

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN *HEAT EXCHANGER*  
*CROSS FLOW RECTANGULAR FIN TUBE* VARIASI  
*MASS FLOW RATE* FLUIDA DINGIN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**MUHAMMAD SYARIF HIDAYAT**

**D 200 140 168**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN *HEAT EXCHANGER*  
*CROSS FLOW RECTANGULAR FIN TUBE* VARIASI  
*MASS FLOW RATE* FLUIDA DINGIN**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh:

**MUHAMMAD SYARIF HIDAYAT**

**D 200 140 168**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen  
Pembimbing



**Ir. Sartono Putro, M.T.**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN *HEAT EXCHANGER*  
*CROSS FLOW RECTANGULAR FIN TUBE* VARIASI  
*MASS FLOW RATE* FLUIDA DINGIN**

**OLEH  
MUHAMMAD SYARIF HIDAYAT  
D200140168**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari kamis, 5 juli 2018  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

1. Ir. Sartono Putro, M.T.

(.....)

(Ketua Dewan Penguji)

2. Ir. Agung Setyo Darmawan, M.T.

(.....)

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.

(.....)

(Anggota II Dewan Penguji)

**Dekan,**



**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Juli 2018

Penulis



**MUHAMMAD SYARIF H**

**D200140168**

# RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN *HEAT EXCHANGER* *CROSS FLOW RECTANGULAR FIN TUBE* VARIASI MASS FLOW RATE FLUIDA DINGIN

## Abstrak

*Heat exchanger* merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan panas atau kalor antara dua fluida atau lebih tanpa terjadinya pencampuran (kontak langsung) antara fluida tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap perubahan temperatur fluida dingin, perubahan laju kalor yang diterima fluida dingin, koefisien perpindahan kalor total, koefisien perpindahan kalor fluida dingin, efisiensi *heat exchanger*, dan perubahan massa beban pengeringan berupa singkong pada *heat exchanger cross flow 2 rectangular fin tube* dan *heat exchanger cross flow 4 rectangular fin tube*.

Aliran yang digunakan merupakan aliran menyilang, dimana fluida dingin dialirkan menuju *heat exchanger* melalui *tube*. Fluida dingin tersebut akan menerima kalor dari fluida panas yang dihasilkan dari proses pembakaran gas LPG. Fluida panas dialirkan pada *shell heat exchanger*. Fluida dingin yang telah dialirkan dalam *tube heat exchanger* dan menerima kalor tersebut akan keluar menuju mesin pengering yang digunakan untuk mengeringkan singkong sebagai beban pengeringan.

Pada *heat exchanger cross flow 2 rectangular fin tube*, hasil optimal diperoleh pada fluida dingin dengan *mass flow rate* 0.022 Kg/s dengan perubahan massa singkong sebesar 0.2 Kg, laju kalor yang diterima fluida dingin sebesar 2755.3 watt, dan efisiensi *heat exchanger* 49.9 %. Pada *heat exchanger cross flow 4 rectangular fin tube*, hasil optimal diperoleh pada fluida dingin dengan *mass flow rate* 0.023 Kg/s dengan perubahan massa singkong sebesar 0.21 Kg, laju kalor yang diterima fluida dingin sebesar 3858.3 watt, dan efisiensi *heat exchanger* 69.9 %.

**Kata kunci:** *heat exchanger, fin, mass flow rate, kalor, fluida*

## Abstract

*Heat exchanger is an equipment used to move heat between two fluids or more without the occurrence of mixing (direct contact) between the fluids. The purpose of this research is to know the effect of cold fluid mass flow rate to cold temperature change of fluid, change of heat rate received cold fluid, total heat transfer coefficient, cold fluid heat transfer coefficient, heat exchanger efficiency, and change of curing load mass in the form of cassava at heat exchanger cross flow 2 rectangular fin tube and heat exchanger cross flow 4 rectangular fin tube.*

*The flow used is a crossed stream, where cold fluid is flowed to the heat exchanger through the tube. The cold fluid will receive the heat from the hot fluid generated from the LPG gas combustion process. Hot fluid is flowed on a heat exchanger shell. The cold fluid that has been flowed in the heat exchanger tube and receives the heat will go out to the drying machine used to dry the cassava as a drying load.*

*In heat exchanger cross flow 2 rectangular fin tube, the optimum result is obtained in cold fluids with mass flow rate of 0.022 Kg / s with the change of cassava mass of 0.2 Kg, the heat rate received by cold fluid of 2755.3 watt and efficiency of heat exchanger 49.9%. In the heat exchanger cross flow 4 rectangular fin tube, the optimum result is obtained in cold*

*fluid with a mass flow rate of 0.023 Kg / s with a change of cassava mass of 0.21 Kg, heat receiving rate of 3858.3 watt, and heat exchanger efficiency of 69.9%.*

**Keywords:** *heat exchanger, fin, mass flow rate, heat, fluid*

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan IPTEK yang terjadi di Indonesia turut mempengaruhi perkembangan industri, tidak terkecuali dengan industri UKM (Usaha Kecil Menengah) di Indonesia. Pada industri pangan, terdapat UKM yang mengolah singkong karena ketersediaan singkong yang cukup banyak di Indonesia. Singkong dapat diolah menjadi berbagai olahan antara lain keripik singkong, tepung singkong maupun olahan lainnya. Salah satu proses yang terdapat pada pengolahan singkong adalah proses pengeringan. Proses pengeringan tersebut pada umumnya memanfaatkan panas matahari, namun akan terkendala jika pengeringan singkong dilakukan pada saat musim hujan. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kendala tersebut adalah menggunakan *heat exchanger*.

Efisiensi suatu alat yang digunakan merupakan hal yang penting dalam suatu industri, sehingga perlu juga diperhatikan efisiensi suatu alat. Terdapat beberapa cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi *heat exchanger*, antara lain dengan meningkatkan luasan permukaan kontak perpindahan panas. Penggunaan komponen *fin* pada *heat exchanger* dapat meningkatkan besarnya luasan permukaan kontak perpindahan panas, sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi *heat exchanger*. *Rectangular fin* merupakan salah satu jenis *fin* yang dapat digunakan untuk *heat exchanger*.

Penggunaan *heat exchanger* pada industri UKM memiliki peran yang cukup penting untuk membantu proses produksi, namun perlu juga diperhatikan efisiensi *heat exchanger* yang digunakan agar memperoleh hasil yang optimal. Dari uraian tersebut peneliti ingin menganalisa *heat exchanger cross flow rectangular fin tube* dengan variasi *mass flow rate* fluida dingin 0.017 Kg/s, 0.022 Kg/s, 0.024 Kg/s, dan 0.026 Kg/s pada *heat exchanger 2 rectangular fin tube* serta 0.016 Kg/s, 0.021 Kg/s, 0.023 Kg/s, dan 0.024 Kg/s pada *heat exchanger 4 rectangular fin tube*.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap perubahan temperatur fluida dingin ( $\Delta T_c$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*?
2. Bagaimana pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap laju kalor yang diterima oleh fluida dingin ( $\dot{q}_c$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*?
3. Bagaimana pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap koefisien perpindahan kalor total (U) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*?
4. Bagaimana pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap koefisien perpindahan kalor fluida dingin ( $h_c$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*?
5. Bagaimana pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap efisiensi *heat exchanger* ( $\eta$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*?
6. Bagaimana pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap perubahan massa singkong ( $\Delta m_s$ ) sebagai beban pengeringan menggunakan *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap perubahan temperatur fluida dingin ( $\Delta T_c$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*.
2. Mengetahui pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap laju kalor yang diterima oleh fluida dingin ( $\dot{q}_c$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*.
3. Mengetahui pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap koefisien perpindahan kalor total (U) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*.
4. Mengetahui pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap koefisien perpindahan kalor fluida dingin ( $h_c$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*.
5. Mengetahui pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap efisiensi *heat exchanger* ( $\eta$ ) pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*.
6. Mengetahui pengaruh *mass flow rate* fluida dingin terhadap perubahan massa singkong ( $\Delta m_s$ ) sebagai beban pengeringan menggunakan *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*.

