

Performance analysis of shell and tube type heat exchangers based on computational fluid dynamics (Case Study of Heat Exchangers at PT. XYZ)

Zulfakri, Hasrin Lubis, Syukran*, Azwinur

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, Indonesia

*Corresponding author: syukran@pnl.ac.id

Article Processing Dates:

Received 2025-07-23

Accepted 2025-09-28

Available online 2025-09-30

Keywords:

Heat Exchanger

Shell and Tube

CFD Simulation

Ansys Fluent

Heat Transfer Effectiveness

Abstract

Shell and tube heat exchangers are essential components in the process industry, utilizing heat from exhaust gases to superheat steam in the production process. Their performance significantly determines the overall energy efficiency of the system. This study presents a case-based novelty by evaluating the actual performance of a shell and tube heat exchanger at PT. XYZ through Computational Fluid Dynamics (CFD) using Ansys Fluent 17.2. Simulations were conducted to analyze the distribution of temperature, pressure, and fluid velocity, as well as to calculate their effectiveness and LMTD. The simulation results show that the temperature of the cold fluid increases from 11.95°C to 19.35°C, while the temperature of the hot fluid decreases from 62.05°C to 49.55°C. The fluid pressure also decreases significantly, from 1717 Pa to -76.48 Pa on the tube side. The LMTD value is 40.09°C, and the heat transfer effectiveness is 24.95%. To ensure reliability, the simulation results were validated against actual operating data from PT. XYZ. This study contributes by providing a representative picture of the real operating performance of shell and tube heat exchangers, which can serve as a practical basis for improving system design and energy efficiency in the process industry.

Analisa kinerja penukar panas tipe *shell and tube* berbasis komputasi fluida dinamik (Studi kasus alat penukar panas Pada PT. XYZ)

Abstrak Penukar panas tipe shell and tube merupakan komponen penting dalam industri proses, yang memanfaatkan panas dari gas buang untuk melakukan pemanasan lanjut (superheating) uap dalam proses produksi. Kinerjanya sangat menentukan efisiensi energi sistem secara keseluruhan. Penelitian ini menghadirkan kebaruan berbasis studi kasus dengan mengevaluasi kinerja aktual penukar panas tipe shell and tube di PT. XYZ melalui Computational Fluid Dynamics (CFD) menggunakan Ansys Fluent 17.2. Simulasi dilakukan untuk menganalisis distribusi temperatur, tekanan, dan kecepatan fluida, serta menghitung nilai efektivitas dan LMTD. Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur fluida dingin meningkat dari 11,95°C menjadi 19,35°C, sedangkan temperatur fluida panas menurun dari 62,05°C menjadi 49,55°C. Tekanan fluida juga menurun signifikan, dari 1717 Pa menjadi -76,48 Pa pada sisi tube. Nilai LMTD diperoleh sebesar 40,09°C, dan efektivitas perpindahan panas sebesar 24,95%. Untuk memastikan keandalan, hasil simulasi divalidasi dengan data operasi aktual dari PT. XYZ. Penelitian ini berkontribusi dengan memberikan gambaran representatif mengenai kinerja operasi nyata penukar panas tipe shell and tube, yang dapat dijadikan dasar praktis untuk meningkatkan desain sistem dan efisiensi energi dalam industri proses..

Kata kunci: *Heat Exchanger; Shell and Tube; CFD Simulation; Ansys Fluent; Efektivitas Perpindahan Panas*

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari banyak terlihat fenomena perubahan panas seperti memanaskan suatu benda dan mendinginkan suatu benda. Dalam dunia industri fenomena perubahan panas tersebut dimanfaatkan untuk keperluan proses dengan menggunakan suatu alat yang biasa disebut sebagai penukar kalor (*heat exchanger*) [1]. Alat penukar panas merupakan alat yang digunakan sebagai media untuk menukar kalor dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menjadi fluida yang bertemperatur lebih rendah atau sebaliknya [2]. Seperti yang telah diketahui terdapat banyak sekali jenis-jenis alat penukar panas [3] yang terdapat di dalam dunia industri seperti jenis double pipe, pipa koil, pipa

terbuka, jenis Lamella, jenis spiral, jenis plate exchanger, dan jenis *Shell and Tube*. *Shell and Tube* ini adalah jenis alat penukar panas yang paling sering di gunakan di dunia industry. Shell and Tube, berfungsi untuk menukar panas suatu aliran fluida dengan memanfaatkan aliran fluida lain, maka akan terjadi dua fungsi yaitu memanaskan fluida dan mendinginkan fluida yang panas [4][5].

