



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

# **ANALISA PENGARUH KONTUR ZIG-ZAG PERMUKAAN PLAT TERHADAP KARAKTERISTIK ALAT PENUKAR PANAS PLATE AND FRAME**

**SKRIPSI**



**REDHO AULIA PUTRA  
05171033**

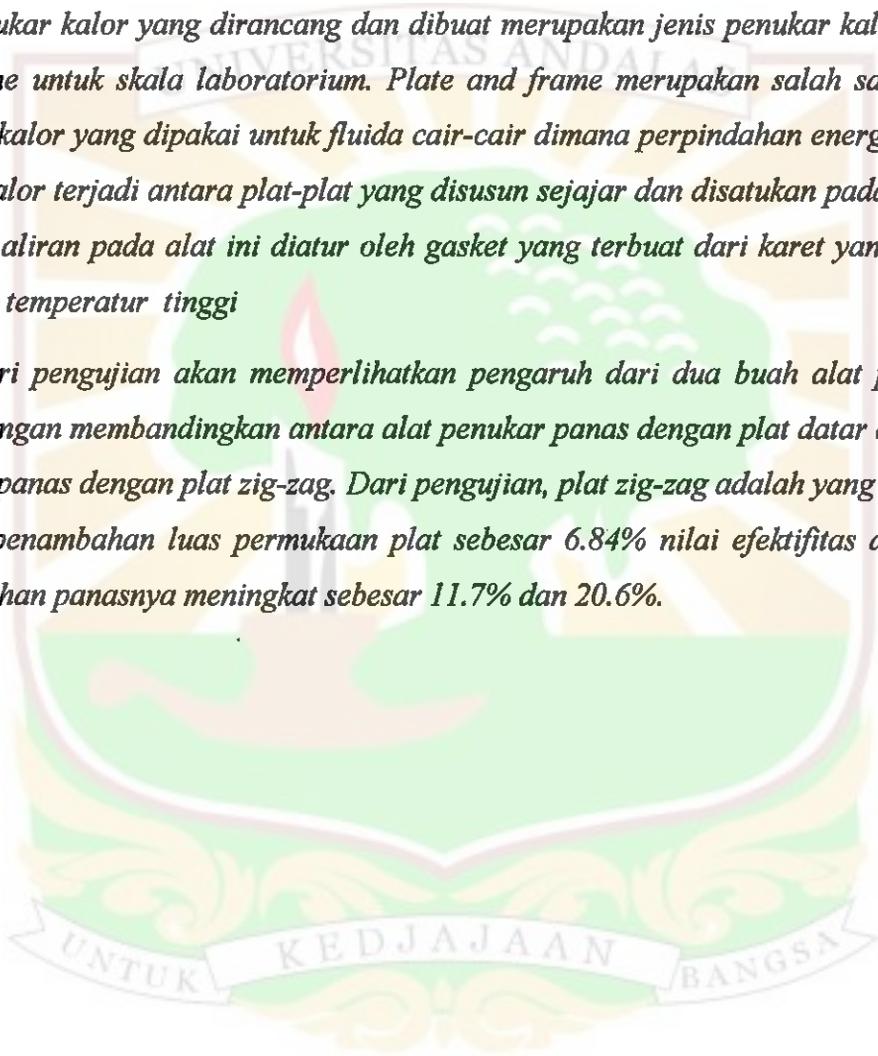
**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG 2010**

## **ABSTRAK**

*Alat penukar kalor telah lama digunakan dalam dunia industri. Seiring dengan perkembangan zaman dan semakin kompleksnya kebutuhan, alat penukar kalor dilakukan optimasi sesuai kebutuhan yang diinginkan, baik dari jenis, bentuk dan dimensi yang sesuai. Perkembangan ini dilakukan untuk mendapatkan alat penukar kalor dengan efektifitas yang tinggi dan ukuran yang lebih ideal.*

*Alat penukar kalor yang dirancang dan dibuat merupakan jenis penukar kalor plate and frame untuk skala laboratorium. Plate and frame merupakan salah satu jenis penukar kalor yang dipakai untuk fluida cair-cair dimana perpindahan energi dalam bentuk kalor terjadi antara plat-plat yang disusun sejajar dan disatukan pada frame. Susunan aliran pada alat ini diatur oleh gasket yang terbuat dari karet yang tahan terhadap temperatur tinggi*

*Hasil dari pengujian akan memperlihatkan pengaruh dari dua buah alat penukar panas dengan membandingkan antara alat penukar panas dengan plat datar dan alat penukar panas dengan plat zig-zag. Dari pengujian, plat zig-zag adalah yang terbaik, dengan penambahan luas permukaan plat sebesar 6.84% nilai efektifitas dan laju perpindahan panasnya meningkat sebesar 11.7% dan 20.6%.*



## DAFTAR ISI

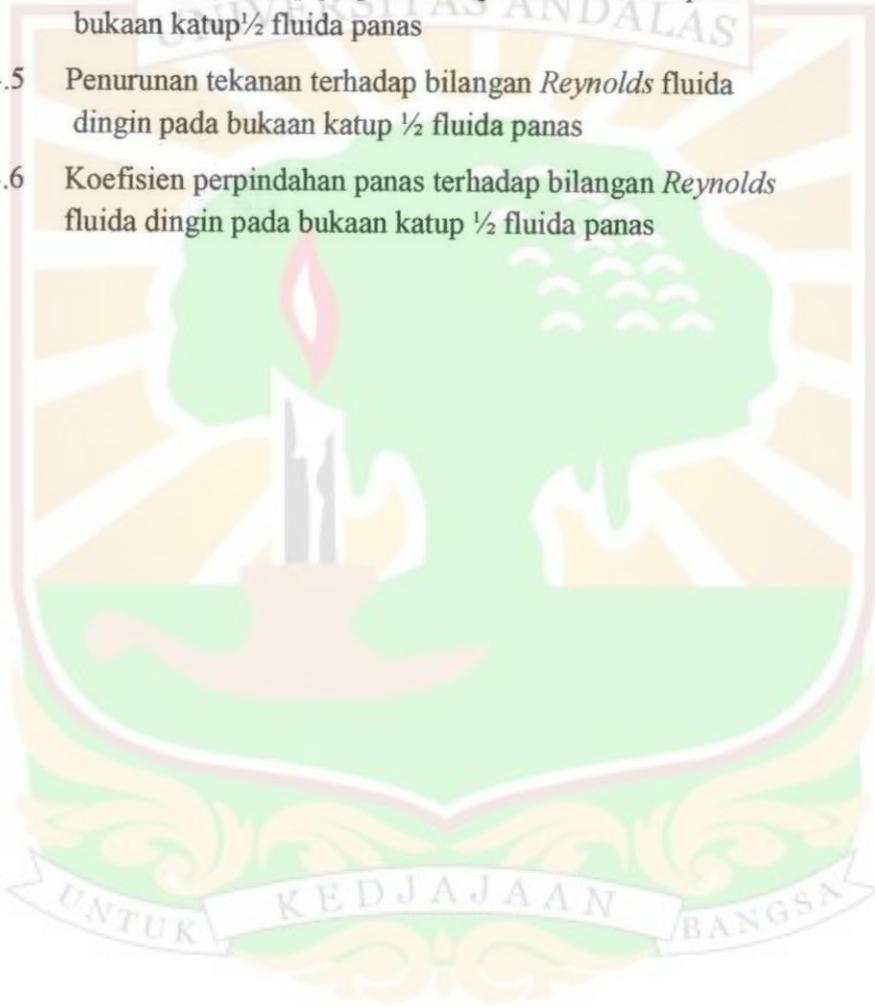
<b>ABSTRAK</b>	i
<b>KATA PENGANTAR</b>	ii
<b>DAFTAR ISI</b>	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	v
<b>DAFTAR NOTASI</b>	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Prinsip Perpindahan Panas	4
2.1.1 Konduksi	4
2.1.2 Konveksi	5
2.1.3 Radiasi	5
2.2 Teori Umum Penukar Kalor	6
2.2.1 Klasifikasi Penukar Panas	7
2.2.2 Distribusi Temperatur	8
2.3 Penukar Panas <i>Plate dan Frame</i>	11
2.3.1 Komponen-Komponen pada Alat Penukar Kalor <i>Plate and Frame</i>	12
2.3.2 Aliran Fluida Alat Penukar Kalor <i>Plate and Frame</i>	13
2.3.2.1 <i>Parallel Flow</i>	13
2.3.2.2 <i>Counter Flow</i>	14
2.3.3 Kelebihan Alat Penukar Kalor <i>Plate and Frame</i>	15
2.3.4 Tipe-tipe Plat pada Alat Penukar <i>Panas Plate and Frame</i>	16

2.3.5 Gasket	17
2.3.6 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh	18
2.3.7 Metode LMTD	19
2.3.8 Efektifitas	19
2.3.9 Penurunan Tekanan ( <i>pressure drop</i> )	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Instalasi Pengujian	21
3.1.1 Pompa dan Perlengkapannya	23
3.1.2 Penukar Panas <i>Plate dan Frame</i>	25
3.1.3 Alat Ukur	27
3.2 Fluida Kerja	29
3.3 Asumsi-asumsi	29
3.4 Prosedur Pengujian	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Distribusi Temperatur Pada Alat penukar Kalor	32
4.2 Perpindahan Panas pada Alat Penukar Kalor	33
4.3 Efektivitas Penukar Panas	34
4.4 Penurunan Tekanan	35
4.5 Koefisien Perpindahan Panas	36
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN A Physical Properties</b>	
<b>LAMPIRAN B Data Pengujian</b>	
<b>LAMPIRAN C Pengolahan Data</b>	
<b>LAMPIRAN D Foto Alat Uji dan Instalasi Pengujian</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gradien Penurunan Temperatur	4
Gambar 2.2	Distribusi temperatur untuk penukar kalor aliran sejajar	9
Gambar 2.3	Distribusi temperatur penukar kalor aliran berlawanan	9
Gambar 2.4	Distribusi temperatur penukar kalor kondensor lintas tunggal	10
Gambar 2.5	Distribusi temperatur penukar kalor evaporator lintas tunggal	10
Gambar 2.6	Alat penukar kalor <i>plate and frame</i>	11
Gambar 2.7	Komponen pada alat penukar <i>plate and frame</i>	12
Gambar 2.8	Aliran Fluida pada alat penukar panas <i>plat and frame</i>	13
Gambar 2.9	<i>Paralel flow plate and frame heat exchanger</i>	14
Gambar 2.10	Distribusi Temperatur <i>parallel flow</i>	14
Gambar 2.11	<i>Counter flow plat and frame heat exchanger</i>	15
Gambar 2.12	Distribusi temperatur penukar kalor <i>plat and frame</i> aliran Berlawanan	15
Gambar 2.13	Ukuran plat pada alat penukar panas <i>Plate and frame</i>	16
Gambar 2.14	Tipe alur plat pada alat penukar kalor <i>plate and frame</i>	17
Gambar 2.15	Bentuk dan tipe <i>Gasket</i>	19
Gambar 3.1	Instalasi pengujian	21
Gambar 3.2	Skema pengujian	22
Gambar 3.3	Katup bola	23
Gambar 3.4	Pemanas ( <i>heater</i> )	24
Gambar 3.5	<i>Flowmeter</i>	24
Gambar 3.6	Bentuk plat pengujian plat zig-zag	25
Gambar 3.7	Bentuk <i>gasket</i> alat uji	26
Gambar 3.8	Alat Penukar Kalor <i>Plate and Frame</i>	27
Gambar 3.9	Termokopel	27
Gambar 3.10	<i>Manometer</i> raksa	28
Gambar 3.11	Stopwatch	28

Gambar 4.1	Distribusi temperatur fluida panas terhadap laju perpindahan panas pada bukaan katup $\frac{1}{2}$ fluida panas	32
Gambar 4.2	Perpindahan panas terhadap bilangan <i>Reynolds</i> fluida dingin pada bukaan katup $\frac{1}{2}$ fluida panas	33
Gambar 4.3	Efektifitas terhadap bilangan <i>Reynolds</i> fluida dingin pada bukaan katup $\frac{1}{2}$ fluida panas	34
Gambar 4.4	Efektifitas terhadap perpindahan panas maksimal pada bukaan katup $\frac{1}{2}$ fluida panas	35
Gambar 4.5	Penurunan tekanan terhadap bilangan <i>Reynolds</i> fluida dingin pada bukaan katup $\frac{1}{2}$ fluida panas	36
Gambar 4.6	Koefisien perpindahan panas terhadap bilangan <i>Reynolds</i> fluida dingin pada bukaan katup $\frac{1}{2}$ fluida panas	37



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara dua zat. Mekanisme perpindahan panas dapat berupa konduksi, konveksi dan radiasi. Prinsip-prinsip perpindahan panas ini dapat digunakan untuk merancang alat penukar kalor (*heat exchanger*).

Alat penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk proses perpindahan panas antara dua atau lebih fluida yang berbeda temperaturnya. Di dalam alat penukar kalor terjadi perpindahan panas dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida lain yang temperaturnya lebih rendah.

Alat penukar panas banyak digunakan didunia industri terutama industri minyak, gas dan juga pembangkit tenaga listrik, karena alat penukar panas yang penting dilakukan optimasi dalam segi dimensi, bentuk dan penambahan perangkat lain yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja alat.

Dari sekian banyak tipe dari alat penukar kalor, dalam kasus kali ini akan dilakukan pengujian pada alat penukar kalor tipe *plate and frame*, tipe ini berupa susunan-susunan dari beberapa plat dimana fluida akan dialiri diantara plat tersebut.

Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja dari alat penukar kalor tipe *plate and frame* adalah dengan cara memperluas permukaan plat yang terdapat pada alat, perluasan permukaan dapat dilakukan dengan cara pemberian alur. Bentuk alur yang diberikan pada plat sangatlah beragam pada kasus kali ini alur yang digunakan adalah bentuk zig-zag.

