

**PENGARUH VARIASI DIAMETER PENAMPANG PENIUP
TERHADAP LAJU PEMANASAN AIR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**NIZAR AMIR
NIM. 0610623046-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI DIAMETER PENAMPANG PENIUP
TERHADAP LAJU PEMANASAN AIR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

NIZAR AMIR
NIM. 0610623046-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 19720903 199702 1 001

Ir. I Made Gunadiarta, MT
NIP. 19461001 197702 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI DIAMETER PENAMPANG PENIUP TERHADAP LAJU PEMANASAN AIR

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

NIZAR AMIR
NIM. 0610623046-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 27 Januari 2010

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1

Ir. Agustinus Ariseno, MT.
NIP. 19510822 198701 1 001

Skripsi 2

Ir. Imam Zaky, MT.
NIP. 19450918 197702 1 001

Komprehensif

Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT.
NIP. 19450307 197603 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar. Sholawat dan salam semoga selalu diberikan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah menyempurnakan peradaban manusia dengan Islam.

Penulisan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang dan dosen wali.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
4. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang konstruktif sehingga sangat penting dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir Joko Sutikno, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Fluida, atas bantuan fasilitas dan arahan yang diberikan guna menyelesaikan skripsi..
7. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
8. Kedua orang tua yang tercinta Bapak Mustafa Assegaf, SH., MH. dan Ibu Sida BSA yang telah memberikan segalanya yang terbaik untuk penulis.
9. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2006 yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif pada pembaca. Semoga memunculkan ide-ide baru, saran dan kritik yang membangun untuk kedepannya.

Malang, Januari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

| | halaman |
|--|-----------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | ii |
| DAFTAR TABEL | iv |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| DAFTAR LAMPIRAN | vi |
| RINGKASAN | vii |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah | 2 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 2 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1. Energi Kalor | 3 |
| 2.2. Perpindahan Kalor | 3 |
| 2.2.1. Perpindahan Kalor Konduksi | 4 |
| 2.2.2. Perpindahan Kalor Konveksi | 5 |
| 2.3. Analisa Aliran | 7 |
| 2.3.1. Aliran Laminar | 7 |
| 2.3.2. Aliran Turbulen | 7 |
| 2.3.3. Angka <i>Prandtl</i> | 8 |
| 2.3.4. Angka <i>Reynold</i> | 9 |
| 2.3.5. Angka <i>Nusselt</i> | 10 |
| 2.4. Aliran <i>Vortex</i> | 11 |
| 2.5. <i>Abrupt Expansion</i> | 12 |
| 2.6. Hipotesa | 14 |
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN | 15 |
| 3.1. Metode Penelitian | 15 |
| 3.2. Variabel Penelitian | 15 |
| 3.3. Alat-alat penelitian yang digunakan | 16 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 3.4. | Tempat Penelitian | 21 |
| 3.5. | Prosedur Penelitian | 21 |
| 3.6. | Diagram Alir Penelitian | 22 |
| BAB IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN..... | | 23 |
| 4.1. | Analisis Data | 23 |
| 4.1.1. | Data Hasil Pengujian..... | 23 |
| 4.1.2. | Analisa Perhitungan..... | 24 |
| 4.1.3. | Data hasil Perhitungan | 37 |
| 4.2. | Pembahasan | 39 |
| 4.2.1. | Grafik Pengaruh Laju Alir Massa terhadap Kerugian Energi pada Variasi Diameter Penampang Peniup | 39 |
| 4.2.2. | Grafik Pengaruh Laju Alir Massa terhadap Laju Pemanasan Air pada Variasi Diameter Penampang Peniup | 40 |
| BAB V. PENUTUP | | 42 |
| 5.1. | Kesimpulan..... | 42 |
| 5.2. | Saran | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA | | |
| LAMPIRAN | | |



DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 2.1. | Perpindahan Kalor Konduksi..... | 4 |
| Gambar 2.2. | Perpindahan kalor konveksi dari suatu permukaan..... | 6 |
| Gambar 2.3. | Aliran Laminar | 7 |
| Gambar 2.4. | Aliran Turbulen..... | 8 |
| Gambar 2.5. | Geometri <i>Vortex</i> menurut besar bilangan <i>Reynolds</i> | 12 |
| Gambar 2.6. | <i>Vortex</i> 2 dimensi | 12 |
| Gambar 2.7. | <i>Abrupt Expansion</i> dari sebuah pipa..... | 13 |
| Gambar 3.1. | Susunan Instalasi Pengujian..... | 16 |
| Gambar 3.2. | Lubang peniup terdiri dari berbagai ukuran | 18 |
| Gambar 3.3. | Penampang peniup terdiri dari berbagai ukuran | 20 |
| Gambar 3.4. | Diagram alir penelitian | 22 |
| Gambar 4.1. | Grafik hubungan antara laju alir massa terhadap kerugian energi pada variasi diameter penampang peniup | 39 |
| Gambar 4.2. | Grafik hubungan antara laju alir massa terhadap laju pemanasan air pada variasi diameter penampang peniup | 40 |

DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Halaman |
|------------|------------------------------|---------|
| Tabel 4.1. | Data Hasil Pengujian..... | 23 |
| Tabel 4.2. | Data Kerugian Energi..... | 37 |
| Tabel 4.3. | Data Laju Pemanasan Air..... | 38 |



RINGKASAN

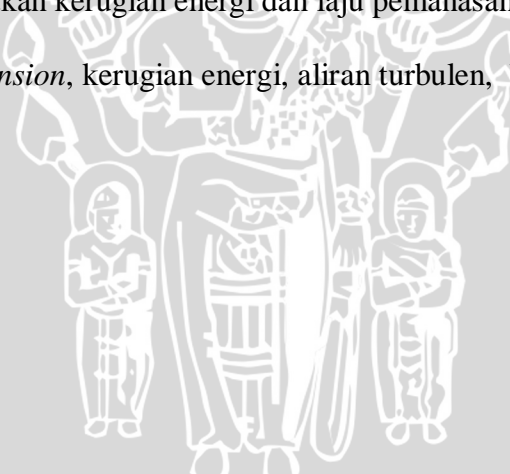
Nizar Amir, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2010, *Pengaruh Variasi Diameter Penampang Peniup terhadap Laju Pemanasan Air*, Dosen Pembimbing : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT dan Ir. I Made Gunadiarta, MT.

Aliran Fluida yang mengalir melalui *abrupt expansion* akan menyebabkan terjadinya kerugian energi yang berupa pusaran-pusaran yang sering disebut *eddy losses*. Kerugian energi mengakibatkan terjadinya *vortex* atau olakan-olakan, dimana kerugian tersebut mengakibatkan aliran menjadi turbulen yang setara dengan bilangan *Reynold* yang besar. Sehingga koefisien perpindahan kalor konveksi dan laju perpindahan kalor yang ditransfer semakin tinggi dan menyebabkan proses pemanasan air akan berlangsung semakin cepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi diameter penampang peniup yang tepat terhadap laju pemanasan air.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fluida, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya. Variabel bebas pada penelitian ini adalah laju massa alir udara yang diberikan sebesar 0,2936 (gr/menit), 0,3390 (gr/menit), 0,3790 (gr/menit), 0,4153 (gr/menit), 0,4485 (gr/menit). Sedangkan variabel terikatnya adalah kerugian energi dan laju pemanasan air. Dan variabel terkontrolnya pada pengujian ini adalah diameter lubang peniup sebesar 2,2 mm, 4,2 mm, 6,2 mm, 7,2 mm.

Dari hasil pembahasan didapatkan kesimpulan bahwa semakin kecil diameter penampang peniup dan semakin bertambahnya laju massa alir udara pada setiap pengujian akan meningkatkan kerugian energi dan laju pemanasan air

Kata kunci : *abrupt expansion*, kerugian energi, aliran turbulen, bilangan *Reynold*, laju pemanasan air



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini dunia sedang mencari solusi atas adanya *global warming* yang tengah dialami oleh bumi. Sebagian besar negara-negara maju saat ini banyak yang mengembangkan upaya untuk menekan ancaman *global warming*. *Global warming* terjadi sebagai akibat banyaknya gas-gas karbon dioksida yang berada di lapisan atmosfer yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil, sehingga panas yang dipantulkan dari bumi tidak bisa terbang bebas ke atmosfer akibat tertahan oleh gas-gas hasil pembakaran bahan bakar fosil sehingga kembali menuju bumi. Dunia sadar bahwa sangat susah untuk mengganti bahan bakar dari bahan bakar fosil dengan bahan bakar non fosil sebagai bahan bakar pada proses pembakaran, tetapi ada jalan keluar yaitu dengan mengurangi penggunaannya sehingga gas hasil pembakaran bahan bakar fosil dapat dikurangi dan hasilnya dapat mengurangi gas-gas yang dapat menjadikan *global warming*.

Industri pada sekarang ini sangat membutuhkan bahan bakar dalam proses produksinya, seperti industri-industri yang membutuhkan bahan bakar dalam proses pembakaran untuk memanaskan air. Kebutuhan bahan bakarnya yang besar sehingga gas hasil pembakarannya juga banyak, sehingga perlu dikurangi untuk mengurangi terjadinya *global warming*. Usaha untuk mengurangi kebutuhan bahan bakar pada industri tersebut yaitu bagaimana cara mempercepat proses pemanasan air, dengan bahan bakar yang lebih sedikit tetapi mampu memanaskan air dengan cepat sehingga *global warming* dapat dikurangi .

