

**ANALISIS PENGARUH LUAS SIRIP ALAT PENUKAR KALOR
TERHADAP PENGKONDISIAN SUHU RUANGAN DENGAN
MEMANFAATKAN PENAMPUNG AIR SKALA MODEL**

SKRIPSI

OLEH :

DANIEL PANGGABEAN

NPM : 148130025



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2019

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 11/4/19

Access From (repository.uma.ac.id)

**ANALISIS PENGARUH LUAS SIRIP ALAT PENUKAR
KALOR TERHADAP PENGKONDISIAN SUHU RUANGAN
DENGAN MEMANFAATKAN PENAMPUNG AIR SKALA
MODEL**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh
Gelara Strata Satu (S1) Pada Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik*

Universitas Medan Area

OLEH :

DANIEL PANGGABEAN

NPM : 148130025



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Document Accepted 11/4/19

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Analisis Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Terhadap Pengkondisian Suhu Ruangan Dengan Memanfaatkan Penampung Air Skala Model

Nama : Daniel Panggabean

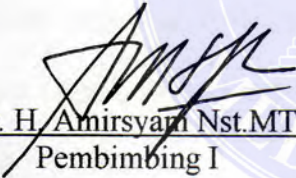
Npm : 148130025

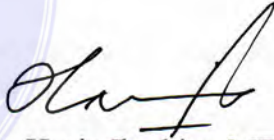
Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

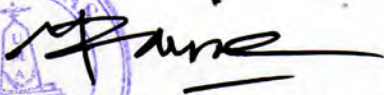
Jenjang : S1

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. H. Amirsyah Nst.MT
Pembimbing I


Ir. Husin Ibrahim, MT
Pembimbing II

Mengetahui:


Dr. Faisal Amri Tanjung, S.ST, MT
Dekan Fakultas Teknik


Bobby Umaroh, ST, MT
Ketua Program Studi

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Document Accepted 11/4/19

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun

Tanggal Lulus: 24 September 2019

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Daniel Panggabean

NPM : 148130025

Tempat/Tanggal Lahir : Pansurnapitu, 05 Oktober 1993

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan judul : “Analisis Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Terhadap Pengkondisian Suhu Ruangan Dengan Memanfaatkan Penampung Air Skala Model” adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya termasuk pencabutan gelar Sarjana Teknik yang nanti saya dapatkan.

Medan, 24 September 2019



Daniel Panggabean

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 11/4/19

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)

TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : DANIEL PANGGABEAN

NPM : 148130025

Program Studi : MESIN

Fakultas : TEKNIK

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Eksklusif (Non-exclusive Royalty-free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: Analisis Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Terhadap Pengkondisian Suhu Ruangan Dengan Memanfaatkan Penampung Air Skala Model. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalty Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai hak pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 24 September 2019

Yang menyatakan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penunjang karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

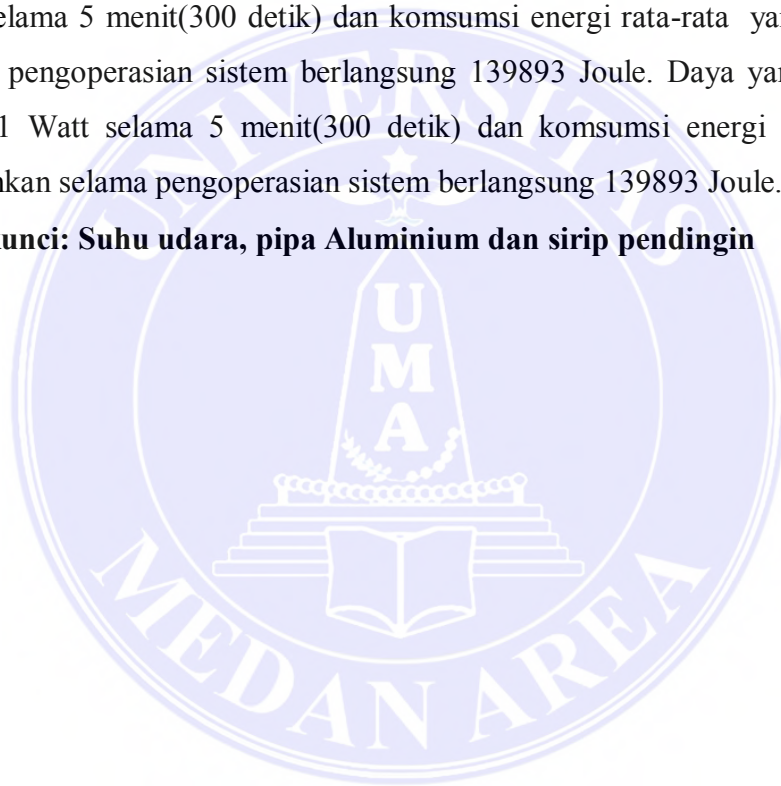


[Signature]
Daniel Panggabean

ABSTRAK

Air dipenampungan kamar mandi dapat dimanfaatkan untuk menyejukan ruangan, dengan cara udara yang dilalui pipa Aluminium direndam ke dalam bak air tersebut. Melalui sistim yang telah dirancang sehingga diperoleh laju pendinginan ruangan menggunakan enam sirip Aluminium adalah 31,5254 W. Dari hasil perhitungan laju pendinginan diperoleh bahwa, jika menggunakan empat sirip Aluminium laju pendinginan ruangan model lebih kecil (21,9931 W) begitu juga jika memakai dua sirip Aluminium(4,876 W). Daya yang dibutuhkan 25,9061 Watt selama 5 menit(300 detik) dan komsumsi energi rata-rata yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung 139893 Joule. Daya yang dibutuhkan 25,9061 Watt selama 5 menit(300 detik) dan komsumsi energi rata-rata yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung 139893 Joule.

Kata kunci: Suhu udara, pipa Aluminium dan sirip pendingin



ABSTRACT

Water in the bathroom reservoirs can be utilized to cool the room, through the air pass the Aluminium pipe which is soaked into the water of the tub. Through the designed system, it was obtained the temperature cooling rate using the six fins of Aluminium as much as 31.5254 W. Then, based on the calculation of the temperature cooling rate, it was obtained that in using four fins of Aluminium, the model temperature cooling rate was lower (21.9931 W), as well as using two fins of Aluminium (4.876 W). To sum up, the power needed was 25.9061 Watt for 5 minutes (300 seconds) and the average energy consumptions needed during the operating system was 139893 Joule.

Keywords: *Air temperature, Aluminium pipe, and Cooling fins*



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, dengan judul **“Analisis Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Terhadap Pengondisian Suhu Ruang Dengan Memanfaatkan Penampung Air Skala Model”**.

Dalam penulisan skripsi ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik dan lancar berkat bantuan dari berbagai pihak yang terkait. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

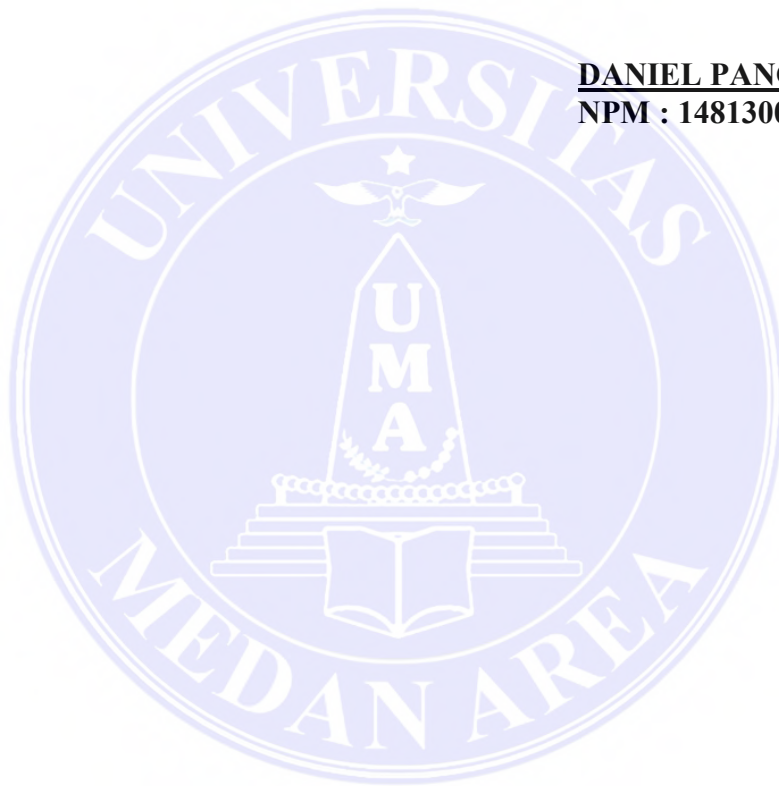
1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Faisal Amri Tanjung, SST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Ir. H. Darianto, M.Sc., selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Ibu Susilawati, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
5. Bapak Bobby Umroh, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
6. Bapak Ir. H. Amirsyam Nst.MT., selaku Pembimbing I yang telah banyak membantu dan meluangkan waktunya dalam membimbing dan memberi saran dalam penyusunan skripsi ini
7. Bapak Ir. Husin Ibrahim, MT., selaku Pembimbing II yang telah banyak membantu dan meluangkan waktunya dalam membimbing dan memberi saran dalam penyusunan skripsi ini
8. Seluruh Dosen-Dosen di Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.
9. Bagian Akademik Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.
10. Ayah dan Ibu beserta Adik yang telah memberikan dorongan kepada penulis baik secara moril maupun material.
11. Untuk kekasih ku Debby Novriyanti Tampubolon, S.Kom yang telah membantu saya dalam penulisan dan penyusunan skripsi serta dorongan baik secara moril maupun material.

12. Seluruh sahabat terdekat dan teman sekelas yang memberikan semangat dan dukungan, bantuan dan saran selama menyusun skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua.