### 1.2 Perumusan Masalah

Tugas akhir ini dibuat untuk melihat pengaruh performansi antara alat penukar kalor *plate and frame* tanpa alur dengan pemberian alur. Kedua alat penukar kalor *plate*

*and frame* tersebut akan dilihat perbandingannya seperti distribusi temperatur, perpindahan panas, efektifitas, penurunan tekanan dan koefisien perpindahan panas.

### 1.3 Tujuan

1. Mengetahui distribusi temperatur terhadap alur zig-zag pada permukaan plat
2. Mengetahui perpindahan panas terhadap pengaruh alur zig-zag pada permukaan plat
3. Mengetahui efektifitas alat penukar kalor *Plate and Frame* terhadap alur zig-zag
4. Mengetahui pengaruh alur zig-zag terhadap penurunan tekanan alat.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang didapat dari pembuatan tugas akhir ini adalah dapat digunakan sebagai alat praktikum dalam skala laboratorium.

### 1.5 Batasan Masalah

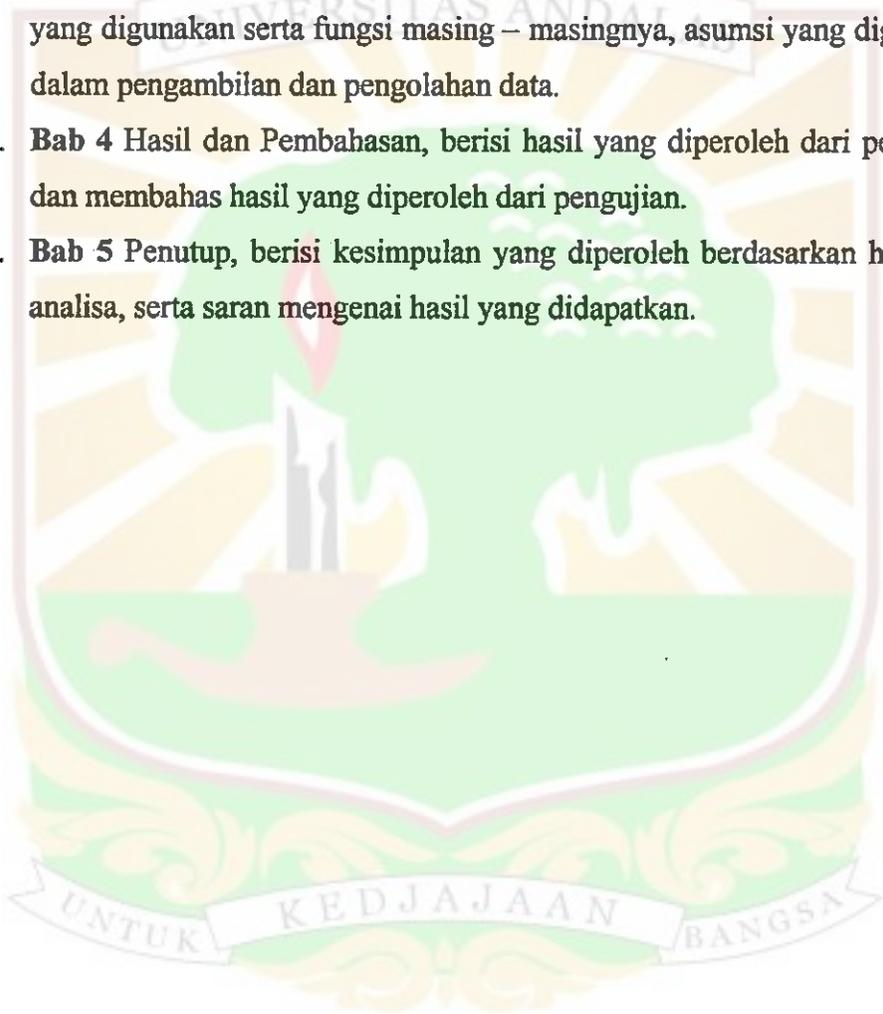
Adapun untuk memperjelas ruang lingkup penelitian maka penelitian ini dibatasi dengan hanya membahas mengenai :

1. Alat penukar kalor yang digunakan adalah alat penukar kalor tipe *plate and frame*.
2. Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara alat penukar kalor tipe *plate and frame* dengan pemberian alur zig-zag dan tanpa alur.
3. Pengujian dilakukan dengan tipe aliran counter flow
4. Penukar kalor bekerja pada kondisi tunak dan kerugian panas diabaikan
5. Faktor pembanding yang digunakan adalah
  - a. Distribusi temperatur
  - b. Laju perpindahan panas
  - c. Efektifitas
  - d. Penurunan tekanan (*pressure drop*)
  - e. Koefisien perpindahan panas

## 1.6 Sistematika Penulisan

Tahapan – tahapan dalam pembuatan tugas akhir ini dibahas dalam beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

1. **Bab 1** Pendahuluan, berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah serta sistematika penulisan tugas akhir.
2. **Bab 2** Tinjauan Pustaka, membahas mengenai teori dan materi yang berhubungan dengan alat penukar kalor *plate and frame*,
3. **Bab 3** Metodologi, menjelaskan tentang skema dari pengujian, peralatan yang digunakan serta fungsi masing – masingnya, asumsi yang digunakan dalam pengambilan dan pengolahan data.
4. **Bab 4** Hasil dan Pembahasan, berisi hasil yang diperoleh dari pengujian dan membahas hasil yang diperoleh dari pengujian.
5. **Bab 5** Penutup, berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil dan analisa, serta saran mengenai hasil yang didapatkan.



## BAB II

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Prinsip Perpindahan Panas<sup>[1]</sup>

Perpindahan panas adalah perpindahan energi dalam bentuk panas karena adanya perbedaan temperatur antara benda atau material. Ada tiga mekanisme dari perpindahan panas, yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi.

##### 2.1.1 Konduksi

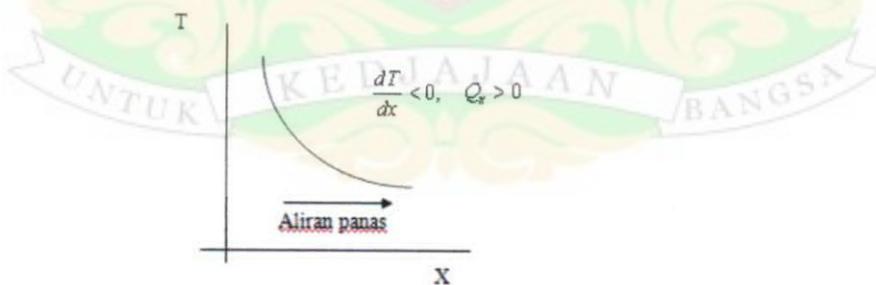
Konduksi adalah perpindahan panas melalui kontak molekular, atau kontak fisik. Syarat terjadinya panas secara konduksi adalah :

- Adanya bidang kontak
- Adanya perbedaan temperatur antara kedua bidang kontak
- Posisi molekul relatif tetap, atau dengan kata lain konduksi terjadi pada fasa padat

Laju perpindahan panas konduksi ( $Q_k$ ) dinyatakan oleh hukum *Fourier* yaitu :

$$Q_k = -k.A.\frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Dimana tanda minus yang diberikan pada persamaan di atas adalah untuk menunjukkan bahwa panas berpindah dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah dalam skala temperatur, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Gradien Penurunan Temperatur

Konduktifitas termal ( $k$ ) suatu bahan merupakan kemampuan bahan tersebut untuk mengalirkan panas

### 2.1.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi sering dikaitkan dengan mekanisme perpindahan panas antara permukaan padat dengan fluida (cair dan padat).

Laju perpindahan konveksi dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Q_c = h.A.(T_w - T_\infty) \quad (2.2)$$

Konveksi dapat dibedakan atas :

1. Konveksi bebas

Apabila gerakan fluida yang terjadi akibat beda massa fluida yang timbul karena adanya gradien temperatur.

2. Konveksi paksa

Apabila gerakan fluida yang terjadi disebabkan oleh paksa dari peralatan luar seperti pompa, blower dan lain-lain sebagainya.

### 2.1.3 Radiasi

Perpindahan kalor secara radiasi berlangsung melalui sinaran atau radiasi elektromagnetik tanpa medium perantara. Benda hitam (*black body*) memancarkan energi radiasi yang paling besar, yang dapat dihitung dengan persamaan *Stefen-Boltzman* :

$$Q_r = \sigma.A.T^4 \quad (2.3)$$

Untuk benda yang bukan hitam akan memancarkan energi sesuai dengan persamaan :

$$Q_r = \epsilon.\sigma.A.T^4 \quad (2.4)$$

## 2.2 Teori Umum Penukar Kalor

Alat penukar kalor suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan energi termal antara dua atau lebih fluida yang mempunyai temperatur berbeda, dimana fluida tersebut diletakkan dalam suatu medium.

Penukar kalor terdiri dari 2 tipe yaitu penukar kalor kontak langsung dan penukar kalor tidak kontak langsung. Penukar kalor kontak langsung adalah alat penukar kalor dimana kedua fluida yang berbeda temperatur bercampur langsung dalam alat penukar panas tanpa ada medium pemisah antar kedua fluida. Contoh : *jet condenser* dan pesawat *desuperheater* pada ketel.

Penukar kalor tidak kontak langsung adalah alat penukar kalor yang fluida panasnya tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin, pertukaran kalor terjadi pada bidang-bidang pertukaran panas, seperti pipa /saluran, plat atau peralatan lain. Melalui bidang-bidang pertukaran panas ini, panas berpindah secara konduksi dan pada masing-masing fluida terjadi perpindahan panas secara konveksi.

Tiga tahap yang perlu diperhatikan dalam perancangan suatu alat penukar kalor , yaitu :

1. Analisa termal

Yaitu penentuan luas permukaan perpindahan panas yang diperlukan untuk memindahkan panas pada laju aliran serta temperatur yang diketahui.

2. Rancangan bangun mekanik

Yaitu menyangkut pertimbangan-pertimbangan yang berkaitan dengan temperatur serta tekanan operasi, korosi pemuaiian panas relatif, tegangan termal dan hubungan antara penukar panas dengan peralatan lain yang berkaitan.

3. Rancangan bangun produksi

Yaitu menyangkut ukuran fisik yang dapat dibuat dengan harga rendah pemilihan penutup, perapat, susunan mekanik optimum dan prosedur pembuatan.

### 2.2.1 Klasifikasi Penukar Kalor<sup>[3]</sup>

Penukar kalor dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok berdasarkan pada ciri-ciri masing-masing.

Diantaranya adalah:

1. Klasifikasi berdasarkan proses perpindahan panas.

Berdasarkan proses perpindahan panasnya, alat penukar kalor dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu:

a. Tipe bercampur

Ciri-cirinya adalah :

- Fluida panas bercampur secara langsung dengan fluida dingin sehingga pada akhirnya temperatur kedua fluida akan sama
- Kapasitas perpindahan panas relatif kecil

b. Tipe tidak bercampur

Mekanisme penukar panasnya adalah perpindahan panas dari fluida panas ke permukaan /dinding batas, baru dipindahkan ke fluida yang lebih dingin.

Tipe tidak bercampur dapat pula dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu:

- Tipe kontak langsung

Yaitu kedua fluida dipisahkan oleh dinding tipis yang dapat ditembus panas

- Tipe persimpangan

Ciri-cirinya adalah

- Permukaan perpindahan panas yang berupa struktur sela yang biasa disebut matrik
- Selama aliran panas mengalir dalam saluran, kalor tersimpan dalam dinding matrik. Fluida dingin mengalir dalam saluran lain dan dinding matrik melepaskan panas ke fluida menuju fluida yang lebih dingin

- Tipe terendam  
Ciri-cirinya adalah :
  - Digunakan untuk mendinginkan benda padat.
  - Penukar kalor di rendam dalam bak yang berisi benda padat yang mengalir.
- 2. Klasifikasi berdasarkan tingkat kekompakan permukaan.  
Berdasarkan tingkat kekompakan permukaannya, penukar kalor dapat dibagi menjadi:
  - a. Tipe kompak  
Dimana perbandingan luas permukaan dengan volume besar dari  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$
  - b. Tipe tidak kompak  
Dimana perbandingan luas permukaan dengan volume kecil dari  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- 3. Klasifikasi berdasarkan konstruksi permukaan  
Berdasarkan konstruksi permukaan, penukar kalor dibagi menjadi :
  - a. Tipe cangkang dan tabung (*Tube and Shell*)
  - b. Tipe pelat
  - c. Tipe generator

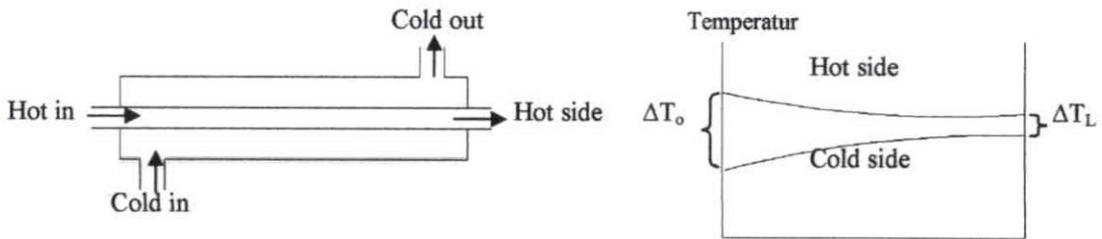
### 2.2.2 Distribusi Temperatur<sup>[1]</sup>

Perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin dapat menyebabkan terjadinya perubahan temperatur untuk satu atau dua fluida yang melewati penukar panas tersebut.

Proses terjadinya perubahan atau *temperature drop* yang mengalir pada penukar kalor dapat dilihat pada grafik distribusi temperatur fluida itu. Distribusi temperatur fluida dalam penukar kalor tergantung dari penukar kalor tersebut.

