

**SIMULASI NUMERIK PENGARUH *PITCH HELICAL FIN* TERHADAP
PRESSURE DROP PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER***

Ahmad Danial Khalfatirius

S1 Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: ahmad.17050754071@mhs.unesa.ac.id

I Made Arsana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: madearsana@unesa.ac.id

Abstrak

Double pipe heat exchanger adalah *heat exchanger* paling sederhana sekaligus banyak digunakan. Penggunaan *helical fin* pada *double pipe heat exchanger* bertujuan untuk menimbulkan aliran turbulen pada sisi *outer pipe*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *pitch helical fin* terhadap *pressure drop double pipe heat exchanger*. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut tentang *pitch helical fin* yang berbeda terhadap *pressure drop* dari *double pipe heat exchanger*. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik menggunakan *software CFD (Computational Fluid Dynamic)*, yaitu ANSYS Fluent R19.2 dengan memvariasikan *pitch helical fin* yang berbeda, yaitu: 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Pemodelan yang digunakan adalah model tiga dimensi (3D) menggunakan *software Autodesk Inventor 2019*. Pada *fluent* digunakan pemodelan 3D *steady flow* dengan mengaktifkan persamaan energi dan memilih *k-ε (k-epsilon) RNG enhanced wall treatment* sebagai model viskosnya. *Output* dari penelitian ini ditampilkan secara kualitatif berupa visualisasi kontur, grafik, dan tabel kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh *pitch helical fin* yang berbeda terhadap *pressure drop* dari *double pipe heat exchanger*. Dari hasil penelitian diperoleh nilai *pressure drop* sebesar 906,29 Pa, 331,10 Pa, dan 198,26 Pa pada tiap variasi *pitch helical fin* 20 mm, 30 mm, dan 40 mm.

Kata Kunci: *computational fluid dynamic, double pipe heat exchanger, pitch helical fin, pressure drop*

Abstract

The double pipe heat exchanger is the simplest yet widely used heat exchanger. The use of helical fins on the double pipe heat exchanger aims to cause turbulent flow on the outer pipe side. This study aims to determine the effect of helical fin pitch on the pressure drop of double pipe heat exchanger. Therefore, further research is needed on the different helical fin pitches to the pressure drop of the double pipe heat exchanger. The research method used is numerical simulation using CFD (Computational Fluid Dynamic) software, namely ANSYS Fluent R19.2 by varying the helical fin pitch, different, namely: 20 mm, 30 mm, and 40 mm. The modeling used is a three-dimensional (3D) model using the Autodesk Inventor 2019 software. In fluent 3D steady flow modeling is used by activating the energy equation and selecting *k-ε (k-epsilon) RNG enhanced wall treatment* as the viscous model. The output of this research is presented qualitatively in the form of contour visualization, graphs, and tables and then analyzed to determine the effect of different helical fin pitches on the pressure drop of the double pipe heat exchanger. From the results of the study, the pressure drop values were 906,29 Pa, 331,10 Pa, and 198,26 Pa for each variation of the helical fin pitch of 20 mm, 30 mm, and 40 mm.

Keywords: *computational fluid dynamic, double pipe heat exchanger, pitch helical fin, pressure drop*

PENDAHULUAN

Heat exchanger merupakan alat yang berfungsi untuk melakukan pertukaran energi panas antara aliran fluida yang memiliki perbedaan suhu dan dapat terjadi melalui kontak langsung maupun kontak tidak langsung (Rozi & Arsana, 2021). Penerapannya sangat luas, terutama pada industri makanan, minuman, maupun industri proses yang lain (Pramesti & Arsana, 2020). Berdasarkan konfigurasi aliran, *heat exchanger* diklasifikasikan dalam

empat kelompok, yaitu *parallel-flow, counter-flow, cross-flow*, dan *hybrid* (Nada & Arsana, 2021). Terdapat berbagai jenis *heat exchanger*, antara lain *shell and tube, double pipe, plate fin, adiabatic wheel*, dan sebagainya (Soegijarto & Arsana, 2021).