Alat penukar panas type Shell and Tube dalam aplikasinya alat ini digunakan untuk menaikkan maupun menurunkan temperatur suatu fluida dengan memanfaatkan fluida lain, dan juga dapat mengubah fase fluida. Alat penukar kalor sangat berpengaruh dalam industri terhadap keberhasilan keseluruhan rangkaian proses, karena

kegagalan operasi alat ini baik akibat kegagalan mekanikal maupun operasional dapat menyebabkan berhentinya operasi suatu unit, maka suatu alat penukar kalor dituntut untuk memiliki kinerja yang baik [6], dan salah satu tipe alat penukar panas yang banyak digunakan di dunia industri adalah tipe shell and tube alat penukar panas.

Alat penukar panas (HE) dengan tipe shell and tube yang akan menjadi obyek penelitian ini adalah HE 61-103-C1 di PT. XYZ. Tujuan HE pada pabrik ini adalah untuk memanaskan lanjut steam dengan memanfaatkan panas dari gas. Pada bagian shell merupakan aliran gas yang temperaturnya lebih tinggi dari pada steam yang masuk pada bagian tube side alat penukar panas, sehingga terjadi pertukaran panas antara gas dan steam.

Idealnya alat penukar panas mempunyai koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang tinggi sehingga mampu mentransfer kalor dengan baik dan mempunyai penurunan tekanan (ΔP) yang rendah [7]. Hal ini menjadi masalah yang perlu dikaji lebih jauh terutama untuk memperkecil penurunan tekanan tetapi koefisien perpindahan kalornya masih tetap tinggi.

Beberapa peneliti melakukan kajian kinerja HE [8][9][10][11][12][13] Seperti yang dilakukan oleh Nianqi Li, dkk dimana penelitian ini membandingkan berbagai desain heat exchanger shell-and-tube aliran longitudinal bersekat (STHX) dengan tipe sekat segmental (SG-STHX). Data eksperimen menggunakan air bersih sebagai fluida kerja, dengan variasi laju alir sisi shell 1,79–7,42 m³/jam. RB-STHX menunjukkan efisiensi energi tertinggi dengan kerugian energi irreversible paling rendah dan tekanan sisi shell terkecil di bagian tube bundle (12%), dibandingkan SG-STHX dan LSHB-STHX yang mencapai 70%. Simulasi numerik lanjutan dilakukan untuk menganalisis kinerja termohidrolik RB-STHX, menunjukkan potensi besar dalam efisiensi energi dan pengembangan desain [11].

Javier Bonilla, dkk dalam penelitiannya menjelaskan bahwa banyak pembangkit listrik tenaga surya komersial menggunakan sistem penyimpanan panas tidak langsung dengan fluida kerja berupa minyak termal dan fluida penyimpanan berupa garam cair. Kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh strategi kontrol pada heat exchanger antara minyak dan garam cair, khususnya saat proses pengisian dan pelepasan energi. Heat exchanger tipe shell-and-tube umum digunakan dalam aplikasi ini. Untuk mendukung strategi kontrol cerdas, diperlukan model dinamis shell-and-tube yang akurat dan cepat. Oleh karena itu, berbagai model dengan tingkat kompleksitas berbeda telah dikaji dan divalidasi menggunakan data eksperimen dari fasilitas uji CIEMAT-PSA. Hasil simulasi dibandingkan dalam kondisi tunak dan transien untuk menentukan tingkat kompleksitas model yang optimal [9].

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan kajian untuk mengetahui kinerja dari pada alat penukar panas tersebut yang ideal dengan mensimulasi aliran fluida didalam shell. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji kinerja Alat penukar panas jenis shell and tube 61-103-C1 dengan menggunakan metode Komputasi Dinamika Fluida ditinjau dari medan alir, efektifitas penukaran kalor, dan tekanan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini melibatkan dua komponen utama. Komponen pertama adalah perangkat lunak, yang berperan sebagai alat utama dalam menjalankan seluruh proses simulasi. Komponen kedua adalah perangkat keras, yang

berfungsi sebagai platform operasional untuk mendukung kinerja perangkat lunak tersebut.