Dibawah ini dapat dilihat distribusi temperatur untuk beberapa jenis penukar kalor

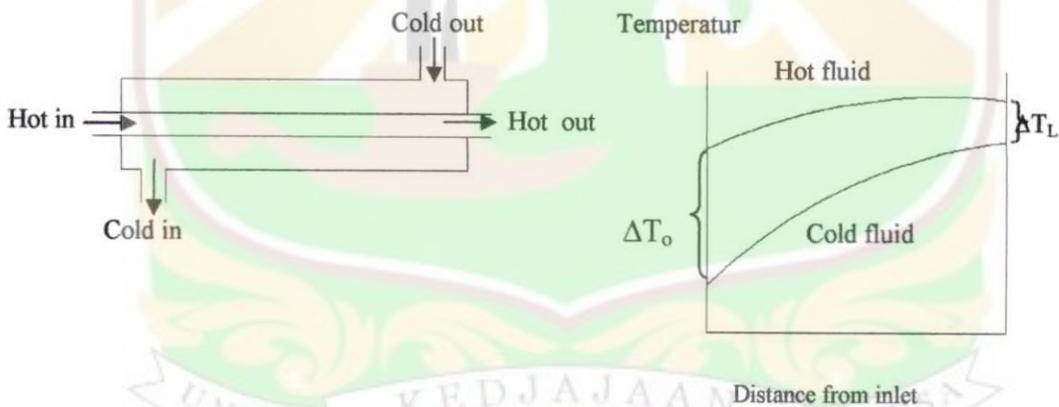
1. Penukar kalor aliran sejajar dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Distribusi temperatur untuk penukar kalor aliran sejajar

Distribusi temperatur untuk penukar kalor aliran sejajar dapat dilihat pada Gambar 2.2. kedua fluida bergerak dalam arah yang sama, dari Gambar 2.2 terlihat pada fluida dingin mengalami kenaikan temperatur, sementara fluida panas mengalami penurunan temperatur. Temperatur keluaran fluida dingin tidak mungkin melebihi temperatur keluaran fluida panas, oleh karena itu efektifitas penukar kalor aliran sejajar menjadi terbatas. Karena keterbatasan ini, maka penukar kalor aliran sejajar jarang digunakan untuk mempertukarkan panas.

2. Penukar kalor aliran berlawanan (*counter flow*) dapat dilihat pada Gambar 2.3

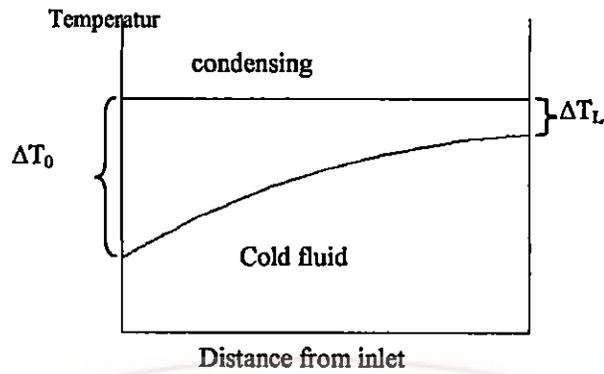


Gambar 2.3 Distribusi temperatur penukar kalor aliran berlawanan

Distribusi temperatur untuk penukar kalor aliran berlawanan dapat dilihat pada Gambar 2.3 kedua fluida bergerak dalam arah berlawanan, dan temperatur keluaran fluida dingin bisa lebih besar dari pada temperatur keluaran fluida panas.



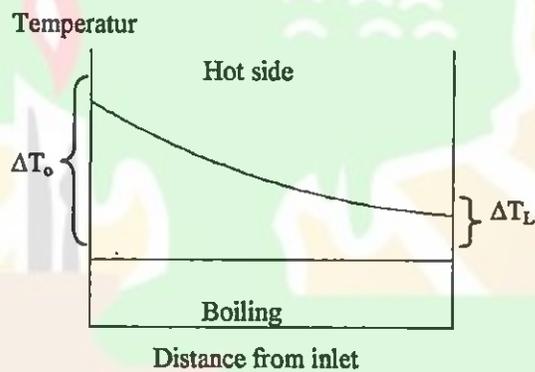
3. Penukar kalor kondensor lintas tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.4



**Gambar 2.4** Distribusi temperatur penukar kalor kondensor lintas tunggal

Distribusi temperatur penukar kalor kondensor lintas tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.4. fluida panas mengalami kondensasi dan panas di pindahkan ke fluida dingin, sehingga temperatur fluida dingin meningkat.

4. Penukar kalor evaporator lintas tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.5



**Gambar 2.5** Distribusi temperatur penukar kalor evaporator lintas tunggal.

Distribusi temperatur penukar kalor evaporator lintas tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.5, fluida dingin mengalami evaporasi dan pendinginan fluida panas terjadi sepanjang garis aliran.

### 2.3 Penukar kalor *Plate and Frame*

Alat penukar kalor *plate and frame* adalah tipe penukar panas yang menggunakan plat konduktifitas termal yang baik untuk menukarkan energi panas antara 2 fluida yang memiliki temperatur berbeda dimana menggunakan *gasket* sebagai pemisah antara dua fluida tersebut.

Karakteristik dari alat penukar kalor *plate and frame* adalah :

1. Luas permukaan maksimum  $1500 \text{ m}^2$
2. Temperatur operasi maksimal  $260^\circ\text{C}$
3. Penurunan tekanan  $0.5 - 1.5 \text{ bar}$
4. Kapasitas aliran maksimum  $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$
5. Tekanan operasi maksimum  $20 \text{ bar}$

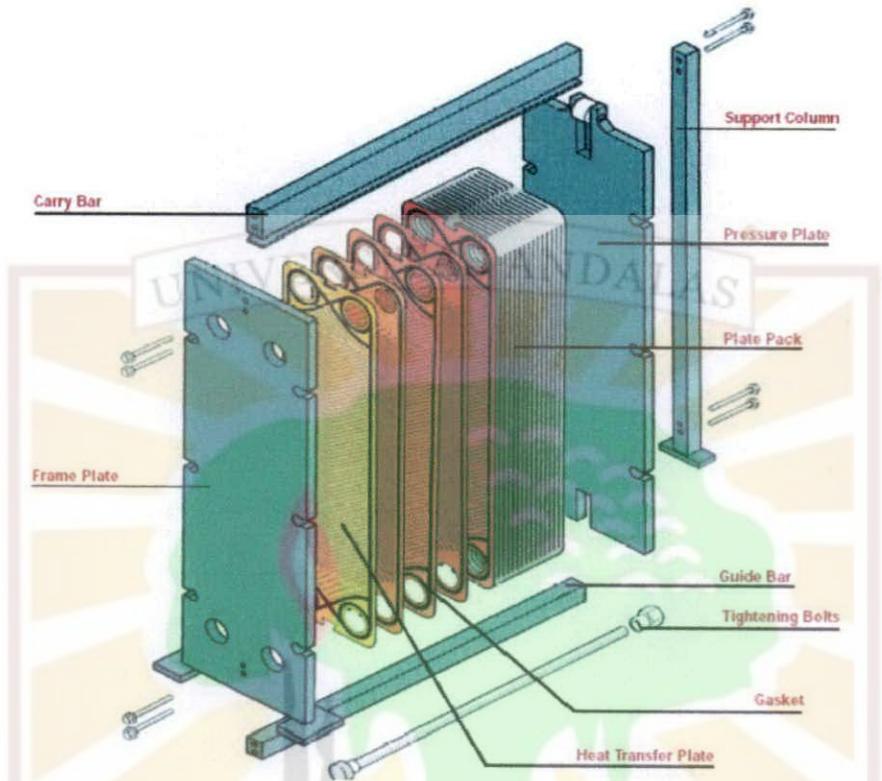
Secara umum Gambar alat penukar kalor *plate and frame* dapat dilihat Gambar 2.6 dibawah:



**Gambar 2. 6.**Alat penukar kalor *plate and frame*

### 2.3.1 Komponen-komponen Pada Alat Penukar Kalor *Plate and Frame*

Alat penukar kalor *plate and frame* memiliki beberapa komponen penting yang memiliki peranan penting dalam suatu alat penukar kalor.



Gambar 2.7 Komponen pada alat penukar kalor *plate and frame*

Keterangan bagian dari alat penukar kalor *Plate and Frame* tersebut adalah:

1. *Support Column*, tiang penyangga agar plat dapat berdiri dengan kokoh.
2. *Carry Bar*, batangan balok yang digunakan untuk menahan /mengangkat plat dari penukar panas.
3. *Guiding Bar*, batangan balok yang digunakan untuk dudukan dari plat penukar kalor.
4. *Frame Plate*, rangka tempat diletakkannya *carrying bar* dan *guiding bar* dan susunan plat serta tempat *inlet fluid* dan *outlet fluid*.
5. *Plate Pack*, berupa susunan plat penukar kalor yang disusun secara paralel.
6. *Pressure plate*, sebuah plat yang bisa digerakkan digunakan untuk menekan susunan plat penukar panas supaya tidak terjadi celah antar susunan plat.

7. *Tightening bolts*, baut pengencang antara *pressure plate* dan *frame plate*.
8. *Gasket*, sebagai pemisah antara fluida panas dan dingin agar tidak saling bercampur.

### 2.3.2 Aliran Fluida Alat Penukar Kalor *Plate and Frame*

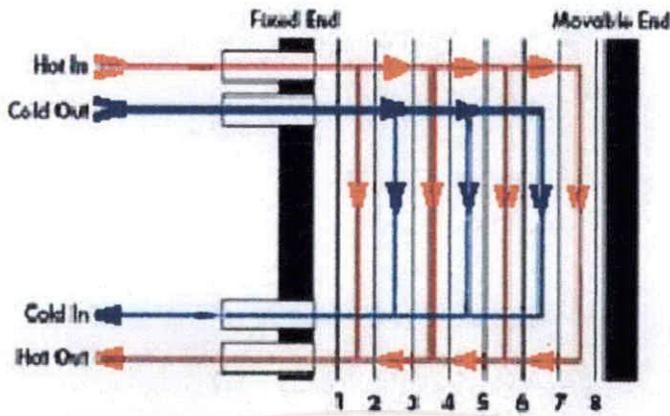
Secara umum aliran fluida pada alat penukar kalor *plate and frame* dapat dilihat pada Gambar 2.8, dimana fluida panas dan dingin masuk melalui *inlet* kemudian fluida panas dan dingin melewati plat berselang-seling sehingga tidak menyebabkan terjadinya pencampuran antara fluida panas dan dingin. Aliran fluida keluar kembali melalui *outlet*. Perpindahan energi dari satu fluida ke fluida lainnya terjadi saat dua fluida melewati plat secara bersisian.



Gambar 2.8 Aliran Fluida pada alat penukar panas *plat and frame*

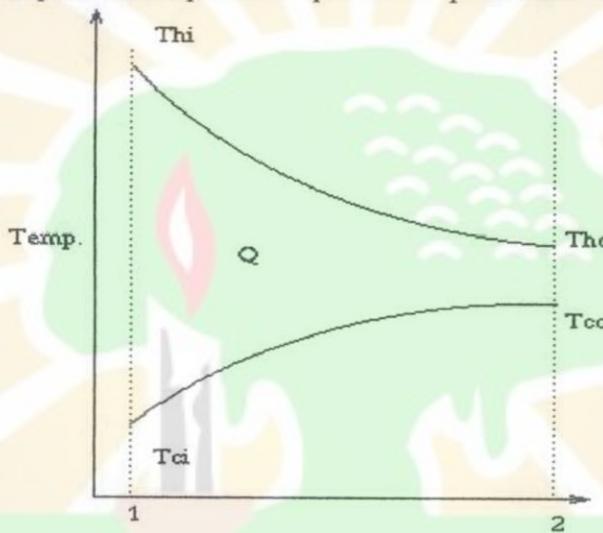
#### 2.3.2.1 Parallel Flow

Pada aliran paralel fluida panas dan dingin mengalir searah seperti yang dilihatkan pada Gambar 2.9 dibawah. Perpindahan energi panas terjadi pada saat dua fluida mengalir dalam plat secara bersisian.



Gambar 2.9 Paralel flow plate and frame heat exchanger

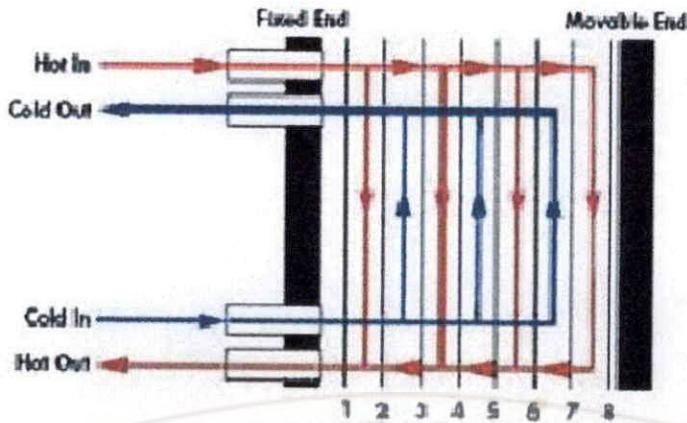
Distribusi temperatur pada aliran paralel dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah:



Gambar 2.10 Distribusi Temperatur parallel flow

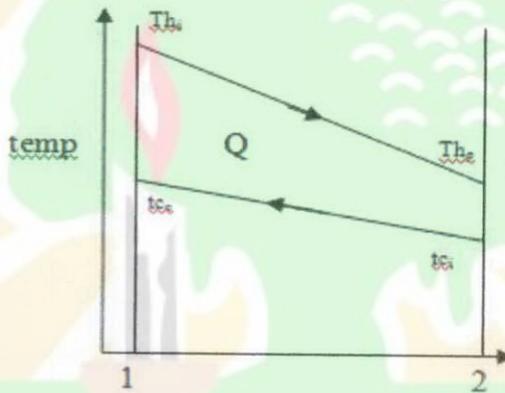
### 2.3.2.2 Counter Flow

.Aliran *counter flow* terjadi apabila aliran fluida panas dan dingin saling berlawanan pada masing-masing plat. Secara analitik *counter flow* memberikan perpindahan panas yang lebih besar dibandingkan dengan aliran *parallel*.



