Although the results of this study are less optimal compared to previous research, it still provides a valuable contribution to the selection of tube geometry types and baffle heights in shell-and-tube heat exchangers.

Keywords: Heat exchanger, shell and tube, baffle, tube geometry, ANSYS Fluent, CFD

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara numerik pengaruh geometri *tube* dan variasi *baffle* terhadap perpindahan kalor pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Pemodelan dilakukan dengan geometri *tube* berbentuk *honeycomb* serta variasi ketinggian *baffle* sebesar 65, 75, dan 85%. Simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *ANSYS Fluent 2024 R2* dengan variasi *mass flow rate* 0,25–1 kg/s. Parameter yang dianalisis meliputi temperatur *outlet* fluida panas dan dingin, *heat flow*, serta distribusi aliran melalui visualisasi *contour* dan *streamline*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *mass flow rate* berbanding lurus dengan kenaikan *heat flow rate*, namun menurunkan temperatur *outlet* fluida panas karena waktu kontak semakin singkat. Variasi *baffle* berpengaruh signifikan, di mana ketinggian *baffle* 85% menghasilkan distribusi aliran lebih turbulen dan *heat flow* tertinggi, mencapai 14,89 kW pada *mass flow* 1 kg/s. Selain itu, perbandingan geometri *tube* memperlihatkan bahwa *tube* oval memiliki performa perpindahan panas lebih baik dibanding *honeycomb*, dengan nilai *heat flow* hingga 40,55 kW pada kondisi yang sama. Meskipun hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan hasil yang kurang optimal dibandingkan hasil penelitian sebelumnya, namun penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pemilihan tipe geometri tube dan ketinggian baffle pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*.

Kata kunci: *Heat exchanger*, *shell and tube*, *baffle*, geometri *tube*, ANSYS Fluent, CFD.

Diterima: Oktober 20, 2025

Direvisi: Oktober 28, 2025

Diterima: Oktober 29, 2025

Diterbitkan: November 20, 2025

Versi sekarang: November 20, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan

publikasi akses terbuka

berdasarkan syarat dan ketentuan

lisensi Creative Commons

Attribution (CC BY SA) (

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

ses/by-sa/4.0/)

1. Pendahuluan

Heat exchanger merupakan salah satu perangkat vital yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti pembangkit listrik, minyak dan gas, kimia, serta sistem pendinginan (Thundil Karuppa Raj & Ganne, n.d.). Dari berbagai jenis *heat exchanger*, tipe *shell and tube* menjadi yang paling populer karena desainnya sederhana, fleksibel, serta mampu bekerja pada tekanan dan temperatur tinggi (Prajapati et al., 2024). Namun, kinerja perpindahan panas pada tipe ini sangat dipengaruhi oleh faktor desain, terutama geometri *tube* dan konfigurasi *baffle*, yang menentukan pola aliran fluida, distribusi temperatur, serta besarnya koefisien perpindahan panas (Alrwashdeh et al., 2022).

Baffle dalam *heat exchanger* memiliki fungsi ganda, yakni sebagai penyangga *tube* sekaligus pengarah aliran fluida pada sisi *shell*. Penerapan *baffle* dapat meningkatkan turbulensi, memperbesar luas kontak fluida dengan dinding *tube*, dan pada akhirnya meningkatkan laju perpindahan panas (Handoyo, 2001). Akan tetapi, konfigurasi *baffle* yang kurang tepat dapat menimbulkan kenaikan *pressure drop*. (Putra & Bizzy, 2020) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah *baffle* meningkatkan koefisien perpindahan panas sisi *shell*, sementara (Al Hakim et al., 2024) menemukan bahwa *baffle cut* 17,5% merupakan konfigurasi yang optimal karena menghasilkan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang tinggi dengan penurunan tekanan yang masih terkendali.

