

**TUGAS SARJANA**

**KONVERSI ENERGI**

**PENGARUH JARAK SIRIP TERHADAP UNJUK KERJA  
ALAT PENUKAR KALOR TABUNG BERSIRIP ( *FIN – TUBE* )  
SUSUNAN TABUNG SEJENIS SEJAJAR MENGGUNAKAN  
SIRIP LINGKARAN**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun oleh :**

**NAMA : AJHARI AGUSTIAN MUNTHE**

**NPM : 1307230254**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN- I**

**TUGAS SARJANA**

**PENGARUH JARAK SIRIP TERHADAP UNJUK  
KERJA ALAT PENUKAR KALOR TABUNGBERSIRIP  
( *FIN – TUBE* ) SUSUNANTABUNGSEJENIS SEJAJAR  
MENGUNAKANSIRIP LINGKARAN**

Disusun Oleh :

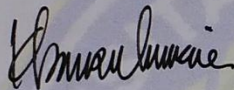
AJHARI AGUSTIAN MUNTHE

1307230254

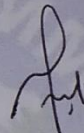
Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Pembimbing – I

Pembimbing – II



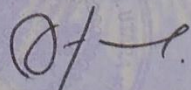
(Khairul Umurani,S.T.,M.T)



(H. Muharnif M,S.T.,M.Sc)

Diketahui oleh :

Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Affandi,S.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN - II**  
**TUGAS SARJANA**  
**PENGARUH JARAK SIRIP TERHADAP UNJUK**  
**KERJA ALAT PENUKAR KALOR TABUNGBERSIRIP**  
**( FIN – TUBE ) SUSUNAN TABUNGSEJENIS**  
**SEJAJAR MENGGUNAKAN SIRIP LINGKARAN**

Disusun Oleh :

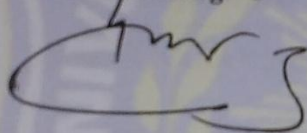
AJHARI AGUSTIAN MUNTHE

1307230254

Telahdiperiksadandiperbaiki  
Pada seminar tanggal 19 oktober 2016

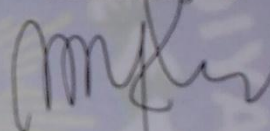
Disetujui Oleh :

Pembanding – I



(Munawar A. Siregar, S.T.,M.T)

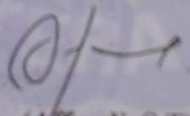
Pembanding – II



(M Yani, S.T.,M.T)

Diketahui oleh :

Ka.Program Studi TeknikMesin



(Affandi, S.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2017**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
**FAKULTAS TEKNIK**  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –  
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238  
Website : <http://www.umsu.ac.id>

Untuk menjawab surat ini agar disebutkan  
nama dan tanggalnya

**DAFTAR SPESIPIKASI**  
**TUGAS SARJANA**

Nama Mahasiswa : AJHARI AGUSTIAN MUNTHE

NPM : 1307230254

Semester : IX

SPESIPIKASI :

**PENGARUH JARAK SIRIP TERHADAP UNJUK KERJA ALAT PENUKAR  
KALOR TABUNG BERSIRIP (FIN – TUBE ) SUSUNAN TABUNG SEJENIS  
SEJAJAR MENGGUNAKAN SIRIP LINGKARAN**

Diberikan Tanggal : 3 Agustus 2017

Selesai Tanggal : 13 Oktober 2017

Asistensi : Seminggu Sekali

Tempat Asistensi : Kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

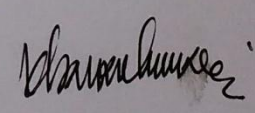
Medan,.....

Diketahui oleh :

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Dosen Pembimbing – I

  
( AFFANDI, S.T )

  
(KHAIRUL UMURAN, S.T, M.T)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –  
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238  
Website : <http://www.umsu.ac.id>

DAFTAR HADIR ASISTENSI

NAMA : AJHARI AGUSTIAN PEMBIMBING – I : KHAIRUL UMURAN, S.T, M.T  
MUNTHE  
NPM : 1307230254 PEMBIMBING – II : H. MUHARNIF, S.T, M.Sc

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1.	3/8-2017	Perbincangan spesifikasi tugas	ke
2.	10/8-2017	Perbincangan mengenai masalah	ke
3.	22/8-2017	Perbincangan studi masalah	ke
4.	29/8-2017	Perbincangan perbincangan Analisa Data	ke
5.	6/9-2017	Perbincangan Metode	ke
6.	13/9-2017	Lanjutan keperencanaan II	ke
7.	2/10-2017	Perbincangan Rumus	ke
8.	9/10-2017	Perbincangan Spesifikasi	ke
9.	16/10-2017	Perbincangan tugas khusus	ke
10.	12/10-2017	Perbincangan tabel temperatur	ke
11.	13/10-2017	Alle Seminar	ke

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK - UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2017 - 2018**

Peserta seminar

Nama

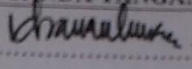
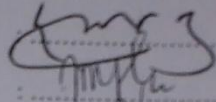
NPM











Judul Tugas Akhir

: Ajhari Agustian Munthe  
: 1307230254

: Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tabung Bersirip ( Fin Tube ) Susunan Tabung Se - Jenis Sejajar Menggunakan Sirip Lingkaran.

**DAFTAR HADIR**

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN
Pembimbing - I	: Khairul Umurani.S.T.M.T	
Pembimbing - II	: H.Muharnif.S.T.M.Sc	: .....
Pembanding - I	: Munawar A Siregar.S.T.M.T	
Pembanding - II	: M.Yani.S.T.M.T	: .....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1207230126	MHD.ZULFahmi Siregar	
2	1307230253	SUPRI MAUDUDI	
3	1307230120	DENY PRASTIO	
4	1307230209	MUHAMMAD JAHARI	
5	1307230291	HENDRA CAPUT RA	
6	1207230095	RIFAN KRISTI PRAMANDA NST	
7	1207230256	KHJISMO HANDOKO	
8	1207230244	ADWI LAHMALI	
9	1207230208	Khaidir Arfan	
10	1207230071	ANDI PRASOTIA	

Medan, 29 Muharram 1439 H  
19 Oktober 2017 M

Ka.Prodi Teknik Mesin

  
Affandi.S.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTAR

NAMA : Ajhari Agustian Munthe  
NPM : 1307230254  
Judul T.Akhir : Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor  
Tabung Bersirip( Fin-Tube ) Susunan Tabung Sejenis Sejajar  
Menggunakan Sirip Lingkaran.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen pembanding - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : M.Yani.S.T.M.T

KEPUTUSAN

- 1.Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- 2.Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*- Perbaiki BAB I dan III*  
*- Penjelasan hasil per. kutipan*  
*- Siapkan grafik yg ada*

- 3.Harus mengikuti seminar kembali


Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

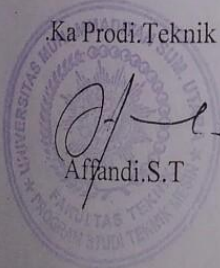
Medan 29 Muharram 1439 H  
19 Oktober 2017 M

Diketahui :

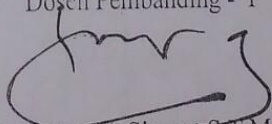
Ka Prodi.Teknik Mesin



Affandi.S.T



Dosen Pembanding - I



Munawar A Siregar.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTAR

NAMA : Ajhari Agustian Munthe  
NPM : 1307230254  
Judul T.Akhir : Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor  
Tabung Bersirip( Fin-Tube ) Susunan Tabung Sejenis Sejajar  
Menggunakan Sirip Lingkaran.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen pembanding - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : M.Yani.S.T.M.T

KEPUTUSAN

- 1.Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- 2.Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*perbaikan → ukuran + tinggi & bersipipak harus sejalan*

- 3.Harus mengikuti seminar kembali

Perbaikan :

Medan 29 Muharram 1439 H  
19 Oktober 2017 M

Diketahui :

Ka Prodi.Teknik Mesin

*Affandi.S.T*

Dosen Pembanding - II

*M.Yani*  
M.Yani.S.T.M.T



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS SARJANA

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Ajhari Agustian Munthe  
Tempat / Tanggal Lahir : Gunung Lonceng, 16 Agustus 1993  
NPM : 1307230254  
Bidang Konsentrasi : Konversi Energi  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas sarjana saya ini yang berjudul :

**“PENGARUH JARAK SIRIP TERHADAP UNJUK KERJA ALAT PENUKAR KALOR TABUNG BERSIRIP (FIN-TUBE) SUSUNAN TABUNG SEJENIS SEJAJAR MENGGUNAKAN SIRIP LINGKARAN”**

Bukan merupakan pencurian hasil karya milik orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas sarjana saya secara orsinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Oktober 2017

Saya yang menyatakan,


Ajhari Agustian Munthe

## ABSTRAK

Compact *heat exchanger* merupakan salah satu tipe dari alat penukar kalor ( *heat exchanger* ) yang memiliki luasa perpindahan panas per unit volume yang paling besar (  $\geq 400 \text{ m}^2/\text{m}^3$  for liquids dan  $\geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$  for gases ) yang tersusun dari *fin and tube*. Pada studi *fin and tube heat exchanger* ini, menggunakan 49 fin dengan dimensi 350mm x 350mm untuk penyusunan tube *inlined* dan 350mm x 350 untuk penyusunan tube stragerred, serta menggunakan 25 tube dengan diameter 12,7mm dan panjang 120mm. Dari hasil studi ini dapat diketahui bahwa bahwa *fin and tube heat exchanger* dengan susunan tube stragerred memiliki koefisien perpindahan panas menyeluruh yang baik di bandingkan dengan susunan *tube inline*.

**Kata Kunci : Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tabung Bersirip ( *fin-tube* ) Sununan Tabung Sejenis Sejajar Menggunakan Sirip Lingkaran.**

## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT , karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini dengan lancar. Tugas Sarjana ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa Program Studi Tehnik Mesin Fakultas Tehnik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam menyelesaikan studinya.

Adapun judul dari Tugas Akhir yang di ambil oleh penulis adalah **“Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tabung Bersirip ( *Fin – Tube* ) Susunan Tabung Sejenis Sejajar Menggunakan Sirip Lingkaran”**.

Dalam menyelesaikan tugas ini penulis banyak mengalami hambatan dan rintangan yang di sebabkan minimnya pengetahuan dan pengalaman penulis, namun berkat petunjuk Allah SWT yang terus menerus hadir dan atas kerja keras penulis, dan atas banyaknya bimbingan dari pada dosen pembimbing , serta bantuan moril maupun material dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas Sarjana ini.

Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahanda Alm Sori Muda Munthe, Ibunda Masliah Pasaribu, dimana cinta yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik serta selalu memberikan Suport dan doa yang tulus ,ikhlas, dengan penuh kasih sayang, nasehat dan kerja keras kalian anak mu ini sampai ke titik ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Tekhnik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku wakil Dekan III Fakultas Tehnik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan serta perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
4. Bapak H. Muharnif M, S.T., M.Sc , selaku Dosen Pembimbing Iiyang telah banyak memberi bimbingan dan arahan serta perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
5. Bapak Affandi, S.T, Selaku Ketua Program Studi Tehnik Mesin Fakultas Tehnik Universitas muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Tehnik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan selama di bangku kuliah.
8. Orang tua dari Hendra Saputra yang telah banyak membantu dan menyediakan tempat untuk pembuatan alat tugas sarjana ini.
9. Rekan rekan seperjuangan Deddy Setiawan, Dwi Septian, Hendra Saputa, Fiki Hanafi Lubis, Yang selalu mensupport satu sama lain dan bekerja keras hingga terealisasinya tugas sarjana ini.
10. Terima kasih juga teman teman seperjuangan stambuk 2013 Abdie Saputra, Akbar Kelana, Arie Indra Wirantara, Bambang Katresnan, Jefri Suarno, Nanda setiawan, Dedi Arianto, Mahmud Rizal, yang telah banyak memberi masukan yang sangat membangun kepada penulis.
11. Terima kasih juga kepada Ucup, Jodi Kurniawan, Agus Ananda perdana Munthe, Reni Munthe, yang telah banyak membantu secara moril ataupun materi.
12. Terima kasih juga saya ucapkan kepada Aida Nasma, S.Pd.i. Yang telah banyak memberimotifasidanda.
13. Dan akhir kata saya ucapkan terima kasih kepada abang saya Abdullah Munthe, Amri Munthe dan kakak saya yang selalu memberi dukungan dan motifasi yang sangat membantu penulis menyelesaikan Tugas Sarjana ini.

Penulis Menyadari bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dadapenulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulis tugas Sarjana ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah selalu merendahkan hati atas segala pengetahuanyang kita miliki. Amin Ya Rabbal Alamin.

Bilahi fil shabali haq, fastabiqul khairat.

Wassaamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, Oktober 2017

Penulis

AJHARI AGUSTIAN MUNTHE

1307230254

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN – I</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN – II</b>	
<b>LEMBAR SPESIFIKASI</b>	
<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
<b>ABSTRAK</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>ix</b>
<b>BAB 1      PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.4.1. Tujuan Umum	4
1.4.2. Tujuan Khusus	4
1.5. Manfaat Penulisan	5
1.6. Metode Penulisan	5
1.7. Sistematika Penulisan	5
<b>BAB 2      TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
2.1. Pengertian <i>Compact Heat Exchanger</i>	7
2.2. Mekanisme Perpindahan Panas	9
2.3. Klasifikasi APK	9
2.3.1. APK Aliran Sejajar	11
2.4. Proses Perpindahan Kalor	12
2.4.1. Perpindahan Kalor Secara Konduksi	12
2.4.2. Perpindahan Kalor Secara Konveksi	13
2.4.3. Perpindahan Kalor Secara Radiasi	15
2.5. <i>Fin-Tube</i> Detail	16
2.6. Perancangan APK Tipe " <i>Fine-Tube</i> "	17
2.7. Laju Perpindahan Kalor Pada APK Susunan Sejajar	18
2.8. Lapis Batas Thermal	19
2.8.1. Panjang masuk Thermal Dan Hidrodinamik	19
2.8.2. Aliran Terbentuk Penuh	20
2.9. Tekanan	20
2.1.0. Komponen Dasar Penyusun HE	21
2.1.1. Pengumpulan Data	23
2.1.2. Parameter Yang Digunakan	26

<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>27</b>
3.1.	Tempat dan Waktu	27
	3.1.1. Tempat	27
	3.1.2. Waktu	27
3.2.	Kerangka Konsep Penelitian	27
3.3.	Rancangan Alat Penelitian	28
3.4.	Bahan Dan Alat	29
	3.4.1. Bahan	29
	3.4.2. Rancangan Pembangkit Vorteks	30
	3.4.3. Alat Penguji	30
	3.4.4. Alat-Alat Yang Diuji	39
3.5.	Skema Uji Eksperimental	41
3.6.	Diagram Alir Studi Eksperimental	42
3.7.	Prosedur Studi Eksperimental	43
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>47</b>
4.1.	Data Hasil Studi Experimental	47
4.2.	Perhitungan Hasil Studi Eksperimental	47
4.3.	Grapik Perbandingan q udara dengan efektifas	54
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>55</b>
5.1.	Kesimpulan	55
5.2.	Saran	55

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**  
**CURRICULUM VITAE**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Compact heat exchanger	7
Gambar 2.2	Konstruksi plate heat exchanger	8
Gambar 2.3	Mekanisme perpindahan panas	9
Gambar 2.4	Propil temperature alat penukar kalor aliran sejajar	11
Gambar 2.5	Proses perpindahan kalor	12
Gambar 2.6	Proses perpindahan kalor secara konduksi	12
Gambar 2.7	Propil suhu konduksi	13
Gambar 2.8	Mekanisme perpindahan panas secara konveksi	14
Gambar 2.9	Perpindahan panas konduksi, konveksi, radiasi	15
Gambar 2.10	Manometer differensial	21
Gambar 2.11	Arduino UNO	27
Gambar 3.1	Kerangka konsep penelitian	28
Gambar 3.2	Rancangan APK tipe kompak dan susunan sirip	30
Gambar 3.3	Sub sonic wind tunnel	31
Gambar 3.4	Blower ( kipas)	31
Gambar 3.5	Pompa air	32
Gambar 3.6	Katup bypass	33
Gambar 3.7	Hot wire anemometer	33
Gambar 3.8	Manometer U	34
Gambar 3.9	Tangki pemanas dan heater	35
Gambar 3.10	Water flow sensor	35
Gambar 3.11	Relay	36
Gambar 3.12	Sensor Temperatur LM35	37
Gambar 3.13	Arduino Uno	37
Gambar 3.14	Laptop	38
Gambar 3.15	Fine and tube susunan sejajar dengan sirip linkaran	39
Gambar 3.16	Fine and tube susunan selang-seling dengan sirip petak	39
Gambar 3.17	Fine and tube susunan sejajar sirip petak	40
Gambar 3.18	Fine and tube susunan selang-seling dengan sirip linkaran	40
Gambar 3.19	Spesimen fin alat penukar kalor yang akan diuji	40
Gambar 3.20	Skema uji eksperimental	41
Gambar 3.21	Diagram aliran studi eksperimental	42
Gambar 3.22	Peletakan fine and tube heat exchanger	44
Gambar 3.23	Posisi sensor temperatur LM35	44
Gambar 3.24	Posisi water flow sensor	44
Gambar 3.25	Posisi hot wire anemometer	45
Gambar 3.26	Bukaan katup bypass	46
Gambar 4.1	Nu Udara vs Re udara pada bukaan katup 100	54
Gambar 4.2	Nu udara vs Re udara pada bukaan katup 50	55