## 1.4 Batasan Masalah

1. Mesin pengering yang digunakan merupakan mesin pengering jenis *rotary dryer*.
2. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi *mass flow rate* fluida dingin 0.017 Kg/s, 0.022 Kg/s, 0.024 Kg/s, dan 0.026 Kg/s untuk *heat exchanger*

2 *rectangular fin tube* dan 0.016 Kg/s, 0.021 Kg/s, 0.023 Kg/s, dan 0.024 Kg/s untuk *heat exchanger 4 rectangular fin tube*.

3. Bahan yang digunakan sebagai beban pengeringan menggunakan singkong sebanyak 1 Kg setiap *mass flow rate* selama 30 menit.
4. Dalam penelitian ini, *mass flow rate* menjadi indikator utama terhadap hasil dari pengujian.
5. Pengujian menggunakan *blower* sentrifugal sebagai penyuplai fluida dingin dengan diameter saluran keluar sebesar 2 *inch*.

## 1.5 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suryanto (2017) mengenai *heat exchanger cross flow mixed, tube non finned four pass* dapat diketahui bahwa *mass flow rate* fluida dingin dapat mempengaruhi kinerja *heat exchanger* termasuk efisiensi *heat exchanger*. *Heat exchanger* tersebut tidak menggunakan *fin* sehingga dalam proses pembuatan atau fabrikasi lebih sederhana jika dibandingkan dengan *heat exchanger* yang menggunakan *fin*. Pada *mass flow rate* terendah yaitu 0.023 Kg/s diperoleh perubahan temperatur fluida dingin dan efisiensi tertinggi *heat exchanger* sebesar 92.56 °C dan 38.946 %. Efisiensi yang diperoleh dari alat tersebut tidak cukup tinggi, kemudian efisiensi akan menurun jika *mass flow rate* fluida dingin meningkat.

Wijanarko (2017) juga melakukan penelitian mengenai *heat exchanger cross flow mixed*. Pada penelitian ini komponen tube dilengkapi dengan *circular fin*. Penggunaan *circular fin* membuat proses pembuatan atau fabrikasi alat lebih rumit. Dalam proses pembuatan *circular fin* diperlukan mesin bubut dan mesin potong. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan ternyata perubahan temperatur fluida dingin dan efisiensi *heat exchanger* mengalami peningkatan dibandingkan dengan *heat exchanger* yang tidak dilengkapi dengan *fin*, meskipun perubahan temperatur fluida dingin dan efisiensi juga mengalami penurunan seiring meningkatnya *mass flow rate* fluida dingin. Perubahan temperatur fluida dingin dan efisiensi tertinggi yang diperoleh adalah 104.5 °C dan 44.014 % pada *mass flow rate* terendah 0.023 Kg/s.

Harnanto (2017) melakukan penelitian tentang *Heat Exchanger Cross Flow Unmixed, Finned Tube Four Pass Untuk Mengeringkan Empon-Empon Dengan Variasi Mass Flow Rate*. Dalam penelitian ini digunakan *fin* (sirip) jenis *circular* yang terpasang pada setiap tube, dan aliran fluida panas dipisahkan oleh sekat-sekat



(unmixed). Proses pembuatan heat exchanger ini juga lebih rumit dibandingkan heat exchanger mixed, karena terdapat komponen pemisah berupa sekat-sekat. Perubahan temperatur fluida dingin terbesar adalah 92.47 °C kemudian mengalami penurunan seiring meningkatnya mass flow rate fluida dingin. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin besar mass flow rate fluida dingin, maka akan semakin besar efisiensi heat exchanger. Efisiensi terbesar adalah 51.567 % pada mass flow rate tertinggi yaitu 0.035 Kg/s.

## 1.6 Dasar Teori

### 1.6.1 Teori Kestimbangan Kalor

Berdasarkan teori kesetimbangan kalor, besarnya kalor yang dilepas oleh benda dengan temperatur tinggi menuju benda dengan temperatur rendah sama dengan kalor yang diterima oleh benda dengan temperatur rendah. Berikut persamaan kesetimbangan kalor:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{lepas} &= \dot{Q}_{terima} \\ \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot \Delta T_h &= \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot \Delta T_c \end{aligned} \quad (1)$$

Keterangan:

$\dot{Q}$  : Laju perpindahan kalor (J/s, Watt)

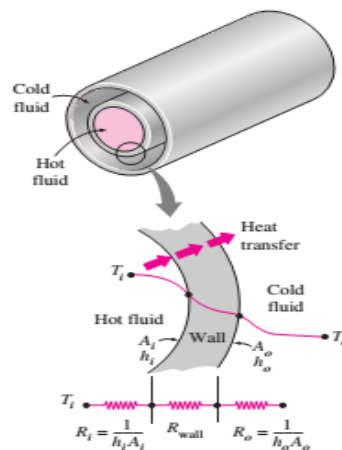
$\dot{m}$  : Laju massa fluida (Kg/s)

$C_p$  : Kalor jenis (J/Kg. K)

$\Delta T$  : Perbedaan temperatur fluida (K)

### 1.6.2 Perpindahan Panas Gabungan antara Konduksi dan konveksi

Di dalam kasus ini terdapat perpindahan kalor gabungan antara konveksi dan konduksi, perpindahan konveksi terjadi karena ada dua fluida yang mengalir, dan perpindahan konduksi terjadi pada dinding pipa.



Gambar 1. Perpindahan Panas Gabungan Pada Pipa

Dari ilustrasi gambar 1 didapatkan persamaan sebagai berikut:

a. Menentukan hambatan total:

$$R = R_{total} = R_i + R_{wall} + R_o \quad (2)$$

$$= \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o + D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}$$

b. Menentukan nilai U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_h} + \frac{\ln(R_o + R_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_c}} \quad (3)$$

dimana U : Koefisien perpindahan kalor total (W/m<sup>2</sup>K)

c. Menentukan Angka Reynolds

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (4)$$

dimana:

Re : Angka Reynolds

ρ : Massa Jenis (Kg/m<sup>3</sup>)

V : Kecepatan Aliran (m/s)

D : Diameter pipa (m)

μ : Viskositas dinamik fluida (Kg/m.s)

ν : Viskositas kinematik fluida (m<sup>2</sup>/s)

jika Re < 2000, maka aliran laminar

jika Re > 4000, maka aliran turbulen

Untuk aliran turbulen berkembang penuh di dalam pipa, dapat menggunakan persamaan di bawah ini untuk menentukan angka nusselt.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (5)$$

Dengan syarat bahwa Re > 10000 (aliran turbulen), maka koefisien perpindahan panas konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{Nu K}{D} \quad (6)$$

dimana:

h : Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (W/m<sup>2</sup>K)

Nu : Angka Nusselt

K : Konduktivitas Thermal (W/mK)

D : Diameter Pipa (m)

### 1.6.3 Metode *Effectiveness*-NTU

Metode *Effectiveness*-NTU merupakan metode yang dapat digunakan selain metode LMTD. Dalam metode ini terdapat hubungan antara efektivitas dan NTU. Efektivitas dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{aktual}}{\dot{Q}_{maks}} \quad (7)$$

dimana:

$\varepsilon$  : Efektivitas

$\dot{Q}_{aktual}$  : Laju Perpindahan Kalor Aktual (J/s)

$\dot{Q}_{maks}$  : Laju Perpindahan Kalor Maksimal (J/s)

Laju perpindahan kalor aktual sama dengan laju kalor fluida dingin dan laju kalor fluida panas. Persamaan laju kalor aktual dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{aktual} &= \text{Laju perpindahan kalor aktual} \\ &= \dot{m}_c \times C_{p_c} \times (T_{c, out} - T_{c, in}) \\ &= \dot{m}_h \times C_{p_h} \times (T_{h, in} - T_{h, out}) \end{aligned} \quad (8)$$

Laju perpindahan kalor maksimal dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{maks} &= \text{Laju perpindahan kalor maksimal} \\ &= C_{min} (T_{h, in} - T_{c, in}) \end{aligned} \quad (9)$$

Dimana  $C_{min}$  adalah harga terkecil dari  $C_c$  atau  $C_h$

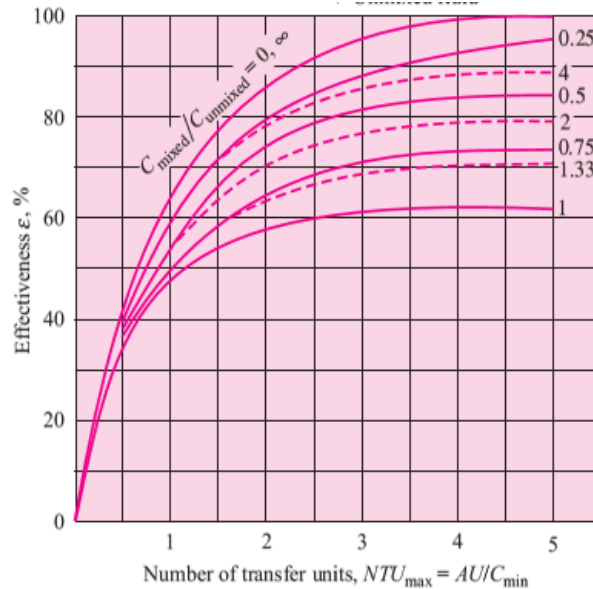
$$C_{min} = C_h = \dot{m}_h \times C_{p_h} \text{ (apabila } C_c > C_h \text{)} \quad (10)$$

$$C_{min} = C_c = \dot{m}_c \times C_{p_c} \text{ (apabila } C_c < C_h \text{)} \quad (11)$$

Nilai rasio C juga perlu diketahui supaya dapat menentukan nilai NTU menggunakan diagram hubungan efektivitas-NTU. Berikut persamaan nilai rasio C:

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (12)$$

Jika nilai efektivitas ( $\epsilon$ ) dan  $C$  telah diketahui, maka nilai NTU dapat diketahui dengan cara analisis maupun menggunakan diagram efektivitas-NTU. Berikut diagram yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai NTU:



Gambar 2. Diagram Efektivitas-NTU *Heat Exchanger Cross Flow One Fluid Mix* (Holman, 2010)

Secara analisis nilai NTU dapat ditentukan menggunakan persamaan-persamaan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Persamaan Efektivitas-NTU (Holman, 2010)

$C = C_{\min}/C_{\max}$	$\epsilon = \text{effectiveness}$	$N = NTU = UA/C_{\min}$
Flow geometry	Relation	
Double pipe:		
Parallel flow		$N = \frac{-\ln[1 - (1 + C)\epsilon]}{1 + C}$
Counterflow		$N = \frac{1}{C - 1} \ln\left(\frac{\epsilon - 1}{C\epsilon - 1}\right)$
Counterflow, $C = 1$		$N = \frac{\epsilon}{1 - \epsilon}$
Cross flow:		
$C_{\max}$ mixed, $C_{\min}$ unmixed		$N = -\ln\left[1 + \frac{1}{C} \ln(1 - C\epsilon)\right]$
$C_{\max}$ unmixed, $C_{\min}$ mixed		$N = \frac{-1}{C} \ln[1 + C \ln(1 - \epsilon)]$
Shell and tube:		
One shell pass, 2, 4, 6, tube passes		$N = -(1 + C^2)^{-1/2} \times \ln\left[\frac{2/\epsilon - 1 - C - (1 + C^2)^{1/2}}{2/\epsilon - 1 - C + (1 + C^2)^{1/2}}\right]$
All exchangers, $C = 0$		$N = -\ln(1 - \epsilon)$

Jika nilai NTU telah diketahui, maka nilai U atau koefisien perpindahan panas total dapat diketahui menggunakan persamaan berikut:

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}} \quad (13)$$

Keterangan:

$NTU$  : Number of Transfer Unit

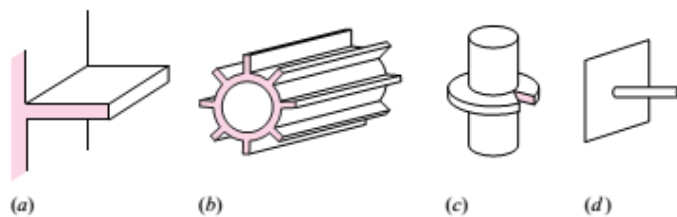
$U$  : Koefisien perpindahan kalor total (W/m<sup>2</sup>K)

$A$  : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$C_{min}$  : Kapasitas kalor minimal (W/K)

#### 1.6.4 *Fin* (Sirip)

Terdapat dua cara dalam meningkatkan laju perpindahan panas yaitu meningkatkan koefisien laju perpindahan panas dan meningkatkan luasan permukaan kontak fluida (Cengel, 2003). Meningkatkan luasan permukaan dapat diperbesar dengan menambahkan sirip atau *fin*. Beberapa bentuk atau jenis sirip dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