Medan, Oktober 2019
Penulis,

DANIEL PANGGABEAN
NPM : 148130025



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PERNYATAAN PUBLIKASI	
RIWAYAT HIDUP	
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sifat Dasar Fluida	5
2.1.1 Berat Jenis	5
2.1.2 Kerapatan	6

2.1.3	Kerapatan Relatif.....	6
2.1.4	Tekanan.....	7
2.1.5	Temperatur.....	9
2.1.6	Kekentalan.....	10
2.2	Aliran Fluida Dalam Pipa.....	12
2.2.1	Aliran Laminar dan Turbulen dalam Pipa.....	13
2.3	Sensor / Transduser.....	16
2.4	Aluminium.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....		25
3.1	Tempat dan Waktu.....	25
3.2	Bahan dan Alat.....	25
3.2.1	Bahan.....	25
3.2.2	Alat - alat.....	27
3.3	Metode Pengumpulan Data.....	30
3.3.1	Metode Observasi.....	30
3.3.2	Metode Pengukuran suhu dan kecepatan udara masuk-keluar.....	30
3.4	Diagram Alir Pelaksanaan.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Laju Pendinginan Udara Menggunakan Dua Sirip Aluminium.....	33
4.2	Laju Pendinginan Udara Menggunakan Empat Sirip Aluminium.....	36
4.3	Laju Pendinginan Udara Menggunakan Enam Sirip Aluminium.....	38
4.4	Luas Sirip.....	41
4.5	Konsumsi Energi.....	43
BAB V PENUTUP.....		44
5.1	Kesimpulan.....	44
5.2	Saran.....	44

LAMPIRAN DOKUMENTASI



DAFTAR GAMBAR

No.	Nama Gambar	Halaman
2.1	Tekanan Pada Kedalaman h Dalam Cairan	8
2.2	Manometer U	9
2.3	Perubahan bentuk akibat dari penerapan tegangan geser	11
2.4	Aliran Laminar atas dan aliran turbulen bawah	14
2.5	Percobaan Reynold tentang Aliran Laminar dan turbulen	15
2.6	Gerakan sebuah elemen fluida dalam sebuah pipa silindris	16
2.7	Konstruksi Dasar Strain Gauge	17
2.8	Strain Gauge Dengan Batang Penahan dan Bola Pimpong	18
2.9	Probe Hot Wire	19
2.10	Bentuk Dasar Sistem Anemometer Cup	19
2.11	Aluminium sebagai heat sink	21
2.12	Berbagai Jenis Bentuk Sirip	24
3.1	Exhous Fan Ukuran 50x50x15 mm	26
3.2	Pipa Aluminium	26
3.3	Plat Besi	26
3.4	Box Streofom	27
3.5	Aluminium Bersirip	27
3.6	Alat Ukur jangka sorong	27
3.7	Meteran	28
3.8	Termocouple dan Display	28
3.9	Hygrometer	28
3.10	Hotwire Anemometer	29
3.11	Pemotong Pipa	29
3.12	Set Up Alat Uji	29

3.13	Bak Air dengan sirip pendingin dan pipa aluminium	30
3.14	Diagram Alir Penelitian	32
4.1	Grafik Perubahan Suhu Menggunakan Dua Sirip	34
4.2	Grafik Laju Pendinginan Menggunakan Dua Sirip	34
4.3	Perubahan Suhu Terhadap Waktu	38
4.4	Perubahan Laju Pendinginan Terhadap Waktu	38
4.5	Perubahan Suhu Terhadap Waktu	40
4.6	Perubahan Laju Pendinginan Terhadap Waktu	40
4.7	Grafik Perbandingan Penurunan Suhu	41
4.8	Grafik Perbandingan Laju Pendinginan	41
4.9	Blok Aluminium Bersirip	42



DAFTAR TABEL

No.	Nama Gambar	Halaman
2.1	Sifat Fisik Aluminium	20
3.1	Jadwal Pelaksanaan Penelitian	25
3.2	Instrumen Pengambilan Data	31
4.1	Hasil Pengukuran Menggunakan Dua Sirip Aluminium	33
4.2	Hasil Pengukuran Udara Empat Sirip Aluminium	36
4.3	Hasil Pengukuran Menggunakan Enam Sirip Aluminium	39



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya dibidang teknik penyejuk ruangan menggunakan alat penyejuk ruangan menggunakan es batu yang ditiup oleh kipas angin dan air yang dipompa kemudian disemprotkan. Teknik penyejuk ruangan menggunakan alat penukar kalor dengan memanfaatkan tempat penampungan air dapat juga digunakan. Hasil pemanfatan suhu air di bak penampungan ini sangat menentukan performance suhu ruangan. Dengan memanfaatkan sistim penyejuk aliran udara ini disesuaikan dengan konstruksi, permesinan, bangunan, maupun bidang lainnya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan sistim penyejuk ruangan sesuai dengan kemampuan alat penukar Pemanfaatan sistim penyejuk aliran udara saat ini semakin meluas baik dalam konstruksi, permesinan, bangunan, maupun bidang lainnya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan sistim penyejuk ruangan terus berkembang sesuai dengan efisiensi dan kebutuhan konsumen kalo Pemanfaatan sistim penyejuk aliran udara saat ini semakin meluas baik dalam konstruksi, permesinan, bangunan, maupun bidang lainnya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan sistim penyejuk ruangan terus berkembang sesuai dengan efisiensi dan kebutuhan konsumen itu sendiri.

Beberapa penelitian tentang pemakaian sirip-sirip pin ellips susunan salang seling meningkatkan perpindahan panas dari permukaan base plate [Akhyar, 2010]. Pengaruh *Pressure drop* (Δp) aliran dua fase melalui belokan 45° mengalami penurunan [Awaluddin, 2014]. Pemakaian alat penukar kalor jenis

helical coil multi tube dapat juga digunakan sebagai pemanas udara yang digunakan pada rak-rak pengering padi [Zainuddin, 2015]. Digunakan kombinasi variasi laju aliran udara terhadap material yang dipergunakan. Semakin cepat laju aliran udara yang masuk ke dalam asupan saluran ram-air intake maka semakin besar nilai laju aliran massa yang diperoleh [Tony, 2012]. Dalam sistim pemipaan fluida tidak sepenuhnya dibuang/dilepas karena ada perbedaan suhu masuk dan keluar dari pipa pada sistim alat penukar kalor [Audri, 2015].

1.2 Perumusan Masalah

Luas sirip penukar kalor umumnya mempengaruhi sistim penurunan suhu udara menggunakan sistim pendingin seperti ac atau kulkas. Dalam penelitian ini peneliti mencoba meneliti Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Dengan Memanfaatkan Penampungan Air Skala Model.

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dari penelitian ini adalah Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Dengan Memanfaatkan Penampungan Air Skala Model. Agar pembahasan tidak terlalu luas dan disertai dengan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis, maka pada tugas sarjana ini penulis membatasi masalah hanya sebatas:

1. Menganalisa pengaruh luas sirip alat penukar kalor dengan memanfaatkan penampungan air
2. Objek penelitian yang diteliti adalah pemakaian kombinasi dari luas sirip penukar kalor dari skala model.

3. Variabel yang diukur pada penurunan suhu udara masuk dan keluar sistim

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan pengaruh luas sirip penukar kalor dengan memanfaatkan tempat penampungan air.
2. Menganalisa suhu aliran udara masuk dan hasil penurunan suhu udara dengan kombinasi luas sirip alat penukar kalor.
3. Mendapatkan efisiensi dari kajian kombinasi luas sirip alat penukar kalor.

1.5 Manfaat Penelitian

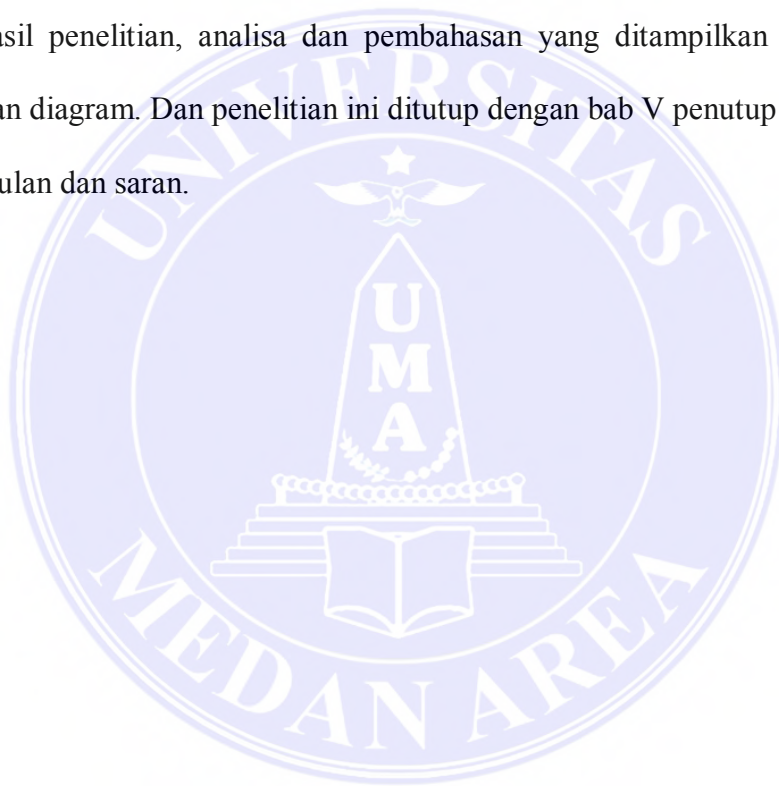
Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mampu mendapatkan dan tahu terhadap cara kerja sistim.
- Mendapat pengaruh alat penukar kalor.
- Mengetahui pengaruh luas sirip alat penukar kalor.
- Memahami perubahan akibat setiap perlakuan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut: Bagian pendahuluan berisi tentang halaman judul, halaman pengesahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, dan daftar lampiran. Bagian isi laporan penelitian terdiri dari: bab I pendahuluan berisi tentang latar belakang, perumusan

masalah, tujuan dan manfaat, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan laporan. Bab II Tinjauan pustaka, berisi tentang gambaran umum fluida, material, jenis alat uji laju aliran udara, pengujian aliran udara karena alat penukar kalor. Bab III Metodologi penelitian, merupakan rangkaian pelaksanaan dengan menguraikan desain penelitian, bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian, pengukuran alat uji, diagram alir, teknik pengambilan data, analisa data dan tempat penelitian. Bab IV Analisa hasil dan pembahasan penelitian, berisi tentang data hasil penelitian, analisa dan pembahasan yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan diagram. Dan penelitian ini ditutup dengan bab V penutup Berisi tentang kesimpulan dan saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat Dasar Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (*shear force*). Definisi lain dari fluida adalah zat yang dapat mengalir yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa. Ketahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruang. Berdasarkan wujudnya, fluida dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Fluida gas, merupakan fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu.
2. Fluida cair, merupakan fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya

Untuk memahami segala hal tentang aliran fluida, maka terlebih dahulu harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Sifat-sifat dasar fluida tersebut yaitu: berat jenis, kerapatan, tekanan, temperatur, kekentalan.

