

**Rancang Bangun Alat Penukar Kalor Pada Laboratorium Pengukuran  
Fluida Dan Thermal Program Studi Teknik Konversi Energi**



**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai salah satu syarat  
Untuk memperoleh Gelar Diploma Tiga  
Pada Politeknik Negeri Ujung Pandang

**Disusun oleh:**

Yuli Setyorini (06 35 028)

Andi Rivay (06 35 035)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Dengan ini menyatakan bahwa Laporan Rugas Akhir dengan :

Judul Tugas Akhir : **Rancang Bangun Alat Penukar Kalor pada  
Laboratorium Pengukuran Fluida dan Thermal  
Program Studi Teknik Konversi Energi**

Nama/Stambuk : Yuli Setyorini Stanbuk : 06 35 028

Andi Rivay Stambuk : 06 35 035

Jurusan : Teknik Mesin

Program Studi : Teknik Konversi Energi

Telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Diploma Tiga pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negri Ujung Pandang.

Makassar, November 2009

### Mengesahkan;

Pembimbing I,



Jamal, S.T., M.T  
NIP : 132 288 247

Pembimbing II,

Abd. Rahman, S.S.T  
NIP : 132 318 714

**Mengetahui,**

a.n. Direktur

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Muh. Tekad, S.T., M.T  
NIP : 131 884 322

## PENERIMAAN PANITIA UJIAN

Pada hari ini kamis 19 November 2009. Panitia ujian sidang tugas akhir, telah menerima dengan baik hasil tugas akhir mahasiswa :

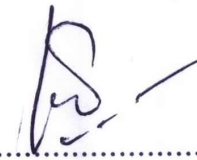

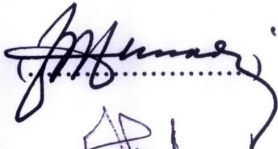
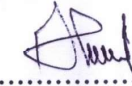

Nama : Yuli Setyorini (0635028)

: Andi Rivay (0635035)

Dengan judul “ RANCANG BANGUN ALAT PENUKAR KALOR PADA LABORATORIUM PENGUKURAN FLUIDA DAN THERMAL PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI”

Makassar 19 November 2009

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

- |                            |              |  |
|----------------------------|--------------|--|
| 1. Ir. Laode Musa, M.T.    | Ketua        | (.....  )  |
| 2. Musrady Mulyadi, S.ST.  | Sekretaris   | (.....  ) |
| 3. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd | Anggota      | (.....  ) |
| 4. Ir. Nur Hamzah, M.T.    | Anggota      | (.....  ) |
| 5. Jamal, S.T, M.T.        | Pembimbing I | (.....  ) |
| 6. Abdul Rahman, S.T.      | Pembimbing I | (.....)  |

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Salawat dan salam tak terlupa tercurah kepada Rasulullah SAW sebagai pencerah kehidupan manusia di dunia.

Laporan tugas akhir ini, merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi pada Politeknik Negeri Ujung Pandang. Selain itu, laporan ini merupakan tolak ukur keberhasilan mahasiswa menyelesaikan proyek tugas akhir yang telah dibuat.

Laporan ini dapat kami selesaikan tidak lepas atas bantuan dari beberapa pihak, oleh sebab itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga yang telah memberi bantuan moril maupun materil.
2. Segenap staf administrasi Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah membantu kelancaran administrasi kami.
3. Bapak Muh. Tekad S.T.,M.,T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
4. Bapak Jamal, S.T., M.,T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin.
5. Bapak Jamal, S.T., M.,T selaku pembimbing I proyek tugas akhir kami.
6. Bapak Abdul Rahman, S., S,T selaku pembimbing II.
7. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

8. Teman-teman kelas III B Energi yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian Proyek Tugas Akhir kami.
9. Semua pihak yang telah membantu kami dalam menyelesaikan proyek tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kami selaku penulis terbuka dan mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan laporan ini.

Akhir kata, penulis berharap laporan ini dapat berguna baik bagi kami dan kepada masyarakat luas pada umumnya, dan semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmatnya kepada kita semua.

Makassar, November 2009

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman judul .....	i
Lembar Pengesahan .....	ii
Kata Pengantar .....	iv
Daftar Isi .....	vi
Daftar Gambar .....	viii
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Simbol .....	x
Daftar Lampiran .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1. Perpindahan Panas .....	4
2.1.1. Defenisi Perpindahan Panas.....	4
2.1.2. Perpindahan Panas Konduksi .....	4
2.1.3. Perpindahan Panas Konveksi .....	6
2.1.4. Perpindahan Panas Radiasi .....	7
2.1.4.1. Bahan penghantar panas .....	7
2.2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh .....	8
2.3. Beda Suhu Rata-rata Log (LMTD) .....	11
2.4. Persamaan-persamaan yang Digunakan .....	12
<b>BAB III METODE PERANCANGAN DAN PEMBUATAN</b> .....	<b>15</b>
3.1. Waktu, Tempat Perancangan dan Pembuatan .....	15
3.2. Peralatan Perancangan dan Pembuatan .....	15
3.3. Skema Perancangan dan Pembuatan .....	16
3.4. Skema Rangkaian Alat Penukar Kalor .....	17

3.5. Prosedur Pengambilan Data .....	18
3.6. Diagram Alir Penelitian .....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1. Hasil .....	21
4.1.1 Perhitungan untuk Alat Penukar Kalor	
Deret Satu .....	21
4.1.2 Perhitungan Untuk Alat Penukar Kalor	
Deret Dua .....	23
4.1.3. Perhitungan Untuk Alat Penukar Kalor	
Deret Empat .....	25
4.2. Pembahasan .....	27
4.2.1. Hubungan kecepatan aliran udara dan	
laju perpindahan panas .....	27
4.2.2. Hubungan kecepatan aliran udara terhadap	
koefisien perpindahan panas menyeluruh .....	30
4.2.3. Perbandingan setiap alat penukar kalor .....	33
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>35</b>
5.1. Kesimpulan .....	35
5.2. Saran .....	36
<b>Daftar Pustaka</b>	





## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Perpindahan Panas Konduksi Satu Dimensi .....	6
Gambar 2.2 Perpindahan Panas Konveksi dari Suatu Plat .....	6
Gambar 2.3 Perpindahan Kalor Menyeluruh Melalui Dinding Datar ....	9
Gambar 2.4 Analogi Tahanan untuk Silinder Bolong dengan Kondisi Batas Konveksi .....	10
Gambar 2.5 Profil Suhu untuk Aliran Sejajar dan Aliran-Lawan-Arah dalam Penukar-Kalor Pipa-Ganda.....	12
Gambar 3.6 Skema Penelitian.....	17
Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Aliran Udara dengan Laju Perpindahan Panas Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu .....	29
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Aliran Udara dengan Laju Perpindahan Panas Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua.....	30
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Aliran Udara dengan Laju Perpindahan Panas Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Empat .....	30
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Kecepatan Aliran Udara dengan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu.....	32
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Kecepatan Aliran Udara dengan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua .....	33
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Kecepatan Aliran Udara dengan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Empat .....	33



## DAFTAR TABEL

		<b>Halaman</b>
Tabel 1	Tabel hasil pengujian untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu	Lampiran A
Tabel 2	Tabel hasil pengujian untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua	Lampiran A
Tabel 3	Tabel hasil pengujian untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Empat	Lampiran A
Tabel 4	Tabel hasil analisa data untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu	Lampiran B
Tabel 5	Tabel hasil analisa data untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua	Lampiran B
Tabel 6	Tabel hasil analisa data untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Empat	Lampiran B
Table 7	Tabel udara	Lampiran B

## DAFTAR SIMBOL

<u>Simbol</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
$q$	Laju perpindahan kalor	(W)
$q''$	Fluks kalor	(W/m <sup>2</sup> )
$k$	Konduktivitas termal	(W/m.°C)
$A$	Luas penampang	(m <sup>2</sup> )
$\frac{\partial T}{\partial x}$	Gradien suhu	(°C/m)
$h$	Koefisien perpindahan panas konveksi	(W/m <sup>2</sup> .°C)
$T_w$	Temperatur dinding	(°C)
$T_\infty$	Temperatur Fluida	(°C)
$\sigma$	Konstanta Boltzmann	$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \text{ K}^4$ .
$e$	Emitansi	( $0 \leq e \leq 1$ )
$T$	Temperatur	(K)
$h_1$	Koefisien konveksi fluida A	(W/m <sup>2</sup> °C)
$h_2$	Koefisien konveksi fluida B	(W/m <sup>2</sup> °C)
$T_A$	Temperatur fluida A	(°C)
$T_B$	Temperatur fluida B	(°C)
$T_1$	Temperatur dinding dalam	(°C)
$T_2$	Temperatur dinding luar	(°C)
$\Delta x$	Ketebalan dinding	(m)
$U$	Kecepatan perpindahan kalor menyeluruh	(W/m <sup>2</sup> °C)
$\Delta T_{\text{menyeluruh}}$	Beda temperatur menyeluruh	(°C)
$h_i$	Koefisien konveksi fluida dalam	(W/m <sup>2</sup> °C)
$h_o$	Koefisien konveksi fluida luar	(W/m <sup>2</sup> °C)
$r_o$	Jari-jari tembaga bagian luar	(m)
$r_i$	Jari-jari tembaga bagian dalam	(m)
$A_o$	Luas penampang bagian luar	(m <sup>2</sup> )
$A_i$	Luas penampang bagian dalam	(m <sup>2</sup> )

L	Panjang selinder	(m)
$U_o$	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bagian luar	(W/m <sup>2</sup> °C)
$U_i$	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bagian dalam	(W/m <sup>2</sup> °C)
$\Delta T_m$	Beda-suhu rata-rata yang tepat untuk digunakan dalam penukar-kalor	(°C)
$T_{h1}$	Temperatur fluida panas masuk	(°C)
$T_{h2}$	Temperatur fluida panas keluar	(°C)
$T_{c1}$	Temperatur fluida dingin masuk	(°C)
$T_{c2}$	Temperatur fluida dingin keluar	(°C)
$T_{film}$	Temperatur rata-rata udara	(°C)
$T_{fi}$	Temperatur udara masuk	(°C)
$T_{fo}$	Temperatur udara keluar	(°C)
$\dot{m}$	Laju aliran massa udara	(kg/s)
$\rho$	Massa jenis udara	(Kg/m <sup>3</sup> )
v	Kecepatan udara	(m/s)
$C_p$	Panas jenis udara	(kJ/kg °C)
n	Jumlah deret batang pengganggu	

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Tabel data hasil pengujian.
- Lampiran B Tabel hasil Analisa data.
- Lampiran C Grafik hubunga perpindahan kalor dan kecepatan udara serta koefisien perpindahan panas menyeluruh.
- Lampiran D Gambar alat.
- Lampiran E Foto alat dan proses pengambilan data



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Di sekeliling kita banyak terjadi fenomena pertukaran kalor, baik itu bermanfaat bagi kehidupan contohnya proses memasak air atau masakan dimana kita mengharapkan agar pertukaran/penyerapan kalor dapat terjadi maksimal dan merata sehingga kerja yang kita lakukan dapat berlangsung secara singkat dan optimal, terkadang juga fenomena pertukaran kalor itu merupakan hal yang merugikan contohnya berkurangnya suhu air panas yang disimpan dalam termos air karena terjadinya penyerapan kalor disekeliling kita.

Pertukaran kalor ini sangat menarik dan penting untuk diamati dan dipelajari lebih lanjut, sehingga dengan berkembangnya pemahaman dan pengetahuan tentang laju pertukaran kalor dapat mendorong kita untuk melakukan upaya optimum dalam mengurangi penggunaan energi karena semakin optimal sebuah alat penukar kalor maka penggunaan energinya akan semakin hemat serta kehilangan energinya akan semakin sedikit yang pada akhirnya dapat mengurangi konsumsi energi atau kehilangan energi dalam kehidupan sehari-hari, apalagi hal ini bersangkutan dengan semakin menipisnya cadangan minyak dunia yang memaksa kita untuk lebih hemat dalam penggunaan bahan bakar (energi).

Dari uraian diatas terlihat bahwa fenomena perpindahan panas penting untuk diamati. Pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, terdapat laboratorium yang berhubungan dalam pengamatan fenomena perpindahan panas yaitu laboratorium

pengukuran termal, tetapi salah satu kendala pada laboratorium tersebut adalah masih kurangnya variasi alat yang berhubungan dengan perpindahan panas sehingga perlu untuk melakukan penambahan alat, salah satu upaya untuk menambah peralatan pada laboratorium adalah dengan penelitian atau pembuatan proyek akhir mahasiswa.

Dengan kondisi diatas maka perlu dilakukan penelitian tentang “Rancang Bangun Alat Penukar Kalor Pada Lab Pengukuran Thermal Program Studi Teknik Konversi Energi”

## **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka disusun permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang dan membuat alat penukar kalor yang dapat digunakan pada Laboratorium Pengukuran Thermal Program Studi Teknik Konversi Energi.
- b. Bagaimana hubungan laju perpindahan kalor dengan kecepatan aliran udara dari tiga alat penukar kalor.
- c. Bagaimana hubungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan kecepatan aliran udara dari tiga alat penukar kalor.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Dari rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk memperoleh jenis alat penukar kalor yang dapat digunakan pada Laboratorium Pengukuran Thermal Program Studi Teknik Konversi Energi.
- b. Memperoleh hubungan laju perpindahan kalor dengan kecepatan aliran udara dari tiga alat penukar kalor.
- c. Memperoleh hubungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan kecepatan aliran udara dari tiga alat penukar kalor.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, adalah:

- a. Dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan institusi berupa pengadaan sarana pengujian berupa penambahan fasilitas alat penguji pengukuran laju aliran termal pada Laboratorium Teknik Konversi Energi khususnya Laboratorium Pengukuran Fluida dan Termal.
- b. Dengan adanya rancang bangun ini diharapkan dapat menambah pemahaman dan pengetahuan mahasiswa tentang jenis alat penukar kalor dan memperluas pemahaman dan pengetahuan mahasiswa akan pengukuran laju perpindahan kalor.
- c. Untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berhubungan dengan pertukaran energi/panas.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Perpindahan Panas**

##### **2.1.1. Defenisi perpindahan panas**

Perpindahan panas ialah proses perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material (Holman, 1994), energi yang pindah itu dinamakan kalor atau panas.

Ilmu perpindahan panas selain menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, juga dapat meramalkan laju perpindahan panas.

##### **2.1.2. Perpindahan panas konduksi**

Perpindahan panas konduksi dapat diamati pada sebuah plat baja yang dipanaskan salah satu sisinya, dalam waktu tertentu sisi yang lainnya akan panas dan lambat laun akan semakin panas, hal ini disebabkan pada sisi yang dipanaskan molekul-molekul material baja yang awal diam akan bergerak dimana semakin panas maka gerakan molekulnya akan semakin cepat (memiliki energi kinetik) sehingga terjadi tabrakan dengan mekul yang berada disebelahnya sehingga ikut bergerak, begitu seterusnya sehingga molekul yang berada pada sisi plat yang tidak dipanaskan juga akan bergerak yang menyebabkan suhunya bertambah, sehingga terjadi perpindahan panas konduksi (Holman, 1994).