Berdasarkan permasalahan diatas maka diperlukan suatu penelitian bagaimana cara untuk mempercepat proses pemanasan air dengan kebutuhan bahan bakar yang lebih sedikit, yaitu salah satunya dengan membuat adukan didalam air karena dengan adanya adukan akan menyebabkan pencampuran partikel fluida yang lebih baik sehingga laju perpindahan kalor akan semakin meningkat, sehingga proses pemanasan air semakin meningkat pula. Pemberian adukan pada air yaitu dengan memberikan laju massa alir udara yang diberikan oleh kompresor. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi diameter penampang peniup yang tepat terhadap laju pemanasan air sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil maka efek *global warming* dapat dikurangi .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diambil suatu rumusan masalah yang akan diteliti yaitu :

Bagaimana pengaruh variasi diameter penampang peniup yang tepat terhadap laju pemanasan air ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam melakukan penulisan ini dilakukan batasan yaitu :

1. Fluida yang digunakan untuk media pemanasan adalah air
2. Tekanan dianggap konstan
3. Kondisi fluida diasumsikan *Steady state*
4. Laju massa alir udara yang diberikan sebesar 0,2936 (gr/menit), 0,3390 (gr/menit), 0,3790 (gr/menit), 0,4153 (gr/menit), 0,4485 (gr/menit)
5. Diameter penampang peniup sebesar 2,2 mm, 4,2 mm, 6,2 mm, 7,2 mm
6. Jumlah saluran peniup udara sebanyak 5 tetap untuk semua variasi
7. Temperatur awal air sebelum pemanasan sebesar 27°C dengan toleransi 1°C
8. Temperatur akhir air yang dicapai dalam proses pemanasan sebesar 70°C dengan toleransi 1°C

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi diameter penampang peniup yang tepat terhadap laju pemanasan air

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat antara lain :

- Untuk menambah ilmu pengetahuan dan wawasan bagi penulis dan pembaca serta sebagai dasar penelitian selanjutnya.
- Dapat diketahui variasi penambahan laju massa alir udara yang tepat sehingga dapat meningkatkan laju pemanasan air dengan kebutuhan bahan bakar yang lebih sedikit .
- Diharapkan akan menghasilkan alat pemanas air yang dapat memanaskan air dengan cepat tetapi dengan konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit, sehingga meningkatkan efisiensi industri.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Kalor

Energi kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari sistem satu ke sistem yang lain sebagai akibat adanya perbedaan temperatur (Çengel, 2003:2). Air dikonversikan menjadi uap (*steam*) pada *steam boiler* akan memiliki kemampuan yang sangat besar untuk melakukan kerja yaitu dengan menggerakkan sudu turbin atau piston pada mesin uap. Untuk memanaskan air pada *steam boiler* maka dibutuhkan energi kalor yang dapat meningkatkan temperatur sehingga temperatur air meningkat. Besarnya energi kalor yang dibutuhkan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Q = m C_p \Delta T \quad \dots \text{(Zemansky,1991:360)} \quad (2-1)$$

Dimana : Q = Energi kalor (J)

m = Massa fluida (kg)

C_p = Kalor spesifik pada tekanan konstan (J/kg.°C)

ΔT = Perbedaan temperatur (°C)

Kalor spesifik pada tekanan konstan (C_p) di definisikan sebagai besarnya energi kalor yang dibutuhkan tiap massa fluida untuk menaikkan temperatur sebesar 1 °C. Kalor spesifik pada tekanan konstan (C_p) berbeda tiap – tiap fluida, karena (C_p) tiap fluida dipengaruhi banyak faktor antara lain densitas fluida (ρ), temperatur fluida (T). Suatu sistem yang disebut A dan B dengan sistem A mempunyai temperatur yang lebih besar dari pada sistem B, maka temperatur A akan menurun dan temperatur B akan meningkat. Interaksi yang terjadi tersebut disebut perpindahan kalor, kalor akan berpindah dari temperatur yang tinggi menuju ke temperatur yang lebih rendah dan akan berhenti jika telah mencapai temperatur yang sama.

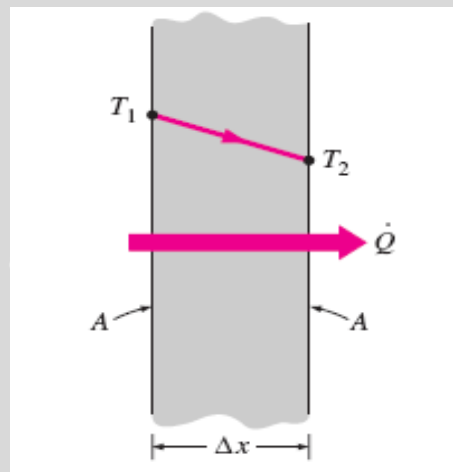
2.2 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai *transfer* energi dari suatu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur, *transfer* energi ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem lain yang bersuhu rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama, perbedaan temperatur merupakan syarat utama untuk terjadinya perpindahan kalor, jika kedua sistem

mempunyai temperatur yang sama maka tidak akan ada perpindahan kalor pada kedua sistem tersebut.

2.2.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi didefinisikan sebagai suatu proses perpindahan kalor melalui lapis benda padat. Perpindahan kalor konduksi terjadi karena pada saat benda dipanaskan, gerakan dari atom dan elektron bebas yang sebelumnya bergetar dengan setimbang akan berubah menjadi getaran yang lebih besar sehingga menumbuk atom-atom dan elektron disekitarnya. Laju perpindahan kalor konduksi yang melalui sebuah dinding tergantung dari ketebalan, geometri, jenis material dan perbedaan temperatur. Perpindahan kalor konduksi melalui sebuah dinding dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Perpindahan kalor konduksi
Sumber : Çengel, (2003:18)

Laju perpindahan kalor konduksi dikemukakan oleh J.B.J. Fourier pada tahun 1822 yaitu besarnya laju perpindahan kalor konduksi terhadap luas permukaan yang dilalui kalor, perbedaan temperatur, dan konduktivitas *thermal* material, namun berbanding terbalik terhadap ketebalan dari permukaan yang dilalui oleh kalor, sehingga dapat dinyatakan :

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta x} \quad \dots (\text{Çengel, 2003:18}) \quad (2-2)$$

Dimana : \dot{Q}_{cond} = Laju perpindahan kalor konduksi (W)

k = Konduktivitas *thermal* bahan (W/m °C)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m²)

$T_2 - T_1$ = Perbedaan temperatur permukaan perpindahan kalor (°C)

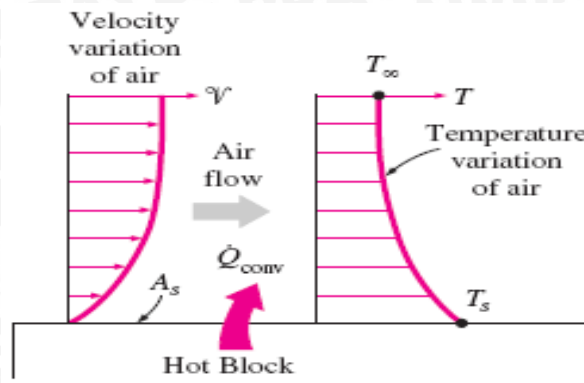
Δx = Ketebalan permukaan perpindahan kalor pada arah x (m)

Konduktivitas *thermal* merupakan suatu konstanta yang menyatakan kemampuan suatu material untuk menghantarkan kalor, konduktivitas *thermal* di definisikan sebagai besarnya energi kalor yang dapat dihantarkan per satuan waktu oleh setiap unit tebal dari material disebabkan adanya perbedaan temperatur sebesar 1 °C.

2.2.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor konveksi adalah suatu proses perpindahan kalor melalui lapis fluida. Semakin cepat gerakan fluida maka akan semakin besar laju perpindahan kalor konveksinya, atas dasar suatu proses pendinginan balok panas yang ditiupkan udara dingin maka proses perpindahan kalor konveksi akan terjadi melalui beberapa tahap, pertama energi kalor akan mengalir secara konduksi dari permukaan benda padat ke partikel-partikel lapisan fluida yang berbatasan, kemudian energi ini akan terbawa menjauh dari permukaan benda padat melalui mekanisme konveksi, dimana terdapat dua proses yang terjadi secara bersamaan yaitu kombinasi dari efek konduksi didalam fluida akibat gerakan acak antar partikel-partikel fluida yang terjadi secara mikroskopis sehingga partikel fluida yang memiliki energi lebih tinggi akan memindahkan sebagian energinya pada partikel fluida yang memiliki energi lebih rendah, serta adanya gerakan fluida secara makroskopis yang akan menggantikan fluida yang telah panas di sekitar permukaan benda padat dengan fluida dingin.

Semakin cepat fluida bergerak maka laju perpindahan kalor juga akan semakin tinggi, adanya gerakan fluida akan semakin cepat menggantikan fluida yang telah panas disekitar permukaan benda padat dengan fluida dingin atau sebaliknya sehingga dihasilkan temperatur fluida yang lebih dingin atau lebih panas pada lapisan lapisan fluida yang saling berinteraksi melakukan perpindahan panas, hal ini menyebabkan laju perpindahan kalor akan semakin tinggi. Perpindahan kalor konveksi dari suatu permukaan dapat dilihat pada gambar 2.2 .



Gambar 2.2 Perpindahan kalor konveksi dari suatu permukaan
 Sumber : Çengel, (2003:26)

Secara umum perpindahan kalor konveksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Konveksi bebas (*free convection*)

Pada konveksi bebas gerakan perpindahan fluida terjadi karena adanya perbedaan densitas atau kerapatan fluida yang disebabkan oleh adanya perbedaan atau gradien temperatur, proses ini terjadi secara alamiah sehingga sering disebut konveksi alamiah (*natural convection*).

2. Konveksi paksa (*forced convection*)

Pada konveksi paksa fluida dipaksa bergerak oleh adanya gaya atau energi dari luar, misalnya oleh pompa atau kipas (*fan*). *transfer* kalor yang dihasilkan akan lebih tinggi dari konveksi bebas.

Berdasarkan hukum pendinginan Newton, besarnya laju perpindahan kalor konveksi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{conv} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad \dots (\text{Çengel, 2003:335}) \quad (2-3)$$

Dimana : \dot{Q}_{conv} = Laju perpindahan kalor konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

T_s = Temperatur permukaan benda ($^\circ\text{C}$)

T_∞ = Temperatur fluida pada jarak tertentu dari permukaan benda ($^\circ\text{C}$)

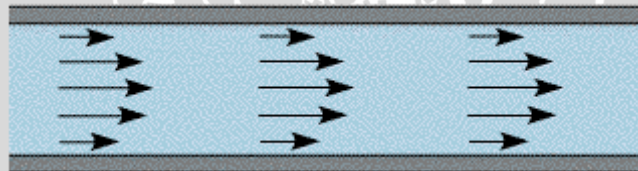
Perpindahan kalor konveksi akan tergantung pada berbagai propertis dari fluida antara lain viskositas dinamik fluida (μ), konduktivitas *thermal* fluida (k_f), densitas fluida (ρ), serta kecepatan fluida (v), hal-hal tersebut diatas akan menentukan besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi (h).