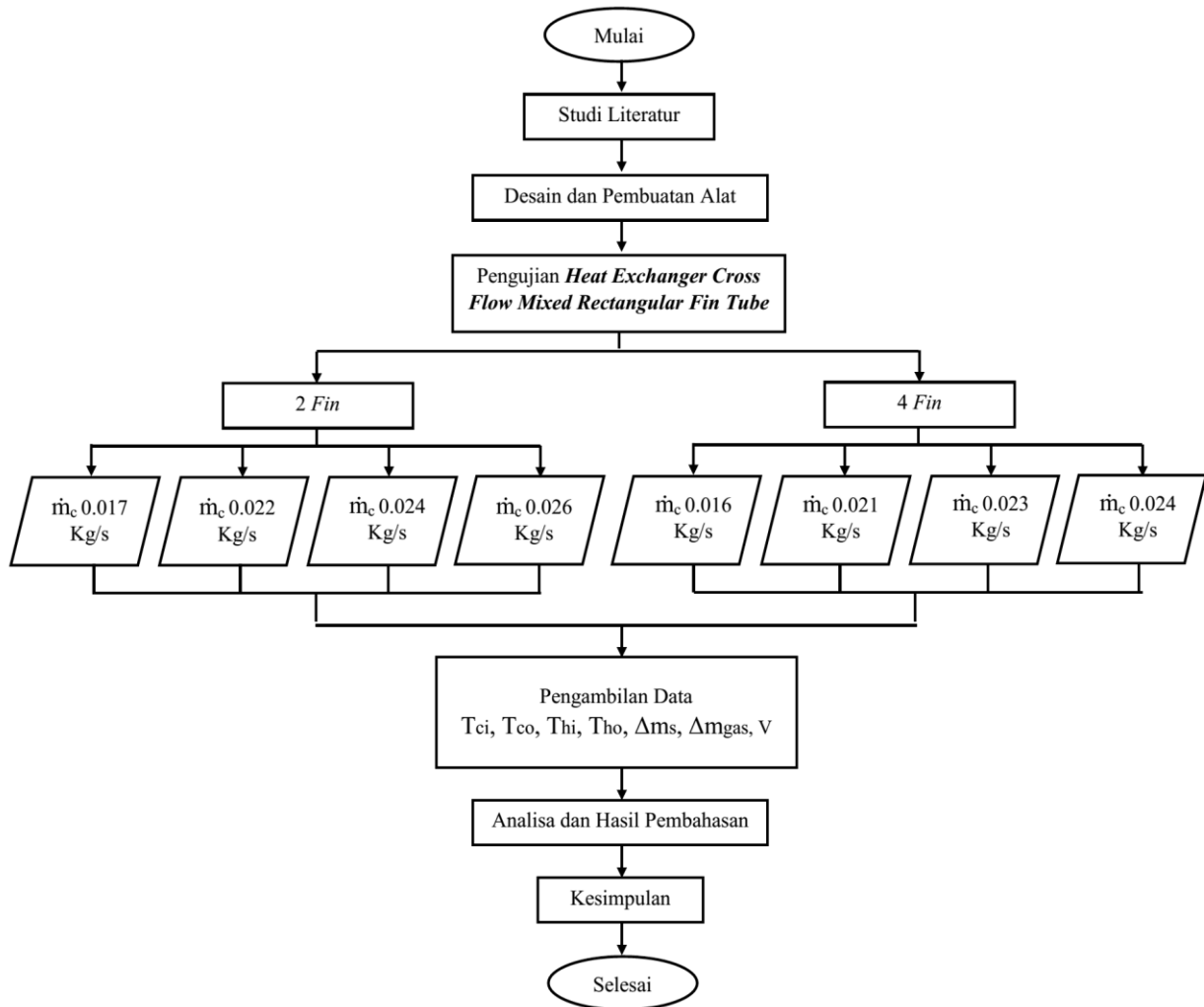


Different types of finned surfaces. (a) Straight fin of rectangular profile on plane wall, (b) straight fin of rectangular profile on circular tube, (c) cylindrical tube with radial fin of rectangular profile, (d) cylindrical-spine or circular-rod fin.

Gambar 3. Jenis-Jenis Sirip (Holman, 2010)

## 2. METODE ]

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

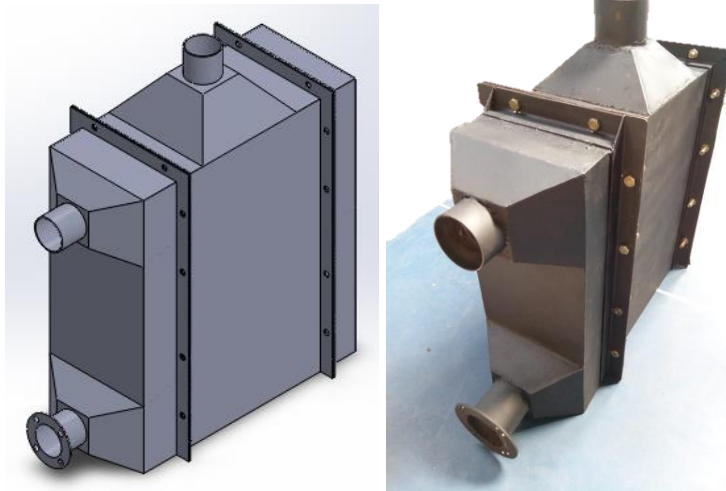


Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

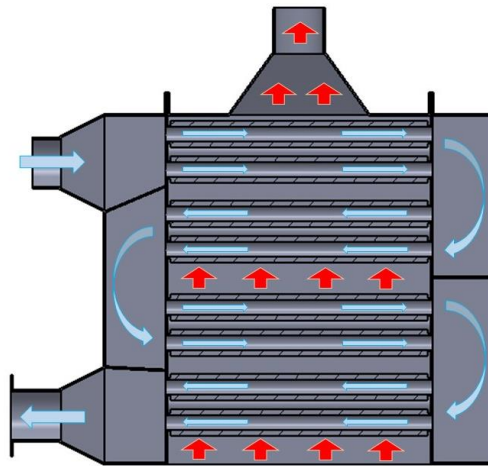
### 2.2 Alat Pengujian

Tabel 2. Alat-alat pengujian

No.	Alat Pengujian	Fungsi
1.	<i>Heat Exchanger</i>	Alat penukar kalor yang akan diuji
2.	Mesin Pengering	Untuk mengeringkan singkong
3.	<i>Blower</i>	Sebagai penyuplai fluida dingin (udara)
4.	<i>Burner</i> (Kompur gas)	Sebagai sumber <i>mass flow rate</i> fluida panas





Gambar 5. Heat Exchanger Cross Flow Rectangular Fin Tube



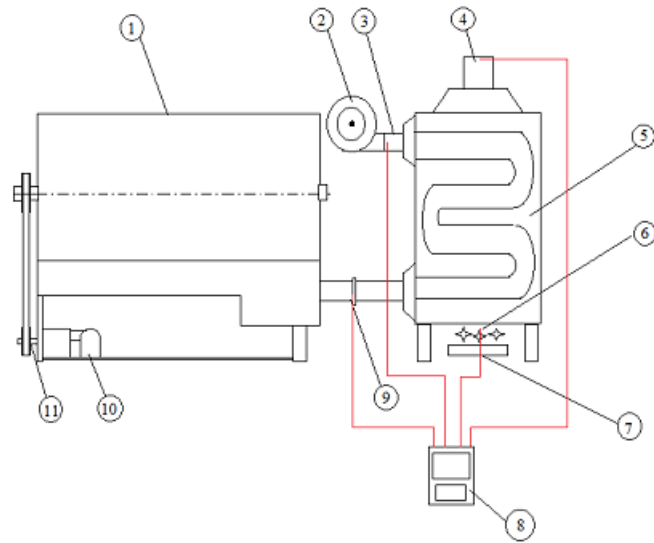
Gambar 6. Skema Aliran Fluida Heat Exchanger

Keterangan:

-  = Aliran Fluida Dingin
-  = Aliran Fluida Panas

Tabel 3. Alat ukur yang digunakan dalam pengujian

No.	Alat Ukur	Fungsi
1.	<i>Thermocouple</i> dan	Mengukur temperatur pada heat exchanger
2.	<i>Anemometer</i>	Mengukur kecepatan aliran udara
3.	<i>Stopwatch</i>	Mengukur waktu saat pengujian
4.	Timbangan	Mengukur massa singkong dan LPG



Gambar 7. Skema Instalasi Pengujian (Setiawan, 2017)

Keterangan:

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1. Mesin Pengering <i>Rotary Dryer</i> | 7. <i>Burner</i>                      |
| 2. <i>Blower</i>                       | 8. <i>Thermoreader</i>                |
| 3. <i>Thermocouple 1</i> ( $T_{ci}$ )  | 9. <i>Thermocouple 2</i> ( $T_{co}$ ) |
| 4. <i>Thermocouple 4</i> ( $T_{ho}$ )  | 10. <i>Motor Listrik</i>              |
| 5. <i>Heat Exchanger</i>               | 11. <i>Gear Reducer</i>               |
| 6. <i>Thermocouple 3</i> ( $T_{hi}$ )  |                                       |