Gambar 2.11 Counter flow plate and frame heat exchanger

Gambar 2.12 menunjukkan distribusi temperatur pada alat penukar kalor *plat and frame* aliran berlawanan :



Gambar 2.12 Distribusi temperatur penukar kalor *plat and frame* aliran berlawanan

### 2.3.3 Kelebihan Alat Penukar Kalor *Plate and Frame*

Adapun kelebihan dari alat penukar kalor *plate and frame* adalah sebagai berikut

1. Sesuai untuk cairan dengan kapasitas termal yang hampir sama antara kedua cairan
2. Lebih mudah untuk dibersihkan

Karena lebih mudah untuk dibersihkan dari penukar panas yang lain maka fluida dengan pengotor yang lebih banyak masih bisa di gunakan untuk tipe penukar panas ini.

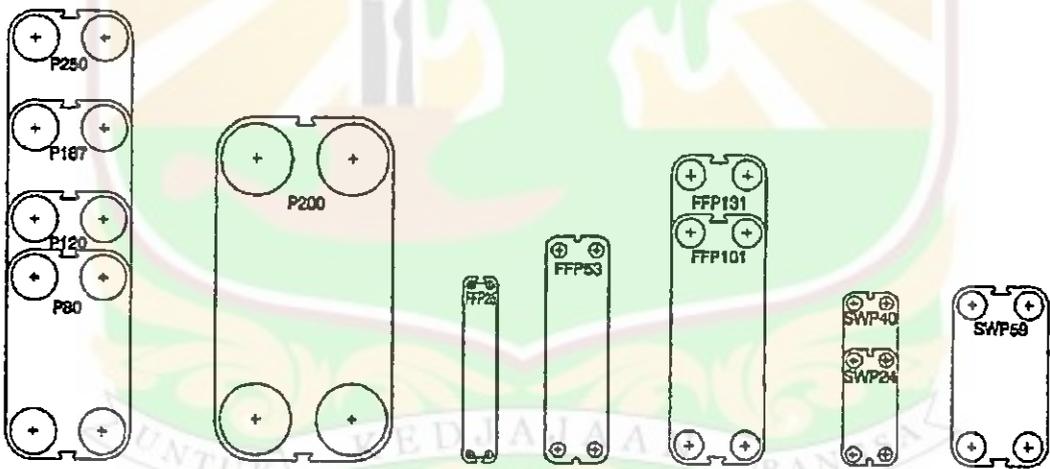
3. Flexibility

Banyaknya plat pemindah panas dapat ditambah dan dikurangkan sesuai dengan kebutuhan bahkan sangat mudah dalam usaha pembongkaran peralatan untuk perawatan dan pembersihan.

- 4. Memiliki luas per satuan volume paling besar dibandingkan dengan segala tipe penukar kalor tertutup, bila di tinjau dengan kemudahan fabrikasi tipe ini lebih murah dibanding dengan tipe selubung pipa
- 5. Efisiensi besar karena Aliran lebih turbulen
- 6. Fouling factor lebih kecil

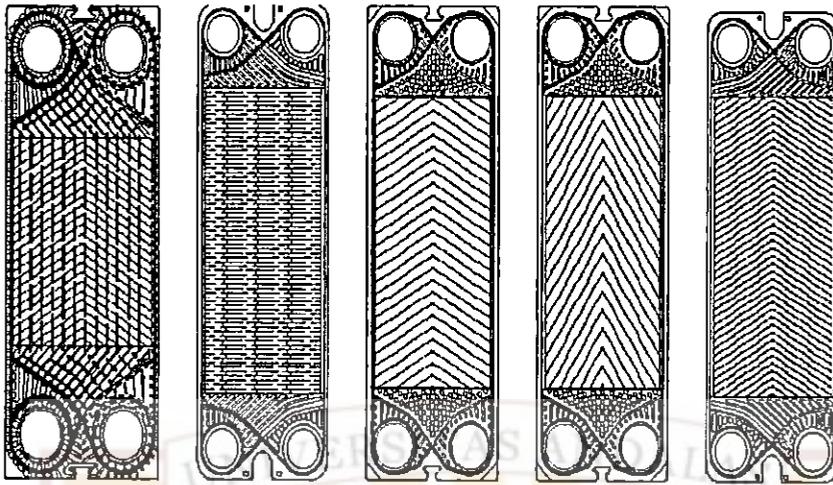
2.3.4 Tipe-tipe Plat pada Alat Penukar Panas *Plate and Frame*

Berbagai macam ukuran plat yang digunakan pada penukar panas *plate and frame* dapat dilihat seperti Gambar 2.13. Pemilihan ukuran dari plat tergantung pada rancangan yang kita inginkan yang dihubungkan dengan kesesuaian dengan tempat yang disediakan juga seberapa besar energi panas yang hendak kita pindahkan.



Gambar 2.13 Ukuran plat pada alat penukar panas Plate and frame

Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan laju perpindahan panas. Salah satunya adalah dengan menambah luas permukaan pelat. Penambahan luas permukaan pada plat dapat dilakukan dengan pemberian alur. Pada Gambar 2.14 dapat dilihat beberapa bentuk alur yang biasa digunakan pada alat penukar panas *plate and frame*.



Gambar 2.14 Tipe alur plat pada alat penukar kalor *plate and frame*

Dengan penambahan luas permukaan ini diharapkan efisiensi alat penukar kalor dapat meningkat, oleh karena itu dilakukan penambahan alur dari penukar kalor.

### 2.3.5 Gasket <sup>[3]</sup>

Susunan pelat dibatasi oleh sekat yang disebut dengan *gasket*. *Gasket* merupakan sebuah sekat antara dua buah pelat yang tahan terhadap temperatur tinggi maupun temperatur rendah yang bertujuan untuk pemisah antara plat dengan plat lainnya, memberikan rongga untuk fluida mengalir dan untuk menghindari kebocoran. *Gasket* biasanya terbuat dari berbagai macam bahan seperti :

1. NBR (acrylnitril butadine rubber)

Temperatur minimal  $0^{\circ}\text{C}$  dan temperatur maksimal  $120^{\circ}\text{C}$ , biasa digunakan untuk fluida air, cairan mengandung minyak, aliphatic hydrocarbons, silicon, dan pelumas

2. EPDM (Ethylene-propylene-diene-rubber)

Temperatur minimal  $-25^{\circ}\text{C}$  dan temperatur maksimal  $160-170^{\circ}\text{C}$ , biasa digunakan untuk fluida air, uap, alkohol, *washing agents* dan *organic and inorganic acid*

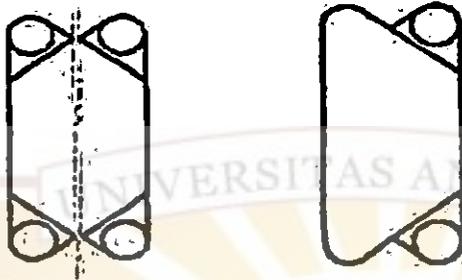
3. CR (chloro-butadiene rubber)

Temperatur minimal  $-40^{\circ}\text{C}$  dan temperatur maksimal  $70^{\circ}\text{C}$ , biasa digunakan untuk fluida amoniak, freon, karbondioksida, silikon, *bleaching agents* dan klorin

4. FPM (Flourine rubber)

Temperatur minimal 0°C dan temperatur maksimal 160°C, biasa digunakan untuk fluida *mineral oil and greases, aliphatic, chlorated and aromatic hydrocarbons petrol* dan *alkalis*

Contoh bentuk *gasket* dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut ini.



Gambar 2.15 Bentuk dan tipe *Gasket*

Adapun fungsi dari *gasket* ini sendiri yaitu sebagai berikut:

1. Menghindari kebocoran fluida
2. Pemisah antara plat satu dengan yang lainnya
3. Mengatur arah aliran fluida kerja di dalam penukar kalor.

### 2.3.6 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Koefisien perpindahan panas memiliki pengaruh yang besar dalam terjadinya proses konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas yang paling dominan dalam penukar kalor adalah konveksi. Dalam perhitungan laju perpindahan panas dalam suatu penukar panas terdapat suatu konstanta perpindahan panas yang merupakan sifat perpindahan panas itu sendiri yang tergantung dengan bentuk fisik penukar kalor dan perpindahan energi di penukar panas tersebut. Konstanta itu lazim disebut dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $U$ ). Laju perpindahan panas dalam penukar panas akan memenuhi persamaan (2.5) berikut:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

### 2.3.7 Metode LMTD

LMTD (*Logarithmic Mean Temperature Difference*) adalah hubungan antara beda temperatur logaritmik dari kedua fluida kerja, hubungannya dengan laju perpindahan panas dinyatakan dalam persamaan (2.5) sedangkan LMTD itu sendiri ditunjukkan pada persamaan (2.6):

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i}\right)} \quad (2.6)$$

### 2.3.8 Efektifitas

Efektifitas penukar panas didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas nyata dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada penukar panas. Persamaan (2.7) menyatakan efektifitas secara matematis.

$$\varepsilon = \frac{\text{perpindahan panas nyata}}{\text{perpindahan panas maksimum}} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}}$$

Perpindahan panas maksimum hanya mungkin terjadi dan diperoleh dari fluida yang mempunyai beda temperatur maksimum atau fluida yang mempunyai laju aliran massa maksimum ( $\dot{m}c_{p,\min}$ ). Fluida tersebut mungkin pada fluida yang panas maupun fluida yang dingin tergantung pada laju aliran massanya dan panas jenisnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$q_{maks} = (\dot{m}c_p)_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in})$$

$$q = (\dot{m}c_p)_{\min} (T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (2.8)$$

sehingga nilai efektifitasnya adalah

$$\varepsilon = \frac{(T_{ci} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})} \quad (2.9)$$

### 2.3.9 Penurunan Tekanan (*Pressure drop*)

Penurunan tekanan pada penukar panas menjadi faktor yang menentukan disebabkan oleh penurunan tekanan ini menyatakan hilangnya energi yang terjadi pada proses. Penurunan tekanan disebabkan oleh perbedaan tekanan disebabkan oleh perbedaan ketinggian antara masukan dan keluaran fluida, selain itu penurunan tekanan ini juga disebabkan oleh faktor gesekan pada sistem pemipaan dan juga pada tipe profil plat. Penurunan tekanan pada alat penukar kalor ini akan berpengaruh pada pemilihan pompa, yang akhirnya akan mempengaruhi perhitungan ekonomi dari proses keseluruhan.

Penurunan tekanan akibat gesekan, secara matematis dinyatakan pada persamaan (2.10) sebagai berikut:

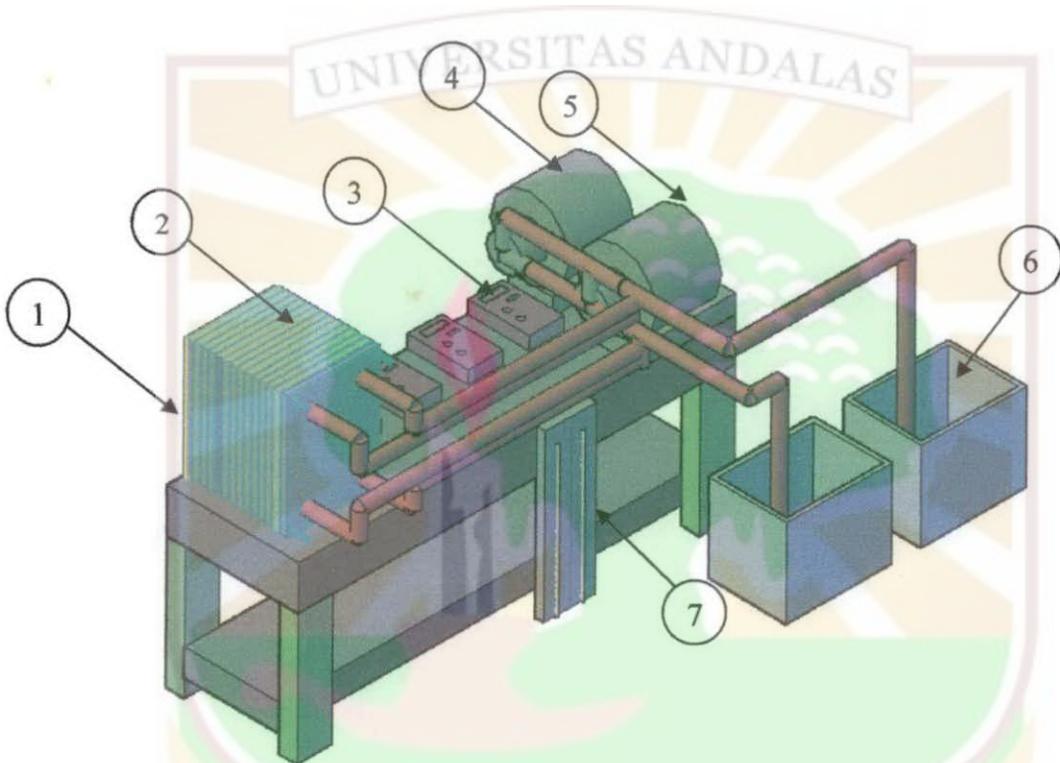
$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho u_m^2}{2} \quad (2.10)$$

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Instalasi Pengujian

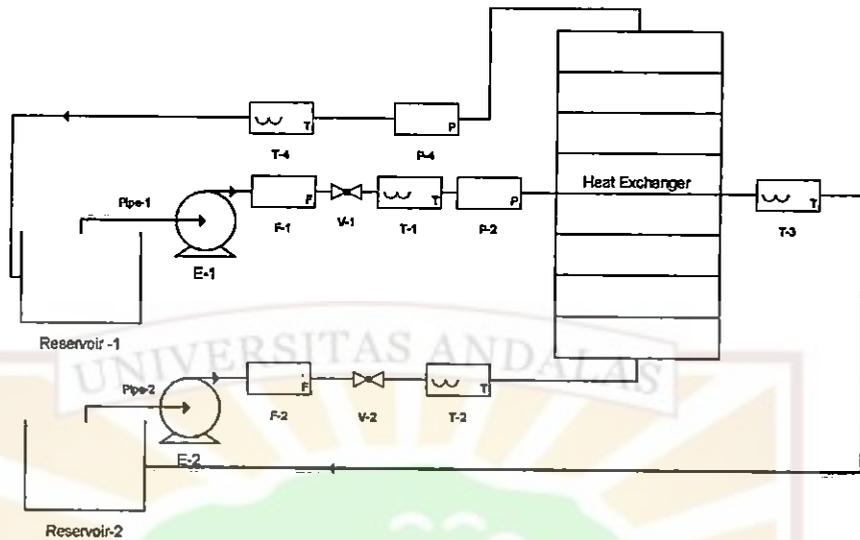
Penukar kalor yang digunakan dalam penelitian berukuran laboratorium, skema alat uji dan perlengkapannya dapat dilihat pada gambar 3.1. Pada gambar dapat dilihat bahwa alat uji dilengkapi dengan beberapa alat bantu pengujian.