2.3 Analisa Aliran

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa pada perpindahan kalor konveksi sangat tergantung pada berbagai hal diantaranya keadaan aliran fluida yaitu apakah aliran tersebut bersifat laminar atau bersifat turbulen. Keadaan aliran tersebut dapat ditentukan dari besarnya angka *Reynold* dari aliran fluida tersebut.

2.3.1 Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran yang bergerak dengan gerakan yang teratur (*highly-ordered motion*), masing-masing partikel fluida bergerak mengikuti lintasan tertentu serta tetap ada dalam masing-masing lapisan dengan urutan yang teratur tanpa saling mendahului sehingga aliran laminar memiliki *streamline* yang tidak saling bercampur. Perpindahan kalor dan momentum terjadi secara konduksi molekuler didalam fluida maupun antara fluida dengan dinding, tidak terdapat arus percampuran yang mengangkut energi yang tersimpan dalam partikel-partikel fluida tersebut melintasi garis-garis aliran, kecenderungan aliran laminar menjadi turbulen masih dapat diredam oleh gaya-gaya viskos yang memberikan hambatan terhadap gerak relatif lapisan-lapisan fluida. Aliran laminar dapat dilihat seperti pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Aliran laminar

Sumber : www.freshgasflow.com/physics/flow/laminar_turbulent_flow.html

Besar angka *Reynold* untuk aliran laminar adalah :

$Re < 5 \cdot 10^5$ untuk aliran diatas plat (aliran eksternal). (Çengel, 2003:372)

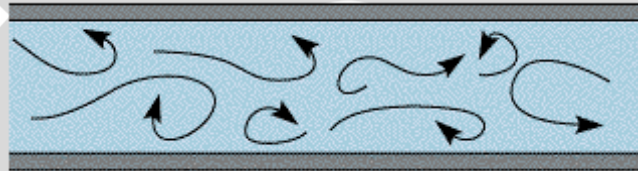
$Re < 2300$ untuk aliran didalam pipa (aliran internal). (Çengel, 2003:512)

2.3.2 Aliran turbulen

Aliran turbulen adalah aliran yang partikel-partikel fluidanya bergerak secara acak (*zig-zag*) dengan sangat cepat (*highly-disordered motion*) dengan kecepatan yang berfluktuasi. Pada aliran turbulen mekanisme perpindahan kalor dan momentum dengan cara konduksi molekuler diubah serta dibantu oleh banyak sekali pusaran-pusaran (*eddy*) atau olakan-olakan yang membawa gumpalan-gumpalan makroskopik fluida

melintasi garis-garis aliran sehingga tidak terbentuk lapisan-lapisan fluida karena tiap-tiap *streamline* akan saling bercampur, partikel-partikel gumpalan-gumpalan fluida tersebut berperan sebagai pembawa energi dan memindahkan energi dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain dari fluida tersebut, semakin cepat gerakan fluida tersebut maka akan semakin besar energi yang dapat di-*transfer*.

Aliran turbulen akan dapat memindahkan lebih banyak energi kalor dibanding dengan aliran laminar, karena sebagian besar partikel fluida akan dapat saling bercampur dan berinteraksi untuk selanjutnya men-*transfer* energi kalor pada partikel-partikel fluida yang lain maupun pada permukaan media, dimana temperatur pada daerah tersebut lebih rendah. Aliran turbulen dapat dilihat seperti pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Aliran turbulen

Sumber : www.freshgasflow.com/physics/flow/laminar_turbulent_flow.html

Besar angka *Reynold* untuk aliran turbulen adalah :

$Re > 5 \cdot 10^5$ untuk aliran diatas plat (aliran eksternal). (Çengel, 2003:372)

$Re > 4000$ untuk aliran didalam pipa (aliran internal).

$2300 < Re < 4000$ untuk aliran transisi didalam pipa. (Çengel, 2003:512)

2.3.3 Angka *Prandtl* (*Pr*)

Angka *Prandtl* merupakan perbandingan viskositas kinematik fluida terhadap difusivitas *thermal*. Angka *Prandtl* merupakan parameter yang menghubungkan ketebalan relatif antara lapisan batas hidrodinamik dengan lapisan batas *thermal*. Viskositas kinematik fluida menunjukkan laju difusi momentum dalam fluida karena gerakan molekul-molekul dari fluida tersebut sedangkan difusivitas termal merepresentasikan seberapa cepat kalor berdifusi di dalam suatu fluida, dimana difusivitas termal didefinisikan sebagai besarnya kalor yang dikonduksikan dibanding dengan kalor yang dapat tersimpan dalam material tersebut (Çengel, 2003:23).

Perbandingan kedua kuantitas tersebut menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor dalam fluida, kedua laju difusi ini akan menentukan

seberapa tebal lapisan batas *thermal* pada suatu medan aliran fluida, sehingga angka *Prandtl* merupakan penghubung antara medan kecepatan dengan medan suhu dan dirumuskan sebagai berikut.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/C_p \cdot \rho} = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad \dots \text{(Holman, 1997:213)} \quad (2-4)$$

- Dimana:
- α = Difusivitas termal fluida (m^2/s)
 - C_p = Panas spesifik pada tekanan konstan ($J/kg \cdot ^\circ C$)
 - k = Konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot ^\circ C$)
 - μ = Viskositas dinamik fluida ($kg/m \cdot s$)
 - ν = Viskositas kinematik (m^2/s)

2.3.4 Angka Reynold (Re)

Angka *Reynold* merupakan perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos digunakan sebagai kriteria yang menunjukkan apakah aliran itu laminar atau turbulen (Holman, 1997:195). Fluida yang mengalir memiliki suatu pola aliran tertentu, aliran fluida dapat berupa aliran laminar yang bergerak secara teratur dan *streamline*, serta aliran turbulen yang bergerak tidak teratur (acak), pola aliran fluida ini tergantung dari perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos yang dinyatakan dengan angka *Reynold*, jika angka *Reynold* rendah maka gaya viskos dapat menghambat gaya inersia akibat kecepatan fluida sehingga aliran fluida menjadi laminar, jika angka *Reynold* tinggi maka gaya inersia yang berhubungan dengan densitas dan kecepatan fluida nilainya relatif lebih besar terhadap gaya viskos, gaya viskos tidak dapat menahan fluktuasi fluida yang cepat dan acak, hal ini menimbulkan turbulensi pada aliran tersebut. Secara matematis besarnya angka *Reynold* untuk aliran dalam pipa dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Re = \frac{V_m D_h}{\nu} \quad \dots \text{(Çengel, 2003:442)} \quad (2-5)$$

- Dimana:
- V_m = Kecepatan rata-rata fluida (m/s)
 - D_h = diameter hidrolik pipa (m)
 - $\nu = \mu/\rho$ = Viskositas kinematik fluida (m^2/s)
 - μ = Viskositas dinamik ($kg/m \cdot s$)
 - ρ = Massa jenis (kg/m^3)

2.3.5 Angka *Nusselt* (Nu)

Angka *Nusselt* merupakan kelompok angka yang didapat dari pengukuran eksperimental terdiri dari angka *Reynold*, angka *Prandtl* dan konstanta yang harganya tergantung pada geometri saluran dan pola aliran. Angka *Nusselt* menunjukkan besar perpindahan kalor melalui proses konveksi terhadap besar perpindahan kalor melalui proses konduksi pada lapisan fluida yang sama (Çengel, 2003:351). Semakin besar angka *Nusselt* maka perpindahan kalor konveksi akan semakin meningkat, laju perpindahan kalor tiap waktu tiap unit luas pada proses konveksi dan konduksi adalah sebagai berikut.

$$\dot{q}_{conv} = h \Delta T \quad \dots (\text{Çengel, 2003:336}) \quad (2-6)$$

$$\dot{q}_{cond} = k \frac{\Delta T}{\delta} \quad \dots (\text{Çengel, 2003:336}) \quad (2-7)$$

Sehingga rasionya

$$\frac{\dot{q}_{conv}}{\dot{q}_{cond}} = \frac{h \Delta T}{k \Delta T / \delta} = \frac{h \delta}{k} = Nu \quad \dots (\text{Çengel, 2003:336}) \quad (2-8)$$

Dimana : δ = Ketebalan permukaan perpindahan kalor (m)

Secara umum angka *Nusselt* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Nu = C (Re)^n (Pr)^m$$

Dimana : C = Konstanta

n dan m = Exponen

Harga C, n, m tergantung pada jenis aliran, sedangkan hubungan angka *Reynold* dan angka *Prandtl* terhadap angka *Nusselt* untuk aliran dalam pipa dapat dinyatakan sebagai berikut:

- Untuk aliran laminar

$$Nu = 1.86 \left(\frac{Re Pr D}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_s}{\mu_b} \right)^{0.14} \quad (Pr < 0.5) \quad \dots (\text{Çengel, 2003:437}) \quad (2-9)$$

Dimana : *Nu* = Angka *Nusselt*

Re = Angka *Reynold*

Pr = Angka *Prandtl*

D = Diameter pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

μ_s = Viskositas dinamik fluida pada temperatur permukaan (kg.m/s)

μ_b = Viskositas dinamik fluida pada temperatur *bulk* (kg.m/s)

- Untuk aliran turbulen

Untuk aliran turbulen yang sudah jadi atau berkembang penuh (*fully developed turbulent flow*) dalam tabung licin, oleh Dittus dan Boelter disarankan persamaan berikut:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \begin{pmatrix} 0,7 \leq Pr \leq 160 \\ Re > 10000 \end{pmatrix} \dots (\text{Çengel, 2003:441}) \quad (2-10)$$

