

## **KAJI KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS PENGARUH BELOKAN TAJAM PADA PENUKAR KALOR TIPE TUBE**

**Zulfan<sup>1</sup>, Ahmad Syuhada<sup>2</sup>, Zahrul Fuadi<sup>3</sup>, Al Munawir<sup>4</sup>**  
<sup>1,2,3</sup>) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala  
<sup>4</sup>) Program Studi Teknik Mesin Universitas Teuku Umar  
e-mail: [zulfanstmt@unsyiah.ac.id](mailto:zulfanstmt@unsyiah.ac.id), [almunawir@utu.ac.id](mailto:almunawir@utu.ac.id)

### **Abstrak**

*Penggunaan mesin thermal dalam proses produksi atau operasi yang membangkitkan panas yang berlebih pada mesin Thermal, sehingga dibutuhkan unit Heat Exchanger (HE) yang memiliki koefisien perpindahan panas ( $hc$ ) yang tinggi untuk memindahkan panas ke resevoir Thermal. Study eksperimental telah dilakukan untuk karakteristik perpindahan panas konveksi paksa pada saluran bulat, dengan metode membandingkan tiga HE dengan variasi belokan dan panjang laluan setelah belokan yang berbeda-beda, yaitu HE panjang tube 500 mm dengan 12 belokan, HE panjang tube 250 mm dengan 24 belokan, dan HE panjang tube 125 mm dengan 48 belokan. Fluida panas dialirkan kedalam tube, tube tersebut direndam dalam bak penampungan air dingin. Untuk masing-masing alat uji dilakukan tiga kali percobaan dengan variasi temperature inlet berbeda yaitu  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ , dengan durasi waktu selang 5 menit selama 50 menit. Banyak belokan dan pendeknya laluan setelah belokan suatu HE akan meningkatkan pola aliran turbulensi. Tingginya turbulensi akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan panas, namun menghambat laju aliran fluida.*

**Kata Kunci :** Karakteristik perpindahan panas, saluran bulat, belokan tajam, panjang laluan.

### **Abstract**

*Using the thermal machines in the production process or overdone heat power operation require unit of Heat Exchanger (HE) having high level heat transfer coefficient ( $hc$ ) for transferring to the thermal reservoir. Experimental studies have been done for heat transfer characteristics of forced convection on the round duct with method use that compare three of heat exchanger with a variety of pipe bends and a long pass after a turn that is different. HE pipes have length of tube 500 mm with a 12 bends, HE pipes length of tube 250 mm with 24 bends and HE pipes length of tube 125 mm with 48 bends. The heat fluid flowed into the tube, and the tube is immersed in the cold water tank. For each of test equipments can be done three times experiment with different variations in inlet temperature that is at  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$  and  $80^{\circ}\text{C}$ , with a duration of 5 minute intervals for 50 minutes. Many pipe bends and short passes after a HE will increase turbulence flow pattern. The high of turbulence will increase the value of heat transfer coefficient, but it can hold on fluid flow rate.*

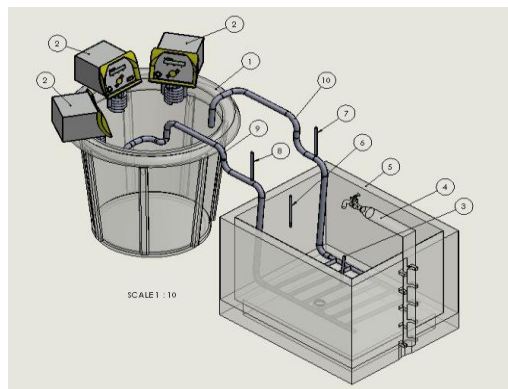
**Keywords :** heat transfer characteristics, round duct, sharp bends, long pass