**Gambar 3.1.** Instalasi pengujian

Keterangan gambar:

1. *Frame*
2. Susunan pelat
3. Termometer digital
4. Pompa air panas
5. Pompa air dingin
6. *Reservoir*
7. *Manometer*



Gambar 3.2 Skema pengujian

Keterangan gambar :

- E1 = pompa fluida panas
- E2 = pompa fluida dingin
- F1 = *flowmeter* fluida panas
- F2 = *flowmeter* fluida dingin
- P2 = masukan *manometer* fluida dingin
- P4 = keluaran *manometer* fluida panas
- R1 = reservoir fluida panas
- R2 = reservoir fluida dingin
- T1 = termokopel fluida panas masuk
- T3 = termokopel fluida panas keluar
- T2 = termokopel fluida dingin masuk
- T4 = termokopel fluida dingin keluar

### 3.1.1 Pompa dan Perlengkapannya

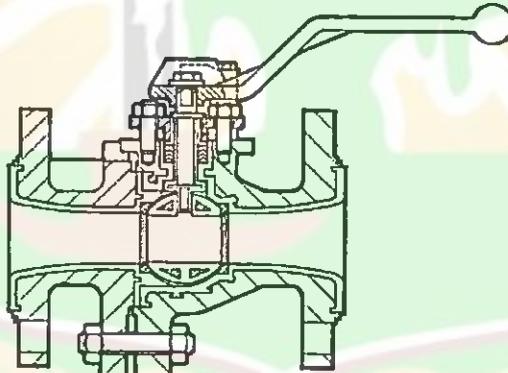
#### a. Pompa

Pompa dipakai untuk mengalirkan air dari reservoir ke penukar kalor. Pada instalasi digunakan dua buah pompa masing-masing untuk mengalirkan air panas dan air dingin. Spesifikasi dari pompa yang digunakan adalah:

- Daya : 125 Watt
- Head total : 33 m
- Debit maksimum : 34 Liter/min
- Voltase : 220-240 V, 5Hz

#### b. Katup

Katup berfungsi untuk mengatur debit dan laju aliran masuk dengan cara memutar kepala katup sesuai dengan kebutuhan. Katup yang dipakai ada 2 buah yang dipasang pada saluran air masuk. Jenis katup yang digunakan adalah katup bola.



Gambar 3.3 Katup bola

#### c. Pipa

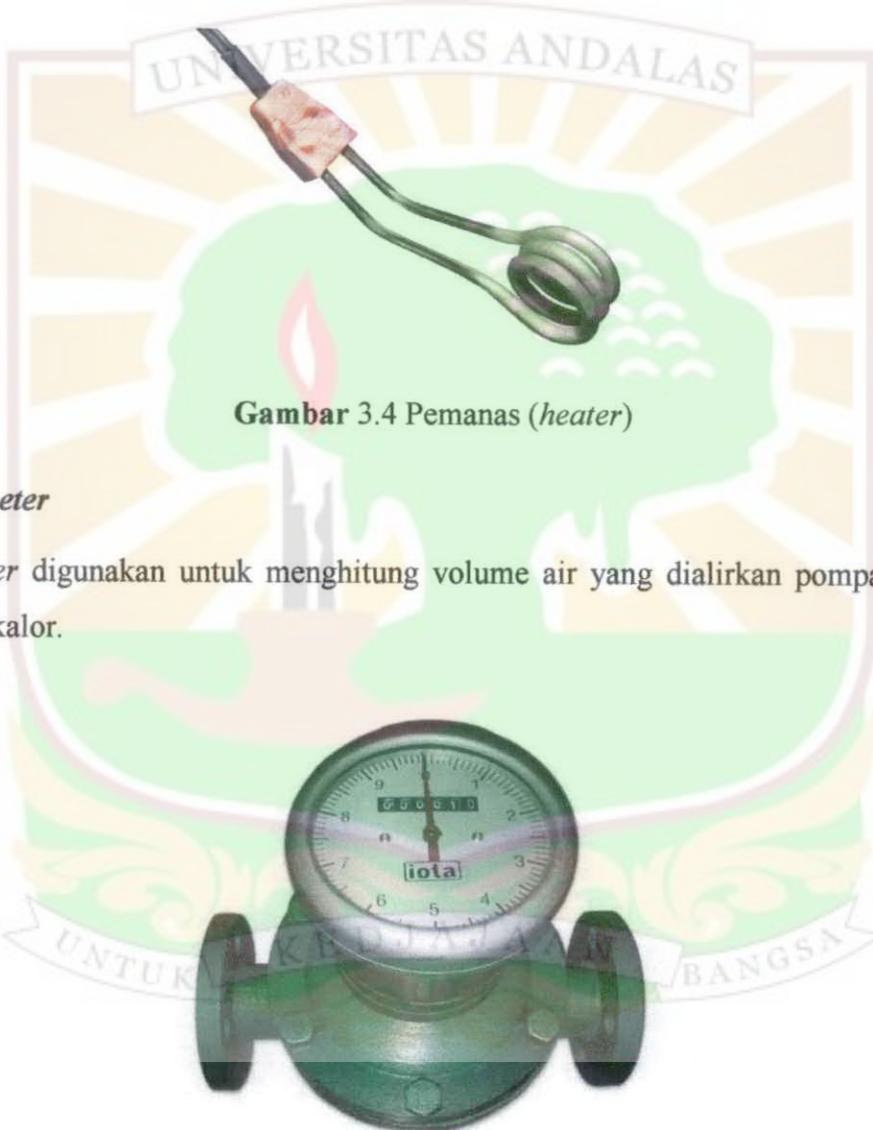
pipa PVC sebagai saluran air masuk dari pompa ke penukar kalor dan saluran keluar air dari penukar panas ke *reservoir*.

**d. Wadah Penampung (*Reservoir*)**

*Reservoir* berfungsi untuk penyedia dan penampung air. *Reservoir* dalam instalasi pengujian ini ada 2 buah masing-masing untuk air panas dan air dingin.

**e. Pemanas (*Heater*)**

*Heater* digunakan untuk menaikkan temperatur air di dalam *reservoir*.



**Gambar 3.4 Pemanas (*heater*)**

**f. *Flowmeter***

*Flowmeter* digunakan untuk menghitung volume air yang dialirkan pompa ke alat penukar kalor.

**Gambar 3.5 *Flowmeter***



### 3.1.2 Penukar Kalor *Plate and Frame*

Pada gambar 3.6 dapat dilihat bentuk plat aluminium yang digunakan sebagai bidang kontak alat penukar kalor.



**Gambar 3.6** Bentuk plat pengujian plat zig-zag

Spesifikasi dari plat yang digunakan adalah

- Jenis material : Aluminuim
- Tebal : 1 mm
- Panjang : 200 mm
- Lebar : 150 mm
- Diameter lubang *inlet* dan *outlet* : 10 mm
- Total luas permukaan : 217 mm<sup>2</sup>

Perangkat penukar kalor juga dilengkapi dengan *gasket* yang terbuat dari bahan karet dan berfungsi untuk:

- Menghindari kebocoran fluida
- Mengatur arah aliran fluida kerja di dalam penukar kalor

Bentuk *gasket* yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada gambar 3.7



**Gambar 3.7** Bentuk *gasket* alat uji

Spesifikasi dari *gasket* yang digunakan dalam pengujian adalah :

- Jenis material : acrylnitril butadine rubber
- Tebal : 10 mm
- Panjang : 200 mm
- Lebar : 150 mm
- Diameter lubang : 10 mm



Gambar 3.8 Alat Penukar Kalor *Plate and Frame*

### 3.1.3 Alat Ukur

Beberapa parameter yang diukur dalam pengujian ini adalah:

- Temperatur fluida
- Beda tekanan fluida masuk dan fluida keluar
- Debit air yang dibutuhkan
- Waktu

#### a. Termokopel

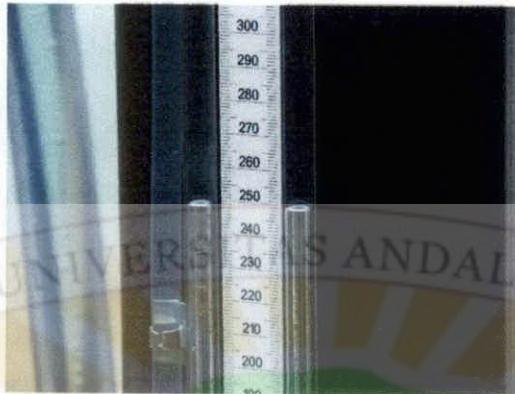
Termokopel digunakan sebagai sensor untuk mengukur temperatur dapat dilihat pada Gambar 3.9, diletakkan pada sisi masukan dan keluaran fluida.



Gambar 3.9 Termokopel

**b. Manometer**

Beda tekanan antara aliran air yang masuk dan keluar penukar kalor dapat diukur dengan menggunakan *manometer* air raksa pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Manometer raksa

**c. Flowmeter**

Volume fluida kerja yang masuk ke penukar kalor dapat diukur dengan menggunakan *flowmeter*.

**d. Stopwatch**

*Stopwatch* digunakan untuk menghitung waktu yang diperlukan untuk tiap satuan volume fluida kerja pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Stopwatch

### 3.2 Fluida kerja

Fluida kerja yang dipakai dalam pengujian adalah air. Air yang digunakan disediakan dalam dua kondisi yaitu air dingin (temperatur kamar) dan air yang dipanaskan hingga temperatur yang diinginkan.

### 3.3 Asumsi-asumsi

Beberapa asumsi yang dipakai dalam pengujian ini adalah:

1. Penukar kalor bekerja pada kondisi tunak
2. Temperatur dan kecepatan fluida seragam
3. Kerugian panas diabaikan
4. Koefisien perpindahan panas menyeluruh konstan di sepanjang penukar panas

### 3.4 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan perbandingan karakteristik perpindahan panas antara 2 bentuk pelat. Karakteristik yang akan ditinjau adalah koefisien perpindahan panas, laju perpindahan panas, penurunan tekanan dan efektifitas.

Prosedur pengujiannya adalah:

1. Air pada salah satu *reservoir* dipanaskan hingga temperatur  $60^{\circ}\text{C}$  dengan menggunakan *heater*
2. Air panas dan air dingin dialirkan secara bersamaan
3. Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk volume fluida 5 liter
4. Temperatur dan tekanan diukur saat aliran mencapai kondisi tunak (*steady*)
5. Melakukan beberapa kali pengujian untuk 4 bukaan katup yaitu  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $3/4$ , dan bukaan penuh
6. Membuat grafik koefisien perpindahan panas, laju perpindahan panas, penurunan tekanan dan efektivitas terhadap bilangan *Reynolds* untuk masing-masing bentuk plat

Rumus yang digunakan:

Perpindahan panas yang terjadi pada penukar kalor *plate* dan *frame* ini dapat dihitung dengan metode-metode yang telah dijelaskan pada bab 2.