- Gambar 4.3 Nu udara vs M udara pada bukaan katup 100  
55
- Gambar 4.4 Nu udara vs M udara pada bukaan katup 50  
56
- Gambar 4.5 Tout udara vs M udara pada bukaan katup 100  
56
- Gambar 4.6 Tout udara vs M udara pada bukaan katup 50  
57
- Gambar 4.7 Efektifitas vs M udara pada bukaan katup 100  
57
- Gambar 4.8 Efektifitas vs M udara pada bukaan katup 50  
58
- Gambar 4.9 Q udara vs Re udara pada bukaan katup 100  
58
- Gambar 4.10 Q udara vs Re udara pada bukaan katup 50  
59



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Data Arduino	47
Tabel 4.2.	<i>Fluida property</i> udara berdasarkan temperatur	48
Tabel 4.3.	<i>Fluida property</i> air berdasarkan temperatur	48

## NOMEN KLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
Q	Laju perpindahan panas	Watt
A	Luas penampang	m <sup>2</sup>
K	Konduktifitas termal	W/m.°C
ΔT	Perbedaan temperatur	°C
H	Koefisien konveksi	W/m <sup>2</sup> .°C
T <sub>w</sub>	Temperatur dinding	°C
T <sub>∞</sub>	Temperatur sekeliling	°C
T <sub>c</sub>	Temperatur udara	°C
T <sub>h</sub>	Temperatur Air	°C
P	Massa jenis	Kg/m <sup>3</sup>
M	Massa	Kg
Sg	<i>Spesific Gravity</i>	
P	Tekanan	Pa
F	Gaya	N
μ	Viskositas dinamik	Kg/m.s
Y	Viskositas kinematik	m <sup>2</sup> /s
ṁ	Laju aliran massa	Kg/s
Re	Bilangan reynold	
V	Kecepatan	m/s
Dh	Diameter hidrolik	M
A <sub>T</sub>	Luas area perpindahan panas	M
T <sub>in</sub>	Temperatur masuk	°C
T <sub>out</sub>	Temperatur keluar	°C
ΔT LMTD	<i>Long Mean Temperature Different</i>	°C
Nu	Bilangan nusselt	
Pr	Bilangan prandalt	
F	Faktor gesekan	
G	Kecepatan massa	Kg.m <sup>2</sup> /s
N	Jumlah baris pada APK	
U	Koefisien perpindahan panas menyeluruh	W/m <sup>2</sup> .°C

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1.Latar Belakang

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menukarkan energi dalam bentuk panas antara fluida yang berbeda temperatur yang dapat terjadi melalui kontak langsung maupun secara kontak tidak langsung. Fluida yang bertukar energi dapat berupa fluida yang sama fasanya (cair ke cair atau gas ke gas) atau dua fluida yang berbeda fasanya. Ada berbagai macam alat penukar kalor berdasarkan bentuknya anantara lain :

1. Alat Penukar Kalor *Fin-Tube*
2. Alat Penukar Kalor *Shell dan Tube*
3. Alat Penukar Kalor *Coildan Box*
4. Alat Penukar Kalor *Doubledan Pipe*

Alat penukar kalor sangat berpengaruh dalam industri terhadap keberhasilan keseluruhan rangkaian proses, karena kegagalan operasi alat ini baik akibat kegagalan mekanikal maupun opsional dapat menyebabkan berhentinya operasi unit. Maka suatu alat penukar kalor (*Heat exchanger*) dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar dapat diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap suatu operasional unit.

Salah satu karakteristik unjuk kerja dari penukar panas ini adalah efektivitas penukar panas. Pada pengujian ini penukar kalor yang digunakan adalah Penukar Kalor tipe (*fin-tube*) dengan bahan dasar aluminium, fin-tube exchanger ini mempunyai kelebihan dibandingkan dengan

penukar kalor tipe yang lainnya, yaitu kemudahan alat ini untuk dibuka dan dilepaskan dari rangkainya sehingga memungkinkan pembersihan dan perawatan yang lebih baik dan mudah.

Selain daripada itu, alat ini juga cocok digunakan untuk fluida cair dengan nilai viskositas tinggi atau nilai turbulensi rendah, sebab mempunyai permukaan perpindahan panas yang bergelombang sehingga menyebabkan turbulensi dari aliran fluida menjadi lebih tinggi dan otomatis perpindahan panas yang terjadi akan lebih efisien walaupun perbedaan temperatur antara fluida panas dengan fluida dingin tidak terlalu jauh, tetapi dalam penelitian ini kita menggunakan plat dengan permukaan rata.

Untuk mendapatkan efektifitas dari penukar panas dilakukan dengan cara meningkatkan luas permukaan perpindahan panas, dan dengan jarak antar plat (rongga) yang tidak terlalu jauh. Maka dalam penelitian bertujuan untuk meneliti efektifitas dari penukar kalor yang mempunyai dimensi 350 mm x 350mm dengan jarak antar plat 15mm, dan mengetahui efektifitas dari penukar kalor tersebut pada aliran searah (cross flow) serta akan dilakukan variasi, temperature (temperature yang diuji adalah 50°C, 60°C, 70°C ), dan debit dari fluida yang bekerja pada penelitian ini.

APK *compact* direncanakan untuk mendapatkan unjuk kerja yang maksimal melalui konfigurasi beda temperatur, laju aliran fluida, kecepatan, *pressure drop*, dan sebagainya. Konfigurasi unjuk kerja ini dapat ditinjau dengan melakukan eksperimen sehingga data – data yang di butuhkan di peroleh dari perangkat alat pengukur. Dalam suatu eksperimen sanagt banyak metode atau simulasi yang dapat di pergunakan untuk menghasilkan data yang akurat, di

antaranya penggunaan aplikasi *software* Visual Basic, Arduino dan lain sebagainya. Masing – masing aplikasi software ini memiliki kemampuan yang berbeda. Untuk aplikasi *software* Arduino di lengkapi dengan sensor – sensor yang terhubung dengan laptop untuk merekam data sesuai kebutuhan.

Berdasarkan latar belakang di atas maka penukis telah melakukan studi eksperimen di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas muhammadiyah Sumatera Utara yang dijadikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tabung Bersirip ( *FIN – TUBE* ) Susunan Tabung Sejenis Sejajar Menggunakan Sirip Lingkaran”**

## 1.2. Rumusan Masalah

Sesuai dengan uraian di atas dapat di tarik beberapa hal yang menjadi permasalahan yaitu:

1. Bagaimanakah pengaruh laju perpindahan massa air jika katup *bypass* di buka penuh terhadap unjuk kerja alat penukar kalor tabung bersirip (*Fin – Tube*) susunan tabung sejajar.
2. Apakah variasi kecepatan udara ( speed kipas di posisikan 1,2 dan 3 ) dapat mempengaruhi perpindahan panas pada *compact heat exchanger*

## 1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah di perlukan untuk menghindari pembahasan atau pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan permasalahan dapat dengan mudah di laksanakan. Adapun batasan-batasan masalah dalam tugas sarjana ini adalah:

1. Alat penukar kalor yang digunakan adalah *compact heat exchanger* jenis *fin and tube*.
2. Susunan tube yang digunakan yaitu susunan sejajar (*inline*) dan susunan selang-seling (*staggerred*).
3. Fluida yang digunakan yaitu air dan udara.

## 1.4. Tujuan Penelitian

### 1.4.1. Tujuan Umum :

1. Pengaruh jarak sirip terhadap unjuk kerja alat penukar kalor tabung bersirip (*Fin– Tube*) susunan tabung sejajar menggunakan sirip lingkaran.

#### **2.4.2. Tujuan Khusus :**

1. Untuk mendapatkan koefisien perpindahan panas menyeluruh.
2. Untuk mendapatkan efektifitas Alat Penukar Kalor.

#### **1.5. Manfaat Penulisan Dari Tugas Akhir Ini Adalah:**

1. Sebagai sumbangan informasi berkaitan dengan Alat Penukar Kalor yang di modifikasi dari peneliti sebelumnya.
2. Meningkatkan kualitas penelitian dan penulisan tentang Perancangan Alat Compact Heat Exchanger.
3. Memberi tambahan referensi di bidang Analisa maupun di mata kuliah “Alat penukar Kalor”

#### **1.6. Metode Penulisan:**

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mempergunakan beberapa metode, antara lain :

1. Melakukan studi literature dengan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan Tugas Akhir yang disusun.
2. Melakukan wawancara dengan pihak-pihak yang dapat membantu dalam kelancaran penyusunan Tugas Akhir ini.

#### **1.7. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan mencakup keseluruhan isi penulisan yang diuraikan oleh masing-masing bab. Sistematika penulisan yang dibuat adalah sebagai berikut:

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini membahas tentang latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini akan diterangkan mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan pembahasan Compact Heat Exchanger, dan system kerja Heat Exchanger.

## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Pada bab ini proses perancangan pada alat Compact Head Exchanger.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini penulis akan mengolah data-data yang di peroleh dan membandingkannya serta merancang dari hasil yang telah didapat maka solusi dari permasalahan dapat dihadapi.

## **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan-kesimpulan dan saran-saran yang didapat dari hasil pembahasan dan pengamatan penulis.

## **PENUTUP**

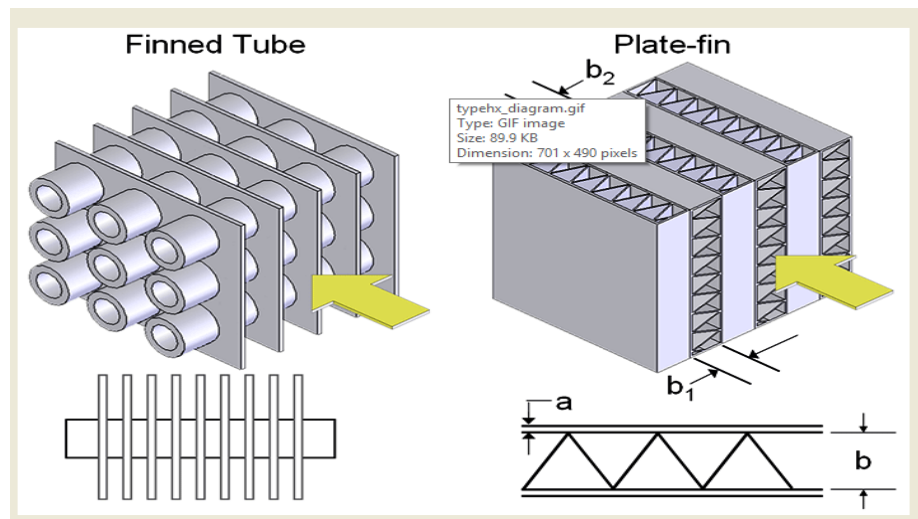


## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengertian Compact Heat Exchanger.

Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi kepada fluida yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung atau tidak.



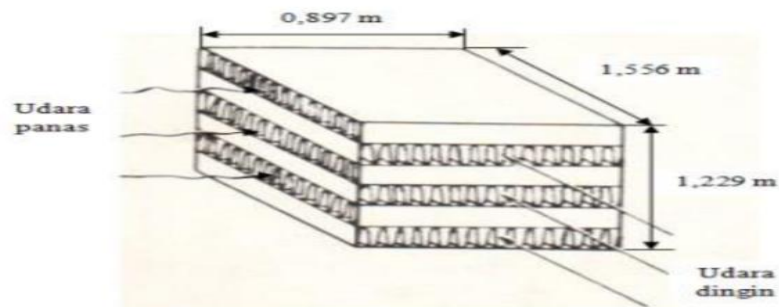
Gambar 2.1. Compact Heat Exchanger

Untuk mengetahui kinerja alat penukar panas, ada hal yang harus diteliti dan dikembangkan dari penelitian sebelumnya.

1. konfigurasi aliran.
2. tingkat aliran sepanjang jalan setapak yang diresepkan.
3. Apakah resistansi panas transfer dari satu aliran lain pada setiap titik dalam volume penukar panas. Penentuan temperature.

Perpindahan kalor tidak akan terjadi pada system yang memiliki temperature sama. Perbedaan temperature menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor. Sama dengan perbedaan tegangan sebagai penggerak arus listrik. Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu system yang memiliki temperature lebih tinggi ke temperature lebih rendah.

Mula – mula udara bebas diluar plant akan di alirkan secara konveksi melalui blower masuk dalam head exchanger, kemudian udara panas keluar dari motor akan didinginkan dengan udara bebas tadi. Proses pendinginan ini dilakukan dengan system tertutup. Pemasangan blower kedua dekat dengan dinding dari motor untuk mencegah udara tidak bias masuk kedalam motor.

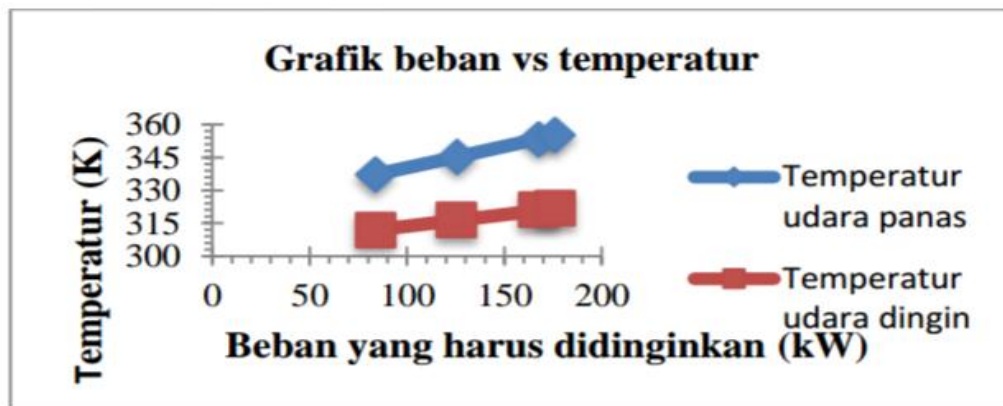


Gambar 2.2.konstruksi plate heat exchanger

Untuk mendapatkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh maka penelitian ini dapat direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk pengambilan data yang diperlukan. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa alat penukar kalor tabung bersirip (*Fin-tube*) dan dilengkapi dengan peralatan atau instrument-instrumen penunjang lainnya.

## 2.2. Mekanisme perpindahan panas.

- Konduksi: perpindahan dari fluida panas melalui suatu benda oleh perpindahan momentum dari molekul atau atom tanpa proses pencampuran.
- Konveksi: Perpindahan panas dari fluida panas ke bagian yang dingin dengan pengadukan.
- Radiasi: Proses aliran panas dari fluida yang bersuhu tinggi ke fluida yang bersuhu rendah bila fluida tersebut terpisah dalam suatu ruang tanpa menggunakan medium.