Salah satu *heat exchanger* yang paling sederhana dan banyak digunakan adalah *double pipe heat exchanger*, yaitu merupakan jenis *heat exchanger* yang terdiri dari struktur *pipe in pipe* (Anggoro & Arsana, 2022). Seperti namanya, *double pipe heat exchanger* terdiri dari dua

pipa di mana satu pipa berada di dalam pipa yang lain. Terdapat dua fluida yang mengalir, satu fluida mengalir di *inner pipe*, dan yang lainnya mengalir di *outer pipe*. *Double pipe heat exchanger* dapat digunakan pada suhu tinggi, tekanan tinggi, dan pada viskositas tinggi (Kumar & Kesharwani, 2020).

Double pipe heat exchanger banyak digunakan untuk berbagai proses industri dan bidang penelitian, seperti dalam proses pendingin udara, sistem konversi, dan untuk pemanas dalam proses kimiawi. *Double pipe heat exchanger* juga memiliki kelebihan yaitu konstruksi yang mudah, biaya pemasangan rendah, dan *maintenance* mudah sehingga memudahkan pengguna untuk mengoperasikannya (Maakoul et al., 2017).

Dalam penelitian Thejaraju & Girish (2019), disebutkan bahwa untuk meningkatkan laju perpindahan panas pada *double pipe heat exchanger*, maka dapat dilakukan penambahan sirip (*fin*). Salah satu jenis *fin* yang sering digunakan adalah *helical fin*, yaitu *fin* berbentuk spiral (*helic*) melingkar pada sisi *surface pipe* yang jenisnya dibagi berdasarkan jarak antara titik puncak sirip atau *pitch fin* (Maakoul et al., 2017).

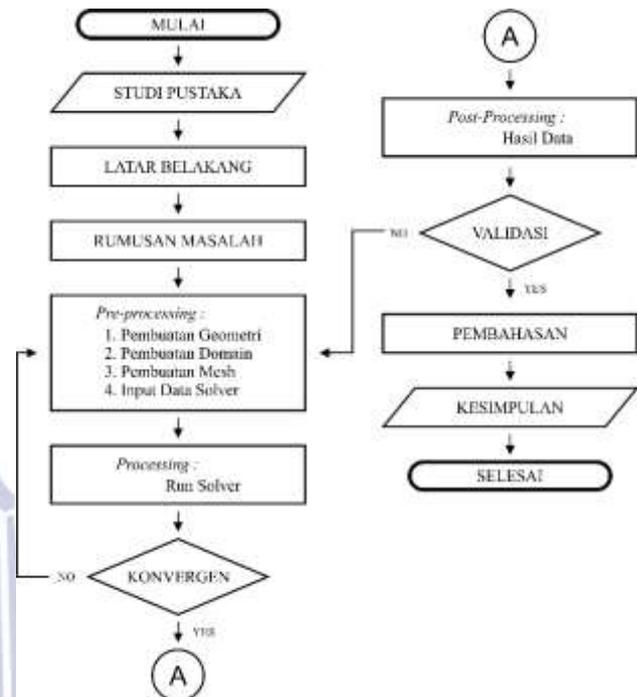
Penggunaan *helical fin* dapat berpengaruh pada *pressure drop double pipe heat exchanger* dimana pada *pitch helical fin* 0,2 m, 0,1 m, 0,067 m, dan 0,05 m menghasilkan *pressure drop* 1,3, 2,4, 4,1, dan 6,7 kali lebih tinggi dari pada sisi anulus konvensional (Maakoul et al., 2017). Pada hasil penelitian Mozafarie & Javaherdeh (2019) menunjukkan bahwa semakin kecil *pitch helical fin* menyebabkan kecepatan tinggi di anulus dan meningkatkan *pressure* dengan hasil *pressure drop* 99 kPa, 81 kPa, 63 kPa, 45 kPa pada masing-masing variasi *pitch helical fin* 25 mm, 33,33 mm, 50 mm dan 100 mm.

Penelitian ini terfokus pada pengaruh penggunaan *pitch helical fin* terhadap *pressure drop double pipe heat exchanger* dimana penelitian ini perlu dilakukan karena peningkatan nilai *pressure drop* akan menimbulkan biaya operasional yang tinggi (Mozafarie et al., 2020).

METODE

Jenis Penelitian

Metode pendekatan pada penelitian ini adalah metode simulasi numerik berbasis metode komputasi. Dengan menggunakan simulasi numerik berbasis komputasi CFD, dapat mempermudah peneliti untuk memperoleh parameter-parameter hasil pengujian tanpa eksperimen aktual. Simulasi numerik ini membantu mengetahui pola distribusi tekanan pada *double pipe heat exchanger* dengan pengaruh menggunakan *pitch helical fin* yang berbeda yaitu 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Nilai-nilai parameter yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk kontur, tabel, dan grafik.