## 1. PENDAHULUAN

Unit penukar kalor adalah suatu alat untuk memindahkan kalor dari suatu fluida kefluida yang lain. Sebagian besar dari industri-industri selalu menggunakan alat ini, sehingga alat penukar kalor ini mempunyai peran yang penting dalam suatu proses produksi atau operasi. Misalnya mesin thermal yang mempunyai sifat membangkitkan panas. Panas berlebih yang dibangkitkan mesin Thermal harus diturunkan demi menjaga performa mesin dan menjaga komponen-komponen mesin dari kerusakan. Panas dari mesin thermal ini biasanya dibuang ke thermal resevoir (laut, danau, sungai dan udara) menggunakan unit penukar kalor. Mengingat besarnya panas yang harus dibuang, dibutuhkan unit penukar kalor yang memiliki koefisien perpindahan panas ( $hc$ ) yang ditinggi. Menurut Eka, dkk. (2011: 1), Perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri heat exchanger. Menurut Wahyudi S. (2010: 14) Variasi Clearance belokan berpengaruh pada koefisien perpindahan panas konveksi pada saluran berliku berpenampang segi empat dengan belokan tajam. Dari kedua teori tersebut dapat disimpulkan perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh nilai  $hc$ .

Menurut Syuhada A. (2000: 2) Laju perpindahan massa/panas yang besar disebabkan oleh kuatnya turbulensi. Turbulensi terjadi pada belokan dan sepanjang jarak  $7.93 d_h$  sampai  $9.13 d_h$  tergantung pada klearansi belokan.

Karena sangat sulit untuk mengukur distribusi yang komplek dari laju perpindahan panas dengan ketelitian data yang tinggi. Oleh karenanya kami telah melakukan studi eksperimental terhadap perpindahan panas/massa konveksi paksa pada saluran bulat, dengan metode membandingkan tiga alat penukar kalor dengan variasi belokan dan panjang laluan setelah belokan yang berbeda-beda. Penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Syuhada A. (2000: 3). Yaitu studi eksperimental terhadap perpindahan panas/massa konveksi paksa pada saluran persegi empat berbelokan tajam dengan menggunakan metode sublimasi naphthalene.



Gambar 1. Sketmatik peralatan penelitian

Sesuai dengan penomoran gambar diatas dapat dijelaskan bahwa:

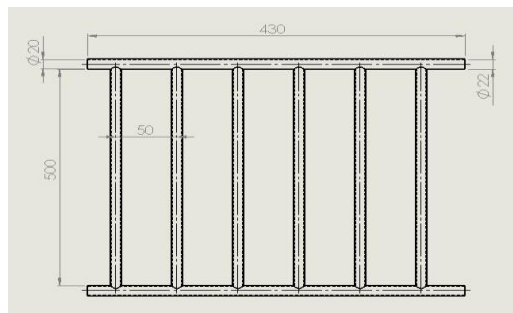
1. *Drum hot water*
2. *Heater, Pompa, dan Thermo Digital*
3. *Thermometer permukaan HE*

4. Pipa air pendingin
5. Bak pendingin
6. *Thermometer* air pendingin
7. *Thermometer outlet hot water*
8. *Thermometer inlet hot water*
9. Selang inlet hot water
10. Selang outlet hot water

## 2. PERALATAN EKSPERIMEN

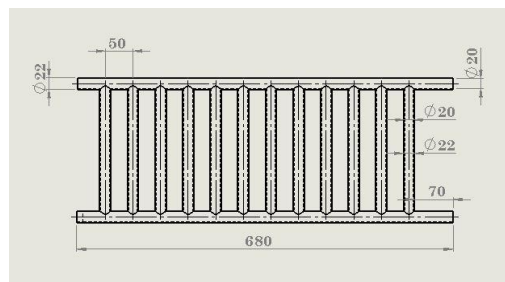
Pada penelitian ini alat penukar panas terdiri dari tiga buah alat, yang membedakan alat ini adalah pada jumlah belokan dan panjang laluan setelah belokan, yaitu alat penukar kalor panjang tube 500 mm dengan 12 belokan, alat penukar kalor panjang tube 250 mm dengan 24 belokan, dan alat penukar kalor panjang tube 125 mm dengan 48 belokan.