Jika suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah, dan dapat dikatakan

bahwa energi berpindah secara konduksi dan laju perpindahan kalor sebanding dengan gradien suhu normal.

$$\left( q'' = \frac{q}{A} \right) \approx \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q'' = \frac{q}{l} \quad (2.1)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsional (tetapan kesebandingan), diperoleh:

$$q = -k.A.\frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.2)$$

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

$q''$  = Fluks kalor ( $W/m^2$ )

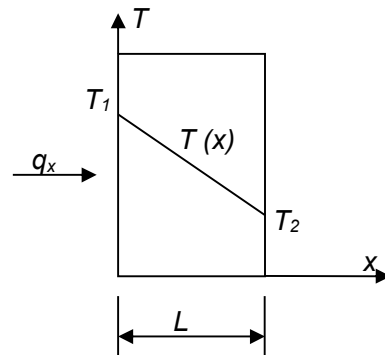
$k$  = Konduktivitas termal ( $W/m.^0C$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

$\frac{\partial T}{\partial x}$  = Gradien suhu ( $^0C/m$ )

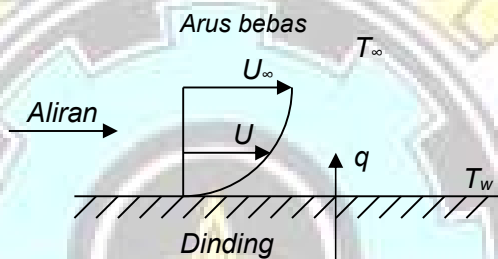
Tanda minus (-) artinya panas makin berkurang kearah yang makin besar.





**Gambar 2.1** Perpindahan panas konduksi satu dimensi

### 2.1.3. Perpindahan panas konveksi



**Gambar 2.2** Perpindahan panas konveksi dari suatu plat

Perpindahan panas secara konveksi dapat diamati pada sebuah logam panas yang diletakkan di depan kipas angin yang sedang mengalirkan udara, lambat laun logam panas tersebut akan menjadi dingin, hal ini disebabkan terjadi penyerapan panas oleh fluida dingin yang mengalir dipermukaan logam panas tersebut. Perpindahan panas yang terjadi dari benda panas ke fluida dingin yang mengalir atau sebaliknya dari fluida panas yang mengalir ke benda dingin dinamakan perpindahan panas konveksi.

Perpindahan panas konveksi ada dua macam, yaitu konveksi paksa yang terjadi karena adanya fluida yang dialirkan, dan konveksi alamiah yang terjadi karena adanya perbedaan berat jenis antar partikel fluida akibat perbedaan temperatur sehingga fluida bergerak (Holman, 1994).

Guna menyatakan pengaruh konveksi secara menyeluruh, maka digunakan hukum Newton tentang pendinginan, yaitu:

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.3)$$

Dimana:  $h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$T_w$  = Temperatur dinding ( $^\circ C$ )

$T_\infty$  = Temperatur Fluida ( $^\circ C$ )

#### 2.1.4. Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi suatu zat/benda menerima pancaran (radiasi) gelombang elektromagnetik berupa panas. Besarnya panas yang dapat dipinadahkan dari benda satu ke benda yang lain tidaklah dipengaruhi oleh jauh-dekatnya sumber-penerima radiasi melainkan lebih dipengaruhi oleh kemampuan/ kekuatan suatu benda menerima menyerap panas radiasi. Setiap benda dapat memancar panas pancararan yang dapat digunakan untuk tujuan pemanasan jika benda tersebut memilki suhu lebih besar dari  $2000^\circ C$ , dibawah temperaturnya lebih rendah dari harga tersebut, maka ditinjau dari perbandingan energi yang dimanfaatkan terhadap energi yang dipindahkan, pemanasan menjadi kurang ekonomis

##### 2.1.4.1. Bahan penghantar panas

Perbedaan panas merupakan syarat terjadinya perpindahan , yang dikehendaki dari perpindahan panas adalah panas yang terjadi dari bahan satu dapat dipindahkan ke bahan yang lain sebanyak mungkin karena pada umumnya ada panas yang hilang ke sekitarnya atau dengan kata lain panas tidak dapat dipindahkan dari satu ke benda yang lain seluruhnya

untuk mengurangi/menghambat panas yang hilang ke sekelilingnya biasanya digunakan isolator

Pada proses radiasi, energi termis diubah menjadi energi radiasi. Energi ini termuat dalam gelombang elektromagnetik, khususnya daerah inframerah (700 nm - 100  $\mu\text{m}$ ). Saat gelombang elektromagnetik tersebut berinteraksi dengan materi energi radiasi berubah menjadi energi termal.

Untuk benda hitam, radiasi termal yang dipancarkan per satuan waktu per satuan luas pada temperatur T (K) adalah :

$$E = e\sigma T^4. \quad (2.4)$$

dimana  $\sigma$  : konstanta Boltzmann :  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ .

E : emitansi ( $0 \leq e \leq 1$ )

T : Temperatur benda (K)

## 2.2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Pada gambar 2.4, jika pada sisi A terdapat fluida panas, dan pada sisi B fluida yang lebih dingin. Perpindahan kalor dinyatakan oleh :

$$q = h_1 \cdot A \cdot (T_A - T_1) = \frac{k \cdot A}{\Delta x} (T_1 - T_2) = h_2 \cdot A \cdot (T_2 - T_B) \quad (2.5)$$

Dimana :  $h_1$  = koefisien konveksi fluida A ( $\text{w/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$h_2$  = koefisien konveksi fluida B ( $\text{w/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ )

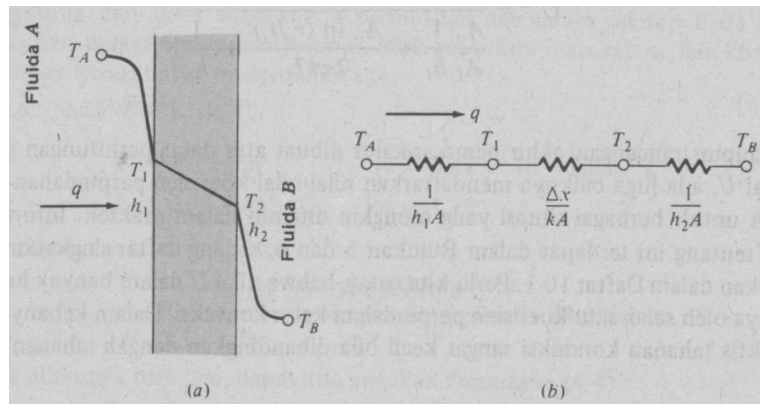
$T_A$  = temperatur fluida A ( $^\circ\text{C}$ )

$T_B$  = temperatur fluida B ( $^\circ\text{C}$ )

$T_1$  = temperatur dinding dalam ( $^\circ\text{C}$ )

$T_2$  = temperatur dinding luar ( $^\circ\text{C}$ )

$\Delta x$  = ketebalan dinding (m)



**Gambar 2.3 Perpindahan kalor menyeluruh melalui dinding datar**

Aliran kalor menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan konveksi bisa dinyatakan dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh  $U$ , yang dirumuskan dalam hubungan :

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{menyeluruh}} \quad (2.6)$$

Dimana :  $U$  = kecepatan perpindahan kalor menyeluruh ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

$\Delta T_{\text{menyeluruh}}$  = beda temperatur menyeluruh ( $^\circ\text{C}$ )

di mana  $A$  ialah luas bidang aliran kalor,  $T_A$  dan  $T_B$  masing-masing ialah suhu fluida pada kedua sisi dinding itu. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh  $U$  didefinisikan oleh hubungan :

$$U = \frac{1}{1/h_1 + \Delta x/k + 1/h_2} \quad (2.7)$$

Untuk silinder berlubang yang terkena lingkungan konveksi di permukaan bagian dalam dan luarnya, analogi tahanan listriknya ialah seperti pada gambar 2.3 di mana  $T_A$  dan  $T_B$  ialah suhu kedua fluida. Perhatikanlah bahwa dalam hal ini luas bidang konveksi tidak sama untuk kedua fluida. Luas bidang ini bergantung dari diameter dalam tabung dan tebal dinding. Dalam penerapan ini salah satu

fluida mengalir di dalam tabung yang lebih kecil, sedang fluida yang satu lagi mengalir di dalam ruang anulus di antara kedua tabung. Persamaan perpindahan panas adalah :

$$q = \frac{(T_A - T_B)}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} \quad (2.8)$$

Dimana :  $h_i$  = koefisien konveksi fluida dalam ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$h_o$  = koefisien konveksi fluida luar ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

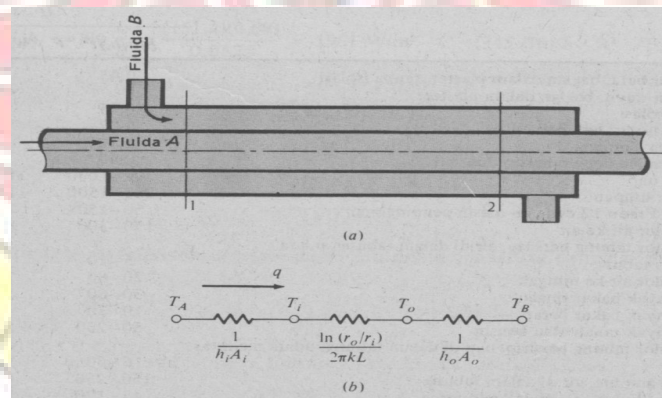
$r_o$  = jari-jari tembaga bagian luar (m)

$r_i$  = jari-jari tembaga bagian dalam (m)

$A_o$  = luas penampang bagian luar ( $m^2$ )

$A_i$  = luas penampang bagian dalam ( $m^2$ )

$L$  = panjang selinder (m)



**Gambar 2.4** Analogi tahanan untuk silinder bolong dengan kondisi batas konveksi.

sesuai dengan jaringan termal sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.4 Besaran  $A_i$  dan  $A_o$  merupakan luas permukaan dalam dan luar tabung dalam. Koefisien



perpindahan kalor menyeluruh dapat didasarkan atas bidang dalam atau luar tabung,

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \cdot \ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}} \quad (2.9)$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \cdot \ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o}} \quad (2.10)$$

Dimana :

$U_o$  = koefisien perpindahan kalor menyeluruh bagian luar ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$U_i$  = koefisien perpindahan kalor menyeluruh bagian dalam ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

### 2.3. Beda Suhu Rata-rata Log (LMTD)

Perhatikan penukar-kalor pipa-ganda pada gambar 2.3 Fluidanya dapat mengalir dalam aliran-sejajar maupun aliran-lawan-arrah, dan profit suhu untuk kedua kasus itu ditunjukkan pada gambar 2.4 Untuk menghitung perpindahan kalor dalam susunan pipa-ganda ini dengan (Holman, 1994):

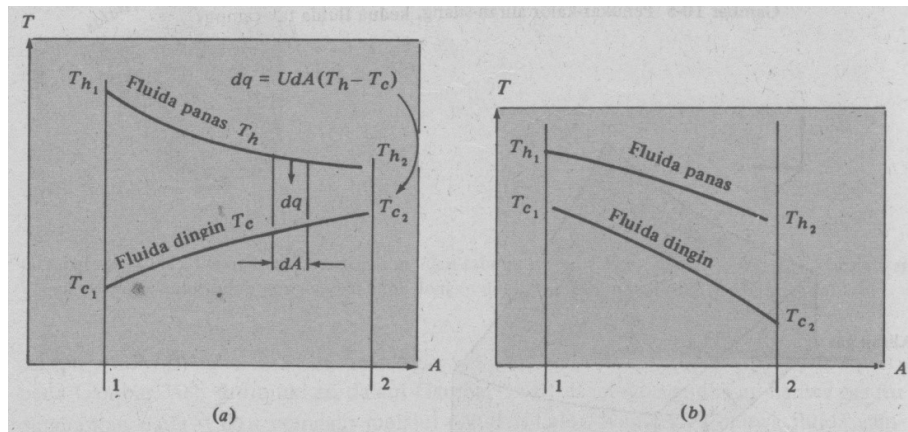
$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (2.11)$$

Dimana :  $U$  = perpindahan-kalor menyeluruh

$A$  = Luas permukaan perpindahan-kalor yang sesuai dgn definisi

$\Delta T_m$  = Beda-suhu rata-rata yang tepat utk digunakan dlm penukar-

kalor



**Gambar 2.5 Profil suhu untuk aliran-sejajar dan aliran-lawan-arah dalam penukar-kalor pipa-ganda.**

Besarnya beda-suhu rata-rata yang tepat untuk digunakan dlm penukar-kalor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11) (Holman, 1994):

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln[(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})]} \quad (2.12)$$

- Dimana :
- $T_{h1}$  = Temperatur fluida panas masuk (°C)
  - $T_{h2}$  = Temperatur fluida panas keluar (°C)
  - $T_{c1}$  = temperature fluida dingin masuk (°C)
  - $T_{c2}$  = temperature fluida dingin keluar (°C)

Beda-suhu ini disebut beda-suhu rata-rata log (Log Mean Temperature Difference = LMTD). Dengan kata-kata, ialah beda-suhu pada satu ujung penukar-kalor dikurangi beda suhu pada ujung yang satu lagi dibagi dengan logaritma alamiah daripada perbandingan kedua beda-suhu tersebut.

#### 2.4. Persamaan-persamaan yang Digunakan

Untuk memperoleh besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh diperlukan beberapa nilai-nilai yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- a. Temperatur Film yaitu temperatur rata-rata udara masuk dan keluar saluran, adalah (Holman, 1994):

$$T_{film} = \frac{(T_{fi} + T_{fo})}{2} \quad (2.13)$$

Dimana :  $T_{film}$  = Temperatur rata-rata udara ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{fi}$  = Temperatur udara masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{fo}$  = temperature udara keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )

- b. Laju aliran massa udara dalam saluran segi empat, adalah (Holman, 1994):

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (2.14)$$

Dimana :  $\dot{m}$  = Laju aliran massa udara (kg/s)

$\rho$  = Massa jenis udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$v$  = Kecepatan udara (m/s)

- c. Laju perpindahan panas dapat diketahui dari besarnya perubahan panas yang dikandung oleh udara. Laju perubahan panas yang dikandung oleh udara, adalah (Incropera, 1990):

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{fi} - T_{fo}) \quad (2.15)$$

Dimana :  $C_p$  = Panas jenis udara ( $\text{kJ}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$ )

- d. Luas permukaan saluran, untuk pipa, adalah:

$$A = \pi \cdot d \cdot L \cdot n \quad (2.16)$$

Dimana :  $n$  = Jumlah deret batang pengganggu

- e. Beda-suhu rata-rata log, adalah (Holman, 1994):

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln\left[\frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}\right]} \quad (2.17)$$

f. Koefisien perpindahan panas menyeluruh, adalah (Incropera, 1990):

$$U = \frac{q}{A \Delta T_m} \quad (2.18)$$



## **BAB III**

### **METODE PERANCANGAN DAN PEMBUATAN**

Metode perancangan dan pembuatan adalah rancang bangun dan eksperimental dengan ditekankan pada proses perpindahan panas menyeluruh (konduksi dan konveksi) dari aliran udara dalam saluran yang dihembuskan oleh blower ke aliran air dingin dalam batang silinder pengganggu aliran dan air dingin dialirkan dengan menggunakan pompa serta dilakukan variasi kecepatan aliran fluida, dimana antara aliran udara dan air dingin tidak terjadi pencampuran.

