



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN *TEST RIG* DAN ANALISIS  
POLA ALIRAN UDARA PADA *TEXTILE DUCTING*  
BERBAHAN TASLAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**NICO DWIJAYA  
04 05 02 051Y**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama** : Nico Dwijaya  
**NPM** : 040502051Y  
**Tanda Tangan** :  
**Tanggal** :

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Nico Dwijaya  
NPM : 040502051Y  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Perancangan *Test Rig* dan Analisis Pola Aliran Udara  
Pada *Textile Ducting* Berbahan Taslan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Rusdi Malin, MME. ( )  
Pembimbing : Dr. Ir. Warjito, M.Eng. ( )  
Penguji : Prof. Dr. Yanuar, M Eng, M Sc. ( )  
Penguji : Prof. Dr. Budiarmo, M Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan sebagian dari penelitian *textile ducting* yang melibatkan beberapa peneliti. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Rusdi Malin, MME. dan Dr. Ir. Warjito, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.-Ing. yang telah memberi banyak masukan dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Dicky Januarizky, Irfan, Yuda Septiyanto, dan Yunarto sebagai rekan-rekan kerja dalam penyelesaian skripsi ini;
- (4) para sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Saya ucapkan juga terima kasih kepada orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 13 Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nico Dwijaya

NPM : 040502051Y

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada

Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PERANCANGAN *TEST RIG* DAN ANALISIS POLA ALIRAN UDARA PADA  
TEXTILE DUCTING BERBAHAN TASLAN

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juli 2009

Yang menyatakan

( ..... )

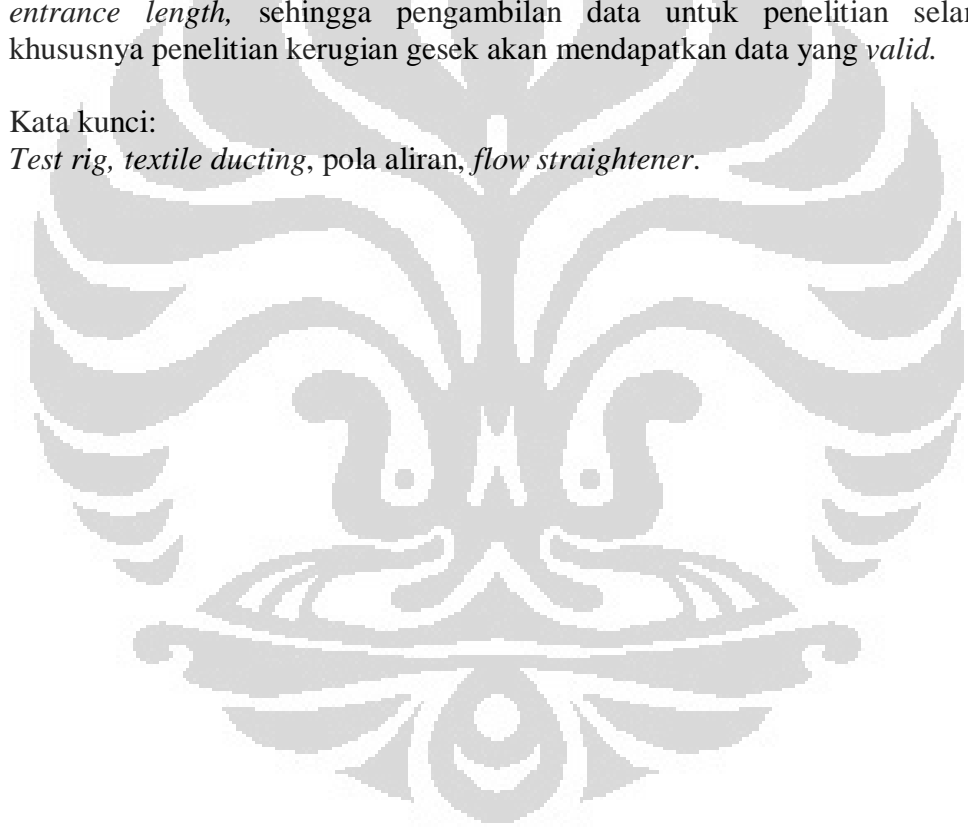
## ABSTRAK

Nama : Nico Dwijaya  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Perancangan *Test Rig* dan Analisis Pola Aliran Udara Pada *Textile Ducting* Berbahan Taslan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang *test rig* dan mengetahui pola aliran pada *textile ducting* berbahan taslan. Perancangan *test rig* tersebut akan digunakan untuk penelitian kerugian gesek pada *textile ducting* dan penelitian pola aliran udara pada *orifice*. Pengujian pola aliran udara pada *textile ducting* dilakukan dengan menempatkan *pitot tube* pada jarak yang telah ditentukan dengan dan tanpa menggunakan *flow straightener* pada sisi masuk *textile ducting*. Hasil dari penelitian ini menyarankan menggunakan *flow straightener* untuk memperpendek *entrance length*, sehingga pengambilan data untuk penelitian selanjutnya, khususnya penelitian kerugian gesek akan mendapatkan data yang *valid*.

Kata kunci:

*Test rig, textile ducting, pola aliran, flow straightener.*



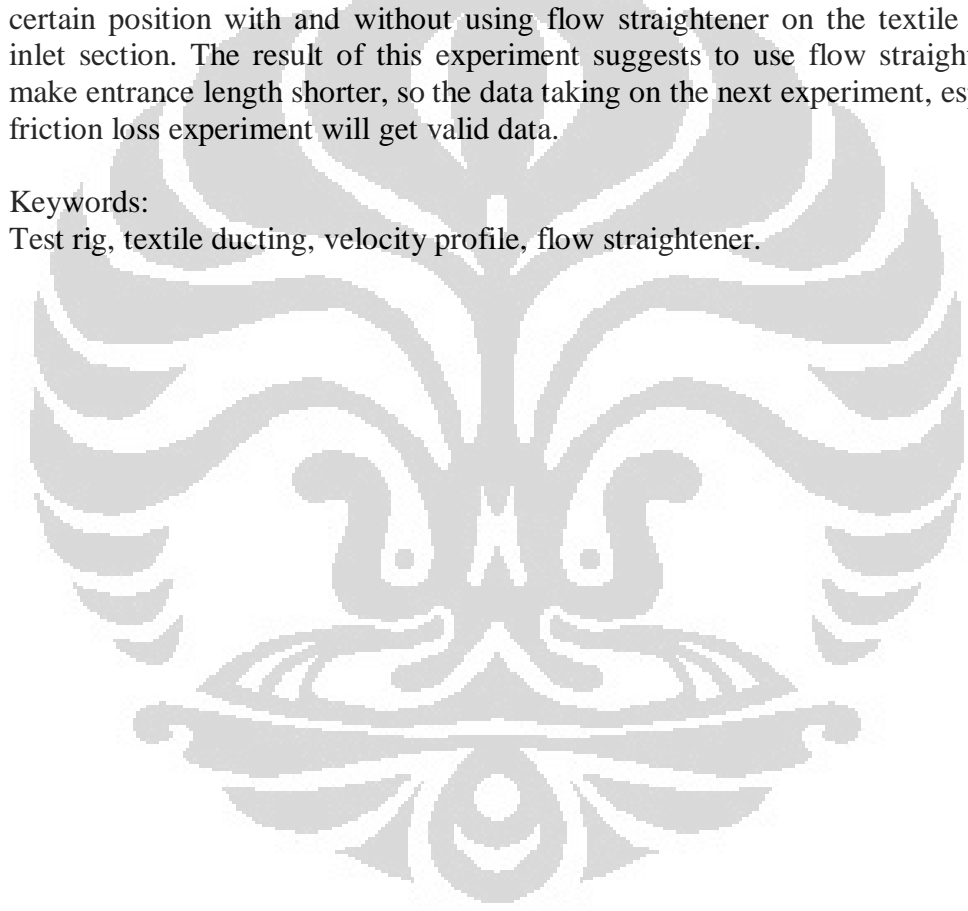
## ABSTRACT

Name : Nico Dwijaya  
Study Program: Mechanical Engineering  
Title : Test Rig Design and Velocity Profile Analysis of Taslan Textile Ducting