Selain konfigurasi *baffle*, geometri *tube* juga memegang peran penting dalam meningkatkan kinerja *heat exchanger*. (Estupiñán-Campos et al., 2024) melaporkan bahwa *tube* berbentuk elips horizontal dengan *baffle* 60° menghasilkan perbedaan temperatur masuk dan keluar yang paling signifikan. (Ariwibowo et al., 2017) juga menegaskan bahwa pemilihan jenis *baffle* segmental berhubungan erat dengan nilai koefisien perpindahan panas total dan efektivitas penukar kalor. Sementara itu, penelitian (Prihartono & Irhamsyah, 2022) serta (Alim, 2020) menyoroti pentingnya pemilihan material *tube* dengan konduktivitas termal tinggi, seperti tembaga atau aluminium, agar kapasitas perpindahan panas lebih optimal.

Sejumlah studi juga mengeksplorasi desain *baffle* non-konvensional untuk meningkatkan performa. (Daneshparvar & Beigzadeh, 2022) melaporkan bahwa penggunaan helical *baffle* dapat meningkatkan perpindahan panas sekaligus mengurangi *pressure drop*. (Li et al., 2023) menunjukkan bahwa *noncircular orifice baffle* menghasilkan distribusi aliran yang lebih stabil dibanding *segmental baffle*. Sementara itu, (Marzouk et al., 2024) membandingkan penggunaan *baffle* dan *spring insert*, di mana *spring insert* terbukti lebih efektif dalam meningkatkan angka Nusselt dan efisiensi eksergi. Penelitian terbaru oleh (Waleed et al., 2025) bahkan menemukan bahwa *flower baffle* mampu meningkatkan koefisien perpindahan panas sisi *shell* hingga 10,76% dibandingkan desain konvensional.

Dalam konteks keberlanjutan energi, penerapan desain *heat exchanger* yang efisien juga sejalan dengan upaya *waste heat recovery* (WHR). (Farhat et al., 2022) menyebutkan bahwa lebih dari 70% energi primer industri terbuang sebagai panas, sementara (Ja'fari et al., 2023) menunjukkan bahwa teknologi WHR mampu menurunkan emisi karbon hingga 20%. Dengan demikian, desain *heat exchanger* yang optimal tidak hanya meningkatkan performa termal, tetapi juga mendukung transisi energi berkelanjutan.

Meskipun eksperimen laboratorium banyak dilakukan, metode ini memerlukan biaya besar dan waktu yang lama. Oleh karena itu, pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) semakin banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja *heat exchanger* (Akif kartal & feyzioglu, 2023). CFD mampu memberikan gambaran detail mengenai distribusi aliran, temperatur, dan tekanan tanpa perlu pengujian fisik yang mahal. Berdasarkan latar belakang dan studi sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara numerik pengaruh geometri *tube* dan variasi ketinggian *baffle* terhadap perpindahan panas pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* menggunakan ANSYS Fluent. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi konfigurasi desain yang optimal untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dalam aplikasi industri.

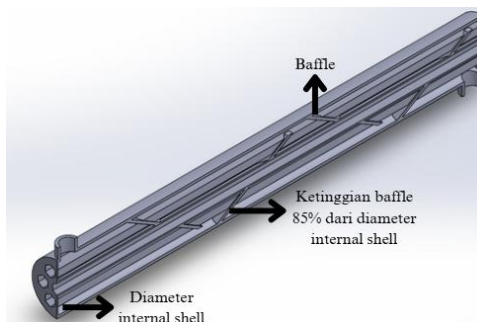
2. Metode

Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi masalah dan tujuan, yaitu menganalisis pengaruh geometri *tube* dan variasi *baffle* terhadap performa perpindahan kalor pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Model dibuat menggunakan SolidWorks, kemudian disimulasikan dengan ANSYS untuk memperoleh data distribusi suhu, tekanan, dan efisiensi perpindahan kalor. Hasil simulasi dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh parameter desain, kemudian ditarik kesimpulan serta rekomendasi pengembangan desain yang lebih efisien.