Dimana : $n = 0,4$ untuk kasus pemanasan

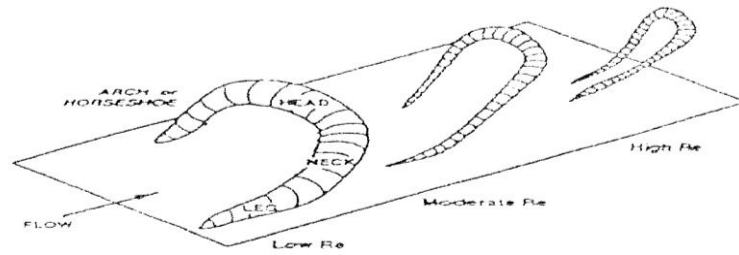
$n = 0,3$ untuk kasus pendinginan

2.4 Aliran Vortex

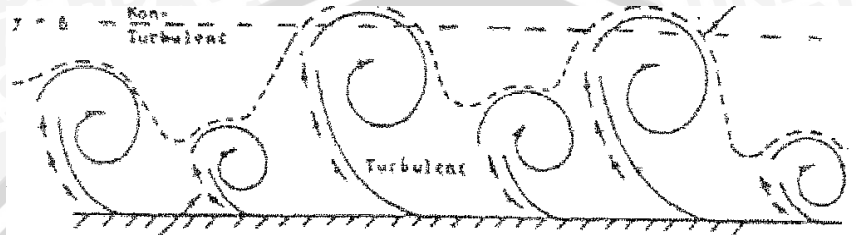
Vortex merupakan suatu aliran fluida yang mempunyai *streamline* berkisar atau berputar (*spinning*), seringkali aliran vortex mempunyai tipe aliran turbulen. Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida. Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Karena kecepatan fluida yang tidak seragam, semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding, maka gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah arus jauh lebih besar daripada gaya sentrifugal pada lapisan batas. Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder.

Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (*free vortex*) dan *vortex* paksa (*forced vortex*). *Vortex* bebas terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energi dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya contohnya yaitu pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. *Vortex* paksa terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contohnya yaitu fluida dalam suatu wadah diputar dengan pipa silinder.

Sesungguhnya *vortex* berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut nilai bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* yang rendah, *vortex* berbentuk seperti tapal kuda dan semakin tinggi harga bilangan *Reynold* maka *vortex* akan semakin meruncing



Gambar 2.5 Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*
Sumber : Potter, Merle C, (1997 : 607)



Gambar 2.6 *Vortex* 2 dimensi
Sumber : Potter, Merle C, (1997 : 619)

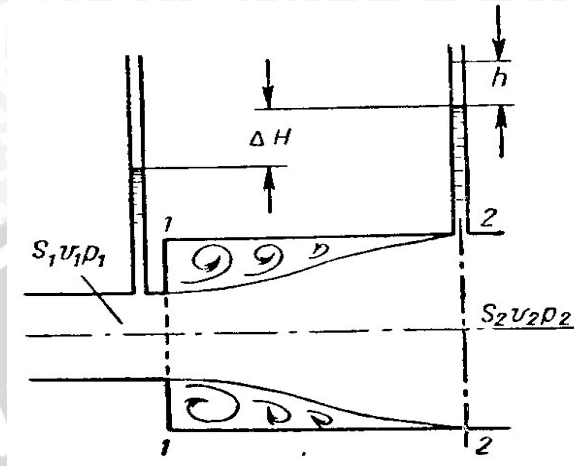
Berikut adalah propertis dari aliran *vortex*:

- Pada aliran *vortex* tekanan fluida yang paling rendah terdapat pada pusat pusaran dimana fluida pada daerah tersebut memiliki kecepatan maksimum, dan kemudian tekanan akan meningkat seiring dengan semakin jauhnya jarak lapisan fluida terhadap pusat pusaran.
- Pada pusat pusaran setiap aliran *vortex* memiliki *vortex line*, dan setiap partikel pada aliran *vortex* akan beredar atau berputar (*circulating*) disekitar *vortex line*.
- Dua atau lebih aliran *vortex* yang mempunyai arah pusaran yang paralel serta beredar atau berputar (*circulating*) pada arah yang sama akan bergabung menjadi satu *vortex* yang lebih besar, besar pusaran tersebut merupakan jumlah dari tiap tiap pusaran yang menyusunnya
- Aliran *vortex* mengandung banyak energi akibat adanya pusaran (*circular motion*) dari fluida, pada fluida ideal energi ini tidak akan musnah dan aliran *vortex* akan terus berlangsung. pada fluida nyata memiliki viskositas yang menyebabkan energi tersebut melemah sehingga pada suatu saat aliran *vortex* akan berhenti.

2.5 Abrupt Expansion

Harga koefisien kerugian lokal biasanya diperoleh secara eksperimental dan rumusan eksperimental atau grafik yang digunakan. Akan tetapi dalam aliran turbulen melalui ekspansi tiba-tiba (*abrupt expansion*) kerugian head dapat ditentukan dengan akurasi yang cukup dengan metode analisis murni.

Ekspansi tiba-tiba dan pola aliran di dalamnya ditunjukkan dalam gambar 2.7. Aliran menjauh dari bagian tepi yang sempit dan tidak bercabang tiba-tiba, seperti pipa, tetapi secara bertahap dengan membentuk pusaran di dalam ruang antara aliran dan pipa. Turbulensi inilah yang menyebabkan kerugian energi.



Gambar 2.7 *Abrupt Expansion* dari sebuah pipa
Sumber : Nekrasov, (1960:105)

Mempertimbangkan dua lintasan pada aliran 1-1 melalui bidang perluasan dan lintasan 2-2 yang menandai akhir dari luas wilayah turbulensi yang disebabkan oleh ekspansi. Karena aliran antara dua bagian lintas adalah divergen secara bertahap, dengan kecepatan harus menurun dan tekanan meningkat. Oleh karena itu cairan dalam piezometer kedua harus pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan piezometer yang pertama.

Persamaan Bernoulli antara bagian, mengansumsikan bahwa distribusi kecepatan lintasan adalah seragam, $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\text{exp}} \quad \dots \text{(Nekrasov,1960:105)} \quad (2-11)$$

Dimana : $\frac{p_1}{\gamma} = \text{Pressure Head (m)}$

$\frac{v_1^2}{2g} = \text{Velocity Head (m)}$

$h_{\text{exp}} = \text{Kerugian yang disebabkan Abrupt Expansion (m)}$

Kerugian energi yang diakibatkan oleh perubahan ukuran dan bentuk dari pipa kecil menuju pipa besar yang mengakibatkan pada perubahan kecepatan dan membentuk pusaran, besarnya kerugian energi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$h_{\text{exp}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} \quad \dots \text{ (Nekrasov,1960:107) } \quad (2-12)$$

Dimana : ζ = Koefisien kerugian

Sebagai konsekuensi pada kasus ekspansi tiba-tiba (*abrupt expansion*), koefisien kerugian adalah sebagai berikut:

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad \dots \text{ (Nekrasov,1960:107) } \quad (2-13)$$

Dimana : S_1 = Luas penampang masuk (pipa kecil) (m^2)

S_2 = Luas penampang keluar (pipa besar) (m^2)

Semakin kecil diameter pipa masuk akan meningkatkan koefisien kerugian, sehingga meningkatkan nilai dari kerugian energi (*head losses*) maka semakin besar turbulensi yang di hasilkan yang setara dengan bilangan *Reynold* yang besar.

Perlu dicatat bahwa kerugian *head* (energi) karena Ekspansi tiba-tiba dikeluarkan hampir secara eksklusif pada pembentukan pusaran karena pemisahan aliran dari dinding. Didukung gerakan berputar yang terus menerus dari massa fluida dan pergantiannya secara konstan. Itulah sebabnya kerugian ini, yang bervariasi sebagai kuadrat dari kecepatan (*discharge*), disebut kerugian eddy (*eddy losses*). Kadang-kadang istilah lain yang digunakan adalah kerugian kejut (*shock losses*), terjadi karena tiba-tiba melambat dan efek kejutan sebagai suatu cairan yang mengalir cepat tiba-tiba menumbuk aliran yang lambat atau fluida yang tetap.

2.6 Hipotesa

Dengan semakin kecil diameter penampang peniup akan meningkatkan kerugian maka menimbulkan pusaran dan olakan-olakan (*vortex*) yang lebih kuat yang setara dengan bilangan *Reynold* yang besar sehingga koefisien perpindahan kalor konveksi dan laju perpindahan kalor yang ditransfer semakin tinggi menyebabkan proses pemanasan air akan berlangsung semakin cepat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan terhadap suatu proses atau peristiwa. Dengan cara ini akan di uji pengaruh variasi diameter penampang peniup terhadap laju pemanasan air.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam yaitu:

1. Variabel bebas (*independent variabel*)

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan nilainya oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Laju massa alir udara yang diberikan sebesar 0,2936 (gr/menit), 0,3390 (gr/menit), 0,3790 (gr/menit), 0,4153 (gr/menit), 0,4485 (gr/menit)

2. Variabel terikat (*dependent variabel*)

Variabel terikat adalah variabel hasil yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, nilai dari variable ini tergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