The purpose of this research is designing test rig and understanding the velocity profile in taslan textile ducting. The test rig design will be used for friction loss experiment in textile ducting and velocity profile experiment on orifice. Velocity profile experiment in textile ducting will be done by putting pitot tube on the certain position with and without using flow straightener on the textile ducting inlet section. The result of this experiment suggests to use flow straightener to make entrance length shorter, so the data taking on the next experiment, especially friction loss experiment will get valid data.

Keywords:

Test rig, textile ducting, velocity profile, flow straightener.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>xiii</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Metodologi Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Teori Aliran Udara .....	5
2.1.1 Bentuk Aliran Udara .....	5
2.1.2 Pengukuran Aliran .....	6
2.1.2.1 <i>Orifice meter</i> .....	8
2.1.2.2 <i>Pitot-static tube</i> .....	10
2.1.3 Permeabilitas Udara .....	11
2.2 Aliran Udara Dalam Pipa.....	13
2.2.1 <i>Entrance Region</i> dan <i>Fully Developed</i> .....	13
2.2.2 <i>Friction Factor</i> .....	15
2.3 Sistem Pengkondisian Udara .....	17
2.3.1 Kondisi Sehat dan Nyaman .....	17
2.3.2 Kenyamanan Termal .....	17
2.3.3 Kualitas Udara .....	17
2.3.4 Perkiraan Besar Kalor yang Hilang dan yang Diperoleh .....	18
2.3.5 Kondisi-kondisi Rancangan.....	18
2.4 Perencanaan Sistem <i>Ducting</i> .....	18
2.4.1 Kecepatan Aliran Udara .....	19
2.4.2 <i>Heat Gain/Loss</i> .....	19
2.4.3 Material .....	19
2.4.4 <i>Friction Drop</i> .....	19
2.4.5 Tekanan Statis.....	19
2.4.6 Aliran Udara .....	20
2.5 <i>Textile Ducting</i> .....	20
2.6 Kelebihan dan Kekurangan <i>Textile Ducting</i> .....	21
2.7 Klasifikasi <i>Textile Ducting</i> .....	23
2.7.1 <i>Low Throw</i> .....	23
2.7.2 <i>Comfort Flow</i> .....	23
2.7.3 <i>High Throw</i> .....	24

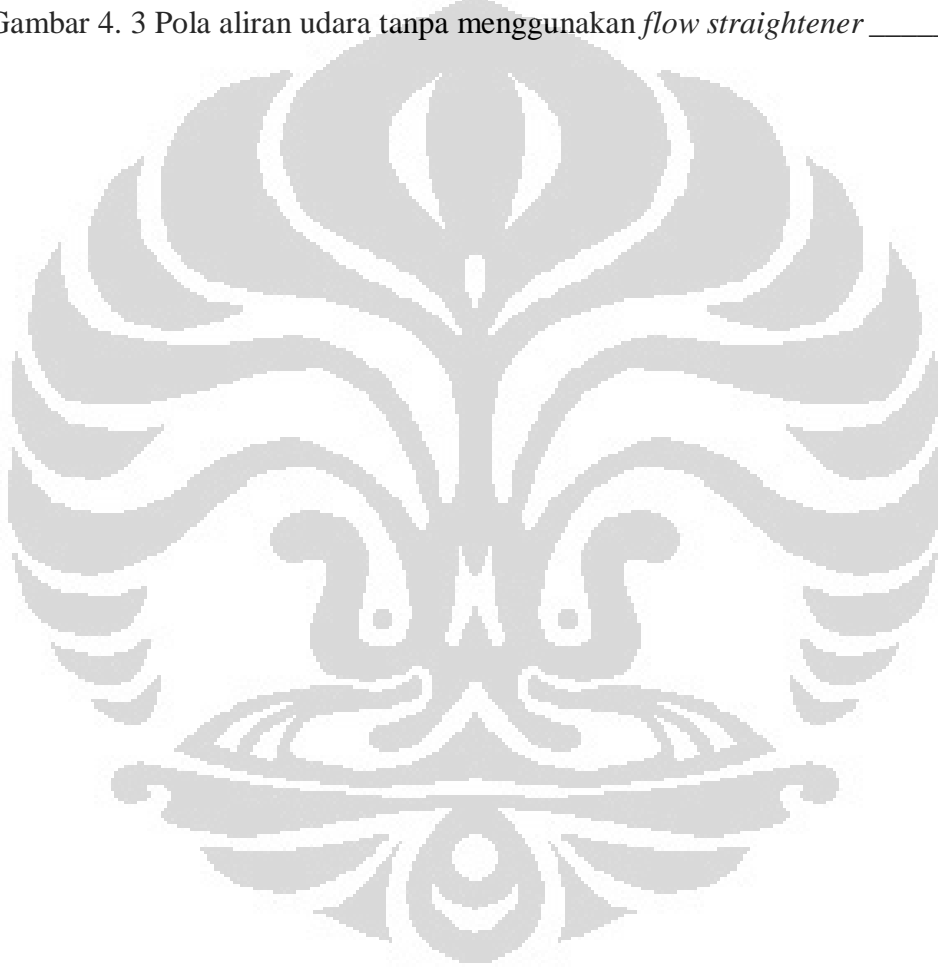


2.8 Suspensi Untuk <i>Textile Ducting</i> .....	24
2.9 Perancangan <i>Textile Ducting</i> .....	25
2.9.1 Tekanan Dalam <i>Textile Ducting</i> .....	25
2.9.1.1 <i>Inlet Static Pressure</i> .....	26
2.9.1.2 <i>Velocity Pressure</i> .....	26
2.9.1.3 <i>Friction Loss</i> .....	27
2.9.2 Orientasi <i>Outlet Ducting</i> .....	28
2.9.3 Perancangan <i>Orifice Textile Ducting Tipe High Throw</i> .....	29
<b>BAB 3 PERANCANGAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....</b>	<b>32</b>
3.1 Perancangan .....	32
3.1.1. <i>Textile Ducting</i> .....	34
3.1.1.1 <i>Pressure tap</i> .....	36
3.1.1.2 <i>Straightener</i> .....	38
3.1.1.3 <i>Stand dan Ring</i> .....	39
3.1.1.4 <i>Material</i> .....	40
3.1.2. <i>Manifold</i> .....	42
3.1.3 <i>Pitot Tube Transverse Apparatus</i> .....	43
3.1.4 <i>Incline manometer</i> .....	49
3.2 Prosedur Pengujian .....	50
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS .....</b>	<b>53</b>
4.1 Aliran pada <i>Textile Ducting</i> .....	53
4.2 Hasil Pengujian .....	53
4.2.1 Menggunakan <i>Straightener</i> .....	53
4.2.2 Tanpa menggunakan <i>straightener</i> .....	56
4.3 Analisis .....	57
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>58</b>
5.1 Kesimpulan .....	58
5.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