Dimensi HE panjang tube 500 mm dengan 12 belokan seperti pada gambar. 2. dibawah ini :



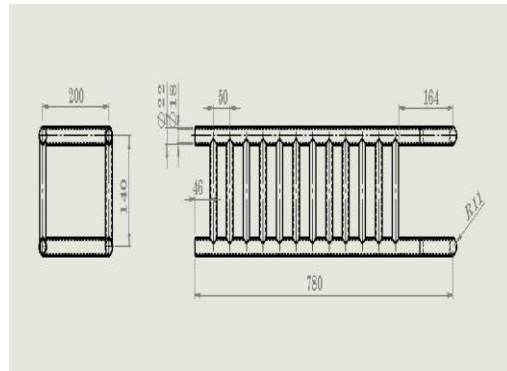
Gambar 2. Alat penelitian *Heat Exchanger* panjang tube 500 mm 12 belokan

Dimensi HE panjang tube 250 mm dengan 24 belokan seperti pada gambar. 3. dibawah ini:



Gambar 3. Alat penelitian *Heat Exchanger* panjang tube 250 mm 24 belokan

Dimensi HE panjang tube 125 mm dengan 48 belokan seperti pada gambar. 4. dibawah ini:



Gambar 4. Alat penelitian *Heat Exchanger* panjang tube 125 mm 48 belokan

Adapun langkah pertama dalam pengujian alat penukar panas ini adalah menyediakan air panas dan air dingin sebagai fluida kerja yang akan diuji dalam bak penampungan. Dikarenakan pada pengujian ini pengambilan data pada alat uji secara bertahap, maka alat yang diuji dilakukan secara satu persatu. Untuk masing-masing alat uji dilakukan tiga kali percobaan dengan variasi temperature inlet berbeda yaitu  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ .

Fluida panas yang masuk dari inlet panas didistribusikan oleh media pompa yang sekaligus sebagai pemanas dan pengatur temperatur fluida air. Pemasangan pemanas disini ada tiga unit, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 5. Pompa dan pemanas air

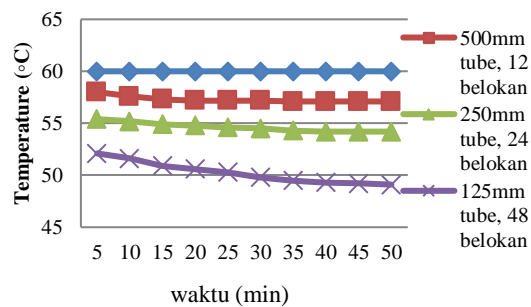
Sementara pompa yang bekerja mendistribusikan fluida panas hanya satu unit saja. Fluida panas yang di distribusikan oleh pompa masuk kedalam HE dan fluida tersebut keluar melalui *outlet* fluida panas yang kemudian fluida panas tersebut ditampung kembali pada bak penampungan air panas semula. Sehingga temperatur fluida panas tetap terjaga.

Sedangkan untuk Fluida dingin ditampung didalam bak yang merendam alat penukar kalor. Temperature fluida dingin di atur tetap berada dibawah  $30^{\circ}\text{C}$  dengan mengalirkan air masuk dan keluar bak terus menerus.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

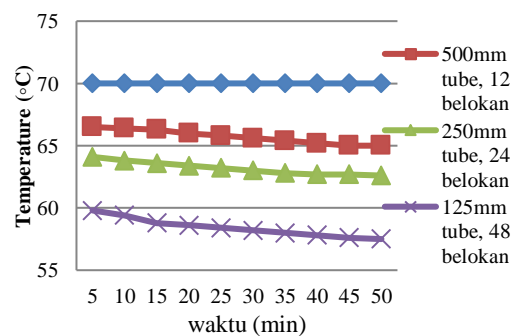
#### 3.1 Perbandingan Data Hasil Pengujian HE untuk Berbagai Variasi Tube

Data hasil pengujian ditampilkan dalam tiga grafik yang berbeda. Yang membedakan ketiga grafik tersebut adalah pada temperatur inlet masing-masing yaitu temperature inlet pada 60 °C, 70 °C, dan 80 °C. Grafik digambarkan dengan distribusi temperature terhadap waktu. Data diambil setiap 5 menit bertambahnya waktu dengan jangka waktu pengambilan data selama 50 menit.



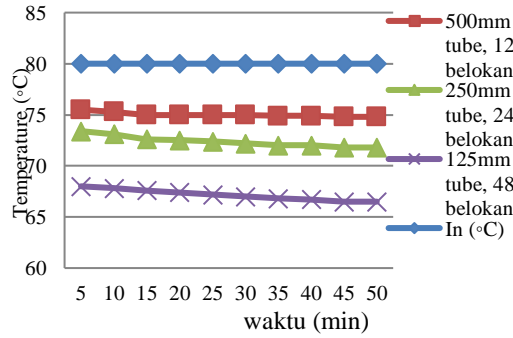
Gambar 6. Grafik Perbandingan Data Temperatur terhadap Waktu pada suhu inlet 60°C untuk Ketiga Jenis Variasi HE.