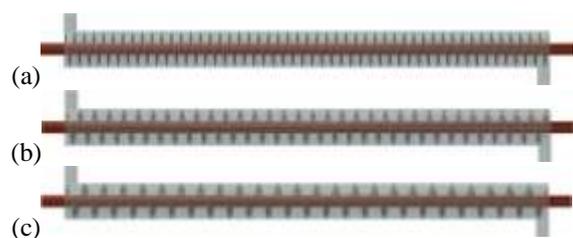
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
Variabel bebas pada penelitian ini adalah *pitch helical fin* yang berbeda, yaitu 20 mm, 30 mm, dan 40 mm.
- Variabel Terikat
Variabel terikat pada penelitian ini adalah distribusi fluida pada *double pipe heat exchanger* untuk didapatkan *pressure drop*.
- Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu:
 - Debit aliran fluida sisi *outer pipe* ditentukan sebesar 4 lpm dan di sisi *inner pipe* sebesar 6 lpm.
 - Dimensi *double pipe heat exchanger*.

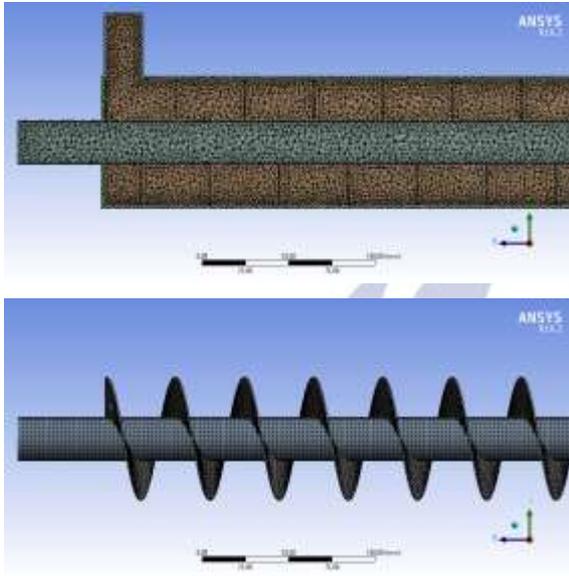
Teknik Pengumpulan Data

- Instrumen Penelitian
- Instrumen penelitian ini menggunakan *software* ANSYS FLUENT R19.2.
- Tahap Pengumpulan Data
- Tahap *Preprocessing*
Tahap pertama adalah pembuatan geometri model 3D dari *double pipe heat exchanger* menggunakan *helical fin* ini menggunakan *software* Autodesk Inventor 2019. Berikut gambar hasil pemodelan geometri yang telah dibuat:



Gambar 2. *Double Pipe Heat Exchanger* dengan variasi *Pitch Helical Fin* yang Berbeda (a) 20 mm (b) 30 mm (c) 40 mm

Selanjutnya, dari hasil pemodelan dilakukan proses *meshing* sehingga dapat dilakukan proses *solving*. Proses pembuatan *mesh* dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Meshing R19.2 dengan bentuk *meshing tetrahedron* (piramida segitiga) karena bentuk segitiga lebih fleksibel dan mudah untuk menyesuaikan berbagai bentuk dan pola geometri yang akan melalui proses *meshing* (Aspriliansyah & Adiwibowo, 2020).



Gambar 3. Hasil Meshing Double Pipe Heat Exchanger

Tahapan selanjutnya adalah menentukan kondisi batas. Kondisi batas berfungsi sebagai acuan simulasi pada tahap *solving*. Dalam penelitian ini, kondisi batas *mass flow inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya (Arsana et al., 2020). Kondisi batas ini hanya digunakan pada aliran *incompressible*.

Tabel 1. Kondisi Batas Double Pipe Heat Exchanger

No.	Properti	Kondisi batas
1	Inlet	Mass Flow Inlet
2	Outer Pipe	Adiabatic Wall
3	Inner Pipe	Convection Wall
4	Helical Fin	Adiabatic Wall
5	Outlet	Pressure Outlet

- Processing/Solving

Pada tahapan *processing*, semua kondisi yang sudah ditetapkan akan melalui tahap perhitungan (iterasi) dengan harapan tercapai hasil yang konvergen. Jika belum tercapai hasil yang konvergen, maka *mesh* perlu diperbaiki, atau kembali ke tahap awal untuk memperbaiki geometri. Namun, jika hasil yang didapat telah konvergen, maka dapat melanjutkan ke tahap *post-processing*.