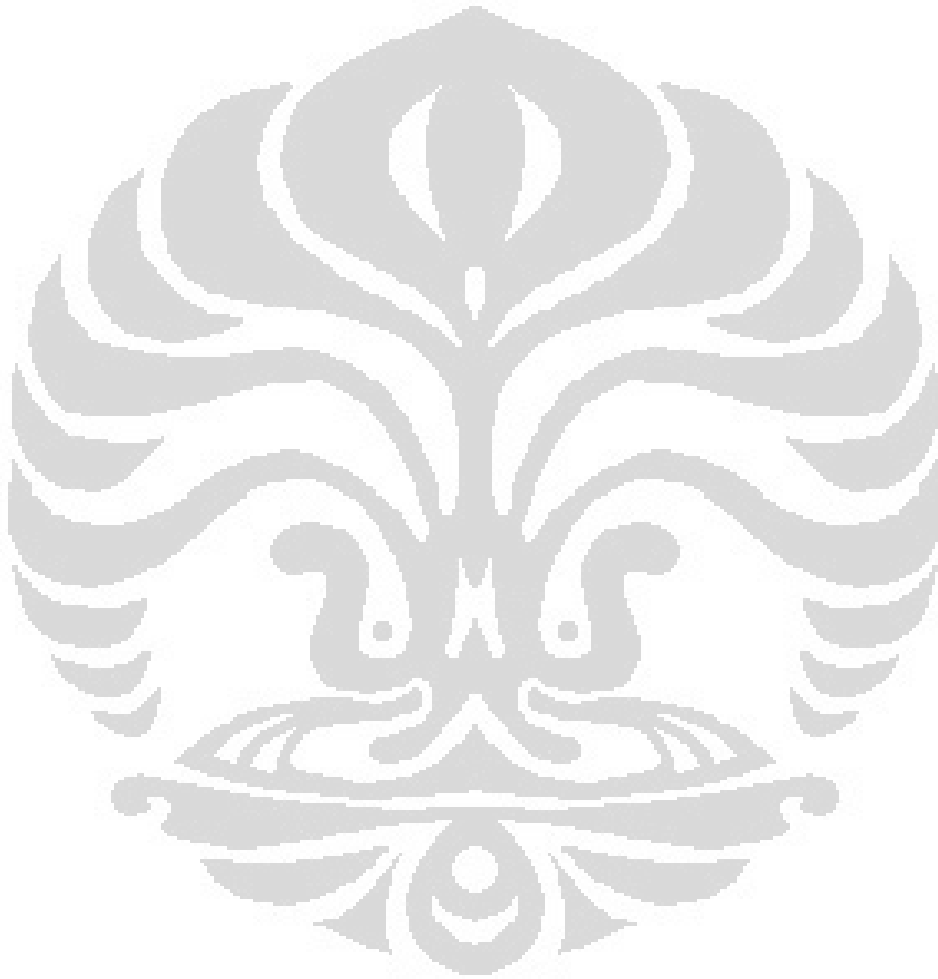
Gambar 1. 1 Diagram alir metode penelitian pada <i>textile ducting</i> _____	3
Gambar 2. 1 Eksperimen untuk menggambarkan jenis aliran dalam pipa _____	6
Gambar 2. 2 Variasi kecepatan di suatu titik terhadap waktu _____	6
Gambar 2. 3 Jenis-jenis alat untuk mengukur aliran _____	7
Gambar 2. 4 Konstruksi <i>orifice meter</i> _____	8
Gambar 2. 5 <i>Orifice meter discharge coefficient</i> _____	9
Gambar 2. 6 <i>Pitot-static tube</i> _____	10
Gambar 2. 7 Jenis-jenis desain <i>pitot-static tube</i> _____	11
Gambar 2. 8 <i>Desain pressure tap</i> _____	11
Gambar 2. 9 <i>Entrance region</i> dan <i>fully developed</i> pada sistem pemipaan _____	13
Gambar 2. 10 Distribusi tekanan pada pipa horizontal _____	14
Gambar 2. 11 Aliran pada dinding pipa yang lembut dan kasar _____	15
Gambar 2. 12 Perbandingan distribusi udara <i>metal</i> dan <i>textile ducting</i> _____	20
Gambar 2. 13 Contoh beberapa aplikasi <i>textile ducting</i> _____	21
Gambar 2. 14 Perbandingan biaya <i>textile ducting</i> dengan <i>metal ducting</i> _____	22
Gambar 2. 15 Model <i>low throw</i> _____	23
Gambar 2. 16 Model <i>comfort flow</i> _____	24
Gambar 2. 17 Model <i>high throw</i> _____	24
Gambar 2. 18 Suspensi _____	25
Gambar 2. 19 Orientasi <i>outlet</i> pada <i>textile duct</i> _____	28
Gambar 2. 20 Pengaruh orientasi <i>outlet</i> terhadap jangkauan aliran ( <i>throw</i> ). _____	29
Gambar 2. 21 <i>Orifice</i> pada tipe <i>high throw</i> _____	29
Gambar 3. 1 <i>Airflow demonstration apparatus</i> _____	32
Gambar 3. 2 Bagian <i>evaporator</i> yang telah ditutup <i>case</i> _____	33
Gambar 3. 3 Skema jalur masuk udara _____	33
Gambar 3. 4 <i>Evaporator</i> dan <i>eliminator</i> _____	33
Gambar 3. 5 <i>Textile Ducting</i> _____	34
Gambar 3. 6 Jenis <i>Textile ducting</i> _____	36
Gambar 3. 7 <i>Pressure tap</i> _____	37
Gambar 3. 8 Skema pemasangan <i>pressure tap</i> pada <i>textile ducting</i> _____	38
Gambar 3. 9 Skema aliran udara menuju <i>Textile ducting</i> _____	39
Gambar 3. 10 <i>Straightener</i> pada <i>Textile Ducting</i> _____	39
Gambar 3. 11 <i>Stand</i> dan <i>ring</i> _____	40
Gambar 3. 12 Alat sel permeasi _____	41
Gambar 3. 13 Prinsip kerja alat sel permeasi _____	41
Gambar 3. 14 <i>Manifold</i> dan arah aliran udara _____	42
Gambar 3. 15 Alur penelitian <i>friction loss</i> menggunakan <i>manifold</i> _____	43
Gambar 3. 16 Penggunaan <i>Pitot Tube Transverse Apparatus</i> _____	43
Gambar 3. 17 Komponen <i>Stand Pitot Tube Transverse Apparatus</i> _____	44
Gambar 3. 18 Komponen <i>Board</i> beserta bagian-bagiannya _____	44

Gambar 3. 19 Komponen <i>Incline</i> _____	45
Gambar 3. 20 <i>Pitot Tube Transverse Apparatus</i> _____	45
Gambar 3. 21 Dimensi <i>Pitot Tube Transverse Apparatus</i> _____	49
Gambar 3. 22 <i>Incline manometer</i> _____	49
Gambar 3. 23 Prinsip kerja pembacaan tekanan pada <i>incline manometer</i> _____	50
Gambar 3. 24 <i>Straightener</i> _____	50
Gambar 3. 25 Pemasangan <i>Pitot Tube</i> pada <i>Textile Ducting</i> _____	51
Gambar 3. 26 Skema Pemasangan <i>Pitot Tube</i> pada <i>Textile Ducting</i> _____	52
Gambar 4. 1 Posisi <i>Pitot Tube</i> pada <i>Textile Ducting</i> _____	54
Gambar 4. 2 Pola aliran udara menggunakan <i>flow straightener</i> _____	55
Gambar 4. 3 Pola aliran udara tanpa menggunakan <i>flow straightener</i> _____	56