- Kerugian Energi
- Laju pemanasan air

3. Variabel terkontrol

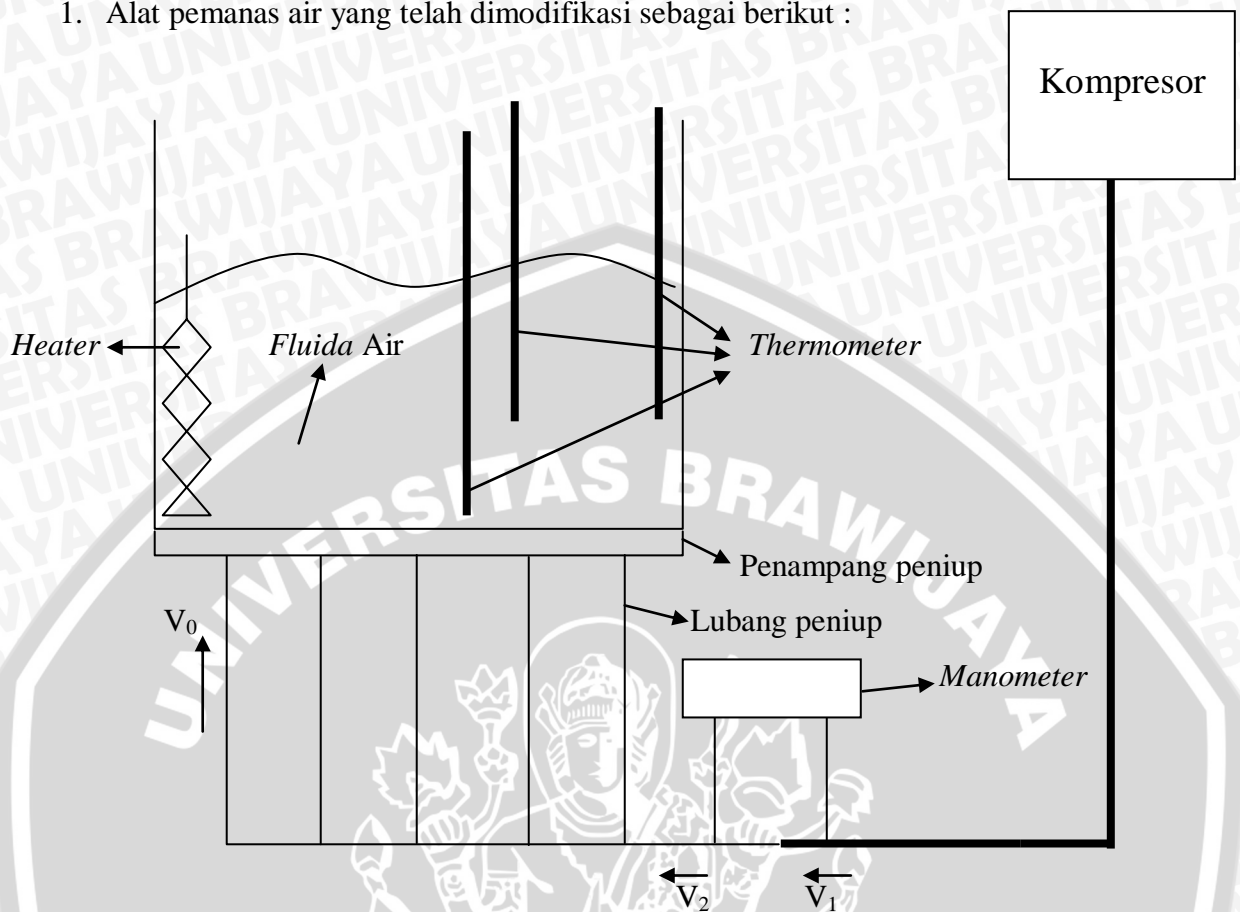
Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti, dan nilainya dikondisikan konstan.

Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah:

- Diameter lubang peniup sebesar 2,2 mm, 4,2 mm, 6,2 mm, 7,2 mm

3.3 Alat-alat Penelitian yang Digunakan :

1. Alat pemanas air yang telah dimodifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.1 Susunan Instalasi Pengujian

2. Kompresor

Kompresor digunakan sebagai penyuplai udara

3. Alat ukur yang digunakan sebagai berikut :

- a. *Thermometer*

Untuk mengukur temperatur air yang akan dicapai

- b. *Manometer*

Untuk mengukur tekanan udara didalam saluran

- c. *Stopwatch*

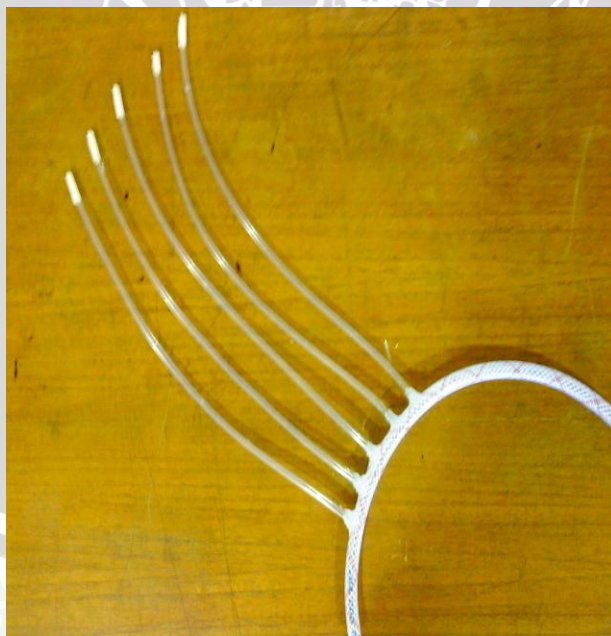
Untuk mengukur waktu pemanasan

4. Lubang peniup

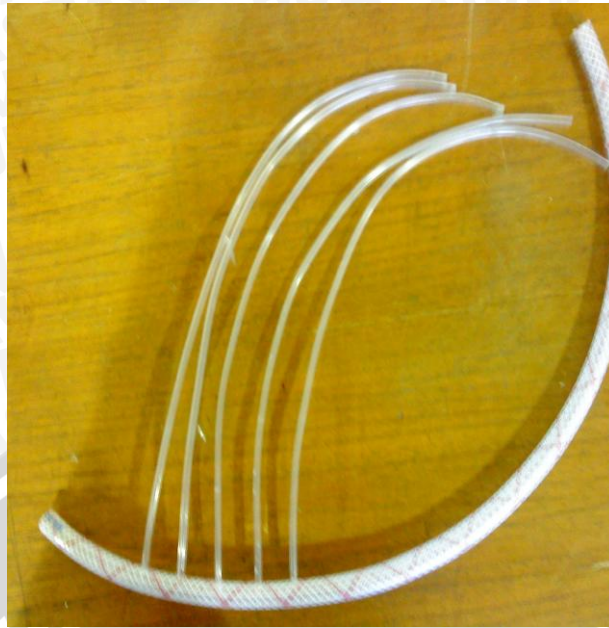
Terdiri dari berbagai ukuran yaitu 2,2 mm, 4,2 mm, 6,2 mm, 7,2 mm



(a)



(b)



(c)

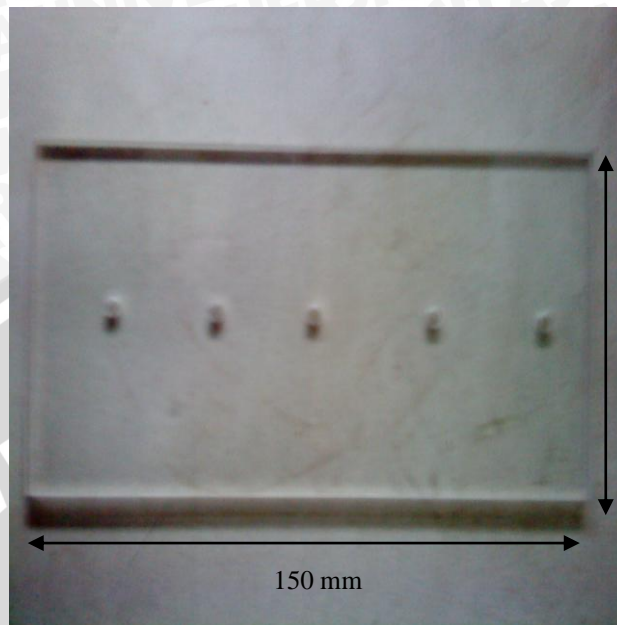


(d)

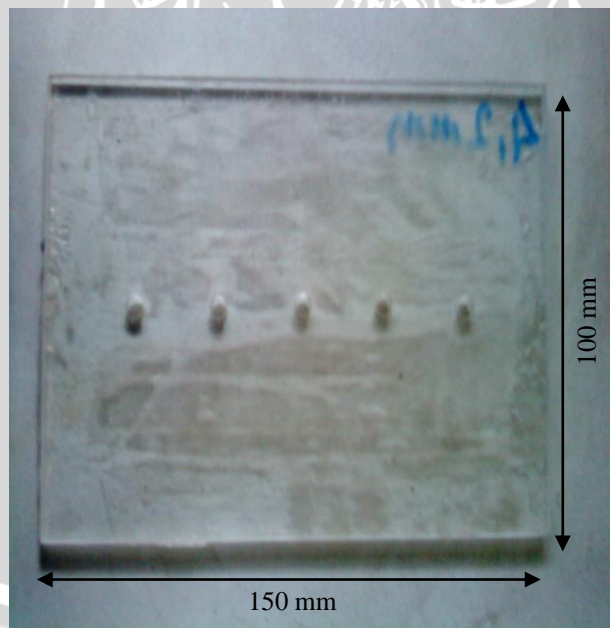
Gambar 3.2 Lubang peniup terdiri dari berbagai ukuran yaitu : (a) 2,2 mm (b) 4,2 mm (c) 6,2 mm (d) 7,2 mm

5. Penampang Peniup

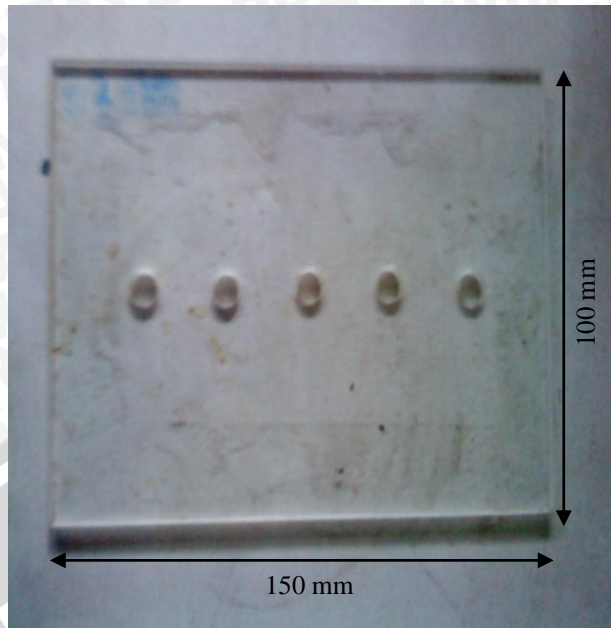
Terdiri dari berbagai ukuran yaitu 2,2 mm, 4,2 mm, 6,2 mm, 7,2 mm