Dalam menjalankan proses simulasi tersebut, terdapat dua elemen utama yang mendukung kelancaran penelitian ini. Yang pertama adalah perangkat lunak sebagai alat inti untuk pemodelan, perhitungan, dan analisis simulasi. Yang kedua adalah perangkat keras, yang berfungsi sebagai platform untuk menjalankan perangkat lunak Ansys secara optimal. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian, mulai dari pemodelan geometri 3D hingga pelaksanaan simulasi, dilakukan menggunakan satu unit komputer utama dan beberapa laptop pendukung yang memiliki spesifikasi memadai untuk menjalankan perangkat lunak Ansys Workbench 17.2 secara optimal.

Objek yang disimulasikan dalam penelitian ini adalah heat exchanger tipe shell-and-tube, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam konteks ini, temperatur keluaran (Tout) dari masing-masing fluida menjadi parameter kunci yang merepresentasikan kinerja aktual heat exchanger di lapangan. Data tersebut digunakan sebagai acuan penting untuk proses validasi hasil simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent 17.2.

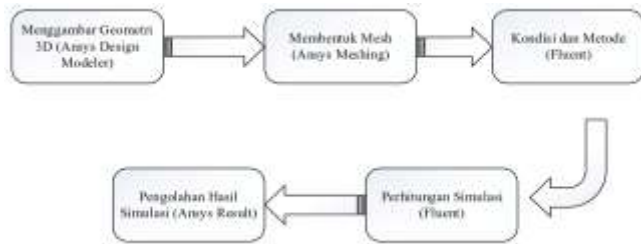


Gambar 1. Heat Exchanger Item 61-103-C1

Setelah seluruh tahap persiapan selesai—termasuk input data kondisi perhitungan dan pemilihan metode numerik—simulasi dapat dijalankan dengan menentukan jumlah iterasi yang diinginkan. Tahap ini merupakan salah satu bagian yang paling rentan terhadap terjadinya error, sehingga seluruh proses sebelumnya harus dilakukan secara cermat. Apabila terjadi kesalahan selama proses perhitungan, maka perlu dilakukan peninjauan ulang mulai dari pengumpulan data hingga verifikasi perhitungan untuk memastikan tidak adanya kekeliruan dalam input maupun konfigurasi simulasi.

Sebelum simulasi dijalankan, terdapat beberapa tahapan persiapan yang harus dilakukan. Secara umum, langkah-langkah tersebut meliputi pemodelan geometri 3D dari heat exchanger tipe shell-and-tube, pembentukan mesh pada setiap bagian geometri, serta penentuan kondisi batas dan metode perhitungan yang akan digunakan. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan iterasi perhitungan numerik hingga tercapai konvergensi hasil. Alur keseluruhan proses ini ditunjukkan pada Gambar 2., yang juga mencantumkan perangkat lunak pendukung yang digunakan selama

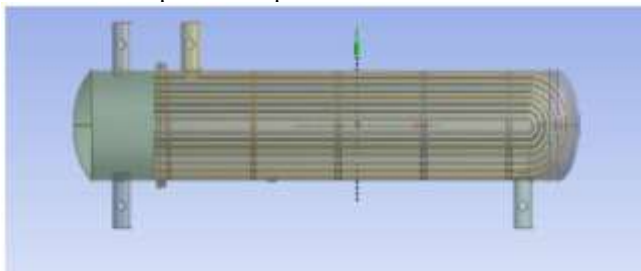
simulasi.



Gambar 2. Alur Proses Persiapan Simulasi

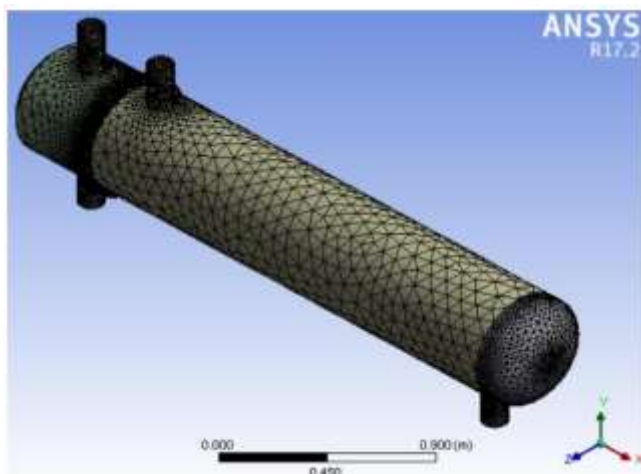
2.1. Penggambaran Geometri 3D

Dimensi dari alat penukar kalor yang digunakan dalam pengujian diukur terlebih dahulu, kemudian dibuat dalam bentuk model geometri 3D. Pemodelan ini dilakukan menggunakan DesignModeler yang terintegrasi dalam perangkat lunak Ansys. Visualisasi dari geometri yang telah dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Geometri Heat Exchanger