1. Laju massa aliran per saluran untuk masing-masing fluida kerja diperoleh dengan persamaan (3.1) berikut:

$$\dot{m} = \frac{2M}{N+1}, \quad M = Q\rho \quad (3.1)$$

2. Kecepatan aliran dihitung dengan persamaan (3.2) berikut:

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho S}, \quad S = bW \quad (3.2)$$

3. Bilangan *Reynolds* untuk mendapatkan bilangan *Nusselt* diperoleh dari persamaan (3.3):

$$Re = \frac{uD_h}{\nu}, \quad D_h = 2b \quad (3.3)$$

4. Koefisien perpindahan panas dapat diperoleh dengan persamaan (3.4) dari metode Raju dan Bansal (untuk aliran laminar):

$$h = 0.74c_p GR_e^{-0.62} Pr^{-2.3} \quad (3.4)$$

5. Setelah diperoleh nilai koefisien perpindahan panas fluida panas dan dingin maka nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh diperoleh dengan persamaan (3.5):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_c} \quad (3.5)$$

6. Laju perpindahan panas diperoleh dengan persamaan (2.2) dan  $\Delta T_m$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.3):

$$Q = UA\Delta T_m$$

7. Efektifitas diperoleh dari persamaan (2.4):

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{maks}} = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}}$$

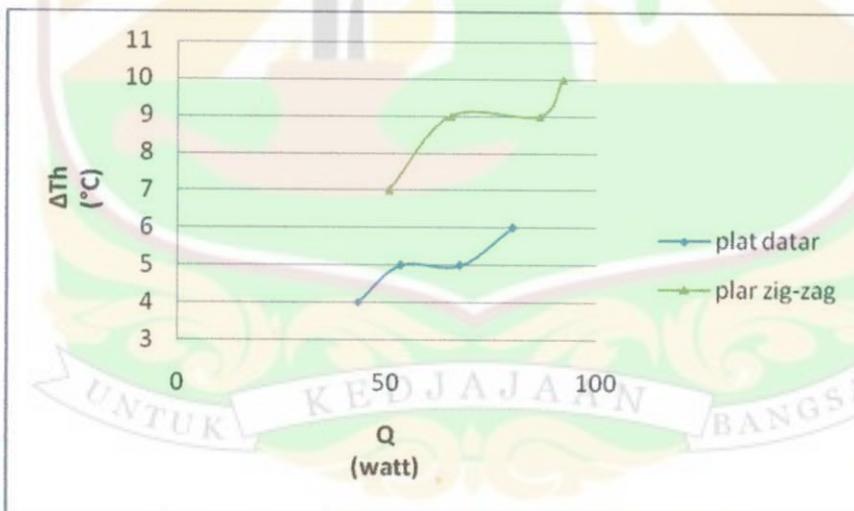


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Distribusi Temperatur Pada Alat Penukar Kalor

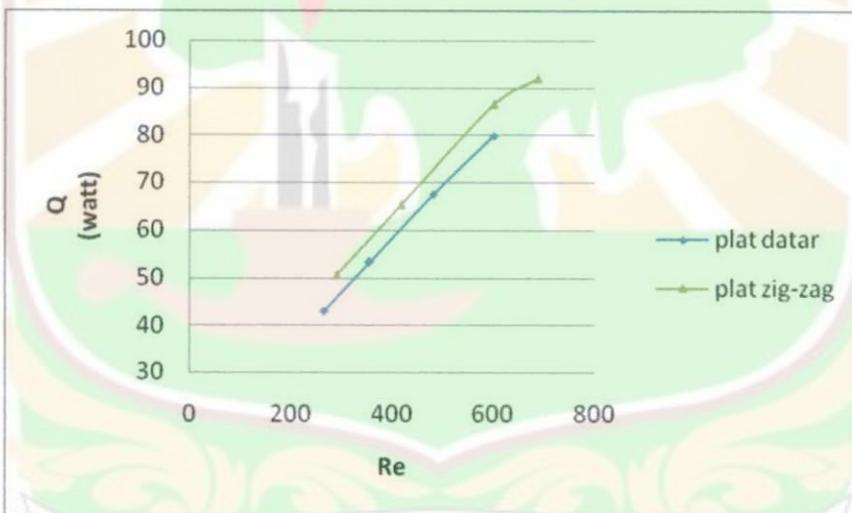
Pada Gambar 4.1 dapat dilihat distribusi temperatur penukar kalor dimana distribusi temperatur plat zig-zag lebih tinggi dari pada plat datar, karena penurunan temperatur pada plat datar lebih rendah dibandingkan dengan penurunan temperatur pada plat zig-zag. Besarnya penurunan temperatur pada plat zig-zag ini karena alur yang terdapat pada plat, sehingga luas kontak fluida pada plat lebih besar dan menimbulkan aliran yang lebih bergolak jika dibandingkan dengan plat datar. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat penurunan temperatur semakin meningkat seiring dengan meningkatnya laju perpindahan panas. Dari Gambar 4.1 dapat dibandingkan antara plat datar dengan plat zig-zag dimana pada bukaan  $\frac{1}{2}$  katup fluida dingin nilai laju perpindahan panas plat datar sama dengan bukaan  $\frac{1}{4}$  katup fluida dingin plat zig-zag tapi besar penurunan temperaturnya jauh berbeda, maka dapat disimpulkan dengan laju perpindahan panas yang sama antara plat datar dengan plat zig-zag, plat zig-zag memiliki penurunan temperatur yang lebih besar.



**Gambar 4.1** Distribusi temperatur fluida panas terhadap laju perpindahan panas pada bukaan katup  $\frac{1}{2}$  fluida panas

## 4.2 Perpindahan Panas pada Alat Penukar Kalor

Perpindahan panas pada alat penukar kalor tipe *plate and frame* adalah tipe konveksi paksa karena fluida dialiri dengan bantuan pompa, jadi nilai perpindahan panasnya tergantung dari debit yang dialiri kedalam alat penukar kalor. Perpindahan panas suatu fluida juga berpengaruh terhadap pola aliran dan jenis aliran yang mengalir dalam alat penukar kalor, semakin bergejolak aliran dalam alat penukar kalor maka makin tinggi nilai perpindahan panasnya. Untuk meningkatkan aliran yang bergejolak dapat dilakukan dengan pemberian alur. Luas penampang juga mempengaruhi perpindahan panas suatu alat penukar kalor dimana semakin besar luas kontak aliran fluida maka semakin meningkat pula perpindahan panas pada alat penukar kalor. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 dimana nilai dari perpindahan panas plat zig-zag adalah yang paling besar ini karena dengan menambahkan alur zig-zag pada plat maka luas permukaannya meningkat sebesar 6.84% dapat meningkatkan nilai laju perpindahan panas sebesar 13.37%



Gambar 4.2 Perpindahan panas terhadap bilangan *Reynolds* fluida dingin pada bukaan katup  $\frac{1}{2}$  fluida panas

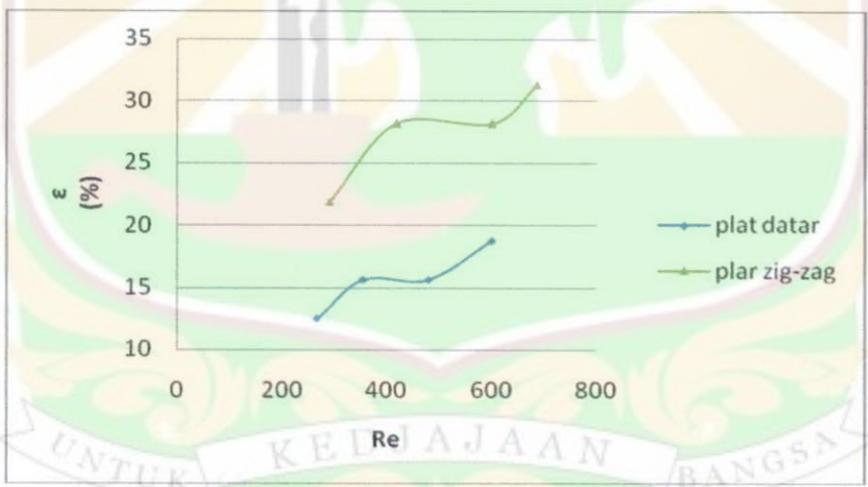
Pada Gambar 4.2 dapat dilihat laju perpindahan panas semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya nilai bilangan *Reynolds*. Bilangan *Reynolds* yang semakin besar mengakibatkan aliran pada plat semakin bergejolak karena nilai untuk bilangan transisi pada penukar kalor *plate and frame* terjadi pada 100-300 tergantung dari alur plat yang digunakan<sup>[2]</sup>

### 4.3 Efektifitas Alat Penukar Panas

Menurut Incropera dan Dewitt (1981), efektifitas suatu alat penukar kalor didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam penukar kalor tersebut.<sup>[5]</sup>

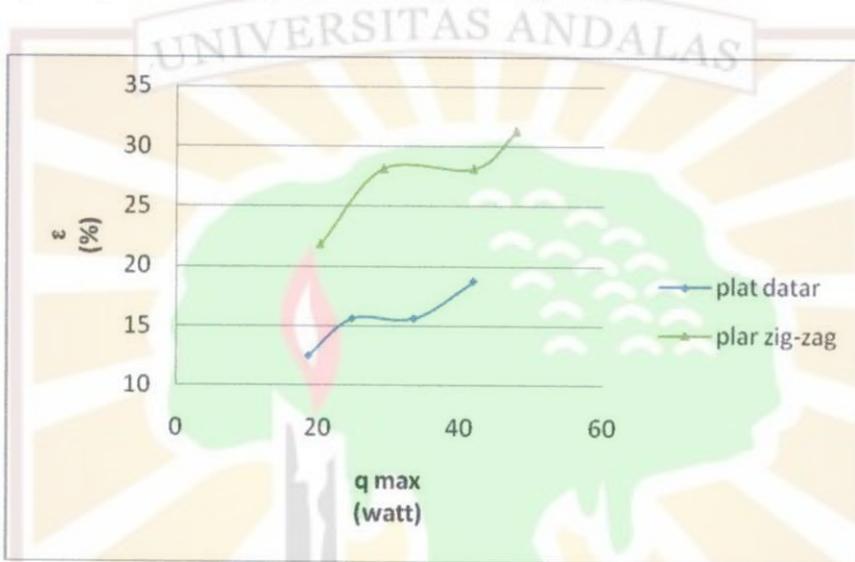
Nilai efektifitas menentukan kemampuan alat untuk melaksanakan fungsinya sehingga dengan nilai efektifitas yang tinggi berarti semakin besar pula perpindahan panas yang terjadi dari perkiraan nilai energi maksimum yang mampu dipindahkan oleh alat tersebut.

Nilai efektifitas akan naik seiring dengan kenaikan kecepatan aliran fluida dan besarnya penurunan temperatur. Pada gambar 4.3 dapat dilihat semakin besar bilangan *Reynolds* maka semakin meningkat efektifitas dari alat penukar kalor, ini disebabkan daerah kontak antara fluida yang semakin besar karena pengaruh dari pemberian alur dan debit aliran yang semakin besar sehingga terjadi peningkatan bilangan *Reynolds* dan semakin besar penurunan temperatur fluida panas .



**Gambar 4.3** Efektifitas terhadap bilangan *Reynolds* fluida dingin pada bukaan katup ½ fluida panas

efektifitas suatu penukar kalor dipengaruhi oleh nilai perpindahan panas maksimum yang terjadi pada alat penukar kalor. Nilai efektifitas terhadap nilai perpindahan panas maksimal adalah berbanding terbalik dengan nilai perpindahan panas nyata dimana semakin kecil nilai perpindahan panas maksimal maka efektifitas alat akan naik. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat grafik perpindahan panas maksimal terhadap efektifitas dimana semakin tinggi nilai perpindahan panas maksimum maka efektifitas dari penukar kalor juga semakin tinggi, kenaikan nilai perpindahan panas maksimum juga diiringi dengan nilai laju perpindahan panas nyata ( $Q$ ).

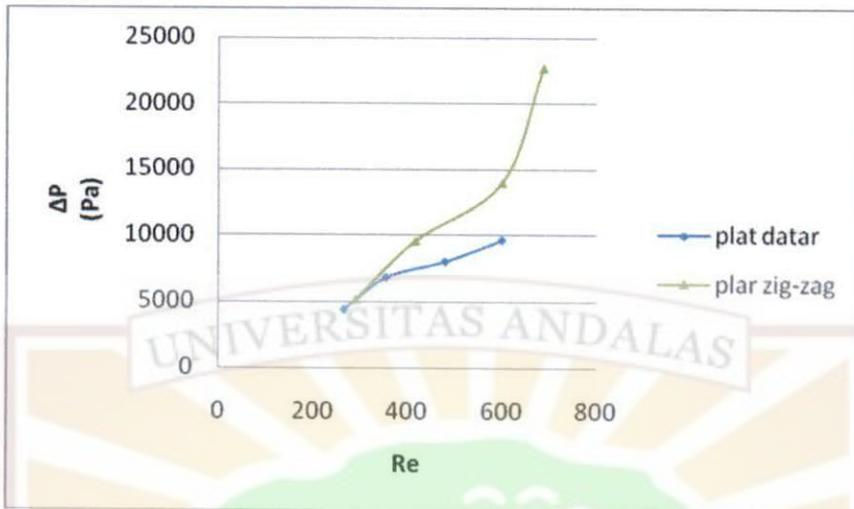


Gambar 4.4 Efektifitas terhadap perpindahan panas maksimal pada bukaan katup  $\frac{1}{2}$  fluida panas

#### 4.4 Penurunan Tekanan

Parameter lain yang berpengaruh pada alat penukar kalor *plate and frame* adalah penurunan tekanan, pengaruh penurunan tekanan ini berhubungan dengan rugi-rugi aliran seperti katup, kekasaran permukaan pipa, sambungan pipa dan *elbow* pipa. Faktor yang berpengaruh paling besar adalah bukaan katup, dimana semakin besar bukaan katup maka penurunan tekanan pada alat penukar kalor akan semakin meningkat karena laju aliran massa makin meningkat. Dapat di lihat pada gambar 4.5 penurunan tekanan pada plat zig-zag lebih besar ini karena alur yang terdapat pada plat tersebut. Pengaruh dari alur ini mengakibatkan aliran yang terjadi didalam alat

penukar kalor lebih bergolak dibandingkan dengan plat datar sehingga pada plat zig-zag penurunan tekanannya menjadi besar.

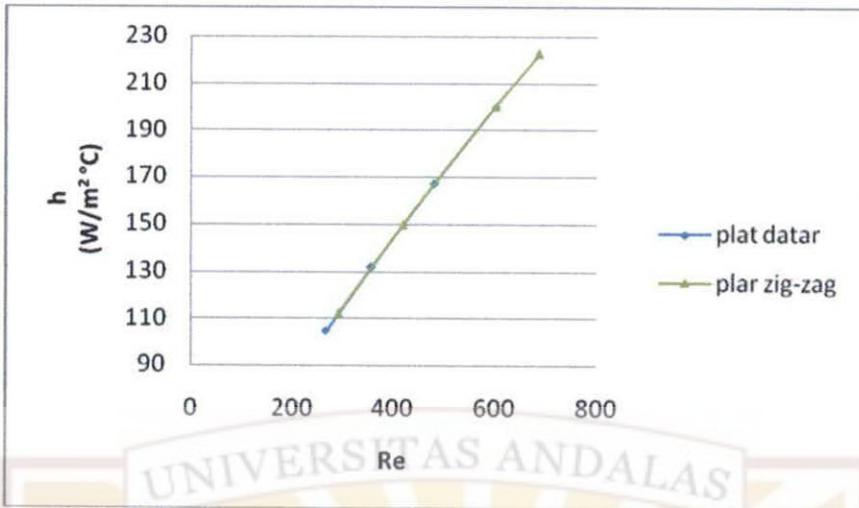


Gambar 4.5 penurunan tekanan terhadap bilangan *Reynolds* fluida dingin pada bukaan katup  $\frac{1}{2}$  fluida panas.