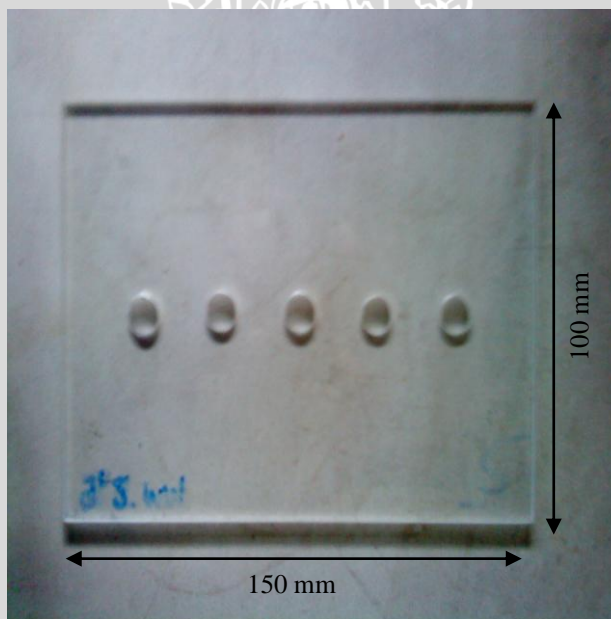
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.3 Penampang peniup terdiri dari berbagai ukuran yaitu : (a) 2,2 mm (b) 4,2 mm (c) 6,2 mm (d) 7,2 mm

6. Heater

Berfungsi untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi panas, heater digunakan untuk memanaskan air pada wadah pemanas air

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh variasi diameter penampang peniup yang tepat terhadap laju pemanasan air ini dilakukan di Laboratorium Fluida, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang.

3.5 Prosedur Penelitian

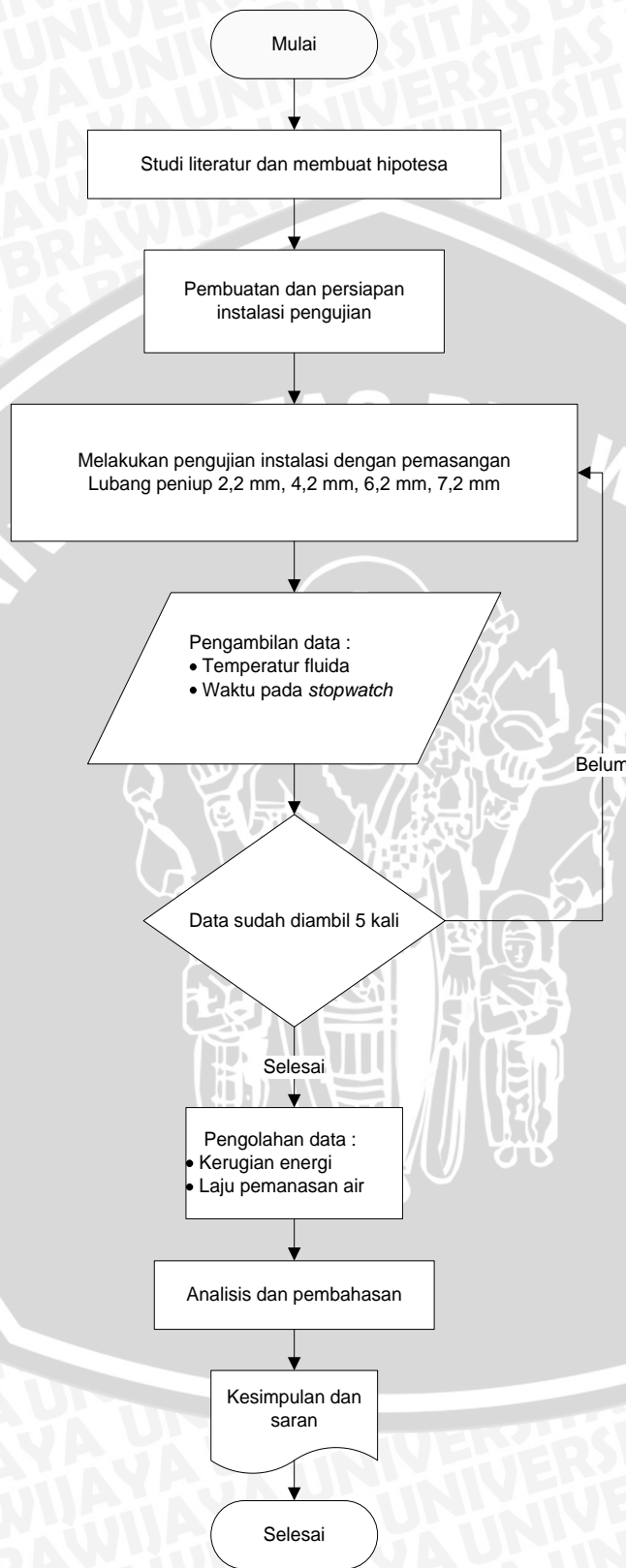
Prosedur penelitian meliputi Persiapan yaitu :

1. Menyiapkan instalasi penelitian dengan berbagai variasi diameter lubang peniup.
2. Pengecekan kondisi kompresor, saluran peniup dan alat ukur meliputi *manometer*, *thermometer* dan *stopwatch*.

Pelaksanaan percobaan :

1. Memasang semua instalasi penelitian pada alat pemanas air sesuai ketentuan, Kemudian *heater* dinyalakan hingga temperatur 90°C pada wadah yang lain.
2. Menghidupkan kompresor dan mengatur laju massa alir udara sesuai dengan ketentuan.
3. Mengisi air sesuai batas yang ditentukan sebanyak 1000 ml liter, kemudian secara bersamaan *heater* diletakkan pada alat percobaan dan stopwatch dinyalakan dan dihentikan setelah temperatur yang ditentukan dicapai
4. Mengulangi langkah 1 sampai 3 dengan memasang berbagai variasi diameter penampang peniup, dengan temperatur heater di kembalikan seperti temperatur semula sebelum pemanasan dan setiap percobaan diulang hingga tiga kali.
5. Data kemudian diolah serta dilakukan analisa mengenai pengaruh variasi diameter penampang peniup terhadap laju pemanasan air, yang dihubungkan dengan dasar teori.
6. Menarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian



BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian pengaruh laju alir massa terhadap laju pemanasan air pada variasi diameter penampang peniup dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian

| Laju Alir Massa (gr/menit) | Diameter (mm) Waktu (menit) | 2,2 | 4,2 | 6,2 | 7,2 |
|----------------------------|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| | | 0,2936 | 11,38 | 13,59 | 14,29 |
| | | 11,36 | 14,05 | 14,40 | 15,36 |
| | | 11,37 | 14,45 | 14,42 | 15,45 |
| | Rata - rata | 11,38 | 14,03 | 14,37 | 15,38 |
| 0,3390 | | 9,54 | 12,27 | 13,01 | 14,45 |
| | | 9,58 | 12,33 | 13,04 | 14,38 |
| | | 9,59 | 12,30 | 13,01 | 14,58 |
| | Rata - rata | 9,57 | 12,30 | 13,02 | 14,47 |
| 0,3790 | | 8,29 | 10,06 | 11,57 | 13,27 |
| | | 8,35 | 10,06 | 11,56 | 13,29 |
| | | 8,35 | 10,06 | 11,56 | 13,29 |
| | Rata - rata | 8,33 | 10,06 | 11,56 | 13,29 |
| 0,4153 | | 8,10 | 8,53 | 10,22 | 12,40 |
| | | 8,10 | 8,55 | 10,20 | 12,40 |
| | | 8,12 | 8,53 | 10,22 | 12,41 |
| | Rata - rata | 8,11 | 8,53 | 10,22 | 12,40 |
| 0,4485 | | 7,17 | 7,59 | 9,45 | 11,39 |
| | | 7,17 | 7,56 | 9,45 | 11,39 |
| | | 7,19 | 7,59 | 9,44 | 11,38 |
| | Rata - rata | 7,19 | 7,58 | 9,44 | 11,39 |

4.1.2 Analisa perhitungan

Perhitungan data dilakukan untuk mencari Kerugian energi / *Local Losses* (h_{exp}) dan Laju Pemanasan Air, dimana data yang diperoleh pada waktu penelitian adalah sebagai berikut:

- Temperatur *heater* = 90°C
- Temperatur air awal = 27°C
- Temperatur air yang dicapai = 70°C
- Power *heater* = 350 Watt

A. Perhitungan mencari V_2 dan V_o

Besarnya harga V_2 dapat dihasilkan dengan rumusan sebagai berikut :

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} SG_{minyak} \sin 3,75/1000}{\rho_{udara}}}$$

Dimana :

$$\rho_{air} = 1000 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$SG_{minyak} = 0,86$$

$$\rho_{udara} = 1,1797 \left(\frac{Kg}{m^3} \right), \text{ Pada temperatur udara} = 27^\circ C$$

$$z = \text{Jarak yang di ukur oleh manometer (mm)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi sebesar } 9,8 \left(\frac{m}{dt^2} \right)$$

Dan besarnya V_o akan didapatkan dengan menggunakan hukum kekekalan laju alir massa, dimana laju alir massa fluida adalah konstan, sehingga didapat :

$$m_2 = m_o$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

Dimana :

$$\rho = \text{Massa jenis fluida} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$V_2 = \text{Kecepatan fluida dari kompresor} \left(\frac{m}{dt} \right)$$

$A_2 =$ Luas penampang pipa 2 (m^2)

$V_o =$ Kecepatan fluida pada lubang peniup ($\frac{m}{dt}$)

$A_o =$ Luas penampang pipa lubang peniup (m^2)

1. Untuk Diameter 2,2 mm

- $z = 1,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} SG_{minyak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 1,5 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,0367 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,2183 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} SG_{minyak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 2 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,04238 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,2521 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} SG_{minyak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,047386 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,28196 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,051909 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,30888 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,05606 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_0 = 0,33362 \left(\frac{m}{s} \right)$$

2. Untuk Diameter 4,2 mm

- $z = 1,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min,yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 4,5 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,0367 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,059918 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min,yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 2 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,04238 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,06919 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min,yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,04738 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,07736 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,0847 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,2183 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,05606 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_0 = 0,09152 \left(\frac{m}{s} \right)$$