2.1.1 Berat Jenis

Berat Jenis (*specific weight*) dari suatu fluida, dilambangkan dengan γ (gamma), didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume. Dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \frac{\rho V g}{V} = \rho g \quad (2.1)$$

dimana; γ = berat jenis (N/m³)

ρ = kerapatan zat, (kg/m³)

g = percepatan gravitasi = 9,81 m/s²

2.1.2 Kerapatan

Kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Kerapatan dinyatakan dengan ρ (adalah huruf kecil Yunani yang dibaca “rho”) dan dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{Satuan Volume}} = \frac{m}{V} \quad (\text{Kg/m}^3) \quad (2.2)$$

Kerapatan fluida bervariasi tergantung jenis fluidanya. Untuk fluida gas, perubahan temperatur dan tekanan sangat mempengaruhi kerapatan gas. Untuk fluida cairan pengaruh keduanya adalah kecil. Jika kerapatan fluida tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur maupun tekanan dinamakan fluida incompressible atau fluida tak mampu mampat.

2.1.3 Kerapatan Relatif

Kerapatan relatif merupakan perbandingan antara kerapatan fluida tertentu terhadap kerapatan fluida standard, biasanya air pada 4oC (untuk cairan) dan udara (untuk gas). Kerapatan relatif (*specific gravity* disingkat SG) adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan, dinyatakan pada persamaan sebagai berikut :

$$\text{Untuk fluida gas} \quad : \quad SG_{\text{gas}} = \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{udara}}} = \frac{\rho_{\text{gas}}}{1205 \text{ Kg/m}^3} \quad (2.3)$$

$$\text{Untuk fluida cairan} \quad : SG_{\text{cairan}} = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{udara}}} = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{1000 \text{ Kg/m}^3} \quad (2.4)$$

2.1.4 Tekanan

Tekanan didefinisikan sebagai besarnya gaya (F) tiap satuan luas bidang yang dikenainya (A). Apabila suatu zat (padat, cair, dan gas) menerima gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan zat tersebut, maka dapat dirumuskan :

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

dimana;

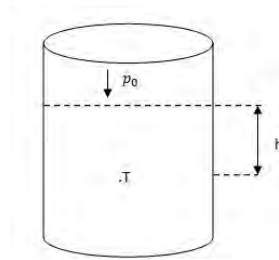
P = tekanan (N/m²)

F = gaya (N)

A = luas penampang (m²)

Satuan SI (Satuan Internasional) untuk tekanan adalah Pa (Pascal) turunan dari Newton/m². Dalam teknik memang lebih banyak digunakan satuan tekanan lain seperti psi (*pound per square inch*), bar, atm, kgf/m² atau dalam ketinggian kolom zat cair seperti cmHg.

Apabila suatu titik (benda) berada pada kedalaman h tertentu di bawah permukaan cairan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1, maka berat benda membuat cairan tersebut mengeluarkan tekanan. Tekanan yang dipengaruhi oleh kedalaman zat cair ini disebut dengan tekanan hidrostatik. Tekanan ini terjadi karena adanya berat air yang membuat cairan tersebut mengeluarkan tekanan



Gambar 2.1 Tekanan Pada Kedalaman h Dalam Cairan [19]

Gaya yang bekerja pada luasan tersebut adalah $F = mg = \rho Ahg$, dengan Ah adalah volume benda tersebut, ρ adalah kerapatan cairan (diasumsikan konstan), dan g adalah percepatan gravitasi. Kemudian tekanan hidrostatis Ph adalah

$$Ph = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho gh \quad (2.6)$$

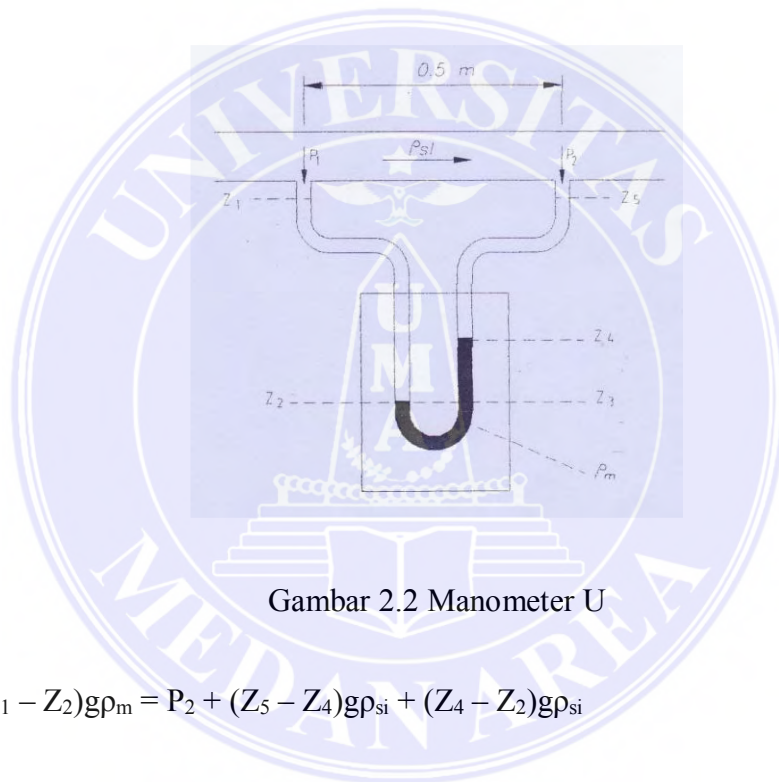
Pemahaman tekanan hidrostatis dengan melakukan percobaan yang menggunakan kaleng bekas tanpa tutup yang diberi lubang berbeda pada ketinggian, tetapi terletak pada satu garis vertical, maka seluruh lubang akan memancarkan air. Tetapi, masing-masing lubang memancarkan air dengan jarak yang berbeda. Lubang paling dasarlah yang memancarkan air paling deras. Jadi, gaya gravitasi menyebabkan zat cair dalam wadah selalu tertarik kebawah. Semakin tinggi zat cair dalam wadah, maka akan semakin besar tekanan zat cair itu, sehingga makin besar juga tekanan zat cair pada dasar wadahnya.

Tekanan Gauge adalah selisih antara tekanan yang tidak diketahui dengan tekanan atmosfer (tekanan udara luar). Nilai tekanan yang diukur oleh alat pengukur tekanan adalah tekanan gauge. Adapun tekanan sesungguhnya disebut dengan tekanan mutlak.

Tekanan mutlak = tekanan gauge + tekanan atmosfer

$$P = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}} \quad (2.7)$$

Alat ukur tekanan dan beberapa jenis alat lainnya telah diciptakan untuk mengukur tekanan, diantaranya yang paling sederhana adalah manometer tabung terbuka, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2. Manometer tersebut digunakan untuk mengukur tekanan tera yang terdiri dari sebuah tabung yang berbentuk U yang berisi cairan, umumnya mercury (air raksa) atau air.



Gambar 2.2 Manometer U

$$P_1 + (Z_1 - Z_2)g\rho_m = P_2 + (Z_5 - Z_4)g\rho_{si} + (Z_4 - Z_2)g\rho_{si}$$

$$P_1 - P_2 = (Z_4 - Z_2)g(\rho_m - \rho_{si}) \quad (2.8)$$

2.1.5 Temperatur

Temperatur berkaitan dengan tingkat energi internal dari suatu fluida. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran. Makin tingginya energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi temperatur benda tersebut.

Temperatur diukur dengan alat termometer. Empat macam termometer yang paling dikenal adalah Celsius, Reamur, Fahrenheit dan Kelvin. Perbandingan antara satu jenis termometer dengan termometer lainnya mengikuti [8] :

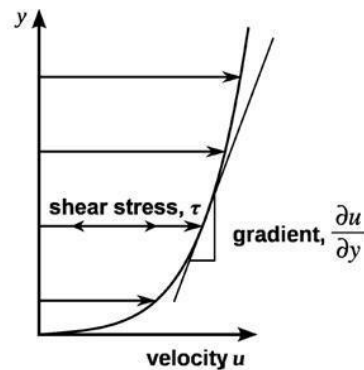
$$C : R : (F-320) = 5 : 4 : 9 \text{ dan}$$

$$K = C + 2730 \quad (2.9)$$

2.1.6 Kekentalan

Kekentalan (viskositas) diartikan sebagai tahanan internal terhadap aliran, dan beberapa ahli dapat juga mendefinisikan sebagai gesekan dari fluida. Kekentalan adalah nilai yang diukur dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*). Dalam kehidupan sehari-hari dapat kita jumpai pada fluida seperti air, jelly, madu, susu, dapat pula dikatakan karena tegangan geser air kecil, sehingga mudah jatuh maka viskositas air lebih kecil dibandingkan dengan madu, karena madu mempunyai tegangan geser internal yang lebih besar, sehingga saat diteteskan madu lebih sulit untuk jatuh dibandingkan dengan air.

Pengertian yang paling sederhana adalah bahwa semakin kecil nilai viskositas maka semakin mudah suatu fluida untuk bergerak. Fluida ideal adalah fluida yang tidak memiliki tahanan gesekan terhadap tegangan geser, atau biasanya disebut juga dengan *inviscid fluid*, sedangkan fluida normal selalu mempunyai tahanan gesekan terhadap tegangan geser, yang disebut dengan *viskos fluid*. Rheology adalah ilmu yang mempelajari aliran suatu benda. Yang didalamnya terdapat juga konsep viskositas, thermofluid dan hubungan lainnya.



Gambar 2.3 Perubahan bentuk akibat dari penerapan tegangan geser [13]

Hubungan antara tegangan geser dan viskositas dan perubahan kecepatan dapat dipahami pada kasus aliran diantara dua plat datar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Misalkan jarak antar plat adalah y dan diantara plat tersebut terdapat fluida dengan isi yang homogen. Asumsikan bahwa plat sangat luas. Dengan luas A yang besar, pengaruh rusuk dapat dianggap tidak ada. Pada plat bagian bawah dianggap tetap lalu diberikan gaya sebesar F pada plat atas. Bila ternyata gaya ini menyebabkan material diantara dua plat bergerak dengan perubahan kecepatan u , gaya yang diberikan proporsional dengan luas dan perubahan kecepatan.

Gaya yang diberikan sebanding dengan luas dan gradien kecepatan dalam fluida:

$$F = \mu A \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.10)$$

Persamaan ini dapat dinyatakan dalam tegangan geser $\tau = \frac{F}{A}$, sehingga

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.11)$$

dimana;

τ = tegangan geser (N/m^2)

μ = viskositas dinamik (Pa s)

A = luas penampang lempeng (m^2)

du/dy = gradien kecepatan (s^{-1})

Hal penting yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan geser berbanding lurus dengan perubahan kecepatan dengan arah tegak lurus layer.
- b. Tegangan geser juga berbanding lurus dengan nilai viskositas suatu fluida, semakin besar nilai viskositas fluida, semakin besar pula tegangan geser yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida.