Gambar 2.3. Mekanisme Perpindahan Panas

## 2.3. Klasifikasi Alat Penukar Kalor.

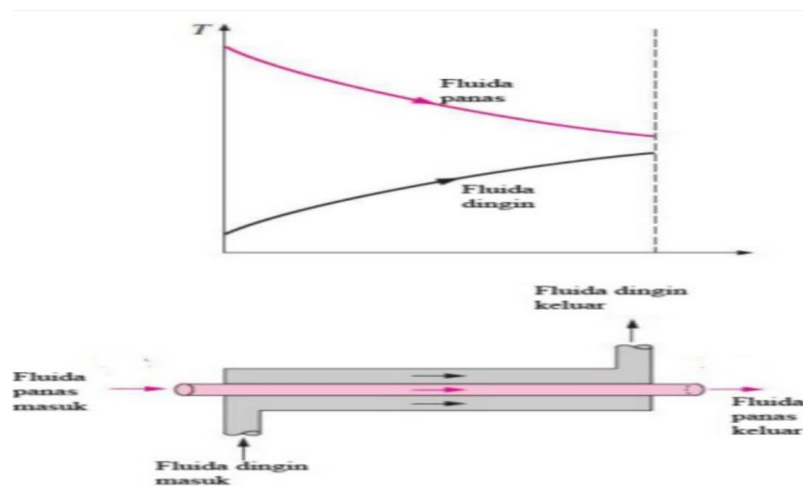
Alat penukar kalor dapat di klasifikasikan dalam beberapa kelompok sebagai berikut:

1. Berdasarkan poses perpindahan kalor
  - a. Perpindahan kalor secara langsung
  - b. Perpindahan kalor secara tidak langsung

2. Berdasarkan Kontruksi
  - a. Kontruksi tabung (tubular)
  - b. Kontruksi dengan luas permukaan di perluas
  - c. Kontruksi regenerative
3. Berdasarkan jenis aliran
  - a. Alat penukar kalor aliran sejajar ( parallel flow)
  - b. Alat penukar kalor aliran berlawanan ( Counte Flow)
4. Berdasarkan pengaturan aliran
  - a. Aliran dengan satu pass
  - b. Aliran dengan multi pass
5. Berdasarkan banyaknya fluida yang di gunakan
  - a. Dua jenis fluida
  - b. Tiga jenis fluida atau lebih
6. Berdasarkan mekanisme perpindahan kalor
  - a. Konveksi satu fasa
  - b. Konveksi dua fasa
  - c. Kombinasi perpindahan kalor secara konveksi dan radias

### 2.3.1. Alat Penukar Kalor Aliran Sejajar

Alat penukar kalor tipe aliran sejajar, memiliki arah aliran dari dua fluida yang bergerak secara sejajar. Kedua fluida masuk dan keluar pada sisi penukar panas yang sama. Temperatur fluida yang memberikan energy akan selalu lebih tinggi di banding temperature fluida yang menerima sejak memasuki alat penukar kalor hingga keluar.

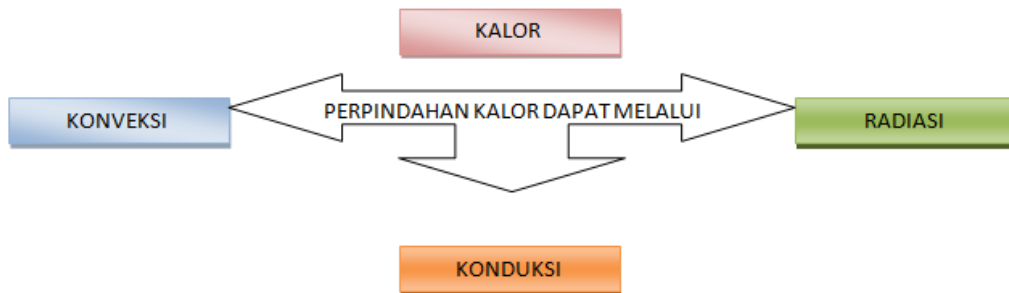


Gambar.2.4. Profil temperature alat penukar kalor aliran sejajar

Alat penukar kalor tipe aliran berlawanan, memiliki arah aliran yang berlawanan. Perpindahan kalor terjadi antara satu ujung bagian yg panas dari kedua fluida dan juga paling dingin. Temperatur fluida dingin dapat melebihi temperature keluar fluida panas.

## 2.4. Proses Perpindahan Kalor

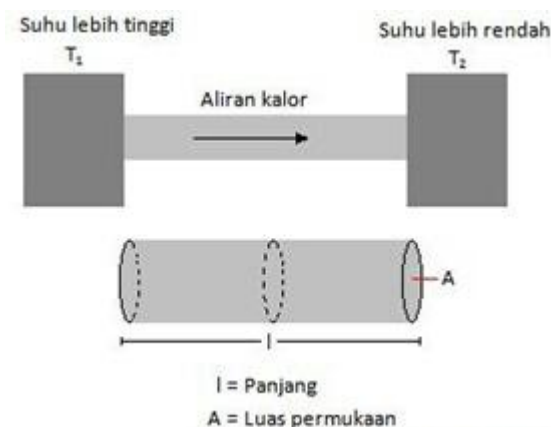
Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan suhu pada daerah tersebut.



Gambar 2.5. proses perpindahan kalor

### 2.4.1. Perpindahan kalor secara konduksi.

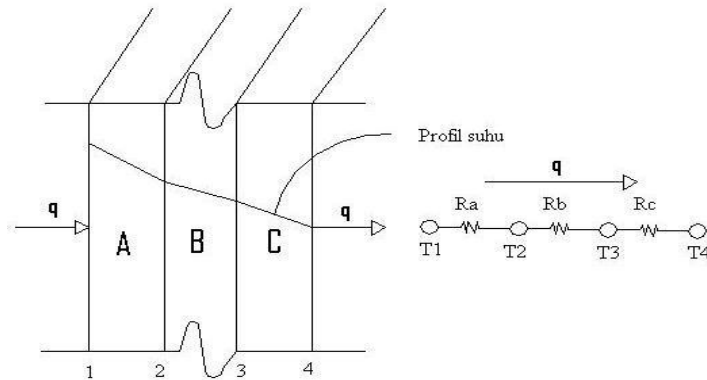
Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung.



Gambar 2.6. Proses perpindahan Kalor secara Konduksi

Secara umum laju aliran kalor secara umum laju aliran kalor secara konduksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$qk = \frac{kA}{dx} \Delta t \dots \dots \dots (2.1)$$



Gambar 2.7. Profil Suhu Konduksi.

#### 2.4.2. Perpindahan kalor secara konveksi.

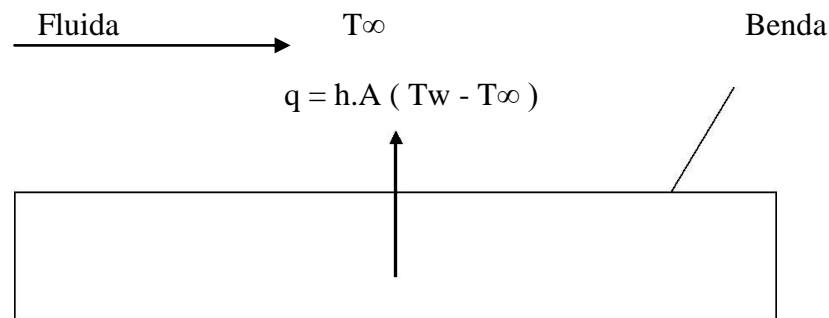
Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida disekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan kepartikel- partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel- partikel fluida tersebut. Kedua, partikel- partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel- partikel fluida lainnya.

Secara konveksi (mengalir) adalah cara perpindahan panas, dimana panas ikut berpindah bersama dengan fluida (udara, air) yang membawanya. Panas akan

mengalir secara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan, panas yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu partikel- partikel fluida ini, kemudian partikel fluida tersebut akan bergerak ke suhu yang lebih rendah dimana fluida akan bercampur dengan partikel- partikel fluida lainnya. Persamaan laju perpindahan panas secara konveksi yaitu dengan menggunakan hukum Newton tentang pendinginan :

(J.P Holman, perpindahan panas : 11)

$$q = h.A ( T_w - T_{\infty} ) \dots\dots\dots(2.2)$$



Gambar 2.8. Mekanisme Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. **Konveksi alami**, panas mengalir secara alami, misalnya karena perbedaankepadatan (densitas). Bejana yang berisi (fluida), apabila bagian bawahnya dipanaskan maka fluida yang berkurang kepadatannya bergerak naik dan fluida yang lebih tinggi kepadatannya akan bergerak turun.
- b. **Konveksi paksa**, panas mengalir karena paksaan, seperti pompa, blower, radiator dll.



Perpindahan kalor secara konveksi dapat dikelompokkan menurut gerakan alirannya, yaitu konveksi bebas (*freeconvection*) dan konveksi paksa (*forcedconvection*). Apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradient suhu maka disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Laju perpindahan kalor antara suatu permukaan plat dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan :

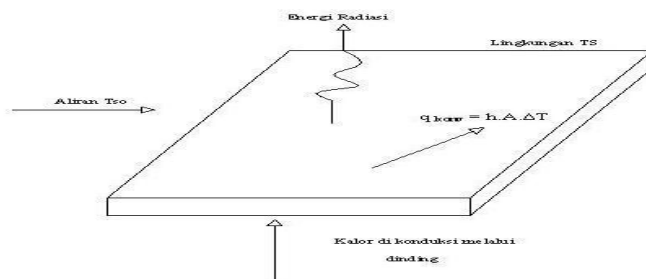
$$q_c = h_c A \Delta T \dots \dots \dots (2.3)$$

**2.4.3. Perpindahan Panas Secara Radiasi**

Secara radiasi (memancar) ialah perpindahan panas tanpa perantara, dimana panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah bila benda tersebut terpisah didalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut, maka panas yang dimiliki berubah menjadi gelombang elektromagnetik. Maka didapat persamaan perpindahan panas radiasi, yaitu :

(J.P Holman, perpindahan kalor : 1)

$$q \text{ pancaran} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots \dots \dots (2.4)$$

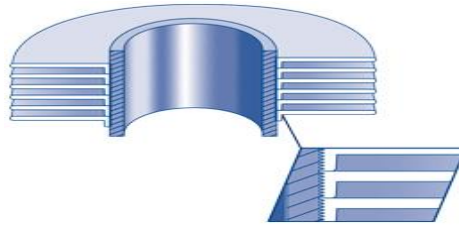


Gambar 2.9. Perpindahan Panas Konduksi, Konveksi, Radiasi

## 2.5. FINNED FIN-TUBE DETAIL

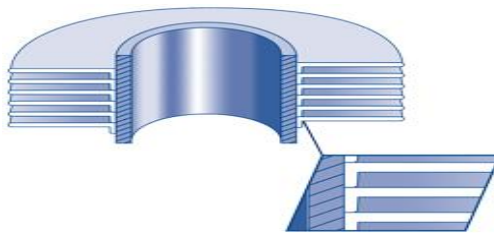
Alat penukar kalor tipe “Fine-Tube” memiliki tipe yang sangat pengaruh pada kontruksinya. Adapun tipe - tipe dari Alat Penukar Kalor tipe ini adalah:

Type L



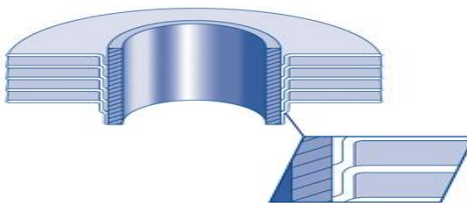
Temperature 130<sup>0</sup> C ( 270<sup>0</sup> F )

Type KL



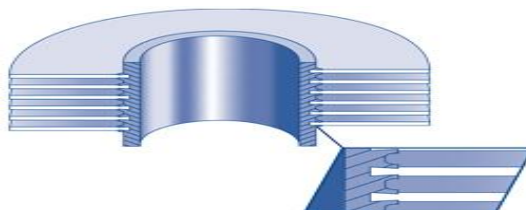
Temperature 250<sup>0</sup> C ( 480<sup>0</sup> F )

Type LL



Temperature 165<sup>0</sup> C ( 330<sup>0</sup> F )

Type G ( EMBEDDED )



Temperature 400<sup>0</sup> C ( 750<sup>0</sup> F )

## 2.6. Perancangan Alat Penukar Kalor Tipe “Fine - tube”

Sebelum mendesain alat penukar kalor, di butuhkan data dari laju aliran (flow rate), temperature masuk dan temperature keluar, dan tekanan operasi kedua fluida, Data ini di butuhkan terutama untuk fluida gas jika densitas gas tidak di ketahui. Untuk fluida berupa cairan (liquid), data tekanan operasi tidak terlalu di butuhkan karena sifat-sifat nya tidak banyak berubah.

Langkah – langkah yang biasa di lakukan dalam merencanakan atau mendesain alat penukar kalor adalah:

1. Penentuan head duty (  $Q$  ) yang di perlukan penukar kalor yang di rencanakan harus memenuhi atau melebihi syarat.
2. Menentukan ukuran ( size ) alat penukar kalor dengan perkiraan yang masuk akal untuk koefisien perpindahan kalor keseluruhannya.
3. Menentukan fluida yang mengalir di sisi tube atau shell. Biasanya sisi tube direncanakan untuk fluida yang bersifat korosif, beracun, bertekanan tinggi, atau bersifat mengotori dinding. Hal ini akan dilakukan agar lebih mudah dalam proses pembersihan atau perawatannya.
4. Menentukan ukuran Tube. Langkah ini di lakukan setelah kita mengetahui jumlah tube yang di rencanakan. Kemudian perkiraan jumlah pass dan tube pitch yang akan di gunakan.
5. Langkah yang terakhir adalah memeriksa kinerja dari alat penukar kalor yang telah di rencanakan. Hitung koefisien perpindahan panas di sisi tabung dan sisi “Tube”.

Selain itu, pengaturan jumlah dan jarak sirip pada masing-masing bahan juga memberikan hasil yang berbeda dengan variasi jumlah sirip 49 dengan jarak antar sirip 20cm (49/20) dengan nilai koefisien perpindahan kalor terbesar pada bahan tembaga yaitu sebesar 824.814 ( $W/m^2C$ ),

kemudian menggunakan bahan aluminium yaitu sebesar 793.782 ( $W/m^2C$ ) dan menggunakan bahan stainless steel sebesar 657.972( $W/m^2C$ ). Sedangkan terkecil pada variasi jumlah sirip 49 dengan jarak antar sirip 20 cm (49/20) dengan nilai koefisien perpindahan kalor terbesar pada bahan tembaga yaitu sebesar 680.685 ( $W/m^2C$ ),kemudian menggunakan bahan aluminium yaitu sebesar 655.703 ( $W/m^2C$ ) dan menggunakan bahan stainless steel sebesar 468.019 ( $W/m^2C$ ).

## **2.7.Laju Perpindahan Kalor pada Alat Penukar Kalor Susunan Sejajar**

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U). Besarnya koefisien perpindahan kalor menyeluruh suatu alat penukar kalor tabung bersirip (fin – tube ) susunan tabung sejajar merupakan kebalikan dari tahanan keseluruhan. Tahanan keseluruhan terhadap perpindahan kalor ini adalah jumlah semua tahanan perpindahan panas pada alat penukar kalor pipa sejajar. Tahanan ini meliputi tahanan konveksi fluida tahanan konduksi karena tebal *tube*,efisiensi total permukaan luar,efisiensi total permukaan dalam.susunan tabung sejajar.

## **2.8. Lapis Batas Thermal**

Lapis batas thermal (*Thermal Boundary Layer*) adalah daerah dimana terdapat gradient suhu dalam aliran. Gradient suhu ini adalah akibat proses pertukaran kalor antara fluida dengan dinding tabung.

### **2.8.1. Panjang Masuk Thermal dan Hidrodinamik**

Panjang masuk hidrodinamik adalah panjang yang diperlukan saluran masuk tabung untuk mencapai kecepatan maksimum dari besaran aliran berkembang penuh. Sedang panjang kalor thermal adalah panjang yang dibutuhkan dari awal daerah perpindahan kalor untuk mencapai angka Nusselt local (Nu). Jika perpindahan kalor ke fluida dimulai segera setelah fluida memasuki saluran, lapisan batas kalordan kecepatan mulai berkembang dengan cepat, maka keduanya diukur dari depan saluran.

### 2.8.2. Aliran Terbentuk Penuh

Apabila fluida memasuki tabung dengan kecepatan seragam, fluida akan melakukan kontak dengan permukaan dinding tabung sehingga viskositas menjadi penting dan lapisan batas akan berkembang. Perkembangan ini terjadi bersamaan dengan menyusunya daerah aliran inviscid diakhiri dengan bergabungnya lapisan batas pada garis pusat tabung. Jika lapisan-lapisan batas tersebut telah memenuhi seluruh tabung, maka dikatakan aliran berkembang penuh (*fullydeveloped*).

Bilangan *Reynolds* untuk aliran dalam pipa dapat di definisikan dengan :

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots(2.5)$$

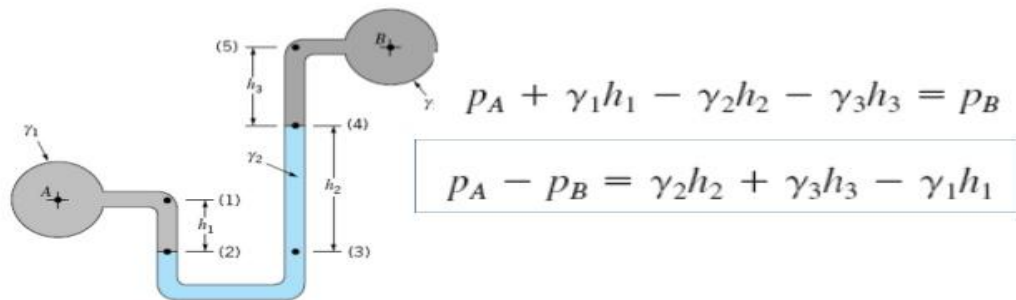
### 2.9. Tekanan

Tekanan dinyatakan sebagai gaya per satuan luas. Untuk keadaan dimana gaya (F)

terdistribusi merata atas suatu luas (A), maka:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk mengetahui perbedaan tekanan antara dua titik menggunakan manometer diferensial



Gambar 2.10. Manometer Diferensial

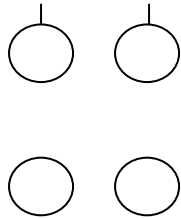
## 2.10. Komponen Dasar Penyusun HE

### 1. Tube

- Merupakan pipa kecil yang berukuran ½ inc yang tersusun dalam tube
- Aliran di dalam tube sering di buat melintas lebih dari 1 kali dengan tujuan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas lapisan film fluida dalam tube.
- Keuntungan:
  - Film koefisien lebih tinggi daripada square pitch.
  - Dapat di buat jumlah tube yang lebih banyak
- Kerugian:
  - Pressure drop yang terjadi antara menengah ke atas.
  - Tidak baik untuk fluida fouling.
  - Pembersihan kimia
- Tube Pitch

Lubang yang tidak dapat dibor dengan jarak yang sangat dekat, karena jarak tubeyang terlalu dekat dengan akan melemahkan struktur penyangga tube.