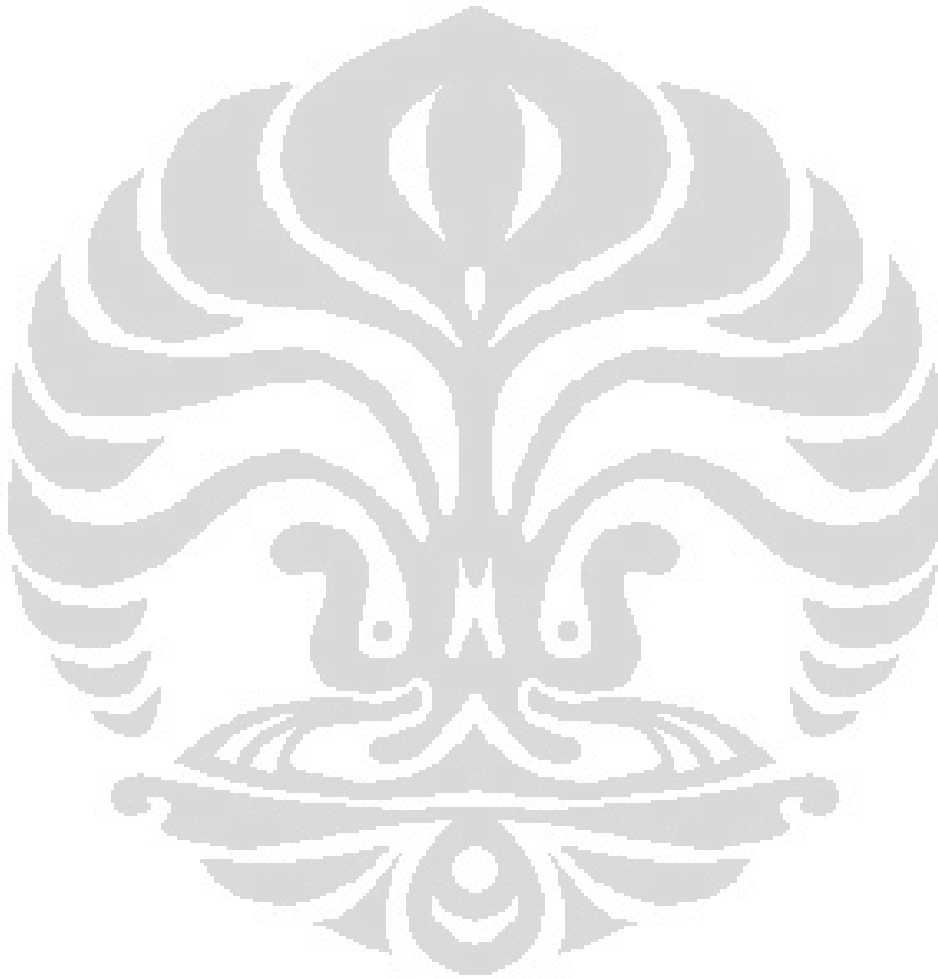
## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien <i>orifice meter</i> pada <i>Airflow Demonstration Apparatus</i> _____	9
Tabel 2. 2 Solubilitas beberapa molekul gas pada suhu tertentu _____	12
Tabel 2. 3 Pemilihan ukuran <i>orifice</i> _____	30
Tabel 3. 1 Perhitungan perancangan <i>textile duct</i> _____	35
Tabel 3. 2 Daftar Komponen <i>Pitot Tube Transverse Apparatus</i> _____	46
Tabel 3. 3 Titik ketinggian <i>pitot tube</i> pada <i>textile ducting</i> berdiameter 0.24m _	51
Tabel 4. 1 Contoh perhitungan pola aliran udara _____	54



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Data pada 1500 fpm menggunakan <i>flow straightener</i> _____	60
Lampiran 2: Data pada 1750 fpm menggunakan <i>flow straightener</i> _____	61
Lampiran 3: Data pada 2000 fpm menggunakan <i>flow straightener</i> _____	62
Lampiran 4: Data pada 1500 fpm tanpa menggunakan <i>flow straightener</i> _____	63
Lampiran 5: Data pada 1750 fpm tanpa menggunakan <i>flow straightener</i> _____	64
Lampiran 6: Data pada 1750 fpm tanpa menggunakan <i>flow straightener</i> _____	65
Lampiran 7: ASTM D737-04 _____	66
Lampiran 8: <i>Manual Airflow Demonstration Apparatus</i> _____	71



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengkondisian udara (*air conditioning*) merupakan salah satu sistem yang penting pada sebuah gedung, misalnya temperatur, akan berpengaruh pada kenyamanan di dalam suatu ruangan. Sistem pengkondisian udara yang banyak digunakan di gedung-gedung saat ini adalah dengan menggunakan pendingin ruangan seperti AC (*Air Conditioner*). Perangkat AC ini dapat diletakkan beberapa buah dalam suatu ruangan atau dapat juga berupa AC *central* yang mana udara dingin akan disalurkan ke ruangan-ruangan di dalam gedung dengan menggunakan saluran (*ducting*).

*Ducting* yang digunakan saat ini didominasi oleh *ducting* dengan material metal, namun selain *metal ducting*, telah banyak dikembangkan dan diaplikasikan *ducting* dengan material tekstil (*textile ducting*). Berbeda dengan *metal ducting* yang berupa saluran dengan *diffuser* pada beberapa tempat yang diinginkan, *textile ducting* digunakan baik sebagai *duct* sekaligus *diffuser*-nya karena udara dapat keluar di sepanjang saluran dengan demikian distribusi udara dingin merata.

*Textile ducting* memiliki beberapa kelebihan, baik secara teknis, ekonomi maupun estetika. Secara teknis, *textile ducting* dapat menghasilkan distribusi udara yang lebih merata dengan demikian memberikan kenyamanan yang lebih baik. Instalasi dan pemeliharaan *textile ducting* juga lebih mudah dan lebih murah sehingga dapat menjadi salah satu cara untuk menekan biaya gedung. Dengan berbagai pilihan warna dan penyesuaian warna yang baik, *textile ducting* dapat dibuat menjadi elemen yang menambah estetika ruangan.

*Textile ducting* yang saat ini banyak digunakan di Indonesia menggunakan tekstil impor sebagai materialnya, sebenarnya terdapat tekstil produk dalam negeri yang potensial untuk digunakan sebagai *textile ducting*, namun belum tersedia informasi data karakteristik dari bahan tersebut untuk aplikasi *ducting*. Dengan memiliki informasi yang memadai tentang karakteristik tekstil dalam negeri tersebut, diharapkan dapat diproduksi *textile ducting* dengan material yang berasal dari dalam negeri yang tentunya akan relatif lebih murah harganya dan kualitas yang tidak kalah baiknya dibandingkan dengan tekstil impor.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah merancang *test rig* untuk penelitian pada *textile ducting* berbahan taslan dan mengetahui pola aliran udara dengan dan tanpa menggunakan *flow straightener* pada *textile ducting* tersebut. Dengan perancangan dan analisa yang dilakukan maka nantinya akan diperoleh lebih banyak informasi mengenai karakteristik *textile ducting* yang diujikan dan diharapkan informasi tersebut dapat digunakan untuk penelitian lainnya menggunakan *textile ducting* ini.