#### **3.1. Waktu, Tempat Perancangan dan Pembuatan**

Perancangan dan pembuatan dilakukan pada bulan Agustus hingga November 2009 di Laboratorium Teknik Konversi Energi khususnya Laboratorium Pengukuran Fluida dan Termal.

#### **3.2. Peralatan Perancangan dan Pembuatan**

Peralatan yang akan digunakan untuk mengamati laju perpindahan panas konveksi dari aliran air kepermukaan dinding bagian dalam saluran, antara lain adalah:

1. Saluran udara segi empat, sebagai tempat pengamatan penelitian.
2. Thermometer, digunakan untuk mengukur temperatur air dan udara.
3. Anemometer, digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara.
4. Pompa air, digunakan untuk mengalirkan air dalam saluran pipa-pipa pendingin.
5. Fan, digunakan untuk mengalirkan udara dalam saluran segi empat.

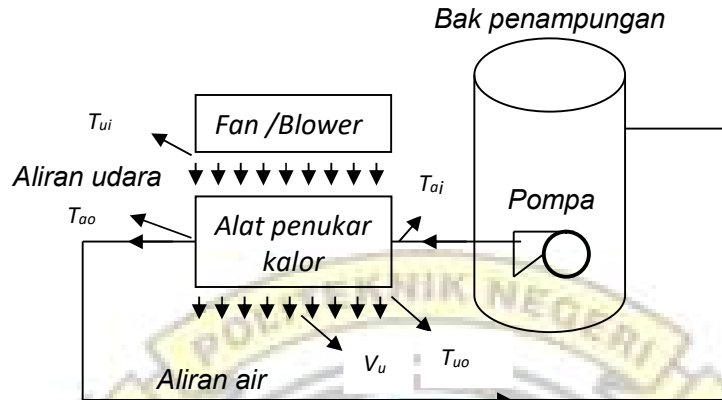
### 3.3. Skema Perancangan dan Pembuatan

Perancangan dan pembuatan yang akan dilakukan adalah untuk mengamati proses perpindahan panas menyeluruh (konduksi dan konveksi) dari aliran udara dalam saluran ke alat penukar kalor yang didalamnya dialiri air dingin. Aliran udara dan air dingin tidak terjadi pencampuran, tetapi antara keduanya terjadi proses perpindahan kalor.

Penelitian akan dilakukan dengan mengalirkan udara bertemperatur  $\approx 30^{\circ}\text{C}$  (temperatur udara sekeliling, diupayakan konstan) didalam saluran dengan menggunakan blower, untuk menghindari terjadinya kehilangan panas maka disekeliling saluran yang terdapat alat penukar kalor akan diberi isolasi. Ditengah saluran dipasang batang pengganggu aliran dan di dalam batang pengganggu akan dialiri air dingin bertemperatur  $\approx 2^{\circ}\text{C}$  (diupayakan konstan) dengan menggunakan pompa.

Penelitian yang akan dilakukan adalah dengan memvariasikan alat penukar kalor dan laju aliran fluida, sehingga didapat hubungan antara koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan laju aliran fluida dari beberapa alat penukar kalor.

### 3.4 Skema Rangkaian Alat Penukar Kalor



**Gambar 3.6** Skema Penelitian

Arah aliran udara yang dihembuskan fan/blower adalah mengalir di dalam saluran dan akan melewati sisi luar batang pengganggu aliran (alat penukar kalor) dan akhirnya keluar saluran.

Arah aliran yang di alirkan oleh pompa adalah mengalir melewati pipa aliran menuju ke batang pengganggu aliran, setelah itu air mengalir melewati pipa menuju ke bak penampungan dan siap untuk di pompa kembali. Aliran air membentuk siklus yaitu dari bak penampungan menuju ke alat penukar kalor dan kembali ke bak pengampungan.

Alat penukar kalor yang akan di uji ada tiga jenis, yaitu :

1. Berbentuk satu deret pipa arah vertikal, dengan jarak sumbu setiap pipa adalah dua kali diameter pipa.
2. Berbentuk dua deret pipa , satu arah vertikal dan satu horisontal , dengan jarak sumbu setiap pipa adalah dua kali diameter pipa.



3. Berbentuk empat deret pipa, dua arah vertikal dan dua arah horizontal, di pasang berselang-seling dengan jarak sumbu setiap pipa adalah kali diameter pipa.

### **3.5 Prosedur Pengambilan Data**

Sebelum melaksanakan penelitian dan pengambilan data terlebih dahulu menentukan, mempersiapkan dan mengatur semua instrument pendukung dalam proses pengambilan data, dan memasang salah satu variasi alat penukar panas.

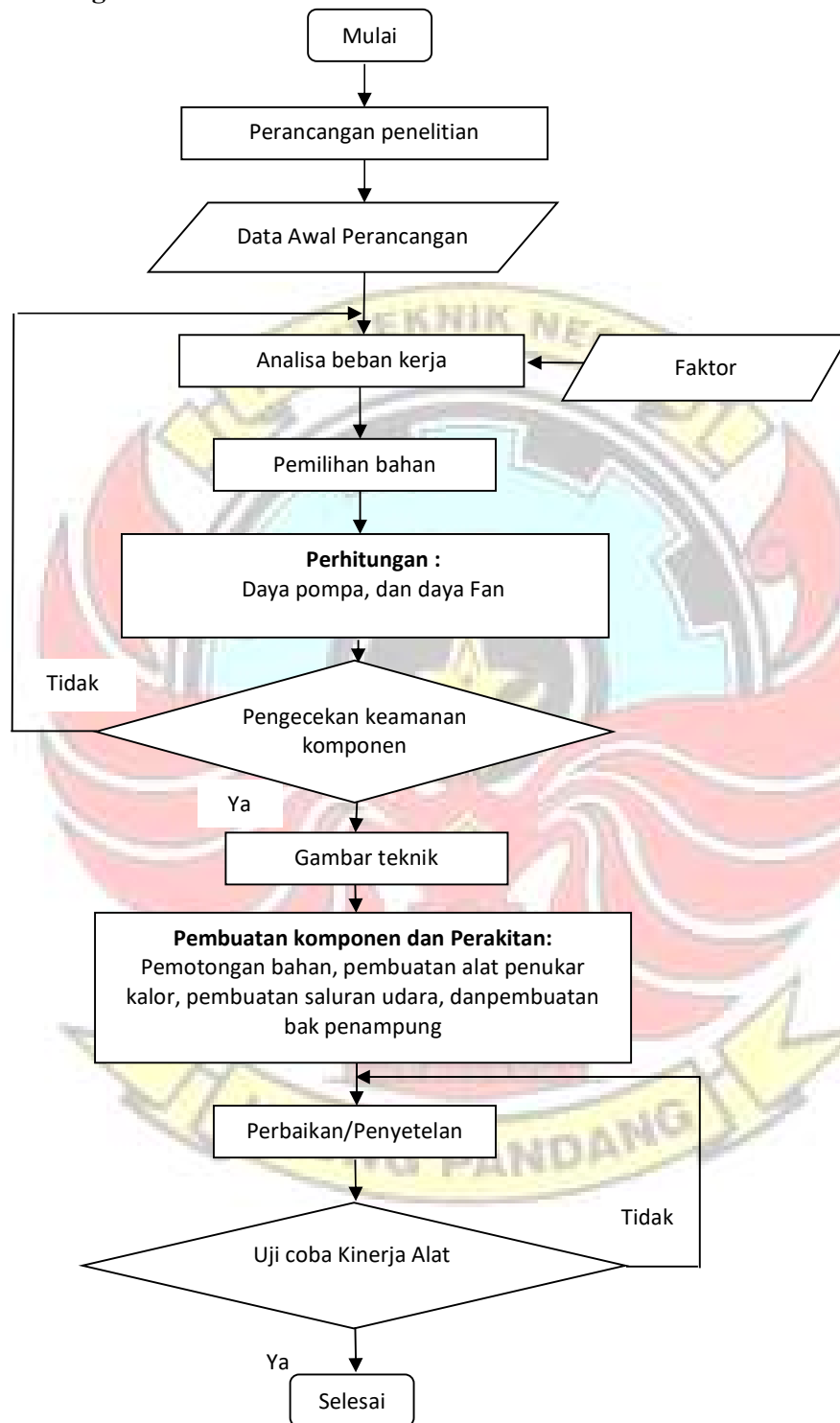
1. Proses pengambilan data dimulai dengan mengisi bak penampungan dan bak air dingin dengan air dan es.
2. Selanjutnya adalah mengaktifkan pompa air dan blower serta semua alat ukur yang digunakan.
3. Setelah melakukan pengecekan terhadap aliran udara dan sirkulasi aliran air, langkah selanjutnya mengatur kecepatan aliran udara.
4. Bersamaan dengan mengatur kecepatan aliran udara, dilakukan langkah menjaga kondisi sistem dalam keadaan steady yaitu besarnya temperatur udara masuk saluran dan keluar saluran konstan, demikian pula temperatur temperatur air masuk saluran dan keluar saluran konstan.
5. Setelah semua kondisi tercapai barulah dilakukan pengambilan data yaitu temperatur udara masuk saluran, temperatur udara keluar saluran, temperatur air masuk saluran dan temperatur air keluar saluran.
6. Pengukuran yang sama dilakukan untuk setiap variasi kecepatan aliran udara.

7. Mengganti alat penukar panas dengan variasi yang lain kemudian melakukan langkah-langkah diatas.

Untuk mendapatkan hasil maksimal maka pengambilan data dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap kondisi penelitian (untuk setiap variasi alat penukar panas pada setiap variasi kecepatan).



### 3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

##### 4.1.1. Perhitungan untuk alat penukar kalor deret satu

Untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan aliran udara dengan laju perpindahan panas serta untuk mendapatkan antara kecepatan aliran udara dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh, maka dilakukan perhitungan-perhitungan dengan mengambil data rata-rata dari kecepatan udara 0,3 m/s sebagai contoh perhitungan maka diperoleh nilai sebagai berikut :

1. Temperature film udara :

$$T_{film} = \frac{(T_{fi} + T_{fo})}{2}$$

$$T_{film\ ud} = \frac{(30 + 25,8)}{2} = 27,90\text{ }^{\circ}\text{C}$$

2. Laju aliran massa udara :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

Dari temperature 27,90 °C diperoleh  $\rho = 1,1732\text{ kg/m}^3$ , sehingga :

$$\dot{m} = 1,1732 \times (0,11 \times 0,11) \times 0,3 = 0,0043\text{ kg / s}$$

3. Laju perpindahan kalor/panas :

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{fi} + T_{fo})$$

Dari temperature 27,90 °C diperoleh  $C_p = 1,0057\text{ kJ/g }^{\circ}\text{C}$ , sehingga :

$$q = 0,0043 \times 1,0057 \times (30 - 25,8) = 0,0180\text{ kW}$$

4. Luas permukaan saluran

- Permukaan dalam saluran

$$A_i = \pi d_i L n$$

Dimana n adalah jumlah pipa yang digunakan yaitu 8 buah, sehingga :

$$A_i = \pi \times 0,04 \times 0,1 \times 8 = 0,0442 m^2$$

- Permukaan luar saluran

$$A_o = \pi d_o L n$$

$$A_o = \pi \times 0,06 \times 0,1 \times 8 = 0,0664 m^2$$

5. Beda suhu rata-rata log (LMTD) :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{fi} - T_{ao}) - (T_{fo} - T_{ai})}{\ln \left[ \frac{(T_{fi} - T_{ao})}{(T_{fo} - T_{ai})} \right]}$$

$$\Delta T_m = \frac{(30 - 3,1) - (25,8 - 2)}{\ln \left[ \frac{(30 - 3,1)}{(25,8 - 2)} \right]} = 25,3662 \text{ } ^\circ C$$

6. Koefisien perpindahan kalor/panas menyeluruh

- Permukaan dalam saluran

$$U_i = \frac{q}{A_i \Delta T_m}$$

$$U_i = \frac{0,0180}{0,0442 \times 25,3662} = 0,0160 \text{ kW / m}^2 \cdot ^\circ C$$

- Permukaan luar saluran

$$U_o = \frac{q}{A_o \Delta T_m}$$

$$U_o = \frac{0,0180}{0,0664 \times 25,3662} = 0,0107 \text{ kW / m}^2 \cdot ^\circ C$$

#### 4.1.2. Perhitungan untuk alat penukar kalor deret dua

Untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan aliran udara dengan laju perpindahan panas serta untuk mendapatkan antara kecepatan aliran udara dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh, maka dilakukan perhitungan-perhitungan dengan mengambil data rata-rata dari kecepatan udara 0,3 m/s sebagai contoh perhitungan maka diperoleh nilai sebagai berikut :

- 1 Temperature film udara :

$$T_{film} = \frac{(T_{fi} + T_{fo})}{2}$$

$$T_{film\ ud} = \frac{(27 + 22,5)}{2} = 24,75\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- 2 Laju aliran massa udara :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

Dari temperature 24,75 °C diperoleh  $\rho = 1,1880\text{ kg/m}^3$ , sehingga :

$$\dot{m} = 1,1880 \times (0,11 \times 0,11) \times 0,3 = 0,0043\text{ kg / s}$$

- 3 Laju perpindahan kalor/panas :

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{fi} + T_{fo})$$

Dari temperature 24,75 °C diperoleh  $C_p = 1,0057\text{ kJ/g }^{\circ}\text{C}$ , sehingga :

$$q = 0,0043 \times 1,0057 \times (27 - 22,5) = 0,0195\text{ kW}$$

- 4 Luas permukaan saluran

- Permukaan dalam saluran

$$A_i = \pi \cdot d_i \cdot Ln$$

Dimana n adalah jumlah pipa yang digunakan yaitu 16 buah,  
sehingga

$$A_i = \pi \cdot 0,04 \times 0,1 \times 16 = 0,0442 m^2$$

- Permukaan luar saluran

$$A_o = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot n$$

$$A_o = \pi \cdot 0,06 \times 0,1 \times 16 = 0,0664 m^2$$

5 Beda suhu rata-rata log (LMTD) :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{fi} - T_{ao}) - (T_{fo} - T_{ai})}{\ln \left[ \frac{T_{fi} - T_{ao}}{T_{fo} - T_{ai}} \right]}$$

$$\Delta T_m = \frac{(27 - 2,5) - (22,5 - 2,1)}{\ln \left[ \frac{27 - 2,5}{22,5 - 2,1} \right]} = 22,3862 \text{ } ^\circ C$$

6 Koefisien perpindahan kalor/panas menyeluruh

- Permukaan dalam saluran

$$U_i = \frac{q}{A_i \cdot \Delta T_m}$$

$$U_i = \frac{0,0195}{0,0442 \times 22,3862} = 0,0197 \text{ kW / m}^2 \cdot ^\circ C$$