#### 4.5 Koefisien Perpindahan Panas

Dalam perhitungan perpindahan panas, suatu alat penukar kalor terdapat konstanta perpindahan panas yang merupakan sifat penukar panas itu sendiri yang tergantung dengan sifat bentuk fisik penukar panas dan perpindahan energi di penukar panas. Konstanta ini lazim disebut dengan koefisien perpindahan panas,  $h$ .

Koefisien perpindahan panas berpengaruh terhadap bilangan *Reynolds* dimana peningkatan kecepatan aliran fluida dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas. Pada Gambar 4.6 nilai koefisien perpindahan panas antara plat datar dengan plat zig-zag hampir sama di beberapa titik, karena laju aliran massa antara kedua plat hampir sama. Untuk mendapatkan nilai dari laju aliran massa adalah dengan memperhitungkan debit, dalam pengujian debit antara plat datar dengan plat zig-zag adalah 5 liter sehingga nilai dari koefisien perpindahan panas antara kedua plat hampir sama di beberapa titik.



Gambar 4.6 Koefisien perpindahan panas terhadap bilangan *Reynolds* fluida dingin pada bukaan katup  $\frac{1}{2}$  fluida panas.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dalam pengujian alat penukar panas *plate and frame* antara yang menggunakan plat tanpa alur dengan plat yang diberi alur zig-zag maka dapat disimpulkan :

1. Penambahan luas kontak aliran fluida dengan pemberian alur pada plat dapat meningkatkan laju perpindahan panas alat penukar kalor *plate and frame*, dimana laju perpindahan panas pada plat zig-zag 73.5 watt lebih besar dibandingkan plat datar 60.9 watt.
2. Efektifitas terbesar terjadi pada plat dengan alur zig-zag sebesar 27.3% dibandingkan dengan plat datar sebesar 15.6%.
3. Penurunan tekanan terbesar terjadi pada plat zig-zag 12833.21 Pa dibandingkan plat datar 716272 Pa. Ini karena pengaruh dari alur pada plat zig-zag.
4. Koefisien perpindahan panas antara kedua plat hampir sama di beberapa titik karena laju aliran massa kedua fluida sama.

#### 5.2 Saran

Untuk pengujian selanjutnya dapat bervariasi alur pada plat untuk lebih meningkatkan efektifitas dari alat penukar kalor dan juga dengan penambahan jumlah plat. Dalam pengujian berikutnya dapat dilakukan dengan bervariasi aliran fluida seperti *parallel flow* atau dengan mengganti fluida air dengan jenis fluida lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ozisik M Necati dkk.1988. "*Element of Heat Transfer*".Singapura : McGraw-Hill Book and Sons. New York. 1981
- [2] Reppich, M. "*High Performance for Application In Chemical Industry*". Eichenweg 4, D6536 Berga.
- [3] T. Kuppan . "*Heat Exchanger Design Handbook*" . Marcel Dakker. Inc
- [4] Pratoto, adjar. "*Buku Ajar Perancangan Sistim Termal*". Fakultas Teknik Universitas Andalas. Padang. 2007
- [5] Incropera, F. P. and D. P. dewitt. "*Fundamentals of Heat Transfer*". John Wiley  
G.F Hewitt, G.L Shires and T.R Bott."*Process Heat Transfer*". Begell house  
<http://elib.polban.ac.id/glis/?collection.view.16223>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Plate\\_heat\\_exchanger](http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_heat_exchanger)  
<http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>  
<http://www.apv.com/us/products/heatexchangers/Heat+exchangers.asp>

**Physical Properties**

**Tabel B-2**

T, °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Cp, KJ/(kg.°C)	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s	k, W/(m.K)	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s x 10 <sup>7</sup>	Pr
0	1002.28	4.2178	1.79E-06	0.552	1.308	13.6
20	1000.52	4.1818	1.006	0.597	1.43	7.02
40	994.59	4.1784	0.658	0.628	1.512	4.34
60	985.46	4.1843	0.478	0.651	1.554	3.02
80	974.08	4.1964	0.364	0.668	1.636	2.22
100	960.63	4.2161	0.294	0.68	1.68	1.74

**Air panas**

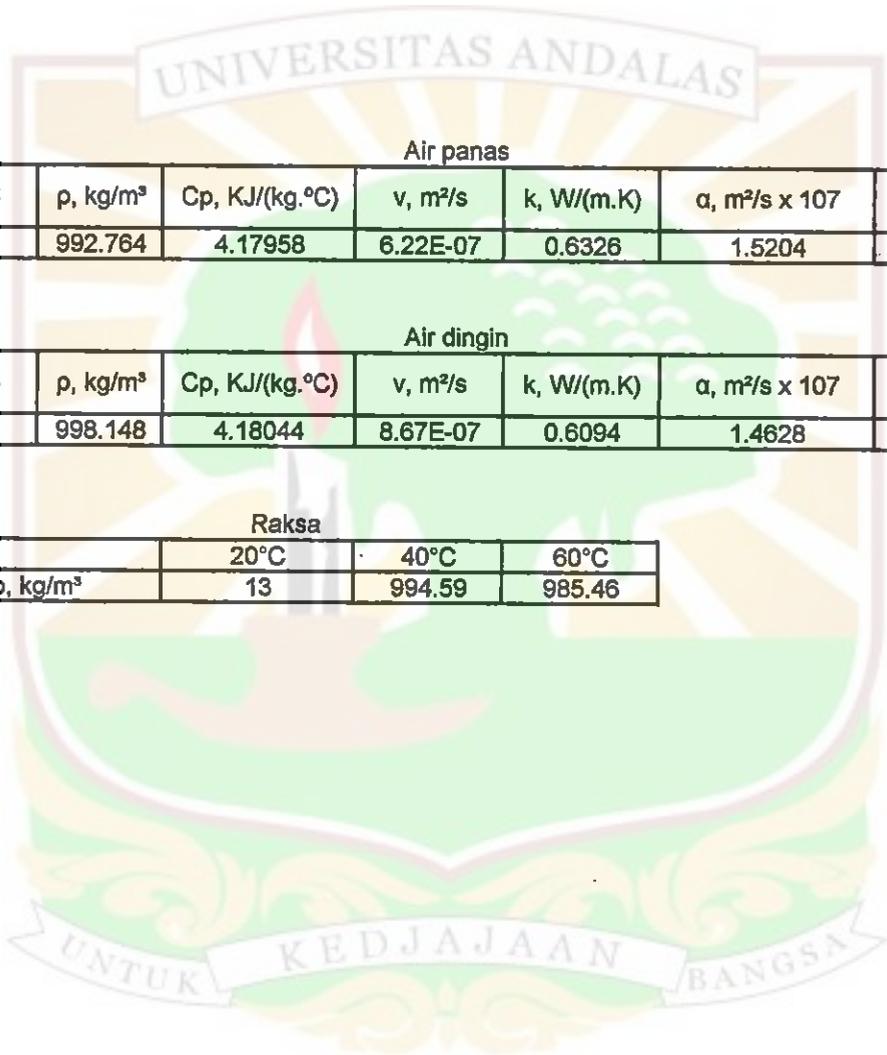
T, °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Cp, KJ/(kg.°C)	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s	k, W/(m.K)	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s x 10 <sup>7</sup>	Pr
48	992.764	4.17958	6.22E-07	0.6326	1.5204	4.076

**Air dingin**

T, °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Cp, KJ/(kg.°C)	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s	k, W/(m.K)	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s x 10 <sup>7</sup>	Pr
28	998.148	4.18044	8.67E-07	0.6094	1.4628	5.948

**Raksa**

	20°C	40°C	60°C
$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	13	994.59	985.46

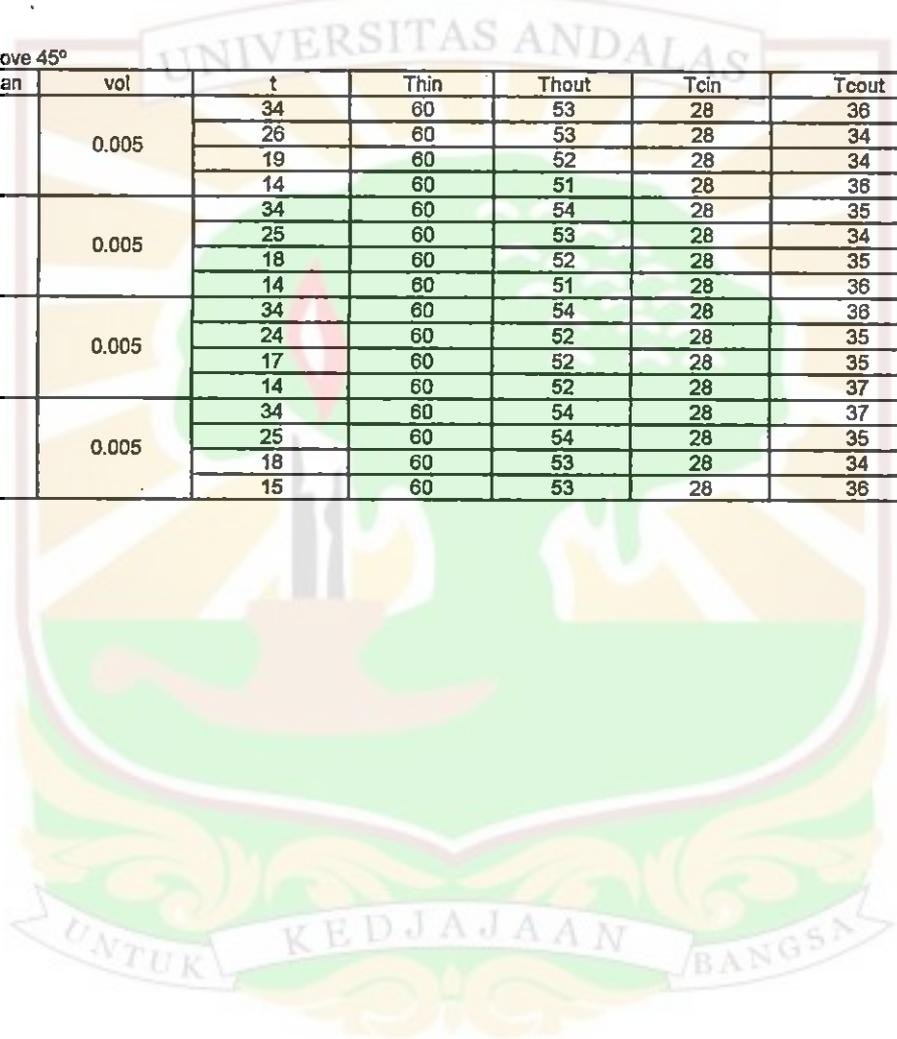


Plat Datar

air dingin	air panas	vol	waktu (s)	Thin	Thout	Tcin	Tcout	Δh (cmHg)
¼	¼	0.005	35	60	56	28	34	1
½			25	60	55	28	35	1.4
¾			19	60	54	28	35	1.9
1			14	60	53	28	34	2.2
¼	½	0.005	34	60	56	28	33	1.1
½			26	60	55	28	34	1.7
¾			19	60	55	28	35	2
1			15	60	54	28	35	2.4
¼	¾	0.005	35	60	56	28	34	1.3
½			25	60	55	28	34	1.9
¾			19	60	55	28	34	2.1
1			15	60	54	28	35	2.4
¼	1	0.005	34	60	56	28	35	1.2
½			25	60	55	28	35	1.9
¾			18	60	55	28	34	2.4
1			15	60	54	28	35	2.7

Groove 45°

no	bukaan	vol	t	Thin	Thout	Tcin	Tcout	Δh
¼	¼	0.005	34	60	53	28	36	1.1
½			26	60	53	28	34	1.6
¾			19	60	52	28	34	2.2
1			14	60	51	28	36	5.1
¼	½	0.005	34	60	54	28	35	1.2
½			25	60	53	28	34	1.9
¾			18	60	52	28	35	2.6
1			14	60	51	28	36	5
¼	¾	0.005	34	60	54	28	36	1.4
½			24	60	52	28	35	2.2
¾			17	60	52	28	35	3.1
1			14	60	52	28	37	5.1
¼	1	0.005	34	60	54	28	37	1.5
½			25	60	54	28	35	2.1
¾			18	60	53	28	34	3.3
1			15	60	53	28	36	5.5