### 2.3 Bahan Pengujian

1. Udara
2. Singkong
3. Gas LPG

### 2.4 Langkah Pengujian

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian, serta memastikan alat ukur yang digunakan berfungsi dengan baik.
2. Memasang alat-alat yang akan digunakan pada saat pengujian sesuai dengan skema pemasangan atau instalasi pengujian.
3. Mengatur katup blower sesuai dengan mass flow rate yang akan digunakan, kemudian menyalakan blower.
4. Menyalakan kompor gas untuk memanaskan Heat Exchanger sampai diperoleh temperatur  $T_{co}$  sebesar  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$

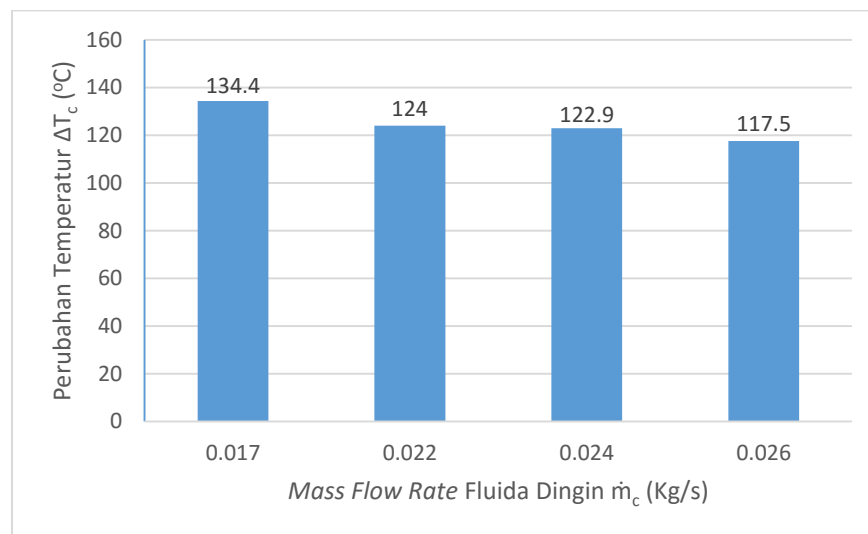


5. Setelah suhu awal tercapai, kemudian memasukan singkong ke dalam mesin pengering sebanyak 1 Kg dan menimbang massa awal tabung gas LPG.
6. Menyalakan mesin pengering, dan thermocouple selama 30 menit.
7. Mencatat data temperatur pada thermocouple setiap 10 menit dalam 30 menit.
8. Setelah 30 menit, mematikan blower, thermocouple, dan mesin pengering.
9. Mengambil singkong yang telah dikeringkan dalam mesin pengering, kemudian timbang massa singkong setelah dikeringkan dan massa akhir tabung gas LPG setelah digunakan.
10. Mendinginkan Heat Exchanger dan mesin pengering hingga suhu normal.
11. Melakukan pengujian seperti langkah-langkah di atas dengan menggunakan mass flow rate yang berbeda.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Perubahan Temperatur Fluida Dingin ( $\Delta T_c$ )

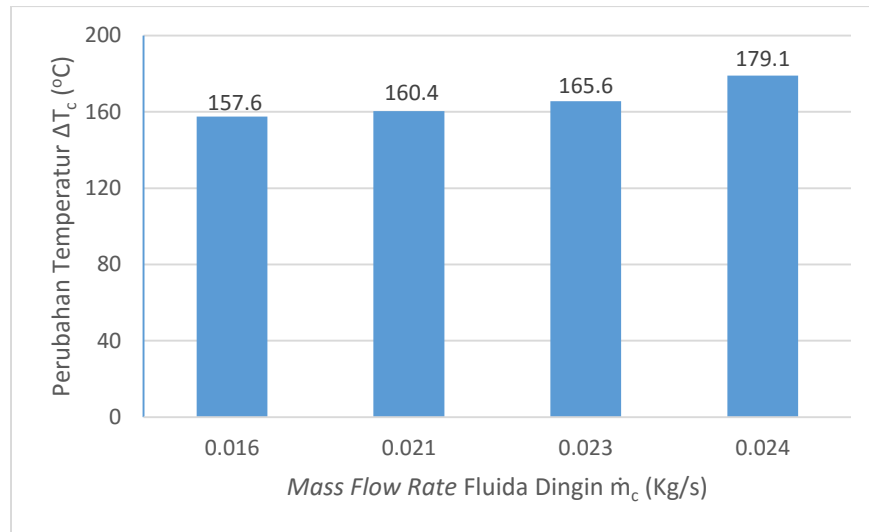
##### a. *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*



Gambar 8. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Perubahan Temperatur Fluida Dingin ( $\Delta T_c$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*

Perubahan temperatur fluida dingin terbesar adalah 134.4 °C pada *mass flow rate* 0.017 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.022 Kg/s, 0.024 Kg/s, 0.026 Kg/s diperoleh perubahan temperatur fluida dingin sebesar 124 °C, 122.9 °C, 117.5 °C. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka perubahan temperatur fluida dingin semakin kecil.

**b. Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube**

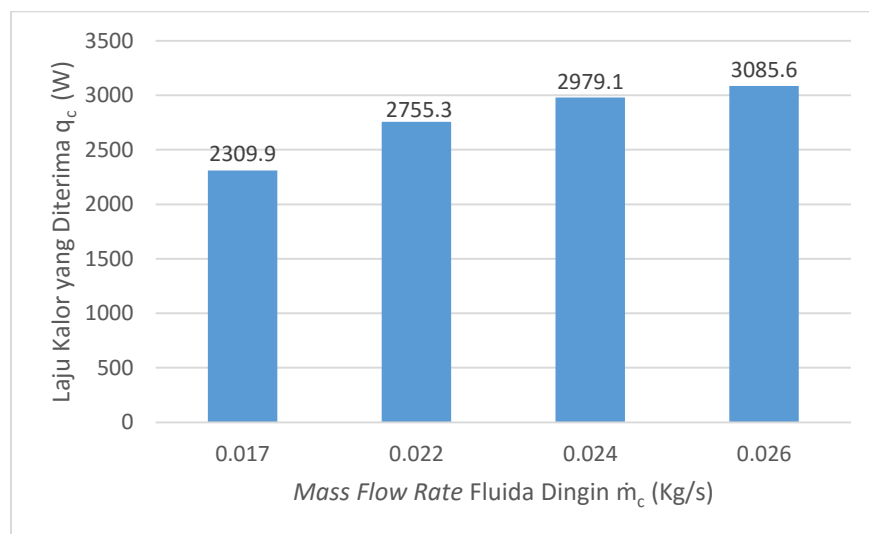


Gambar 9. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Perubahan Temperatur Fluida Dingin ( $\Delta T_c$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*

Perubahan temperatur fluida dingin terbesar adalah 179.1  $^{\circ}\text{C}$  pada *mass flow rate* 0.024 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.016 Kg/s, 0.021 Kg/s, 0.023 Kg/s diperoleh perubahan temperatur fluida dingin sebesar 157.6  $^{\circ}\text{C}$ , 160.4  $^{\circ}\text{C}$ , 165.5  $^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka perubahan temperatur fluida dingin juga semakin besar.