- Permukaan luar saluran

$$U_o = \frac{q}{A_o \cdot \Delta T_m}$$

$$U_o = \frac{0,0195}{0,0664 \times 22,3862} = 0,0131 \text{ kW / m}^2 \cdot ^\circ C$$



#### 4.1.3. Perhitungan untuk alat penukar kalor deret empat

Untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan aliran udara dengan laju perpindahan panas serta untuk mendapatkan antara kecepatan aliran udara dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh, maka dilakukan perhitungan-perhitungan dengan mengambil data rata-rata dari kecepatan udara 0,3 m/s sebagai contoh perhitungan maka diperoleh nilai sebagai berikut :

- 1 Temperature film udara :

$$T_{film} = \frac{(T_{fi} + T_{fo})}{2}$$

$$T_{film\ ud} = \frac{(29,2 + 19,7)}{2} = 24,45\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- 2 Laju aliran massa udara :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

Dari temperature 24,45 °C diperoleh  $\rho = 1,1894\text{ kg/m}^3$ , sehingga :

$$\dot{m} = 1,1894 \times (0,11 \times 0,11) \times 0,3 = 0,0043\text{ kg / s}$$

- 3 Laju perpindahan kalor/panas :

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{fi} + T_{fo})$$

Dari temperature 24,45 °C diperoleh  $C_p = 1,0057\text{ kJ/g }^{\circ}\text{C}$ , sehingga :

$$q = 0,0043 \times 1,0057 \times (29,2 - 19,7) = 0,0412\text{ kW}$$

- 4 Luas permukaan saluran

- Permukaan dalam saluran

$$A_i = \pi \cdot d_i \cdot Ln$$

Dimana n adalah jumlah pipa yang digunakan yaitu 32 buah,  
sehingga

$$A_i = \pi \times 0,04 \times 0,1 \times 32 = 0,0442 \text{ m}^2$$

- Permukaan luar saluran

$$A_o = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot n$$

$$A_o = \pi \times 0,06 \times 0,1 \times 32 = 0,0664 \text{ m}^2$$

5 Beda suhu rata-rata log (LMTD) :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{fi} - T_{ao}) - (T_{fo} - T_{ai})}{\ln \left[ \frac{(T_{fi} - T_{ao})}{(T_{fo} - T_{ai})} \right]}$$

$$\Delta T_m = \frac{(29,2 - 3,5) - (19,7 - 2,2)}{\ln \left[ \frac{(29,2 - 3,5)}{(19,7 - 2,2)} \right]} = 21,3377 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6 Koefisien perpindahan kalor/panas menyeluruh

- Permukaan dalam saluran

$$U_i = \frac{q}{A_i \cdot \Delta T_m}$$

$$U_i = \frac{0,0412}{0,0442 \times 21,3377} = 0,0437 \text{ kW / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Permukaan luar saluran

$$U_o = \frac{q}{A_o \cdot \Delta T_m}$$

$$U_o = \frac{0,0412}{0,0664 \times 21,3377} = 0,0291 \text{ kW / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

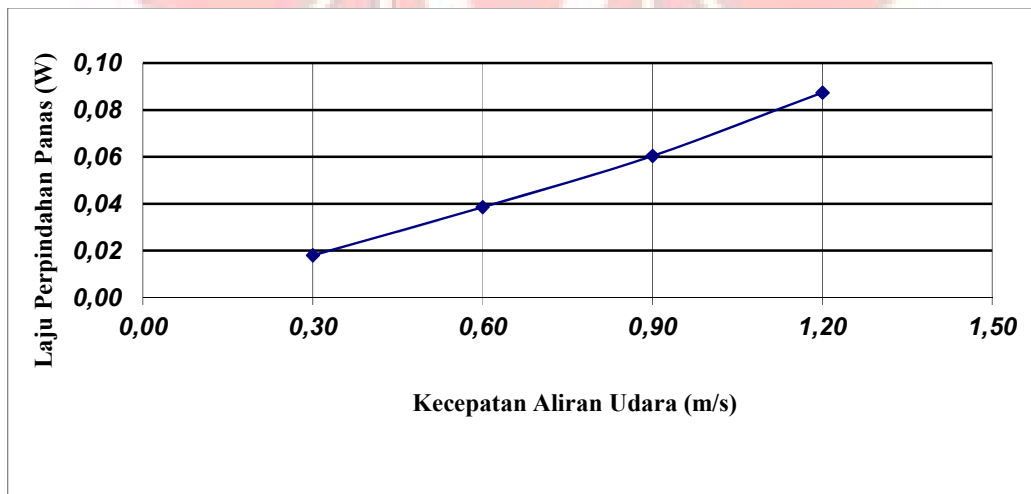
## **4.2. Hasil Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan laju aliran udara dalam saluran segi empat, adapun variasi kecepatan yang diberikan mulai dari 0,3 m/s, 0,6 m/s, 0,9 m/s, dan 1,2 m/s. sedangkan kondisi air diusahakan konstan, untuk menjaga suhu air masuk saluran tetap konstan digunakan campuran es dan air pada bak penampung . Data penelitian disusun dalam bentuk tabel pada lampiran A, sedangkan untuk data hasil penelitian disusun dalam bentuk tabel pada lampiran B dan dalam bentuk grafik pada lampiran C.

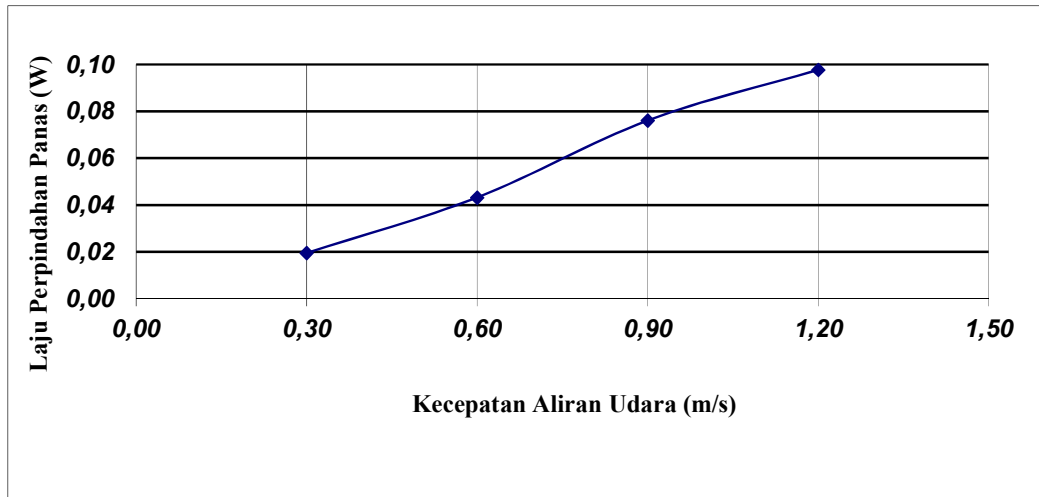
### **4.2.1. Hubungan kecepatan aliran udara dan laju perpindahan panas**

Hasil penelitian diperoleh bahwa kecepatan aliran udara memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju perpindahan panas pada setiap jenis alat penukar kalor, Pada gambar 4.8, gambar 4.9 dan 4.10 terlihat bahwa semakin besar kecepatan aliran udara maka laju perpindahan panas akan semakin besar. Perubahan kecepatan aliran udara untuk jenis alat penukar kalor yang berderet satu dari 0,3 m/s menjadi 0,6 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 53,3 %, sedangkan perubahan kecepatan aliran udara dari 0,6 m/s menjadi 0,9 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 36,09 %, adapun perubahan kecepatan aliran udara dari 0,9 m/s menjadi 1,2 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 30,89 %, rata-rata terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 40,09 % akibat peningkatan kecepatan aliran udara. Sedangkan perubahan kecepatan aliran udara untuk jenis alat penukar kalor yang berderet dua dari 0,3 m/s menjadi 0,6 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju

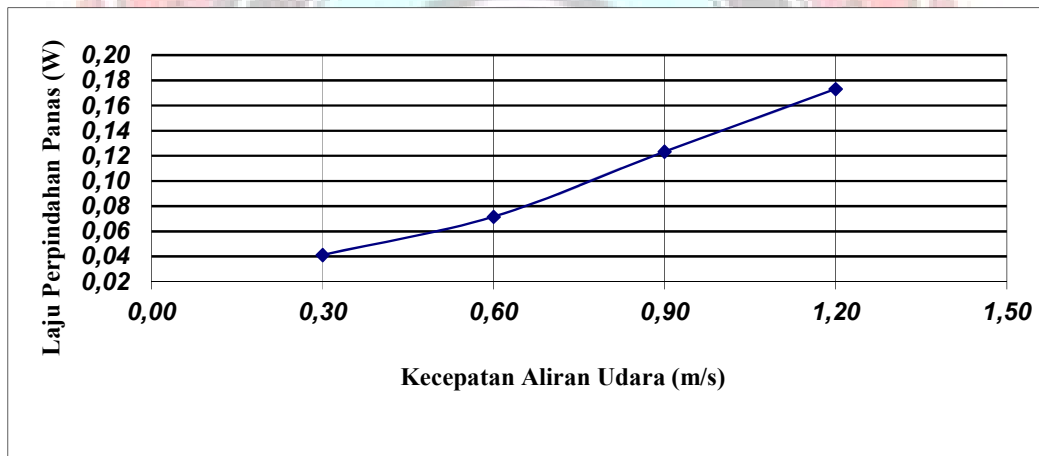
perpindahan panas sebesar 54,86 %, sedangkan perubahan kecepatan aliran udara dari 0,6 m/s menjadi 0,9 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 43,23 %, adapun perubahan kecepatan aliran udara dari 0,9 m/s menjadi 1,2 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 22,18 %, rata-rata terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 40,09 % akibat peningkatan kecepatan aliran udara, Dan perubahan kecepatan udara untuk jenis alat penukar kalor yang berderet empat dari 0,3 m/s menjadi 0,6 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 42,6 %, sedangkan perubahan kecepatan aliran udara dari 0,6 m/s menjadi 0,9 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 41,8 %, adapun perubahan kecepatan aliran udara dari 0,9 m/s menjadi 1,2 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 28,76%, rata-rata terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 37,7% akibat peningkatan kecepatan aliran udara.



**Gambar 4.8. Grafik Hubungan Aliran Udara dengan Laju Perpindahan Panas Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu**



**Gambar 4.9. Grafik Hubungan Aliran Udara dengan Laju Perpindahan Panas Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua**



**Gambar 4.10. Grafik Hubungan Aliran Udara dengan Laju Perpindahan Panas Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Empat**

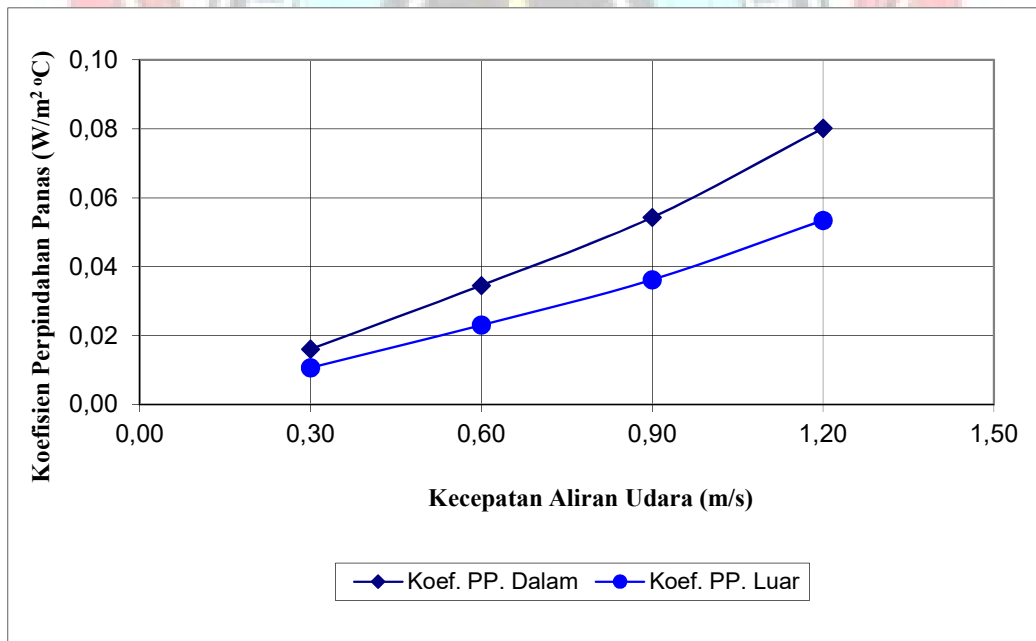
Hubungan kecepatan aliran udara dengan laju perpindahan panas berbanding lurus yang ditunjukkan oleh kecepatan aliran udara terhadap laju perpindahan panas, disebabkan karena semakin besar kecepatan aliran udara maka semakin besar massa udara yang mampu menyerap atau mentransfer panas sehingga terjadi peningkatan laju perpindahan panas. Sedangkan pengaruh

perubahan temperatur akibat peningkatan kecepatan aliran udara kurang signifikan pengaruhnya terhadap laju perpindahan panas.

