

## PENGARUH JARAK SIRIP TERHADAP *PRESURE DROP* PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN *FIN* BERBENTUK *DELTA WING*

Safiul Dwi Maruf

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [safiul.17050754020@mhs.unesa.ac.id](mailto:safiul.17050754020@mhs.unesa.ac.id)

I Made Arsana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [madearsana@unesa.ac.id](mailto:madearsana@unesa.ac.id)

### Abstrak

Dalam dunia industri yang semakin pesatnya perkembangan zaman, kebutuhan energi juga semakin meningkat. Banyak sekali upaya penelitian yang telah dilakukan tentang *heat exchanger* yang biasanya digunakan sebagai alat pembuangan panas, alat pemisah campuran, dan alat sterilisasi. Dengan memperoleh hasil yang maksimal dan dapat menunjang proses terhadap suatu operasi fabrikasi diharapkan kinerjanya yang baik. *Fin* adalah salah satu komponen penting *heat exchanger double pipe*, *fin* digunakan sebagai hambatan thermal pada proses transfer energi panas yang berfungsi untuk memberikan waktu kontak atau tinggal fluida kerja secara tidak langsung. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh *fin* tipe *delta wing* pada *heat exchanger double pipe* berdasarkan standart TEMA, diharapkan memiliki performa yang optimal. Objek penelitian ini adalah *delta wing* pada *heat exchanger double pipe* dengan jarak *delta wing* 25 mm, 30 mm dan 35 mm jenis *fin* yang digunakan berbentuk delta. Pengambilan data didapatkan dengan menggunakan alat ukur thermocontrol flowmeter dan *pressure gauge*. Telah berhasil dikembangkan sebuah *fin* bertipe *delta wing* pada *heat exchanger double pipe* yang dapat bekerja dengan baik mempertukarkan dua fluida (air) secara *counterflow* dengan kapasitas aliran fluida dingin 6 lpm dan aliran fluida panas 4 lpm dengan *pressure drop* 16087,75 pa, serta tidak adanya kebocoran sistem ketika dilakukan pengujian secara fisik yang membuat ke validan data untuk pengambilan data *pressure drop*. Dengan demikian *heat exchanger* ini dapat digunakan untuk mensimulasikan proses *pressure drop* pada *heat exchanger* tersebut.

**Kata Kunci:** *heat exchanger*, *double pipe*, *pressure drop*, *delta wing*, analisa pengaruh.

### Abstract

*In the industrial world, which is growing rapidly, the need for energy is also increasing. Many research efforts have been carried out on heat exchangers which are usually used as heat dissipators, mixture separators, and sterilizers. By obtaining maximum results and being able to support the process of a fabrication operation, good performance is expected. Fin is one of the important components of a double pipe heat exchanger, fin is used as a thermal barrier in the heat energy transfer process which serves to provide contact time or stay of the working fluid indirectly. The purpose of this study was to analyze the effect of delta wing type fin on a double pipe heat exchanger based on the TEMA standard, which is expected to have optimal performance. The object of this research is the delta wing on a double pipe heat exchanger with a distance of 25 mm, 30 mm and 35 mm delta wing, the type of fin used is in the form of a delta. Data retrieval was obtained by using a thermocontrol flowmeter and pressure gauge. It has been successfully developed a delta wing type fin on a double pipe heat exchanger that can work well in exchanging two fluids (water) counterflow with 16087,75 pa a cold fluid flow capacity of 6 lpm and a hot fluid flow of 4 lpm with a pressure drop of 16087,75 pa, and there is no system leaks when a physical test is carried out which makes the data valid for pressure drop data collection. Thus this heat exchanger can be used to simulate the pressure drop process on the heat exchanger.*

**Keywords:** *Heat exchanger*, *double pipe*, *pressure drop*, *delta wing*, effect.

### PENDAHULUAN

Dalam dunia industri yang semakin pesatnya perkembangan zaman, kebutuhan energi juga semakin meningkat. Banyak sekali upaya penelitian yang telah dilakukan tentang *heat exchanger* yang biasanya digunakan sebagai alat pembuangan panas, alat pemisah campuran, dan alat sterilisasi. Dengan memperoleh hasil yang maksimal dan dapat menunjang proses terhadap

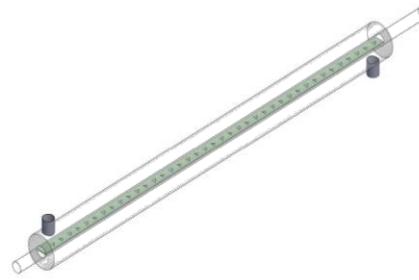
suatu operasi fabrikasi diharapkan kinerjanya yang baik. Arsana, dkk. (2019) *Heat exchanger* juga banyak digunakan di industri dikarenakan tidak membutuhkan tempat yang luas, kontruksinya cukup sederhana, dan biaya yang digunakan relatif murah. Salah satu parameter penting yang dapat meningkatkan efektivitas *heat exchanger* adalah luas penampang panas. Banyak teknik yang dikembangkan terkait dengan permukaan panas.

Salah satunya adalah *fin*. Arsana, dkk. (2020) *Heat exchanger* adalah alat yang digunakan memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan masa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas yang dipakai adalah air dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Arsana, dkk. (2016) Proses *pressure drop* dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan secara tidak langsung, yaitu apabila diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah. *Pressure drop* merupakan *gesekan* antara molekul-molekul yang saling bedekatan antara yang satu dengan yang lainnya dan tidak diikuti oleh perpindahan molekul-molekul tersebut secara fisik. Khalfatirius dan Arsana (2022) peningkatan koefisien *pressure drop* pada jenis penukar panas *double pipe heat exchanger* terjadi kenaikan gerak *turbulen* hingga mempengaruhi naiknya angka *Reynold* dan naiknya angka *nusselt*, selain itu didapatkan *pressure drop* yang rendah, pada tabung menggunakan fin dan plat sirip. 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). Menurut penelitian Sayapogu (2019) Penukar panas tabung konsentris pipa ganda aliran berlawanan diambil di mana generator *vortex* (sayap) ditempatkan untuk meningkatkan karakteristik *pressure drop*. Dampak rasio lebar sayap dari sisipan *delta-wing tape* (TW) dua sisi pada kinerja *thermal-hidraulik* Wijayanta (2020) diselidiki, kami telah memperluas pekerjaan kami untuk memodifikasi desain area perpindahan panas yang ditingkatkan untuk rasio *pitch*-sayap (*P/W*) yang bekerja pada fitur geometris sisipan *pitch* sayap delta. Ada sejumlah penelitian terbatas di bidang ini mengenai rasio sayap-*pitch*. Dalam studi saat ini, insert TW dengan *P/W* 1,18, 1,47, dan 1,65 diproduksi dan dievaluasi untuk meningkatkan perpindahan panas konvektif fase tunggal, di bawah kondisi bilangan *Reynolds* antara 5.300 dan 14.500, dengan air yang digunakan sebagai fluida kerja. Awalludin (2007). Dalam penelitian ini, korelasi empiris dimodelkan dengan menggunakan data eksperimen yang diperoleh. penggunaan *insert* juga menghasilkan penurunan tekanan yang signifikan, karena lebih kerugian gesekan fluida yang besar di sepanjang tabung penukar panas.

## METODE PENELITIAN

### Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisa pengaruh dengan eksperimen, dengan cara mencari hal yang berhubungan antara satu sama lain. Pengaruh variabel tertentu berhubungan dengan variabel lainnya yang dilakukan dengan prosedur atau metode yang detail dan terkontrol.



Gambar 1.1 *Double pipe Heat Exchanger* menggunakan *delta wing*

### Variabel Penelitian

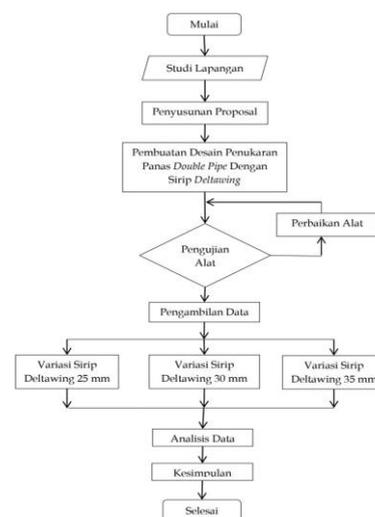
Ada tiga jenis variabel dalam penelitian eksperimen ini: variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

1. Variabel bebas Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau memicu perubahan atau munculnya variabel terikat. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi 25 mm, 30 mm, dan 35 mm. Keputusan ini didasarkan pada pertimbangan perubahan jarak yang dapat mempengaruhi penukar panas tabung ganda.

2. Variabel pengikat Variabel dependen adalah hasil dari variabel yang terpengaruh atau independen. Dalam penelitian ini, variabel terikatnya adalah efisiensi keseluruhan dan penurunan tekanan dari penukar panas tabung ganda. variabel kontrol.

3 Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau konstan sehingga pengaruh variabel dependen tidak dipengaruhi oleh faktor eksternal yang belum diteliti. Variabel kontrol untuk penelitian ini adalah: sebuah. Suhu yang ditentukan relatif terhadap suhu cairan dingin adalah  $T_{cin}$ , yaitu  $30^{\circ}C$ , yang sesuai dengan suhu kamar. Suhu yang ditentukan untuk suhu fluida suhu tinggi pada tahun SM adalah  $T_{Hin}$ , yang sesuai dengan  $80^{\circ}C$ . c. Atur pengatur flow meter ke laju aliran cairan dingin 6 L / menit.

### Rancangan Penelitian

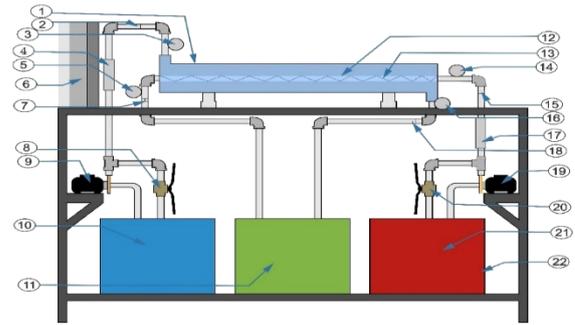


Gambar 1.2. Diagram Alur Penelitian

**Teknik Pengumpulan Data**

Setelah semua alat uji terpasang (dengan perubahan jarak yang digunakan untuk pengujian pertama menjadi sirip delta) dan verifikasi perangkat selesai, langkah pengumpulan data dapat dilakukan sebagai berikut:

- Nyalakan pemanas untuk memanaskan cairan panas dalam wadah cairan panas hingga suhu 80°C
- Kondisikan suhu masuk cairan dingin ke 30°C (Jika suhu di bawah 30°C, tangki air dingin dikeluarkan dari ruangan hingga mencapai 30°C, dan jika suhu refrigeran lebih tinggi dari 30°C)
- Dapat menggunakan pendingin ruangan (AC) untuk mengatur suhu tepat pada 30°C dibandingkan dengan Nyalakan cold liquid pump, biarkan cairan dingin masuk ke outer tube dual tube heat exchanger sampai kondisi stabil (steady state) dengan waktu yang dibutuhkan ± menit
- Atur pengatur aliran untuk menentukan laju aliran cairan refrigeran 6 l/menit, dengan mengatur posisi pelampung pada flow meter menjadi 6 l/menit.
- Kondisikan saluran masuk cairan panas ke 80 °C.
- Buka katup pelepasan cairan panas ke dalam wadah cairan panas.
- Nyalakan pompa cairan panas, biarkan cairan panas masuk ke penukar panas tabung ganda di rongga tabung sampai kondisi stabil (steady state) dalam arti tidak ada perubahan suhu dengan waktu yang dibutuhkan ± 2 Menit.
- Atur pengatur flowmeter untuk menentukan laju aliran cairan panas sebesar 1/menit dengan mengatur posisi pelampung pada flow meter menjadi 6 l/menit. Cairan panas di sisi dalam tabung dan cairan dingin di sisi luar tabung, keduanya mengalami perpindahan panas, setelah diperoleh data tekanan saat kondisi stabil (steady state) dalam arti tidak ada perubahan suhu.
- Temperatur fluida panas dan dingin yang keluar dengan waktu yang dibutuhkan adalah ± 2 menit. . Catat tekanan yang terjadi pada saluran cairan dingin dan saluran cairan panas pada pengukur tekanan.
- Catat suhu yang terjadi di saluran masuk cairan pendingin pada meter tampilan termostat Tcin.
- Catat suhu yang terjadi pada saluran masuk cairan panas pada tampilan termostat Tipis.. Catat suhu yang terjadi pada cairan dingin yang keluar pada Tcout . Pengukur tampilan Pengontrol Termostat
- Catat suhu yang terjadi dalam cairan outlet panas pada meteran tampilan termostat Thout.
- Ganti atau sesuaikan variasi jarak delta aileron 30mm dan 35mm. Kemudian, data variasi jarak diperoleh dari proses nomor 1 sampai 1 dengan 3 ulangan percobaan. 3. Akhir pengumpulan data Setelah pengujian atau pengumpulan data sebagai langkah selanjutnya: 1. Matikan semua sensor termokopel di setiap titik. 2. Matikan pompa cairan termostatik dan sakelar pemanas.

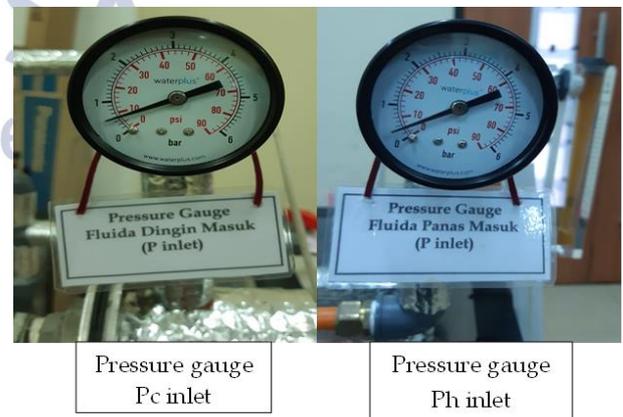


**Gambar 1.3** Skema Alat Uji Heat exchanger Double pipe

**Tabel 1.1** Keterangan Skema Alat Uji Double pipe

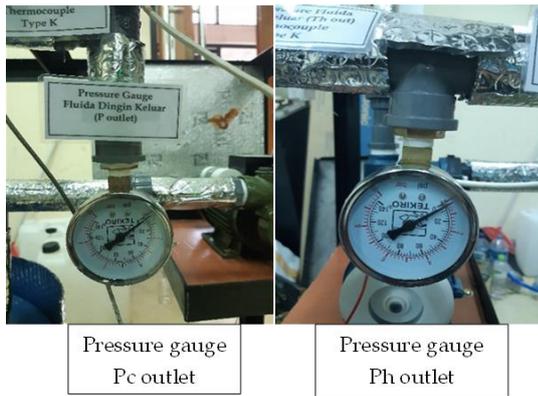
No	Keterangan	No.	Keterangan
1	Outer pipe	12	Inner pipe
2	Thermocouple Tc in	13	Delta wing
3	Pressure gauge Tc in	14	Pressure gauge Th in
4	Flowmeter fluida dingin	15	Thermocouple Th in
5	Pressure gauge Th out	16	Pressure gauge Tc out
6	Kotak instrumen	17	Flowmeter fluida panas
7	Thermocouple Th out	18	Pressure gauge Tc out
8	Valve fluida dingin	19	Pompa fluida panas
9	Pompa fluida dingin	20	Valve fluida panas
10	Tandon fluida dingin	21	Tandon fluida dingin
11	Tandon fluida keluar	22	Heater

Berikut proses pengumpulan data nilai pressure dari posisi inlet pada jalur fluida masuk:



**Gambar 1.4** Pressure Gauge Inlet Double Pipe Heat Exchanger

Sedangkan pengumpulan data untuk pressure gauge keluar di dapatkan pada hasil berikut:

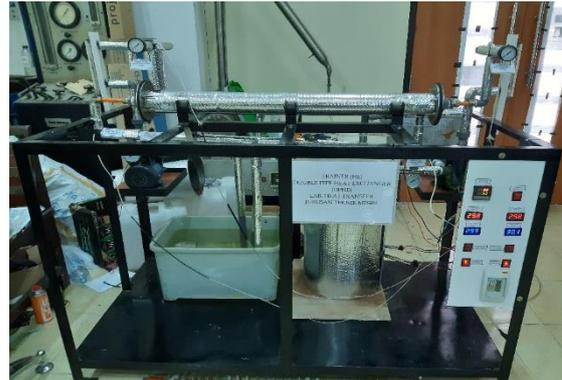


**Gambar 1.5** Pressure Gauge outlet Double Pipe Heat Exchanger

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil**

Proses pengujian *heat exchanger double pipe*



**Gambar 1.7** Trainer Double pipe Heat Exchanger

ΔP Th Inner Pipe Pipe DPHE		
ΔP Th Inner Pipe Pipe DPHE ΔP = Pinlet – Poutlet		
Variasi Delta Wing	Pinlet Th (psi)	Poutlet Th (psi)
Jarak Sirip 25 Mm	4,0	1,67
Jarak Sirip 30 Mm	4,0	1,83
Jarak Sirip 35 Mm	4,0	2,33
Tanpa Fin	4,0	2,83
psi to pa = 1psi = 6894,75pa		
Jarak Sirip 25 Mm	27579,00	11491,25
Jarak Sirip 30 Mm	27579,00	12640,38
Jarak Sirip 35 Mm	27579,00	16087,75
Tanpa Fin	27579,00	19535,13
ΔPh = Pinlet – Poutlet		
Jarak Sirip 25 Mm	16087,75	
Jarak Sirip 30 Mm	14938,63	
Jarak Sirip 35 Mm	11491,25	
Tanpa Fin	8043,88	

**Gambar 1.6** Hasil data pengujian untuk nilai Pressure pada Double Pipe Heat Exchanger

**Tabel 1.1** Nilai Pressure drop Pada Penukar Panas Double Pipe Dengan Variasi Jarak Delta wing

Jarak Delta wing	Nilai Pressure drop ΔP (Pa)
25 mm	16087,75
30 mm	14938,63
35 mm	11491,25
Tanpa Fin	8043,87

Pada penukar panas nilai *pressure drop* berpengaruh dalam menunjang performa ketika beroperasi. Dikarenakan *pressure drop* apabila memiliki nilai yang tinggi cukup merugikan ketika digunakan pada suatu sistem *engineering process*. Perbandingan nilai *pressure drop* dengan variasi jarak *delta wing* dapat di lihat pada gambar grafik gambar 1.8 sebagai berikut

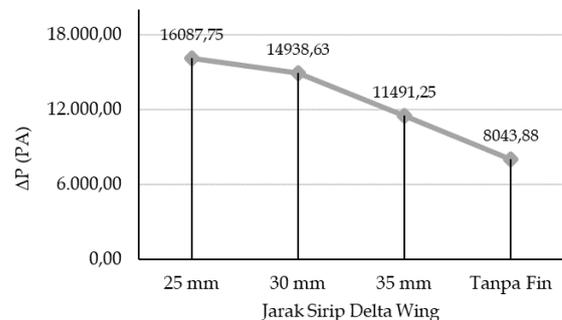
**Analisis Data**

Pengolahan data yang akan dilakukan setelah diperoleh data sesuai dari tabel pengujian *heat exchanger double pipe* untuk mendapatkan *pressure drop*, langkah pertama yaitu menghitung laju *pressure drop* actual dengan persamaan sebagai berikut:

Persamaan untuk menghitung Qactual sebagai berikut:  

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

Sehingga nilai *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* dapat diketahui, Kakac, et. al. (2012). Hasil yang didapatkan dari langkah – langkah yang telah dilakukan akan berupa angka dan selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik.



**Gambar 1.6** Variasi delta wing

Pada gambar 1.8 terlihat bahwa grafik pengaruh variasi jarak *delta wing* terhadap ΔP mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak *delta wing*. Pada jarak *delta wing* 25 mm memiliki nilai *pressure drop* tertinggi sebesar 16087,75 Pa. Pada jarak *delta wing* 30 mm, nilai *pressure drop* menurun yaitu 14938,63 Pa. Nilai *pressure drop* menurun lagi pada jarak *delta wing* 35 mm sebesar 11491,25 Pa dan pada variasi tanpa *fin* di dapatkan nilai

8043,88 pa. Hal tersebut sesuai dengan analisis Wijayanta dkk. (2020) semakin kecil jarak *delta wing* semakin merugikan, yang artinya nilai *pressure drop* di sisi *inner pipe* semakin tinggi. Meningkatnya nilai *pressure drop* pada penukar panas *double pipe* disebabkan karena aliran yang mengalir pada *outer pipe* lebih lama saat jarak 25 mm sehingga nilai *pressure drop* meningkat. Dapat disimpulkan semakin besar jarak *delta wing* maka semakin kecil gesekan atau *friction factor* antara fluida dengan permukaan *inner pipe*.

### Pembahasan

Pada gambar grafik 1.8 diatas menunjukkan bahwa terjadinya fenomena *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* menggunakan sirip *delta wing*. Dalam hal tersebut dapat di gunakan analisa data pembahasan yang sudah dilakukan teknik pengumpulan data sebagai berikut. Pengaruh Variasi Jarak *Delta wing* Terhadap *Pressure Drop* ( $\Delta P$ )

Besarnya nilai *pressure drop* pada *double pipe heat exchanger* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta P = \text{Pinlet} - \text{Poutlet}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan seperti persamaan diatas, maka didapatkan hasil data untuk variasi jarak *delta wing* 25 mm seperti berikut:

$$\Delta P = \text{Pinlet} - \text{Poutlet}$$

$$\Delta P = 27579 \text{ pa} - 11491,25 \text{ pa}$$

$$\Delta P = 16087,75 \text{ pa}$$

### PENUTUP

#### Simpulan

Telah berhasil dikembangkan sebuah *fin* berbentuk *delta wing* pada *heat exchanger double pipe* terhadap *pressure drop* dapat bekerja dengan baik, variasi yang digunakan pada jarak *delta wing* adalah 25 mm, 30 mm dan 35 mm.

- Pengaruh variasi jarak *delta wing* terhadap *pressure drop* mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak *delta wing*, disebabkan semakin besar jarak *delta wing* maka semakin kecil gesekan atau *friction factor* antara fluida dengan permukaan *inner pipe*.
- Pada jarak *delta wing* 25 mm memiliki nilai *pressure drop* sebesar 16087,75 Pa, jarak *delta wing* 30 mm nilai *pressure drop* menjadi 14938,63 Pa, selanjutnya pada jarak *delta wing* 35 mm nilai *pressure drop* menjadi 11491,25 Pa dan untuk variasi tanpa *fin* atau polos di dapatkan nilai *pressure drop* sebesar 8043,88 pa. Penurunan *pressure drop* pada penukar panas *double pipe*. Nilai *pressure drop* paling rendah terdapat pada variasi tanpa *fin* atau polos di dapatkan nilai *pressure drop* sebesar 8043,88 pa.

#### Saran

Adapun saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan ini yang berpotensi untuk dikembangkan dalam penelitian terkait kedepanya adalah:

- Perlu adanya penambahan dan nilai variabel dalam uji eksperimen yang mampu memberikan potensi terbaik dalam hasil penelitian terkait pengaruh dari *delta wing* terhadap *pressure drop* khususnya pada *heat exchanger double pipe*.

- Pengaplikasian jarak *delta wing* dapat digunakan proses *engineering*, khususnya industri yang memerlukan rekayasa dalam mencari nilai *pressure drop* yang diharapkan memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan sebelumnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, F. R. & Arsana, I M, (2020). *Effect of Wire Jarak on Capacity of Single Staggered Wire and Tube Heat Exchanger Using Computational Fluid Dynamic Simulation*. 33(8), IJE TRANSACTIONS B: Applications Vol. 33, No. 8, (August 2020) 1637-1642. DOI: 10.5829/ije.2020.33.08b.22
- Arsana, I. M., Budhikarjono, K., & Altway, A. (2016). *Optimization Of The Single Staggered Wire And Tube Heat Exchanger*. International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 11, No. 8 (2016). 01017.
- Anggoro, F., & Arsana, M. (2022). Rancang Bangun Fin Tipe Helical pada Penukar Panas Double Pipe. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(01), 35-40.
- .Arsana. I Made, Sari. Handini Novita, dan Nurjannah. Ika. 2019. Heat Transfer II. Surabaya: Unesa University Press. ISBN: 978-602-449-380-6
- Arsana, I. M., D. R. Agista, A. Ansori, D. H. Sutjahjo, dan M. Effendy. *The Effect of Nanofluid Volume Fraction to the Rate of Hate Transfer Convection Nanofluid Water-Al2O3 on Shell and Tube Heat Exchanger*, International Conferences on Science and Technology, (2019). DOI: 10.1088/1742-6596/1569/3/032048.
- Awaluddin M. 2007. Analisis Perpindahan Kalor Pada Penukar panas Pipa Ganda Dengan Sirip Berbentuk Sayap Delta. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin. [Teknik. Universitas Negeri Semarang.
- AT Wijayanta, I. Yaningsih, M. Aziz, T. Miyazaki, S. Koyama, *Double-sided delta-wing tape inserts to enhance convective heat transfer and fluid flow characteristics of a double-pipe heat exchanger*, *Appl. Therm. Ind.* 145 (Dec. 2018) 27–37
- CB Allison, BB Dally, Pengaruh pasangan puseran sayap-delta pada kinerja penukar panas sirip tabung, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 50 (2007) 5065-5072.
- Donald Q. Kern. (1983). *Process Heat Exchanger* (McGrawHil International Book Comapany, ed.). New York.
- Eiamsa-ard, S., Pethkool, S., Thianpong, C., & Promvonge, P. (2008). *Turbulent Flow Heat Transfer and Pressure Loss in a Double Pipe Heat Exchanger with Louvered Strip Inserts*. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(2), 120–129.
- Ferziger, J. H., Perić, M., & Street, R. L. (2020). *Computational Methods for Fluid Dynamics* (4th ed.). Springer.

- Hameed, V. M., & Hussein, M. A. (2017). *Effect of New Type of Enhancement on Inside and Outside Surface of the Tube Side in Single Pass Heat Exchanger. Applied Thermal Engineering*, 122, 484–491.
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer. In Library of Congress Cataloging-in-Publication Data (10th ed.). Mc Graw Hill.*
- Incropera, F. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7 th Edition (I. : John Wiley & Sons, ed.) New York.*
- Kailash, O. P., Bishwajeet Nk, C., Umang B, G., Sumit, P., & Gopal, K. (2015). *Design and experimental analysis of pipe in pipe heat exchanger. 5*, 42–48.
- Khalfatirius, A. D., & Arsana, M. (2022). Simulasi Numerik Pengaruh Pitch Helical Fin Terhadap Pressure Drop Pada Double Pipe Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(01), 55-60.
- K. Song, Z. Xi, M. Su, L. Wang, X. Wu, L. Wang, *Effect of geometry size of curved delta winglet vortex generators and tube pitch on heat transfer characteristics of fin-tube heat exchanger, Exp. Satuan panas. Ilmu Fluida.* 82 (2017) 8–18
- K Yakut, B. Sahin, C. Celik, N. Alemdaroglu, A. Kurnuc, *Effects of tapes with double-sided delta-winglets on heat and vortex characteristics, Appl. Energy.* 80 (2005) 77-95.

