

**ANALISIS UJI KELAYAKAN ALAT PENUKAR KALOR  
SHELL AND TUBE ALIRAN MENYILANG PADA MESIN  
PENGERING KOPI**

**TUGAS AKHIR**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat**

**untuk memperoleh gelar Sarjana dari**

**Universitas Fajar**



**Oleh**

**Faizal Nuzul**

**1720521014**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS FAJAR**

**MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS UJI KELAYAKAN ALAT PENUKAR KALOR SHELL AND  
TUBE ALIRAN MENYILANG PADA MESIN PENGERING KOPI**

Oleh:

**Faizal Nuzul**

**1720521014**

Menyetujui :

Tim Pembimbing

Makassar, Mei 2023

Pembimbing 1

Dr. Ir. Humayatul Ummah Syarif, ST, MT.  
NIDN : 0923076801

Pembimbing 2

Yanti, S.Pd, MT.  
NIDN : 0926048303

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Fajar

Prof. Dr. H. Erniati, ST, MT.  
NIDN: 0906107701  
UNIVERSITAS FAJAR  
DEKAN FAKULTAS  
TEKNIK

Ketua Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Fajar

Dr. Ir. Humayatul Ummah Syarif, ST, MT.  
NIDN: 0923076801

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan :

“Analisis Uji Kelayakan Alat Penukar Kalor Shell And Tube Aliran Menyilang Pada Mesin Pengering Kopi” adalah karya orisinal saya dan setiap sumber acuan telah ditulis sesuai dengan panduan penulisan ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar 22 Mei 2023



73BAKX647709048

Faizal Nuzul

## ABSTRAK

### **Faizal Nuzul (1720521014). Skripsi. 2023. ANALISIS UJI KELAYAKAN ALAT PENUKAR KALOR SHELL AND TUBE ALIRAN MENYILANG PADA MESIN KOPI.**

Heat exchanger adalah suatu alat yang digunakan untuk pertukaran panas antara dua cairan yang berada pada temperatur yang berbeda. Penukar panas digunakan untuk tujuan menghilangkan panas pada fluida dan sekaligus memberikan panas pada fluida lain. Di antara berbagai jenis heat exchanger yang sering digunakan dalam suatu pabrik yaitu jenis shell and tube. Performansi sebuah heat exchanger ditunjukkan dengan tingginya koefisien perpindahan panas (overall heat transfer coefficient) dan rendahnya penurunan tekanan (pressure drop). Peningkatan koefisien perpindahan panas (overall heat transfer coefficient) dan penurunan tekanan (pressure drop) pada sisi shell dan sisi tube berbeda. Pada sisi shell menggunakan teknologi helical baffle sebagai pengganti segmental baffle dan dilakukan dengan cara mengatur tube pitch dan jarak antar baffle. Tetapi pada sisi tube menggunakan teknologi twisted tape dan dilakukan dengan meningkatkan turbulensi aliran fluida, sehingga membutuhkan optimisasi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan penurunan tekanan (pressure drop). Penyelesaian permasalahan ini merupakan optimisasi multi objektif dan nonlinier, sehingga teknik optimisasi yang bisa menyelesaikan permasalahan yang kompleks dan nonlinier diperlukan salah satu cara adalah memanfaatkan teknik optimisasi stokastik, seperti Genetic Algorithm (GA). Tujuan penelitian ini adalah untuk Mengetahui pengaruh laju aliran massa udara terhadap laju perpindahan panas pada pengujian penukar kalor shell and tube aliran menyilang pada mesin pengering kopi dan pengaruh laju aliran massa udara terhadap efektivitas penukar kalor shell and tube aliran menyilang pada mesin pengering kopi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Nilai koefisien perpindahan kalor total adalah sebesar 132.618 W/m<sup>2</sup> K. Bila dilihat dari nilai effectiveness, alat penukar kalor ini memiliki kualitas yang baik dan layak untuk dipergunakan sebagai alat peraga pendidikan. Nilai kalor yang dipindahkan memiliki selisih yang cukup besar terhadap nilai kalor pada sisi tube, hal ini menunjukkan adanya kerugian kalor. Untuk meningkatkan unjuk kerja alat penukar kalor sebaiknya dilakukan beberapa modifikasi seperti perubahan konfigurasi aliran, pemasangan isolator pada sekeliling dan penambahan sensor untuk mengatur kestabilan temperature heater.

**Kata Kunci : Uji Kelayakan, Alat penukar kalor shell and tube, Mesin Kopi.**

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Perpindahan Kalor .....	5
2.2 Heat Exchanger .....	12
2.3 Shell and Tube.....	14
2.4 Komponen-komponen Heat Exchanger .....	15
2.5 Perhitungan Perpindahan Panas dan Laju Aliran .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>26</b>
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26
3.2 Tahapan Pelaksanaan .....	27
3.3 Alat Ukur.....	27
3.4 Persiapan Awal.....	28
3.5 Pengujian .....	28
3.6 Pengambilan Data.....	30
3.7 Alur Penelitian.....	31
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>32</b>
4.1. Proses Pengambilan Data .....	32
4.2 Pengaruh laju aliran massa terhadap evektifitas penukar kalor shell and tube .....	35

<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>39</b>
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>42</b>

## DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1. Distribusi suhu untuk konduksi keadaan stedi melalui dinding datar.</i>	6
<i>Gambar 2. 2. Sketsa yang melukiskan perjanjian tentang tanda untuk aliran panas konduksi</i>	6
<i>Gambar 2. 3. Aliran konveksi bebas di atas plat rata vertikal</i>	11
<i>Gambar 2. 4. Perpindahan kalor dinyatakan dengan perpindahan suhu limbak.</i>	12
<i>Gambar 2. 5. Penukar kalor pipa konsentris (a) parallel flow (b) counterflow...</i>	14
<i>Gambar 2. 6. Penukar kalor aliran melintang (a) bersirip dengan kedua fluidanya tidak campur (b) tidak bersirip dengan satu fluida campur dan satu fluida lagi tidak campur.</i>	14
<i>Gambar 2. 7. Bentuk-bentuk shell dan penutupnya (TEMA, 2007)</i>	16
<i>Gambar 2. 8. Tipe susunan tube (a) aligned (b) staggered (Incopera, 2007)</i>	17
<i>Gambar 2. 9. Daerah aliran lapisan batas plat rata Pengelompokan aliran yang mengalir tersebut dapat diketahui dengan bilangan Reynold, sebagai berikut :</i>	18
<i>Gambar 2. 10. Diagram aliran dalam tabung</i>	19
<i>Gambar 2. 11. Aliran temperatur dengan aliran searah</i>	21
<i>Gambar 2. 12. Aliran temperatur pada aliran berlawanan arah</i>	22
<i>Gambar 4. 1. Instalasi alat uji</i>	35
<i>Gambar 4. 2. Perbedaan energi kalor pada fluida shell dan fluida tube</i>	37
<i>Gambar 4. 3. Perbandingan antara nilai NTU terhadap effectiveness heat exchanger.</i>	38

## DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2. 1. Nilai Konduktivitas Bahan (Holman, 1997) .....</i>	8
<i>Tabel 2. 2. Konstanta persamaan (11) untuk pipa aliran menyilang .....</i>	21
<i>Tabel 3. 1. Jadwal Penelitian.....</i>	26
<i>Tabel 3. 2. Tabel pengambilan data pada heat exchanger 1 dan Heat Exchanger 2. .....</i>	30
<i>Tabel 4. 1. Pengambilan data pada heat exchanger 1 dan Heat Exchanger 2 .....</i>	33
<i>Tabel 4. 2. Pengukuran kecepatan udara pada blower heat exchanger 1.....</i>	34
<i>Tabel 4. 3. Pengukuran kecepatan udara pada blower heat exchanger 2.....</i>	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<i>Tabel 4. 4. Tabel Kalor dan Fluida Sell and Tube .....</i>	36

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Mesin pengering merupakan salah satu unit yang dimiliki oleh Pabrik Kopi yang berperan dalam proses pengeringan biji kopi untuk menghasilkan kopi bubuk. Biji kopi basah yang memiliki kadar air 55% - 65% selanjutnya dimasukkan ke mesin pengering untuk proses pengeringan demi mencapai biji kopi kering dengan kadar air 8% – 12% sesuai dengan SNI 01-2907-1999. Proses pengeringan kopi terdiri dari proses pemanasan udara dengan media gas hasil pembakaran gasifikasi dan *heat exchanger* yang dialirkan ke ruang pengering.

Menurut Najiyati dan Daniarti (2004) pengeringan dilakukan melalui 2 tahap. Tahap pertama, pemanasan pada suhu 65-100 °C untuk menurunkan kadar air sekitar 55 - 65% menjadi 30%. Tahap kedua, pemanasan pada suhu 50-60 °C untuk menurunkan kadar air dari 30% menjadi 8 - 12%. Suhu harus selalu diatur sesuai tahap pemanasan.

*Heat Exchanger* merupakan salah satu alat yang ada pada proses pengeringan biji kopi menggunakan mesin pengering mekanik. Alat ini berperan sebagai pemanas udara sebelum masuk ke ruang pengering. Pada mesin pengering Pabrik Kopi, *heat exchanger* yang digunakan adalah jenis *shell and tube* tipe aliran *cross flow* (aliran menyilang). *Heat exchanger* ini terdiri dari pipa-pipa kecil (*tube*) yang terpasang sejajar satu dengan yang lainnya berada pada suatu cangkang (*shell*). *Tube* sebagai media yang dilewati oleh udara, *shell* sebagai media yang dilewati gas.

*Heat exchanger* merupakan peralatan yang digunakan untuk perpindahan panas antara dua atau lebih fluida. Banyak jenis *heat exchanger* yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit produksi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dan lain lain. Dalam *heat exchanger* tidak terjadi pencampuran seperti dalam halnya suatu *mixing chamber*. Dalam sistem pengering buatan misalnya, panas berpindah dari gas panas yang mengalir

melalui *shell* ke udara yang mengalir melalui *tube* dengan bantuan blower.

Menurut penelitian yang dilakukan M. Nasir dan Hasan Maksum (2006) Daya pemompaan yang terjadi pada aliran fluida di dalam alat penukar kalor jenis *shell and tube* akan meningkat bersama dengan penurunan bilangan Reynolds. Dengan demikian peningkatan perpindahan kalor konveksi yang terjadi selalu diikuti oleh peningkatan daya pemompaan.