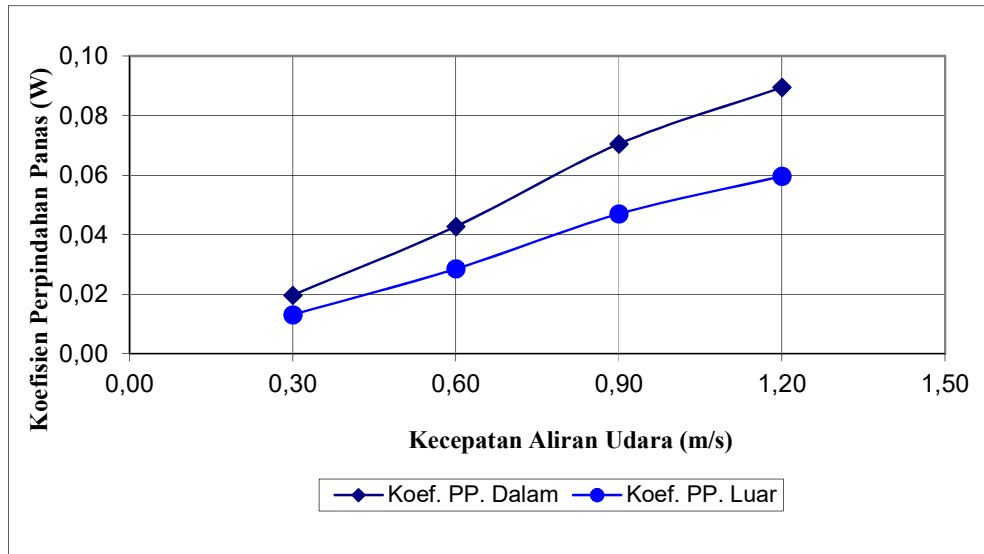
#### **4.2.2. Hubungan kecepatan aliran udara terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh**

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kecepatan aliran udara memberikan pengaruh yang signifikan terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh, dari gambar 4.11, gambar 4.12 dan gambar 4.13 terlihat bahwa semakin besar kecepatan aliran udara maka koefisien perpindahan panas menyeluruh juga semakin besar. Perubahan kecepatan aliran udara untuk jenis alat penukar kalor yang berderet satu dari 0,3 m/s menjadi 0,6 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 53,47%, sedangkan perubahan kecepatan aliran udara dari 0,6 m/s menjadi 0,9 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 36,46 %, adapun perubahan kecepatan aliran udara dari 0,9 m/s menjadi 1,2 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 32,2 %, rata-rata terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 40,71 % akibat peningkatan kecepatan aliran udara. Sedangkan perubahan kecepatan aliran udara untuk jenis alat penukar kalor yang berderet dua dari 0,3 m/s menjadi 0,6 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 54,03 %, sedangkan perubahan kecepatan aliran udara dari 0,6 m/s menjadi 0,9 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 39,36 %, adapun perubahan kecepatan aliran udara dari 0,9 m/s menjadi 1,2 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 21,27 %, rata-rata terjadi peningkatan

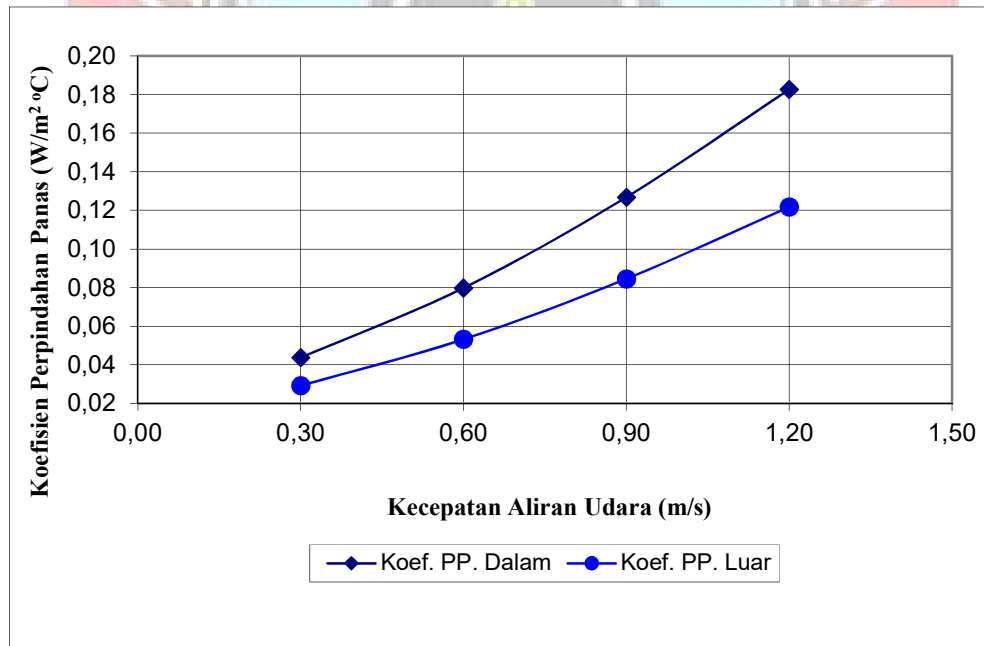
laju perpindahan panas sebesar 38,22 % akibat peningkatan kecepatan aliran udara, Dan perubahan kecepatan udara untuk jenis alat penukar kalor yang berderet empat dari 0,3 m/s menjadi 0,6 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 45,3 %, sedangkan perubahan kecepatan aliran udara dari 0,6 m/s menjadi 0,9 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 37,04 %, adapun perubahan kecepatan aliran udara dari 0,9 m/s menjadi 1,2 m/s menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan panas sebesar 30,56 %, rata-rata terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 37,63 % akibat peningkatan kecepatan aliran udara.



**Gambar 4.11. Grafik Hubungan Kecepatan Aliran Udara dengan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu**



**Gambar 4.12. Grafik Hubungan Kecepatan Aliran Udara dengan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua**



**Gambar 4.13. Grafik Hubungan Kecepatan Aliran Udara dengan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Empat**



Hubungan kecepatan aliran udara dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk ke tiga jenis alat penukar kalor berbanding lurus seperti yang ditunjukkan oleh kecepatan aliran udara terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh, seperti halnya pada pengaruhnya terhadap laju perpindahan panas yaitu disebabkan karena semakin besar kecepatan aliran udara maka semakin besar massa udara yang mampu menyerap atau mentransfer panas sehingga terjadi peningkatan laju perpindahan panas yang juga meningkatkan koefisien perpindahan panas menyeluruh. Karena pengaruh perubahan temperature akibat peningkatan kecepatan aliran udara kurang signifikan sehingga peningkatan koefisien perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh meningkatnya laju aliran massa akibat peningkatan kecepatan aliran udara pada saluran segi empat.

#### **4.2.3 Perbandingan setiap alat penukar kalor**

Pengaruh jumlah deret batang penghalang pada setiap alat penukar kalor akan mempengaruhi laju perpindahan panas, semakin banyak jumlah deret batang penghalang maka laju perpindahan panas akan semakin besar. Perbandingan alat penukar kalor satu deret batang penghalang dengan dua deret batang penghalang diperoleh peningkatan laju perpindahan panas yang kurang signifikan rata-rata sebesar 12,36 % sedangkan perbandingan alat penukar kalor yang dua deret batang penghalang dengan empat deret batang penghalang diperoleh peningkatan laju perpindahan panas yang signifikan rata-rata sebesar 43,72 %.

Perubahan jumlah deret batang penghalang juga berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh semakin banyak jumlah deret batang penghalang maka kecepatan koefisien perpindahan panas menyeluruh akan

semakin besar. Perbandingan alat penukar kalor satu deret batang penghalang dengan dua deret batang penghalang diperoleh peningkatan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang kurang signifikan rata-rata sebesar 16,74 % sedangkan perbandingan alat penukar kalor yang dua deret batang penghalang dengan empat deret batang penghalang diperoleh perubahan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang sangat signifikan yaitu rata-rata 49,17 %.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Diperoleh hasil rancang bangun alat penukar kalor yang dapat digunakan pada Laboratorium pengukuran Thermal Program Studi Teknik Konversi Energi
2. Semakin besar kecepatan aliran udara maka laju perpindahan kalor akan semakin besar dengan peningkatan, untuk deret satu rata-rata sebesar 40,09 %, untuk deret dua rata-rata sebesar 40,09 % dan untuk deret empat rata-rata sebesar rata-rata 37,7%
3. Untuk kecepatan aliran udara yang sama maka semakin banyak jumlah deret batang penghalang maka laju perpindahan kalor akan semakin besar. Perubahan dari deret satu kederet dua terjadi peningkatan rata-rata sebesar 12,36 %, sedangkan perubahan dari deret dua kederet empat terjadi peningkatan rata-rata sebesar 43,72 %
4. Semakin besar kecepatan aliran udara maka laju koefisien perpindahan kalor menyeluruh akan semakin besar dengan peningkatan, untuk deret satu rata-rata sebesar 40,71 %, untuk deret dua rata-rata sebesar 38,22 % dan untuk deret empat rata-rata sebesar rata-rata 37,63 %
5. Untuk kecepatan aliran udara yang sama maka semakin banyak jumlah deret batang penghalang maka laju koefisien perpindahan kalor menyeluruh akan semakin besar. Perubahan dari deret satu kederet dua terjadi peningkatan rata-

rata sebesar 16,74 %, sedangkan perubahan dari deret dua kederet empat terjadi peningkatan rata-rata sebesar 49,17 %.

## 5.2. Saran

Untuk penelitian perpindahan panas konveksi dimasa datang, terdapat beberapa saran yang diajukan, yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan berbagai jenis alat perpindahan panas untuk digunakan pada laboratorium teknik konversi energi khususnya laboratorium pengukuran fluida dan thermal.



## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, A.Y. 1997. Heat Transfer: A Practical Approach, USA: McGraw Hill.
- Holman, J.P. & Djasifi, E. 1993. Perpindahan Kalor, Jakarta: Erlangga.
- Incropera, P.F. & DeWitt, P.D. 1990. Introduction To Heat Transfer, Singapura: John Wiley & Sons.
- White, F.M. 1988. Mekanika Fluida, Jilid 1. Jakarta: Erlangga.





# LAMPIRAN A

Tabel data hasil pengujian

Lampiran A

Tabel 1. Data Hasil Pengujian untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu

No. Data	Udara			Air	
	Kec. (m/s)	Temp. Masuk (°C)	Temp. Keluar (°C)	Temp. Masuk (°C)	Temp. Keluar (°C)
1	0.3	30	25.9	2	3.2
2	0.3	30.1	25.8	2	3
3	0.3	30	25.8	2	3.1
4	0.3	30	25.7	2	3.2
5	0.3	29.9	25.8	2	3
<b>Rata-rata</b>	<b>0.3</b>	<b>30</b>	<b>25.8</b>	<b>2</b>	<b>3.1</b>
1	0.6	30	25.7	2	3.3
2	0.6	30.2	25.5	2	3.2
3	0.6	30	25.7	2	3.2
4	0.6	30.1	25.6	2	3.1
5	0.6	30.2	25.5	2	3.2
<b>Rata-rata</b>	<b>0.6</b>	<b>30.1</b>	<b>25.6</b>	<b>2</b>	<b>3.2</b>
1	0.9	30.1	25.6	2.3	3
2	0.9	30.3	25.5	2.2	3.2
3	0.9	30.2	25.4	2.1	3.1
4	0.9	30.1	25.5	2.2	3.2
5	0.9	30.3	25.5	2.2	3
<b>Rata-rata</b>	<b>0.9</b>	<b>30.2</b>	<b>25.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.1</b>
1	1.2	30	24	2.1	3.9
2	1.2	30	25	2	3.9
3	1.2	31	25	2.2	3.9
4	1.2	30	26	2.1	3.9
5	1.2	30.5	26	2.1	3.9
<b>Rata-rata</b>	<b>1.2</b>	<b>30.3</b>	<b>25.2</b>	<b>2.1</b>	<b>3.9</b>

**Tabel 2. Data Hasil Pengujian untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua**

No. Data	Udara			Air	
	Kec. (m/s)	Temp. Masuk (°C)	Temp. Keluar (°C)	Temp. Masuk (°C)	Temp. Keluar (°C)
1	0.3	27	22.6	2.1	2.5
2	0.3	28	22.5	2.1	2.6
3	0.3	27	22.6	2.2	2.7
4	0.3	27	22.3	2.1	2.3
5	0.3	26	22.5	2	2.4
<b>Rata-rata</b>	<b>0.3</b>	<b>27</b>	<b>22.5</b>	<b>2.1</b>	<b>2.5</b>
1	0.6	28	23	2.3	2.9
2	0.6	27	24	2.2	2.7
3	0.6	29	22	2.4	2.9
4	0.6	28	23	2.3	2.8
5	0.6	28	23	2.3	2.7
<b>Rata-rata</b>	<b>0.6</b>	<b>28</b>	<b>23</b>	<b>2.3</b>	<b>2.8</b>
1	0.9	30	25	2	2.7
2	0.9	29.7	23	2.2	2.5
3	0.9	29.8	24	2.1	2.8
4	0.9	30	24	2.2	2.7
5	0.9	30	24	2	2.8
<b>Rata-rata</b>	<b>0.9</b>	<b>29.9</b>	<b>24</b>	<b>2.1</b>	<b>2.7</b>
1	1.2	30.5	25	2.3	3.5
2	1.2	30.6	24.5	2.4	3.3
3	1.2	30.5	25.5	2.3	3.3
4	1.2	30.4	24	2.2	3.5
5	1.2	30.5	25	2.3	3.4
<b>Rata-rata</b>	<b>1.2</b>	<b>30.5</b>	<b>24.8</b>	<b>2.3</b>	<b>3.4</b>



**Tabel 3. Data Hasil Pengujian untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret 4**

No. Data	Udara			Air	
	Kec. (m/s)	Temp. Masuk (°C)	Temp. Keluar (°C)	Temp. Masuk (°C)	Temp. Keluar (°C)
1	0.3	29	19.7	2.1	3.2
2	0.3	29	19.9	2.1	3.5
3	0.3	29.1	19.5	2.2	3.7
4	0.3	29.4	19.7	2.3	3.6
5	0.3	29.5	19.7	2.3	3.5
<b>Rata-rata</b>	<b>0.3</b>	<b>29.2</b>	<b>19.7</b>	<b>2.2</b>	<b>3.5</b>
1	0.6	28	19.4	2.3	3.9
2	0.6	27.9	19.5	2.2	3.8
3	0.6	27.8	19.5	2.4	3.9
4	0.6	28	19.6	2.3	4
5	0.6	27	19.5	2.3	3.9
<b>Rata-rata</b>	<b>0.6</b>	<b>27.74</b>	<b>19.5</b>	<b>2.3</b>	<b>3.9</b>
1	0.9	30	21	2	3.9
2	0.9	30	21	2.2	3.9
3	0.9	30	19.5	2.1	3.8
4	0.9	30	21	2.2	4
5	0.9	30	20	2	3.9
<b>Rata-rata</b>	<b>0.9</b>	<b>30</b>	<b>20.5</b>	<b>2.1</b>	<b>3.9</b>
1	1.2	30	21	2.7	4
2	1.2	29.5	21	2.5	4.2
3	1.2	31	20	2.5	4.5
4	1.2	30	19	2.7	4.3
5	1.2	30.5	20	2.6	4.5
<b>Rata-rata</b>	<b>1.2</b>	<b>30.2</b>	<b>20.2</b>	<b>2.6</b>	<b>4.3</b>



# LAMPIRAN B

## Tabel hasil analisa data

Lampiran B.