Perbandingan antara viskositas dinamik dan kerapatan (*density*) disebut viskositas kinematik, yaitu:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.12)$$

Kerapatan, viskositas kinematis dan viskositas dinamik suatu fluida sangat dipengaruhi oleh temperatur. Sifat-sifat fisik air dan berbagai zat cair lainnya terhadap pengaruh variasi temperatur diberikan di dalam Tabel A1 pada lampiran.

2.2 Aliran Fluida Dalam Pipa

Fluida yang bergerak dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa katagori. Apakah alirannya steady atau tak steady, apakah fluidanya kompresibel (dapat mampat) atau inkompresibel (tak dapat mampat), apakah fluidanya viskos atau

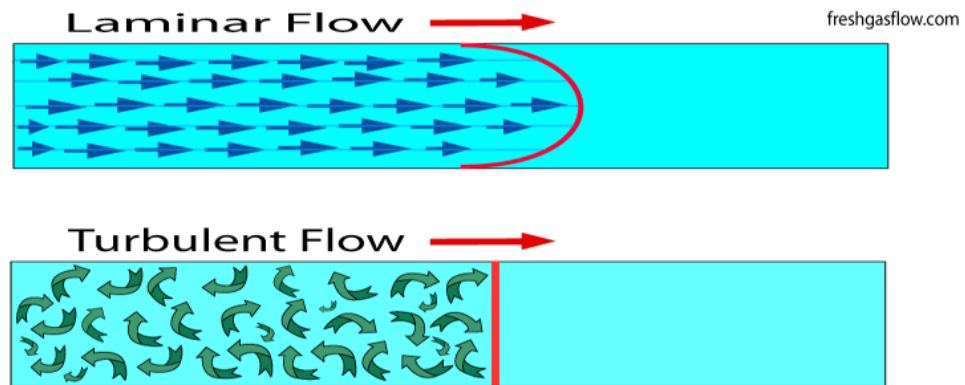
non-viskos, atau apakah aliran fluidanya laminar atau turbulen. Jika fluidanya steady, kecepatan partikel fluida pada setiap titik tetap terhadap waktu. Fluida pada berbagai bagian dapat mengalir dengan laju atau kecepatan yang berbeda, tetapi fluida pada satu lokasi selalu mengalir dengan laju atau kecepatan yang tetap.

Fluida inkompresibel adalah suatu fluida yang tak dapat dimampatkan. Sebagian besar cairan dapat dikatakan sebagai inkompresibel. Dengan mudah anda dapat mengatakan bahwa fluida gas adalah fluida kompresibel, karena dapat dimampatkan. Sedangkan fluida viskos adalah fluida yang tidak mengalir dengan mudah, seperti madu dan aspal. Sementara itu, fluida tak-viskos adalah fluida yang mengalir dengan mudah, seperti air.

2.2.1 Aliran Laminar dan Turbulen dalam Pipa

Aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen, tergantung pada jenis garis alir yang dihasilkan oleh partikel-partikel fluida. Jika aliran dari seluruh partikel fluida bergerak sepanjang garis yang sejajar dengan arah aliran (atau sejajar dengan garis tengah pipa, jika fluida mengalir di dalam pipa), fluida yang seperti ini dikatakan laminar. Fluida laminar kadang-kadang disebut dengan fluida viskos atau fluida garis alir (streamline). Kata laminar berasal dari bahasa latin lamina, yang berarti lapisan atau plat tipis. Sehingga, aliran laminar berarti aliran yang berlapis-lapis. Lapisan-lapisan fluida akan saling bertindihan satu sama lain tanpa bersilangan seperti pada Gambar 2.4 (atas).

Jika gerakan partikel fluida tidak lagi sejajar, mulai saling bersilangan satu sama lain sehingga terbentuk pusaran di dalam fluida, aliran yang seperti ini disebut dengan aliran turbulen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (bawah).



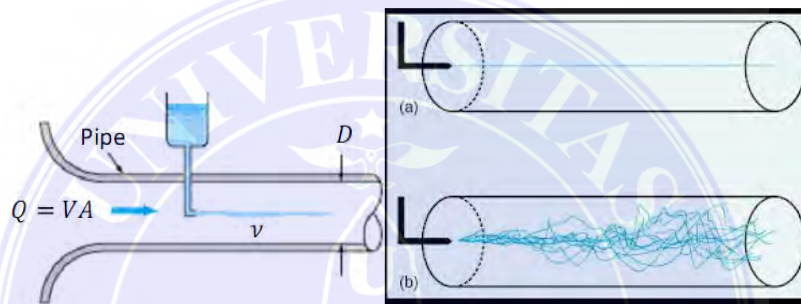
Gambar 2.4 Aliran laminar (atas) dan aliran turbulen (bawah) [16]

Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Aliran fluida (cairan atau gas) dalam pipa mungkin merupakan aliran laminar atau turbulen. Perbedaan antara aliran laminar dan turbulen secara eksperimen pertama sekali dipaparkan oleh Osborne Reynolds pada tahun 1883. Eksperimen itu dijalankan dengan menyuntikkan cairan berwarna ke dalam aliran air yang mengalir di dalam tabung kaca. Jika fluida bergerak dengan kecepatan cukup rendah, cairan berwarna akan mengalir di dalam sistem membentuk garis lurus tidak bercampur dengan aliran air, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5 (a).

Pada kondisi seperti ini, fluida masih mengalir secara laminar. Jadi pada prinsipnya, jika fluida mengalir cukup rendah seperti kondisi eksperimen ini, maka terdapat garis alir. Bila kecepatan fluida ditingkatkan, maka akan dicapai suatu kecepatan kritis. Fluida mencapai kecepatan kritis dapat ditandai dengan terbentuknya gelombang cairan warna. Artinya garis alir tidak lagi lurus, tetapi mulai bergelombang dan kemudian garis alir menghilang, karena cairan berwarna

mulai menyebar secara seragam ke seluruh arah fluida air, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5 (b).

Perilaku ketika fluida mulai bergerak secara acak (tak menentu) dalam bentuk arus-silang dan pusaran, menunjukkan bahwa aliran air tidak lagi laminar. Pada kondisi seperti ini garis alir fluida tidak lagi lurus dan sejajar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (b).



Gambar 2.5 Percobaan Reynold tentang Aliran laminar (a) dan aliran turbulen (b)

[17]

Menurut Reynold, untuk membedakan apakah aliran itu turbulen atau laminar dapat menggunakan bilangan tak berdimensi yang disebut dengan Bilangan Reynold. Bilangan ini dihitung dengan persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (2.13)$$

dimana;

Re = Bilangan Reynold (tak berdimensi)

V = kecepatan rata-rata (ft/s atau m/s) D = diameter pipa (ft atau m)

$\nu = \mu/\rho$ viskositas kinematik (m^2/s)

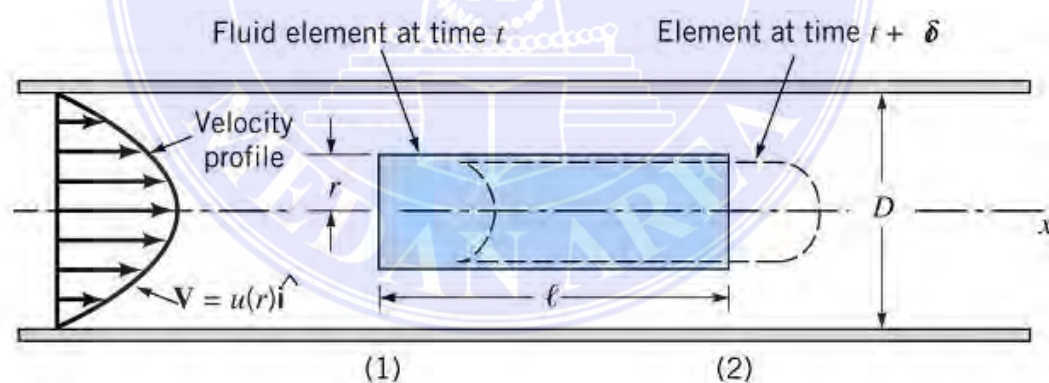
Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminar.

Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen.

Pada $Re = 2300-4000$ terdapat daerah transisi

Aliran Laminar

Profil kecepatan aliran laminar dalam pipa dianalisa dengan mempertimbangkan elemen fluida pada waktu t seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Ini adalah silinder bundar fluida dengan panjang l dan jari-jari r berpusat pada sumbu pipa horizontal dengan diameter D . Aliran diasumsikan berkembang penuh dan *steady*. Setiap bagian fluida hanya mengalir sepanjang garis-jejak paralel terhadap dinding pipa dengan kecepatan konstan meskipun partikel tetangga memiliki kecepatan yang sedikit berbeda. Kecepatan bervariasi dari satu garis-jejak ke yang berikutnya dan ini dikombinasikan dengan viskositas fluida, sehingga menghasilkan tegangan geser.

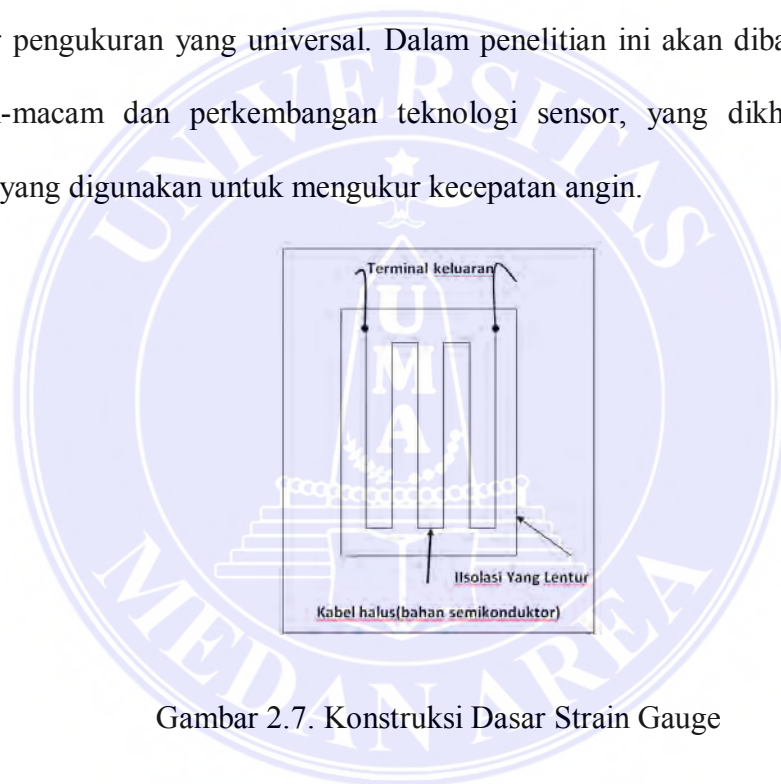


Gambar 2.6 Gerakan sebuah elemen fluida dalam sebuah pipa silindris [9]

2.3 Sensor/Transduser

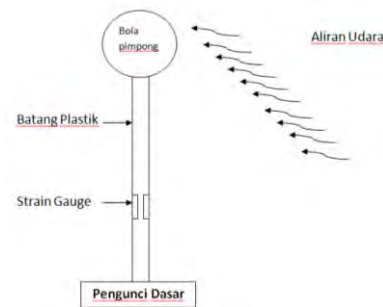
Sensor adalah alat yang dapat mendeteksi keberadaan suatu fenomena alam dan mengukurnya dalam suatu kuantitas fisik dan mengubahnya menjadi suatu sinyal yang dapat dibaca oleh pengamat atau alat tertentu. Begitu banyaknya besaran fisik yang dapat diamati dari

sekian banyak fenomena alam yang ada di dunia ini, maka ada begitu banyak sensor yang diciptakan dan ditemukan oleh manusia, masing-masing spesifik untuk jenis besaran dan obyek yang diukurnya. Karenanya, teknologi sensor terus berkembang seiring dengan berjalannya waktu. Sensor-sensor baru terus dikaji dan dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan dan rasa ingin tahu manusia, dan menciptakan suatu standar pengukuran yang universal. Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai macam-macam dan perkembangan teknologi sensor, yang dikhususkan pada sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin.