Pada gambar 6. Terlihat penurunan temperatur yang bervariasi untuk setiap HE.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Data Temperatur terhadap Waktu pada suhu inlet 70°C untuk Ketiga Jenis Variasi HE.

Pada gambar 7. Terlihat profil penurunan temperatur untuk setiap HE hampir sama dengan gambar 6.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Data Temperatur terhadap Waktu pada suhu inlet 80°C untuk Ketiga Jenis Variasi HE.

Pada gambar 8. Terlihat profil penurunan temperatur untuk setiap HE hampir sama dengan gambar 6 dan gambar 7.

3.2 Reynold Number (Re)

Karakteristik suatu aliran fluida dapat ditunjukkan oleh bilangan reynold. Besarnya nilai Re pada aliran dalam pipa dapat ditentukan dengan persamaan:

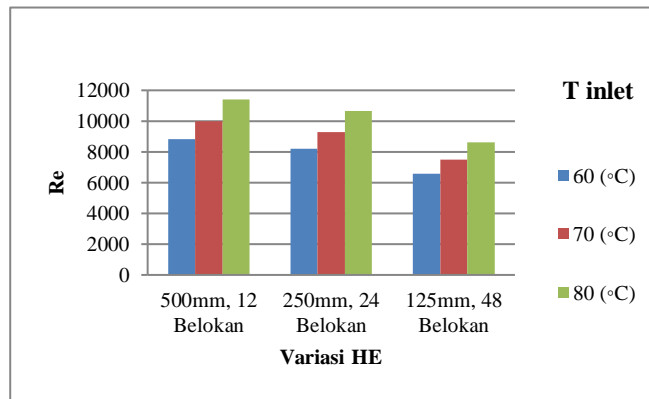
$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots (1)$$

Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai Re dapat disimpulkan dalam tabel 1. dan gambar 9. Berikut ini:

Tabel. 1. Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai Re.

Panjang Tube Temperature Inlet	500mm, 12 Belokan	250mm, 24 Belokan	125mm, 48 Belokan
60 (°C)	8823	8200	6588
70 (°C)	9995	9304	7497
80 (°C)	11387	10651	8627

Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai Re dapat ditunjukkan dengan grafik seperti pada gambar 9



Gambar 9. Grafik Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai Re

Dari ketiga variasi HE, HE yang mempunyai panjang tube lebih pendek (lebih banyak belokan) menunjukkan penurunan nilai Re yang lebih besar. Hal ini dikarenakan HE panjang tube lebih pendek akan menyebabkan aliran turbulen lebih besar. Tingginya turbulensi berakibatkan perubahan arah aliran secara tiba-tiba sehingga dapat menghambat kecepatan aliran fluida. Turunnya kecepatan aliran fluida ini yang menyebabkan turunnya nilai Re.

3.3 Koefisien Perpindahan Panas ( $h_c$ )

Secara Termodinamika untuk menentukan kesetimbangan energi pada HE atau biasa disebut balance energi, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{panas} = m \cdot Cp \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka diperoleh hasil perhitungan nilai Q. Berdasarkan hukum kekekalan energi  $Q = q_c$ , maka dapat dihitung nilai  $h_c$ .

$$h_c = \frac{q_c}{A(T_s - T_\infty)} \dots\dots\dots (3)$$

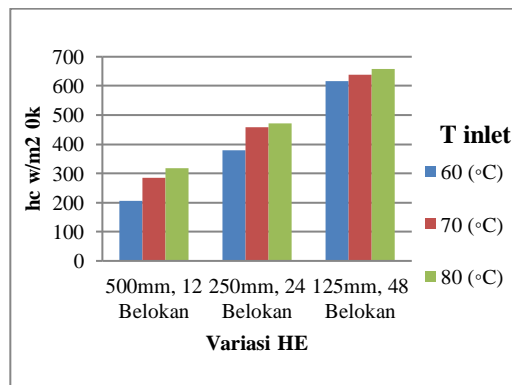
Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai  $h_c$  dapat disimpulkan dalam tabel 2. dan gambar 16. dibawah ini:

Tabel. 2. Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai  $h_c$

Panjang Tube	500mm,	250mm,	125mm,
	12 Belokan	24 Belokan	48 Belokan
Temperature inlet			

60 (0C)	205,88 W/m <sup>2</sup> °K	379,05 W/m <sup>2</sup> °K	615.48 W/m <sup>2</sup> °K
70 (0C)	284,57 W/m <sup>2</sup> °K	457.63 W/m <sup>2</sup> °K	639.24 W/m <sup>2</sup> °K
80 (0C)	316,84 W/m <sup>2</sup> °K	471.38 W/m <sup>2</sup> °K	659.02 W/m <sup>2</sup> °K

Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai  $hc$  ditunjukkan dalam bentuk grafik seperti gambar 10 dibawah ini :



Gambar 10. Grafik Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan nilai  $hc$

Pada tabel 2. dan gambar 10. menunjukkan bahwa HE dengan panjang tube lebih pendek (lebih banyak belokan) memiliki nilai  $hc$  yang lebih tinggi. Pengaruh dari pendeknya laluan dan banyaknya belokan menyebabkan terbentuknya pola aliran turbulensi. Pengaruh turbulensi inilah yang menyebabkan meningkatnya  $hc$ . Hal ini sangat sesuai dengan teori-teori sebelumnya yaitu:

Menurut Wahyudi S. (2010: 14) Variasi Clearance belokan berpengaruh pada koefisien perpindahan panas konveksi pada saluran berliku berpenampang segi empat dengan belokan tajam.

Menurut Syuhada A. (2000: 2) Laju perpindahan massa/panas yang besar disebabkan oleh kuatnya turbulensi. Turbulensi terjadi pada belokan dan sepanjang jarak  $7.93 d_h$  sampai  $9.13 d_h$  tergantung pada klearansi belokan.

Menurut Syuhada A. dkk (2001: 3) Pada belokan,  $hc$  meningkat secara perlahan-lahan dalam arah aliran, dan melonjak sangat tinggi mencapai maksimum lokal didekat pertemuan pada dinding akhir dan dinding luar. Disisi lain, pada sudut hulu bagian belokan, memperlihatkan suatu area  $hc$  rendah dimana terjadi penyebaran aliran disebabkan oleh perubahan arah aliran secara tiba-tiba.

Pada tabel 2. dan gambar 10. juga terlihat tingginya nilai  $hc$  untuk HE dengan panjang tube 125mm berbeda jauh dengan nilai  $hc$  untuk HE dengan panjang tube 250mm dan 500mm. Hal ini sangat sesuai dengan teori Syuhada. A. yaitu turbulensi terjadi pada belokan dan sepanjang jarak  $7,93$  sampai  $9,13$  diameter HE. Pada penelitian ini diameter HEnya adalah 20 mm, jadi :

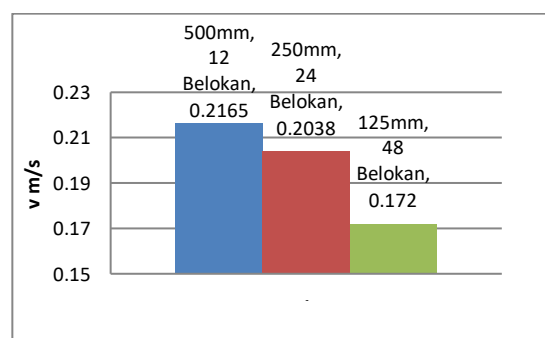


1. Untuk HE dengan panjang tube 500mm  
Pola aliran Turbulensi terjadi sepanjang  
 $7,93 \times 20 \text{ mm} = 158.6 \text{ mm}$ . Atau,  
 $9.13 \times 20\text{mm} = 182.6\text{mm}$ .  
Pola aliran laminer terjadi sepanjang  
 $500\text{mm} - 158.6 \text{ mm} = 341\text{mm}$ . Atau,  
 $500\text{mm} - 182.6\text{mm} = 317,5\text{mm}$ .
2. Untuk HE dengan panjang tube 250mm  
Pola aliran Turbulensi terjadi sepanjang  
 $7,93 \times 20 \text{ mm} = 158.6 \text{ mm}$ . Atau,  
 $9.13 \times 20\text{mm} = 182.6\text{mm}$ .  
Pola aliran laminer terjadi sepanjang  
 $250\text{mm} - 158.6 \text{ mm} = 91.4\text{mm}$ . Atau,  
 $250\text{mm} - 182.6\text{mm} = 67.4\text{mm}$
3. Untuk HE dengan panjang tube 125mm  
Pola aliran Turbulensi terjadi sepanjang  
 $7,93 \times 20 \text{ mm} = 158.6 \text{ mm}$  . Atau,  
 $9.13 \times 20\text{mm} = 182.6\text{mm}$ .