Muardi dkk (2012) mengemukakan bahwa laju aliran massa gas buang dan efektifitas *heat exchanger* naik seiring dengan bertambahnya putaran mesin yaitu pada putaran 1600 rpm laju aliran massa gas buang 0,6064 kg/s sedangkan efektifitas *heat exchanger* 70,09% , pada putaran 1800 rpm laju aliran massa gas buang 0,6828 kg/s sedangkan efektifitas *heat exchanger* 70,12%, pada putaran 2000 rpm laju aliran massa gas buang 0,7341 kg/s sedangkan efektifitas *heat exchanger* 70,61%, pada putaran 2200 rpm laju aliran massa gas buang 0,8370 kg/s sedangkan efektifitas *heat exchanger* 70,96%, dan pada putaran maksimum 2400 laju aliran massa gas buang 0,9149 kg/s sedangkan efektifitas *heat exchanger* 71,29%.

Sebuah alat penukar kalor yang baik harus dapat menjamin terjadinya transfer energi kalor dari suatu fluida ke fluida lain, yang menghasilkan laju perpindahan kalor setinggi mungkin dengan harga konstruksi yang rendah. Demikian besarnya peranan dan penggunaan alat penukar kalor dalam dunia industri, sehingga penelitian yang diarahkan dengan maksud untuk mengoptimalkan fungsi dan unjuk kerja termal alat penukar kalor dikembangkan. Dalam hal ini, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh laju aliran massa udara yang melalui *tube* terhadap unjuk kerja termal, sehingga akan didapatkan karakteristik penukar kalor type *shell and tube* aliran menyilang yang akan digunakan dalam optimasi pengeringan pada mesin pengering kopi di Pabrik Kopi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh laju aliran massa udara terhadap laju perpindahan panas pada pengujian penukar kalor *shell and tube* aliran menyilang pada

mesin pengering kopi?

2. Mengetahui pengaruh laju aliran massa udara terhadap efektivitas penukar kalor *shell and tube* aliran menyilang pada mesin pengering kopi?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh laju aliran massa udara terhadap laju perpindahan panas pada pengujian penukar kalor *shell and tube* aliran menyilang pada mesin pengering kopi.
2. Mengetahui pengaruh laju aliran massa udara terhadap efektivitas penukar kalor *shell and tube* aliran menyilang pada mesin pengering kopi.

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk menjaga arah tujuan dari penelitian ini maka penelitian ini dibatasinya membahas kriteria berikut :

1. Proses yang terjadi pada *heat exchanger* diasumsikan terisolasi secara sempurna.
2. *Properties* gas hasil pembakaran *gasifier* yang mengalir melalui *shell heat exchanger* diasumsikan sama dengan udara standar.
3. Udara yang mengalir melalui *tube heat exchanger* merupakan udara aliran paksa akibat adanya blower.
4. Jenis aliran adalah aliran menyilang (*cross flow*).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapula manfaat yang bisa diambil dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penulis/ peneliti  
Bagi peneliti dapat menambah wawasan tentang mesin pengering kopi serta peneliti ini sebagai bagian dari karya ilmiah bagi perkembangan ilmu pengetahuan baik bagi Almamater Universitas Fajar pada khususnya dan pengusaha pada umumnya sekaligus memenuhi syarat kelulusan jenjang

sarjana.

## 2. Ilmu Pengetahuan

Sebagai Bahan referensi dan menambah khazanah keilmuan dalam pendidikan sehingga dapat memperkaya ilmu pengetahuan dan menambah wawasan bagi peneliti berikutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Perpindahan Kalor**

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Pada termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor (*heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Kenyataan di sini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika.

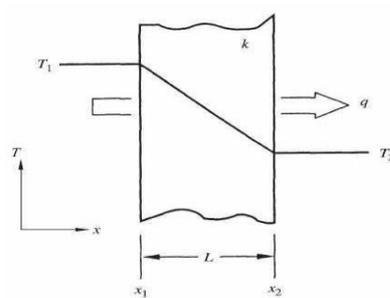
Termodinamika membahas sistem dalam keseimbangan, ilmu ini dapat digunakan untuk meramal energi yang diperlukan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan seimbang ke keadaan seimbang lain, tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan itu. Hal ini disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak berada dalam keadaan seimbang. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika, yaitu dengan memberikan beberapa kaidah percobaan yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan perpindahan energi. Sebagaimana juga

dalam ilmu termodinamika, kaidah-kaidah percobaan yang digunakan dalam masalah perpindahan kalor cukup sederhana, dan dapat dengan mudah dikembangkan sehingga mencakup berbagai ragam situasi praktis. (Holman, 1997)

#### **1. Perpindahan Kalor Konduksi**

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan energi sebagai kalor melalui sebuah proses medium stasioner, seperti tembaga, air, atau udara. Di dalam benda-benda padat maka perpindahan tenaga timbul karena atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih bergairah, sehingga atom-atom tersebut dapat memindahkan tenagakepada atom-atom.

logam, elektron-elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran kalor. Di dalam sebuah cairan atau gas, molekul-molekul juga mudah bergerak, dan tenaga juga dihantar oleh tumbukan-tumbukan molekul. (Reynold dan Perkins, 1983)

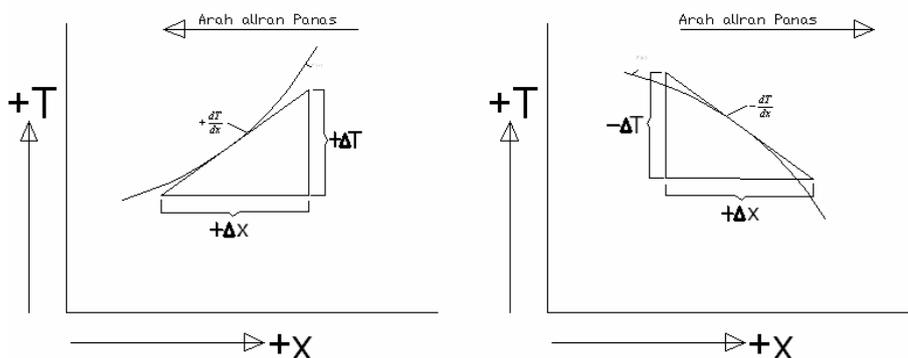


Gambar 2. 1. Distribusi suhu untuk konduksi keadaan stedi melalui dinding datar.

Perpindahan kalor konduksi satu dimensi melalui padatan diatur oleh hukum Fourier, yang dalam bentuk satu dimensi dapat dinyatakan sebagai,

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

di mana  $q$  adalah laju perpindahan kalor dan  $dT/dx$  merupakan gradien suhu ke arah perpindahan kalor. Konstanta positif  $k$  disebut konduktivitas atau *thermal conductivity* benda itu, sedangkan tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu. (Holman, 1997)



Gambar 2. 2. Sketsa yang melukiskan perjanjian tentang tanda untuk aliran panas konduksi

Persamaan (1) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Untuk gas-gas pada suhu agak rendah, pengolahan analitis teori kinetik gas dapat dipergunakan untuk meramalkan secara teliti nilai-nilai yang diamati dalam percobaan.

Mekanisme konduksi termal pada gas cukup sederhana. Energi kinetik molekul ditunjukkan oleh suhunya, jadi pada bagian bersuhu tinggi. Molekul-molekul mempunyai kecepatan yang lebih tinggi daripada yang berada pada bagian bersuhu rendah. Molekul-molekul itu selalu berada dalam gerakan rambang atau acak, saling bertumbukkan satu sama lain, di mana terjadi pertukaran energi dan momentum. Jika suatu molekul bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah, maka molekul itu mengangkut energi kinetik ke bagian sistem yang suhunya lebih rendah, dan di sini menyerahkan energinya pada waktu bertumbukkan dengan molekul yang energinya lebih rendah. Nilai konduktivitas termal itu menunjukkan berapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu.

Energi termal dihantarkan dalam zat padat menurut salah satu dari dua modus, melalui getaran kisi (*lattice vibration*) atau dengan angkutan melalui elektron bebas. Dalam konduktor listrik yang baik, dimana terdapat elektron bebas yang bergerak di dalam struktur kisi bahan-bahan, maka elektron, di samping dapat mengangkut muatan listrik, dapat pula membawa energi termal dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah, sebagaimana halnya dalam gas. Energi dapat pula berpindah sebagai energi getaran dalam struktur kisi bahan. Namun, pada umumnya perpindahan energi melalui getaran ini tidaklah sebanyak dengan cara angkutan elektron. Karena itu penghantar listrik yang baik selalumerupakan penghantar kalor yang baik pula, seperti halnya tembaga, aluminium dan perak. Sebaliknya isolator listrik yang baik merupakan isolator kalor. (Holman, 1997)

Nilai konduktivitas thermal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Konduktivitas thermal kebanyakan bahan merupakan fungsi suhu, dan bertambah sedikit kalau suhu naik, akan tetapi variasinya kecil dan sering kali diabaikan. Jika nilai konduktivitas thermal suatu bahan makin besar, maka makin besar juga panas yang mengalir melalui benda

tersebut. Karena itu, bahan yang harga  $k$ -nya besar adalah penghantar panas yang baik, sedangkan bila  $k$ -nya kecil bahan itu kurang menghantar atau merupakan isolator.