3. Untuk Diameter 6,2 mm

- $z = 1,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 6,5 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,0367 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,02749 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 6 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,04238 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,03175 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,04738 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,035504 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,051909 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_o = 0,03899 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,05606 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_o V_o A_o$$

$$V_2 A_2 = V_o A_o$$

$$V_0 = 0,042003 \left(\frac{m}{s} \right)$$

4. Untuk Diameter 7,2 mm

- $z = 1,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 1,5 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,0367 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,0020389 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 2 \text{ mm} \times \sin 3,75/1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,04238 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,023544 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 2,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{min yak} \sin 3,75/1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,04738 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,026325 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,051909 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,02883 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- $z = 3,5 \text{ mm}$

$$V = \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{\min yak} \sin 3,75 / 1000}{\rho_{air}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \frac{m}{dt^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 0,86 \times 0,5 \text{ mm} \times \sin 3,75 / 1000}{1,1797 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V_2 = 0,05606 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho_2 V_2 A_2 = \rho_0 V_0 A_0$$

$$V_2 A_2 = V_0 A_0$$

$$V_0 = 0,031144 \left(\frac{m}{s} \right)$$

B. Perhitungan Kerugian energi / *Local Losses* (h_{exp}) :

Besarnya kerugian energi / *Local Losses* (h_{exp}) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$h_{exp} = \zeta \frac{v_1^2}{2g},$$

Dimana : ζ = Koefisien kerugian

Sebagai konsekuensi pada kasus ekspansi tiba-tiba (*abrupt expansion*), koefisien kerugian adalah sebagai berikut:

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right)^2$$

Dengan divariasikan diameter penampang peniup (pipa kecil) maka akan terjadinya perubahan koefisien kerugian dengan luas penampang keluar (pipa besar) konstan sebesar $0,0105 \text{ m}^2$

➤ Untuk diameter penampang peniup 2,2 mm

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right)^2 = \left(1 - \frac{0,000003799}{0,0105} \right)^2 = 0,9992$$

$$h_{exp1} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{\left(\frac{0,2183}{19,6} \right)^2}{2 \times 9,8} = 0,0005429 \text{ m}$$

$$h_{exp2} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{\left(\frac{0,2521}{19,6} \right)^2}{2 \times 9,8} = 0,0006239 \text{ m}$$

$$h_{exp3} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{\left(\frac{0,2819}{19,6} \right)^2}{2 \times 9,8} = 0,0007102 \text{ m}$$

$$h_{exp4} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{\left(\frac{0,3088}{19,6} \right)^2}{2 \times 9,8} = 0,0007993 \text{ m}$$

$$h_{exp5} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{\left(\frac{0,3336}{19,6} \right)^2}{2 \times 9,8} = 0,0008974 \text{ m}$$

➤ Untuk diameter penampang peniup 4,2 mm

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,000013899}{0,0105}\right)^2 = 0,99736$$

$$h_{\text{exp1}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,0599^2}{19,6} = 0,0001826 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp2}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,0691^2}{19,6} = 0,0002436 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp3}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,07736^2}{19,6} = 0,0003045 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp4}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,0847^2}{19,6} = 0,000365 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp5}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,0915^2}{19,6} = 0,0004262 \text{ m}$$

➤ Untuk diameter penampang peniup 6,2 mm

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,00003017}{0,0105}\right)^2 = 0,9942$$

$$h_{\text{exp1}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,02749^2}{19,6} = 0,00003833 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp2}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,03175^2}{19,6} = 0,00005113 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp3}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,03556^2}{19,6} = 0,00006393 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp4}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,03889^2}{19,6} = 0,00007675 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp5}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,042003^2}{19,6} = 0,00008949 \text{ m}$$

➤ Untuk diameter penampang peniup 7,2 mm

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,000040694}{0,0105}\right)^2 = 0,99226$$

$$h_{\text{exp1}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,02038^2}{19,6} = 0,000021045 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp2}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,0235^2}{19,6} = 0,00002806 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp3}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,026325^2}{19,6} = 0,00003508 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp4}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,02888^2}{19,6} = 0,000042101 \text{ m}$$

$$h_{\text{exp5}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = 0,9992 \times \frac{0,0311447^2}{19,6} = 0,000049106 \text{ m}$$

C. Perhitungan Laju pemanasan air

Laju pemanasan air didapat dari besarnya selisih temperatur yang dapat di naikkan dibanding waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air tersebut. Pada penelitian ini temperatur air awal 27°C dan temperatur yang akan di capai 70°C, maka laju pemanasan air dapat dihtiung sebagai berikut :

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{T_{\text{dicapai}} - T_{\text{awal}}}{\text{Waktu yang dibutuhkan}} \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

➤ Untuk diameter penampang peniup 2,2 mm

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{70 - 27}{11,38} = 3,916 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{70 - 27}{9,57} = 4,493 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{70 - 27}{8,33} = 5,162 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{70 - 27}{8,11} = 5,302 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{70 - 27}{7,19} = 5,980 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

➤ Untuk diameter penampang peniup 4,2 mm

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{14,03} = 3,064 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{12,30} = 3,495 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{10,06} = 4,274 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{8,53} = 5,041 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{7,58} = 5,672 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

➤ Untuk diameter penampang peniup 6,2 mm

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{14,37} = 2,992 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{13,02} = 3,302 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{11,56} = 3,719 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{10,22} = 4,207 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{9,44} = 4,555 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

➤ Untuk diameter penampang peniup 7,2 mm

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{15,38} = 2,795 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{14,47} = 2,971 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{13,29} = 3,235 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(0 - 27)}{12,40} = 3,467 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

$$\text{Laju pemanasan air} = \frac{(40 - 27)}{11,39} = 3,775 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$$

4.1.3 Data Hasil Perhitungan

Data hasil perhitungan selengkapnya ditunjukkan pada Tabel Data Hasil Perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data Kerugian energi

| Laju Alir Massa (gr/menit) | Diameter (mm) | | | |
|----------------------------|---------------|--------|---------|---------|
| | 2,2 | 4,2 | 6,2 | 7,2 |
| 0,2936 | 0,5429 | 0,1826 | 0,03833 | 0,02104 |
| 0,33909 | 0,6239 | 0,2436 | 0,05113 | 0,02806 |
| 0,37909 | 0,7102 | 0,3045 | 0,06393 | 0,03508 |
| 0,41533 | 0,7993 | 0,365 | 0,07675 | 0,0421 |
| 0,44854 | 0,8974 | 0,4262 | 0,08949 | 0,0491 |

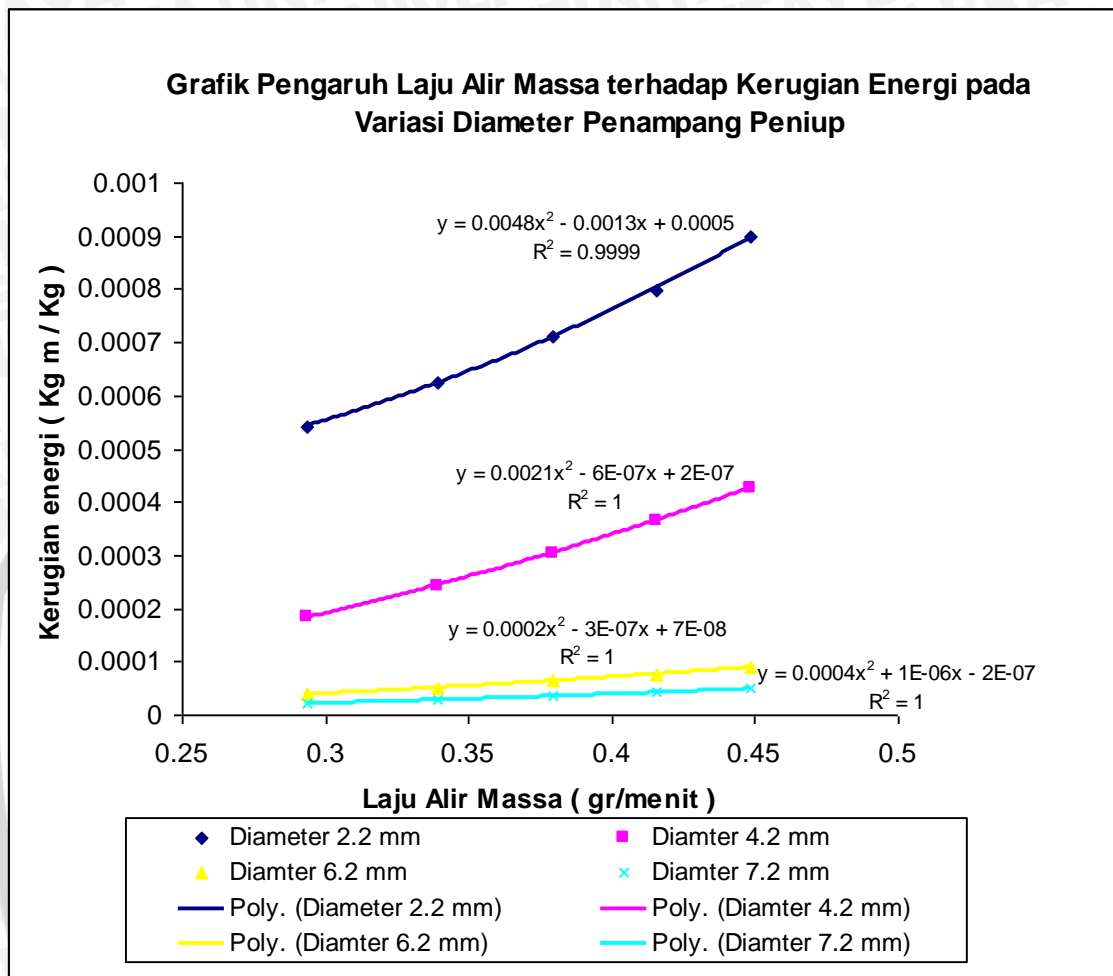
Tabel 4.3 Data Laju pemanasan air

| Laju Alir Massa (gr/menit) | Diameter (mm) | 2,2 | 4,2 | 6,2 | 7,2 |
|----------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | Laju Pemanasan Air ($\frac{^{\circ}C}{menit}$) | | | | |
| 0,2936 | | 3,9162 | 3,0641 | 2,9923 | 2,7958 |
| 0,33909 | | 4,4932 | 3,495 | 3,3026 | 2,9716 |
| 0,37909 | | 5,1620 | 4,274 | 3,7197 | 3,2355 |
| 0,41533 | | 5,3020 | 5,041 | 4,2074 | 3,467 |
| 0,44854 | | 5,98 | 5,6728 | 4,555 | 3,7752 |



4.2 Pembahasan

4.2.1 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa terhadap Kerugian Energi pada Variasi Diameter Penampang Peniup



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara laju alir massa terhadap kerugian energi pada variasi diameter penampang peniup

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa dengan semakin kecilnya diameter penampang peniup menyebabkan kerugian energi yang timbul pada alat memanaskan air cenderung meningkat.