#### Tube Pitch



#### o Clearance

Jarak terdekat antara 2 tube yang berdekatan



#### 2. Baffle

Sekat –sekat yang di gunakan untuk :

- Mengatur aliran lewat tube sehingga turbulensi yang tinggal akan di peroleh.
- Menahan struktur tube bundle.
- Menahan atau mencegah terjadinya getaran pada tube.

#### 3. Shell

- Merupakan bagian tengah alat penukar panas.
- Merupakan tempat untuk tube bundle.

#### 4. Tube side channel dan nozzle

Mengatur aliran fluida di tube



## 5. Channel Cover

Tutup yang dapat di buka saat pemeriksaan dan pembersihan

- a. BWG ( Birmingham Wire Gage ) yaitu menyatakan ukuran tebal tube. BWG kecil berarti tube semakin tebal dan sebaliknya.
- b. Keuntungan HE countercurrent

Mempunyai LMTD yang besar, sehingga luas transfer panas yang di butuhkan kecil, maka ukuran HE juga kecil.

  - emompa yang besar
  - Sulit dilakukan pembersihan karena banyak pipa belok

## 2.11. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan secara langsung dengan melakukan eksperimen pada alat penukar kalor tabung bersirip ( *fin-tube* ) susunan tabung sejajar. Adapun prinsip kerja alat uji adalah sebagai berikut:

Air yang ada dalam reservoir dipanaskan menggunakan pemanas (*heater*) sampai temperatur yang diinginkan dan temperatur dijaga agar tetap konstan. Untuk mengetahui suhu air digunakan thermometer digital. Sebelum air dialirkan ke alat uji, kita harus menentukan jenis bahan dengan jumlah dan jarak sirip yang akan digunakan untuk penelitian, yaitu dimulai dari bahan Aluminium dengan jumlah sirip 49 dan sampai semua variasi yang dipakai dalam penelitian.

Setelah temperatur yang dikehendaki tercapai dan sudah konstan, kemudian air panas tersebut dialirkan kedalam pipa bagian dalam (*tube*) dengan membuka kran uji dan dialirkan ke pompa untuk dinaikkan kembali ke reservoir. Dengan bantuan pompa, air dingin dialirkan ke dalam pipa bagian luar (*Fine*) dari reservoir untuk dibuang ke lingkungan. Jika fluida panas dan dingin tersebut telah mengalir dengan konstan baru diambil data yang diperlukan.

Untuk mengetahui suhu yang masuk dan keluar baik dari *fine* atau *tube* digunakan Thermometer digital, dan untuk mengetahui debit yang masuk baik dalam *tube* atau *Shell* digunakan *flowmeter*, sehingga akan didapatkan data-data yang diperlukan. Percobaan ini diulang sampai tiga kali kemudian hasilnya di rata-rata sehingga didapatkan hasil yang maksimal.

Data penelitian memperlihatkan bahwa besarnya nilai perpindahan kalor total pada alat penukar kalor pipa ganda dengan variasi bahan, pengaturan jumlah sirip dan jarak sirip memberikan hasil yang berbeda. Harga rerata koefisien perpindahan kalor total untuk alat penukar kalor tabung sejajar dengan “*fin-tube*” menggunakan bahan tembaga mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan bahan yang lainnya. Selanjutnya diikuti oleh *tube* yang menggunakan bahan pipa tembaga dan yang paling rendah nilainya adalah *tube* dengan menggunakan bahan Stainless Steel. perpindahan kalor terbesar pada bahan tembaga yaitu sebesar  $824.814 \text{ (W/m}^2\text{C)}$ ,

Kemudian menggunakan bahan aluminium yaitu sebesar  $793.782 \text{ (W/m}^2\text{C)}$  dan menggunakan bahan stainless steel sebesar  $657.972 \text{ (W/m}^2\text{C)}$ . Sedangkan terkecil pada variasi jumlah sirip 49 dengan jarak antar sirip 20

cm (49/20) dengan nilai koefisien perpindahan kalor terbesar pada bahan tembaga yaitu sebesar  $680.685 \text{ (W/m}^2\text{C)}$ , kemudian menggunakan bahan aluminium yaitu sebesar  $655.703 \text{ (W/m}^2\text{C)}$  dan menggunakan bahan stainless steel sebesar  $468.019 \text{ (W/m}^2\text{C)}$ .

Hal ini disebabkan karena nilai konduktivitas masing-masing bahan berbeda, yaitu:  $238.5 \text{ (W/m.K)}$  untuk bahan aluminium,  $401 \text{ (W/m.K)}$  untuk bahan tembaga,  $17 \text{ (W/m.K)}$  untuk bahan stainless steel, sehingga jumlah kalor yang di transfer dari fluida yang berada di *tube* ke fluida yang berada di *shell* juga berbeda. Dengan demikian jumlah kalor yang diterima oleh fluida dingin juga berbeda.

Penambahan sirip pada sisi *tube* dengan variasi yang berbeda sehingga luas permukaan tube yang diuji berbeda inilah yang menyebabkan perolehan nilai koefisien perpindahan kalor pada masing-masing bahan yang diuji memberikan hasil yang berbeda. Perolehan nilai koefisien perpindahan kalor total pada masing-masing bahan tersebut mengalami peningkatan seiring dengan penambahan jumlah sirip dan kerapatan sirip yang dipasang.

Selain itu, kerugian tekanan aliran fluida akibat adanya penambahan sirip pada sisi shell turut mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor total. Pada hubungan nilai koefisien perpindahan kalor total terhadap penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) pada berbagai bahan dengan variasi jumlah maupun jarak sirip yang diuji. Kerugian tekanan yang terjadi pada variasi jumlah sirip 49 dengan jarak sirip 10cm (49/10) jauh lebih besar dibanding lainnya. Selanjutnya diikuti oleh variasi

jumlah sirip 49 dengan jarak sirip 15cm (4/15), dan yang terendah pada variasi jumlah sirip 49 dengan jarak sirip 20cm (4/20).

### 2.1.2. Paramater Yang Digunakan

Dalam studi penelitian ini, ada beberapa parameter yang digunakan:

- Menghitung Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan.

$$q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (2.7)$$

- Menghitung Penurunan Tekanan ( *Pressure Drop* )

Penurunan tekanan ( *Pressure Drop* ) di tentukan berdasarkan persamaan.

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (2.8)$$

- Menghitung Perpindahan Panas Konveksi (h)

Koefisien perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan persamaan.

$$h = \frac{Nu \cdot K}{Dh} \quad (2.9)$$

- Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat di hitung dengan persamaan.

$$U = \frac{q}{A \cdot \Delta T_{LMTD}} \quad (2.10)$$

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu**

##### **3.1.1 Tempat**

Tempat dilaksanakannya Studi Eksperimental unjuk kerja Alat Penukar Kalor tipe *Compact heat exchanger jenis fin and tube* di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

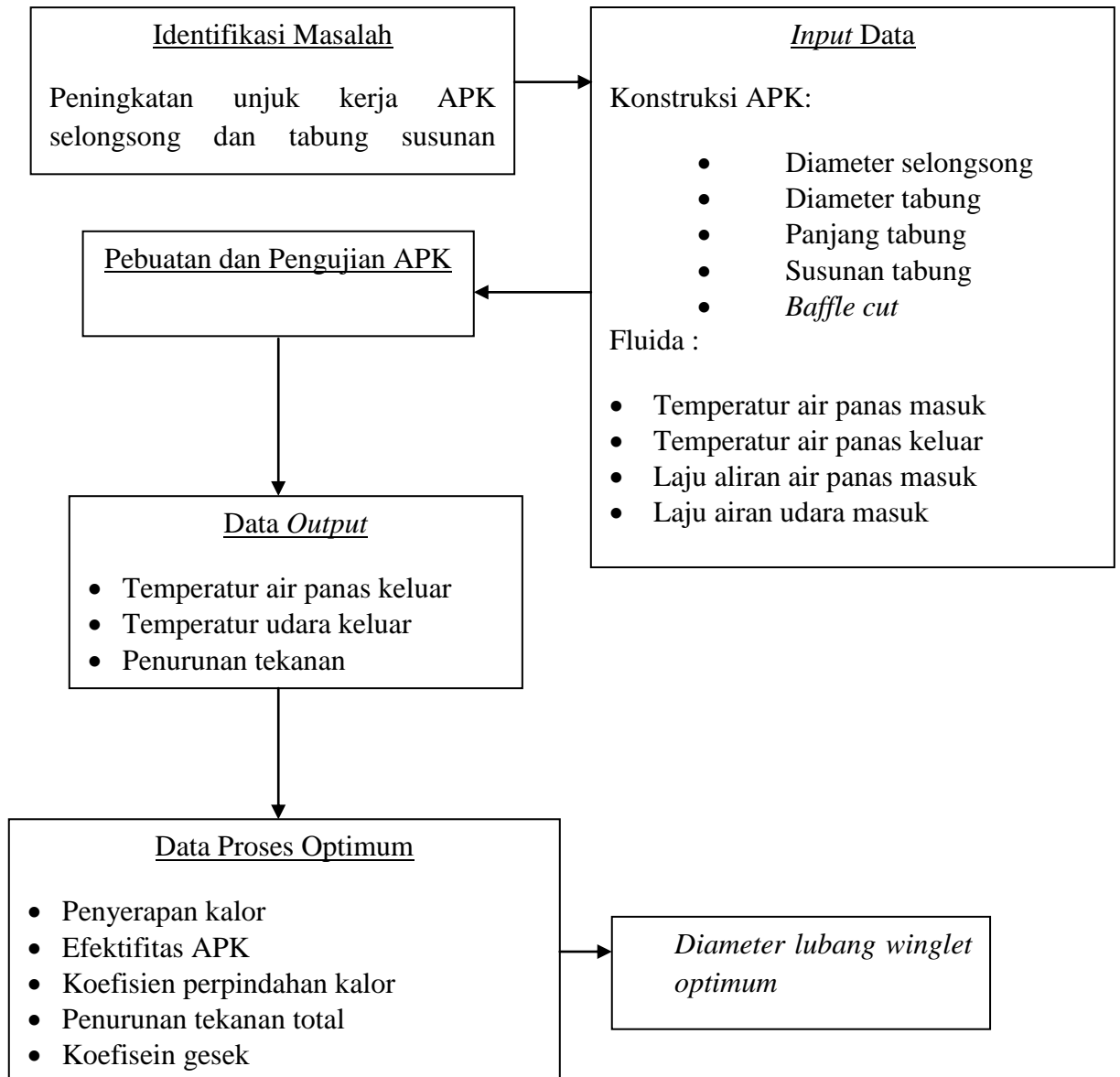
##### **3.1.2 Waktu**

Waktu Studi Eksperimental dilakukan setelah mendapatkan persetujuan Judul Tugas Sarjana dari Dosen Pembimbing, kemudian dilakukan perakitan APK dan pengambilan data enam bulan.

#### **3.2 Kerangka Konsep Penelitian**

Hasil yang diperoleh dalam suatu penelitian dipengaruhi oleh variable-variable itu sendiri. Kerangka konsep penelitian dapat dijelaskan seperti pada Gambar 3.1. Kerangka konsep penelitian ini didasarkan pada identifikasi permasalahan yaitu peningkatan unjuk kerja APK tipe kompak yang dipengaruhi oleh diameter *winglet*. Unjuk kerja APK terdiri dari penyerapan kalor, efektifitas koefisien perpindahan kalor, penurunan tekanan total dan koefisien gesek. Sedangkan data input dari penelitian ini meliputi data konstruksi APK dan data-data fluida. Setelah parameter APK diketahui dilanjutkan pembuatan APK dan pengujian yang akan memberikan *out put* data penelitian. Data penelitian yang

diperoleh diolah untuk mendapatkan berapa diameter winglet yang akan memberikan unjuk kerja APK optimum.



Gambar 3.1. Kerangka konsep penelitian

### 3.3 Rancangan Alat Penelitian

Rancangan APK yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan atas perhitungan awal secara teoritis dan memilih dimensi yang sesuai dengan variabel yang diharapkan. Perhitungan tersebut dapat diuraikan dengan data-data

asumsi yang dipilih dan ditetapkan. Untuk hasil perhitungan awal APK dilakukan secara manual dan bantuan software yang dikembangkan untuk menghitung perancangan dan menghitung hasil penelitian. Dimensi utama (data konstruksi) APK tipe kompak yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Parameter	Simbol	Ukuran
Diameter tabung	$D_t$	½ inc
Panjang tabung	$L_t$	120 mm
Jumlah tabung sejajar	$N_t$	49 buah
Ketebalan sirip	$t_f$	0,3 mm
Jarak antara sirip	$P_f$	20 mm
Diameter dalam sirip	$W_f$	12,7 mm
Diameter luar sirip	$L_f$	30 mm
Jumlah Sirip	$N_f$	343
Persegi plat besi	$P_L$	35x35cm

Tabel 3.1. Parameter prototipe APK tipe Kompak

### 3.4 Bahan dan Alat

#### 3.4.1 Bahan

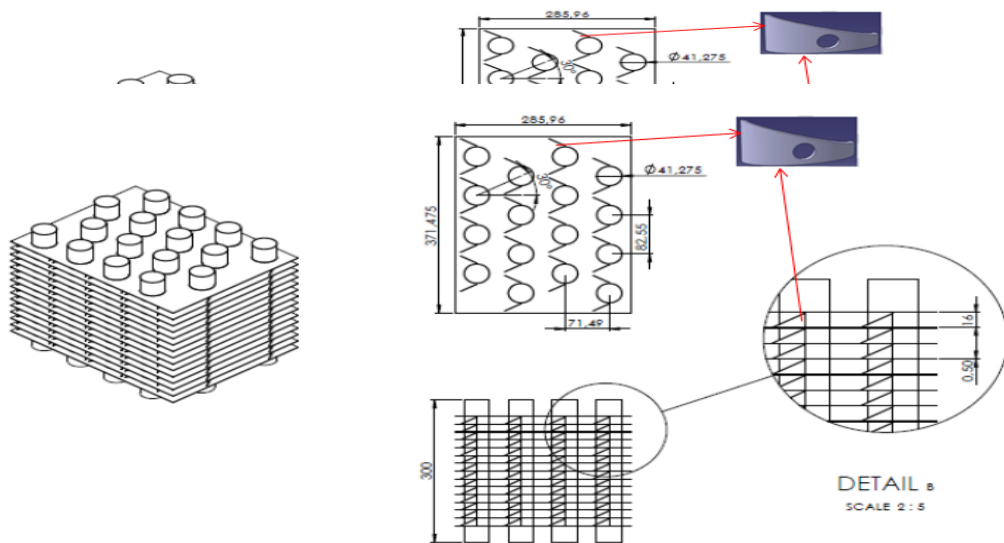
Bahan-bahan penelitian yang akan dirakit terdiri atas:

1. Pipa tembaga
2. Pelat besi sebagai bahan sirip dan plat seng winglet
3. Lem *silicon* sebagai bahan perekat (kebocoran dan lain-lain)
4. Selang plastik yang tahan panas untuk alat ukur tekanan
5. Pipa *cast iron* ¾”

6. Triplek dengan tebal 10 mm sebagai isolasi kalor untuk tangki air
7. Paking tahan panas tebal 2 mm

### 3.4.2 RancanganPembangkitVorteks

Pembangkit vorteks yang dipakai dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3.2 adalah jenis winglet trapesium melengkung dengan variasi diameter yang berlubang. Sepasang pembangkit vortex dipasang vertikal di atas plat aluminuim menggunakan silika gel dengan konfigurasi umum aliran-down. Untuk membandingkan kinerja termal pembangkit vorteks yang diakibatkan oleh perbedaan diameter lubang pada winglet, tes dilakukan di bawah sudut yang sama serangan ( $\beta = 45,0$ ), dengan ukuran ( $S1 = 82,55$  mm) dan penempatan ( $S2 = 71,49$  mm) dengan bilangan Reynolds berkisar 2250 hingga 25000 meliputi aliran laminar, daerah transisi dan turbulen.