Secara umum, tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk melengkapi syarat kelulusan sebagai Sarjana Teknik Mesin Universitas Indonesia.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Berikut ini adalah pembatasan dari masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini:

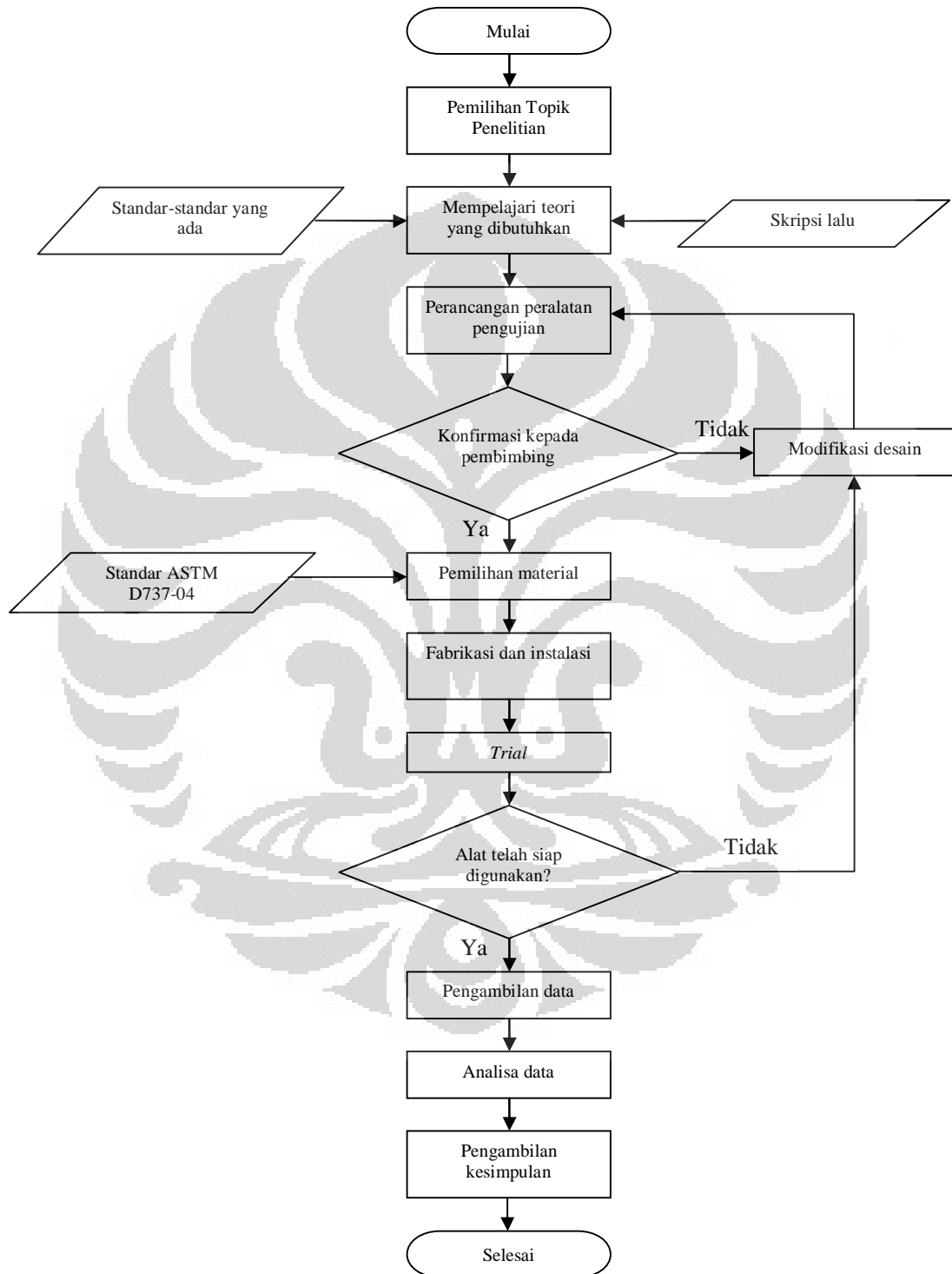
- Bahan *textile ducting* sudah ditentukan, yaitu taslan dengan *coating* bagian dalamnya yang telah diuji permeabilitasnya.
- Jenis *textile ducting* dipilih jenis *high-throw*.
- Perancangan *test rig* untuk melakukan penelitian pada *textile ducting*.
- Analisa pola aliran udara pada *textile ducting* dengan dan tanpa menggunakan *flow straightener*.

## 1.4 Metodologi Penelitian

Penelitian pola aliran udara pada *textile ducting* dengan dan tanpa menggunakan *flow straightener* dilakukan di laboratorium Mekanika Fluida lantai 3 Departemen Teknik Mesin FTUI dengan menggunakan alat *Airflow Demonstration Apparatus* model AFD-240GTAE dan peralatan lainnya yang telah dirancang sehingga sesuai dengan keperluan pengambilan data. Literatur yang digunakan diperoleh dari buku-buku, standar-standar internasional, skripsi-skripsi sebelumnya, serta informasi dari internet.

Pada penelitian pola aliran udara pada *textile ducting*, terdapat beberapa tahap agar penelitian tersebut mendapatkan data yang baik dan sesuai standar

yang berlaku, dimulai dari pemilihan topik penelitian hingga penarikan kesimpulan.



Gambar 1. 1 Diagram alir metode penelitian pada *textile ducting*



## 1.5 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini ditulis sedemikian sehingga bab-bab di dalamnya tersusun secara berkesinambungan. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri dari latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, metodologi, dan sistematika dari penulisan tugas akhir ini.

- **BAB II DASAR TEORI**

Pada bab ini dibahas tentang *ducting* secara umum, *textile ducting*, serta prinsip-prinsip dasar mekanika fluida yang berkaitan dengan aliran dalam *ducting*.

- **BAB III PERANCANGAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN**

Bab ini berisikan tentang perancangan peralatan pengujian yang akan digunakan untuk penelitian serta prosedur yang dilakukan dalam pengujian.

- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data-data yang diperoleh dari pengujian dan pengamatan kemudian dianalisa dan disajikan hasilnya pada bab ini.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil eksperimen dan analisa data, serta saran-saran yang dapat diberikan berdasarkan pada hasil analisa tersebut.

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Teori Aliran Udara

Udara merupakan *compressible fluid*, dimana massa jenis dari udara atau gas dapat berubah secara signifikan seiring dengan berubahnya tekanan dan temperatur.

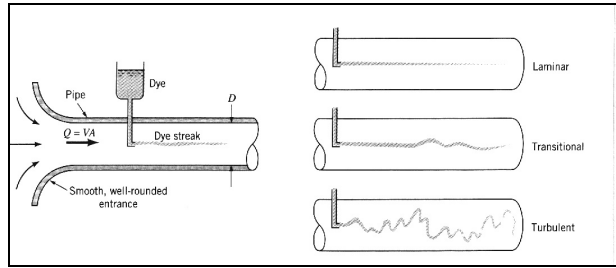
Variabel non-dimensional yang sangat berpengaruh dalam aliran udara adalah *Reynolds number*. *Reynolds number* merupakan ukuran dari rasio dari gaya inersia pada elemen fluida terhadap gaya viskos pada suatu elemen, didefinisikan dengan<sup>[1]</sup>

$$Re = \rho VD/\mu \quad (2.1)$$

yang mana  $\rho$  merupakan massa jenis fluida,  $V$  merupakan kecepatan fluida,  $D$  merupakan diameter pipa, dan  $\mu$  merupakan viskositas fluida.