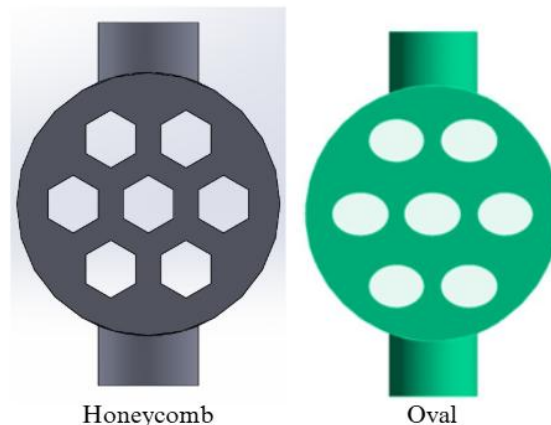
1. Geometri *Heat exchanger*

Geometri heat exchanger mencakup desain *tube* dan *baffle* dengan parameter *honeycomb tube* dan variasi tinggi *baffle*. Geometri ini memengaruhi kinerja *heat exchanger* sehingga perlu diperhatikan dalam analisis kinerja *heat exchanger*.

Proses dimulai dengan membuat gambar tiga dimensi untuk *heat exchanger*. Desain *heat exchanger* keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 1. Perbedaan *tube* tipe oval dengan *honeycomb* ditampilkan pada Gambar 2. Dimensi *heat exchanger* dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Model awal penukar panas dengan tinggi penyekat 85%.



Gambar 2. Perbedaan tipe *tube honeycomb* dengan oval

Tabel 1. Geometri *Heat exchanger Shell and Tube* (Estupiñán-Campos et al., 2024)

Panjang (m)	Diameter Internal Pipa (m)	Diameter Eksternal pipa (m)	Diameter Internal Shell (m)	Diameter Eksternal Shell (m)	Jarak Antar Tube (m)	Diameter Internal Pipa Eksternal (m)	Jarak Antar Baffle (m)
0,35	0,008	0,010	0,038	0,042	0,012	0,012	0,07

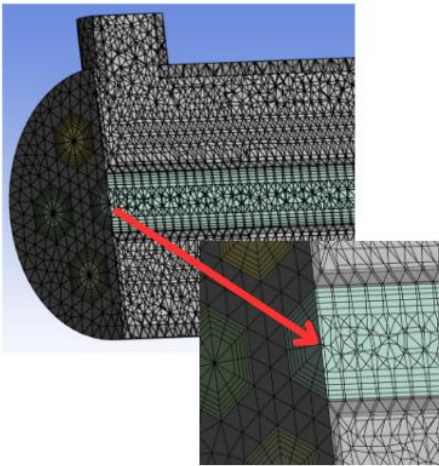
2. Meshing

Penelitian ini melakukan studi numerik *heat exchanger* tipe *shell and tube*, dimulai dari pemilihan model dasar yang telah dilalui dari proses studi banding dengan penelitian terdahulu. Kualitas mesh diukur dengan *skewness* dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kualitas Mesh

Part	Jumlah Elemen Rata-rata	Skewness Rata-rata
<i>Heat exchanger</i> 65%	589578	0,30266
<i>Heat exchanger</i> 75%	593563	0,30355
<i>Heat Exchnager</i> 85%	636969	0,29829

Meshing dari model yang dianalisis dari penelitian ini menggunakan *mesh* tipe tetrahedral yang disesuaikan dengan kelengkungan saluran, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kualitas mesh

3. *Boundary Condition*

Dalam penelitian ini ada beberapa parameter yang digunakan pada *boundary condition*. Beberapa faktor pengoperasian dipertimbangkan, seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Mass Flow Rate* dan Temperatur Air. (Estupiñán-Campos et al., 2024)

	Parameter Input Mass Flow rate ($kg \cdot s^{-1}$)	Temperatur Inlet ($^{\circ}C$)
<i>Cold Fluid</i>	0,25; 0,5; 0,75; 1	20
<i>Hot Fluid</i>	0,3	70