Setelah proses pemodelan geometri 3D selesai, tahap selanjutnya adalah pembentukan mesh menggunakan modul Ansys Meshing. Mesh ini berfungsi untuk membagi volume geometri menjadi elemen-elemen kecil agar dapat dianalisis menggunakan program Computational Fluid Dynamics (CFD), seperti Ansys Fluent. Ukuran dan kerapatan mesh sangat memengaruhi tingkat akurasi hasil simulasi serta beban komputasi yang dibutuhkan—semakin halus mesh yang digunakan, semakin teliti hasil perhitungannya, namun memerlukan waktu dan sumber daya komputasi yang lebih besar. Setelah proses meshing selesai, dilakukan pengecekan kualitas mesh menggunakan fitur report quality untuk memastikan mesh yang dihasilkan telah memenuhi kriteria simulasi numerik.



Gambar 4. Proses Meshing Ansys

2.2 Persiapan Kondisi dan Metode Perhitungan

Setelah proses meshing selesai dan kualitas mesh

dinyatakan baik, tahap berikutnya adalah penentuan kondisi perhitungan dan metode simulasi yang sesuai dengan jenis analisis yang akan dilakukan. Untuk memperoleh hasil simulasi yang representatif, pemilihan parameter fisik dan numerik harus disesuaikan dengan kondisi aktual eksperimen. Persiapan ini mencakup penentuan jenis material dan fluida yang digunakan beserta sifat-sifat termofisikanya, serta pengaturan kondisi batas (boundary conditions) sesuai data hasil pengujian eksperimental.

Data eksperimen yang dikumpulkan selama pengujian alat penukar kalor digunakan untuk mengisi variabel-variabel pada kondisi batas di Ansys Fluent, seperti temperatur masuk fluida. Selain itu, tahap ini juga melibatkan pengaturan material, baik material padat (solid) maupun fluida, melalui Ansys Workbench. Sifat-sifat material ini menjadi dasar dalam perhitungan, khususnya untuk menghitung penurunan tekanan dan efektivitas perpindahan kalor pada sistem yang disimulasikan.

3. Hasil dan Pembahasan

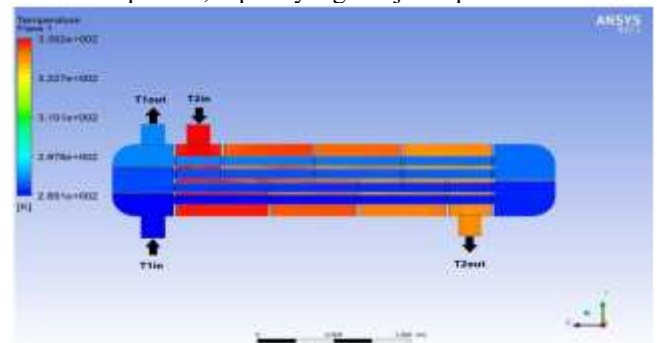
Hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan perilaku termal dan aliran fluida di dalam tabung saat heat exchanger tipe shell-and-tube beroperasi pada berbagai temperatur dan debit aliran yang telah ditentukan. Visualisasi hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk kontur distribusi temperatur, sebagaimana dihasilkan oleh Ansys Fluent 17.2 selama proses perhitungan.

Setiap hasil ditampilkan berdasarkan variasi temperatur masuk fluida panas untuk masing-masing kondisi debit aliran, sehingga memungkinkan untuk mengamati perubahan distribusi panas di sepanjang jalur perpindahan kalor. Visualisasi ini memberikan gambaran yang cukup jelas mengenai pola aliran dan penyebaran temperatur dalam heat exchanger saat beroperasi, serta memungkinkan dilakukan analisis terhadap kinerja termal alat secara kualitatif.

Dengan menggunakan tampilan kontur dari Ansys Fluent, perkembangan fluida dapat dianalisis secara visual, terutama dalam hal penyebaran panas, efektivitas pertukaran kalor, dan stabilitas distribusi temperatur antara fluida panas dan dingin. Informasi ini penting untuk mengevaluasi desain dan efektivitas heat exchanger dalam kondisi operasi yang divariasikan.