**3.2 Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Laju Kalor Yang Diterima Fluida Dingin ( $\dot{q}_c$ )**

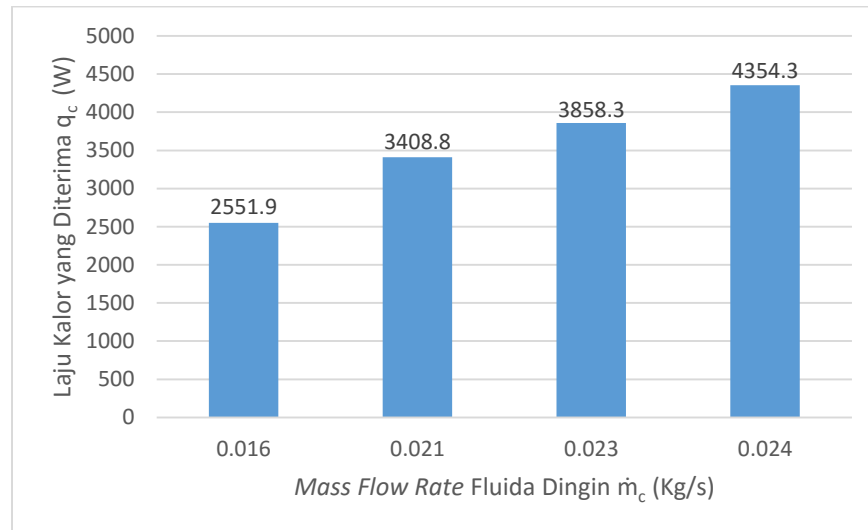
**a. Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube**



Gambar 10. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Laju Kalor yang Diterima Fluida Dingin ( $\dot{q}_c$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*

Laju kalor yang diterima fluida dingin terbesar adalah 3085.6 Watt pada *mass flow rate* 0.026 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.017 Kg/s, 0.022 Kg/s, 0.024 Kg/s, laju kalor yang diterima oleh fluida dingin adalah 2309.9 watt, 2755.3 watt, dan 2979.1 watt. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka laju kalor yang diterima oleh fluida dingin juga akan semakin besar.

**b. *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube***

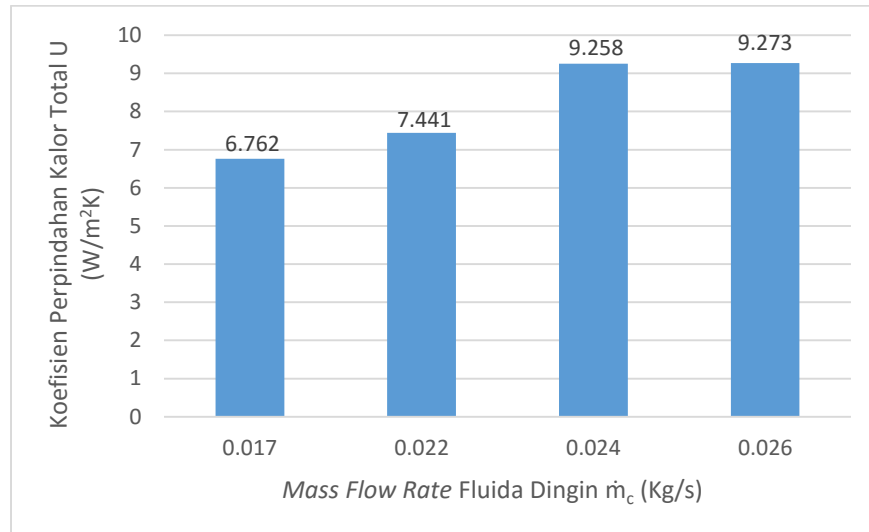


Gambar 11. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Laju Kalor yang Diterima Fluida Dingin ( $\dot{q}_c$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*

Laju kalor yang diterima fluida dingin terbesar adalah 4354.3 Watt pada *mass flow rate* 0.024 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.016 Kg/s, 0.021 Kg/s, 0.023 Kg/s, laju kalor yang diterima oleh fluida dingin adalah 2551.9 watt, 3408.8 watt, dan 3858.3 watt. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka laju kalor yang diterima oleh fluida dingin juga akan semakin besar.

### 3.3 Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Total (U)

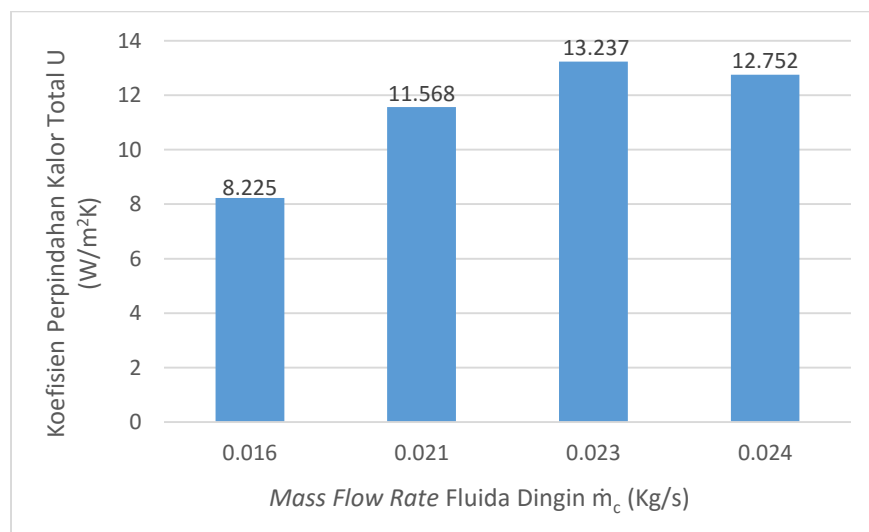
#### a. *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*



Gambar 12. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap koefisien perpindahan kalor total (U) *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*

Koefisien perpindahan kalor total terbesar adalah 9.273 W/m<sup>2</sup>K pada *mass flow rate* 0.026 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.017 Kg/s, 0.022 Kg/s, 0.024 Kg/s, diperoleh koefisien perpindahan kalor total sebesar 6.762 W/m<sup>2</sup>K, 7.441 W/m<sup>2</sup>K, 9.258 W/m<sup>2</sup>K. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka koefisien perpindahan kalor total juga akan semakin besar.

#### b. *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*

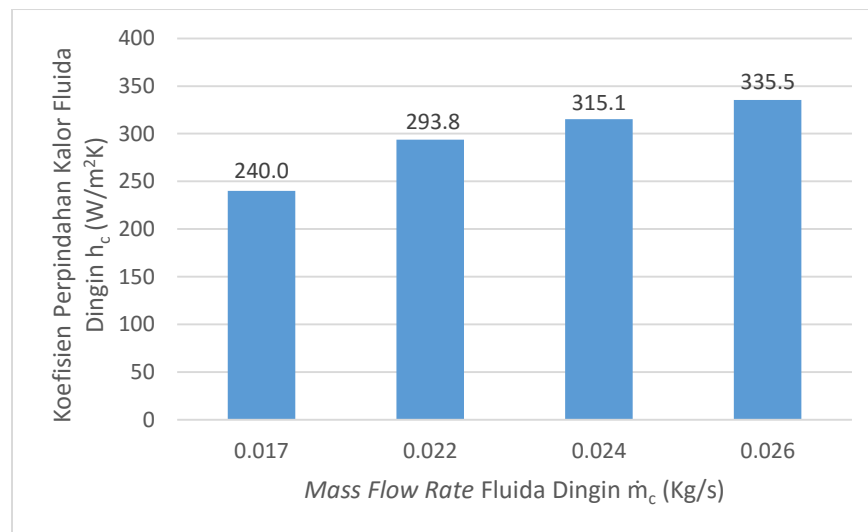


Gambar 13. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap koefisien perpindahan kalor total (U) *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*

Koefisien perpindahan kalor total tertinggi adalah  $13.237 \text{ W/m}^2\text{K}$  pada *mass flow rate*  $0.023 \text{ Kg/s}$ , namun mengalami penurunan pada *mass flow rate*  $0.024 \text{ Kg/s}$  dengan koefisien perpindahan kalor total sebesar  $12.752 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pada *mass flow rate*  $0.016 \text{ Kg/s}$  dan  $0.021 \text{ Kg/s}$  besarnya nilai koefisien perpindahan kalor total adalah  $8.225 \text{ W/m}^2\text{K}$  dan  $11.568 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 3.4 Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Fluida Dingin ( $h_c$ )