- Post-Processing

Pada tahap ini, hasil dari iterasi ditampilkan dalam bentuk data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif berupa data distribusi temperatur dan

tekanan. Kemudian, data yang bersifat kualitatif ditampilkan secara visual berupa kontur temperatur dan tekanan.

Teknik Analisis Data

Nilai *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* dihitung menggunakan persamaan berikut (Putra & Arsana, 2017):

$$\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet}$$

Dimana:

P_{inlet} = Tekanan pada sisi *inlet* (Pa)

P_{outlet} = Tekanan pada sisi *outlet* (Pa)

Sehingga nilai *pressure drop* dapat diketahui, lalu data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grid Independance

Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran *mesh* yang paling baik, sehingga mendapatkan hasil simulasi yang akurat. Hal tersebut dikarenakan *size mesh* pada suatu objek sangat berpengaruh terhadap ketelitian hasil yang akan diperoleh dan waktu yang dibutuhkan pada proses komputasi (Afandi & Arsana, 2018). Oleh sebab itu, maka pengaturan *size mesh* dapat disesuaikan dengan perangkat komputer yang digunakan.

Tabel 2. Variasi Ukuran Mesh pada Outer dan Inner Pipe

Interval Size		Element Type	Jumlah Nodes	Jumlah Element	Mesh Quality
Outer Pipe	Inner Pipe				
2 mm	2 mm	Tetrahedron	670494	2917610	0,82255
2 mm	3 mm	Tetrahedron	614205	2629809	0,82019
3 mm	2 mm	Tetrahedron	581024	2629809	0,82658
3 mm	3 mm	Tetrahedron	524735	2465422	0,82423

Pada tabel diatas, dapat dilihat bahwa penelitian ini menggunakan *interval size* yang berbeda pada *outer pipe* dan *inner pipe*. Dapat dilihat pula, bahwa *mesh quality* menunjukkan nilai yang merata pada angka 0,82, hal tersebut menunjukkan bahwa *mesh* memiliki kualitas yang baik (Akbar & Arsana, 2020). Dari beberapa variasi *interval size* yang terdapat dalam penelitian ini, kemudian dilakukan *grid independency* untuk mengetahui nilai *error* terkecil dan nilai temperatur keluar yang paling mendekati data eksperimen, dengan demikian akan diketahui variasi *interval size* yang terbaik. Berikut merupakan *grid independency* dari variasi *interval size* tersebut:

Tabel 3. Grid Independency pada DPHE

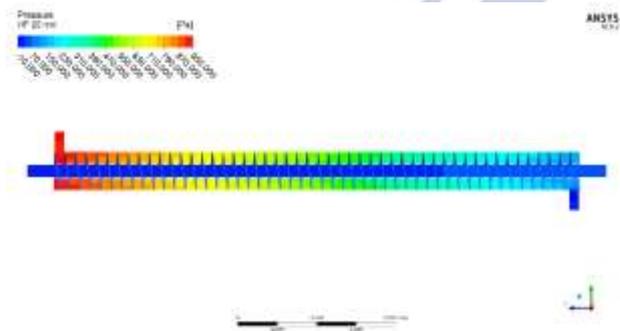
No.	Penelitian	P_{in} (Pa)	P_{out} (Pa)	Error (%)	
1	Eksperimen Peneliti	242,40	44,70	0	
2	Simulasi/Interval Size (Outer Pipe, Inner Pipe)	(2,2)	243,59	45,89	1,58
3		(2,3)	241,91	43,64	1,28
4		(3,2)	245,13	45,41	1,36
5		(3,3)	243,62	46,11	1,83

Tabel di atas menunjukkan nilai tekanan dan *error* yang berbeda dari setiap *interval size* yang digunakan dalam penelitian ini. *Interval size* memiliki pengaruh penting terhadap ketelitian hasil yang akan didapat. Begitu pula dengan nilai *error*, dimana semakin kecil nilai *error* akan menghasilkan data simulasi numerik yang semakin baik,