3.1 Profil Temperatur Heat Exchanger

Profil temperatur dari aliran gas dan uap merupakan salah satu parameter utama yang harus diperhatikan dalam proses perpindahan panas pada heat exchanger. Efektivitas perpindahan panas ini sangat berperan dalam menghasilkan uap panas yang diperlukan dalam tahapan proses produksi urea. Untuk menggambarkan distribusi temperatur di dalam heat exchanger, hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk kontur temperatur, seperti yang disajikan pada Gambar 5.



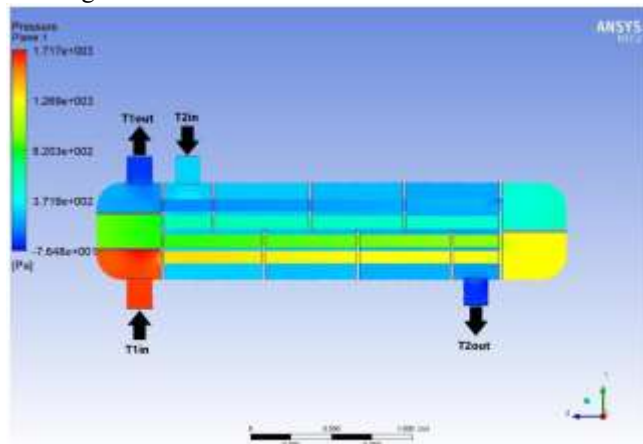
Gambar 5. Kontur Temperature Heat Exchanger

Berdasarkan Gambar 5., dapat diamati gradasi warna pada kontur temperatur yang menggambarkan penyebaran panas dari fluida panas dan dingin di dalam heat exchanger tipe shell-and-tube. Pada bagian inlet tube, temperatur awal fluida dingin tercatat sebesar 11,95°C, sedangkan pada outlet tube, temperatur fluida mengalami kenaikan hingga mencapai 19,35°C. Sementara itu, pada inlet shell, fluida panas masuk dengan temperatur 62,05°C, dan mengalami penurunan temperatur pada outlet shell hingga mencapai 49,55°C. Perbedaan temperatur ini menunjukkan bahwa perpindahan panas berlangsung secara efektif, di mana panas dari fluida panas berhasil ditransfer ke fluida dingin melalui dinding tube.

3.2 Profil Tekanan (Pressure) pada Heat Exchanger

Selain distribusi temperatur, profil tekanan dari aliran gas dan uap juga merupakan parameter penting dalam proses perpindahan panas di dalam heat exchanger. Melalui analisis tekanan, dapat diketahui variasi distribusi tekanan yang terjadi pada sisi shell maupun tube, yang memengaruhi efisiensi perpindahan panas dan performa sistem secara keseluruhan.

Visualisasi kontur tekanan dari hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 6., yang memperlihatkan bagaimana tekanan fluida berubah sepanjang jalur alirannya. Perbedaan tekanan ini juga dapat digunakan untuk mengevaluasi penurunan tekanan (pressure drop) yang terjadi, yang merupakan salah satu indikator penting dalam desain dan analisis sistem heat exchanger.



Gambar 6. Kontur Tekanan Heat Exchanger

Gambar 6 memperlihatkan kontur distribusi tekanan di dalam heat exchanger tipe shell-and-tube. Pada inlet tube, tekanan fluida tercatat sebesar 1717 Pa, sedangkan pada outlet tube, tekanan menurun drastis hingga mencapai -76,48 Pa. Di sisi shell, tekanan pada inlet shell berada pada 371 Pa, sementara pada outlet shell, tekanan juga mengalami penurunan dan berada di kisaran -76,48 Pa.

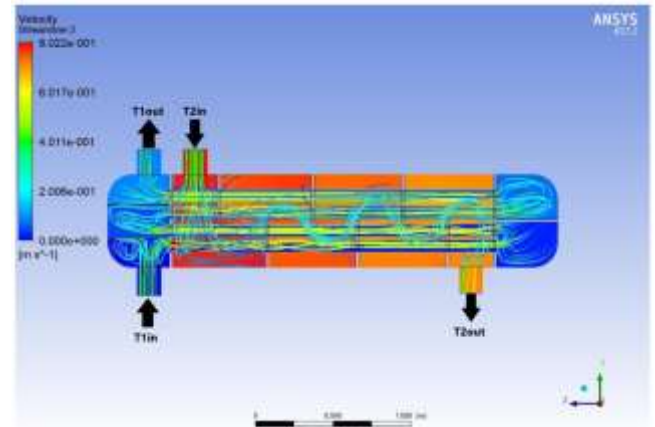
Perbedaan tekanan yang signifikan antara inlet dan outlet pada kedua sisi menunjukkan adanya penurunan tekanan (pressure drop) yang terjadi akibat gesekan dan perubahan kecepatan aliran selama proses perpindahan panas. Penurunan tekanan ini merupakan faktor penting yang perlu diperhitungkan dalam desain dan evaluasi kinerja heat exchanger.