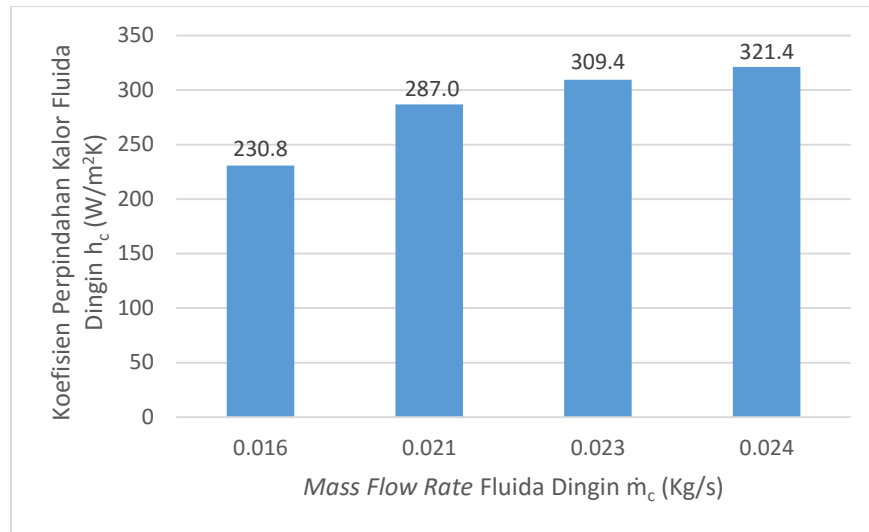
#### a. *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*



Gambar 14. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Fluida Dingin ( $h_c$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*

Koefisien perpindahan kalor fluida dingin terbesar adalah  $335.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  pada *mass flow rate*  $0.026 \text{ Kg/s}$ . Pada *mass flow rate*  $0.017 \text{ Kg/s}$ ,  $0.022 \text{ Kg/s}$ ,  $0.024 \text{ Kg/s}$ , diperoleh koefisien perpindahan kalor fluida dingin sebesar  $240 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $293.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $315.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka koefisien perpindahan kalor fluida dingin juga akan semakin besar.

**b. Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube**

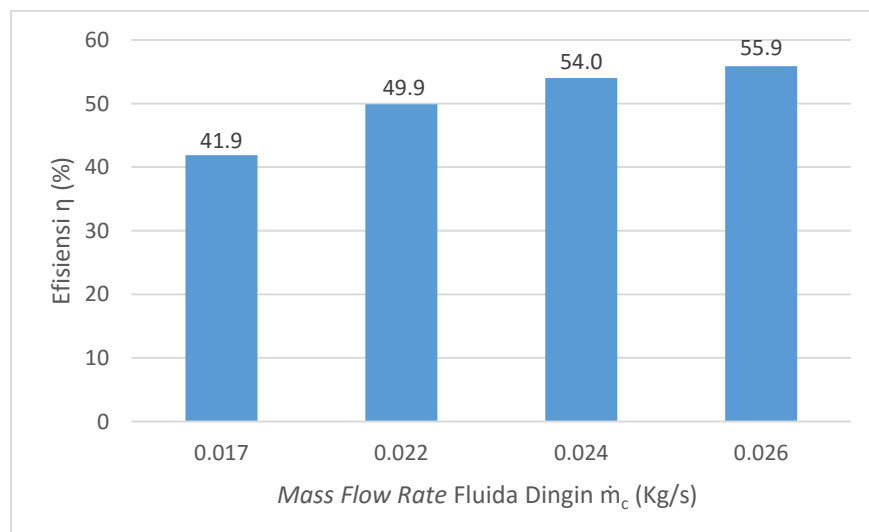


Gambar 15. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Fluida Dingin ( $h_c$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*

Koefisien perpindahan kalor fluida dingin terbesar adalah 321.4 W/m<sup>2</sup>K pada *mass flow rate* 0.024 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.016 Kg/s, 0.021 Kg/s, 0.023 Kg/s, diperoleh koefisien perpindahan kalor fluida dingin sebesar 230.8 W/m<sup>2</sup>K, 287 W/m<sup>2</sup>K, 309.4 W/m<sup>2</sup>K. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka koefisien perpindahan kalor fluida dingin juga akan semakin besar.

**3.5 Pengaruh Mass Flow Rate Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Efisiensi Heat Exchanger ( $\eta$ )**

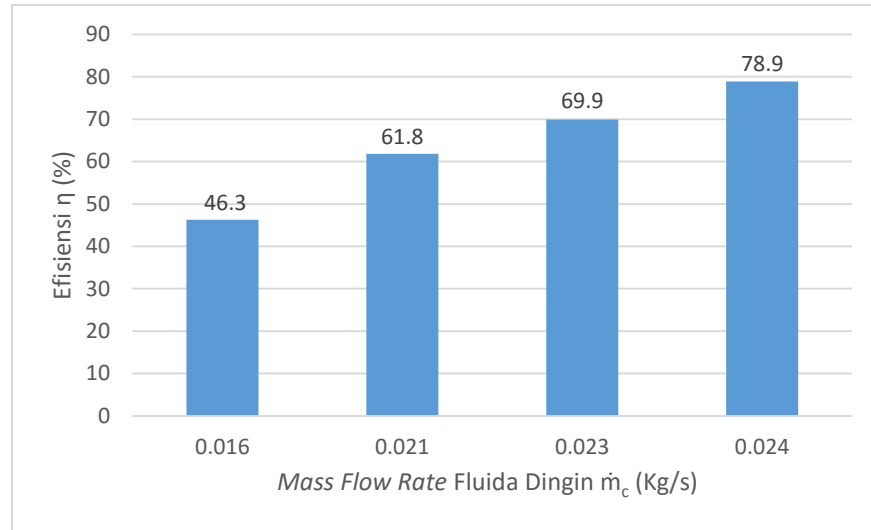
**a. Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube**



Gambar 16. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Efisiensi ( $\eta$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*

Efisiensi *heat exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube* terbesar adalah 55.9 % pada *mass flow rate* 0.026 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.017 Kg/s, 0.022 Kg/s, 0.024 Kg/s, diperoleh efisiensi *heat exchanger* sebesar 41.9 %, 49.9 %, dan 54 %. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka efisiensi *heat exchanger* juga akan semakin besar.

**b. *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube***

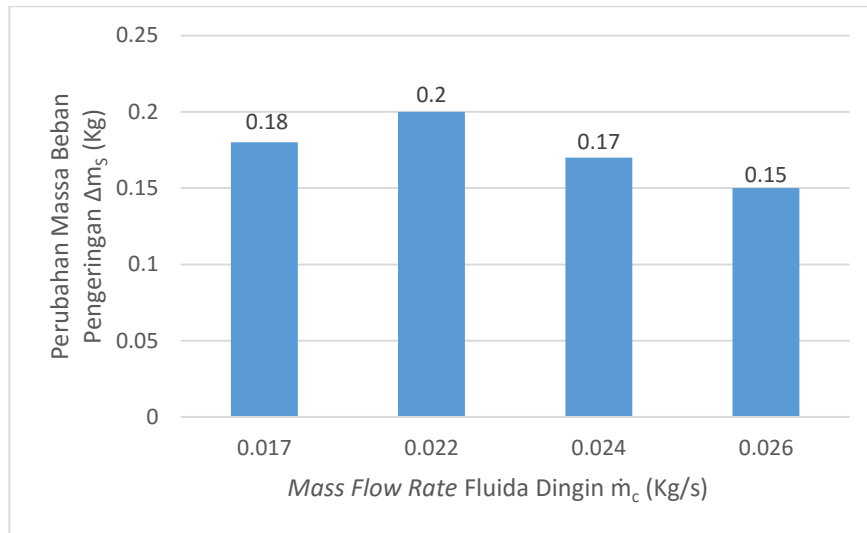


Gambar 17. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Efisiensi ( $\eta$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*

Efisiensi *heat exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube* terbesar adalah 78.9 % pada *mass flow rate* 0.024 Kg/s. Pada *mass flow rate* 0.016 Kg/s, 0.021 Kg/s, 0.023 Kg/s, diperoleh efisiensi *heat exchanger* sebesar 46.3 %, 61.8 %, dan 69.9 %. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka efisiensi *heat exchanger* juga akan semakin besar.