Tabel 2. 1. Nilai Konduktivitas Bahan (Holman, 1997)

<b>Bahan</b>	$k$ (W/m.C)	<b>Bahan</b>	$k$ (W/m.C)
<b>Logam</b>		<b>Non Logam</b>	
Perak	410	Kuarsa	41,6
Tembaga	385	Magnesit	4,15
Aluminium	202	Marmar	2,08 – 2,94
Nikel	93	Batu pasir	1,83
Besi	73	Kaca, jendela	0,78
Baja karbon	43	Kayu	0,08
Timbal	35	Serbuk gergaji	0,059
Baja krom-nikel	16,3	Wol kaca	0,038
Emas	314	Karet	0,2
		Polystyrene	0,157
		Polyethylene	0,33
		Polypropylene	0,16
		Polyvinyl Chlorida	0,09
		Kertas	0,166
<b>Zat cair</b>		<b>Gas</b>	
Air raksa	8,21	Hidrogen	0,175
Air	0,556	Helium	0,141
Amonia	0,540	Udara	0,024
Minyak lumas SAE 50	0,147	Uap air (jenuh)	0,0206
Freon 12	0,073	Karbondioksida	0,0146

## 2. Perpindahan Kalor Radiasi

Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan energi oleh penjaran (rambatan) foton yang tak terorganisir. Setiap benda yang terus memancarkan foton-foton secara serampangan di dalam arah dan waktu, dan tenaga netto yang dipindahkan oleh foton-foton ini diperhitungkan sebagai kalor. Bila foton-foton ini berada di dalam jangkauan panjang gelombang 0,38 sampai 0,76  $\mu\text{m}$ , maka foton-foton tersebut mempengaruhi mata kita sebagai sinar cahaya yang tampak (dapat dilihat). Bertentangan dengan itu, maka setiap tenaga foton yang terorganisir, seperti transmisi radio, dapat diidentifikasi secara mikroskopik dan tak dipandang sebagai kalor. (Reynold dan Perkins, 1983)

Pembahasan termodinamika menunjukkan bahwa radiator (penyinar) ideal, atau benda hitam (*blackbody*), memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan.

$$q_{\text{pancaran}} = \sigma A T^4 \quad (2) \quad \times$$

Di mana  $\sigma$  adalah konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai  $5,669$

$$10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Persamaan (2) disebut hukum Stefan-Boltzmann tentang radiasi termal, dan berlaku hanya untuk radiasi benda hitam. (Reynold dan Perkins, 1983)

## 3. Perpindahan Kalor Konveksi

Bila sebuah fluida lewat di atas sebuah permukaan padat panas, maka energi dipindahkan kepada fluida dari dinding oleh hantaran panas. Energi ini kemudian diangkut atau dikonveksikan (*convected*), ke hilir oleh fluida, dan didifusikan melalui fluida oleh hantaran di dalam fluida tersebut. Jenis proses perpindahan energi ini dinamakan perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer*). (Stoecker dan Jones, 1982)

Jika proses aliran fluida tersebut diinduksikan oleh sebuah pompa atau sistem pengedar (*circulating system*) yang lain, maka digunakan istilah konveksi yang dipaksakan (*forced convection*). Bertentangan dengan itu, jika aliran fluida timbul karena gaya apung fluida yang disebabkan oleh pemanasan, maka proses tersebut dinamakan konveksi bebas (*free*) atau konveksi alami (*natural*). Persamaan dasar untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi yaitu:

Dimana :  $q$  = Laju perpindahan panas (W)

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/ m<sup>2</sup>.°C)  $A$  = Luas permukaan ( m<sup>2</sup>)

$$q = hA \Delta T \quad (3)$$

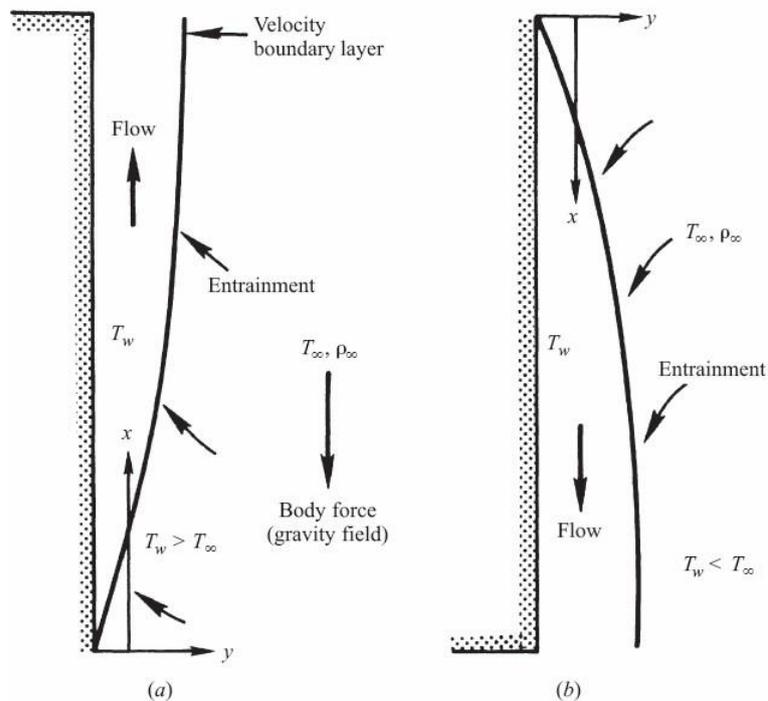
$\Delta T$  = Perbedaan temperatur (°C)

Banyak parameter yang mempengaruhi perpindahan kalor konveksi di dalam sebuah geometri khusus. Parameter-parameter ini termasuk luas permukaan ( $A$ ), konduktivitas termal fluida ( $k$ ), biasanya kecepatan fluida ( $V$ ), kerapatan ( $\rho$ ), viskositas ( $\mu$ ), panas jenis ( $C_p$ ), dan kadang-kadang faktor lain yang berhubungan dengan cara-cara pemanasan (temperatur dinding seragam atau temperatur dinding berubah-ubah). Fluks kalor dari permukaan padat akan bergantung juga pada temperatur permukaan ( $T_s$ ) dan temperatur fluida ( $T_f$ ), tetapi biasanya dianggap bahwa ( $\Delta T = T_s - T_f$ ) yang penting. Akan tetapi, jika sifat-sifat fluida berubah dengan nyata pada daerah pengkonveksi (*convection region*), maka temperatur-temperatur absolute  $T_s$  dan  $T_f$  dapat juga merupakan faktor-faktor penting didalam korelasi. Jelaslah bahwa dengan sedemikian banyak variable- variabel penting, maka korelasi spesifik akan sulit dipakai, dan sebagai konsekuensinya maka korelasi-korelasi biasanya disajikan dalam pengelompokkan-pengelompokkan tak berdimensi (*dimensionless groupings*) yang mengizinkan representasi-representasi yang jauh lebih sederhana. Juga faktor-faktor dengan pengaruh yang kurang penting, seperti variasi sifat fluida dan distribusi temperatur dinding, seringkali diabaikan untuk menyederhanakan korelasi-korelasi tersebut. (Stoecker dan Jones, 1982)

**a. Konveksi alamiah (*Natural Convection*)**

Konveksi alamiah (*natural convection*) atau konveksi bebas (*free convection*), terjadi karena fluida yang karena proses pemanasan berubah densitasnya (kerapatannya) dan bergerak naik. Radiator panas yang digunakan untuk memanaskan ruang merupakan suatu contoh piranti praktis yang memindahkan kalor dengan konveksi bebas. Gerakan fluida dalam konveksi bebas, baik fluida itu gas maupun zat cair terjadi karena gaya apung (*bouyancy force*) yang dialaminya apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalor berkurang sebagai akibat proses pemanasan.

Gaya apung itu tidak akan terjadi apabila fluida itu tidak mengalami sesuatu gaya dari luar seperti gravitasi (gaya berat), walaupun gravitasi bukanlah satu-satunya medan gaya luar yang dapat menghasilkan arus konveksi bebas. Fluida yang terkurung dalam mesin rotasi mengalami medan gaya sentrifugal, dan karena itu mengalami arus konveksi bebas bila salah satu atau beberapa permukaannya yang dalam kontak dengan fluida itu dipanaskan. (Holman, 1997)



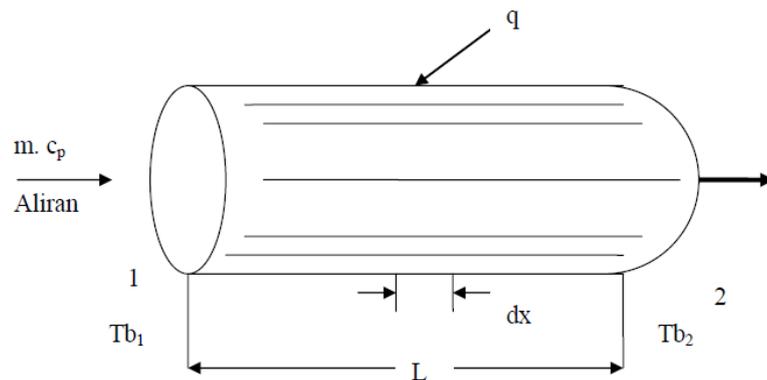
Gambar 2. 3. Aliran konveksi bebas di atas plat rata vertikal

### b. Konveksi Paksa (*Force Convection*)

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang mana dialirannya tersebut berasal dari luar, seperti dari blower atau kran dan pompa. Konveksi paksa dalam pipa merupakan persoalan perpindahan konveksi untuk aliran dalam atau yang disebut dengan internal flow. Adapun aliran yang terjadi dalam pipa adalah fluida yang dibatasi oleh suatu permukaan. Sehingga lapisan batas tidak dapat berkembang secara bebas seperti halnya pada aliran luar.

Sebagai gambaran adalah fenomena perpindahan panas aliran di dalam pipa yang dinyatakan sebagai:

$$dq = m \cdot C_p \cdot \Delta T_b \quad (4)$$



Gambar 2. 4. Perpindahan kalor dinyatakan dengan perpindahan suhu limbak

## 2.2 Heat Exchanger

*Heat Exchanger* merupakan peralatan yang digunakan untuk perpindahan panas antara dua atau lebih fluida. Banyak jenis *Heat Exchanger* yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit produksi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dan lain lain. Dalam *heat exchanger* tidak terjadi pencampuran seperti dalam halnya suatu *mixing chamber*. Dalam radiator mobil misalnya, panas berpindah dari air yang panas yang mengalir dalam pipa radiator ke udara yang mengalir dengan bantuan fan.