Gambar 2.7. Konstruksi Dasar Strain Gauge

Strain gauge atau bilah regangan adalah salah satu dari transduser-transduser yang banyak dipakai untuk mendeteksi dan mengukur gaya, beban torsi dan regangan. Unit dasar dari peralatan ini(gambar 2.7) terdiri dari jalur resistif yang direkatkan pada dasar bahan isolasi yang fleksibel. Bilah ini dilekatkan pada bagian / obyek mekanis yang akan diukur regangannya.



Gambar 2.8. Strain Gauge Dengan Batang Penahan Dan Bola Pimpong

Akibat adanya fluida (angin) dengan kecepatan tertentu, maka :

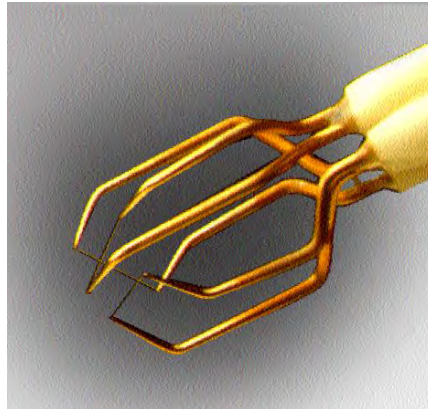
$$F_D = C_D \rho A V^2 \quad (2.14)$$

Dengan ρ adalah rapat massa fluida(angin) , V adalah kecepatan fluida(angin) pada titik yang diukur, A adalah luasan yang dilalui fluida(angin) , dan C_D adalah koefisien tarikan secara keseluruhan . C_D adalah sebuah dimensi faktor yang besarnya tergantung pada bidang fisik dari objek dan relatif terhadap aliran fluida(angin), diperoleh dari strain:

$$\varepsilon = [3C_D \rho A V^2 (L-x)] / (E a^2 b) \quad (2.15)$$

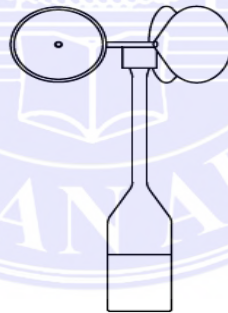
dengan L adalah panjang batang , x adalah titik dimana strain gauge terpasang, E adalah modulus Young , a dan b adalah bidang geometri.

Hot Wire sebagai sensor kecepatan angin bekerja berdasarkan panas yang diterima oleh probe yang dipengaruhi oleh kecepatan angin(gambar 2.9). Ketika kecepatan angin bertambah maka suhu udara akan menurun, sehingga menyebabkan perubahan suhu yang diterima oleh hot wire.



Gambar 2.9. Probe Hot Wire

Anemometer Cup (gambar 2.10) sebagai pengukur kecepatan angin, dengan cara cup yang dipasang sedemikian rupa sehingga memutar batang poros ketika cup-cup mendapat tekanan oleh angin selanjutnya dapat menggerakkan dinamo untuk menghasilkan sinyal listrik.



Gambar 2.10. Bentuk Dasar Sistem Anemometer Cup

2.4 Aluminium

Aluminium ialah unsur kimia. Lambang aluminium ialah *Al*, dan nomor atomnya 13. Aluminium ialah logam paling berlimpah. Aluminium bukan merupakan jenis logam berat, namun merupakan elemen yang berjumlah sekitar

8% dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga. Aluminium terdapat dalam penggunaan aditif makanan, antasida, buffered aspirin, astringents, semprotan hidung, antiperspirant, air minum, knalpot mobil, asap tembakau, penggunaan aluminium foil, peralatan masak, kaleng, keramik, dan kembang api. Aluminium merupakan konduktor listrik yang baik. Ringan dan kuat. Merupakan konduktor yang baik juga buat panas yang dapat berbentuk heat sink. Dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang. Tahan korosi. Aluminium digunakan dalam banyak hal. Kebanyakan darinya digunakan dalam kabel bertegangan tinggi. Juga secara luas digunakan dalam bingkai jendela dan badan pesawat terbang. Ditemukan di rumah sebagai panci, botol minuman ringan, tutup botol susu dsb. Aluminium juga digunakan untuk melapisi lampu mobil dan compact disks.

Tabel 2.1 Sifat fisik Aluminium

Nama, Simbol, dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Sifat Fisik	
Wujud	Padat
Massa jenis	2.70 gram/cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2.375 gram/cm ³
Titik lebur	933.47 K, 660.32 °C, 1220.58 °F
Titik didih	2792 K, 2519 °C, 4566 °F
Kalor jenis (25 °C)	24.2 J/mol K
Resistansi listrik (20 °C)	28.2 nΩ m
Konduktivitas termal (300 K)	237 W/m K
Pemuaian termal (25 °C)	23.1 μm/m K
Modulus Young	70 Gpa
Modulus geser	26 Gpa
Poisson ratio	0.35
Kekerasan skala Mohs	2.75
Kekerasan skala Vickers	167 Mpa
Kekerasan skala Brinell	245 Mpa



Gambar 2.11 Aluminium sebagai heat sink

Pipa banyak dibutuhkan oleh berbagai industri dan konstruksi dengan bahan dari baja, tembaga, besi dan beberapa jenis besi hitam. Pipa umumnya digunakan untuk berbagai keperluan seperti mengalirkan air, udara, minyak, gas dan berbagai pemakaian yang lebih luas. Namun perkembangan teknologi saat ini yang cukup pesat membuat banyak industri mulai mengganti beberapa pipa dari baja atau material lain dengan Pipa Aluminium. Pipa dari bahan Aluminium dianggap lebih sesuai untuk berbagai jenis penggunaan industri. Berikut ini adalah berbagai jenis keuntungan dari menggunakan Pipa Aluminium Biaya Instalasi Pipa Aluminium Murah Dibandingkan dengan berbagai jenis material pipa lain seperti pipa dari baja atau besi hitam, maka pipa aluminium membutuhkan biaya yang lebih rendah. Pemasangan pipa dari besi membutuhkan banyak waktu karena massanya yang cukup berat. Pipa dari bahan baja juga harus membutuhkan instalasi penggabungan yang lebih rumit. Bahkan tenaga untuk memasang pipa dari besi atau baja juga harus dari tenaga ahli karena resiko yang lebih besar. Sementara itu pipa aluminium memiliki massa yang lebih ringan dan semua sistem penyambungan sudah dibuat dengan bentuk produk khusus. Jadi pipa aluminium membutuhkan biaya instalasi yang lebih rendah.

Kerusakan pada pipa Aluminium lebih rendah dibandingkan dengan jenis pipa besi yang harus disambungkan dengan sistem gulir maka pipa aluminium tidak membutuhkan sistem tersebut. Titik penyambungan untuk pipa aluminium akan lebih mudah dan tidak mudah bocor atau rusak. Tentu saja keunggulan ini juga akan menambah biaya perawatan dan biaya peremajaan. Pipa Aluminium tidak Mudah Berkarat Pipa baja atau pipa besi adalah bahan yang tidak tahan terhadap karat. Sementara banyak industri yang benar-benar membutuhkan material pipa yang tidak berkarat. Aluminium menjadi salah satu produk yang paling tepat karena tahan terhadap cuaca, tidak mudah berkarat, dan tahan terhadap uap dari air maupun produk kimia. Korosi atau karat adalah salah satu hal yang sangat mengganggu dalam industri sehingga butuh produk yang tepat untuk mengurangi karat.

Pipa Aluminium bahan pipa aluminium adalah bahan yang sangat aman terhadap lingkungan. Pemasangan pipa aluminium sama sekali tidak akan menimbulkan masalah tekanan udara. Hal ini berbeda dengan jenis pipa yang dibuat dari bahan besi atau tembaga. Kedua bahan ini bisa menimbulkan udara sehingga sangat berbahaya untuk beberapa material cair yang dialirkan. Ukuran pada pipa Aluminium memiliki diameter standar proses dengan menggunakan pipa aluminium memiliki jaminan yang sangat besar terhadap sistem kalibrasi. Dengan cara ini maka ukuran pipa aluminium memiliki diameter yang standar sehingga mudah dikontrol dalam pemakaiannya. Pipa aluminium juga tidak membutuhkan solder yang berarti sudah bisa menghemat pekerjaan tenaga ahli serta memiliki keamanan yang terjamin.

Kelemahan Pipa Aluminium dibanding Pipa Carbon Steel atau Pipa Hitam Sebagai produk industri untuk berbagai jenis bidang, pipa aluminium juga memiliki beberapa kelemahan. Berikut ini adalah beberapa kelemahan dari pipa aluminium.

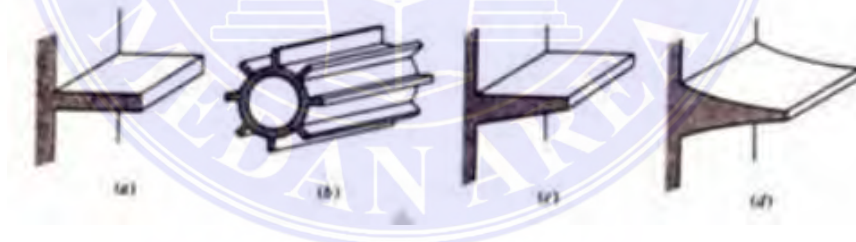
1. Meskipun jenis pipa aluminium memiliki sistem konstruksi yang mudah sehingga bisa menghemat tenaga dan biaya konstruksi. Namun harga pipa aluminium memiliki kelas harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa bahan lain seperti pipa hitam dan baja.
2. Aplikasi dari pipa aluminium membutuhkan sistem yang lebih rumit karena konstruksi harus dikerjakan dengan tepat seperti sistem pengukuran dan derajat pemasangan.