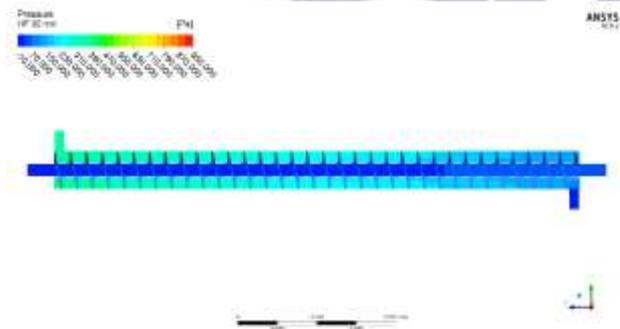
dan data tersebut akan semakin mendekati data hasil eksperimen atau dapat dikatakan valid. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Arsana et al., (2016), yang menyatakan bahwa data hasil simulasi numerik dapat dikatakan baik dan akurat apabila memiliki nilai *error* yang relatif kecil, yaitu di bawah 5%. Dari tabel 3, dapat diketahui bahwa seluruh nilai *error* dibawah 5%, namun demikian nilai *error* yang terkecil adalah 1,28%, sehingga proses simulasi numerik pada variasi *pitch helical fin* lainnya dapat dilanjutkan menggunakan *interval size* dengan ukuran *outer pipe* 2 mm dan *inner pipe* 3 mm, dimana *error* pada variasi *interval size* tersebut memiliki nilai terkecil.

Hasil Kontur Tekanan

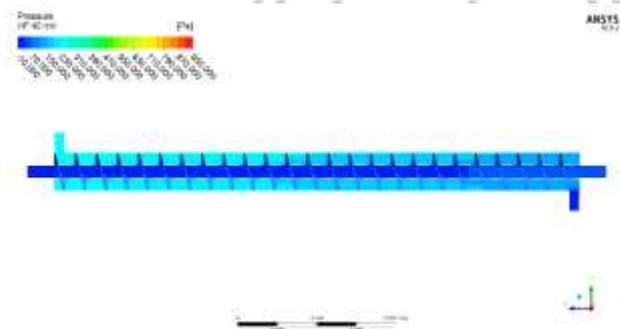
Berikut merupakan kontur tekanan dari hasil simulasi numerik *double pipe heat exchanger* yang menggunakan variasi *pitch helical fin* 20 mm, 30 mm, dan 40 mm.



Gambar 4. Kontur Tekanan *Pitch Helical Fin* 20 mm



Gambar 5. Kontur Tekanan *Pitch Helical Fin* 30 mm



Gambar 6. Kontur Tekanan *Pitch Helical Fin* 40 mm

Hasil simulasi numerik pada kontur tekanan menunjukkan di sisi *inner pipe* memiliki dua gradasi warna yang sama pada tiap variasi *pitch helical fin* yaitu biru tua ke biru. Sedangkan di sisi *outer pipe* terdapat perbedaan gradasi

warna yang signifikan dimana pada *pitch helical fin* 20 mm memiliki gradasi warna yang lebih banyak dibandingkan dengan *pitch helical fin* 30 mm dan 40 mm. Dari hal tersebut, dapat diketahui bahwa variasi *pitch helical fin* memengaruhi distribusi tekanan dan dapat dilihat distribusi kontur pada *pitch helical fin* 20 mm menunjukkan penurunan tekanan secara signifikan. Selain itu, terjadinya *pressure drop* juga disebabkan oleh beberapa hal yaitu pada sisi *inner pipe* disebabkan adanya *major head loss* yang terjadi di sepanjang dinding *tube*, sedangkan pada sisi *outer pipe* disebabkan oleh adanya *minor head loss* yang terjadi pada *inlet* dan *outlet*.

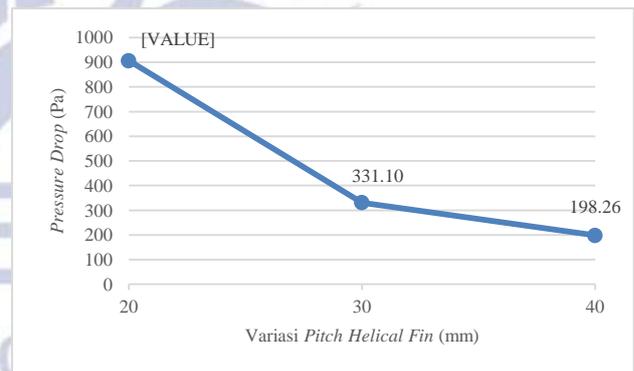
Pressure Drop pada Double Pipe Heat Exchanger