3.3 Profil Kecepatan Aliran (Velocity) pada Heat Exchanger

Selain temperatur dan tekanan, profil kecepatan aliran (velocity) dari gas dan uap juga merupakan parameter

penting yang memengaruhi proses perpindahan panas di dalam heat exchanger. Variasi kecepatan aliran memengaruhi laju perpindahan panas konvektif serta pola distribusi fluida di sepanjang saluran tube dan shell.

Distribusi kecepatan fluida divisualisasikan dalam bentuk kontur velocity, seperti yang ditampilkan pada Gambar 7. Melalui kontur ini, dapat diamati perubahan kecepatan aliran antara inlet dan outlet baik pada sisi shell maupun tube. Analisis profil kecepatan ini memberikan gambaran mengenai karakteristik aliran, apakah bersifat laminar atau turbulen, serta membantu mengevaluasi efisiensi perpindahan panas dalam sistem heat exchanger.



Gambar 7. Kontur Velocity Heat Exchanger

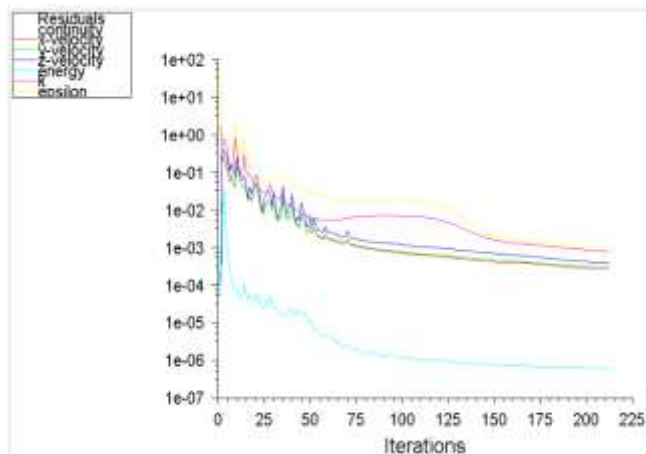
Gambar 7. menampilkan kontur kecepatan (velocity) dari aliran fluida di dalam heat exchanger tipe shell-and-tube. Pada inlet tube, kecepatan fluida tercatat sebesar 4,011 m/s, sementara di sepanjang saluran tube, kecepatan bervariasi antara 4,011 m/s hingga 6,017 m/s. Pada outlet tube, kecepatan fluida meningkat menjadi 4,500 m/s, menandakan adanya percepatan aliran seiring berlangsungnya proses perpindahan panas.

Di sisi shell, kecepatan inlet berada pada 3,942 m/s, dan bervariasi antara 2,006 m/s hingga 4,011 m/s di sepanjang jalur aliran di dalam shell. Kecepatan maksimum terjadi di outlet shell, yaitu sebesar 6,017 m/s. Pola distribusi kecepatan ini mengindikasikan adanya perubahan karakteristik aliran yang turut memengaruhi efisiensi perpindahan panas di dalam sistem.

3.4 Simulasi Konvergensi

Simulasi konvergensi diperlukan untuk memastikan bahwa hasil perhitungan numerik pada outlet shell dan tube heat exchanger telah mencapai kondisi stabil dan akurat. Konvergensi memberikan indikator keandalan nilai parameter fisik, seperti temperatur, kecepatan, dan tekanan, yang menjadi dasar dalam analisis laju perpindahan panas.

Dalam simulasi CFD menggunakan Ansys Fluent, proses konvergensi ditunjukkan melalui scaled residuals, yang meliputi parameter continuity, x-velocity, y-velocity, z-velocity, energy, k, dan epsilon. Semua parameter ini harus menunjukkan nilai residual yang menurun secara konsisten dan berada dalam batas toleransi tertentu, untuk menyatakan bahwa solusi telah mencapai konvergensi numerik. Grafik scaled residuals ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Scaled residuals

Gambar 8. memperlihatkan grafik scaled residuals dari parameter continuity, x-velocity, y-velocity, z-velocity, energy, k, dan epsilon, terhadap jumlah iterasi simulasi yang dilakukan hingga mencapai 225 iterasi. Residual ini merupakan indikator seberapa besar kesalahan numerik yang masih tersisa pada setiap langkah iterasi.