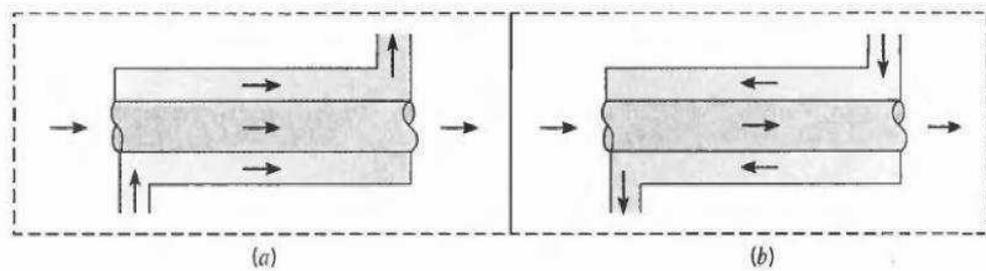
Suatu *heat exchanger* terdiri dari elemen penukar kalor yang disebut sebagai inti atau matrix yang berisikan di dinding penukar panas, dan elemen distribusi

fluida seperti tangki, *nozzle* masukan, *nozzle* keluaran, pipa-pipa, dan lain-lain. Biasanya, tidak ada pergerakan pada bagian-bagian dalam *heat exchanger*. Namun, ada perkecualian untuk *regenerator rotary* dimana matriksnya digerakan berputar dengan kecepatan yang dirancang. Dinding permukaan *heat exchanger* adalah bagian yang bersinggungan langsung dengan fluida yang mentransfer panasnya secara konduksi. (Kuppan, 2000)

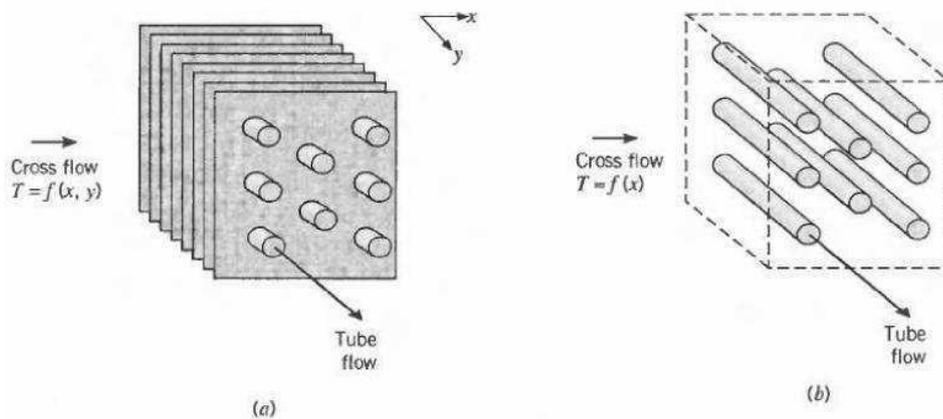
Hampir disemua *heat exchanger*, perpindahan panas didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding. Perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri *heat exchanger* dan tiga bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan Reynold, bilangan Nusselt dan bilangan Prandtl fluida. Besar konveksi yang terjadi dalam suatu *double-pipe heat exchanger* akan berbeda dengan *cross-flow heat exchanger* atau *compact heat exchanger* atau *plate heat exchanger* untuk berbeda temperatur yang sama. Sedang besar ketiga bilangan tak berdimensi tersebut tergantung pada kecepatan aliran serta *property* fluida yang meliputi massa jenis, viskositas absolut, panas jenis dan konduktivitas panas. (Cengel, 2003)

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) secara tipikal diklasifikasikan berdasarkansusunan aliran (*flow arrangement*) dan tipe konstruksi. Penukar kalor yang paling sederhana adalah satu penukar kalor yang mana fluida panas dan dingin bergerak atau mengalir pada arah yang sama atau berlawanan dalam sebuah pipa berbentuk bundar (atau pipa rangkap dua). Pada susunan aliran sejajar (*parallel-flow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 2.5(a) fluida panas dan dingin masuk pada ujung yang sama, mengalir dalam arah yang sama dan keluar pada ujung yang sama. Pada susunan aliran berlawanan (*counterflow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 2.5(b) kedua fluida tersebut pada ujung yang berlawanan, mengalir dalam arah yang berlawanan, dan keluar pada ujung yang berlawanan. (Incropera, 2007)





Gambar 2. 5. Penukar kalor pipa konsentris (a) parallel flow (b) counterflow



Gambar 2. 6. Penukar kalor aliran melintang (a) bersirip dengan kedua fluidanya tidak campur (b) tidak bersirip dengan satu fluida campur dan satu fluida lagi tidak campur.

Sebagai alternatif, fluida panas dan dingin bergerak dalam arah melintang (tegaklurus satu dengan yang lain), seperti yang ditunjukkan oleh alat penukar kalor berbentuk pipa bersirip dan tidak bersirip pada gambar 2.6. Kedua konfigurasi ini secara tipikal dibedakan oleh sebuah perlakuan terhadap fluida di luar pipa sebagai fluida campur atau fluida tak campur. Gambar 2.6(a), fluida disebut fluida tak campur karena sirip-sirip menghalangi gerakan fluida dalam satu arah  $y$  gerak tersebut melintang ke arah aliran utama  $x$ . (Incropera, 2007)

### 2.3 Shell and Tube

Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam industri perminyakan. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* (tabung/slinder besar) dimana di dalamnya terdapat suatu *bundle* (berkas) pipa dengan diameter yang *relative* kecil. Satu jenis fluida mengalir di dalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir di bagian luar pipa tetapi masih di dalam *shell*. Alat penukar panas cangkang dan

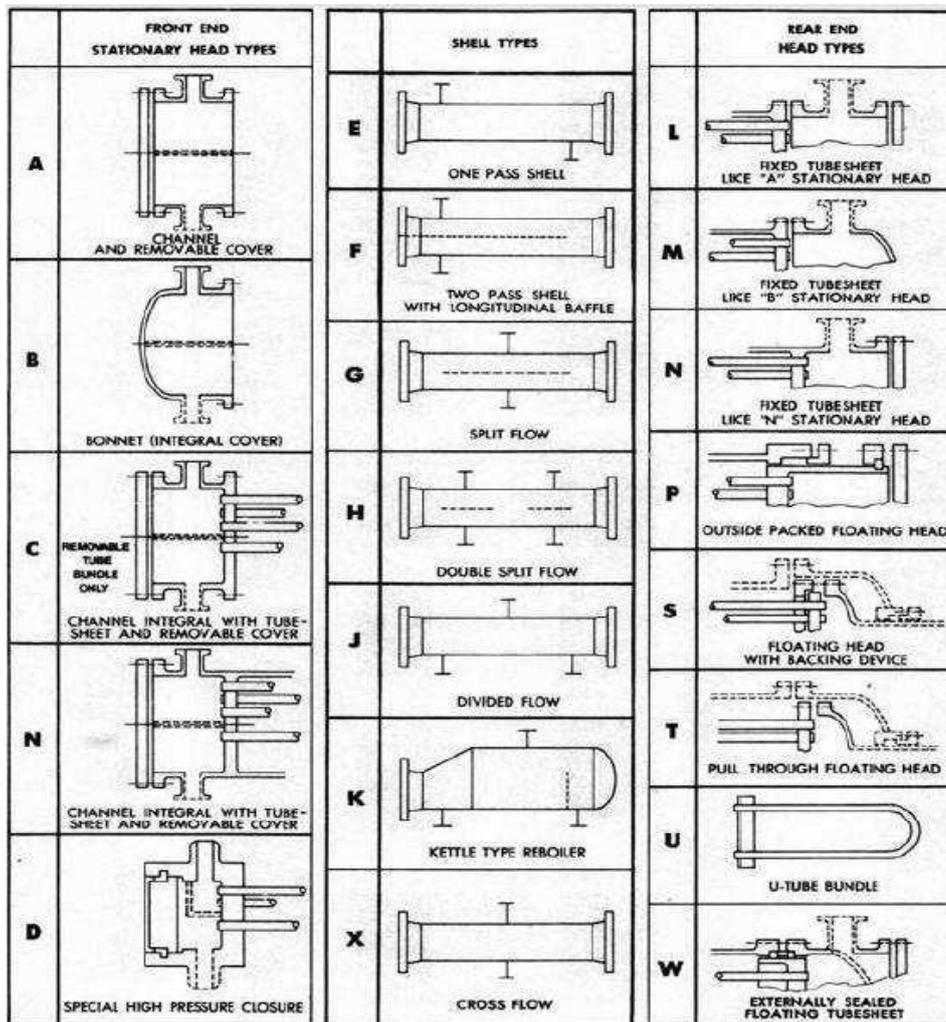
buluh terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel pada mantel. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat (*baffle*). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal (*residence time*), namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur.

#### **2.4 Komponen-komponen Heat Exchanger**

Dalam penguraian komponen-komponen *heat exchanger* jenis *shell and tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger*. Untuk lebih jelasnya disini akan dibahas beberapa komponen dari *heat exchanger* jenis *shell and tube*.

##### **a. Shell**

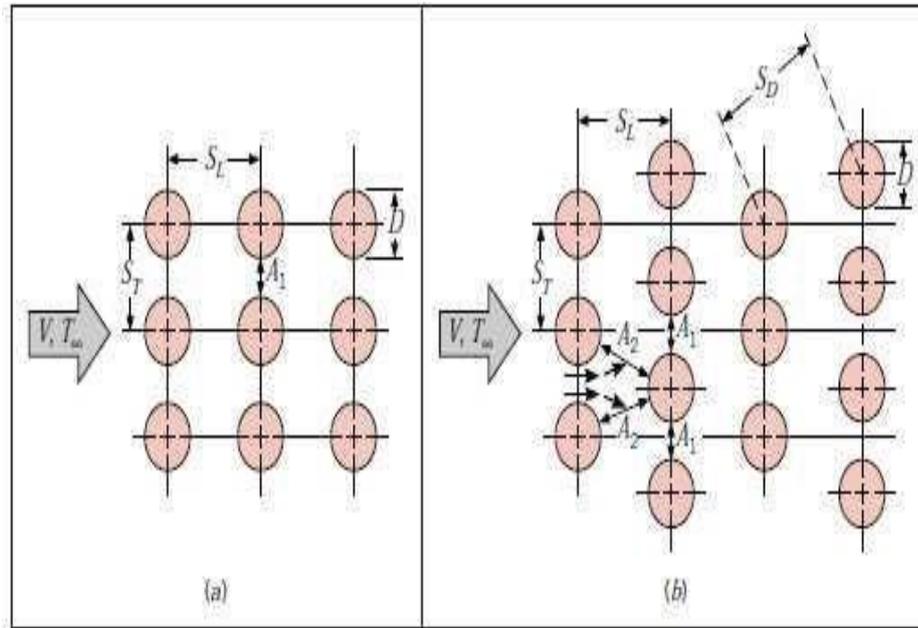
Konstruksi *shell* sangat ditentukan oleh keadaan *tubes* yang akan ditempatkan didalamnya. *Shell* ini dapat dibuat dari pipa yang berukuran besar atau pelat logam yang dirol. *Shell* merupakan badan dari *heat exchanger*, dimana didapat *tube bundle*. Untuk temperatur yang sangat tinggi kadang-kadang *shell* dibagi dua disambungkan dengan sambungan ekspansi. Bentuk-bentuk *shell* yang lazim digunakan ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2. 7. Bentuk-bentuk shell dan penutupnya (TEMA, 2007)

### c. Tube (Pipa)

*Tube* atau pipa merupakan bidang pemisah antara kedua jenis fluida yang mengalir didalamnya dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas. Ketebalan dan bahan pipa harus dipilih pada tekanan operasi fluida kerjanya. Selain itu bahan pipa tidak mudah terkorosi oleh fluida kerja. Adapun beberapa tipe susunan *tube* dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 2. 8. Tipe susunan tube (a) aligned (b) staggered (Incopera, 2007)

Susunan dari tube ini dibuat berdasarkan pertimbangan untuk mendapatkan jumlah pipa yang banyak atau untuk kemudahan perawatan (pembersihan permukaan pipa).