Hasil simulasi menunjukkan distribusi tekanan yang terjadi pada *double pipe heat exchanger* dengan variasi *pitch helical fin*. Data hasil simulasi yang telah didapat akan dihitung nilai *pressure drop* dari *double pipe heat exchanger*. Berikut merupakan nilai *pressure drop* dari *double pipe heat exchanger* pada seluruh variasi *pitch helical fin*:

Tabel 4. Nilai *Pressure Drop* pada DPHE

Variasi <i>Pitch Helical Fin</i>	<i>Press In</i> (Pa)	<i>Press Out</i> (Pa)	<i>Pressure Drop</i> (Pa)
20 mm	946,345	40,053	906,29
30 mm	377,820	46,719	331,10
40 mm	241,905	43,643	198,26

Dari tabel 4 hasil perhitungan nilai *pressure drop* di atas, diperoleh grafik hubungan antara variasi *pitch helical fin* terhadap nilai *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* sebagai berikut:



Gambar 7. Pengaruh Variasi *Pitch Helical Fin* terhadap Nilai *Pressure Drop* pada *Double Pipe Heat Exchanger*

Grafik di atas menunjukkan nilai *pressure drop* variasi *pitch helical fin* 20 mm adalah sebesar 906,29 Pa, pada variasi *pitch helical fin* 30 mm adalah sebesar 331,10 Pa, dan variasi variasi *pitch helical fin* 40 mm adalah sebesar 198,26 Pa. Maka, dapat diketahui bahwa variasi *pitch helical fin* 20 mm memiliki nilai *pressure drop* tertinggi jika dibandingkan dengan variasi *pitch helical fin* 30 mm dan 40 mm.

Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil *pitch helical fin*, maka semakin tinggi nilai *pressure drop* yang dihasilkan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Mozafarie & Javaherdeh, (2019), dimana

semakin kecil *pitch helical fin* menyebabkan kecepatan tinggi di anulus dan meningkatkan *pressure* dengan hasil *pressure drop* 99 kPa, 81 kPa, 63 kPa, 45 kPa pada masing-masing variasi *pitch helical fin* 25 mm, 33,33 mm, 50 mm dan 100 mm.

Sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya pada kontur tekanan, bahwa fenomena terjadinya *pressure drop* dapat disebabkan beberapa hal, yaitu pada sisi *inner pipe* disebabkan adanya *major head loss* yang terjadi di sepanjang dinding *tube*, sedangkan pada sisi *outer pipe* disebabkan oleh adanya *minor head loss* yang terjadi pada *inlet* dan *outlet*. Selain itu, terdapat dua faktor lain yang memberikan pengaruh cukup signifikan terhadap nilai *pressure drop*, yaitu *pitch helical fin* dan geometri *outer pipe*. Semakin kecil *pitch helical fin* mengakibatkan fluida di sisi *outer pipe* mengalami peningkatan kecepatan rata-rata karena berkurangnya penampang anulus dan terjadi kontak besar antara fluida dengan dinding *helical fin* yang mengakibatkan peningkatan *pressure drop* (Mozafarie & Javaherdeh, 2019). Selain itu, geometri *outer pipe* juga memengaruhi luas penampang aliran fluida di sisi *outer pipe*. Semakin pendek dan kecil geometri *outer pipe*, maka semakin sempit penampang aliran fluida di sisi *outer pipe* yang mengakibatkan peningkatan *pressure drop*. Beberapa faktor tersebutlah yang memengaruhi penurunan tekanan atau *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger*.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik mengenai pengaruh *pitch helical fin* terhadap *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* menggunakan variasi *pitch helical fin* 20 mm, 30 mm, dan 40 mm diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Terdapat pengaruh variasi *pitch helical fin* terhadap *pressure drop* dari *double pipe heat exchanger*. Nilai *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* dengan variasi *pitch helical fin* 20 mm adalah sebesar 906,29 Pa, pada variasi *pitch helical fin* 30 mm adalah sebesar 331,10 Pa, dan variasi variasi *pitch helical fin* 40 mm adalah sebesar 198,26 Pa.
- *Pressure drop* mengalami kenaikan seiring dengan berkurangnya *pitch helical fin*. Hal ini disebabkan semakin kecil *pitch helical fin* mengakibatkan fluida di sisi *outer pipe* mengalami peningkatan kecepatan rata-rata karena berkurangnya penampang anulus dan terjadi kontak besar antara fluida dengan dinding *helical fin* yang mengakibatkan peningkatan *pressure drop*.