Gambar 3.2 Rancangan APK tipe kompak dan susunan sirip

### 3.4.3 Alat Penguji

Alat yang dipergunakan pada Studi eksperimental ini terdiri atas:



1. *Sub Sonic Wind tunnel.*

*Sub Sunic Wind tunnel* adalah peralatan uji yang digunakan untuk kecepatan angin yang sangat rendah, dimana objek yang di uji diletakkan dibagian tengah seksi uji, kemudian angin di alirkan dengan menggunakan kipas aksial.



Gambar 3.3 *Sub Sonic Wind tunnel*

2. *Blower (kipas)*

Blower dipasang pada bagian belakang *Sub Sonic Wind Tunnel* untuk menghisap udara dari atmosfer dari bagian *Inlet Sub Sonic win Tunnel* ke dalam alat uji. Dengan data-data teknis sebagai berikut:



Gambar 3.4 *Blower (kipas)*

- a. Tipe : *Centrifugal Air Blower 3* “
- b. Daya,  $P = 370 \text{ W}$ ,
- c. Tegangan,  $V = 220 \text{ V}$
- d. Putaran  $N = 2800 \text{ rpm}$
- e. Kapasitas ,  $Q = 8,5 \text{ m}^3/\text{menit}$

### 3. Pompa Air

Pompa Air digunakan untuk mensirkulasikan air panas dari tangki penampung air panas ke dalam *Heat Exchanger*. Dalam pengujian ini Pompa Air yang digunakan yaitu dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Model : DB-125B
- b. Head,  $H=33 \text{ m}$
- c. Kapasitas,  $Q=30\text{L}/\text{min}$
- d. Daya,  $P=125 \text{ W}$
- e. Putaran,  $N=2850 \text{ rpm}$



Gambar 3.5 Pompa Air

#### 4. Katup *Bypass*

Katup *bypass* dipasang di posisi output dari Pompa Air untuk mengatur kecepatan aliran air menuju *heat exchanger*, sehingga pompa Air tetap mensirkulasi dengan stabil.



Gambar 3.6 Katup *bypass*

#### 5. *Hot Wire Anemometer*

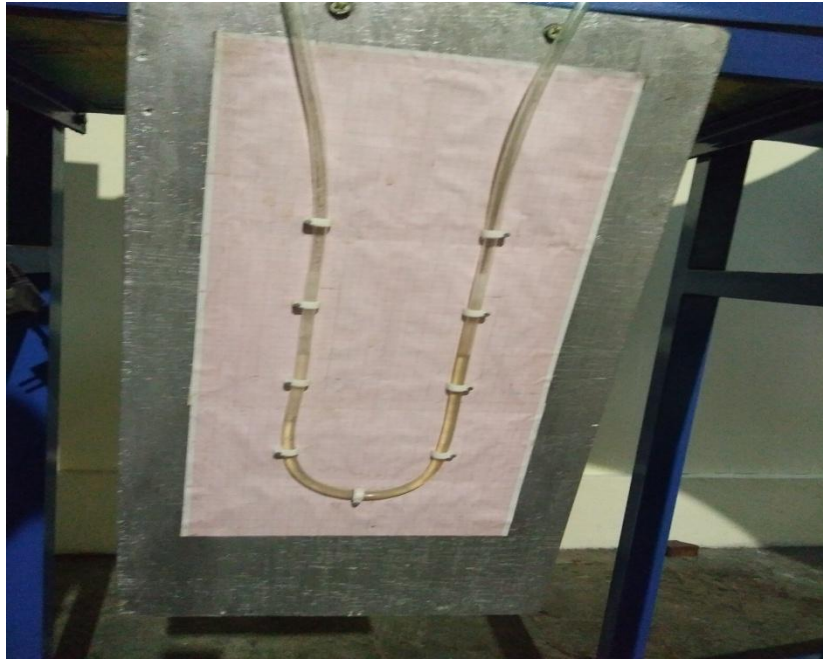
*Hot Wire Anemometer* dipasang dari bagian atas alat uji *Sub Sonic Wind Tunnel*. *Hot Wire Anemometer* digunakan untuk mengukur kecepatan udara atmosfer yang masuk kedalam alat uji.



Gambar 3.7 *Hot Wire Anemometre*

6. Tabung Pitot (Manometer Pipa U)

Tabung Pitot (Manometer Pipa U) digunakan untuk mengukur *Pressure* udara yang terjadi dalam ruang uji pada saat pengujian berlangsung. Tabung Pitot (Manometer Pipa U) dipasangkan tepat ditengah dari *Sub Sonic Wind Tunnel*.



Gambar 3.8 Tabung Pitot ( Manometer Pipa U)

7. Tangki Pemanas dan *Heater*

Tangki pemanas sebagai tempat untuk penampung air yang akan di panaskan. *Heater* dengan spesifikasi 1200 watt 220 v, sebagai alat pemanas yang direndam kedalam air pada tangki pemanas.



Gambar 3.9 Tangki Pemanas Dan *Heater*

8. *Water flow sensor*

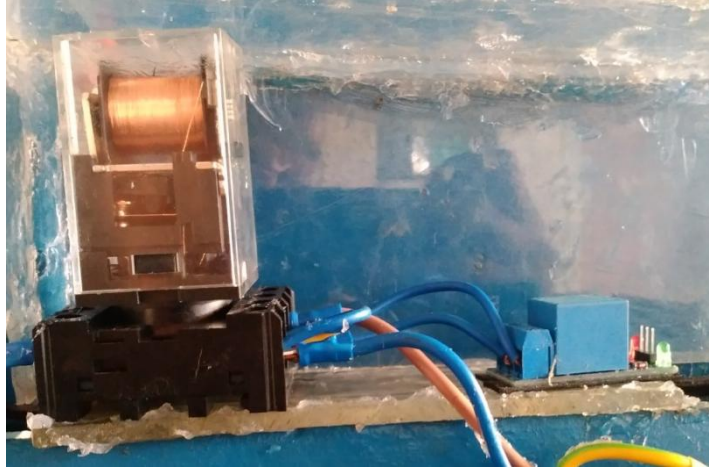
*Water flow sensor* dipasang pada output dachangerri *Heat Exchanger* sebagai pengukur laju aliran air yang keluar setelah sirkulasi dari *Heat Exchanger*.



Gambar3.10 *Water Flow sensor*

## 9. *Relay*

*Relay* di hubungkan langsung dengan *heater* guna menstabilkan air di dalam tangki pemanas.

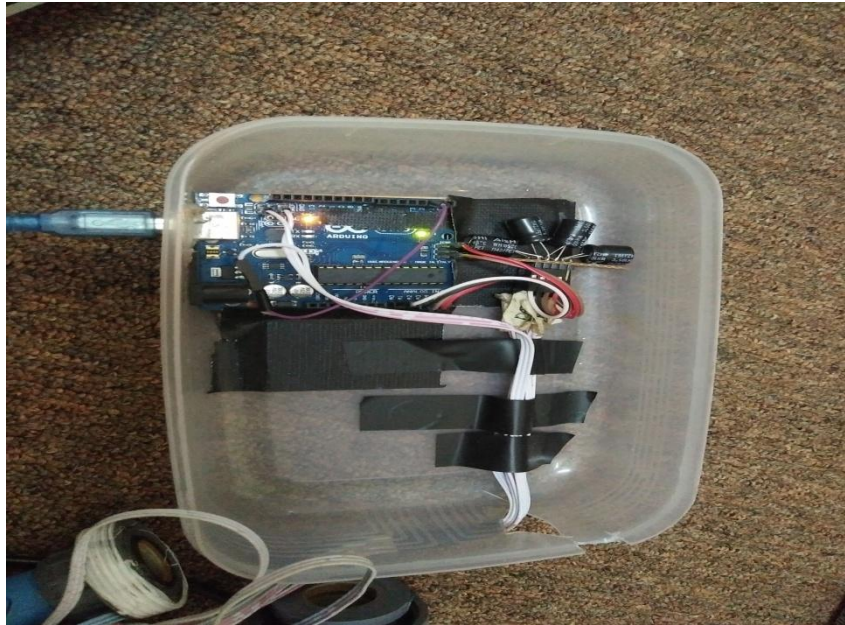


Gambar 3.11 Relay

## 10. Sensor Temperatur LM35

Sensor temperatur Lm35 adalah jenis sensor yang dapat mendeteksi keadaan temperatur di sekitar lingkungan dengan range antara  $-50^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $150^{\circ}\text{C}$ . Dalam pengujian ini digunakan 4 buah sensor temperatur LM35 yang di pasangkan pada.

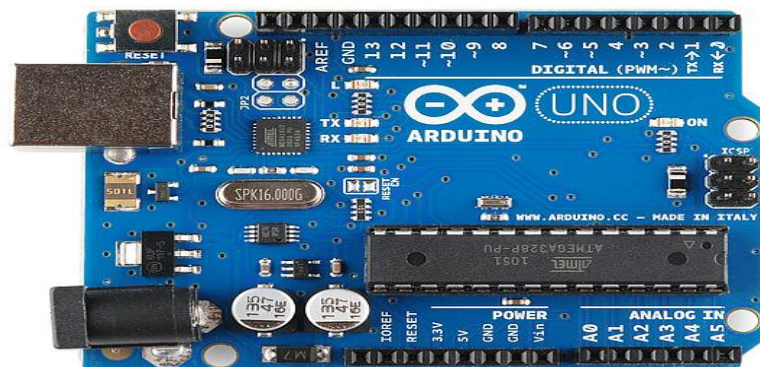
- a. Pipa input air *Heat exchanger*,
- b. Pipa *Output* air *Heat exchanger*.
- c. Saluran udara sebelum *Heat Exchanger* didalam ruang uji, dan
- d. Saluran udara sesudah *heat exchanger* didalam ruang uji.



Gambar 3.12 Sensor Temperatur LM35

#### 11. *Arduino Uno*

Arduino Uno adalah *Board Microcontroleryang* digunakan sebagai pemrograman data untuk pemasangan *Sensor Temperatur LM35* dan *Water Flow Sensoryang* kemudian di tampilkan ke dalam komputer.

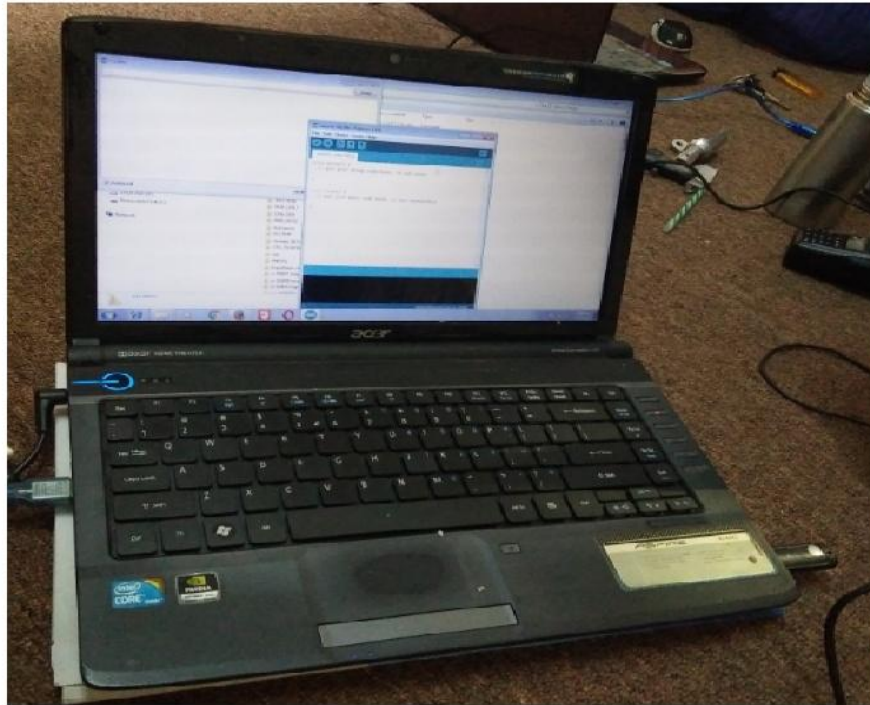


Gambar 3.13. *Arduino Uno*

## 12. Laptop

Laptop digunakan untuk menampilkan data yang di deteksi oleh program

*Arduini Unodan Hot Wire Anemometre.*



Gambar 3.14 Laptop



#### 3.4.4. Alat alat yang akan di uji

Alat alat yang akan di uji dalam studi eksperimental ini adalah:

1. *Fine and Tube Exchanger* dengan sirip berbentuk lingkaran susunan tube sejajar.



Gambar 3.15 *Fine and Tube Heat Exchanger* dengan sirip lingkaran Tube Sejajar

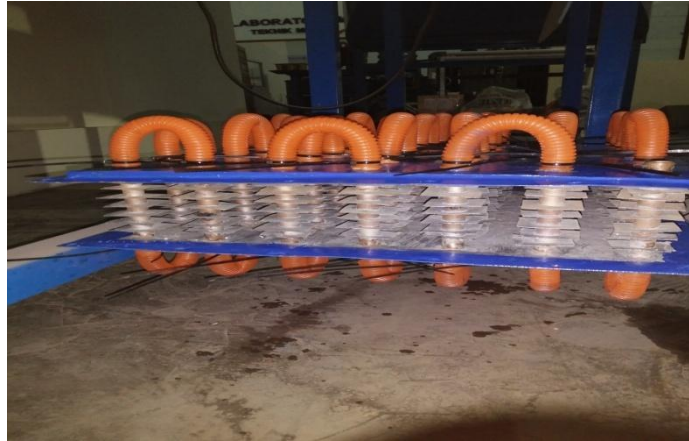
2. *Fine and Tube Exchanger* dengan sirip berbentuk segiempat susunan tube selang seling.



Gambar 3.16 *Fine and Tube Heat Exchanger* dengan sirip segiempat Tubeselang

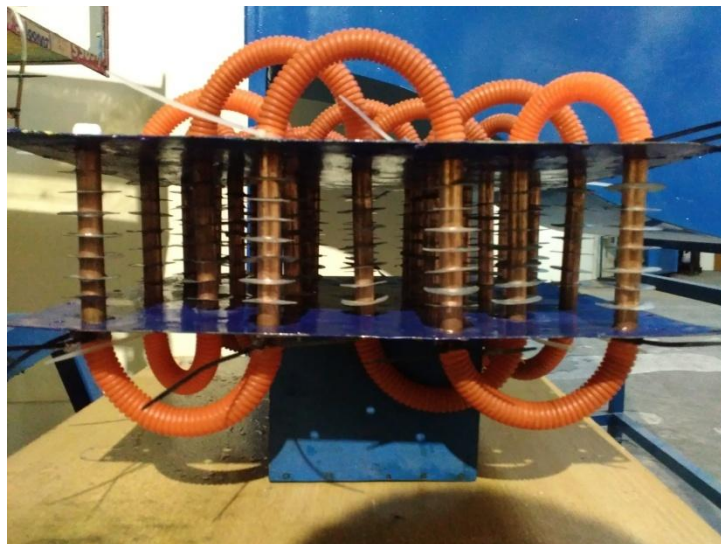
selang

3. *Fine and Tube Exchanger* dengan sirip berbentuk segi empat susunan tube sejajar.



Gambar 3.17 *Fine and Tube Heat Exchanger* dengan sirip segi empat *Tube* sejajar

4. *Fine and Tube Exchanger* dengan sirip berbentuk bulat susunan tube selang seling.



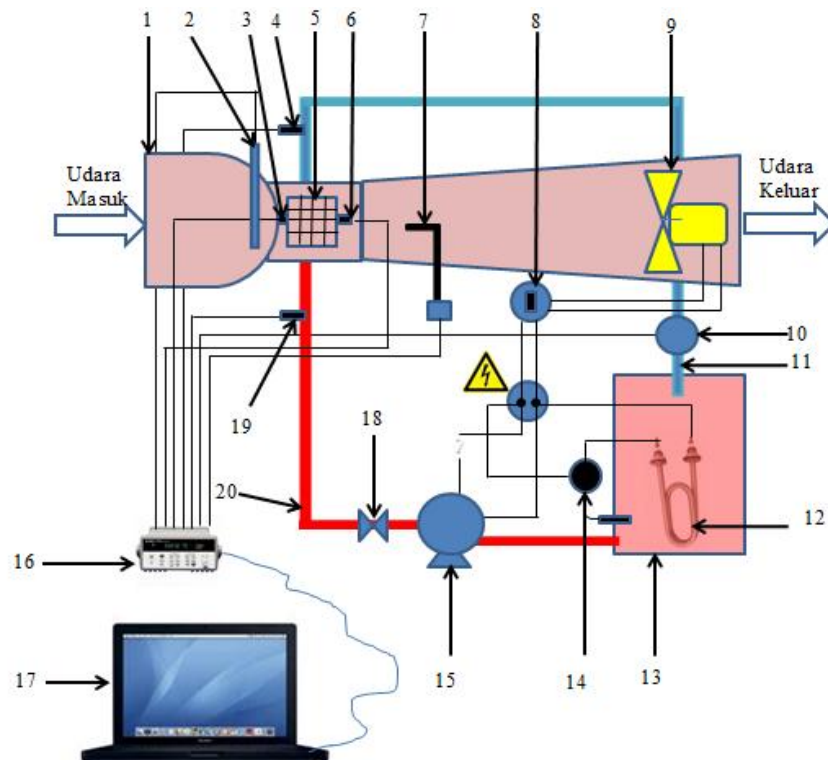
Gambar 3.18 *Fine and Tube Heat Exchanger* dengan sirip bulat *Tube* selang seling

### 3.5. Skema uji Eksperimental

Berikut ini adalah skema uji Eksperimental:

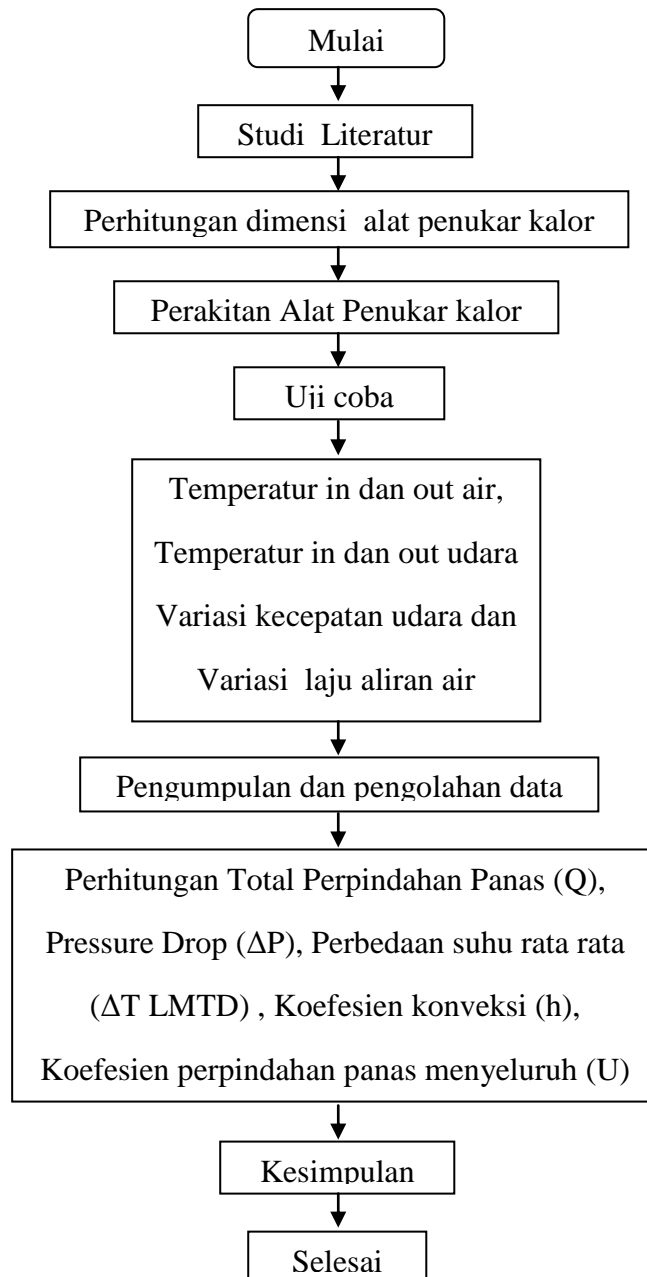
Keterangan :

- |                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| a. Terowongan Kerja       | k. Pipa Air Dingin           |
| b. Hot Wire Anemometer    | l. Pemanas Air               |
| c. Termo kopel            | m. Tangki Air                |
| d. Trmo kopel             | n. Relay                     |
| e. APK Tipe Compact       | o. Pompa Sirkulasi air       |
| f. Termo kopel            | p. Data Akuisisi             |
| g. Tabung Pitot           | q. Laptop                    |
| h. Pengatur Putaran kipas | r. Katup pengatur Aliran air |
| i. Kipas                  | s. Termokopel                |
| j. <i>Flow Meter</i> Air  | t. Pipa air panas            |



Gambar 3.20 Skema uji Eksperimental

### 3.6. Diagram Alir Studi Eksperimental

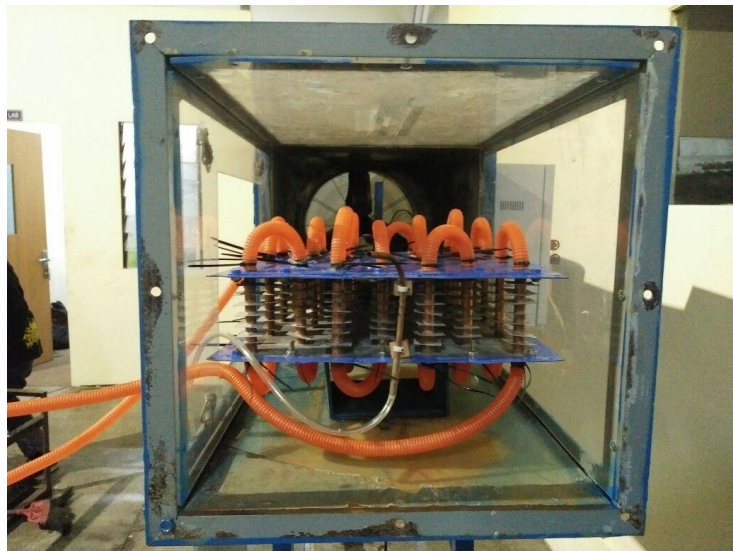


Gambar 3.21 Diagram Aliran Studi Eksperimental

### 3.7. Prosedur Studi Eksperimental

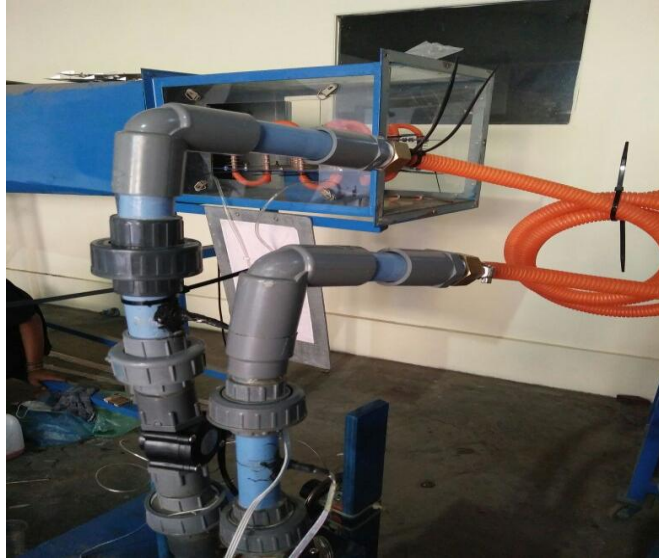
Adapun prosedur Studi Eksperimental yang harus di lakukan adalah:

1. Persiapkan semua alat yang digunakan dalam studi eksperimental
2. Lakukan penyusunan posisi terhadap bagian bagian yang akan di uji, seperti memasukkan *fin and tube heat exchanger* ke dalam alat uji *Sub Sonic Wind Tunnel*.



Gambar 3.22 Peletakkan *Fin and Tube Heat Exchanger*

3. Pasang sensor temperature LM35 pada posisi:
  - Dalam ruang uji sebelum *Fin and Tube Heat Exchanger* ( $T_{\text{udara in}}$ )
  - Dalam ruang uji sesudah *Fin and Tube Heat Exchanger* ( $T_{\text{udara out}}$ )
  - Saluran input *Fin and Tube Heat Exchanger* ( $T_{\text{air in}}$ )
  - Saluran *input Fin and Tube Heat Exchanger* ( $T_{\text{air out}}$ )



Gambar 3.23. Posisi Sensor Temperatur LM35

4. Pasang *Water Flow Sensor* pada saluran *output fin and tube heat exchanger*



Gambar 3.24. Posisi *Water Flow Sensor*

5. Pasang *Hot Wire Anemometer* dari atas alat uji *Sub Tronic Wind Tunnel*, tarik pendeteksi *Hot Wire Anemometer* sampai pada posisi tengah susunan *fin*.



Gambar 3.25 Posisi Hot Wire Anemometer

6. Koneksikan semua alat ukur yang terprogram dalam *Arduino Uno* dan *Hot Wire Anemometer* ke laptop, dan buka *software* penunjuk alat ukur tersebut.
7. Isi tangki dengan air dingin, kemudian hidupkan pompa agar air sirkulasi ke *Heat Exchanger*. Pastikan tidak ada kapitasi dalam saluran air tersebut.
8. Hidupkan *Heater* sampai temperatur  $60^{\circ}\text{C}$  dengan toleransi  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ , Posisikan pengaturan Thermostat pada tempertaur yang di tentukan.
9. Memulai Pengambilan data saat temperatur mencapai  $60^{\circ}\text{C}$  dengan toleransi  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ , dengan mengambil data selama 3 menit dalam satu kali pengujian.
10. Variasikan udara dengan kecepatan kipas pposisi 1 dan 2, variasikan juga laju aliran udara dengan mengatur bukaan katup bypass posisi 50%, 75% dan 100%.



Gambar 3.26. Buka an Katup Bypass

11. Semua Data yang dideteksi oleh *Arduino Uno* dan *Hot Wire Anemometer* akan di tampilkan pada Laptop, simpan data data yang didapat selama pengujian kemudian lakukan pengolahan data dan pembahasan.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Data Hasil Pengujian

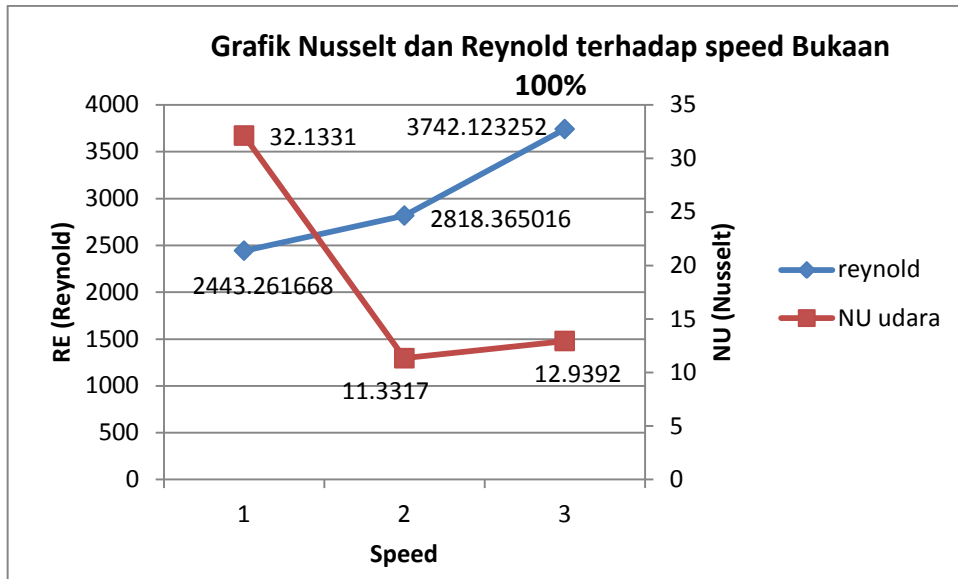
Dari hasil studi eksperimen, maka didapat data pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Arduino *tube* sejajar.

Pengujian	Waktu (Detik)	Speed Kipas	Bukaan Katup (%)	Water Flow air (l/min)	T udara IN (°C)	T udara OUT (°C)	T air IN (°C)	T air OUT (°C)	Velocity udara (m/s)
1	60	1	100	1,10	30,00	32,00	60,17	51,33	3,30
2	60	2	100	0,92	30,00	31,00	59,87	48,96	3,81
3	60	3	100	1	30,00	31	60,22	48,14	4,99
4	60	1	50	2,36	30	32	60,12	53,13	3,01
5	60	2	50	2,63	30	31,24	60,13	51,8	3,69
6	60	3	50	2,54	29,17	31	60,06	51,73	3,9

Tabel 4.2 hasil pengujian apk pada bukaan katup 100%

Data APK	Speed		
	1	2	3
reynold	2443,261668	2818,365016	3742,123252
NU udara	32,1331	11,3317	12,9392

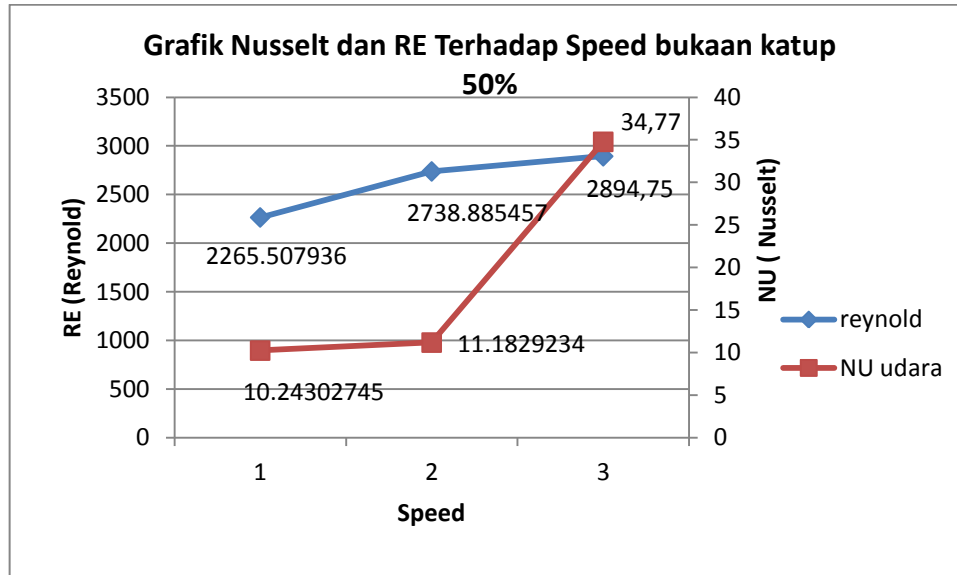


Gambar 4.1. Nusselt dan Reynold terhadap speed bukaan 100%

Dapat kita lihat pada grafik 4.1 bahwa nilai reynold pada speed 1 senilai 2443,261668 yang di tunjukkan pada garis biru,dan pada speed kedua nilai reynold mengalami kenaikan yaitu 2818,365016 dan pada speed3 nilai reynold mengalami kenaikan menjadi 3742,123252. Dan pada Nusselt speed 1 nilai nusselt sangat tinggi dengan nilai 32,1331 dan pada speed kedua nilai nusselt turun menjadi 11,3317 dan pada speed 3 naik menjadi 12,9392.

Tabel 4.3 data pengujian APK pada bukaan 100%.

Data APK	Speed		
	1	2	3
reynold	2265,507936	2738,885457	2894,756987
NU udara	10,24302745	11,1829234	34,77718418

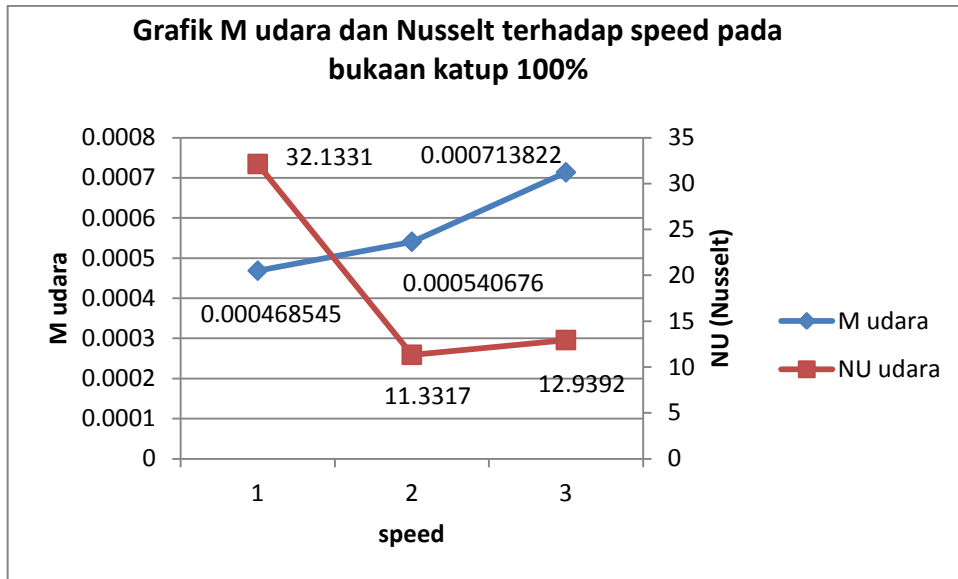


Gambar Grafik 4.2 Nusselt dan Reynold terhadap speed bukaan 50%

Dapat kita lihat pada grafik 4.1 bahwa nilai reynold pada speed 1 senilai 2265,507936 yang di tunjukkan pada garis biru,dan pada speed kedua nilai reynold mengalami kenaikan yaitu 2738,885457 dan pada speed 3 nilai reynold mengalami kenaikan menjadi 2894,75. Dan pada Nusselt speed 1 nilai nusselt sangat tinggi dengan nilai 10,24302749 dan pada speed kedua nilai nusselt turun menjadi 11,1829234dan pada speed 3 naik menjadi 34,77.

Tabel 4.4 data pengujian APK pada bukaan 50%.

Data APK pada bukaan katup 50%			
Data APK	Speed		
	1	2	3
M udara	0,000469	0,000541	0,000714
NU udara	32,1331	11,3317	12,9392



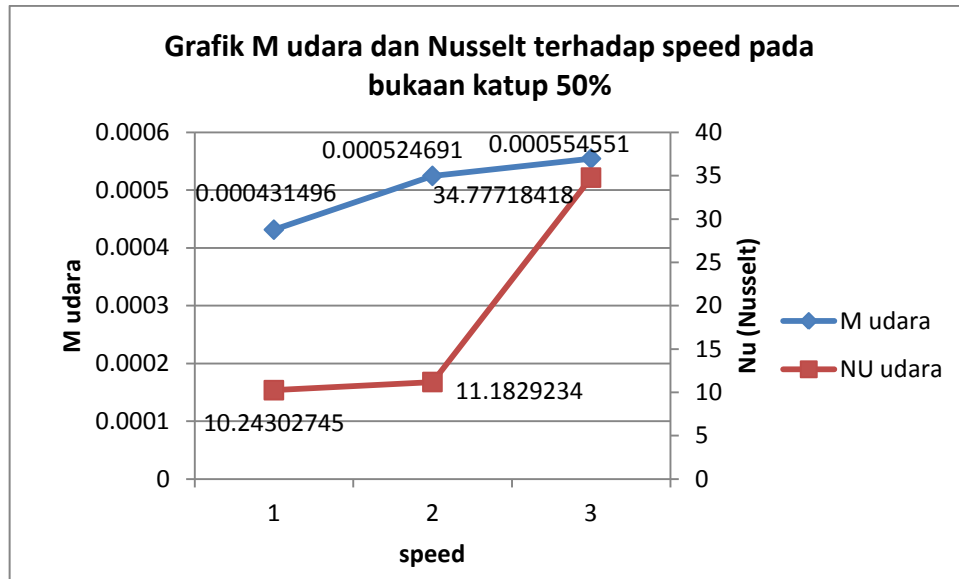
Gambar 4.3 M udara dan Nusselt terhadap speed bukaan 100%

Dapat kita lihat pada grafik 4.3 bahwa nilai M udara pada speed 1 senilai 0,000468545 yang di tunjukkan pada garis biru, dan pada speed kedua nilai M udara mengalami kenaikan yaitu 0,000540676 dan pada speed 3 nilai M udara mengalami kenaikan menjadi 0,000713822. Dan pada Nusselt speed 1 nilai nusselt sangat tinggi dengan nilai 32,1331 dan pada speed kedua nilai nusselt turun menjadi 11,3317 dan pada speed 3 naik menjadi 12,9392.

Tabel 4.5 Data dari hasil pengujian APK bukaan katup 50%.

Data APK	Speed		
	1	2	3
M udara	0,000431	0,000525	0,000555
NU udara	10,24303	11,18292	34,77718

Dilihat pada tabel 4.4 bahwa pada speed 1 nilai M udara terendah yaitu 0,000432 dan pada speed 2 nilai nusselt yaitu 0,000525 dan pada speed 3 nilai reynold semakin tinggi pada nilai 0,000555. Dan pada Nusselt speed 1 hasil pengujian ialah 10,24303 dan pada speed 2 semakin rendah dengan nilai 11,18292 dan pada speed 3 nilai nusselt naik jadi 34,77718.



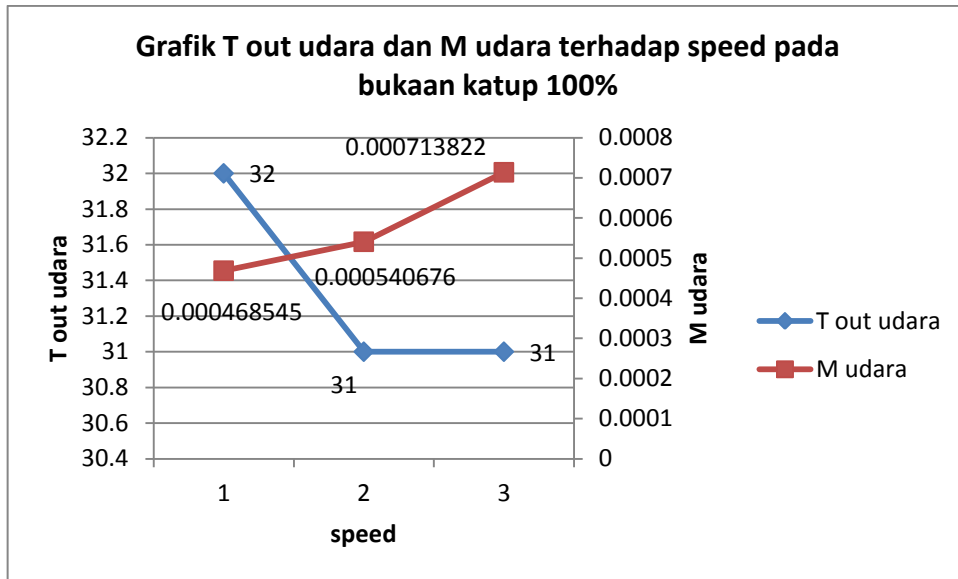
Gambar 4.4 M udara dan Nusselt terhadap speed bukaan 50%

Dapat kita lihat pada grafik 4.4 bahwa nilai M udara pada speed 1 senilai 0,000431496 yang di tunjukkan pada garis biru, dan pada speed kedua nilai M udara mengalami kenaikan yaitu 0,000524691 dan pada speed 3 nilai M udara mengalami kenaikan menjadi 0,000554551. Dan pada Nusselt speed 1 nilai nusselt sangat tinggi dengan nilai 10,24302745 dan pada speed kedua nilai nusselt turun menjadi 11,1829234 dan pada speed 3 naik menjadi 34,77718418.

Tabel 4.6 Data dari hasil pengujian APK bukaan katup 100%.

Data APK	Speed		
	1	2	3
T out udara	32	31	31
M udara	0,000469	0,000541	0,000714

Dilihat pada tabel 4.5 bahwa pada speed 1 nilai T out udara yaitu 32 dan pada speed 2 yaitu 31 dan pada speed 3 nilai T out udara pada nilai 31. Dan pada M udara speed 1 hasil pengujian ialah 0,000469 dan pada speed 2 semakin rendah dengan nilai 0,000541 dan pada speed 3 nilai M udara naik jadi 0,000714.

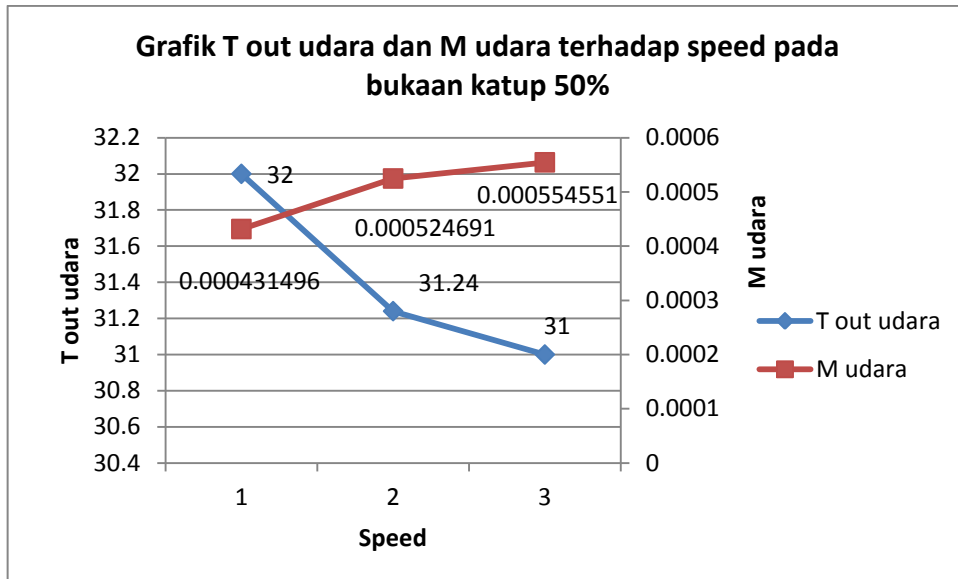


Gambar Grafik 4.5 T out udara dan M udara terhadap speed bukaan 100%.

Dapat kita lihat pada grafik 4.4 bahwa nilai M udara pada speed 1 senilai 0,000468545 yang di tunjukkan pada garis merah,dan pada speed kedua nilai M udara mengalami kenaikan yaitu 0,000540676 dan pada speed 3 nilai M udara mengalami kenaikan menjadi 0,000713822. Dan pada T out udara speed 1 nilai nusselt sangat tinggi dengan nilai 32 dan pada speed kedua nilai T out udara turun menjadi 31 dan pada speed 3 menjadi 31.

Tabel 4.7 Data dari hasil pengujian APK bukaan katup 50%.

Data APK	Speed		
	1	2	3
T out udara	32	31,24	31
M udara	0,000431	0,000525	0,000555

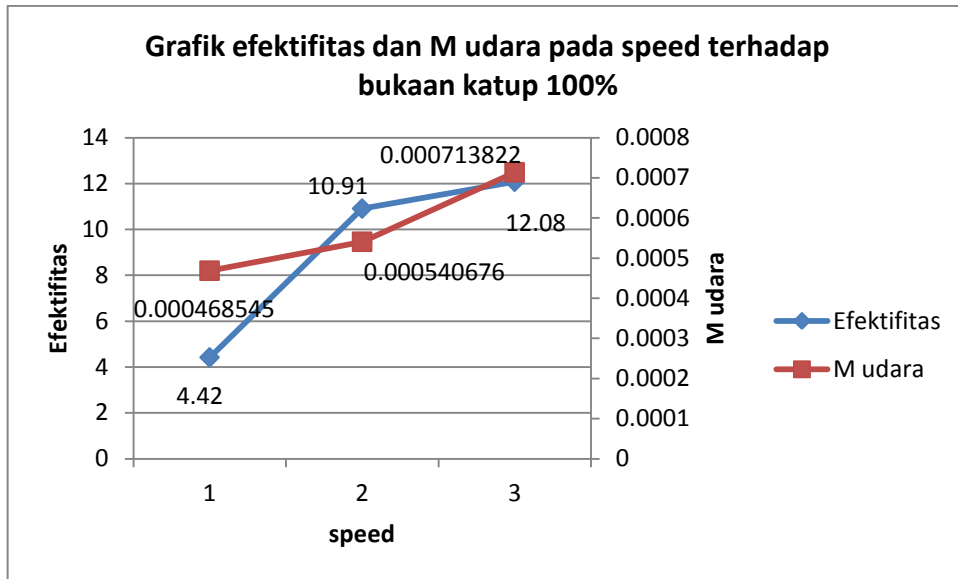


Gambar Grafik 4.6 T out udara dan M udara terhadap speed bukaan 50%.

Dapat kita lihat pada grafik 4.6 bahwa nilai M udara pada speed 1 senilai 0,000431496 yang di tunjukkan pada garis merah, dan pada speed kedua nilai M udara mengalami kenaikan yaitu 0,000520691 dan pada speed 3 nilai M udara mengalami kenaikan menjadi 0,000554551. Dan pada T out udara speed 1 nilai nusselt sangat tinggi dengan nilai 32 dan pada speed kedua nilai T out udara turun menjadi 31,24 dan pada speed 3 menjadi 31.

Tabel 4.8 Data dari hasil pengujian APK bukaan katup 100%.

Data APK	speed		
	1	2	3
Efektifitas	4,42	10,91	12,08
M udara	0,000469	0,000541	0,000714



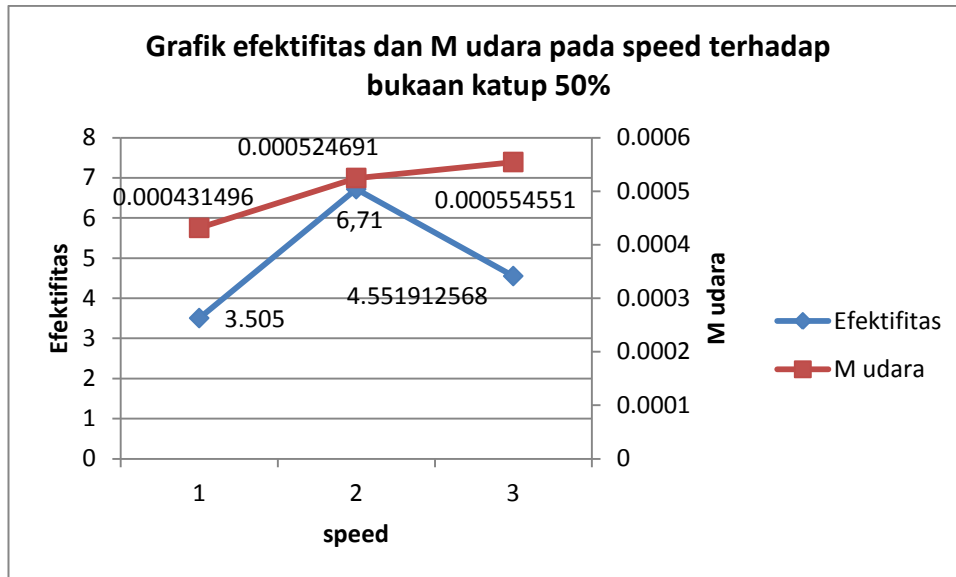
Gambar 4.7 Efektifitas dan M udara terhadap speed bukaan 100%.

Dapat kita lihat pada grafik 4.6 bahwa nilai M udara pada speed 1 senilai 0,000468545 yang di tunjukkan pada garis merah,dan pada speed kedua nilai M udara mengalami kenaikan yaitu 0,000540676 dan pada speed 3 nilai M udara mengalami kenaikan menjadi 0,000713822. Dan pada Efektifitas speed 1 nilai nusselt sangat tinggi dengan nilai 4,42 dan pada speed kedua nilai Efektifitas naik menjadi 10,91 dan pada speed 3 menjadi 12,08.

Tabel 4.9 Data dari hasil pengujian APK bukaan katup 50%.

Data APK	Speed		
	1	2	3
Efektifitas	3,505	6,717742	4,551913
M udara	0,000431	0,000525	0,000555



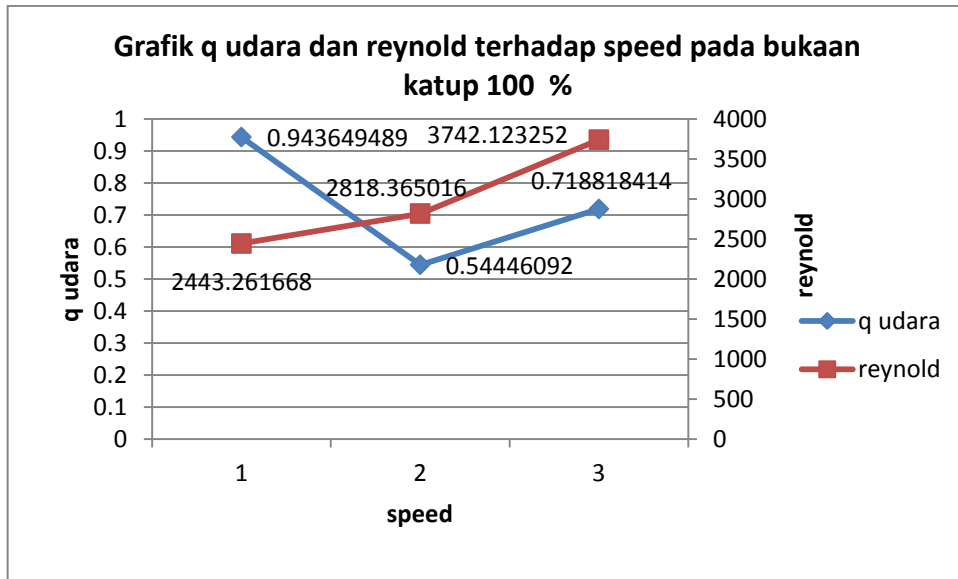


Gambar Grafik 4.8 Efektifitas dan M udara terhadap speed bukaan 50%.