Piat Datar

air dingin	air panas	vol	waktu (s)	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>cln</sub>	T <sub>cout</sub>	Δh (cmHg)	Q (m <sup>3</sup> /s)	M panas (kg/s)	m panas (kg/s)	u panas (m/s)	Re panas	Nu panas
¼	¾	0.005	35	60	56	28	34	1	0.000142857	0.141823429	0.017727929	0.011904762	382.7897719	4.084758156
½			25	60	55	28	35	1.4	0.0002	0.1985528	0.0248191	0.016666667	535.9056806	5.346490224
¾			19	60	54	28	35	1.9	0.000263158	0.261253684	0.032656711	0.021929825	705.1390534	6.659136286
1			14	60	53	28	34	2.2	0.000357143	0.354558571	0.044319821	0.029761905	956.9744296	8.50194626
¼	½	0.005	34	60	56	28	33	1.1	0.000147059	0.145984706	0.018249338	0.012254902	394.0482946	4.180590703
½			28	60	55	28	34	1.7	0.000192308	0.190916154	0.023884519	0.016025641	515.2939237	5.181340167
¾			19	60	55	28	35	2	0.000263158	0.261253684	0.032656711	0.021929825	705.1390534	6.659136286
1			15	60	54	28	35	2.4	0.000333333	0.330921333	0.041365167	0.027777778	893.1761343	8.045402512
¼	¾	0.005	35	60	56	28	34	1.3	0.000142857	0.141823429	0.017727929	0.011904762	382.7897719	4.084758156
½			25	60	55	28	34	1.9	0.0002	0.1985528	0.0248191	0.016666667	535.9056806	5.346490224
¾			19	60	55	28	34	2.1	0.000263158	0.261253684	0.032656711	0.021929825	705.1390534	6.659136286
1			15	60	54	28	35	2.4	0.000333333	0.330921333	0.041365167	0.027777778	893.1761343	8.045402512
¼	1	0.005	34	60	56	28	35	1.2	0.000147059	0.145984706	0.018249338	0.012254902	394.0482946	4.180590703
½			25	60	55	28	35	1.9	0.0002	0.1985528	0.0248191	0.016666667	535.9056806	5.346490224
¾			18	60	55	28	34	2.4	0.000277778	0.275767778	0.034470972	0.023148148	744.3134453	6.953489128
1			15	60	54	28	35	2.7	0.000333333	0.330921333	0.041365167	0.027777778	893.1761343	8.045402512

h panas	dingin (kg)	m dingin (kg/s)	u dingin (m/s)	Re dingin	Nu dingin	h dingin (W/m <sup>2</sup> ·°C)	U	ΔT <sub>ln</sub>	A (m <sup>2</sup> )	Q (Watt)	ε (%)	ΔP (Pa)	C <sub>min</sub>	q <sub>max</sub>
129.2009	0.142593	0.017824071	0.011904762	274.6196518	3.507715919	106.880104	58.49265896	28.9878498	0.0002	2.384147794	12.5	3979.28916	0.596036949	19.07318235
169.1095	0.19963	0.0249537	0.016666667	384.4675125	4.591206665	139.8940671	78.56032926	25.98717443	0.0002	4.17225864	15.625	5571.004824	0.834451728	26.7024553
210.6285	0.262671	0.032833816	0.021929825	505.8783059	5.718418929	174.2402248	95.3570745	25.49673169	0.0002	6.5877768	18.75	7560.649404	1.0979628	35.1348096
268.9166	0.356481	0.044560179	0.029761905	686.5491295	7.300900347	222.4584336	121.7456271	25.49673169	0.0002	10.4306466	21.875	8754.436152	1.490092371	47.68295589
132.2321	0.146786	0.018348309	0.012254902	282.6967004	3.590010473	109.3876191	59.86495575	27.49669643	0.0002	2.454269788	12.5	4377.218076	0.613567447	19.63415831
163.8858	0.191952	0.023933942	0.016025641	369.6803005	4.449386889	135.5728185	74.19542401	26.49685505	0.0002	4.011787154	15.625	6764.791572	0.802357431	25.67543778
210.6285	0.262671	0.032833816	0.021929825	505.8783059	5.718418929	174.2402248	95.3570745	25.98717443	0.0002	5.489814	15.625	7958.57832	1.0979628	35.1348096
254.4761	0.332716	0.0415895	0.027777778	640.7791875	6.908851244	210.5126974	115.2080411	25.49673169	0.0002	8.34451728	18.75	9550.293984	1.39075288	44.50409216
129.2009	0.142593	0.017824071	0.011904762	274.6196518	3.507715919	106.880104	58.49265896	28.9878498	0.0002	2.384147794	12.5	5173.075908	0.596036949	19.07318235
169.1095	0.19963	0.0249537	0.016666667	384.4675125	4.591206665	139.8940671	78.56032926	26.49685505	0.0002	4.17225864	15.625	7560.649404	0.834451728	26.7024553
210.6285	0.262671	0.032833816	0.021929825	505.8783059	5.718418929	174.2402248	95.3570745	26.49685505	0.0002	5.489814	15.625	8356.507238	1.0979628	35.1348096
254.4761	0.332716	0.0415895	0.027777778	640.7791875	6.908851244	210.5126974	115.2080411	25.49673169	0.0002	8.34451728	18.75	9550.293984	1.39075288	44.50409216
132.2321	0.146786	0.018348309	0.012254902	282.6967004	3.590010473	109.3876191	59.86495575	26.47167389	0.0002	2.454269788	12.5	4775.146992	0.613567447	19.63415831
169.1095	0.19963	0.0249537	0.016666667	384.4675125	4.591206665	139.8940671	78.56032926	25.98717443	0.0002	4.17225864	15.625	7560.649404	0.834451728	26.7024553
219.9389	0.277263	0.034657917	0.023148148	533.9826562	5.971189377	181.9421403	99.57212953	26.49685505	0.0002	5.794803667	15.625	9550.293984	1.158960733	37.08674347
254.4761	0.332716	0.0415895	0.027777778	640.7791875	6.908851244	210.5126974	115.2080411	25.49673169	0.0002	8.34451728	18.75	10744.08073	1.39075288	44.50409216
Rata-rata											16.015625	7361.684946	0.990007597	31.6802431



Groove Zig-zag

air dingin	air panas	vol	waktu (s)	Tin	Thout	Tcin	Tcout	Δh (cmHg)	Q (m <sup>3</sup> /s)	M panas (kg/s)	m panas (kg/s)	u panas (m/s)	Re panas	Nu panas
¼	¼	0.005	32	60	51	28	36	1.2	0.00015625	0.155119375	0.019389922	0.013020833	418.876313	4.388345384
			23	60	50	28	37	2.2	0.000217391	0.215818261	0.026977283	0.018115942	582.5061746	5.715293202
			16	60	49	28	37	3.4	0.0003125	0.31023875	0.038779844	0.026041667	837.3526259	7.640553093
¼	¼	0.005	13	60	49	28	38	5.3	0.000384615	0.381832308	0.047729038	0.032051282	1030.587847	9.021237202
			33	60	53	28	36	1.3	0.000151515	0.150418788	0.018802348	0.012626263	405.989152	4.281634904
			23	60	51	28	35	2.4	0.000217391	0.215818261	0.026977283	0.018115942	582.5061746	5.715293202
¼	¼	0.005	18	60	51	28	35	3.5	0.000277778	0.275767778	0.034470972	0.023148148	744.3134453	6.953489128
			14	60	50	28	38	5.7	0.000357143	0.354558571	0.044319821	0.029761905	956.9744296	8.50194626
			32	60	50	28	36	1.6	0.00015625	0.155119375	0.019389922	0.013020833	418.876313	4.388345384
¼	¼	0.005	23	60	51	28	36	2.5	0.000217391	0.215818261	0.026977283	0.018115942	582.5061746	5.715293202
			16	60	50	28	35	3.9	0.0003125	0.31023875	0.038779844	0.026041667	837.3526259	7.640553093
			14	60	50	28	36	6	0.000357143	0.354558571	0.044319821	0.029761905	956.9744296	8.50194626
¼	1	0.005	33	60	51	28	35	1.7	0.000151515	0.150418788	0.018802348	0.012626263	405.989152	4.281634904
			23	60	51	28	36	2.4	0.000217391	0.215818261	0.026977283	0.018115942	582.5061746	5.715293202
			16	60	50	28	37	4.2	0.0003125	0.31023875	0.038779844	0.026041667	837.3526259	7.640553093
1			14	60	51	28	36	5.8	0.000357143	0.354558571	0.044319821	0.029761905	956.9744296	8.50194626

h panas	dingin (kg)	m dingin (kg/s)	u dingin (m/s)	Re dingin	Nu dingin	h dingin (W/m <sup>2</sup> ·°C)	U	ΔTin	A (m <sup>2</sup> )	Q (Watt)	ε (%)	ΔP (Pa)	Cmin	qmax	
138.8034	0.155981	0.019495078	0.013020833	300.3652441	3.768416238	114.8236428	62.83994797	23.49645347	0.00021711	5.867238713	28.125	4775.146992	0.651915413	20.8612932	
180.7747	0.216989	0.027123587	0.018115942	417.8994701	4.907909889	149.5440143	81.84149059	22.49629581	0.00021711	9.070127478	31.25	8754.436152	0.907012748	29.02440793	
241.6707	0.311921	0.038990158	0.026041667	600.7304883	6.561193758	199.9195738	109.4107042	21.98484013	0.00021711	14.34213908	34.375	13529.58314	1.303830825	41.7225864	
285.3417	0.383903	0.047987885	0.032051282	739.360601	7.746832526	236.0459871	128.1817363	21.49612347	0.00021711	17.65186348	34.375	21090.23255	1.604714862	51.35087557	
135.4281	0.151235	0.018904318	0.012626263	291.263267	3.676780445	112.0315002	61.31188205	24.49659826	0.00021711	4.4251228	21.875	5173.075908	0.6321604	20.2291328	
180.7747	0.216989	0.027123587	0.018115942	417.8994701	4.907909889	149.5440143	81.84149059	23.98610468	0.00021711	8.16311473	28.125	9650.293984	0.907012748	29.02440793	
219.9389	0.277263	0.034657917	0.023148148	533.9826562	5.971189377	181.9421403	99.57212953	23.98610468	0.00021711	10.4306466	28.125	13927.51206	1.168960733	37.08674347	
268.9166	0.356481	0.044560179	0.029761905	686.5491295	7.300900347	222.4584336	121.7456271	22.98549993	0.00021711	14.90092371	31.25	22681.94821	1.490092371	47.68295589	
138.8034	0.155981	0.019495078	0.013020833	300.3652441	3.768416238	114.8236428	62.83994797	22.98549993	0.00021711	6.519154125	31.25	6366.862656	0.651915413	20.8612932	
180.7747	0.216989	0.027123587	0.018115942	417.8994701	4.907909889	149.5440143	81.84149059	23.49645347	0.00021711	8.16311473	28.125	9948.2229	0.907012748	29.02440793	
241.6707	0.311921	0.038990158	0.026041667	600.7304883	6.561193758	199.9195738	109.4107042	23.46805036	0.00021711	13.03830825	31.25	15519.22772	1.303830825	41.7225864	
268.9166	0.356481	0.044560179	0.029761905	686.5491295	7.300900347	222.4584336	121.7456271	22.98549993	0.00021711	14.90092371	31.25	23875.73496	1.490092371	47.68295589	
135.4281	0.151235	0.018904318	0.012626263	291.263267	3.676780445	112.0315002	61.31188205	23.98610468	0.00021711	5.6894436	28.125	8764.791572	0.6321604	20.2291328	
180.7747	0.216989	0.027123587	0.018115942	417.8994701	4.907909889	149.5440143	81.84149059	23.49645347	0.00021711	8.16311473	28.125	9650.293984	0.907012748	29.02440793	
241.6707	0.311921	0.038990158	0.026041667	600.7304883	6.561193758	199.9195738	109.4107042	22.49629581	0.00021711	13.03830825	31.25	16713.01447	1.303830825	41.7225864	
268.9166	0.356481	0.044560179	0.029761905	686.5491295	7.300900347	222.4584336	121.7456271	23.49645347	0.00021711	13.41083134	28.125	23079.87713	1.490092371	47.68295589	
Rata-rata												29.6875	13206.2659	1.083852988	34.6832956



**D.1 Foto Cetakan**

**D.1.1 Cetakan Plat *Groove Zig-zag***



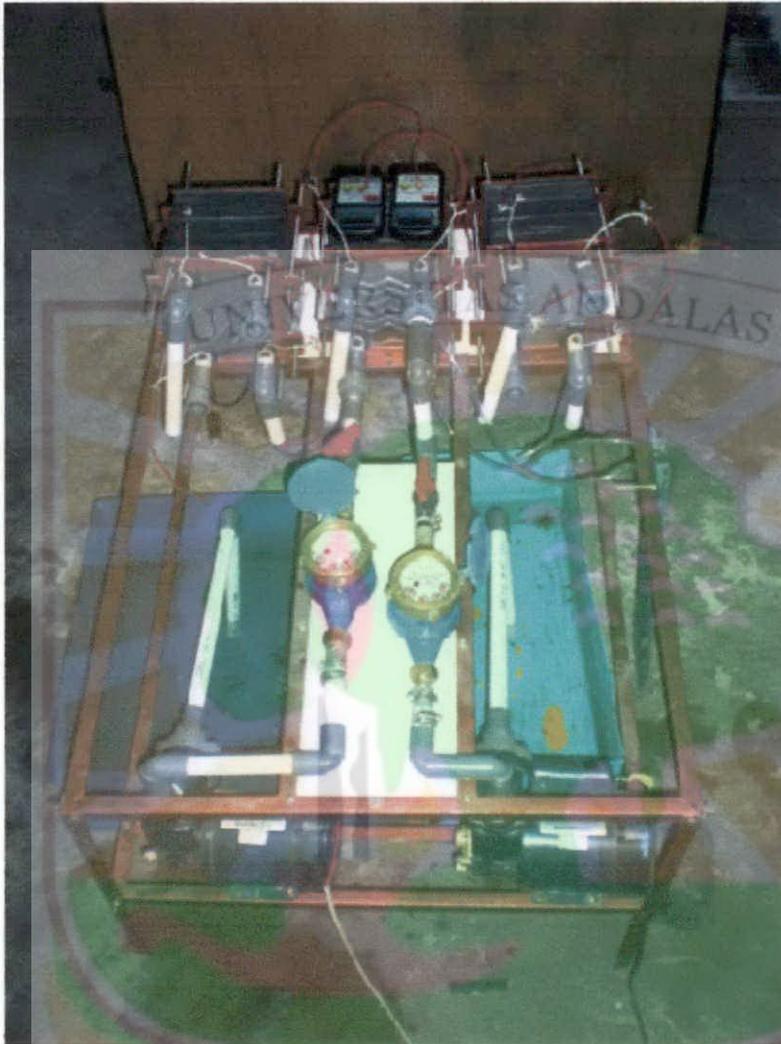
**Gambar D.1.1** Cetakan plat *groove zig-zag*

**D.2 Alat Penukar Kalor *Plate and Frame***



**Gambar D.2** Alat penukar kalor *plate and frame*

**D.3 Foto Alat Uji dan Instalasi Pengujian**



**Gambar D.3** Foto alat uji dan instalasi pengujian

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA