

RANCANG BANGUN *INNER PIPE CORRUGATED TUBE CONCAVE PERSEGI* PADA PENUKAR PANAS *DOUBLE PIPE*

Muhammad Haydar Aly Kurniawan

S1 Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: muhammad.17050754077@mhs.unesa.ac.id

I Made Arsana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: madearsana@unesa.ac.id

Abstrak

Penukar panas pipa ganda adalah penukar panas yang paling banyak digunakan dan juga paling sederhana. Tujuan penggunaan *corrugated tube* pada *double pipe heat exchanger* adalah untuk meningkatkan karakteristik perpindahan panas dengan cara mengalirkan fluida dengan pola bergelombang pada dinding pipa bagian dalam pipa bagian dalam. Penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur *inner pipe corrugated tube* pada *heat exchanger* pipa ganda cekung dengan variasi bentuk cekung persegi, yang diharapkan memiliki kinerja yang optimal. Objek penelitian ini adalah bentuk *corrugated tube* cekung pada *heat exchanger* pipa ganda dengan pitch *corrugated tube* 50 mm dan kedalaman *corrugated tube* 1 mm. Jenis tabung bergelombang yang digunakan adalah cekung. Pembuatan *corrugated tube* pipa bagian dalam dengan berbagai bentuk cekung menggunakan metode *hydroforming*, yang melibatkan penggunaan mesin press hidrolik dengan tabung datar yang ditempatkan dalam cetakan yang sesuai, dan tekanan hidrolik berfungsi untuk membentuk gelombang di dalam tabung. Telah berhasil dikembangkan *corrugated tube* dengan variasi cekung persegi pada *heat exchanger* pipa ganda yang dapat bekerja dengan baik dengan peningkatan efektifitas sebesar 73%. Sehingga pipa dalam cekung bergelombang tabung dapat disimulasikan dalam proses perpindahan panas konveksi di simulator penukar panas.

Kata Kunci: *corrugated tube*, *double pipe heat exchanger*, *concave*, rancang bangun

Abstract

The double pipe heat exchanger is the most widely used and also the simplest heat exchanger. The use of a corrugated tube in a double pipe heat exchanger aims to improve the heat transfer characteristics of the working fluid by flowing the fluid in a wavy pattern on the inner pipe wall of the inner pipe. This study aims to design the inner pipe corrugated tube structure on a concave double pipe heat exchanger with a variety of square concave shapes, which are expected to have optimal performance. The object of this research is the shape of a concave corrugated tube in a double pipe heat exchanger with a pitch of 50 mm corrugated tube and a depth of 1 mm corrugated tube. The type of corrugated tube used is concave. The manufacture of inner pipe corrugated tubes with a variety of concave shapes uses the hydroforming method, which involves the use of a hydraulic press machine with a flat tube placed in a suitable mold, and the hydraulic pressure functions to form waves in the tube. It has been successfully developed a corrugated tube with a square concave variation on a double pipe heat exchanger which can work well with an increase in effectiveness of 73%. So that the inner pipe concave corrugated tube can be simulated in the convection heat transfer process in the heat exchanger simulator.

Keywords: *corrugated tube*, *double pipe heat exchanger*, *concave*, design

PENDAHULUAN

Di masa yang akan datang kebutuhan energi dan juga peralatan yang dapat membantu manusia dalam meningkatkan suatu energi akan berkembang. Dalam 1 dekade terakhir sumber daya energi konvensional menipis pada tingkat yang mengkhawatirkan, yang berdampak pada pertumbuhan energi berkelanjutan di masa depan menjadi sangat rumit (More & Deshmukh, 2016). Para peneliti sudah banyak yang melakukan usaha yang

dibidang alat pendingin, dengan mengembangkan desain baru pada bagian tertentu sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan konstruksi alat dan menghasilkan peningkatan efisiensi. Salah satunya pada *Heat exchanger* (Ma et al., 2012).