Tabel 4. Tabel Hasil Analisa Data untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu

Kec. Udara (m/s)	No. Hasil	Udara					Luas Perm. Dalam (m <sup>2</sup> )	Luas Perm. Luar (m <sup>2</sup> )	ΔT <sub>m</sub> (°C)	U <sub>i</sub> (kW/m <sup>2</sup> .°C)	U <sub>o</sub> (kW/m <sup>2</sup> .°C)
		T <sub>film</sub>	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	c <sub>p</sub> (kJ/kg.°C)	m (kg/s)	q (kW)					
0,3	1	27.95	1.1729	1.0057	0.0043	0.0176	0.0442	0.0664	25.3223	0.0157	0.0104
	2	27.95	1.1729	1.0057	0.0043	0.0184	0.0442	0.0664	25.4143	0.0164	0.0109
	3	27.90	1.1732	1.0057	0.0043	0.0180	0.0442	0.0664	25.5100	0.0159	0.0106
	4	27.85	1.1734	1.0057	0.0043	0.0184	0.0442	0.0664	25.2662	0.0165	0.0110
	5	27.85	1.1734	1.0057	0.0043	0.0176	0.0442	0.0664	25.3184	0.0157	0.0105
	<b>Rata-rata</b>	<b>27.90</b>	<b>1.1732</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0043</b>	<b>0.0180</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>25.3662</b>	<b>0.0160</b>	<b>0.0107</b>
0,6	1	27.85	1.1734	1.0057	0.0085	0.0368	0.0442	0.0664	25.1702	0.0331	0.0221
	2	27.85	1.1734	1.0057	0.0085	0.0403	0.0442	0.0664	25.2095	0.0361	0.0241
	3	27.85	1.1734	1.0057	0.0085	0.0368	0.0442	0.0664	25.2183	0.0330	0.0220
	4	27.85	1.1734	1.0057	0.0085	0.0386	0.0442	0.0664	25.2619	0.0345	0.0230
	5	27.85	1.1734	1.0057	0.0085	0.0403	0.0442	0.0664	25.2095	0.0361	0.0241
	<b>Rata-rata</b>	<b>27.85</b>	<b>1.1734</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0085</b>	<b>0.0386</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>25.2139</b>	<b>0.0346</b>	<b>0.0230</b>
0,9	1	27.85	1.1734	1.0057	0.0128	0.0578	0.0442	0.0664	25.1522	0.0520	0.0347
	2	27.90	1.1732	1.0057	0.0128	0.0617	0.0442	0.0664	25.1522	0.0554	0.0370
	3	27.80	1.1736	1.0057	0.0128	0.0617	0.0442	0.0664	25.1522	0.0555	0.0370
	4	27.80	1.1736	1.0057	0.0128	0.0591	0.0442	0.0664	25.0569	0.0533	0.0356
	5	27.90	1.1732	1.0057	0.0128	0.0617	0.0442	0.0664	25.2472	0.0552	0.0368
	<b>Rata-rata</b>	<b>27.85</b>	<b>1.1734</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0128</b>	<b>0.0604</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>25.1521</b>	<b>0.0543</b>	<b>0.0362</b>
1,2	1	27.00	1.1774	1.0057	0.0171	0.1032	0.0442	0.0664	23.9386	0.0974	0.0649
	2	27.50	1.1750	1.0057	0.0171	0.0858	0.0442	0.0664	24.5173	0.0791	0.0527
	3	28.00	1.1727	1.0057	0.0170	0.1027	0.0442	0.0664	24.8881	0.0933	0.0622
	4	28.00	1.1727	1.0057	0.0170	0.0685	0.0442	0.0664	24.9839	0.0620	0.0413
	5	28.25	1.1715	1.0057	0.0170	0.0770	0.0442	0.0664	25.2259	0.0690	0.0460
	<b>Rata-rata</b>	<b>27.75</b>	<b>1.1739</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0170</b>	<b>0.0874</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>24.7108</b>	<b>0.0802</b>	<b>0.0534</b>

Tabel 5. Tabel Hasil Analisa Data untuk Jenis Alat penukar Kalor Deret Dua

Kec. Udara (m/s)	No. Hasil	Udara					Luas Perm. Dalam (m <sup>2</sup> )	Luas Perm. Luar (m <sup>2</sup> )	$\Delta T_m$ (°C)	U <sub>i</sub> (kW/m <sup>2</sup> .°C)	U <sub>o</sub> (kW/m <sup>2</sup> .°C)
		T <sub>film</sub>	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg.°C)	$m$ (kg/s)	$q$ (kW)					
0,3	1	24.80	1.1878	1.0057	0.0043	0.0191	0.0442	0.0664	22.4406	0.0192	0.0128
	2	25.25	1.1856	1.0057	0.0043	0.0238	0.0442	0.0664	22.8087	0.0236	0.0157
	3	24.80	1.1878	1.0057	0.0043	0.0191	0.0442	0.0664	22.2932	0.0193	0.0129
	4	24.65	1.1885	1.0057	0.0043	0.0204	0.0442	0.0664	22.3746	0.0206	0.0137
	5	24.25	1.1903	1.0057	0.0043	0.0152	0.0442	0.0664	22.0136	0.0156	0.0104
	<b>Rata-rata</b>	<b>24.75</b>	<b>1.1880</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0043</b>	<b>0.0195</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>22.3862</b>	<b>0.0197</b>	<b>0.0131</b>
0,6	1	25.50	1.1845	1.0057	0.0086	0.0432	0.0442	0.0664	22.8294	0.0428	0.0285
	2	25.50	1.1845	1.0057	0.0086	0.0259	0.0442	0.0664	23.0274	0.0255	0.0170
	3	25.50	1.1845	1.0057	0.0086	0.0605	0.0442	0.0664	22.6951	0.0603	0.0402
	4	25.50	1.1845	1.0057	0.0086	0.0432	0.0442	0.0664	22.8763	0.0427	0.0285
	5	25.50	1.1845	1.0057	0.0086	0.0432	0.0442	0.0664	22.9231	0.0426	0.0284
	<b>Rata-rata</b>	<b>25.50</b>	<b>1.1845</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0086</b>	<b>0.0432</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>22.8702</b>	<b>0.0428</b>	<b>0.0285</b>
0,9	1	27.50	1.1750	1.0057	0.0128	0.0643	0.0442	0.0664	25.0886	0.0580	0.0387
	2	26.35	1.1805	1.0057	0.0129	0.0866	0.0442	0.0664	23.8571	0.0821	0.0547
	3	26.90	1.1779	1.0057	0.0128	0.0748	0.0442	0.0664	24.3611	0.0694	0.0463
	4	27.00	1.1774	1.0057	0.0128	0.0774	0.0442	0.0664	24.4470	0.0715	0.0477
	5	27.00	1.1774	1.0057	0.0128	0.0774	0.0442	0.0664	24.5081	0.0714	0.0476
	<b>Rata-rata</b>	<b>26.95</b>	<b>1.1776</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0128</b>	<b>0.0761</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>24.4524</b>	<b>0.0705</b>	<b>0.0470</b>
1,2	1	27.75	1.1739	1.0057	0.0170	0.0943	0.0442	0.0664	24.7879	0.0860	0.0573
	2	27.55	1.1748	1.0057	0.0171	0.1046	0.0442	0.0664	24.6085	0.0961	0.0641
	3	28.00	1.1727	1.0057	0.0170	0.0856	0.0442	0.0664	25.1470	0.0770	0.0513
	4	27.20	1.1765	1.0057	0.0171	0.1099	0.0442	0.0664	24.2607	0.1025	0.0683
	5	27.75	1.1739	1.0057	0.0170	0.0943	0.0442	0.0664	24.8351	0.0858	0.0572
	<b>Rata-rata</b>	<b>27.65</b>	<b>1.1743</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.0978</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>24.7278</b>	<b>0.0895</b>	<b>0.0597</b>

**Tabel 6. Tabel Hasil Analisa Data untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Empat**

Kec. Udara (m/s)	No. Hasil	Udara					Luas Perm. Dalam (m <sup>2</sup> )	Luas Perm. Luar (m <sup>2</sup> )	$\Delta T_m$ (°C)	U <sub>i</sub> (kW/m <sup>2</sup> .°C)	U <sub>o</sub> (kW/m <sup>2</sup> .°C)
		T <sub>film</sub>	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg.°C)	m (kg/s)	q (kW)					
0,3	1	24.35	1.1899	1.0057	0.0043	0.0404	0.0442	0.0664	21.4393	0.0426	0.0284
	2	24.45	1.1894	1.0057	0.0043	0.0395	0.0442	0.0664	21.4198	0.0417	0.0278
	3	24.30	1.1901	1.0057	0.0043	0.0417	0.0442	0.0664	21.0914	0.0447	0.0298
	4	24.55	1.1889	1.0057	0.0043	0.0421	0.0442	0.0664	21.3250	0.0446	0.0298
	5	24.60	1.1887	1.0057	0.0043	0.0425	0.0442	0.0664	21.4129	0.0449	0.0299
	<b>Rata-rata</b>	<b>24.45</b>	<b>1.1894</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0043</b>	<b>0.0412</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>21.3377</b>	<b>0.0437</b>	<b>0.0291</b>
0,6	1	23.70	1.1929	1.0057	0.0087	0.0749	0.0442	0.0664	20.4002	0.0830	0.0553
	2	23.70	1.1929	1.0057	0.0087	0.0732	0.0442	0.0664	20.5125	0.0806	0.0538
	3	23.65	1.1932	1.0057	0.0087	0.0723	0.0442	0.0664	20.3106	0.0805	0.0537
	4	23.80	1.1925	1.0057	0.0087	0.0731	0.0442	0.0664	20.4676	0.0808	0.0539
	5	23.25	1.1951	1.0057	0.0087	0.0654	0.0442	0.0664	20.0052	0.0740	0.0493
	<b>Rata-rata</b>	<b>23.62</b>	<b>1.1933</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0087</b>	<b>0.0718</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>20.3392</b>	<b>0.0798</b>	<b>0.0532</b>
0,9	1	25.50	1.1845	1.0057	0.0129	0.1167	0.0442	0.0664	22.3625	0.1180	0.0787
	2	25.50	1.1845	1.0057	0.0129	0.1167	0.0442	0.0664	22.2508	0.1186	0.0791
	3	24.75	1.1880	1.0057	0.0129	0.1366	0.0442	0.0664	21.5007	0.1436	0.0958
	4	25.50	1.1845	1.0057	0.0129	0.1167	0.0442	0.0664	22.2058	0.1189	0.0792
	5	25.00	1.1868	1.0057	0.0129	0.1300	0.0442	0.0664	21.7998	0.1348	0.0899
	<b>Rata-rata</b>	<b>25.25</b>	<b>1.1856</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0129</b>	<b>0.1234</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>22.0239</b>	<b>0.1268</b>	<b>0.0845</b>
1,2	1	25.50	1.1845	1.0057	0.0172	0.1557	0.0442	0.0664	21.9251	0.1605	0.1070
	2	25.25	1.1856	1.0057	0.0172	0.1472	0.0442	0.0664	21.7229	0.1532	0.1021
	3	25.50	1.1845	1.0057	0.0172	0.1903	0.0442	0.0664	21.6897	0.1983	0.1322
	4	24.50	1.1892	1.0057	0.0173	0.1910	0.0442	0.0664	20.6446	0.2092	0.1394
	5	25.25	1.1856	1.0057	0.0172	0.1818	0.0442	0.0664	21.4129	0.1919	0.1280
	<b>Rata-rata</b>	<b>25.20</b>	<b>1.1859</b>	<b>1.0057</b>	<b>0.0172</b>	<b>0.1732</b>	<b>0.0442</b>	<b>0.0664</b>	<b>21.4790</b>	<b>0.1826</b>	<b>0.1217</b>

**Tabel 7. Tabel udara**

**Daftar A-5 Sifat-sifat Udara pada Tekanan Atmosfer†**

Nilai  $\mu$ ,  $k$ ,  $c_p$ , dan  $Pr$  tidak terlalu bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk rentang tekanan yang cukup luas.

$T$ , K	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ , kJ/kg · °C	$\mu$ , kg/m · s × 10 <sup>5</sup>	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>6</sup>	$k$ , W/m · °C	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>4</sup>	$Pr$
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

† Dari Natl. Bur. Stand (U. S.) Circ. 564, 1965

**Holman, J.P. 1995. Perpindahan Kalor, Jakarta: Erlangga.**



The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. It features a central yellow star with a red outline, set against a blue background. The star is surrounded by a red, flame-like or petal-like border. Above the star, a yellow banner contains the text 'POLITEKNIK NEGERI'. Below the star, another yellow banner contains the text 'UJUNG PANDANG'. The entire emblem is set against a white background.

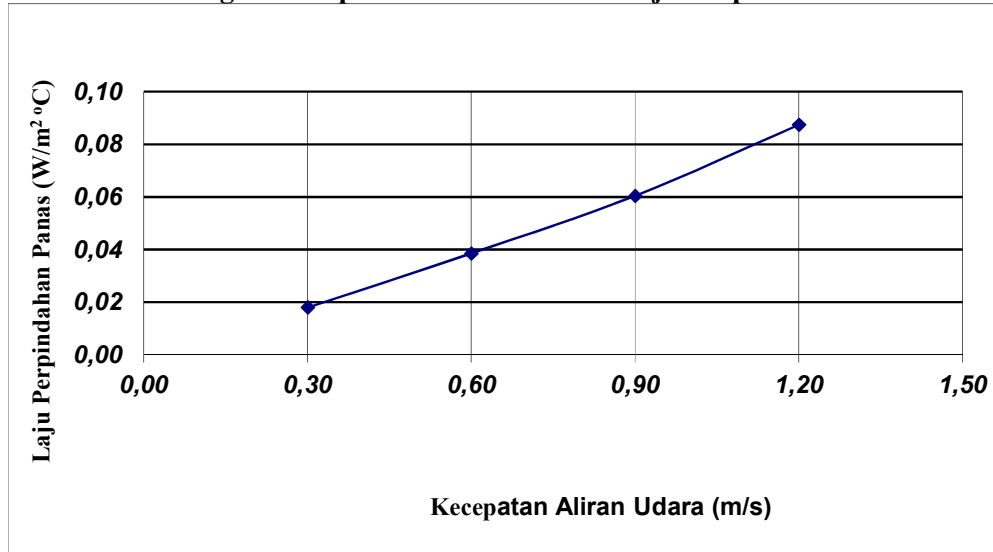
# LAMPIRAN C

Grafik hubungan  
perpindahan kalor dan  
kecepatan udara serta  
koefisien perpindahan  
panas menyeluruh