Penurunan nilai residual secara signifikan hingga berada di bawah ambang batas yang ditentukan (umumnya 10^{-3} hingga 10^{-6}) menunjukkan bahwa simulasi telah mencapai kondisi konvergen, artinya solusi numerik stabil dan dapat dipercaya. Iterasi dalam konteks ini adalah jumlah langkah perhitungan numerik yang dilakukan untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial yang mewakili aliran dan perpindahan panas di dalam heat exchanger.

3.4 Beda Suhu Rata-Rata Log (LMTD) dan Efektifitas

Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja perpindahan panas pada sistem heat exchanger. Berdasarkan data temperatur fluida panas dan fluida dingin pada inlet dan outlet, nilai LMTD yang diperoleh adalah $40,09^{\circ}\text{C}$. Nilai ini menunjukkan selisih temperatur rata-rata logaritmik antara dua fluida yang mengalir dalam heat exchanger dan menjadi dasar dalam menghitung laju perpindahan panas.

Selain itu, parameter efektivitas heat exchanger juga dianalisis untuk menilai sejauh mana kinerja perpindahan panas berlangsung dibandingkan dengan kondisi ideal. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai efektivitas sebesar 24,95%, yang menunjukkan bahwa hanya sekitar seperempat dari panas maksimum yang mungkin ditransfer telah benar-benar ditransfer antara fluida panas dan dingin.

Efektivitas perpindahan panas sebesar 24,95% ini masih dapat diterima dalam sistem, dan memungkinkan proses pemanasan fluida berjalan sesuai kebutuhan. Nilai ini juga mengindikasikan adanya peluang untuk meningkatkan efisiensi sistem agar proses pemanasan—seperti dalam pembuatan urea—dapat berlangsung lebih optimal.

3.5 Perbandingan Nilai Simulasi

Berdasarkan hasil penelitian, dilakukan perbandingan antara data hasil simulasi dengan data proses aktual untuk parameter temperatur dan tekanan pada heat exchanger. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent berbasis komputasi dinamika fluida (CFD).

Pada sisi temperatur, hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu inlet fluida panas (shell side) sebesar $62,05^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu outlet-nya sebesar $49,55^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, fluida dingin pada sisi tube memiliki suhu masuk sebesar $11,95^{\circ}\text{C}$ dan keluar sebesar $19,35^{\circ}\text{C}$. Meskipun terdapat perbedaan dengan data desain dan proses aktual, hasil simulasi menunjukkan tren perpindahan panas yang konsisten dengan kondisi lapangan.

Dari sisi tekanan, simulasi memperlihatkan bahwa tekanan inlet pada sisi shell sebesar 371 Pa, dan outlet-nya turun menjadi -76,48 Pa. Untuk sisi tube, tekanan masuk tercatat sebesar 1717 Pa, dan turun menjadi -76,48 Pa pada outlet. Perbandingan ini menunjukkan adanya penurunan tekanan yang cukup signifikan, sesuai dengan karakteristik aliran fluida dalam sistem shell-and-tube heat exchanger.

Secara keseluruhan, hasil simulasi temperatur dan tekanan memperlihatkan pola yang searah dengan data proses aktual, sehingga dapat disimpulkan bahwa model simulasi mampu merepresentasikan kondisi kerja heat exchanger secara representatif.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi aliran gas dan uap air (steam) yang ditinjau dari profil temperatur, tekanan, dan kecepatan aliran menunjukkan variasi yang signifikan di sepanjang lintasan fluida dalam heat exchanger. Untuk aliran gas pada sisi shell, distribusi temperatur menunjukkan bahwa temperatur inlet berada pada $62,05^{\circ}\text{C}$ dan mengalami penurunan pada outlet menjadi sekitar $49,55^{\circ}\text{C}$. Tekanan pada sisi shell juga mengalami penurunan, dari 371 Pa di inlet menjadi sekitar -76,48 Pa di outlet. Sementara itu, pada profil kecepatan aliran, fluida memasuki shell dengan kecepatan 3,942 m/s dan meningkat menjadi 6,017 m/s pada outlet, menunjukkan adanya percepatan aliran sebagai akibat dari perpindahan panas dan perubahan densitas fluida. Sementara itu, untuk fluida air pada sisi tube, temperatur inlet tercatat sebesar $11,95^{\circ}\text{C}$ dan meningkat menjadi $19,35^{\circ}\text{C}$ pada outlet, menandakan terjadinya perpindahan panas dari fluida gas ke fluida air. Profil tekanan di sisi tube menunjukkan nilai sebesar 1717 Pa pada inlet dan menurun menjadi -76,48 Pa pada outlet. Dari sisi kecepatan, fluida air memasuki tube dengan kecepatan 4,011 m/s, kemudian bervariasi antara 4,011 m/s hingga 6,017 m/s di sepanjang tube, dan keluar dengan kecepatan 4,500 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa proses perpindahan panas berlangsung secara efektif, dengan kecenderungan peningkatan temperatur pada sisi fluida dingin dan penurunan temperatur pada sisi fluida panas, serta penurunan tekanan yang wajar di sepanjang jalur aliran akibat resistansi hidrodinamik dalam sistem.