Alat pertukaran energi panas antara 2 fluida atau lebih dan memiliki perbedaan suhu dengan melalui kontak langsung maupun tidak langsung adalah *heat exchanger* (Khalfatirius & Arsana, 2022). *Pipe in pipe* adalah struktur *heat exchanger* yang merupakan jenis *double pipe heat*

exchanger dengan konfigurasi paling banyak digunakan dan sederhana (Anggoro & Arsana, 2022). Pada dasar nya, terdapat dua pipa di mana satu pipa berada di dalam pipa yang lain. *Double pipe heat exchanger* dapat digunakan pada *high pressure*, *high viscosity*, dan *high temperature* dengan konfigurasi fluida dimana *cold fluid* mengalir di *outer pipe* dan *hot fluid* mengalir di *inner pipe*. (Saiffudin & Arsana, 2022).

Penelitian sebelumnya menunjukkan hasil eksperimen dari DPHE dengan membandingkan alat penukar kalor pipa ganda yang terbuat dari *corrugated inner pipe* dan *smooth outer pipe* dengan alat penukar panas pipa ganda yang terbuat dari *corrugated inner pipe* dan *corrugated outer pipe*. Dengan hasil berupa bilangan *Nusselt* (Nu), faktor gesekan, faktor efektivitas dan kinerja termal. Penggunaan *corrugated tube* dapat meningkatkan jumlah bilangan *Nusselt* (Nu) dan kinerja penukar panas. Penggunaan *corrugated tube* sebagai tabung bagian dalam dapat meningkatkan bilangan *Nusselt* (Nu) sekitar 10-52% dan *friction factor* sekitar 150-190% dan ketika inner and outer *corrugated tube* bilangan *Nusselt* (Nu) meningkat sekitar 23-117% dan *friction factor* meningkat sekitar 200-254% (Sadighi Dizaji et al., 2015).

Penelitian yang dilakukan Sood & Scholar, (2019) membahas analisis *Computer Fluid Dynamic* (CFD) karakteristik perpindahan panas dengan metode pasif yang melibatkan modifikasi permukaan. Penelitian ini menggunakan ANSYS 15.0 lalu Domain fluida bergelombang dibuat menggunakan Realizable 2 Equation Viscous Model dan menghasilkan medium meshing. Spesifikasi geometris fluida dengan panjang *Double Pipe Heat Exchanger* (DPHE) : 518mm, *Inner Pipe Diameter* : 32mm, *Outer Pipe Diameter* : 52mm, *Corrugation Pitch* : 10mm, dan *Corrugation Depth* : 1mm. Lalu suhu air panas masuk adalah 350K dan air dingin masuk adalah 293K. Hasil investigasi membuktikan *pressure drop* terjadi sebesar 4 – 5 Mpa, *friction factor* berkurang dengan bertambahnya *Reynolds number* yang menghasilkan daya pemompaan yang lebih rendah, dan *Nusselt number* juga meningkat.