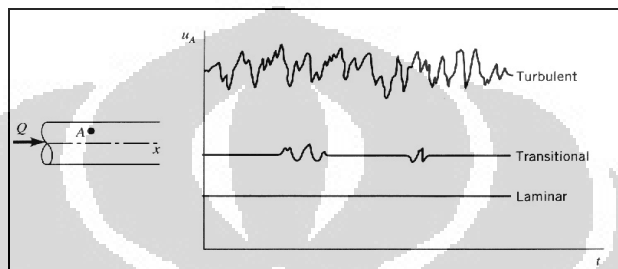
#### 2.1.1 Bentuk Aliran Udara

Bentuk dan aliran udara dalam pipa dapat dibedakan menjadi tiga jenis aliran, yaitu aliran satu arah (*laminar*), aliran transisi (*transitional*), dan aliran turbulen (*turbulent*)<sup>[1]</sup>. Aliran satu arah (*laminar*) merupakan aliran udara yang bergerak dengan kecepatan konstan dan seragam, mempunyai nilai Reynold  $< 2100$ . Aliran transisi (*transitional*) merupakan gabungan dari aliran laminar dan turbulen, mempunyai nilai Reynold antara 2100 dan 4100. Aliran turbulen merupakan aliran udara yang mempunyai kecepatan berbeda-beda pada setiap titik, mempunyai nilai Reynold  $> 4100$ .



Gambar 2. 1 Eksperimen untuk menggambarkan jenis aliran dalam pipa

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)



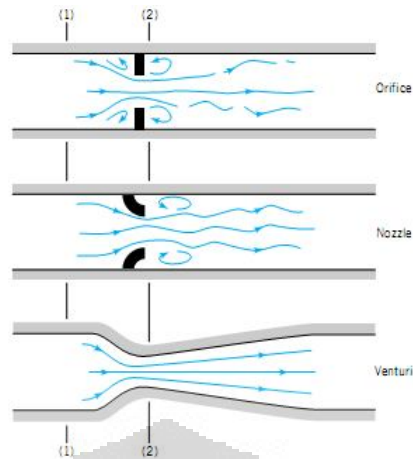
Gambar 2. 2 Variasi kecepatan di suatu titik terhadap waktu

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

### 2.1.2 Pengukuran Aliran

Salah satu cara efektif untuk mengukur aliran dalam sebuah pipa adalah menempatkan sebuah pembatasan atau restriksi dalam pipa tersebut (Gambar 2.3) dan mengukur perbedaan tekanan antara kecepatan rendah, tekanan tinggi [bagian(1)] dengan kecepatan tinggi, tekanan rendah [bagian(2)].

Beberapa restriksi yang biasa digunakan untuk mengukur aliran diantaranya *orifice meter*, *nozzle meter*, dan *venturi meter*<sup>[1]</sup>. Ketiga restriksi tersebut mempunyai prinsip kerja yang serupa, peningkatan kecepatan mengakibatkan penurunan tekanan dan juga sebaliknya. Perbedaan di antara ketiganya adalah harga, akurasi, dan kedekatan dengan kondisi aktual.



Gambar 2. 3 Jenis-jenis alat untuk mengukur aliran

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

Apabila diasumsikan profil kecepatan pada bagian (1) dan bagian (2), persamaannya akan menjadi<sup>[1]</sup>:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.2)$$

dimana  $A_2$  adalah luasan kecil aliran pada bagian (2) ( $A_2 < A_1$ ).

Persamaan Bernoulli, dengan mengabaikan perbedaan ketinggian, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (2.3)$$

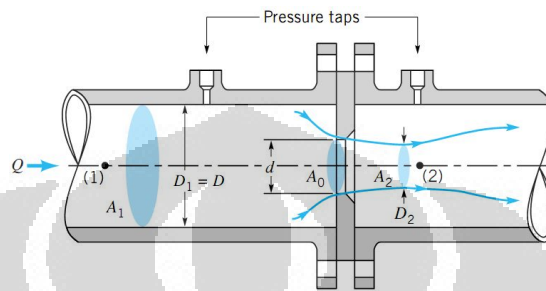
Kombinasi dari kedua persamaan ini akan menjadi<sup>[1]</sup>:

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (2.4)$$

Maka, aliran dapat ditentukan apabila perbedaan tekanan dapat diperoleh. Aliran aktual akan lebih kecil dibandingkan dengan hasil yang didapat melalui perhitungan teoritik. Hal ini disebabkan karena berbagai perbedaan antara kondisi aktual dengan asumsi yang digunakan pada persamaan di atas.

### 2.1.2.1 Orifice meter

Salah satu alat pengukuran aliran yang sangat sering digunakan diantara ketiga alat pengukuran yang telah disebutkan di atas dan akan digunakan pada penelitian *textile ducting* ini adalah *orifice meter*. *Orifice meter* terdiri dari buah *flange* (pelat dengan sebuah lubang di tengahnya) pada sebuah pipa (Gambar 2.4)



Gambar 2. 4 Konstruksi *orifice meter*

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

Tekanan pada titik (2) dalam *vena contracta* akan lebih kecil dibandingkan dengan titik (1). Terdapat dua alasan sehingga hal ini terjadi, yaitu area *vena contracta*,  $A_2$  lebih kecil dibandingkan dengan area lubang,  $A_0$  [ $A_2 = C_c A_0$ , dimana  $C_c$  adalah koefisien kontraksi ( $C_c < 1$ )] dan aliran melingkar dan aliran turbulen dekat pelat *orifice* akan mempengaruhi *head loss*.

$$Q = C_o Q_{ideal} = C_o A_o \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad (2.5)$$

Dimana  $A_o = \pi d^2 / 4$  adalah area lubang pada pelat *orifice*. Nilai  $C_o$  (*orifice discharge coefficient*) adalah fungsi dari  $\beta = d/D$  dan *Reynolds number*, dimana  $V = Q/A$ . Nilai  $C_o$  bergantung dari konstruksi dari *orifice meter* (contoh penempatan *pressure taps*, konstruksi pelat *orifice*, *square* atau *beveled*, dan lain-lain). Kondisi *orifice* yang sangat presisi menentukan pengukuran yang lebih akurat.