Pada HE dengan panjang tube 125mm turbulensi terjadi disepanjang laluan artinya sebelum terjadi perubahan pola aliran dari turbulen ke laminer sudah bertemu dengan belokan berikutnya yang menyebabkan terjadinya turbulensi lagi. Sehingga secara keseluruhan pola alirannya adalah turbulensi.

Dengan demikian hanya HE dengan panjang tube 125mm saja yang mengalami turbulensi secara keseluruhan. Hal inilah yang menyebabkan nilai  $h_c$  untuk HE dengan panjang tube 125mm sangat tinggi dibandingkan dengan HE dengan panjang tube 250 mm dan 500 mm.

Akan tetapi semakin banyak belokan dan semakin pendek laluan setelah belokan suatu HE maka semakin kecil laju aliran fluida.



Gambar 11. Grafik Hubungan antara panjang tube setelah belokan dan jumlah belokan dengan kecepatan aliran

Untuk itu dalam perancangan suatu HE kita perlu nilai optimasi, dimana kita bisa merancang HE dengan nilai  $h_c$  yang tinggi dan laju aliran fluida yang tidak terlalu kecil. Untuk itu panjang laluan setelah belokan maksimum yang memiliki pola aliran turbulensi secara keseluruhan menjadi patokan nilai optimum suatu HE. Dengan demikian panjang laluan setelah belokan maksimum yang memiliki pola aliran turbulensi secara keseluruhan dapat ditentukan dengan didasari teori turbulensi terjadi pada belokan dan sepanjang jarak 7,93 sampai 9,13 diameter HE. Dalam penelitian ini HE dengan diameter tube 20 mm, panjang laluan setelah belokan maksimum yang memiliki pola aliran turbulensi secara keseluruhan adalah 182.6 mm

#### 4. KESIMPULAN

1. Nilai optimum dari suatu HE dapat diperoleh pada panjang laluan setelah belokan maksimum dimana pola alirannya masih turbulensi secara keseluruhan.
2. Banyak belokan dan pendeknya laluan setelah belokan suatu HE akan meningkatkan pola aliran turbulensi. Tingginya turbulensi akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan panas, tetapi menghambat laju aliran fluida.
3. Semakin panjang laluan setelah belokan suatu HE, semakin besar peluang terjadinya pola aliran lamener yang menyebabkan turunnya koefisien perpindahan panas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel, Yunus A., Ghajar, Afshin J. 2015. "*Heat and Mass Transfer, Fundamental & Applications*". 5<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill. New York. USA. ISBN 978-0-07-339818-1
- [2] Eka, Gefin, Krisna, Laili. (2011). "*Laporan Praktikum Heat Exchanger*" (online). Ekstensi Teknik Kimia Universitas Indonesia: Depok.
- [3] Syuhada A. 2002, *Karakteristik perpindahan panas (massa) pada saluran Persegi empat berbelokan tajam 180 derajat (pengaruh kemiringan dinding pemisah dan celah belokan)* Dept. of Mechanical Engineering. Syiah Kuala University, Banda Aceh, Indonesia
- [4] Syuhada A., Hirota, M., Fujita, H., Araki, S., Yanagida, Y., and Tanaka, T., 2001, *Heat (mass) transfer in serpentine flow passage with rectangular cross-section, Int. J. of Energy Conversion and Magement*, pp. 159-166.
- [5] Syuhada A. 2000, *Heat (mass) transfer characteristics in rectangular serpentine channels, Int. J. of Energy Conversion and Magement*, pp. 159-166.
- [6] Tunggal M. Sitompul. "*Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)* 1993. Penerbil PT. Raja Grafindo Persada Jakarta.
- [7] Wahyudi S., Kurniawan. A, Hamidi. N. 2010, *Analisis perpindahan panas pada saluran berliku berpenampang segi empat dengan Variasi clearance belokan*, Teknik mesin, universitas brawijaya