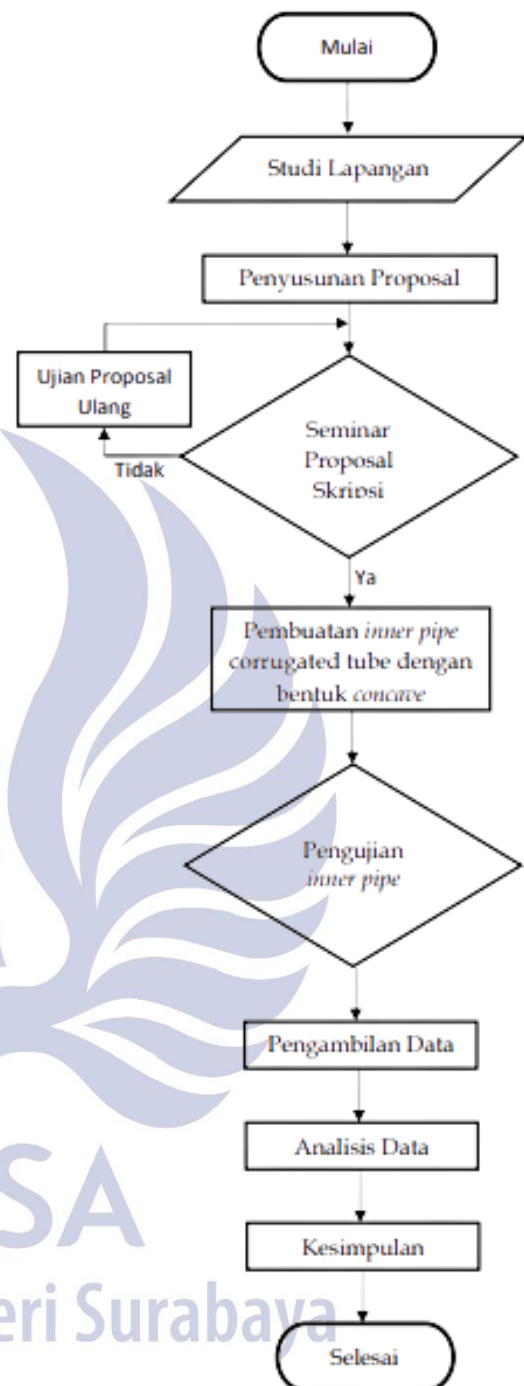
Penelitian oleh Al-dabagh, (2018) meneliti tentang pengaruh *depth corrugated tube* terhadap peningkatan perpindahan panas. Pada penelitian tersebut menggunakan *corrugated tube* berbahan *cooper* dengan diameter tube sebesar 32.6 mm dan panjang tube sebesar 1250 mm. Variabel *depth corrugated tube* yang diteliti sebesar 0.7 mm, 1.5 mm, dan 2.5 mm, dengan *pitch* yang sama sebesar 16mm. Hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata *Nusselt number* meningkat sebesar 46%, 67% dan 105% untuk kedalaman gelombang masing-masing 0.7 mm, 1.5 mm, dan 2.5 mm. sehingga *Nusselt number* meningkat 2-6 kali dibandingkan dengan *smooth tube*.

METODE

Jenis Penelitian

Metode rancang bangun dipadukan dengan eksperimen digunakan dalam penelitian ini. Metode yang detail dan terkontrol yang dilakukan berhubungan dengan variabel tertentu dan variabel lainnya (Pramessti & Made Arsana, 2020). Pendekatan pada penelitian ini adalah rancang

bangun berbasis metode eksperimen. Rancang bangun ini menggunakan bentuk *concave* yang berbeda yaitu persegi.



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bentuk *concave* persegi.
- Variabel Terikat
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah efektivitas penukar panas pipa ganda.
- Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu:
 - Debit aliran fluida sisi *inner pipe* yaitu 4 lpm dan di sisi *outer pipe* ditentukan yaitu 6 lpm.
 - Dimensi *dphe*.

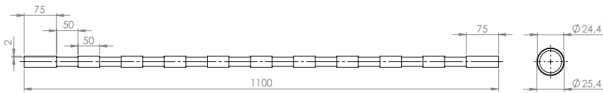
- Temperature fluida panas masuk Th_{in} sebesar 80 °C
- Temperature fluida dingin masuk Tc_{in} sebesar 30 °C

Teknik Pengumpulan Data

• Preparasi *inner pipe concave corrugated tube*

Tahapan preparasi *inner pipe concave corrugated tube* meliputi pembuatan desain dan juga pembentukan pipa bergelombang dari pipa polos dengan variasi bentuk *concave corrugated tube* persegi, tahapan – tahapan nya adalah :

- Desain *concave corrugated tube*
Pembuatan desain *inner pipe concave corrugated tube* dilakukan menggunakan aplikasi solidworks 2016.



Gambar 1.3 Hasil Desain *Inner Pipe Concave Corrugated Tube* Bentuk Persegi

- Cetakan atau mal
Tahap pertama adalah membuat cetakan dari 2 plat besi dengan tebal 15mm dan di bentuk *concave corrugated tube* dengan bentuk *concave* persegi,



Gambar 1.4 cetakan atau mal

- Proses Penekanan Menggunakan Hidrolik
Tahap kedua adalah proses penekanan pipa menggunakan mesin hidrolik, dimana pipa polos di letakkan dicetakan lalu ditekan sampai bentuk *concave corrugated tube* terlihat.