Dapat kita lihat pada grafik 4.6 bahwa nilai M udara pada speed 1 senilai 0,000431496 yang di tunjukkan pada garis merah,dan pada speed kedua nilai M udara mengalami kenaikan yaitu 0,000524691 dan pada speed 3 nilai M udara mengalami kenaikan menjadi 0,000554551. Dan pada Efektifitas speed 1 nilai dengan nilai 3,505 dan pada speed kedua nilai Efektifitas naik menjadi 6,71 dan pada speed 3 menjadi 4,551912568.

Tabel 4.10 Data dari hasil pengujian APK bukaan katup 100%.

Data APK	Speed		
	1	2	3
q udara	0,943649	0,544461	0,718818
Reynold	2443,262	2818,365	3742,123

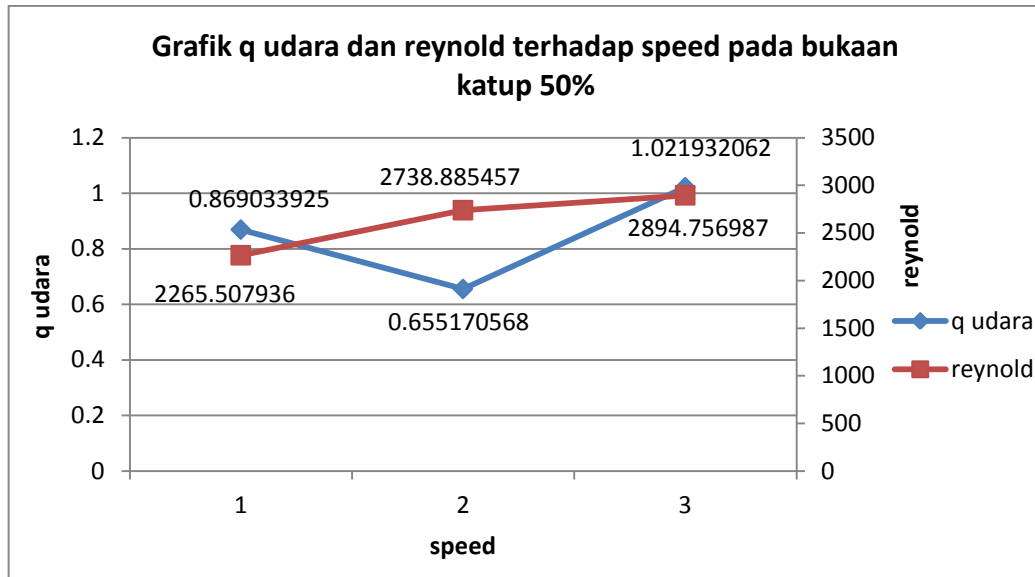


Gambar Grafik 4.9 q udara dan Reynold terhadap speed bukaan 100%.

Dapat kita lihat pada grafik 4.9 bahwa nilai Reynold pada speed 1 senilai 2443,261668 yang di tunjukkan pada garis merah, dan pada speed kedua nilai mengalami kenaikan yaitu 2818,365016 dan pada speed 3 nilai Reynold mengalami kenaikan menjadi 3742,123252. Dan pada q udara speed 1 nilai dengan nilai 0,943649489 dan pada speed kedua nilai q udara menjadi 0,54446092 dan pada speed 3 menjadi 0,718818414.

Tabel 4.11 Data dari hasil pengujian APK bukaan katup 50%.

Data APK	speed		
	1	2	3
q udara	0,869034	0,655171	1,021932
reynold	2265,508	2738,885	2894,757



Gambar 4.10 q udara dan Reynold terhadap speed bukaan 50%.

Dapat kita lihat pada grafik 4.9 bahwa nilai Reynold pada speed 1 senilai 2265,507936 yang di tunjukkan pada garis merah,dan pada speed kedua nilai mengalami kenaikan yaitu 2738,885457 dan pada speed 3 nilai Reynold mengalami kenaikan menjadi 1,021932062. Dan pada q udara speed 1 nilai dengan nilai 0,869033925 dan pada speed kedua nilai q udara menjadi 0,655170568 dan pada speed 3 semakin tinggi menjadi 2894,756987 yang di pengaruhi bukaan katup.

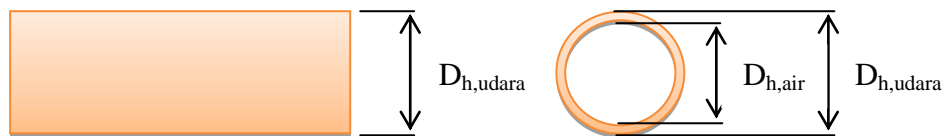
#### 4.2. Perhitungan Data Hasil Studi Eksperimental

Dari hasil studi eksperimental alat penukar kalor tipe *compact* menggunakan *tube* sejajar

diperoleh data berdasarkan tabel 4.1.:

Dari Hasil Studi Eksperimental, diperoleh data berdasarkan tabel.

Temperatur udara masuk ( $T_{c,in}$ )	: 29,83 °C
Temperatur udara keluar ( $T_{c,out}$ )	: 31,37 °C
Temperatur air masuk ( $T_{h,in}$ )	: 60,10 °C
Temperatur air keluar ( $T_{h,out}$ )	: 50,58 °C
Kecepatan udara ( $v_{udara}$ )	: 3,78 m/s
Debit air (Q)	: 1,76 L/min



Maka dapat dihitung temperatur udara rata-rata :

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{29,83^{\circ}C + 31,37^{\circ}C}{2} = 30,6^{\circ}C$$

Tabel 4.2. *Fluida property* udaraberdasarkan temperatur

<i>Fluida property</i>	Temperatur udara (30,6°C)
Cp (J/Kg.°C)	1007
k (W/m.°C)	0,025924
Pr	0,728032
$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	1,16172
$\mu$ (Kg/m.s)	0,0000187605

Temperatur Air rata-rata :

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{60,10^{\circ}\text{C} + 50,58^{\circ}\text{C}}{2} = 55,34^{\circ}\text{C}$$

Tabel 4.3. *Fluida property* air berdasarkan temperatur

<i>Fluida property</i>	Temperatur air (55,34°C)
Cp (J/Kg.°C)	4179
k (W/m.°C)	0,651940647
Pr	3,129442446
$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	984,2884892
$\mu$ (Kg/m.s)	0,000488299

- Menghitung Laju Perpindahan Massa udara ( $\dot{m}_{udara}$ )

$\rho$  lihat tabel 4.4.

$$\begin{aligned} A_{udara} &= \left(\frac{\pi}{4}\right)D^2 \\ &= (0,785)(0,00127\text{m})^2 \\ &= 0,000997\text{m}^2 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \dot{m}_{udara} &= \rho \cdot v \cdot A_{udara} \\ &= 1,16172 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (3,78\text{m}^2) \\ &= 7,7287 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

- Menghitung Laju Perpindahan Massa air ( $\dot{m}_{air}$ )

$\rho$  lihat tabel 4.5.

$$A_{air} = \left(\frac{\pi}{4}\right)D^2$$

$$= (0,785)(0,0127m)^2$$

$$= 0,00997m^2$$

$$v = \frac{Q}{A_{air}}$$

$$= \frac{1,76m^3/s}{0,00997m^2}$$

$$= 176,53m/s$$

Maka,

$$\dot{m}_{air} = \rho \cdot v \cdot A_{air}$$

$$= 984,2884892 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,76 \frac{m}{s} \cdot (0,00997m^2)$$

$$= 17,2716 \frac{kg}{s}$$

- Menghitung Laju Perpindahan Panas udara ( $q_{udara}$ )

Cp lihat tabel 4.2.

$$q_{udara} = \dot{m}_{udara} \cdot Cp \cdot (T_{c,out} - T_{c,in})$$

$$= 7,7287 \frac{kg}{s} \cdot 1007 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (31,37^\circ C - 29,83^\circ C)$$

$$= 1,120 \text{ watt}$$

- Menghitung Laju Perpindahan Panas air ( $q_{air}$ )

Cp lihat tabel 4.3.

$$q_{air} = \dot{m}_{air} \cdot Cp \cdot (T_{h,in} - T_{h,out})$$

$$= 17,2716 \frac{kg}{s} \cdot 4179 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (60,10^\circ C - 50,58^\circ C)$$

$$= 6893,45 \text{ watt}$$

- Menghitung Bilangan Reynold udara ( $R_{e,udara}$ )

$\rho$  dan  $\mu$  lihat tabel 4.2.

$$R_{e,udara} = \frac{\rho \cdot v_{udara} \cdot D_{h,udara}}{\mu}$$

$$= \frac{1,16172 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,78 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0127 \text{m}}{0,0000187605 \frac{\text{Kg}}{\text{m.s}}}$$

$$= 2972,7895 \text{ (} 2300 > \text{Re} < 4000 \text{) (aliran transisi)}$$

- Menghitung Bilangan Reynold air ( $R_{e,air}$ )

$\rho$  dan  $\mu$  lihat tabel 4.3.

$$R_{e,air} = \frac{\rho \cdot v \cdot D_{h,air}}{\mu}$$

$$= \frac{984,2884892 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0125 \text{m}}{0,000488299 \frac{\text{Kg}}{\text{m.s}}}$$

$$= 44346,50 > 4000 \text{ (aliran turbulen)}$$

- Menghitung Bilangan Nusselt udara ( $Nu_{udara}$ )

Untuk aliran transisi, perhitungan Nu menggunakan korelasi hilpert.

C (0-4000) dan

Pr,  $\mu$  dan  $\rho$  lihat tabel 4.2.

u = kecepatan menyeluruh =  $v_{udara}$

$$v = \text{viskositas} = \frac{\mu}{\rho}$$

$$= \frac{0,0000187605 \text{ Kg} / \text{m.s}}{1,16172 \text{ kg} / \text{m}^3}$$

$$= 0,00001614 \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$Nu = C \left( \frac{u.d}{\nu} \right)^n Pr^{1/3}$$

$$= 0,683 \left( \frac{1,96 \text{ m/s} \cdot 0,0254 \text{ m}}{0,00001616} \right)^{0,466} \cdot 0,7279536^{1/3}$$

$$= 25,9184282$$

- Menghitung Bilangan Nusselt air ( $Nu_{air}$ )

Untuk aliran turbulen, perhitungan  $Nu_m$  menggunakan korelasi Dittus-Boelter.

$Re$  dan  $Pr$  lihat tabel 4.5.

$$Nu_{air} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

$$= 0,023 \cdot (33183,97643)^{0,8} \cdot (3,129442446)^{0,4}$$

$$= 150,1956534$$

- Menghitung Koefisien Konveksi Udara ( $h_{udara}$ )

$k$  lihat tabel 4.2.

$$h_{udara} = \frac{Nu_{udara} \cdot k}{D_{h,udara}}$$

$$= \frac{25,9184282 (0,02594512) \text{ W} / \text{m} \cdot \text{°C}}{0,0127 \text{ m}}$$

$$= 52,94 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°C}$$



- Menghitung Koefisien Konveksi Air (h)

k lihat tabel 4.3.

$$h_{air} = \frac{Nu_{air} \cdot k}{D_{h,air}}$$

$$= \frac{150,1956534 (0,651940647) \text{ W/m}\cdot\text{C}}{0,0125m}$$

$$= 7833,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$$

- Menghitung Pressure Drop ( $\Delta P$ )

$\rho$  lihat tabel 4.2.

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$= 1,160656 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,001m$$

$$= 0,011386 Pa$$

- Menghitung  $\Delta T$  LMTD

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,out} - T_{c,out}) - (T_{h,in} - T_{c,in})}{\ln \left[ \frac{T_{h,out} - T_{c,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \right]}$$

$$= \frac{(50,58^\circ C - 31,37^\circ C) - (60,10^\circ C - 29,83^\circ C)}{\ln \left[ \frac{50,58^\circ C - 31,37^\circ C}{60,10^\circ C - 29,83^\circ C} \right]}$$

$$= 10,90^\circ C$$

- Menghitung Faktor Gesekan (f)

$\rho$  lihat tabel 4.2.

N = jumlah baris *tube* dalam APK

$$G = \frac{\dot{m}}{A_{udara}}$$

$$= \frac{7,7287 \text{ kg/s}}{3,78 \text{ m}^2}$$

$$= 2,04462963 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{Maka : } f = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_{udara}}{G^2 N}$$

$$= \frac{2(0,011386 \text{ pa})1,160656 \text{ kg/m}^3}{\left(2,269153409 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}\right)^2 \cdot 4}$$

$$= 0,001283271$$

- Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

$$U = \frac{q_{udara}}{A_{udara} \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$= \frac{1,120 \text{ watt}}{3,78 \text{ m}^2 \cdot 10,90^\circ \text{C}}$$

$$= 27,18 \text{ watt/m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

Untuk perhitungan pengujian berikutnya dapat dilihat pada tabel yang ada pada lampiran.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tugas sarjana yang telah dilakukan penulis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Dari hasil studi ini, dapat ditarik kesimpulan jika katup *bypass* di buka penuh maka air yg masuk ke Alat Penukar Kalor menjadi  $60,10^{\circ}\text{C}$ , yang lebih tinggi temperaturnya dari pada air keluar.
2. Semakin tinggi kecepatan udara yang di alirkan mengakibatkan *pressure drop* mengalami peningkatan.

#### 5.2. Saran

1. Untuk studi selanjutnya diharapkan lebih memperhatikan penggunaan material sebagai bahan untuk membuat *Heat Exchanger*.
2. Sebaiknya studi *Heat Exchanger* dengan menggunakan Sub Sonic Wind Tunnel dilakukan di ruangan tertutup agar udara atmosfer tidak mengganggu proses pengujian.
3. Pisahkan pengambilan listrik untuk pompa air dan *heater* agar tidak mengganggu kinerja pompa saat *heater* mulai hidup.

**Table A-9** | Properties of water (saturated liquid).<sup>†</sup>

Note: $Gr_x Pr = \left( \frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$							
°F	°C	$c_p$ kJ/kg·°C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ kg/m·s	$k$ W/m·°C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$ 1/m <sup>3</sup> ·°C
32	0	4.225	999.8	$1.79 \times 10^{-3}$	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	$1.91 \times 10^9$
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	$6.34 \times 10^9$
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	$1.08 \times 10^{10}$
70	21.11	4.179	997.4	$9.8 \times 10^{-4}$	0.604	6.78	$1.46 \times 10^{10}$
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	$1.91 \times 10^{10}$
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	$2.48 \times 10^{10}$
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	$3.3 \times 10^{10}$
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	$4.19 \times 10^{10}$
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	$4.89 \times 10^{10}$
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	$5.66 \times 10^{10}$
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	$6.48 \times 10^{10}$
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	$7.62 \times 10^{10}$
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	$8.84 \times 10^{10}$
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	$9.85 \times 10^{10}$
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	$1.09 \times 10^{11}$
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	$9.51 \times 10^{-5}$			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

<sup>†</sup>Adapted to SI units from A. I. Brown and S. M. Marco, *Introduction to Heat Transfer*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1958.

**TABLE A-15**

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Note: For ideal gases, the properties  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$ , and Pr are independent of pressure. The properties  $\rho$ ,  $\nu$ , and  $\alpha$  at a pressure  $P$  (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of  $\rho$  at the given temperature by  $P$  and by dividing  $\nu$  and  $\alpha$  by  $P$ .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, and P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

## CURRICULUM VITAE



### **A. DATA PRIBADI**

1. Nama : Ajhari Agustian Munthe
2. Jenis Kelamin : Laki – Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : Gunung Lonceng, 16 Agustus 1993
4. Kebangsaan : Indonesia
5. Status : Belum Menikah
6. Tinggi / Berat Badan : 165 cm / 50 kg
7. Agama : Islam
8. Alamat : Gunung Lonceng Kec Kualuh Selatan  
Kab Labuhan Batu Utara
9. No. Hp : +6285359335006
10. Email : [ajharimunthe@gmail.com](mailto:ajharimunthe@gmail.com)

### **B. Riwayat Pendidikan**

1. 2000 – 2006 : Lulus SD Negeri 112268 Gunung Lonceng
2. 2006 – 2009 : Ponpes AT-TAUFIQURRAHMAN  
Gunung Melayu Kec Kualuh Selatan  
Kab Labuhan Batu Utara
3. 2009 – 2012 : SMK Pemda Rantau Prapat
4. 2013 – 2017 : Kuliah di Universitas Muhammadiyah  
Sumatera Utara, Fakultas Teknik,  
Program Studi Teknik Mesin S1.