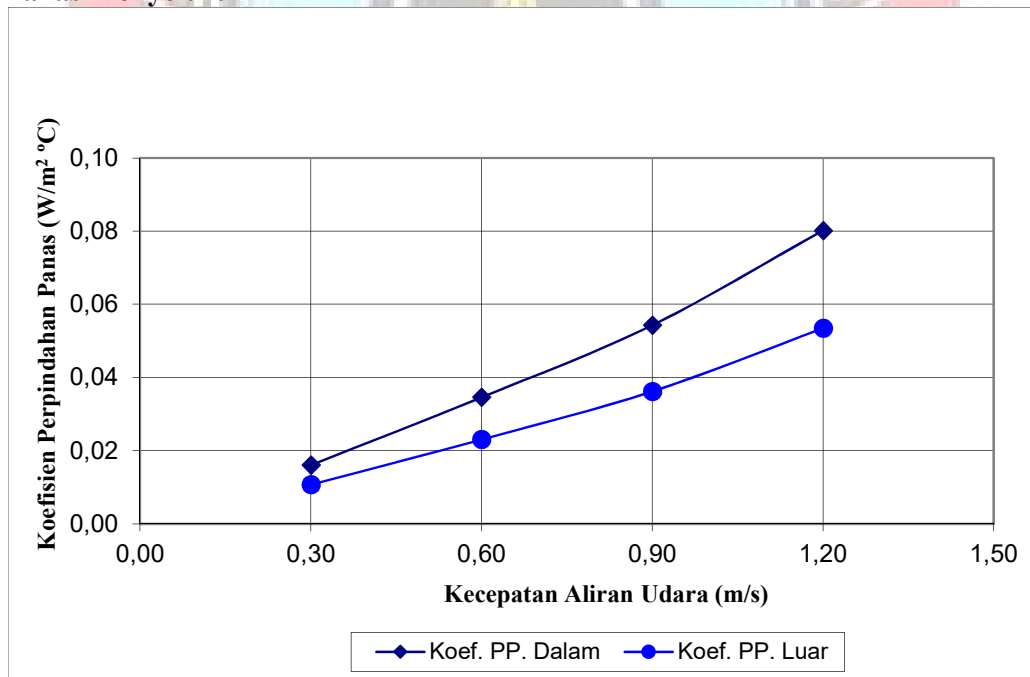
**Lampiran C.**

**Untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Satu**

**Grafik 1. Hubungan Kecepatan Aliran Udara & Laju Perpindahan Panas**



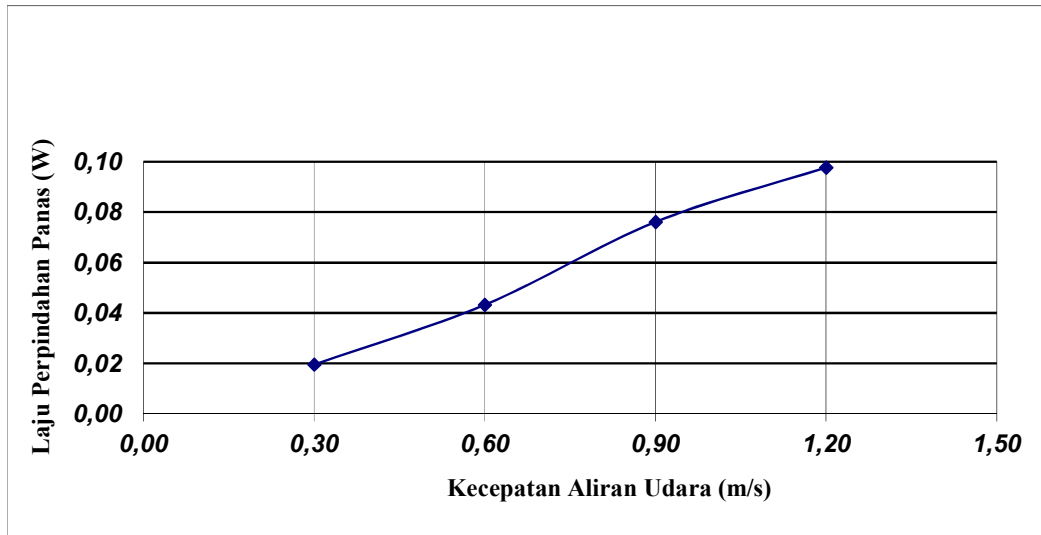
**Grafik 2. Hubungan Kecepatan Aliran Udara & Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh**



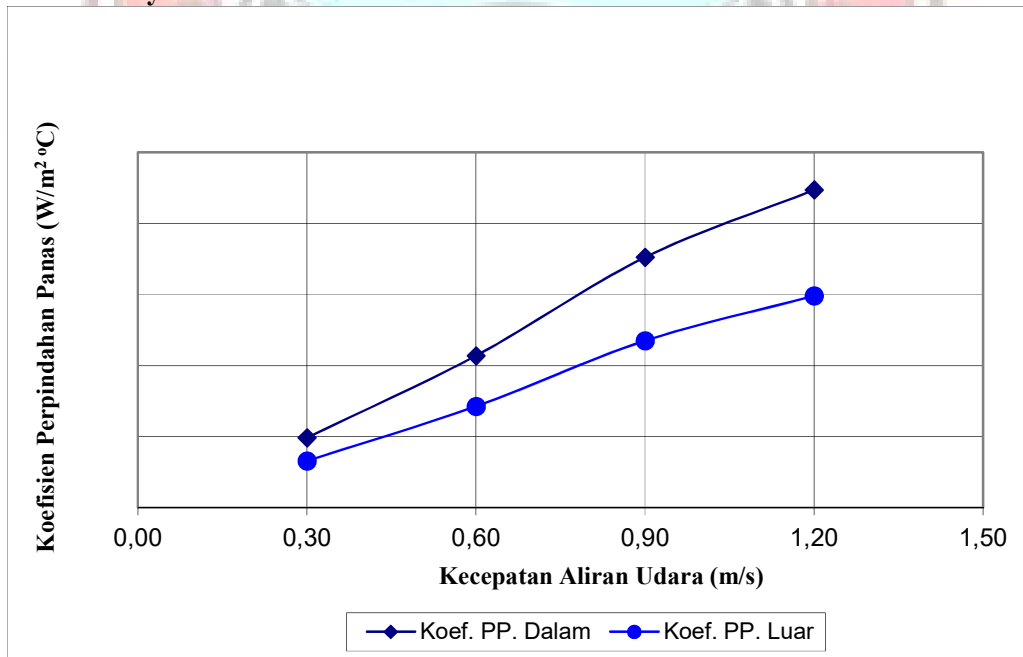
**Untuk Jenis Alat Penukar Kalor Deret Dua**

**Grafik 3. Hubungan Kecepatan Aliran Udara & Laju Perpindahan Panas.**



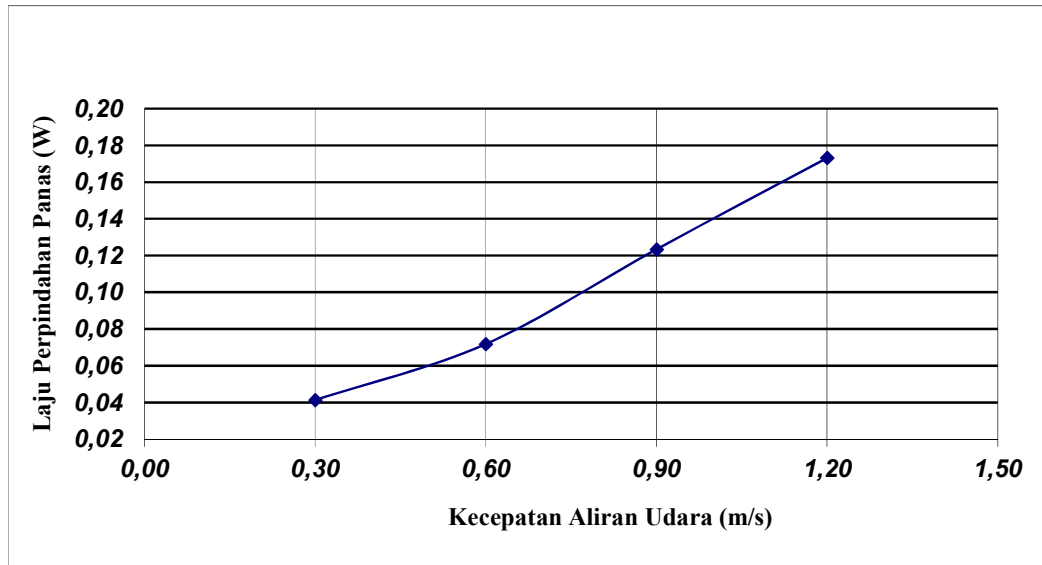


**Grafik 4. Hubungan Kecepatan Aliran Udara & Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh**

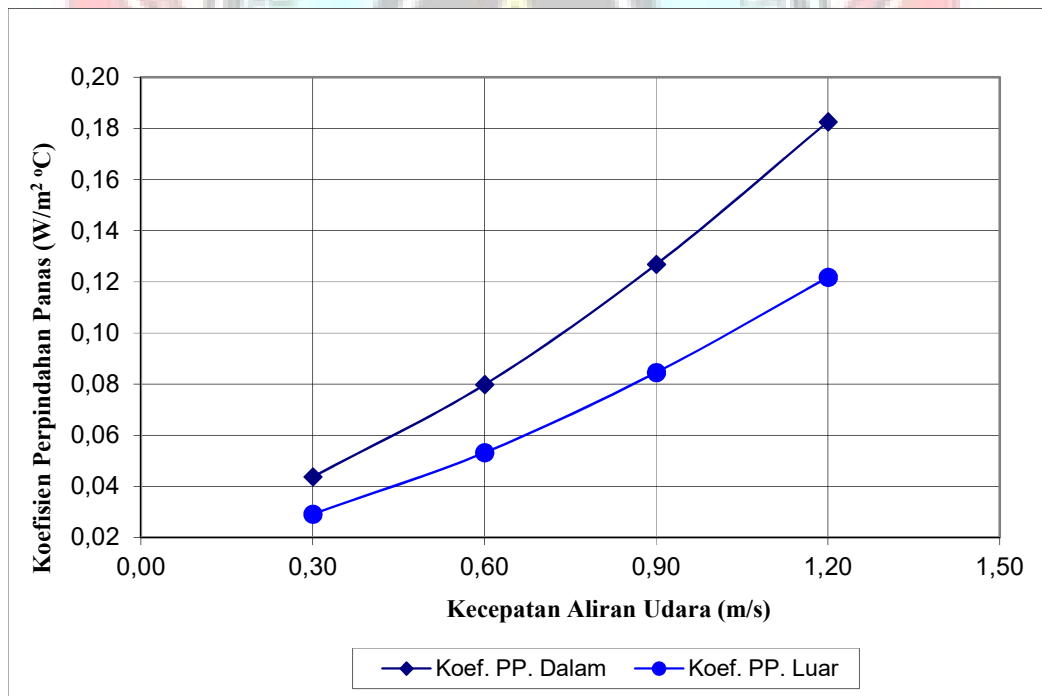


Untuk jenis Alat Penukar Kalor Deret Empa

**Grafik 5. Hubungan Kecepatan Aliran Udara & Laju Perpindahan Panas**



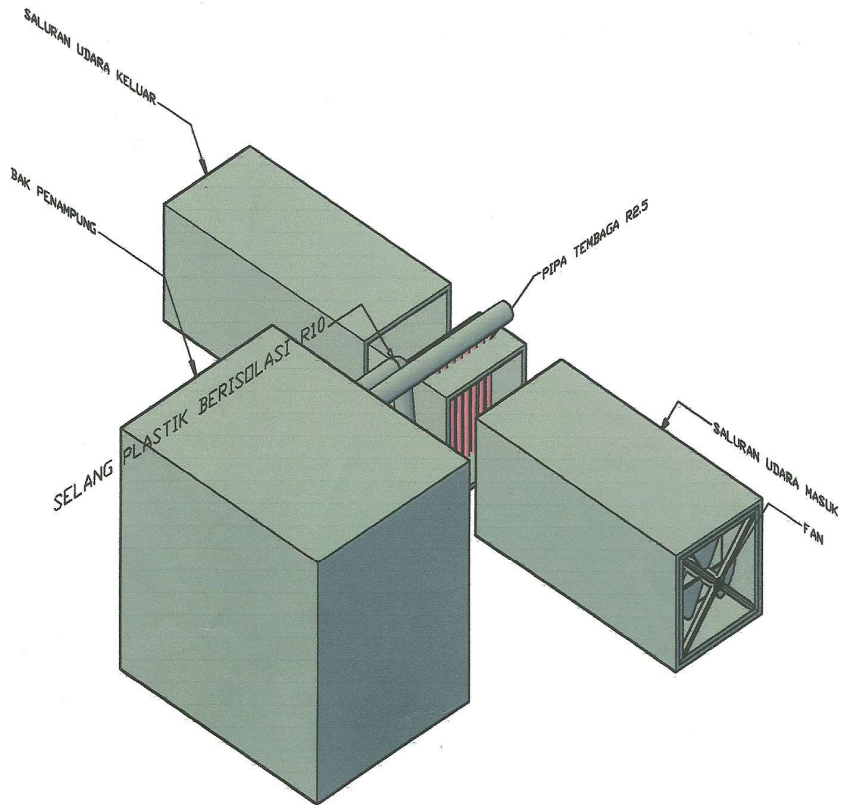
**Grafik 6. Hubungan Kecepatan Aliran Udara & Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh**



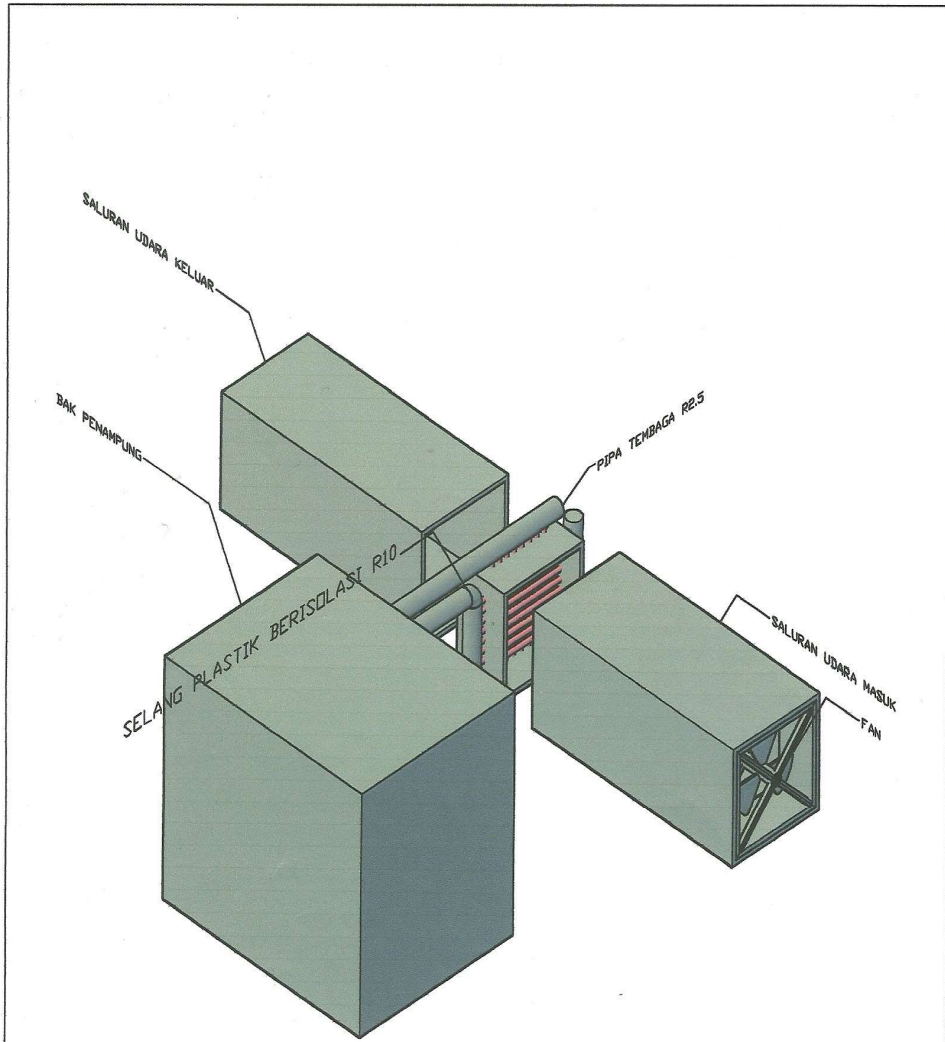
The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a yellow banner contains the text "POLITEKNIK NEGERI". The center features a stylized red bird with its wings spread, perched on a blue gear. Below the bird is a yellow banner with the text "UJUNG PANDANG".