#### d. Sekat (*Baffle*)

Adapun fungsi dari pemasangan sekat (*baffle*) pada *heat exchanger* ini antara lain adalah untuk :

1. Sebagai penahan dari *tube bundle*.
2. Untuk mengurangi atau menambah terjadinya getaran.
3. Sebagai alat untuk mengarahkan aliran fluida yang berada di dalam *tube*.

## 2.5 Perhitungan Perpindahan Panas dan Laju Aliran

### a. Kestimbangan Energi

Aliran di dalam celah adalah tertutup sempurna, maka kestimbangan energi dapat digunakan untuk menentukan temperatur fluida yang bervariasi dan nilai total transfer panas konveksi  $Q_{conv}$  tergantung dari laju aliran massa. Jika

$$Q = m_c C_{p,c} \Delta T_c = m_h C_{p,h} \Delta T_h \quad 5$$

perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan, maka pengaruh yang signifikan adalah perubahan energi thermal dan fluida kerja. Sehingga kesetimbangan energi tergantung pada 3 variable, yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Incopera, 2007)

Dimana:

$Q$  = laju perpindahan panas (W)

$m_c$  = aliran massa yang melalui *tube* (kg/s)

$m_h$  = aliran massa yang melalui *shell* (kg/s)

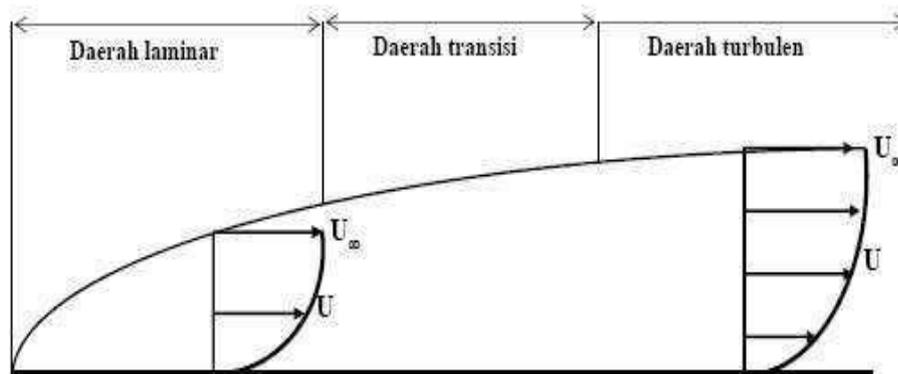
$C_p$  = koefisien pepindahan panas (Kj/kg.K)

$\Delta T_c$  = beda temperatur fluida dingin yang melalui *tube* (°C)

$\Delta T_h$  = beda temperatur fluida panas yang melalui *shell* (°C)

### b. Bilangan Reynold

Setiap aliran fluida mempunyai nilai bilangan Reynolds yang merupakan pengelompokan aliran yang mengalir, pada plat datar dapat dilihat pada gambar berikut :



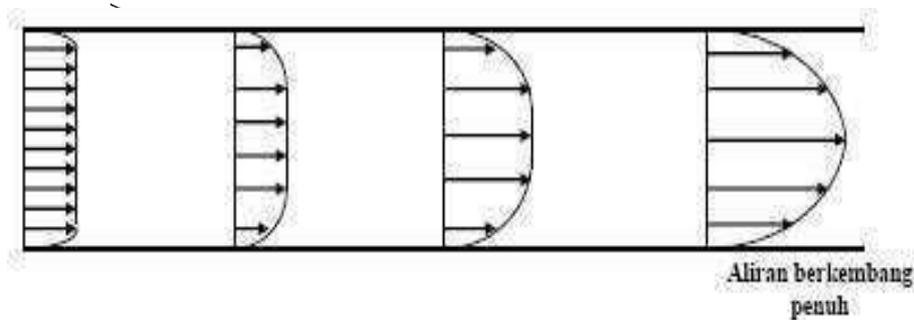
Gambar 2. 9. Daerah aliran lapisan batas plat rata Pengelompokan aliran yang mengalir tersebut dapat diketahui dengan bilangan Reynold, sebagai berikut :

$$Re = \frac{U_\infty X}{\nu} = \frac{\rho U_\infty X}{\mu} \quad (6)$$

Dimana:

- Re : Bilangan Reynold
- $U_\infty$  : Kecepatan aliran bebas (m/s)
- X : Jarak dari tepi depan (m)
- $\mu / \rho$  : Viskositas kinematik ( $m^2/s$ )

Transisi dari aliran laminar menjadi turbulen terjadi bila  $Re > 5 \cdot 10^5$ , untuk aliran sepanjang plat rata, lapisan batas selalu turbulen untuk  $Re > 4 \cdot 10^6$ . Untuk aliran dalam tabung dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 10. Diagram aliran dalam tabung

Pada aliran dalam tabung, aliran turbulen biasanya pada:

$$Re = \frac{U_m d}{\nu} = \frac{\rho U_m d}{\mu} \geq 2300 \quad 7$$

Dimana:

- Re : Bilangan Reynold
- $U_m$  : Kecepatan aliran (m/s)
- d : diameter (m)

$$\nu = \mu / \rho \quad : \text{Viskositas kinematik (m}^2/\text{s)}$$

(McDonald, 1976)

### c. Bilangan Nusselt dan Bilangan Prandtl

Parameter yang menghubungkan ketebalan *relative* antara lapisan batas hidronamik dan lapisan batas termal adalah maksud dari bilangan Prandtl, bilangan ini dapat ditentukan dengan menggunakan tabel, maupun dengan menggunakan persamaan, seperti berikut ini :

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu}{k} \frac{\rho C_p}{\rho C_p} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (8)$$

Dimana,  $C_p$  : Panas spesifik (Kj/kg.K)

$\mu$  : Viskositas fluida (kg/m.s)

$k$  : Konduktivitas termal (W/m.K)

Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerakan molekul. Difusivitas termal memberi petunjuk tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas tersebut menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi panas di dalam fluida. Kedua difusi inilah yang menentukan berapa tebal lapisan batas pada suatu medan aliran tertentu. Difusivitas yang besar menunjukkan bahwa pengaruh viskos atau pengaruh suhu terasa pada jarak yang lebih jauh dalam medan aliran. Jadi, angka Prandtl merupakan penghubung antara medan kecepatan dan medan suhu.

Bilangan Nusselt dirumuskan sebagai berikut :

Dimana:

$$Nu_x = C Re^m Pr^{1/3} = \frac{h_x X}{k} \quad 9$$

$Pr$  : Angka Prandtl

$Nu_x$  : Bilangan Nusselt

$H$  : Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (W/m<sup>2</sup>°C)

$K$  : Konduktivitas Termal Fluida (W/m °C)

Dimana konstanta C dan m terdapat pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. 2. Konstanta persamaan (11) untuk pipa aliran menyilang

$Re_D$	C	m
0.4–4	0.989	0.33
4–40	0.911	0.385
40–4000	0.683	0.466
4000–40,000	0.193	0.618
40,000–400,000	0.027	0.805

#### d. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

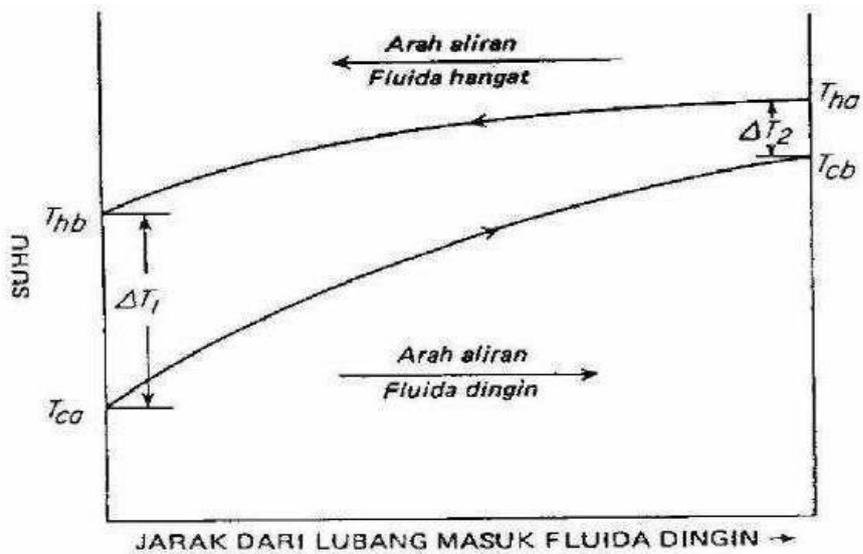
Untuk koefisiensi perpindahan panas secara menyeluruh dapat dikaji dengan cara menentukan perpindahan kalor yang terjadi pada suatu dinding logam antara fluida panas pada satu sisi dan fluida dingin pada sisi lain dengan pengaliran konveksi paksa. Pertukaran panas yang terjadi adalah pertukaran secara tidak langsung, ini berdasarkan alirannya dapat dibedakan menjadi: (Hartono, 2008)

1. Pertukaran panas dengan aliran searah (*co-current/parallel flow*), pertukaran jenis ini, kedua fluida (panas dan dingin) masuk pada sisi yang sama, mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula.



Gambar 2. 11. Aliran temperatur dengan aliran searah

2. Pertukaran panas dengan aliran berlawanan arah (*counter flow*)  
 Pertukaran panas pada sistem ini yaitu kedua fluida (panas dan dingin) masuk penukar panas dengan arah berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan (Hartono, 2008).



Gambar 2. 12. Aliran temperatur pada aliran berlawanan arah

Dengan asumsi nilai kapasitas panas spesifik ( $C_p$ ) fluida dingin dan panas konstan, tidak ada kehilangan panas pada lingkungan serta keadaan *steady state*, maka besarnya kalor yang dipindahkan:

$$Q = U A T_{LMTD} \quad 10$$

Dimana:

$U$  : Koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $W/m^2 K$ )

$A$  : Luas perpindahan panas ( $m^2$ )

$T_{LMTD}$  : *Log mean temperature differential* (K)

Koefisien perpindahan panas digunakan dalam perhitungan perpindahan panas konveksi atau perubahan fase antara cair dan padat dengan menggunakan persamaan berikut.

$$h = \frac{Q}{A \cdot \Delta T} \quad (11)$$

Dari persamaan di atas, koefisien perpindahan panas adalah koefisien proporsionalitas antara fluks panas,  $Q/(A \cdot \Delta T)$ , dan perbedaan temperatur yang menjadi penggerak utama perpindahan panas, persamaan lain untuk menentukan koefisien perpindahankonveksi secara menyeluruh menggunakan persamaan berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}}} \quad (12)$$

Dimana:

$U$  : Koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh ( $W/m^2.K$ )

$h_{in}$  : Koefisien perpindahan panas konveksi bagian dalam

( $W/m^2.K$ )

$h_{out}$  : Koefisien perpindahan panas konveksi bagian luar ( $W/m^2.K$ )

#### e. Efektivitas

Efektivitas penukar panas didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan kalor yang sebenarnya dengan laju perpindahan kalormaksimum yang mungkin. Dimana persamaannya dapat ditunjukkan seperti berikut ini (Holman, 1997):

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (13)$$

Dimana,  $Q$  = perpindahan panas nyata (W)

$Q_{max}$  = perpindahan panas maksimum yang mungkin (W)

Untuk perpindahan panas yang sebenarnya (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin untuk penukar panas aliran lawan arah.

$$Q = C_h (T_{h,in} - T_{h,out}) = C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (14)$$

Dimana,  $m_h$  = laju aliran fluida panas ( $\text{kg/m}^3$ )

$m_c$  = laju aliran fluida dingin ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_h$  = kapasitas panas fluida panas ( $\text{Kj/m}^3 \text{ K}$ )

$C_c$  = kapasitas panas fluida dingin ( $\text{Kj/m}^3 \text{ K}$ )

$T_{h,in}$  = Temperatur masuk fluida panas (K)

$T_{h,out}$  = Temperatur keluar fluida panas (K)

$T_{c,in}$  = Temperatur masuk fluida dingin (K)

$T_{c,out}$  = Temperatur keluar fluida dingin (K)

Kapasitas panas setiap fluida dapat dicari melalui persamaan:

$$C = m \cdot c_p \quad (15)$$

Dimana,  $m$  = laju aliran fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$c_p$  = panas spesifik fluida ( $\text{Kj/m}^3 \text{ K}$ )

Untuk menentukan perpindahan panas maksimum bagi penukar panas itu harus dipahami bahwa nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida mengalami perubahan temperatur sebesar beda temperatur maksimum yang terdapat dalam penukar panas itu, yaitu selisih temperatur masuk fluida panas dan fluida dingin.

Fluida yang mungkin mengalami beda temperatur maksimum ini ialah yang

laju aliran fluida dinginya minimum, syarat keseimbangan energi bahwa energi yang diterima oleh fluida yang satu harus sama dengan energi yang dilepas oleh fluida yang lain. Jika fluida yang mengalami nilai laju aliran fluida dinginya lebih besar yang dibuat, maka mengalami beda temperatur yang lebih besar dari maksimum, dan ini tidak dimungkinkan. Jadi perpindahan panas maksimum yang mungkin dinyatakan sebagai :

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (16)$$

Dimana,  $C_{\min}$  merupakan kapasitas panas yang terkecil antara fluida dingin dan fluida panas. Jika  $C_h < C_{\min}$  maka nilai efektivitas dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{C_h (T_{h,in} - T_{h,out})}{C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in})} = \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (17)$$

Sedangkan untuk  $C_c < C_{\min}$ , nilai efektivitas dapat dicari dengan persamaan berikut (Blevins, 1984):

$$\varepsilon = \frac{C_c (T_{c,out} - T_{c,in})}{C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in})} = \frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (18)$$

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Pojok Kopi yang berlokasi di Jalan Halte Pwhubungan Biringkanaya, Kota Makassar. Untuk melakukan pengujian dan pengambilan data serta penulisan laporan akhir dari Februari-Maret tahun 2023.

*Tabel 3. 1. Jadwal Penelitian*

No	Kegiatan	Waktu Penelitian																			
		Bulan																			
		Februari 2023				Februari 2023				Februari-Maret 2023				Februari-Maret 2023				Maret 2023			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Tahap Persiapan Penelitian	■	■	■	■	■															
2	Penyusunan dan Pengajuan Judul						■														
3	Pengajuan Proposal							■	■	■	■	■	■								
4	Seminar Proposal													■	■	■	■				
5	Penelitian																		■		
6	Bimbingan Tugas Akhir																		■		
7	Seminar Hasil																			■	
8	Revisi Tugas Akhir																				■
9	Ujian Tutup																				■

### 3.2 Tahapan Pelaksanaan

Adapun tahapan pelaksanaan yang dilakukan dalam tugas akhir ini dapat dilihat dibawah ini:

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami teori dasar yang berkaitan dengan pelaksanaan Tugas Akhir khususnya dalam tinjauan pustaka yang dibutuhkan dalam *heat exchanger*. Penulis melakukan studi literatur tentang tinjauan pustaka dan perhitungan yang digunakan dalam pembahasan. Adapun literatur tersebut diperoleh dari sumber buku, referensi serta *browsing*.

2. Pengujian *heat exchanger*

Pengujian *heat exchanger* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari *heat exchanger shell and tube* aliran menyilang. Pengujian meliputi mengukur temperatur udara keluaran dari *heat exchanger* apakah sudah sesuai dengan temperatur yang dibutuhkan untuk mengeringkan buah kopi.

3. Pembahasan dan kesimpulan

Membahas hasil dari penelitian karakteristik *heat exchanger* yang telah diuji serta memberikan kesimpulan terhadap tujuan penelitian dalam mencari karakteristik *heat exchanger shell and tube* yang telah selesai diuji.

### 3.3 Alat Ukur

Adapun alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Anemometer

Digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang terhembus di saluran masuk udara yang melewati *tube*.

2. *Digital Thermometer* dan Termokopel

*Digital thermometer* ini digunakan untuk mengukur suhu *input* dan *output* dari *Heat Exchanger*. Alat ini dipilih karena paling fleksibel dan memiliki tingkat keakuratan tinggi.

3. *Regulator Tegangan (Voltage Regulator)*

Digunakan untuk mengatur tegangan listrik pada blower untuk mengatur variasi kecepatan udara.

### 3.4 Persiapan Awal

Dalam persiapan awal merupakan proses persiapan sebelum dilakukan pengujian yakni persiapan sistem awal pada alat bantu blower sebagai penggerak aliran udara untuk mengetahui kecepatan udara menggunakan instrumentasi pengukuran. Fenomena yang perlu diukur sebelum pengujian adalah laju aliran udara dari blower.

Pengukuran laju aliran udara dari blower dilaksanakan sebelum pengujian dimulai, anemometer AM-4200 Lutron digunakan untuk mengukur kecepatan udara tersebut. Mengacu buku petunjuk alat, satuan kecepatan pada anemometer dapat ditentukan yaitu m/s. Besarnya tegangan pada blower divariasikan menggunakan *voltage regulator* guna mendapatkan laju aliran udara. Berikut adalah hasil pengukuran kecepatan udara dari blower.

Pada pengujian laju aliran udara di atas menggunakan alat ukur anemometer AM-4200 Lutron, metode pengukurannya cukup sederhana hanya dengan meletakkan anemometer tersebut secara tegak lurus pada pipa keluaran blower yang mengembuskan udara maka pada LCD dari anemometer tersebut akan menunjukkan besar kecepatan udara yang terukur seperti ditunjukkan pada tabel 3 dan tabel 4 kemudian setelah dikalikan dengan luas penampang *heat exchanger* dan massa jenis udara maka diperoleh laju aliran massa udara.

### 3.5 Pengujian

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini sebanyak dua puluh lima kali, yaitu pengujian penukar kalor dan reaktor gasifikasi dengan tegangan blower bervariasi.

Urutan pengambilan data penukar kalor dan reaktor gasifikasi dengan tegangan blower bervariasi adalah sebagai berikut:

- 1) Langkah pengambilan data dilakukan dengan menghidupkan blower pada penukar kalor dengan variasi tegangan yang telah ditentukan (80V, 120V, 170V dan 220V) kemudian ditunggu sampai aliran udara stabil.
- 2) Menghidupkan blower pada reaktor gasifikasi dengan variasi tegangan (80V, 120V, 170V dan 220V) sehingga gas di dalam reaktor gasifikasi yang

sebelumnya telah dibakar dapat mengalir memasuki penukar kalor.

- 3) Menyalakan gas dari reaktor gasifikasi menggunakan pemantik api.
- 4) Mencatat temperatur gas masuk ( $T_{h, in}$ ), Temperatur gas keluar ( $T_{h, out}$ ), temperatur udara masuk ( $T_{c, in}$ ), Temperatur udara keluar ( $T_{c, out}$ ).
- 5) Selanjutnya didapat juga laju aliran massa udara ( $m_c$ ) untuk tiap variasi tegangan, dan laju aliran massa gas ( $m_h$ ).

Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah:

- a. Temperatur gas masuk ( $T_{h, in}$ ).
- b. Temperatur gas keluar ( $T_{h, out}$ ).
- c. Temperatur udara masuk ( $T_{c, in}$ ).
- d. Temperatur udara keluar ( $T_{c, out}$ ).
- e. Kecepatan udara masuk ( $v_c$ ).
- f. Dimensi penukar kalor.

Dari berbagai parameter yang diukur, dapat dihitung parameter-parameter yang akan dicari, yaitu:

- a. Laju aliran massa udara ( $m_c = \rho_c v_c \cdot A_c$ )
- b. Laju perpindahan panas ( $Q = m_c C_{p,c} \Delta T_c$ )
- c. Laju aliran massa gas ( $m_h = m_c \cdot \frac{C_{p,c}}{C_{p,h}} \cdot \frac{\Delta T_c}{\Delta T_h}$ )
- d. Efektivitas ( $\varepsilon = \frac{m_c C_{p,c} T_{c,out} - T_{c,in}}{C_{min} T_{h,in} - T_{c,in}}$ )

### 3.6 Pengambilan Data

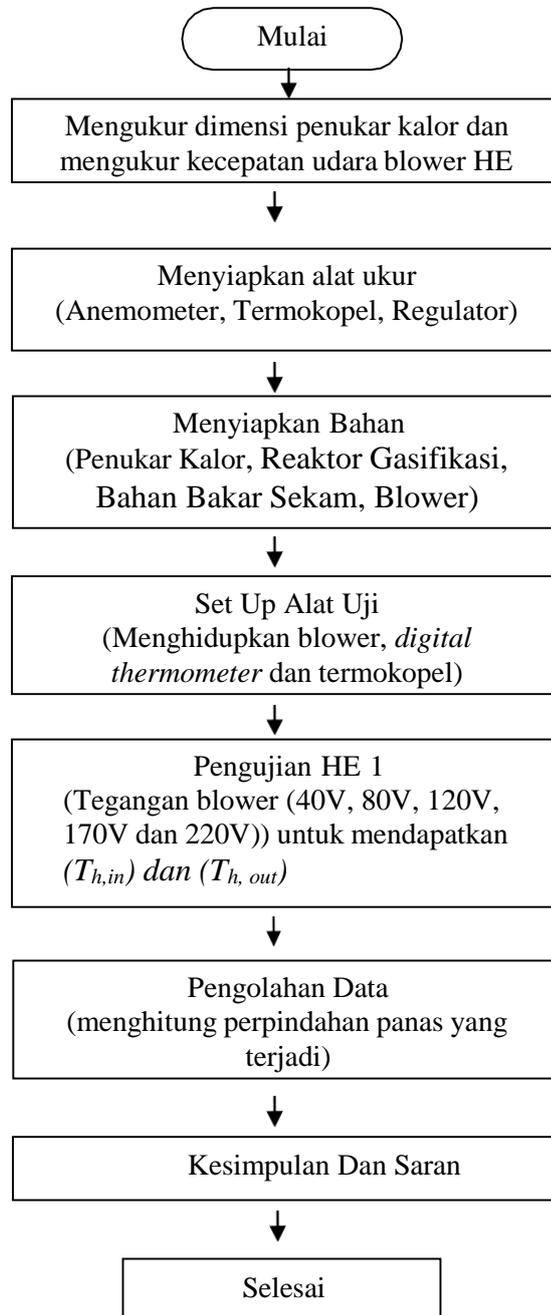
Pengambilan data yang dibutuhkan dilakukan dengan beberapa variasi, yaitu: *Heat exchanger* dengan variasi tegangan blower pada *heat exchanger* dan *gasifier* bervariasi (80V, 120V, 170V dan 220V).

Tabel 3. 2. Tabel pengambilan data pada *heat exchanger*

Tegangan BlowerHE	Tegangan Blower Gasifier	$(T_{h, in})$	$(T_{h, out})$	$\epsilon$
80 V				
120V				
170V				
220V				

### 3.7 Alur Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ini dijelaskan pada *flowchart* di bawah :



## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Proses Pengambilan Data**

Pengambilan data yang dilakukan dengan beberapa variasi heat exchanger dengan variasi tegangan blower pada heat exchanger dan gasifier bervariasi ( 80V,120V,170V dan 220V ).

Proses persiapan sebelum dilakukan pengujian yakni persiapan sistem awal pada alat bantu blower sebagai penggerak aliran udara untuk mengetahui kecepatan udara menggunakan instrumentasi pengukuran. Fenomena yang perlu diukur sebelum pengujian adalah laju aliran massa udara dari blower.

Laju aliran massa udara diperoleh dari rumusan di bawah ini:

$$mc = \rho \epsilon \cdot v \cdot A_c$$

Pada pengujian laju aliran udara di atas menggunakan alat ukur anemometer AM-4200 Lutron, metode pengukurannya cukup sederhana hanya dengan meletakkan anemometer tersebut secara tegak lurus pada pipa keluaran blower yang mengembuskan udara maka pada LCD dari anemometer tersebut akan menunjukkan besar kecepatan udara yang terukur seperti ditunjukkan pada tabel 4.1 di bawah ini, kemudian setelah dikalikan dengan luas penampang *heat exchanger* dan massa jenis udara maka diperoleh laju aliran massa udara.

Pengukuran laju aliran udara dari blower dilaksanakan sebelum pengujian dimulai, anemometer AM-4200 Lutron digunakan untuk mengukur kecepatan udara tersebut. Mengacu buku petunjuk alat, satuan kecepatan pada anemometer dapat ditentukan yaitu m/s. Besarnya tegangan pada blower divariasikan menggunakan *voltage regulator* guna mendapatkan laju aliran udara. Berikut adalah hasil pengukuran kecepatan udara dari blower.

Tabel 4. 1. Pengambilan data pada heat exchanger

<b>Tegangan BlowerHE</b>	<b>Tegangan Blower Gasifier</b>	$(T_{h, in})$	$(T_{h, out})$	$\epsilon$
80 V	80V	0,34	1,16	1,6372
	120V	0,89	1,25	1,0782
	170V	0,90	1,39	2,0790
	220V	1,34	1,88	2,9650
120V	80V	0,45	1,20	0,9983
	120V	0,90	16,3	30,748
	170V	1,45	24,3	64,634
	220V	2,03	50,06	194,998
170V	80V	0,60	1,22	0,5825
	120V	0,98	17,0	22,578
	170V	1,45	44,75	86,4560
	220V	1,76	55,03	0,1376
220V	80V	0,77	1,34	0,4138
	120V	0,98	20,53	0,02129
	170V	1,02	45,12	68,041
	220V	1,55	62,17	121,038

Hasil data yang diperoleh dari tabel 4.1 memperlihatkan bahwa pada saat tegangan blower 80V dengan tegangan blower gasifer yang bervariasi mulai dari 80V,120V ,170V,220V Menunjukkan bahwa temperatur yang masuk dari 80V ternyata menunjukkan peningkatan sesuai dengan tabel 4.1 exanger menunjukkan makin besar V maka makin besar pula excangernya.

Pengukuran kecepatan udara pada blower heat excarger yaitu diketahui Luas penampang HE yaitu  $0,03719797 \text{ m}^2$  dan massa jenis udara pada  $P_{atm}$   $T=28^\circ\text{C}$  yaitu  $1,158072 \text{ kg/m}^3$ .

Maka untuk menghitung laju aliran massa udara:

$$M_c = \rho_c \cdot V_e \cdot A_e \cdot \text{Pada tap } T = 28^\circ\text{c}$$

$$E = 4.5 \text{ m/s}$$

Dari hasil perhitungan sesuai dengan rumus diatas maka diperoleh hasil sebagai berikut

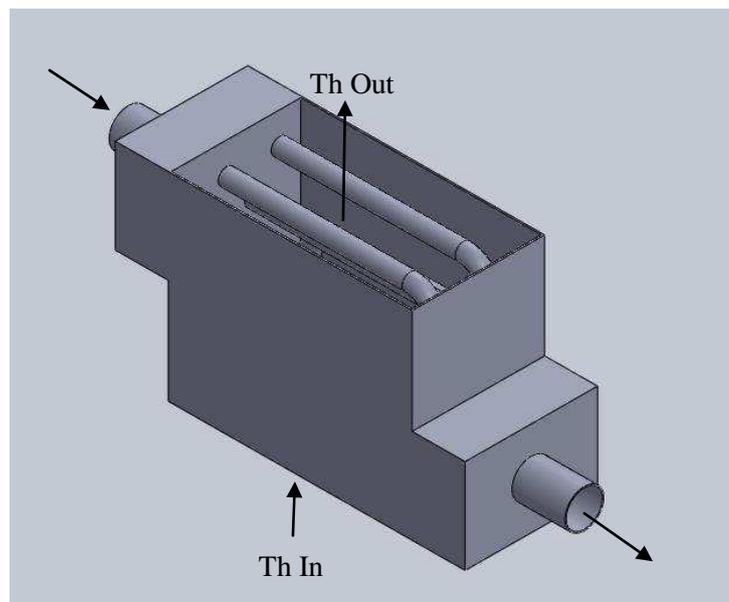
*Tabel 4. 2. Pengukuran kecepatan udara pada blower heat exchanger*

No.	Beda Potensial blower (V)	Kecepatan aliran (m/s)	Laju aliran massa udara (kg/s)
1	80	4,5	0,19385067
2	120	11	0,4738572
3	170	15,6	0,67201571
4	220	17	0,73232481

Hasil tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa pengukuran kecepatan udara pada blower heat exchanger terlihat beda potensial blower (V) semakin besar maka kecepatan aliran ( m/s ) semakin meningkat pula sehingga laju aliran massa udara ( kg/s) berbanding lurus atau semakin meningkat pula

## 4.2 Pengaruh laju aliran massa terhadap evektifitas penukar kalor shell and tube

Nilai konduktivitas thermal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Konduktivitas thermal kebanyakan bahan merupakan fungsi suhu, dan bertambah sedikit kalau suhu naik, akan tetapi variasinya kecil dan sering kali diabaikan. Jika nilai konduktivitas thermal suatu bahan makin besar, maka makin besar juga panas yang mengalir melalui benda tersebut. Karena itu, bahan yang harga  $k$ -nya besar adalah penghantar panas yang baik, sedangkan bila  $k$ -nya kecil bahan itu kurang menghantar atau merupakan isolator.



Gambar 4. 1. Instalasi alat uji

Gambar pengujian gambar 4.1 menunjukkan bahwa alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) secara tipikal diklasifikasikan berdasarkan susunan aliran (*flow arrangement*) dan tipe konstruksi. Penukar kalor yang paling sederhana adalah satu penukar kalor yang mana fluida panas dan dingin bergerak atau mengalir pada arah yang sama atau berlawanan dalam sebuah pipa berbentuk bundar (atau pipa rangkap dua). Pada susunan aliran sejajar (*parallel-flow arrangement*) yang

ditunjukkan gambar 4.1 ( $T_{h.in}$  dan  $T_{h.out}$ ) fluida panas dan dingin masuk pada ujung yang sama, mengalir dalam arah yang sama dan keluar pada ujung yang sama. Pada susunan aliran berlawanan (*counter flow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 4.1 ( $T_{h.in}$  dan  $T_{h.out}$ ) kedua fluida tersebut pada ujung yang berlawanan, mengalir dalam arah yang berlawanan, dan keluar pada ujung yang berlawanan.