Gambar 1.3 cetakan atau mal

- Hasil Preparasi *Concave Corrugated Tube*
Setelah proses *hydroforming* selesai dilakukan maka pipa *Concave Corrugated Tube* sudah siap untuk di uji

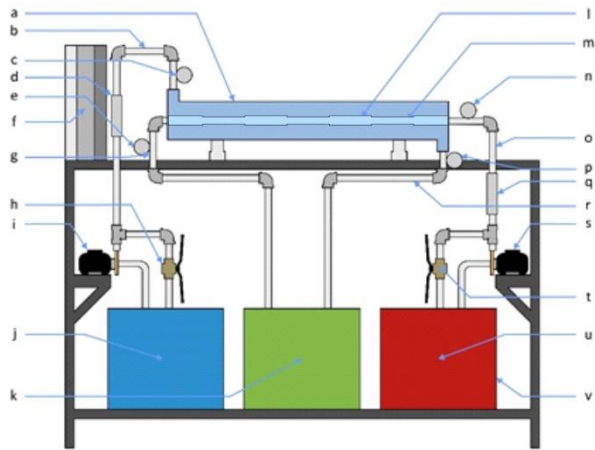


Gambar 1.4 cetakan atau mal

• Pengujian *inner pipe concave corrugated tube*

Setelah *inner pipe* terpasang di alat uji *double pipe heat exchanger* (pengujian pertama adalah bentuk *concave* persegi) dan keseluruhan peralatan sudah di cek, sehingga dapat dilakukan tahap pengambilan data sebagai berikut :

- Fluida panas dipanaskan hingga temperature 80°C menggunakan *heater* pada tangki fluida panas .
- Fluida dingin dikondisikan pada temperature 30°C.
- Dibagian *outer pipe* fluida dingin masuk dijalankan hingga kondisi stabil (*steady state*) dengan menyalakan pompa fluida dingin dengan membutuhkan waktu ± 4 menit.
- Debit aliran *cold fluid* ditentukan dengan mengatur regulator *flowmeter* sebesar 6 lpm, sehingga posisi pelampung bergerak sampai posisi 6 lpm.
- Fluida panas yang sudah mengalami 1 laluan dibuang ke tangki masuk fluida panas dengan cara membuka valve saluran keluar fluida panas
- Pada *double pipe heat exchanger* fluida panas masuk dibagian *inner pipe* hingga kondisi stabil dengan menyalakan pompa fluida panas selama ± 2 menit.
- Untuk menentukan debit aliran *hot fluid* adalah dengan mengatur regulator *flowmeter* sebesar 4 lpm, sehingga posisi pelampung pada *flowmeter* bergerak sampai posisi 4 lpm.
- Proses perpindahan panas terjadi ketika *hot fluid* pada *inner pipe* dan *cold fluid* pada *outer pipe* dijalankan, setelah itu dilakukan pengambilan data tekanan saat tidak terjadi lagi perubahan temperatur atau keadaan stabil, dengan waktu yang dibutuhkan ± 2 menit.
- Pada alat ukur *display thermocontrol* Tc_{in} menunjukan temperatur yang kemudian dicatat, pencatatan temperatur terjadi di saluran masuk fluida dingin.
- Pencatatan temperatur di *display thermocontrol* Th_{in} pada saluran fluida panas masuk.
- Pencatatan temperatur di *display thermocontrol* Tc_{out} pada saluran fluida dingin keluar.
- Pencatatan temperatur di *display thermocontrol* Th_{out} pada saluran fluida panas keluar.



Gambar 1.5 Skema Alat Uji Double Pipe Heat Exchanger

Tabel 1.1 Keterangan Skema Alat Uji Double Pipe Heat Exchanger

No	Keterangan	No	Keterangan
a	Outer pipe	l	Inner pipe
b	Thermocouple $T_{c_{in}}$	m	Corrugated tube
c	Pressure gauge $T_{c_{in}}$	n	Pressure gauge $T_{h_{in}}$
d	Flowmeter cold fluid	o	Thermocouple $T_{h_{in}}$
e	Pressure gauge $T_{h_{out}}$	p	Pressure gauge $T_{c_{out}}$
f	Kotak instrumen	q	Flowmeter hot fluid
g	Thermocouple $T_{h_{out}}$	r	Pipa keluar fluida panas
h	Cold fluid valve	s	Hot fluid pump
i	Cold fluid pump	t	Hot fluid pump
j	Tandon cold fluid	u	Tandon Hot fluid
k	Tandon out cold fluid	v	Heater