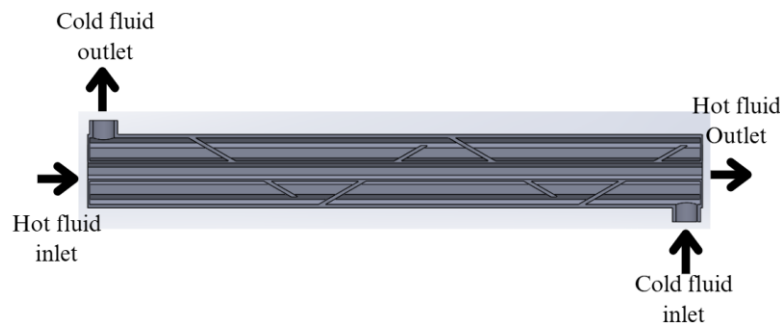
Demikian pula, untuk melakukan analisis CFD, sifat termodinamika fluida kerja (air) dan material alat penukar panas dipertimbangkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Parameter Air dan Tembaga. (Estupiñán-Campos et al., 2024)

Air				
Suhu ($^{\circ}C$)	Kepadatan ($kg \cdot m^{-3}$)	Termal Konduktivitas ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Kapasitas Panas Spesifik ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)	Viskositas Dinamis ($kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$)
20	998,2	0,5861	4183	0,001002
30	995,7	0,603	4183	0,0007977
40	992,2	0,6178	4182	0,0006533
50	988	0,6305	4181	0,0005471
60	983,2	0,641	4183	0,0004666
70	977,8	0,6495	4187	0,0004041

Tembaga		
Kepadatan ($kg \cdot m^{-3}$)	Termal Konduktivitas ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Kapasitas Panas Spesifik ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
8978	387,6	381

Gambar 4. Menjelaskan tentang geometri aliran *inlet* maupun *outlet* *heat exchanger* tipe *shell and tube*.



Gambar 4. Geometri aliran *heat exchanger*

4. Heat Flow

Setelah selesai melakukan simulasi, hasil yang didapat berupa *heat flow rate*. *Heat flow rate* merupakan parameter fundamental dalam analisis perpindahan panas yang merepresentasikan laju transfer energi termal per satuan waktu. Besaran ini dapat dihitung melalui dua pendekatan utama, yaitu berdasarkan laju aliran massa fluida dan perubahan temperatur, atau melalui koefisien perpindahan panas menyeluruh dengan mempertimbangkan perbedaan temperatur rata-rata logaritmik. Secara matematis, *heat flow rate* dapat dituliskan sebagai:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

atau dalam konteks *heat exchanger*:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm}$$

dengan

$$\Delta T_{lm} = \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

Keterangan:

- Q = *heat flow rate* (W)
- $\dot{m}$ = laju aliran massa fluida (kg/s)
- C_p = kalor jenis fluida pada tekanan konstan (J/kg·K)
- ΔT = perbedaan temperatur fluida (K atau °C)
- U = koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m²·K)
- A = luas permukaan perpindahan panas (m²)
- ΔT_{lm} = log *mean temperature difference* (K)

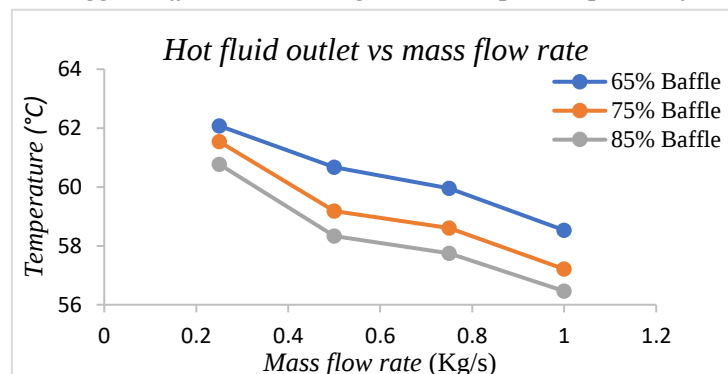
4. Hasil dan Pembahasan

Analisa perbandingan *temperature* dengan variasi *mass flow*

Penelitian ini menggunakan *software* ANSYS *Fluent*. Diperoleh hasil berupa temperatur, *pressure*, dan *heat flow* dengan menggunakan *tools* yang dinamakan *function calculator*. *Output data* yang dihasilkan dengan menggunakan *tools* tersebut berupa nilai rata – rata yang diambil pada permukaan *outlet hot fluid* dan *outlet cold fluid*.