Pilihan terbaik untuk pipa Aluminium dibandingkan pipa hitam. Jika membandingkan antara kelebihan dan kelemahan pipa aluminium maka sebenarnya pipa aluminium tetap bisa menjadi pilihan terbaik. Ada beberapa alasan yang cukup kuat mengapa pipa aluminium lebih nyaman untuk dipakai dibandingkan dengan material lain, yaitu.

1. Pipa aluminium mudah untuk diterapkan dan tidak membutuhkan sistem yang rumit sehingga Anda bisa menghitung kebutuhan pipa aluminium dari awal proses konstruksi. Sistem ini akan memudahkan Anda dalam perhitungan estimasi biaya konstruksi.
2. Tidak menimbulkan tekanan udara sama sekali sehingga Anda tidak perlu melakukan pergantian secara terus menerus ketika ada kerusakan. Langkah ini sangat hemat sehingga bisa digunakan untuk semua jenis industri.

3. Pipa aluminium sangat tahan terhadap waktu sehingga akan meringankan biaya operasional dan biaya perawatan pipa.

Manfaat sirip yang maksimum tidak didapatkan berdasarkan panjang sebuah sirip. Namun, efisiensi maksimum suatu sirip bisa didapatkan dari kuantitas material sirip (massa, volume, atau biaya), dan proses memaksimumkan ini jelas mempunyai arti ekonomi. Perlu dicatat pula bahwa sirip yang dipasang pada muka perpindahan kalor tidak selalu mengakibatkan peningkatan laju perpindahan kalor. Jika nilai h , koefisien konveksi, besar sebagaimana pada fluida berkecepatan tinggi atau zat cair mendidih, maka sirip dapat mengakibatkan berkurangnya perpindahan kalor. Hal ini disebabkan karena dibandingkan dengan tahanan konveksi, tahanan konduksi merupakan halangan yang lebih besar terhadap aliran kalor.



Gambar 2.12 Berbagai Jenis Bentuk Sirip

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung selama sekitar 8 minggu. Tempat pelaksanaan penelitian adalah di Bengkel Ilmu Jl. Besar Hampanan Perak dan penentuan waktu penelitian seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Minggu)							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Penelusuran literatur, penulisan proposal dan pemeriksaan kesedian alat, bahan	■	■						
2	Pengajuan proposal dan revisi			■					
3	Pengadaan alat			■					
4	Persiapan dan pemasangan alat				■				
5	Uji alat dan pengukuran				■				
6	Pengolahan dan analisis data						■		
7	Kesimpulan dan penyusunan Laporan						■		
8	Sidang sarjana							■	

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan sesuai dengan kebutuhan yang digunakan dalam penelitian ini. Pengadaan bahan yang telah direncanakan sesuai bahan sistim penurunan suhu udara dengan memanfaatkan tempat penampungan air.

- A. *Exhouse Fan*: digunakan untuk menarik/mengisap udara dari luar yang telah melalui pipa bersirip yang terdapat dalam bak air penampungan.



Gambar 3.1 *Exhouse Fan* ukuran 50x50x15 mm

- B. Pipa Aluminium: pipa Aluminium digunakan untuk mengalirkan udara.



Gambar 3.2 Pipa Aluminium

- C. Plat besi: digunakan untuk saluran udara masuk dan keluar



Gambar 3.3 Plat besi (saluran keluar dan masuk)

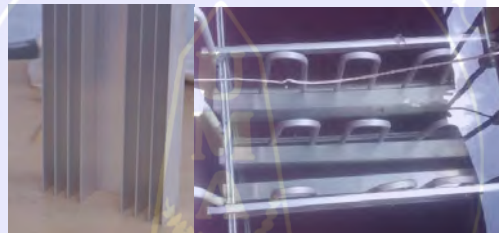
D. Box Streofom: digunakan sebagai model ruangan



Gambar 3.4 Box Streofom

E. Plat Aluminium Bersirip

Plat Aluminium bersirip tipe plat digunakan untuk menambah daya serap panas pada pipa yang dialiri udara yang akan diteruskan ke ruangan model.



Gambar 3.5 Aluminium bersirip

3.2.2 Alat-alat

a. Jangka Sorong

Alat pengukur atau yang sering kita kenal dengan jangka sorong berfungsi untuk mengukur panjang, lebar, tebal dan kedalaman benda uji yang kita teliti.



Gambar 3.6 Alat ukur jangka sorong

b. Meteran

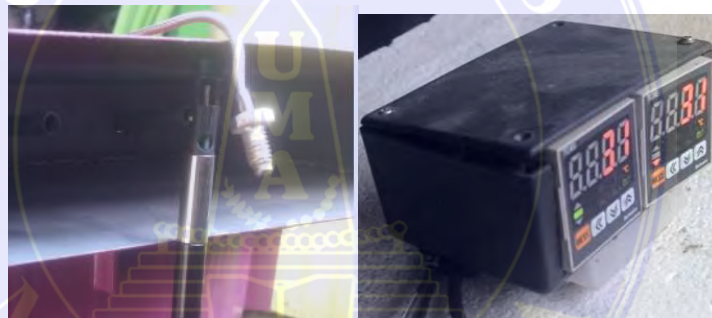
Digunakan untuk mengukur panjang pipa



Gambar 3.7 Meteran

c. Sensor suhu

Menggunakan thermocouple jenis tipe K sebanyak 2 buah, berfungsi untuk merubah panas menjadi sinyal listrik



Gambar 3.8 Termocouple dan Display

d. Hygrometer

Untuk mengukur kelembaban udara ruangan dan lingkungan



Gambar 3.9 Hygrometer

e. *Hot wire*

Untuk mengetahui besar volume udara



Gambar 3.10 Hotwire Anemometer

f. Pemotong pipa

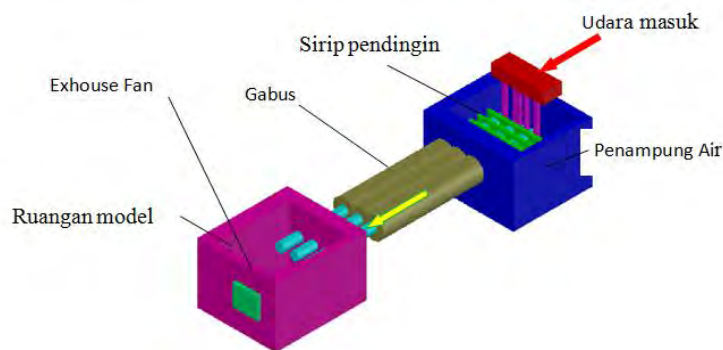
Pemotong pipa berfungsi untuk memotong pipa dengan diameter yang kecil maksimal 20 mm.



Gambar 3.11 Pemotong pipa

Set Up Alat Uji

Dalam penelitian ini dibutuhkan satu set lengkap pendingin udara seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3.12 Set up Alat uji

Cara kerja sistim yaitu dengan mengalirkan udara dengan cara dihisap oleh exhouse fan melalui pipa-pipa yang telah dipasangkan ke sirip-sirip pendingin yang akan direndam air di tempat penampungan air untuk mendinginkan udara yang mengalir pada pipa-pipa yang udaranya diisap oleh exhouse fan pada ruangan model.



Gambar 3.13 Bak air dengan sirip pendingin dan pipa Aluminium

3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Metode Observasi

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam analisa ini adalah metode observasi atau pengamatan, dimana metode ini dilakukan dengan mengamati perubahan gejala-gejala yang terjadi pada objek penelitian.

3.3.2 Metode pengukuran suhu dan kecepatan udara masuk-keluar

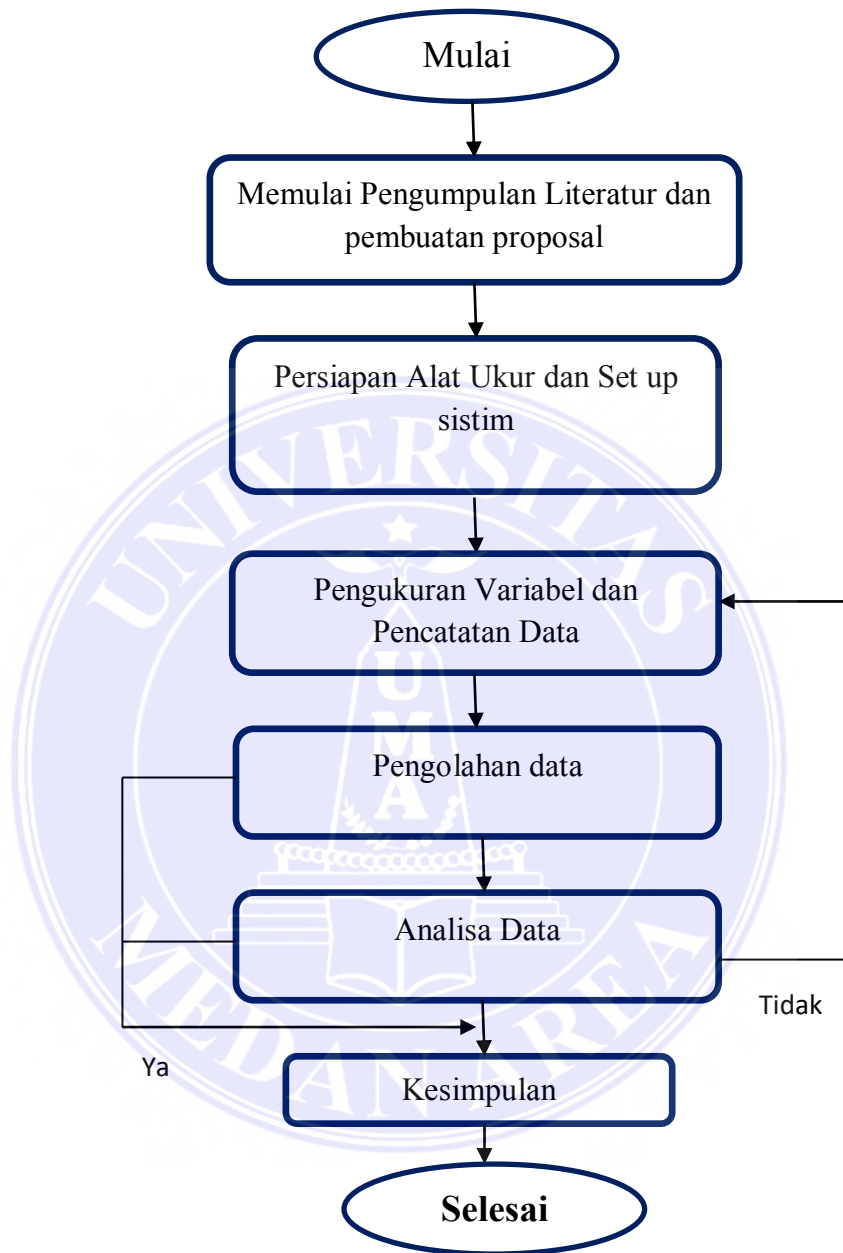
Variabel utama yang digunakan dalam penelitian atau analisis ini adalah suhu, kecepatan udara dan luas sirip.