# LAMPIRAN D

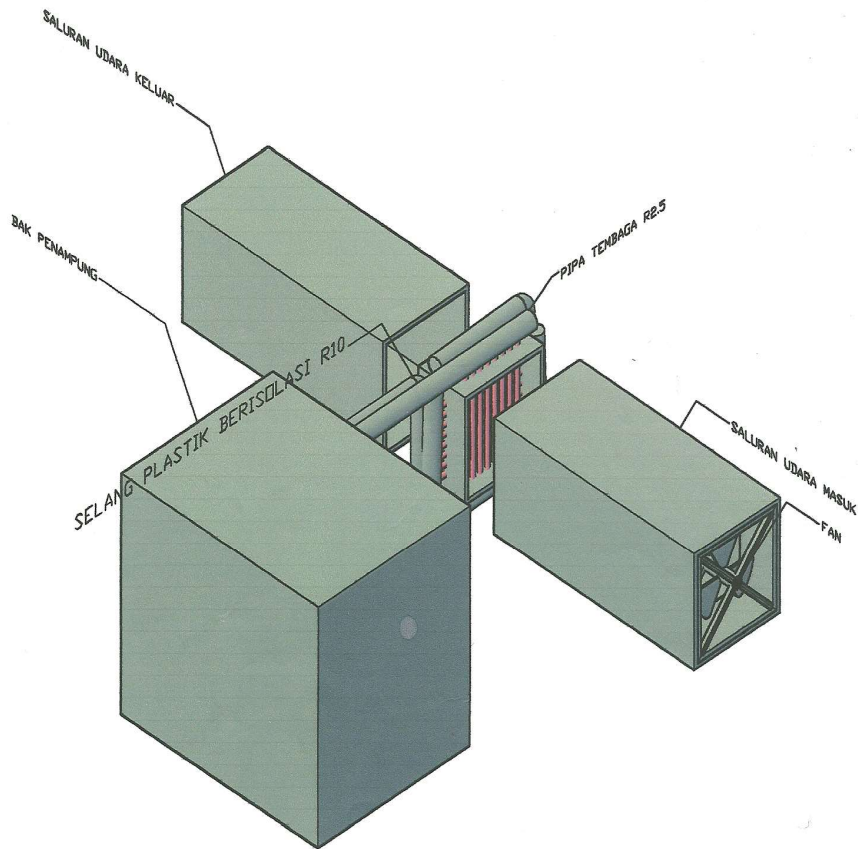
## Gambar alat



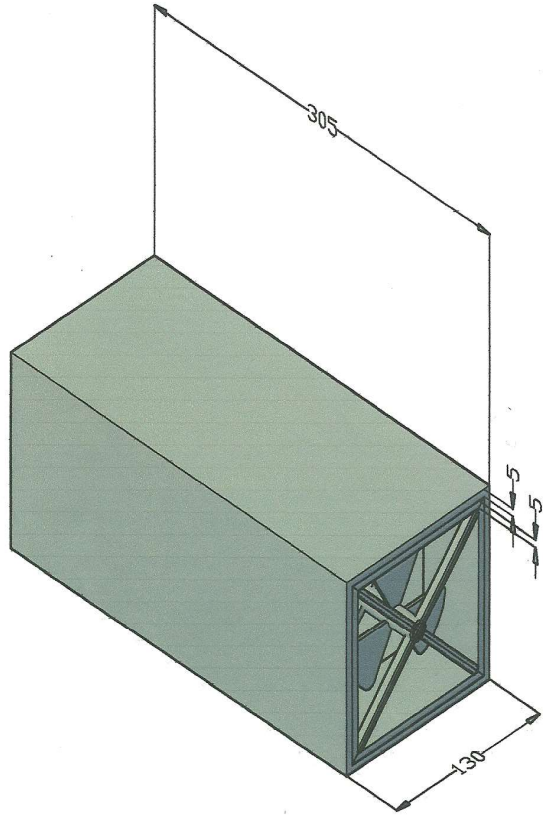
Rangkaian Pengujian Deret 1						
JUMLAH	NAMA BAGIAN		NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET
III	II	I	Perubahan			
			ALAT PENUKAR KALOR		Skala	Digambar
					1 : 5	Diperiksa
TEKNIK KONVERSI ENERGI					POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG	



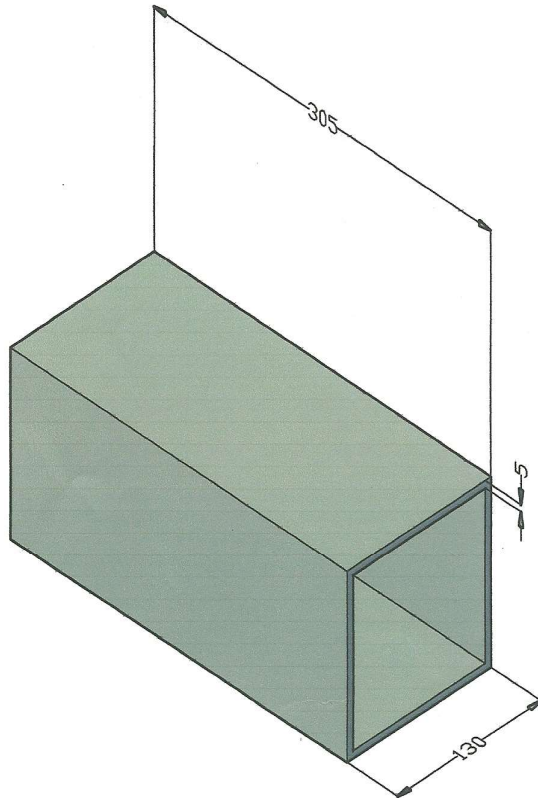
			Rangkaian Pengujian Deret 2					
JUMLAH		NAMA BAGIAN		NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET	
III	II	I	Perubahan					
			ALAT PENUKAR KALOR			Skala	Digambar	
						1 : 5	Diperiksa	
			TEKNIK KONVERSI ENERGI					
			POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG					



			Rangkaian Pengujian Deret 4					
JUMLAH		NAMA BAGIAN		NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET	
III	II	I	Perubahan					
			ALAT PENUKAR KALOR			Skala	Digambar	
						1 : 5	Diperiksa	
			TEKNIK KONVERSI ENERGI		POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG			

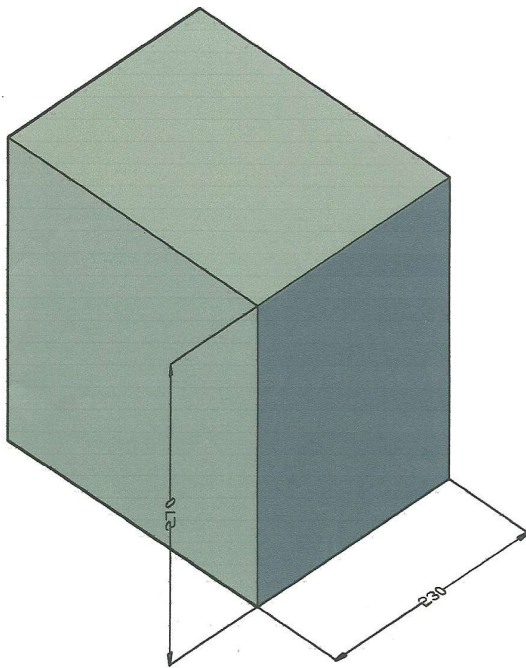


			Saluran Udara Masuk				
JUMLAH			NAMA BAGIAN	NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET
III	II	I	Perubahan				
			ALAT PENUKAR KALOR			Skala	Digambar
						1 : 3	Diperiksa
			TEKNIK KONVERSI ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				

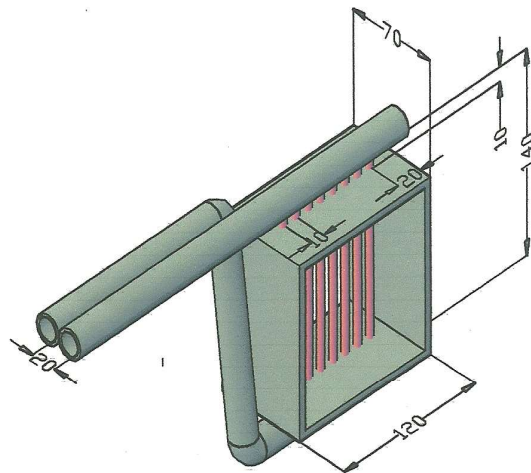


			Saluran Udara Keluar					
JUMLAH			NAMA BAGIAN	NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET	
III	II	I	Perubahan					
			ALAT PENUKAR KALOR			Skala	Digambar	
						1 : 3	Diperiksa	
			TEKNIK KONVERSI ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG					

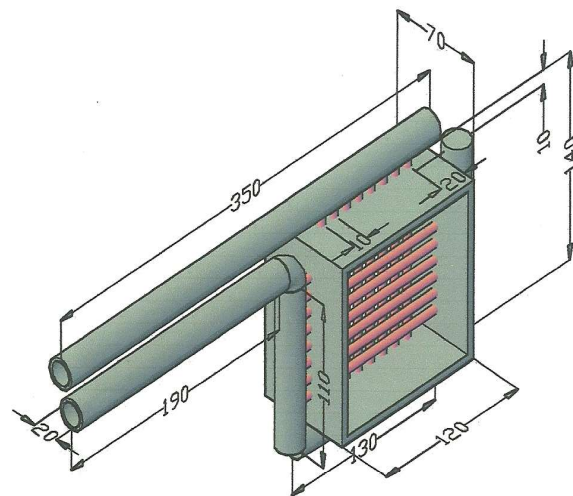




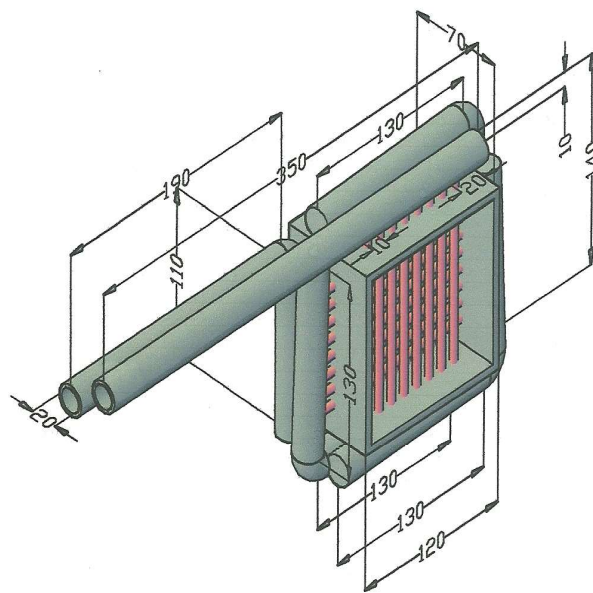
			Bak Penampung						
JUMLAH			NAMA BAGIAN	NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET		
III	II	I	Perubahan						
			ALAT PENUKAR KALOR			Skala	Digambar		
						1 : 4	Diperiksa		
			TEKNIK KONVERSI ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						



Jumlah		Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Ket
III	II	I	Perubahan			
ALAT PENUKAR KALOR					Skala	Digambar
					1 : 3	Diperiksa
TEKNIK KONVERSI ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						



			Alat Penukar Kalor 2 Deret				
JUMLAH			NAMA BAGIAN	NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET
III	II	I	Perubahan				
			ALAT PENUKAR KALOR			Skala	Digambar
						1 : 3	Diperiksa
			TEKNIK KONVERSI ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				



			Alat Penukar Kalar Deret 4				
JUMLAH			NAMA BAGIAN	NO.BAG	BAHAN	UKURAN	KET
III	II	I	Perubahan				
			ALAT PENUKAR KALOR			Skala	Digambar
						1 : 3	Diperiksa
			TEKNIK KONVERSI ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				



# LAMPIRAN E

Foto alat dan proses pengambilan data

## Lampiran E

### Foto alat dan proses pengambilan data



Foto 1. Saluran udara keluar.

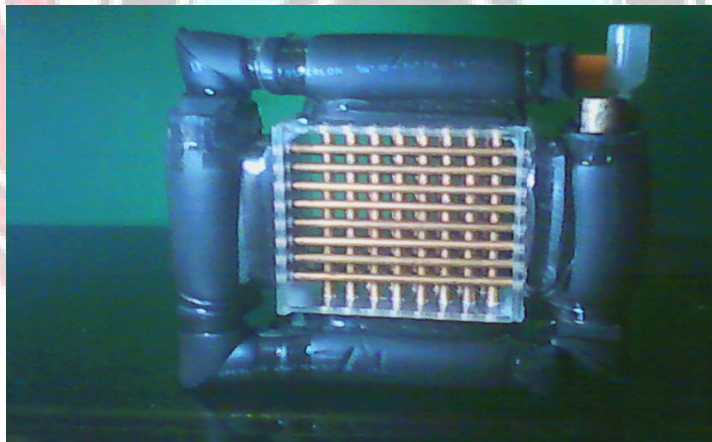


Foto 2. Saluran udara masuk menggunakan Fan.

UJUNG PANDANG



**Foto 3. Bak penampungan air.**



**Foto 4. Alat penukar kalor.**

UJUNG PANDANG





Foto 5. Pompa air.



Foto 6. Thermometer.





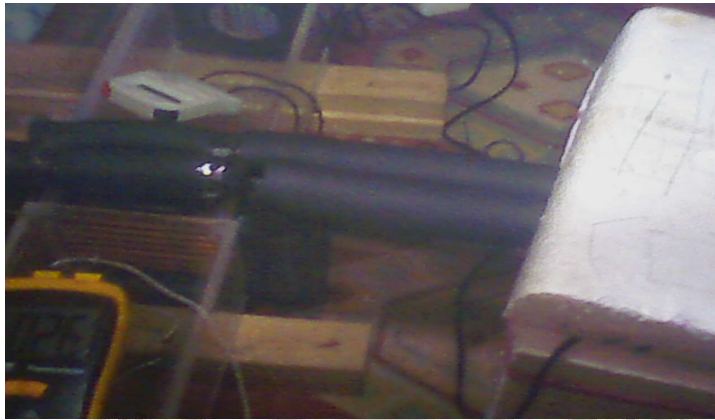
**Foto 7. Anemometer.**



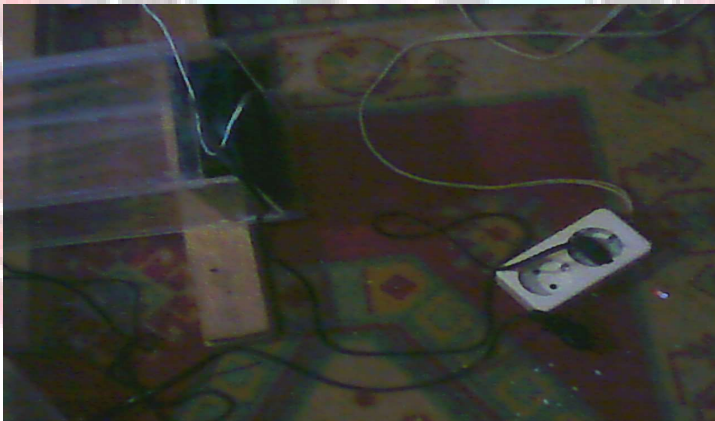
**Foto 8. Proses Pengambilan Data.**



**Foto 9. Proses Pengambilan Data.**



**Foto 10. Proses Pengambilan Data.**



**Foto 11. Proses Pengambilan Data.**

UJUNG PANDANG