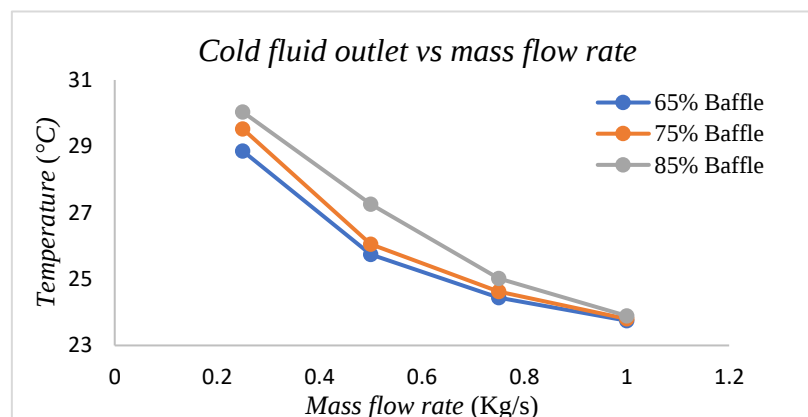
Gambar 5. menampilkan perbandingan temperatur *hot outlet* dengan variasi *mass flow rate*. Pada fluida panas, temperatur *outlet* menurun seiring kenaikan *mass flow rate*. Hal ini terjadi pada tiga variasi ketinggian *baffle*. Dari ketiga variasi ketinggian *baffle* tersebut, didapatkan penurunan temperatur *hot fluid* paling optimal pada ketinggian *baffle* 85%. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian *baffle* berpengaruh signifikan terhadap penurunan temperatur *hot fluid*. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yg dilakukan oleh (Estupiñán-Campos et al.,

2024). Dimana dalam penelitian yang dilakukan didapatkan hubungan semakin tinggi ketinggian *baffle*, semakin dingin *outlet* temperatur pada *hot fluid*.



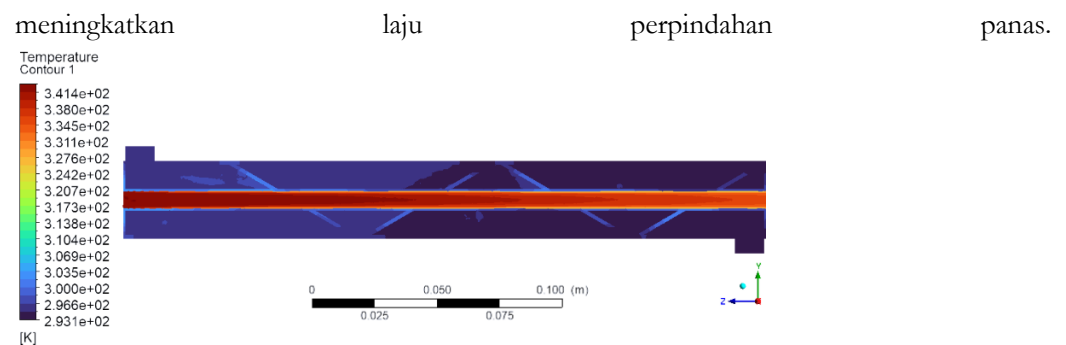
Gambar 5. Grafik perbandingan *temperature hot outlet* dengan *mass flow rate*

Sedangkan pada fluida dingin ditunjukkan pada Gambar 6. temperatur *outlet* juga menurun dengan kenaikan *mass flow*. Namun, pada *mass flow* rendah 0,25–0,5 kg/s, ketinggian *baffle* 85% menghasilkan temperatur dingin yang lebih tinggi, artinya fluida dingin lebih banyak menerima panas. Ketika *mass flow* meningkat, perbedaan antar variasi *baffle* mengecil, menandakan bahwa pengaruh *baffle* paling signifikan pada kondisi aliran rendah.