Tabel 3.2 Instrumen pengambil data

t(detik)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	H(%)	V(Volt)	I(A)	P(W)	Vin(m/s)
300							
600							
900							
.							
.							
.							
.							
.							
4500							
4800							
5100							
5400							



3.4 Diagram Alir Pelaksanaan



Gambar 3.14 Diagram alir penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur oleh sistem pendingin terhadap ruangan persatuan waktu atau selang waktu tertentu. Laju rata-rata pendinginan ruangan menggunakan enam sirip Aluminium adalah 31,5254 W. Dari hasil perhitungan laju rata-rata pendinginan diperoleh bahwa, jika menggunakan empat sirip Aluminium laju pendinginan ruangan model lebih kecil (21,9931 W) atau lebih cepat jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan empat atau dua sirip Aluminium (4,876 W). Daya yang dibutuhkan 25,9061 Watt selama 5 menit (300 detik) dan konsumsi energi rata-rata yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung 139893 Joule.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, antara lain:

1. Perlu dikaji metode lain untuk meningkatkan penurunan suhu
2. Desain dan dimensi dari alat perlu didesain ulang agar lebih baik lagi.
3. Perlu dikembangkan lebih baik lagi untuk aplikasi di lapangan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhyar Wahyu, Pengujian Karktestik Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Dari sirip-sirip Pin Ellips Susunan Selang seling Dalam Saluran Segi Empat, Univsersitas Sebelas Maret, 2010.
- [2] Awaluddin, dkk, Analisis Aliran Fluida Dua Fase(Udara-air) Melalui Belokan, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.5 No.3 2014.
- [3] Audri, Analisa Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Pipa Ganda, Jurnal Kajian Teknik Mesin Vol. 1 No. 2, 2015
- [4] Holman J.P, terjemahan Ir. E. Jasifi, M.Sc, "Metode Pengukuran Teknik", Erlangga, Jakarta, 1984
- [5] Van Vlack, terjemahan Ny. Sriati Djapre, "Ilmu dan Teknologi Bahan", Erlangga, Jakarta, 1979
- [6] Holman, JP, Perpindahan Kalor, Erlangga, Jakarta, 1994
- [7] Tipler, Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (terjemahan), Erlangga, Jakarta, 1998
- [8] Tony Suyo Utomo, Simulasi Udara Dalam Ram-ir Intake Pada Sepeda Motor Sport Dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamik, Rotasi-Vol.14, No. 4 Oktober 2012
- [9] Shigley, Joseph E. *Perencanaan Teknik Mesin*, Edisi keempat. Alih bahasa oleh G.Harahap. Erlangga, Jakarta, 1991
- [10] Zainuddin dkk, Disain dan Analisa Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Shell dan Helical Coil Multi Tube Sebagai Pemanas Udara Pengering Gabah dengan Memanfaatkan Thermal Gas Buang Mesin Diesel, Institut Teknologi Padang, 2015.

LAMPIRAN DOKUMENTASI



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 11/4/19

Access From (repository.uma.ac.id)



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 11/4/19

Access From (repository.uma.ac.id)





UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 11/4/19

Access From (repository.uma.ac.id)

Analisis Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Terhadap Pengkondisian Suhu Ruangan Dengan Memanfaatkan Penampung Air Skala Model

Analysis of the Influence of the Flap Area of the Heat Exchanger for Room Temperature Conditioning Using a Scale Model Water Reservoir

*Daniel Panggabean, H. Amirsyam Nst, Husin Ibrahim.
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

*Corresponding author. danielpanggabean85@yahoo.com

Abstrak

Air dipenampungan kamar mandi dapat dimanfaatkan untuk menyejukan ruangan, dengan cara udara yang dilalui pipa Aluminium direndam ke dalam bak air tersebut. Melalui sistim yang telah dirancang sehingga diperoleh laju pendinginan ruangan menggunakan enam sirip Aluminium adalah 31,5254 W. Dari hasil perhitungan laju pendinginan diperoleh bahwa, jika menggunakan empat sirip Aluminium laju pendinginan ruangan model lebih kecil (21,9931 W) begitu juga jika memakai dua sirip Aluminium (4,876 W). Daya yang dibutuhkan 25,9061 Watt selama 5 menit (300 detik) dan konsumsi energi rata-rata yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung 139893 Joule. Daya yang dibutuhkan 25,9061 Watt selama 5 menit (300 detik) dan konsumsi energi rata-rata yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung 139893 Joule.

Kata kunci: Suhu Udara, Pipa Aluminium dan Sirip Pendingin

Abstract

Water in the bathroom shelter can be used to cool the room, by means of the air through which the Aluminum pipe is soaked into the water bath. Through a system that has been designed so that the cooling rate obtained by the room using six Aluminum fins is 31,5254 W. From the calculation of the cooling rate obtained that, if you use four Aluminum fins the smaller model room cooling rate (21,9931 W) as well as if you use two Aluminum fins (4,876 W). The power needed is 25,9061 Watt for 5 minutes (300 seconds) and the average energy consumption needed during operation of the system lasts 139893 Joules. The power needed is 25,9061 Watt for 5 minutes (300 seconds) and the average energy consumption needed during operation of the system lasts 139893 Joules.

Keywords: Air Temperature, Aluminum Pipe and Cooling Fins

PENDAHULUAN

Pada umumnya dibidang teknik penyejuk ruangan menggunakan alat penyejuk ruangan menggunakan es batu yang ditiup oleh kipas angin dan air yang dipompa kemudian disemprotkan. Teknik penyejuk ruangan menggunakan alat penukar kalor dengan memanfaatkan tempat penampungan air dapat juga digunakan. Hasil pemanfaatan suhu air di bak penampungan ini sangat

menentukan performace suhu ruangan. Dengan memanfaatkan sistim penyejuk aliran udara ini disesuaikan dengan konstruksi, permesinan, bangunan, maupun bidang lainnya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan sistim penyejuk ruangan sesuai dengan kemampuan alat penukar Pemanfaatan sistim penyejuk aliran udara saat ini semakin meluas baik dalam konstruksi, permesinan, bangunan, maupun bidang

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 11/4/19

Access From (repository.uma.ac.id)

lainnya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan sistem penyejuk ruangan terus berkembang sesuai dengan efisiensi dan kebutuhan konsumen. Pemanfaatan sistem penyejuk aliran udara saat ini semakin meluas baik dalam konstruksi, permesinan, bangunan, maupun bidang lainnya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan sistem penyejuk ruangan terus berkembang sesuai dengan efisiensi dan kebutuhan konsumen itu sendiri.

Beberapa penelitian tentang pemakaian sirip-sirip pin ellips susunan salang seling meningkatkan perpindahan panas dari permukaan base plate [Akhyar, 2010]. Pengaruh *Pressure drop* (Δp) aliran dua fase melalui belokan 45° mengalami penurunan [Awaluddin, 2014]. Pemakaian alat penukar kalor jenis helical coil multi tube dapat juga digunakan sebagai pemanas udara yang digunakan pada rak-rak pengering padi [Zainuddin, 2015]. Digunakan kombinasi variasi laju aliran udara terhadap material yang dipergunakan. Semakin cepat laju aliran udara yang masuk ke dalam asupan saluran ram-air intake maka semakin besar nilai laju aliran massa yang diperoleh [Tony, 2012]. Dalam sistem pemipaan fluida tidak sepenuhnya dibuang/dilepas karena ada perbedaan suhu masuk dan keluar dari pipa pada sistem alat penukar kalor [Audri, 2015].

Perumusan Masalah

Luas sirip penukar kalor umumnya mempengaruhi sistem penurunan suhu udara menggunakan sistem pendingin seperti ac atau kulkas. Dalam penelitian ini peneliti mencoba meneliti Pengaruh Luas Sirip Alat

Penukar Kalor Dengan Memanfaatkan Penampungan Air Skala Model.

Batasan Masalah

Pembatasan masalah dari penelitian ini adalah Pengaruh Luas Sirip Alat Penukar Kalor Dengan Memanfaatkan Penampungan Air Skala Model. Agar pembahasan tidak terlalu luas dan disertai dengan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis, maka pada tugas sarjana ini penulis membatasi masalah hanya sebatas:

1. Menganalisa pengaruh luas sirip alat penukar kalor dengan memanfaatkan penampungan air
2. Objek penelitian yang diteliti adalah pemakaian kombinasi dari luas sirip penukar kalor dari skala model.
3. Variabel yang diukur pada penurunan suhu udara masuk dan keluar sistem

Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan pengaruh luas sirip penukar kalor dengan memanfaatkan tempat penampungan air.
2. Menganalisa suhu aliran udara masuk dan hasil penurunan suhu udara dengan kombinasi luas sirip alat penukar kalor.
3. Mendapatkan efisiensi dari kajian kombinasi luas sirip alat penukar kalor.

Landasan Teori

Fluida merupakan suatu zat yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (*shear force*). Definisi lain dari fluida

adalah zat yang dapat mengalir yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa.

Kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Kerapatan dinyatakan dengan ρ (adalah huruf kecil Yunani yang dibaca "rho") dan dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{Satuan Volume}} = \frac{m}{V} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

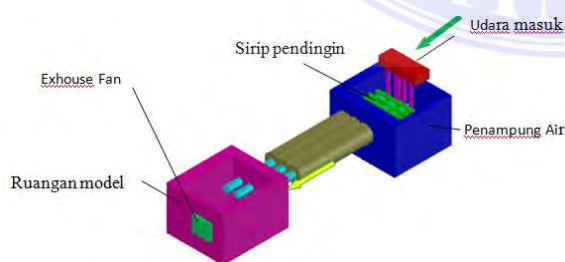
Metode Penelitian

Bahan-bahan:

- *Exhuse Fan* ukuran 50x50x15 mm
- Pipa Aluminium
- Plat besi
- Box Strefom
- Aluminium Sirip

Alat-alat:

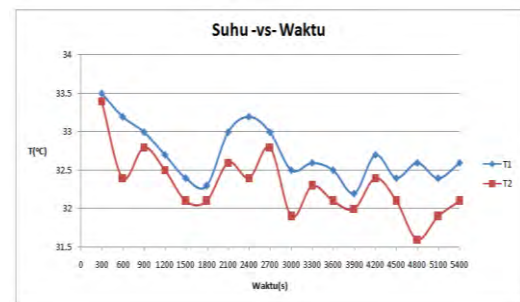
- Alat ukur jangka sorong
- Meteran
- Termocouple
- Hygrometer
- *Hot wire*
- Pemotong pipa Aluminium



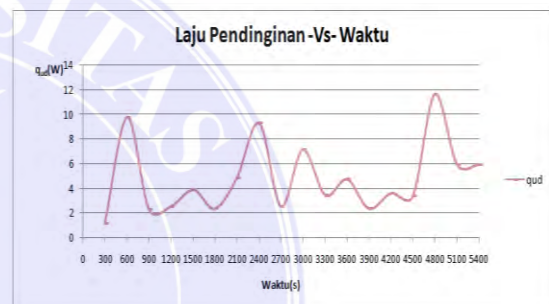
Gambar 1 Set up sistim.
Sumber Hasil Data

Hasil Dan Pembahasan

Laju Pendinginan Udara Menggunakan Dua Sirip Aluminium



Gambar 2 Grafik perubahan suhu menggunakan dua sirip.
Sumber Hasil Data

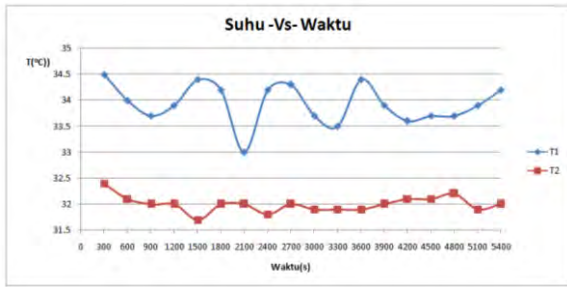


Gambar 3 Grafik laju pendinginan menggunakan dua sirip.
Sumber Hasil Data

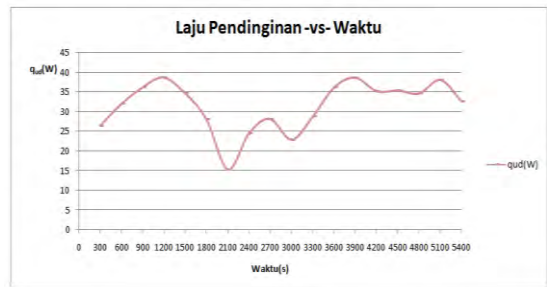
Atau pengolahan data laju pendinginan dapat dilakukan dengan persamaan berikut, dimana massa udara ruangan dapat dicari dengan mengalikan massa jenis udara dengan volume ruangan.

Laju Pendinginan Udara Menggunakan Empat Sirip Aluminium

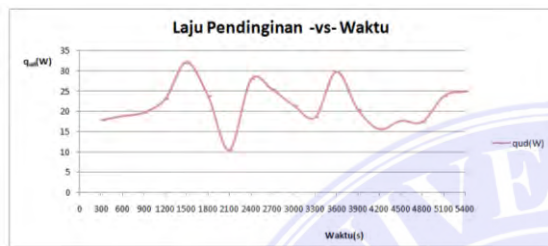
Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur oleh sistem pendingin terhadap ruangan persatuan waktu atau selang waktu tertentu.



Gambar 4 Perubahan Suhu Terhadap Waktu.
Sumber Hasil Data



Gambar 7 Perubahan Laju Pendinginan Terhadap Waktu.
Sumber Hasil Data

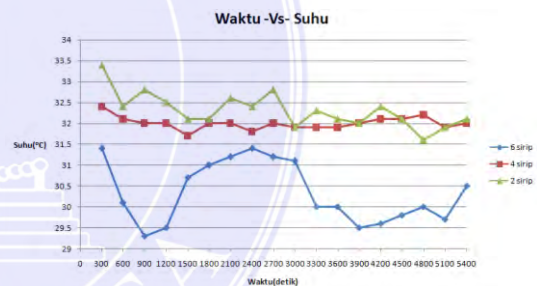


Gambar 5 Perubahan Laju Pendinginan Terhadap Waktu.
Sumber Hasil Data

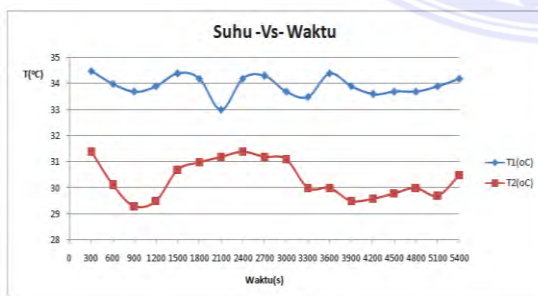
Dari hasil perhitungan laju pendinginan diperoleh bahwa, jika menggunakan enam sirip Aluminium laju pendinginan ruangan model lebih besar atau lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan empat atau dua sirip Aluminium, karena luas bidang pendinginan pada pipa saluran udara masuk lebih luas.(gambar 7)

Laju Pendinginan Udara Menggunakan Enam Sirip Aluminium

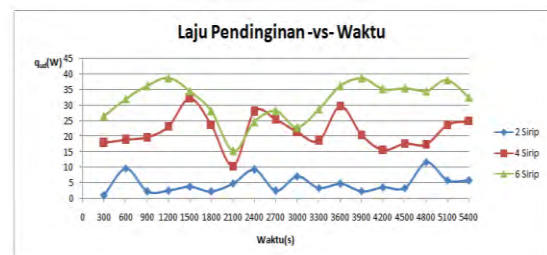
Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur oleh sistim pendingin terhadap ruangan persatuan waktu atau selang waktu tertentu.



Gambar 8 Grafik perbandingan penurunan suhu.
Sumber Hasil Data



Gambar 6 Perubahan Suhu Terhadap Waktu.
Sumber Hasil Data



Gambar 9 Grafik perbandingan laju pendinginan.
Sumber Hasil Data

Luas Sirip

Aluminium yang dipergunakan mempunyai delapan sirip dengan panjang 40 cm dan lebar 2,5 cm, maka luas satu sirip:

$$\begin{aligned} &= 40 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \\ &= 100 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jika ada delapan sirip maka luasnya:

$$\begin{aligned} &= 8 \times 100 \text{ cm}^2 \\ &= 800 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Karena bidang permukaan ada dua, maka:

$$\begin{aligned} &= 800 \text{ cm}^2 \times 2 \\ &= 1600 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk luas bidang dudukan sirip dengan panjang 40 cm dan lebar 10 cm, maka luasnya adalah:

$$\begin{aligned} &= 40 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \\ &= 400 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga total luas sirip:

$$\begin{aligned} &= 1600 \text{ cm}^2 + 400 \text{ cm}^2 \\ &= 2000 \text{ cm}^2 \\ &= 0,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jika menggunakan 6 buah blok Aluminium bersirip, maka:

$$\begin{aligned} &= 6 \times 0,2 \text{ m}^2 \\ &= 1,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Konsumsi Energi

Konsumsi energi adalah konsumsi energi yang dibutuhkan selama pengoperasian system berlangsung. Dari persamaan daya listrik(P):

$$P = V \cdot I$$

dimana:

$$P = \text{daya(watt)}$$

$$V = \text{Tegangan(Volt)}$$

$$I = \text{arus(A)}$$

Maka daya yang terpakai untuk waktu 300 detik

$$P = 221 \text{ Volt} \times 0,12 \text{ Ampere}$$

$$P = 26,52 \text{ Watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya rata-rata}(P_r) &= \frac{\text{Total Pemakaian}}{\text{banyak percobaan}} \\ &= \frac{466,31}{18} \\ &= 25,9061 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Sehingga energi rata-rata (W) yang digunakan untuk exhouse fan dapat dihitung:

$$W = P \cdot t$$

dimana:

$$W = \text{energi listrik r a(Watt)}$$

$$t = \text{waktu}$$

pengoperasian(detik)

maka energi untuk waktu operasi 5400 detik:

$$\begin{aligned} W &= 25,906 \text{ Watt} \times 5400 \\ &\text{detik} \\ &= 139893 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Simpulan

Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur oleh sistem pendingin terhadap ruangan persatuan waktu atau selang waktu tertentu. Laju rata-rata pendinginan ruangan menggunakan enam sirip Aluminium adalah 31,5254 W. Dari hasil perhitungan laju rata-rata pendinginan diperoleh bahwa, jika menggunakan empat sirip Aluminium laju pendinginan ruangan model lebih kecil (21,9931 W) atau lebih cepat jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan empat atau dua sirip Aluminium(4,876 W). Daya yang dibutuhkan 25,9061 Watt selama 5 menit(300 detik) dan konsumsi energi rata-rata yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung 139893 Joule.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhyar Wahyu, Pengujian Karektestik Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Dari sirip-sirip Pin Ellips Susunan Selang seling Dalam Saluran Segi Empat, Universitas Sebelas Maret, 2010.
- [2] Awaluddin, dkk, Analisis Aliran Fluida Dua Fase(Udara-air) Melalui Belokan, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.5 No.3 2014.
- [3] Audri, Analisa Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Pipa Ganda, Jurnal Kajian Teknik Mesin Vol. 1 No. 2, 2015
- [4] Holman J.P, terjemahan Ir. E. Jasifi, M.Sc, "Metode Pengukuran Teknik", Erlangga, Jakarta, 1984
- [5] Van Vlack, terjemahan Ny. Sriati Djapre, "Ilmu dan Teknologi Bahan", Erlangga, Jakarta, 1979
- [6] Holman, JP, Perpindahan Kalor, Erlangga, Jakarta, 1994
- [7] Tipler, Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (terjemahan), Erlangga, Jakarta, 1998
- [8] Tony Suyo Utomo, Simulasi Udara Dalam Ram-ir Intake Pada Sepeda Motor Sport Dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamik, Rotasi-Vol.14, No. 4 Oktober 2012
- [9] Shigley, Joseph E. *Perencanaan Teknik Mesin*, Edisi keempat. Alih bahasa oleh G.Harahap. Erlangga, Jakarta, 1991
- [10] Zainuddin dkk, Disain dan Analisa Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Shell dan Helical Coil Multi Tube Sebagai Pemanas Udara Pengering Gabah dengan

Memanfaatkan Thermal Gas Buang Mesin Diesel, Institut Teknologi Padang, 2015.