Bahan Untuk Penelitian

- Fluida panas

Fluida dipanaskan menggunakan heater sampai dengan 80°C dan fluida panas yang digunakan adalah air (H₂O). karakteristik dari fluida panas adalah:

Air pada temperature 80°C	
Densitas (ρ)	= 9,7257.10 ⁻⁴ kg/m ³
Specific Heat (C_p)	= 4,1966 kJ/kg.K
Viskositas (μ)	= 356,2.106 N.s/m ²
Prandtl	= 2.23
Konduktivitas panas (K)	= 669,2 W/m.K

- Fluida dingin

Untuk fluida dingin temperaturnya adalah (30°C) dan fluida yang digunakan adalah air (H₂O). Karakteristik dari fluida dingin adalah:

Air pada temperature 30°C	
Densitas (ρ)	= 9,97.10 ⁻⁴ kg/m ³
Specific Heat (C_p)	= 4,1786 kJ/kg.K
Viskositas (μ)	= 821.106 N.s/m ²
Prandtl	= 5,58
Konduktivitas panas (K)	= 616.103 W/m.K

Analisis Data

Setelah memperoleh data yang sesuai dari tabel pengujian double pipe heat exchanger, pengolahan data akan dilakukan untuk mendapatkan bentuk *concave corrugated* mana yang paling optimum, untuk menghitung laju perpindahan panas maksimum (q_{max}) dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_{max} = C_{min} \times (T_{h_{in}} - T_{c_{in}})$$

Selanjutnya, menghitung laju perpindahan actual dengan menggunakan persamaan :

$$q_{aktual} = \dot{m} \times C_p \times (T_{in} - T_{out})$$

Lalu, nilai efektivitas double pipe heat exchanger dapat dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{q_{aktual}}{q_{max}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi

berikut adalah spesifikasi rancang bangun *concave corrugated tube* pada heat exchanger pipa ganda.

Tabel 1.2 Spesifikasi Rancang Bangun Concave Corrugated Tube pada Double Pipe Heat Exchanger

No	Komponen	Klasifikasi Komponen	Dimensi
1	Outer pipe	Jumlah Laluan	1 laluan
		Diameter luar pipe	76,5 mm
		Diameter dalam pipe	72,5 mm
		Panjang pipe	1000 mm
		Material pipe	Stainless steel
2	Inner pipe	Jumlah laluan pipa	1 laluan
		Diameter luar pipe	25,4 mm
		Diameter dalam pipe	24,4 mm
		Panjang pipe	1100 mm
3	Corrugated Tube	Material pipa	Tembaga
		Panjang tube	850 mm
		kedalaman tube	1 mm
		Pitch corrugated tube	50 mm
4	Fluida	Material	Tembaga
		Aliran	Counter flow
		Tipe perpindahan panas	Kontak tidak langsung
		Laluan fluida	1 laluan
		Fluida di sisi pipa luar	Air
		Fluida di sisi pipa dalam	Air
		Temperatur fluida dingin masuk di pipa luar	30°C
		Temperatur fluida panas masuk di pipa dalam	80°C

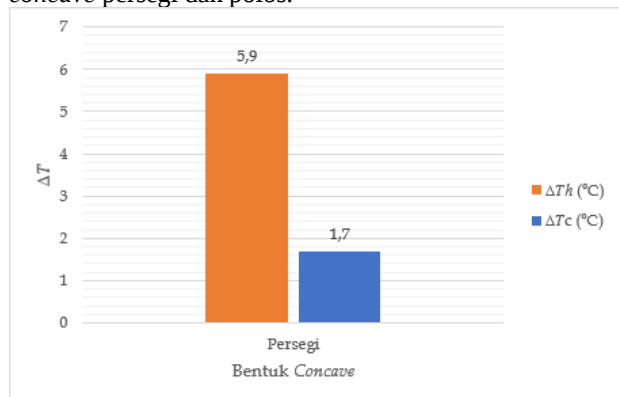
Hasil

Proses rancang bangun *inner pipe corrugated tube* jenis *concave* yang telah di uji telah di dapat. Dibawah ini adalah pengaruh variasi bentuk *concave* persegi terhadap selisih temperatur fluida masuk dan keluar (ΔT)

Tabel 1.3 (ΔT) Selisih Temperatur Fluida Masuk Dan Keluar bentuk *concave* persegi

Bentuk <i>Concave</i>	ΔT_h (°C)	ΔT_c (°C)
Persegi	5,9	1,7

Dapat dilihat pada tabel diatas adalah hasil nilai ΔT_h dan ΔT_c dari variasi bentuk *concave* persegi. Berikut merupakan grafik hasil temperatur pada variasi bentuk *concave* persegi dan polos.



Gambar 1.6 Grafik Pengaruh Variasi Bentuk *Concave* Persegi Terhadap Selisih Temperatur Fluida Masuk Dan Keluar ΔT



Gambar 1.7 Trainer Penukar Panas Pipa Ganda
Pengaruh variasi bentuk *concave* persegi terhadap efektivitas *double pipe heat exchanger* dengan metode *Effectiveness-NTU*

Tabel 1.4 Pengaruh variasi bentuk *concave* persegi terhadap efektivitas *double pipe heat exchanger*

Efektivitas Heat Exchanger (%)	
Temperatur	Bentuk <i>concave</i>
	Persegi
353 K	11,8

Pembahasan

Pada Gambar 1.8 adalah grafik pengaruh variasi bentuk *concave* persegi terhadap efektivitas *double pipe heat exchanger* yang menggambarkan kenaikan efektivitas seiring dengan penambahan bentuk *concave corrugated tube*. Pada variasi bentuk *concave* persegi, efektivitas *double pipe heat exchanger* mencapai 11,80%.

- Laju Perpindahan Panas Maksimal

$$q_{max} = C_{min} \times (T_{h,in} - T_{c,in})$$

$$q_{max} = C_{min} \times (T_{h,in} - T_{c,in})$$

$$= (0,285 \text{ W/K}) \times (353 - 303,15) \text{ K}$$

$$= 14,27 \text{ W}$$

- Laju Perpindahan Panas Aktual

$$q_h = \dot{m}_h \times C_{p,h} \times (T_{h,in} - T_{h,out})$$

$$= (0,068 \text{ Kg/s}) \times (4,198 \text{ Kj/Kg. K}) \times (353 - 347,1) \text{ K}$$

$$= 1,68 \text{ W}$$

- Efektivitas

$$\varepsilon = \frac{q_{aktual}}{q_{max}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{1,68}{14,27} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 11,80\%$$

Efektivitas meningkat seiring dengan penambahan bentuk *concave* dimana luasan perpindahan panas semakin membesar sehingga efektivitas meningkat.

Hal ini sejalan dengan Penelitian oleh Shrivastava & Singh. (2019) mengenai studi numerik tentang pengaruh karakteristik perpindahan panas dan gesekan pada *DPHE* untuk aliran konvektif paksa fasa tunggal dengan tambahan *smooth tube*, *inner corrugated tube*, dan *outer corrugated tube* terhadap koefisien perpindahan kalor (h) dan keefektifan. Hasil yang diperoleh berupa *inner corrugated tube* lebih efektif daripada *outer corrugated tube* dan *smooth tube* namun faktor gesekan nya lebih meningkat.

PENUTUP

Simpulan

Telah dilakukan pengembangan sebuah *concave corrugated tube* berbentuk *concave* persegi pada penukar panas pipa ganda dengan aliran fluida dingin berkapasitas 6 lpm dan aliran fluida panas berkapasitas 4 lpm yang dapat dengan baik bekerja secara *counterflow* menukarkan panas dan menghasilkan efektivitas 11,8%, serta saat dilakukan pengujian atas hasil rancang bangun *inner pipe concave corrugated tube* tidak adanya kebocoran pada sistem. Dengan demikian *inner pipe* sudah bisa digunakan pada Lab. Perpindahan Panas Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya sebagai trainer pembelajaran.

Saran

Pada penelitian ini, memiliki hasil yang dapat dikembangkan kedepannya dalam penelitian terkait yaitu:

- Masih perlu diadakan uji eksperimen dengan menambahkan nilai variable lainnya yang mampu memberikan peningkatan pada hasil penelitian terkait

pengaruh dari *concave corrugated tube* khususnya pada *double pipe heat exchanger* terhadap efektivitas perpindahan panas.

- Pengaplikasian *concave corrugated tube* dapat digunakan proses *engineering*, khususnya untuk memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan sebelumnya pada industri yang memerlukan rekayasa perpindahan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-dabagh, A. M. (2018). *Effect of Corrugation Depth on Heat Transfer Enhancement and Flow Characteristics for Corrugated Tubes*. 26, 164–181.
- 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.
- Khalfatirius, A. D., & Arsana, M. (2022). Simulasi Numerik Pengaruh Pitch Helical Fin Terhadap Pressure Drop Pada Double Pipe Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, 55–60. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/45044%0Ahttps://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/45044/38160>
- Ma, Z., Arsana, M., Malik, F., Priyono, W., & Altway, A. (2012). 141887-ID-analisis-perpindahan-panas-dengan-konvek. 7(1), 1–7.
- More, D. K., & Deshmukh, P. D. (2016). *Tinjauan Teknik Modern Perpindahan Panas Peningkatan Pada Tabung Sirkular*.
- Pramesti, S. T., & Made Arsana, I. (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.
- Sadighi Dizaji, H., Jafarmadar, S., & Mobadersani, F. (2015). Experimental studies on heat transfer and pressure drop characteristics for new arrangements of corrugated tubes in a double pipe heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 96, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.05.009>
- Saiffudin, A., & Arsana, I. M. (2022). PROSES PREPARATION NANOFLUIDA HYBRID (CuO – Al₂O₃) PADA DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER Akhmad Saiffudin I Made Arsana Abstrak. 1–6.
- Shrivastava, M., & Singh, S. K. (2019). *Numerical Study of Corrugation on Performance of Double Pipe Heat Exchanger*. 895–907.
- Sood, S., & Scholar, M. (2019). *Hydraulic and Thermal Analysis of Corrugated and Smooth Double Pipe Heat Exchanger using Computational Fluid Dynamics*. 6(1), 110–120.
- Bangun Fin Tipe Helical pada Penukar Panas Double Pipe. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 35–40.
- Khalfatirius, A. D., & Arsana, M. (2022). Simulasi Numerik Pengaruh Pitch Helical Fin Terhadap Pressure Drop Pada Double Pipe Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, 55–60. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/45044%0Ahttps://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/45044/38160>
- Ma, Z., Arsana, M., Malik, F., Priyono, W., & Altway, A. (2012). 141887-ID-analisis-perpindahan-panas-dengan-konvek. 7(1), 1–7.
- More, D. K., & Deshmukh, P. D. (2016). *Tinjauan Teknik Modern Perpindahan Panas Peningkatan Pada Tabung Sirkular*.
- Pramesti, S. T., & Made Arsana, I. (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.
- Sadighi Dizaji, H., Jafarmadar, S., & Mobadersani, F. (2015). Experimental studies on heat transfer and pressure drop characteristics for new arrangements of corrugated tubes in a double pipe heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 96, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.05.009>
- Saiffudin, A., & Arsana, I. M. (2022). PROSES PREPARATION NANOFLUIDA HYBRID (CuO – Al₂O₃) PADA DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER Akhmad Saiffudin I Made Arsana Abstrak. 1–6.
- Shrivastava, M., & Singh, S. K. (2019). *Numerical Study of Corrugation on Performance of Double Pipe Heat Exchanger*. 895–907.
- Sood, S., & Scholar, M. (2019). *Hydraulic and Thermal Analysis of Corrugated and Smooth Double Pipe Heat Exchanger using Computational Fluid Dynamics*. 6(1), 110–120.
- Al-dabagh, A. M. (2018). *Effect of Corrugation Depth on Heat Transfer Enhancement and Flow Characteristics for Corrugated Tubes*. 26, 164–181.
- Anggoro, F. S. D., & Arsana, I. M. (2022). Rancang