Saran

Berdasarkan penelitian simulasi numerik mengenai pengaruh *pitch helical fin* terhadap *pressure drop double pipe heat exchanger* menggunakan variasi *pitch helical fin* 20 mm, 30 mm, dan 40 mm yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan yakni:

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kecepatan fluida yang masuk terhadap *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* menggunakan *helical fin*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, N., & Arsana, I. M. (2018). Simulasi Performansi Heat Exchanger Tipe Shell and Tube dengan Helical Baffle dan Disk and Doughnut Baffle. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 61–68.
- Akbar, F. R., & Arsana, I. M. (2020). Effect of wire pitch on capacity of single staggered wire and tube heat exchanger using computational fluid dynamic simulation. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 33(8), 1637–1642. <https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.08b.22>
- Anggoro, F. S. D., & Arsana, I. M. (2022). Rancang Bangun Fin Tipe Helical pada Penukar Panas Double Pipe. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 35–40.
- Arsana, I. M., Budhikardjono, K., Susianto, & Altway, A. (2016). Modelling of the Single Staggered Wire and Tube Heat Exchanger. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(8), 5591–5599.
- Arsana, I. M., Putra, Y. R. R., Sari, H. N., Nurjannah, I., & Wahyuono, R. A. (2020). Optimized Hydraulic Diameter and Operating Condition of Tube Heat Exchanger for Food Industry – A Numerical Study. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(6), 329–338.
- Aspriliansyah, I. P., & Adiwibowo, P. H. (2020). Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 31–40.
- Kumar, P., & Kesharwani, V. (2020). Thermal Performance Analysis of Double Pipe Heat Exchangers with Straight and Helical Fins. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 6(9), 135–140.
- Maakoul, A. El, Laknizi, A., Saadeddine, S., Abdellah, A. Ben, Meziane, M., & Metoui, M. El. (2017). Numerical Design and Investigation of Heat Transfer Enhancement and Performance for an Annulus with Continuous Helical Baffles in a Double-Pipe Heat Exchanger. *Energy Conversion and Management*, 133, 76–86.
- Maakoul, A. El, Metoui, M. El, Abdellah, A. Ben, Saadeddine, S., & Meziane, M. (2017). Numerical Investigation of Thermohydraulic Performance of Air to Water Double-Pipe Heat Exchanger with Helical Fins. *Applied Thermal Engineering*, 127, 127–139.
- Mozafarie, S. S., & Javaherdeh, K. (2019). Numerical Design and Heat Transfer Analysis of a Non-Newtonian Fluid Flow for Annulus with Helical Fins. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(4), 1107–1115.
- Mozafarie, S. S., Javaherdeh, K., & Ghanbari, O. (2020). Numerical Simulation of Nanofluid Turbulent Flow in a Double-Pipe Heat Exchanger Equipped with Circular Fins. *Journal of Thermal Analysis and*

Calorimetry.

- Nada, Q. A., & Arsana, I. M. (2021). Rancang Bangun Baffle Bersudut pada Heat Exchanger Shell and Tube. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 159–164.
- Pramesti, S. T., & Arsana, I. M. (2020). Experimental Study of Baffle Angle Effect on Heat Transfer Effectiveness of the Shell and Tube Heat Exchanger using Helical Baffle. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(3), 332–338.
- Putra, A. R. L., & Arsana, I. M. (2017). Perencanaan Sistem Instrumentasi pada Rancang Bangun Heat Exchanger Type Shell and Tube. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 1(4).
- Rozi, F., & Arsana, I. M. (2021). Pengaruh Temperatur terhadap Efektivitas Perpindahan Panas menggunakan Nanofluida CuO – Air pada Shell and Tube Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 81–88.
- Soegijarto, R. A., & Arsana, I. M. (2021). Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Masuk Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Shell And Tube Dengan Menggunakan Nanofluida TiO₂. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 131–136.
- Thejaraju, R., & Girish, K. B. (2019). A Comprehensive Review on Design and Analysis of Passive Enhancement Techniques in Double Pipe Heat Exchanger. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(8), 815–827.