Pada *Airflow Demonstration Apparatus*, perhitungan debit aliran dilakukan dengan *orifice meter*, yang telah ditentukan koefisiennya berdasarkan dimensi dari *orifice* dan pengambilan data<sup>[3]</sup>.

$$Q = 60 \alpha_0 \varepsilon_0 A_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma_0} h_0} \quad (2.6)$$

dengan

$Q$  = Air flow rate across orifice ( $\text{m}^3/\text{min}$ )

$\alpha_0$  = Coefficient of discharge

$\varepsilon_0$  = Correction factor due to air expansion

$A_0$  = Circular hole area ( $\text{m}^2$ )

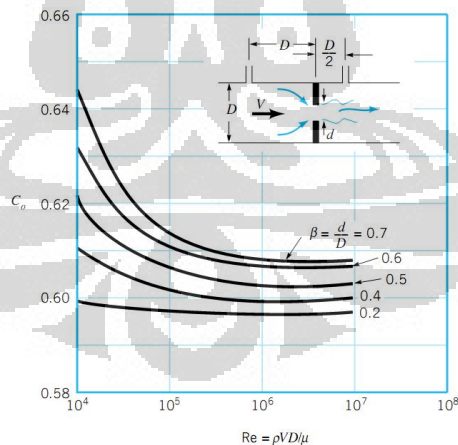
$\gamma_0$  = Specific weight of air just in front of orifice ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$h_0$  = Pressure difference between immediately in front and immediately in rear of orifice (mmAq)

Adapun data mengenai koefisien *orifice* yang terdapat pada *Airflow Demonstration Apparatus* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Koefisien *orifice meter* pada *Airflow Demonstration Apparatus*

	$A_2$ ( $\text{m}^2$ )	$A_2'$ ( $\text{m}^2$ )	$L_2$ (m)	$D_2$ (m)	$\alpha_0$	$\varepsilon_0$	$D_0$ (m)	$A_0$ ( $\text{m}^2$ )	$R_{0DL}$
<b>AFD 240</b>	0.045	0.04	1.84	0.240	0.73	1.0	0.18	0.025	$2.2 \times 10^5$

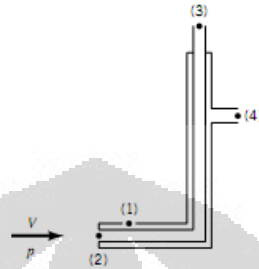


Gambar 2. 5 *Orifice meter discharge coefficient*

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

### 2.1.2.2 Pitot-static tube

Alat lain yang biasa digunakan dalam pengukuran aliran fluida khususnya kecepatan udara adalah *pitot-static tube*. *Pitot-static tube* mengukur kecepatan fluida dengan mengkonversikan kecepatan menjadi tekanan.



Gambar 2. 6 *Pitot-static tube*

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

Dua pipa konsentris akan dihubungkan dengan dua alat pengukur tekanan sehingga  $p_3$  dan  $p_4$  (selisih  $p_3 - p_4$ ) dapat ditentukan. Pipa bagian tengah mengukur tekanan stagnasi. Apabila perbedaan ketinggian diabaikan, maka :

$$p_3 = p + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.7)$$

Dimana  $p$  dan  $V$  merupakan tekanan dan kecepatan fluida yang berasal dari pipa (2). Bagian luar pipa terdiri dari beberapa lubang dengan jarak yang telah ditentukan dari bagian ujungnya sehingga lubang-lubang tersebut menghitung tekanan statik. Apabila perbedaan ketinggian antara (1) dan (4) diabaikan, maka :

$$p_4 = p_1 = p \quad (2.8)$$

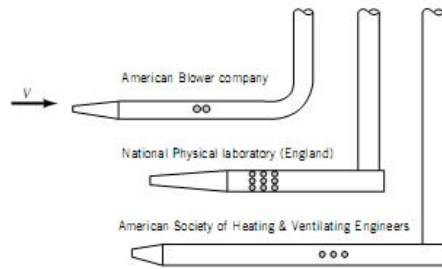
Dengan mengkombinasikan kedua persamaan di atas, maka :

$$p_3 - p_4 = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.9)$$

sehingga

$$V = \sqrt{2(p_3 - p_4) / \rho} \quad (2.10)$$

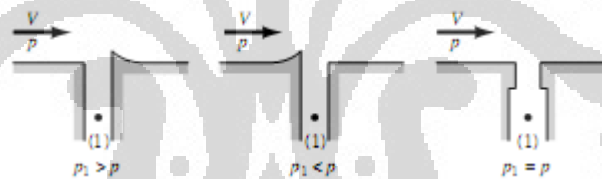
Dalam kata lain,  $V$  dapat dihitung dengan mendapatkan selisih dari  $p_3$  dan  $p_4$ .



Gambar 2. 7 Jenis-jenis desain *pitot-static tube*

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

*Pitot-static tube* mempermudah dalam pengukuran kecepatan fluida, tetapi dalam suatu pengukuran kecepatan, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satu contohnya pengukuran tekanan statik yang akurat membutuhkan nol energi kinetik fluida. Hal ini membutuhkan lubang yang halus dan tanpa adanya kesalahan dalam posisi (sudut) *pitot-static tube* atau *pressure tap*. Gambar 2.8 memperlihatkan ketidaksempurnaan dapat mengakibatkan tekanan menjadi lebih rendah atau lebih tinggi dari tekanan statik aktual.



Gambar 2. 8 Desain *pressure tap*

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

### 2.1.3 Permeabilitas Udara

Permeabilitas udara adalah besaran yang menggambarkan kemampuan udara atau gas untuk menembus sebuah membran karena perbedaan tekanan per area membran<sup>[2]</sup>. Membran dapat didefinisikan sebagai suatu lembaran tipis selektif yang memisahkan dua fasa dan memiliki kemampuan untuk memisahkan secara selektif sehingga hanya suatu komponen tertentu saja yang dapat melewati lapisan membran.

Membran bekerja berdasarkan suatu gaya dorong (*driving force*). Gaya dorong ini dapat berupa perbedaan konsentrasi, perbedaan temperatur, perbedaan tekanan, dan perbedaan muatan listrik, namun tekanan adalah gaya dorong yang



paling dominan. Komponen yang dapat menembus membran disebut permeat, sedangkan komponen yang tidak dapat menembus membran disebut rentetat.

Permeabilitas gas pada membran dikendalikan oleh mekanisme pelarutan difusi yang secara matematis ditulis sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

$$P = D \times S \quad (2.11)$$

P = permeabilitas

D = difusifitas

S = solubilitas

Dalam menentukan permeabilitas, solubilitas dan difusifitas sangat berpengaruh, oleh karena itu perlu diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi kedua variabel tersebut. Difusifitas gas melalui membran dipengaruhi oleh ukuran molekul gas dan bahan membran yang dipilih. Ukuran molekul gas mempengaruhi difusifitas gas tersebut, yaitu difusifitas gas bertambah dengan semakin kecilnya molekul gas.

Tabel 2. 2 Solubilitas beberapa molekul gas pada suhu tertentu

Gas	Tc (°K)	S (cm <sup>3</sup> (STP)/cm <sup>3</sup> bar)
N <sub>2</sub>	126,1	0,2
O <sub>2</sub>	154,4	0,4
CH <sub>4</sub>	190,7	0,5
CO <sub>2</sub>	304,2	2,0

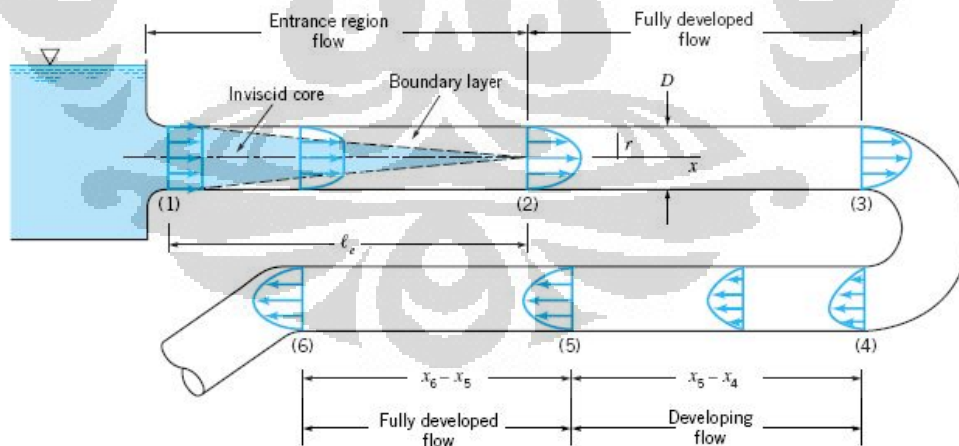
Solubilitas atau kelarutan gas pada membran polimer ditentukan oleh kemudahan gas tersebut untuk terkondensasi. Semakin mudah terkondensasi maka solubilitas akan semakin tinggi. Suhu kritis gas dapat menunjukkan mudah tidaknya gas tersebut terkondensasi, semakin tinggi suhu kritis suatu gas, semakin mudah gas tersebut terkondensasi sehingga solubilitas akan semakin tinggi pula. Permeabilitas gas dalam campuran (aktual) akan berbeda dengan besarnya permeabilitas gas murni (ideal), karena adanya interaksi antara gas-gas dalam campuran tersebut.