Referensi

- [1] P. Coniwanti, F. Zamali, and V. L. Rance, "Evaluasi efisiensi heat exchanger di refinery plant industri minyak goreng," *J. Tek. Kim.*, vol. 25, no. 1, pp. 18–20, 2019.
- [2] J. P. Holman, "Heat Transfer-Natural Convection Systems, Chap. 7," *McGraw-Hill, New York*, pp. 327–378, 2010.
- [3] W. ELVRIANTI, "Analisa Pengaruh Kecepatan Fluida Panas Aliran Berlawanan Terhadap Karakteristik Heat

Exchanger Tipe Shell and Tube (Analysis Effect Of Hot Fluid Flow Rate With Counter Current To Characteristic Heat Exchanger Type shell and Tube).” undip, 2017.

- [4] S. Wang, S. He, M. Wang, W. Tian, G. H. Su, and S. Qiu, “Two parallel methods for the three-dimensional CFD coupling simulation of shell and tube heat exchangers,” *Ann. Nucl. Energy*, vol. 199, p. 110374, May 2024, doi: 10.1016/j.anucene.2024.110374.
- [5] M. M. Rashidi, I. Mahariq, M. Alhuyi Nazari, O. Accouche, and M. M. Bhatti, “Comprehensive review on exergy analysis of shell and tube heat exchangers,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 147, no. 22, pp. 12301–12311, Nov. 2022, doi: 10.1007/s10973-022-11478-2.
- [6] P. Bichkar, O. Dandgaval, P. Dalvi, R. Godase, and T. Dey, “Study of Shell and Tube Heat Exchanger with the Effect of Types of Baffles,” *Procedia Manuf.*, vol. 20, pp. 195–200, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.028.
- [7] M. R. Saffarian, F. Fazelpour, and M. Sham, “Numerical study of shell and tube heat exchanger with different cross-section tubes and combined tubes,” *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 33–46, Mar. 2019, doi: 10.1007/s40095-019-0297-9.
- [8] A. A. Abd, M. Q. Kareem, and S. Z. Naji, “Performance analysis of shell and tube heat exchanger: Parametric study,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, pp. 563–568, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.csite.2018.07.009.
- [9] J. Bonilla, A. de la Calle, M. M. Rodríguez-García, L. Roca, and L. Valenzuela, “Study on shell-and-tube heat exchanger models with different degree of complexity for process simulation and control design,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 124, pp. 1425–1440, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.06.129.
- [10] A. S. Ambekar, R. Sivakumar, N. Anantharaman, and M. Vivekenandan, “CFD simulation study of shell and tube heat exchangers with different baffle segment configurations,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 108, pp. 999–1007, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.013.
- [11] N. Li *et al.*, “Analysing thermal-hydraulic performance and energy efficiency of shell-and-tube heat exchangers with longitudinal flow based on experiment and numerical simulation,” *Energy*, vol. 202, p. 117757, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117757.
- [12] A. Azwinur and Z. Zulkifli, “Kaji Eksperimental Pengaruh Baffle Pada Alat Penukar Panas Aliran Searah Dalam Upaya Optimasi Sistem Pengerling,” *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 8–14, 2019.
- [13] Y. Maghsoudali, A. Rastegarkoutenaci, M. Sahami, and M. G. Bandpy, “Investigation of the effect of using the finned tubes on the performance of shell and tube heat exchanger by 3D modeling,” *J. Energy Storage*, vol. 56, p. 106031, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.106031.