Berdasarkan rumusan $h_{\text{exp}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$, dimana kerugian energi

berbanding lurus dengan ζ (koefisien kerugian) dan $\frac{v_1^2}{2g}$ (*velocity head*). Sehingga

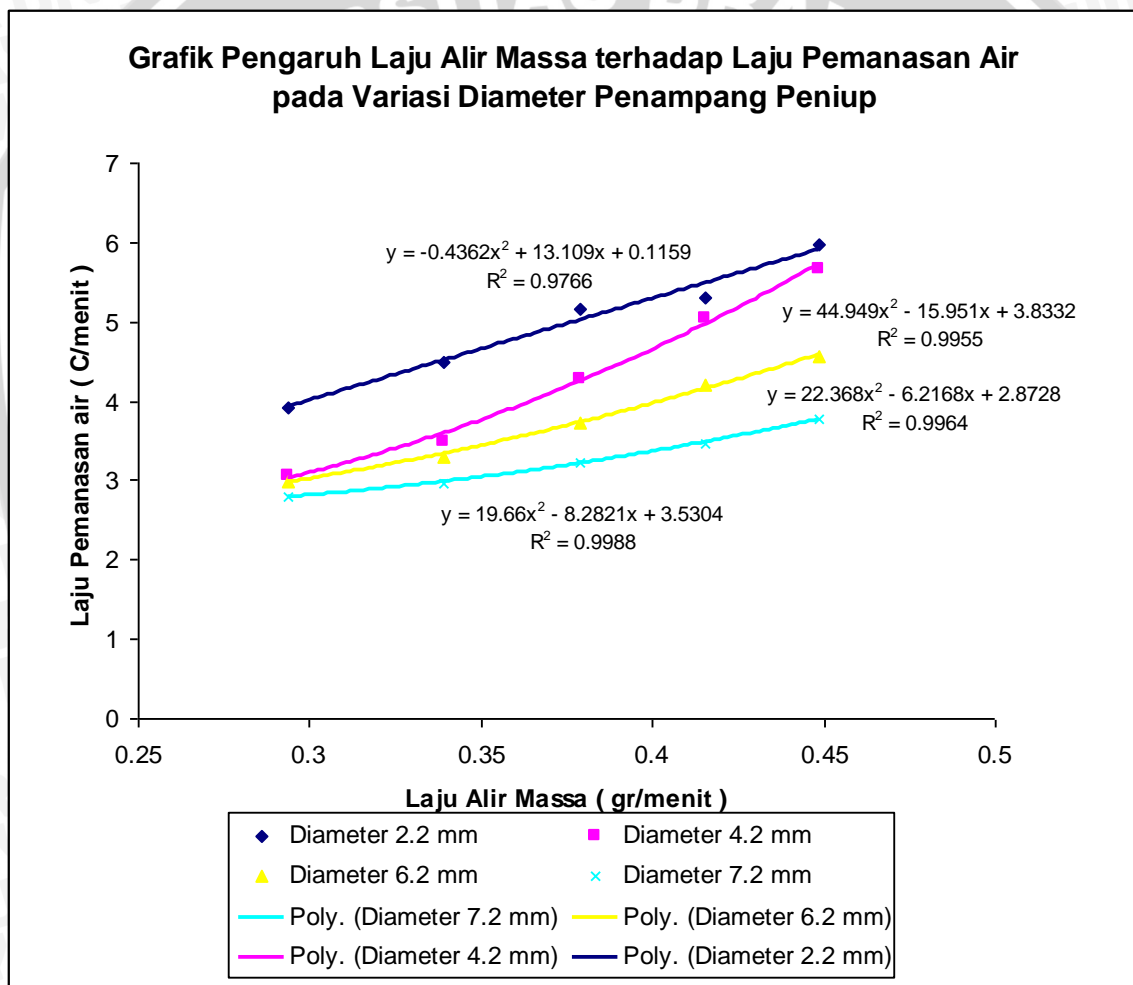
dengan semakin besarnya koefisien kerugian maka akan meningkatkan kerugian energi,

dimana rumusan koefisien kerugian $\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$, semakin kecil luas penampang

peniup maka akan semakin besar harga koefisien kerugian, maka kerugian energi yang

di hasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin kecilnya diameter penampang peniup, energi yang dibawa oleh fluida udara sangat besar sehingga pada saat melewati *abrupt expansion* (perluasan tiba-tiba) energi yang dimiliki fluida tersebut semuanya di ubah menjadi kerugian – kerugian (pusaran - pusaran) yang disebut *eddy losses*. Sehingga akan membuat pusaran – pusaran dan membuat turbulen aliran yang harganya setara dengan bilangan *Reynold* yang tinggi sehingga akan meningkatkan kerugian energi.

4.2.2 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa terhadap Laju Pemanasan Air pada Variasi Diameter Penampang Peniup



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara laju alir massa terhadap laju pemanasan air pada variasi diameter penampang peniup

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa laju pemanasan air semakin meningkat dengan mengecilnya diameter penampang peniup, hal ini di sebabkan dengan semakin mengecilnya diameter penampang peniup akan membuat koefisien kerugian menjadi

lebih besar hal ini sesuai dengan rumusan $\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$, dimana semakin kecil luas penampang peniup maka akan semakin besar koefisien kerugian. Koefisien kerugian tersebut akan membuat kerugian energi semakin tinggi dan semakin meningkatnya laju alir massa udara yang diberikan membuat kerugian energi semakin besar pula, hal ini sesuai dengan rumusan $h_{\text{exp}} = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$. Energi yang dikandung oleh fluida sebelum melalui *abrupt expansion* semuanya akan di ubah menjadi kerugian – kerugian yang berupa pusaran – pusaran yang disebut *eddy losses*. Pusaran – pusaran tersebut membuat turbulen aliran dan yang harganya sebanding dengan bilangan *Reynold* yang tinggi. Dengan adanya pusaran – pusaran akan menyebabkan pencampuran partikel fluida yang lebih baik sehingga laju perpindahan kalor akan semakin tinggi, Sehingga proses pemanasan air semakin meningkat pula.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

- Pada Fenomena *abrupt expansion* dengan semakin kecil diameter penampang peniup dan semakin bertambahnya laju massa alir udara pada setiap pengujian akan meningkatkan kerugian energi dan laju pemanasan air
- Laju pemanasan air dan kerugian energi tertinggi yaitu $5,98 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}} \right)$ dan $0,0008974 \text{ (m)}$ terjadi pada diameter penampang peniup yang paling kecil yaitu $2,2 \text{ mm}$ dan pada laju massa alir udara yang paling besar yaitu sebesar $0,4485 \text{ (gr/menit)}$

5.2 Saran

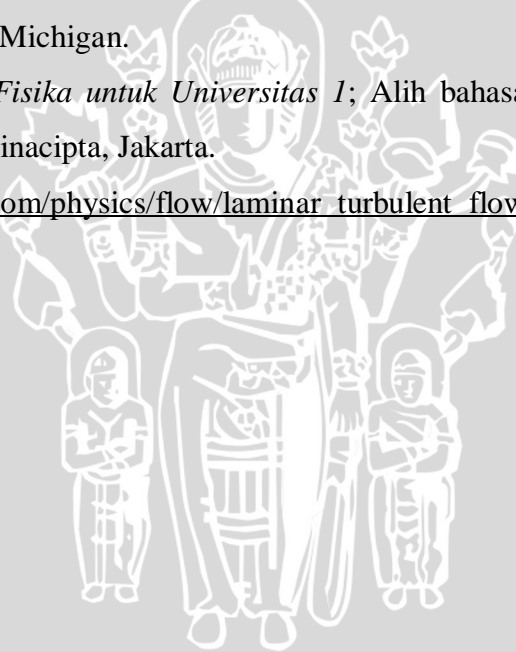
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan dengan berbagai variasi yang lain yaitu

- Pengaruh diameter penampang peniup terhadap laju pemanasan air dengan variasi bentuk penampang peniup dan tekanan tidak dianggap konstan
- Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan alat ukur digital pada pengambilan data tekanan agar lebih mempermudah proses pengambilan data.



DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A; 2003: *Heat Transfer A Practical Approach*; Mc. Grow Hill, Ltd, New York.
- Holman,J.P; 1997: *Perpindahan Kalor (Heat Transfer)*; Terj. Ir. E. Jasfi M.SC.; Erlangga, Jakarta.
- Incropera,F.P. dan De Witt, D.P.; 1981: *Fundamental of Heat Transfer*; 2nd edition; John Willey and Sons, New York.
- Kreith Frank; 1986: Prinsip – prinsip Perpindahan Kalor; Alih bahasa: Arko Prijono M.Sc.; Erlangga, Jakarta.
- Nekrasov, Boris; 1960: *Hydraulics for Aeronautical Engineers*; Peace Publishers, Moscow.
- Potter, Merle C.dan David C. Wiggert; 1997: *Mechanics of Fluids*; 2nd edition; Prentice-Hall International Inc, Michigan.
- Zemansky, Sears; 1991: *Fisika untuk Universitas I*; Alih bahasa: Ir. Soedarjana dan Drs. Amir Achmad.; Binacipta, Jakarta.
- http://www.freshgasflow.com/physics/flow/laminar_turbulent_flow.html (diakses 8 September 2009)



DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul |
|-------------|--------------------|
| Lampiran 1. | Uji Hipotesa |
| Lampiran 2. | Tabel distribusi F |