Gambar 6. Grafik perbandingan *temperature cold outlet* dengan *mass flow rate*

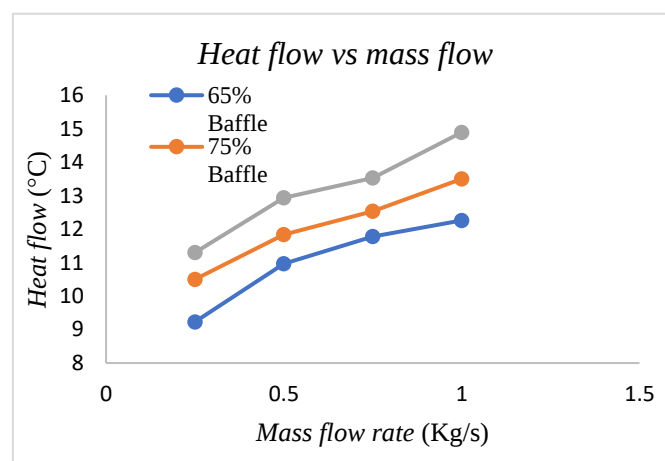
Gambar 7 menunjukkan distribusi kontur temperatur pada *heat exchanger* dengan penggunaan *baffle* 85% pada laju alir massa 1 kg/s. Dari visualisasi tersebut terlihat bahwa temperatur fluida di sekitar *tube* mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan aliran fluida menuju *outlet*. Hal ini mengindikasikan terjadinya proses perpindahan panas yang cukup efektif, di mana daerah dengan gradien temperatur tinggi berada pada sisi masuk, sedangkan distribusi temperatur semakin merata ke arah sisi keluar. Keberadaan *baffle* berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida sehingga meningkatkan turbulensi dan memperbesar area kontak antara fluida dengan permukaan *tube*, yang pada akhirnya



Gambar 7. kontur temperatur *baffle* 85% pada *mass flow rate* 1Kg/s

Analisa perbandingan *heat flow rate* dengan variasi *Mass flow rate*

Gambar 8. menunjukkan bahwa *heat flow rate* meningkat seiring bertambahnya *mass flow rate* pada semua variasi *baffle*. Grafik juga memperlihatkan bahwa ketinggian *baffle* yang lebih besar menghasilkan *heat flow rate* yang lebih tinggi. Pada aliran rendah 0,25 kg/s, perbedaan antar *baffle* sudah terlihat jelas, dan semakin konsisten hingga 1 kg/s di mana *baffle* 85% memberikan nilai tertinggi 14,89 kW. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Estupiñán-Campos et al., 2024) yang menyatakan bahwa kombinasi *mass flow rate* tinggi dan *baffle* tinggi mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas secara signifikan.



Gambar 4. 1. Grafik perbandingan *heat flow* dengan *mass flow rate*

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa *mass flow rate* dan ketinggian *baffle* berpengaruh besar terhadap kinerja perpindahan panas pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Kenaikan laju aliran massa dari 0,25 kg/s hingga 1 kg/s menghasilkan peningkatan *heat flow* pada semua variasi *baffle*. Artinya, semakin besar debit fluida, semakin banyak energi panas yang dapat ditransfer. Kondisi ini juga membuat temperatur outlet fluida panas menurun karena waktu kontak dengan *tube* menjadi lebih singkat, walaupun fluida dingin menyerap panas lebih banyak. Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara besarnya perpindahan panas dengan temperatur keluaran.

Pengaruh ketinggian *baffle* terlihat jelas, di mana *baffle* 85% memberikan hasil terbaik dibandingkan 65% maupun 75%. *Baffle* yang lebih tinggi mempersempit jalur aliran, sehingga memaksa fluida di sisi *shell* untuk bergerak lebih turbulen. Turbulensi ini meningkatkan pencampuran fluida sekaligus memperbesar koefisien perpindahan panas. Pada laju 1 kg/s, *heat flow* *baffle* 85% tercatat 14,89 kW, sementara *baffle* 65% hanya 12,26 kW. Artinya,

peningkatan ketinggian *baffle* mampu meningkatkan efisiensi lebih dari 20% pada kondisi operasi yang sama. Visualisasi kontur temperatur juga memperlihatkan distribusi suhu yang lebih merata pada *baffle* 85%, dengan gradien suhu dari inlet ke outlet lebih jelas. Sementara itu, visualisasi streamline menunjukkan adanya vorteks dan sirkulasi yang lebih intens, menandakan peningkatan turbulensi akibat hambatan *baffle*.