Dalam penguraian komponen-komponen *heat exchanger* jenis *shell and tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger*. Untuk lebih jelasnya disini akan dibahas beberapa komponen dari *heat exchanger* jenis *shell and tube*.

**a. Shell**

Konstruksi *shell* sangat ditentukan oleh keadaan *tubes* yang akan ditempatkan didalamnya. *Shell* ini dapat dibuat dari pipa yang berukuran besar atau pelat logam yang dirol. *Shell* merupakan badan dari *heat exchanger*, dimana didapat *tube bundle*. Untuk temperatur yang sangat tinggi kadang-kadang *shell* dibagi dua disambungkan dengan sambungan ekspansi. Bentuk-bentuk *shell* yang lazim digunakan ditunjukkan pada gambar 4.1

**b. Tube (Pipa)**

*Tube* atau pipa merupakan bidang pemisah antara kedua jenis fluida yang mengalir didalamnya dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas. Ketebalan dan bahan pipa harus dipilih pada tekanan operasi fluida kerjanya. Selain itu bahan pipa tidak mudah terkorosi oleh fluida kerja.

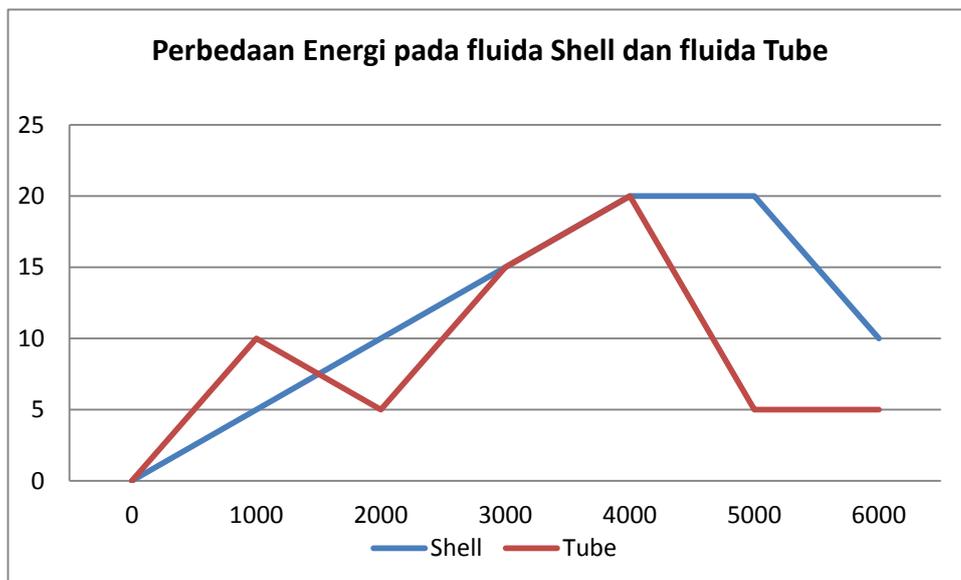
Dari hasil pengujian yang dilakukan maka diperoleh hasil sebagai berikut sesuai tabel 4.4

*Tabel 4. 3. Tabel Kalor dan Fluida Sell and Tube*

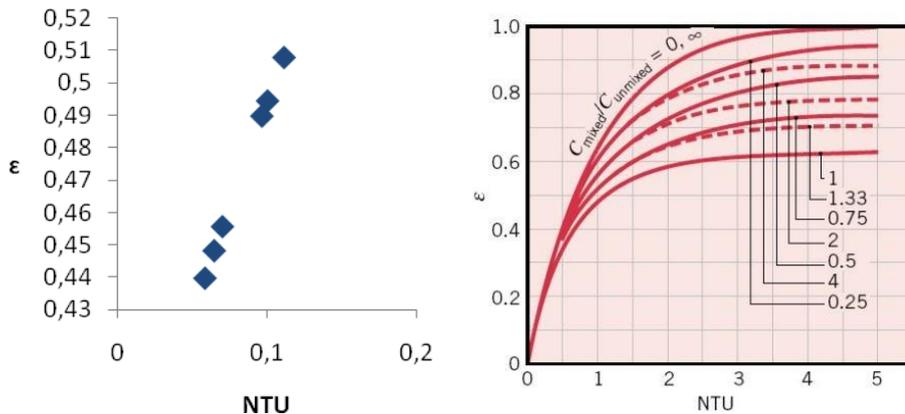
Kalor ( W )	Fluida Shell	Fluida Tube
0	0	0
1000	5	10
2000	10	5

3000	15	15
4000	20	20
5000	20	5
6000	10	5

Dari tabel kalor (W) , Fluida Shell dan Fluida Tube menunjukkan bahwa pada saat kalor dititik 0 maka fluida shell dan fluida tube nilanya 0. Selanjutnya pada kalor 1000W atau diperoleh hasil fluida shell 5 dan fluida tube 10 sedangkan pada kalor 2000W ternyata fluida shell mengalami peningkatan 10 sedangkan fluida tube mengalami penurunan 5. Kemudian pada kalor 3000W fluida shell dan fluida tube nilainya sama 15 demikian pula kalo 4000W nilai fluida shell dan fluida tube sama dengan 20. selanjutnya kalor 5000W dan 6000W fluida shell nya mengalami penurunan dari 20 ke 10 sedangkan fluida tube nya tetap 5. Terlihat pada Gambar 4.2 Grafik Perbedaan Energi Pada Fluida Shell dan Fluida Tube.



*Gambar 4. 2. Perbedaan energi kalor pada fluida shell dan fluida tube*



Gambar 4. 3. Perbandingan antara nilai NTU terhadap effectiveness heat exchanger.

Nilai kalor yang dipindahkan dengan variabel laju alir sisi shell 5 lpm dan sisi tube 10 lpm dalam rentang 20 menit proses berjalan berkisar antara 3258 – 4906 W. Dari kurva pada gambar 5 terlihat bahwa nilai kalor yang dipindahkan memiliki selisih yang cukup besar terhadap nilai kalor pada sisi tube. Hal ini menunjukkan adanya kerugian kalor yang timbul pada sisi shell akibat pertukaran kalor dengan lingkungan. Untuk menghindari pertukaran kalor dengan lingkungan maka harus dilakukan isolasi pada sekeliling atau perubahan konfigurasi aliran, dimana fluida panas ditempatkan di sisi tube.

Nilai kalor perubahan energi yang terjadi memiliki kisaran 1955 - 2960 W. Nilai perubahan energi cenderung menurun, nilai pada menit ke 8 lebih tinggi dari pada menit ke 18. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu heat exchanger beroperasi, nilai kalor yang ditransfer semakin besar.

Nilai effectiveness heat exchanger, yaitu dalam rentang 0.4 – 0.5. Sedangkan menurut grafik 4.2, dengan berpatokan hubungan antara NTU dan  $C_{mixed}/C_{unmixed}$  diperoleh nilai effectiveness heat exchanger sekitar 0.2. Hal ini menunjukkan bahwa heat exchanger yang didesain memiliki kualitas yang baik karena nilai effectiveness yang dihasilkan lebih tinggi dari nilai effectiveness teoritis.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Pengaruh laju aliran massa udara terhadap laju perpindahan panas pada pengujian penukar kalor shell and tube aliran pada mesin pengering kopi sesuai dengan perhitungan laju aliran massa udara maka diperoleh:

$$P_{\text{air}} T=28^{\circ}\text{C} \text{ yaitu } 1,158072 \text{ kg/m}^3.$$

Sehingga pengaruh laju aliran massa udara berpengaruh terhadap kecepatan aliran, makin cepat kecepatan aliran maka makin besar laju aliran massa udara, Kecepatan alirannya selisih tidak terlalu banyak pada beda potensi blower (V) mulai 170 ke 120 terjadi perlambatan dikecepatan aliran (hanya 0,3 m/s) laju aliran massa udara selisih beda potensial blower dari 170 ke 220 menghasilkan laju aliran massa udara sebesar 0,01292338 kg./s.

2. Pengaruh laju aliran massa udara terhadap efektifitas penukar kalor shell and tube aliran menyilang pada mesin penge ring kopi, menunjukkan adanya kerugian kalor yang timbul pada sisi shell akibat pertukarn kalor dengan lingkungan, ini disebabkan oleh lingkungan, oleh sebab itu diperlukan isolasi pada sekeliling atau perubahan konfigurasi aliran dimana fluida panas ditempatkan disisi tube.

#### **5.2 Saran**

1. Diharapkan jadwal pemeliharaan berkala dapat dilaksanakan tepat waktu untuk meningkatkan efisiensi alat penukar kalor.
2. Untuk penelitian selanjutnya yang sama terhadap bidang ini dikembangkan dengan pembuatan software.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blevins R, Ph.D. 1984. *Applied Fluid Dynamics HandBook*. Van Nostrand Rheynold Company. New York.
- Byrne, Richard. 2007. *Standards of Tubular Exchanger and Manufacturing Assosiation*. TEMA,inc : New York.
- Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer 2<sup>nd</sup> edition*. Mc Graw Hill Book Company. New York.
- Hartono, Rudi. 2008. *Penukar Panas*. Fakultas Teknik. Universitas Sultan Agung Cilegon. Banten.
- Holman, J.P. 1997. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam Alih Bahasa Jasjfi*. Erlangga. Jakarta.
- Incopera, P. 2007. *Fundamental of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*. John Wiley & sons. Newyork.
- Kuppan, T. 2000. *Heat Exchanger Design Handbook*. Maercel Deker Inc. New York.
- Muardi. Hasan, Duma dan Piarah, Wahyu. 2012. *Heat exchanger sebagai alat pengering ikan dengan memanfaatkan panas gas buang mesin diesel*. Universitas Hasanudin. Makasar.
- Najiyati, Sri dan Danarti. 2004. *Kopi : Budidaya dan Penanganan Pascapanen*. Penebar Swadaya. Depok.
- Nasir, M dan Maksum, Hasan. 2006. *Analisis peningkatan perpindahan kalor dan peningkatan daya pemompaan pada alat penukar kalor jenis shell and tube*. Fakultas Teknik UNP.
- Reynolds, William C dan Perkins, Henry C. 1983. *Engineering Thermodynamics*. McGraw Hill. New York.

Robert W. Fox dan Alan T. McDonald. 1976. *Introduction to Fluid Mechanics*,  
Fifth Edition, John Wiley & Sons Co: USA.

Stoecker, Wilbert F dan Jones, Jerold W.1982. *Refrigeration and Air Conditioning*.  
New York.

## LAMPIRAN

### Dokumentasi