### 3.6 Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Perubahan massa beban pengeringan ( $\Delta m_s$ )

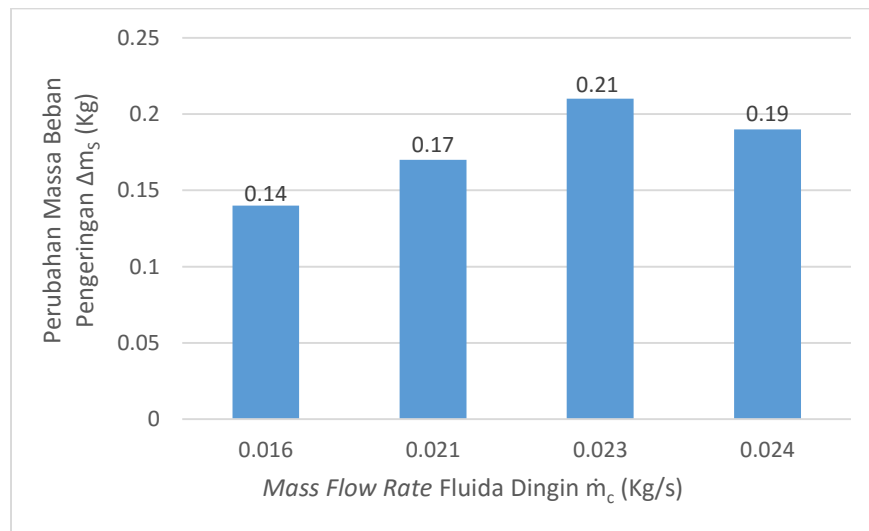
#### a. *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*



Gambar 18. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Perubahan massa beban pengeringan ( $\Delta m_s$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 2 Rectangular Fin Tube*

Pada *mass flow rate* 0.017 Kg/s, 0.022 Kg/s, 0.024 Kg/s, 0.026 Kg/s diperoleh perubahan massa beban pengeringan sebesar 0.18 Kg, 0.2 Kg, 0.17 Kg, dan 0.15 Kg. Perubahan massa beban pengeringan terbesar adalah 0.2 Kg pada *mass flow rate* 0.022 Kg/s, kemudian mengalami penurunan besarnya perubahan massa beban pengeringan pada *mass flow rate* yang lebih besar.

#### b. *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*



Gambar 19. Grafik Pengaruh *Mass Flow Rate* Fluida Dingin ( $\dot{m}_c$ ) Terhadap Perubahan massa beban pengeringan ( $\Delta m_s$ ) *Heat Exchanger Cross Flow 4 Rectangular Fin Tube*



Pada *mass flow rate* 0.016 Kg/s perubahan massa yang terjadi adalah 0.14 Kg, kemudian naik menjadi 0.17 Kg pada *mass flow rate* 0.021 Kg/s sampai pada titik puncak pada *mass flow rate* 0.023 Kg/s dengan perubahan massa sebesar 0.21 Kg. Namun, pada *mass flow rate* 0.024 Kg/s, besarnya perubahan massa mengalami penurunan menjadi 0.19 Kg.

#### 4. PENUTUP

##### 4.1 Kesimpulan

1. Perubahan temperatur fluida dingin dipengaruhi oleh *mass flow rate* fluida dingin. Pada *heat exchanger 2 fin tube*, perubahan temperatur fluida dingin mengalami penurunan seiring meningkatnya *mass flow rate* fluida dingin. Sedangkan pada *heat exchanger 4 fin tube*, semakin besar *mass flow rate* fluida dingin perubahan temperatur fluida dingin juga akan semakin besar.
2. Laju kalor yang diterima fluida dingin dipengaruhi oleh *mass flow rate* fluida dingin. Pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*, semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka laju kalor yang diterima oleh fluida dingin juga akan semakin besar.
3. Koefisien perpindahan kalor total dipengaruhi oleh *mass flow rate* fluida dingin. Pada *heat exchanger 2 fin tube*, semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka koefisien perpindahan kalor total juga semakin besar. Sedangkan pada *heat exchanger 4 fin tube*, koefisien perpindahan kalor total akan meningkat seiring meningkatnya *mass flow rate* fluida dingin sampai nilai maksimum, kemudian mengalami penurunan meskipun *mass flow rate* fluida dingin meningkat.
4. Koefisien perpindahan kalor fluida dingin dipengaruhi oleh *mass flow rate* fluida dingin. Pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*, semakin besar *mass flow rate* fluida dingin, maka koefisien perpindahan kalor fluida dingin juga akan semakin besar.
5. Efisiensi *heat exchanger* dipengaruhi oleh *mass flow rate* fluida dingin. Pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*, efisiensi *heat exchanger* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya *mass flow rate* fluida dingin.
6. Perubahan massa beban pengeringan (singkong) dipengaruhi oleh *mass flow rate* fluida dingin. Pada *heat exchanger 2 fin tube* dan *4 fin tube*, perubahan massa beban pengeringan (singkong) mengalami peningkatan seiring meningkatnya *mass flow rate* fluida dingin sampai titik maksimum kemudian perubahan massa beban

pengeringan (singkong) mengalami penurunan meskipun *mass flow rate* fluida dingin meningkat.

#### **4.2 Saran**

1. Melakukan pengujian pada waktu dan tempat yang memiliki temperatur ruangan yang cukup stabil.
2. Memasang perapat antar bagian alat untuk menghindari kebocoran aliran fluida yang digunakan.

#### **PERSANTUNAN**

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, segala puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir yang berjudul "**Rancang Bangun dan Pengujian *Heat Exchanger Cross Flow Rectangular Fin Tube Variasi Mass Flow Rate Fluida Dingin***".

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan, dukungan dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu dan bapak atas segala do'a dan dukungan yang telah diberikan.
2. Bapak Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Ir. Subroto, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Ir. Sartono Putro, M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir.
5. Bapak Joko Sedyono, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama masa perkuliahan.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
7. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung turut membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Cengel, Y. A. (2003). *HEAT TRANSFER A Practical Approach* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Companies, Inc. All.

- Harnanto, W. N. A. (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Unmixed, Finned Tube Four Pass, Untuk Mengeringkan Empon-Empon dengan Variasi Mass Flow Rate*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Holman, J. P. (2010). *HEAT TRANSFER* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Companies, Inc. All.
- Setiawan, B. (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Unmixed, Non Finned Tube Four Pass, Untuk Mengeringkan Empon-empon dengan Variasi Mass Flow Rate*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Suryanto, A. (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Tube Non Finned Four Pass, Untuk Mengeringkan Empon-Empon Dengan Variasi Mass Flow Rate*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wijanarko, Y. (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Finned Tube Four Pass, Untuk Mengeringkan Empon-Empon dengan Variasi Mass Flow Rate*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.