Selain variasi *baffle*, geometri *tube* turut memengaruhi performa sistem. Perbandingan *tube* oval dan honeycomb menunjukkan bahwa *tube* oval jauh lebih unggul. Pada laju 1 kg/s, heat flow *tube* oval mencapai 40,55 kW, sedangkan honeycomb hanya 14,89 kW. Perbedaan ini disebabkan *tube* oval memiliki luas kontak perpindahan panas lebih besar dan distribusi aliran lebih efisien. Walaupun begitu, pada *tube* honeycomb, ketinggian *baffle* tetap berpengaruh, dengan *baffle* 85% selalu menghasilkan kinerja lebih baik dibandingkan variasi lainnya.

Secara keseluruhan, hasil simulasi ini menguatkan temuan penelitian sebelumnya (Estupiñán-Campos et al., 2024) dan (Putra & Bizzy, 2020) bahwa geometri *tube* dan konfigurasi *baffle* merupakan faktor dominan dalam meningkatkan efektivitas *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Geometri *tube* yang tepat dapat memperbesar kapasitas perpindahan panas, sedangkan *baffle* yang sesuai meningkatkan turbulensi dan distribusi energi. Oleh karena itu, kombinasi *tube* oval dengan *baffle* tinggi 75% dapat dipertimbangkan sebagai konfigurasi optimal untuk mencapai kinerja perpindahan panas maksimal.

5. Kesimpulan

Penelitian berbasis simulasi numerik menggunakan ANSYS Fluent mengenai pengaruh geometri *tube* dan variasi ketinggian *baffle* terhadap kinerja perpindahan panas pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* telah selesai dilakukan. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijabarkan, maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan laju massa dari 0,25 hingga 1 kg/s meningkatkan *heat flow rate* secara signifikan, meskipun temperatur *outlet* fluida panas menurun akibat waktu kontak yang lebih singkat. Variasi ketinggian *baffle* memengaruhi turbulensi aliran, di mana *baffle* 85% memberikan performa terbaik dengan *heat flow* hingga 14,89 kW pada 1 kg/s, lebih tinggi $\pm 20\%$ dibanding *baffle* 65%. Geometri tabung sangat menentukan efektivitas perpindahan panas. *Tube* oval menghasilkan *heat flow* 40,55 kW pada 1 kg/s, jauh lebih tinggi dibanding *honeycomb* yang hanya 14,89 kW, karena luas kontak dan pola aliran yang lebih efisien. Kontur temperatur menunjukkan bahwa *baffle* tinggi menciptakan distribusi suhu lebih merata dan aliran lebih turbulen, sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas. Kombinasi *tube* oval dan *baffle* 85% direkomendasikan sebagai konfigurasi paling efisien untuk meningkatkan kinerja perpindahan panas *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Penelitian selanjutnya perlu menguji variasi *baffle* lain seperti helical atau *flower baffle*, melakukan validasi eksperimental untuk memperkuat hasil simulasi, serta menambahkan analisis terhadap *pressure drop*, *overall heat transfer coefficient*, dan efisiensi energi. Selain itu, pemanfaatan material berbeda misalnya aluminium atau paduan khusus serta pengujian konfigurasi aliran *counter flow*, *parallel flow*, *cross flow* dapat memberikan hasil desain yang lebih komprehensif, efisien, dan aplikatif di industri.

Referensi

- [1] Akif kartal, M., & feyzioğlu, A. (2023). Numerical analysis of multipurpose shell-tube-heat exchanger withal stylized geometry at different baffle gaps and various flow rates. *Case Studies in Thermal Engineering*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103810>
- [2] Al Hakim, M. I., Bakrie, M., & Rasyidi, N. (2024). Pengaruh Baffle Cut Pada Shell dan Tube Heat Exchanger Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh & Penurunan Tekanan. *Jurnal Redoks*, 9(2), 177–195. <https://doi.org/10.31851/redoks.v9i2.9089>
- [3] Alim, M. I. (2020). *Uji Konduktivitas Termal Material Non Logam*. <https://www.researchgate.net/publication/338911208>

- [4] Alrwashdeh, S. S., Ammari, H., Madanat, M. A., & Al-Falahat, A. M. (2022). The effect of heat exchanger design on heat transfer rate and temperature distribution. *Emerging Science Journal*, 6(1), 128–137.
- [5] Ariwibowo, T. H., Permatasari, P. D., & Kurniawan, A. (2017). Experimental study of double pipe heat exchanger performance equipped with perforated twisted tape considering various twist ratio. *Proceedings IES-ETA 2017 - International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications, 2017-December*, 203–206. <https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2017.8240403>
- [6] Daneshparvar, M. R., & Beigzadeh, R. (2022). Multi-objective optimization of helical baffles in the shell-and-tube heat exchanger by computational fluid dynamics and genetic algorithm. *Energy Reports*, 8, 11064–11077. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.08.249>
- [7] [Estupiñán-Campos, J., Quitiaquez, W., Nieto-Londoño, C., & Quitiaquez, P. (2024). Numerical Simulation of the Heat Transfer Inside a Shell and Tube Heat Exchanger Considering Different Variations in the Geometric Parameters of the Design. *Energies*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/en17030691>
- [8] Farhat, O., Faraj, J., Hachem, F., Castelain, C., & Khaled, M. (2022). A recent review on waste heat recovery methodologies and applications: Comprehensive review, critical analysis and potential recommendations. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100387. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100387>
- [9] Handoyo, E. A. (2001). *Pengaruh Penggunaan Baffle pada Shell-and-Tube Heat Exchanger*. <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>
- [10] Ja'fari, M., Khan, M. I., Al-Ghamdi, S. G., Jaworski, A. J., & Asfand, F. (2023). Waste heat recovery in iron and steel industry using organic Rankine cycles. *Chemical Engineering Journal*, 477, 146925. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146925>
- [11] Li, Q., Zhu, X., Dong, C., Cao, R., Gu, H., Li, D., Ye, Y., & Yang, Y. (2023). Investigation of noncircular orifice supporting baffle longitudinal flow heat exchangers. *Case Studies in Thermal Engineering*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103104>
- [12] Marzouk, S. A., Sharaf, M. A., Aljabr, A., Almeahmadi, F. A., Alam, T., & Malik, I. (2024). Effects of baffles and springs in shell and multi-tube heat exchangers: Comparative approach. *Case Studies in Thermal Engineering*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104996>
- [13] Prajapati, P., Raja, B. D., Patel, V., & Jouhara, H. (2024). Energy-economic analysis and optimization of a shell and tube heat exchanger using a multi-objective heat transfer search algorithm. *Thermal Science and Engineering Progress*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.103021>
- [14] Prihartono, J., & Irhamsyah, R. (2022). ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL PADA MATERIAL LOGAM (TEMBAGA, ALUMINIUM DAN BESI). In *PRESISI* (Vol. 24, Issue 2).
- [15] Putra, E. H., & Bizzy, I. (2020). Pengaruh jumlah baffle terhadap kinerja alat penukar kalor tipe shell and tube. *Tc*, 1(32), 88.
- [16] Thundil Karuppa Raj, by R., & Ganne, S. (n.d.). *SHELL SIDE NUMERICAL ANALYSIS OF A SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER CONSIDERING THE EFFECTS OF BAFFLE INCLINATION ANGLE ON FLUID FLOW USING CFD*.
- [17] Waleed, M., Naqvi, S. M. A., Mustafa, H., Al Mesfer, M. K., Danish, M., Irshad, K., & Shahzad, H. (2025). Numerical analysis of shell and tube heat exchanger with combination of different baffles. *Case Studies in Thermal Engineering*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105658>