## 2.2 Aliran Udara Dalam Pipa

Perpindahan fluida dalam suatu saluran tertutup (pipa atau *ducting*) bertujuan agar fluida tersebut dapat mencapai suatu tempat tanpa pengurangan volume serta mempertahankan perbedaan tekanan di dalam pipa dengan tekanan atmosfer. Pertimbangan tersebut membuat aplikasi aliran fluida dalam pipa menjadi sangat beragam, adanya *bend*, *tee*, *valve*, dan lain-lain sangat membantu dalam mengatur arah atau kecepatan dari aliran fluida tersebut.

### 2.2.1 Entrance Region dan Fully Developed

Daerah aliran dimana dekat dengan tempat masuknya fluida dinamakan *entrance region*<sup>[1]</sup>. Terlihat pada Gambar 2.9, fluida tersebut memasuki pipa dengan profil kecepatan yang seragam yang ditunjukkan pada bagian (1). *Boundary layer* yang mana sangat dipengaruhi oleh efek viskos, dibuat sepanjang dinding pipa sehingga profil kecepatan berubah-ubah sepanjang jarak  $x$ . Setelah fluida tersebut mencapai batas dari *entrance length*, bagian (2), profil kecepatan tidak berubah sesuai dengan berubahnya  $x$  (profil kecepatan tetap).



Gambar 2. 9 Entrance region dan fully developed pada sistem pemipaan

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

Bentuk dari profil kecepatan di dalam pipa dan panjang dari *entrance region* bergantung dari bentuk aliran di dalam pipa tersebut, turbulen atau laminar.

*Entrance length* mempunyai korelasi dengan *Reynolds number* sesuai dengan bentuk alirannya<sup>[1]</sup>.

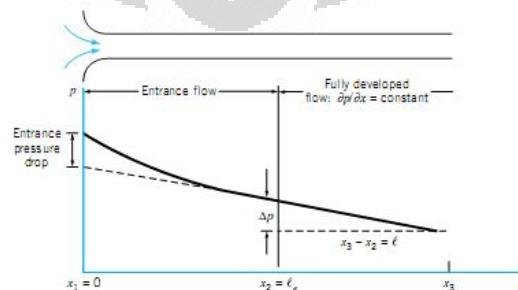
$$\frac{l_e}{D} = 0.06 \text{ RE untuk aliran laminar} \quad (2.12)$$

$$\frac{l_e}{D} = 4.4 (\text{Re})^{1/6} \text{ untuk aliran turbulen} \quad (2.13)$$

Untuk *Reynolds number* yang kecil, *Entrance length* dapat menjadi cukup pendek ( $l_e = 0.6D$  apabila  $\text{RE} = 10$ ), sedangkan untuk  $\text{RE}$  yang besar, akan mendapatkan *Entrance length* yang besar ( $l_e = 120D$  untuk  $\text{RE} = 2000$ )<sup>[1]</sup>.

Perhitungan dari profil kecepatan dan distribusi tekanan dalam *entrance region* sangat kompleks, tetapi setelah fluida mencapai batas akhir dari *entrance region*, (bagian (2) pada Gambar 2.9), aliran akan menjadi lebih mudah untuk digambarkan dan dihitung. Hal ini berlaku hingga perubahan karakteristik pipa, seperti perubahan diameter atau fluida tersebut mengalir melalui tikungan, katup, atau komponen yang lain pada bagian (3). Aliran antara (2) dan (3) disebut *fully developed*. Setelah melalui gangguan pada aliran *fully developed* [bagian(4)], aliran tersebut setahap demi setahap kembali menjadi aliran *fully developed* [bagian(5)] dan profil ini berlanjut hingga komponen sistem pemipaan yang selanjutnya [bagian(6)].

*Fully developed steady flow* pada diameter pipa yang konstan dapat dipengaruhi oleh gravitasi atau tekanan. Untuk aliran pipa horizontal, gravitasi tidak akan menimbulkan efek, tetapi variasi tekanan hidrostatic akan menimbulkan efek yang mempengaruhi perbedaan tekanan di sepanjang pipa.



Gambar 2. 10 Distribusi tekanan pada pipa horizontal

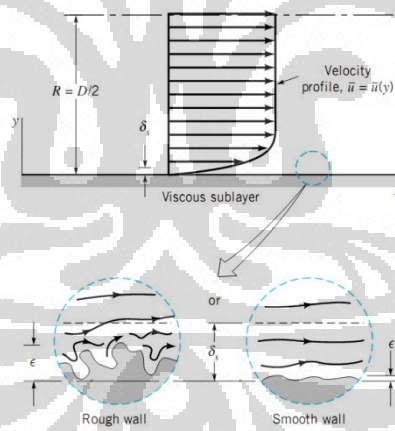
(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

### 2.2.2 Friction Factor

Aliran dalam sebuah pipa, baik kecepatan ataupun bentuk alirannya sangat dipengaruhi oleh kekasaran dari material pipa yang digunakan. Pada aliran turbulen, terdapat lapisan viskos yang terdapat pada dinding pipa. Dalam beberapa kasus, lapisan ini akan menjadi sangat tipis ( $\delta_s \ll D$ ), dimana  $\delta_s$  adalah ketebalan dari *sublayer*.

Struktur dan sifat yang kasar dari dinding pipa akan sangat mempengaruhi aliran udara dan aliran udara tersebut akan berbeda apabila berada pada dinding pipa yang halus. Oleh karena itu, fungsi dari aliran turbulen bergantung dari massa jenis fluida dan kekasaran dari dinding pipa.

Pada aliran laminar, tidak terdapat lapisan viskos seperti yang terdapat pada aliran turbulen. Oleh karena itu, kekasaran yang nilainya sangat kecil biasanya diabaikan pada aliran laminar. Pada pipa dengan kekasaran yang besar ( $\epsilon/D \geq 0.1$ ) contohnya pada pipa yang berkelok-kelok, fungsi dari aliran tersebut mungkin akan menjadi fungsi dari kekasaran<sup>[1]</sup>.



Gambar 2. 11 Aliran pada dinding pipa yang lembut dan kasar

(Sumber : Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics)

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.14)$$

$h_L$  = head Loss

$f$  = friction factor

- $l$  = length of the pipe  
 $D$  = diameter of pipe  
 $V$  = average velocity of the fluid flow  
 $g$  = gravity

Persamaan di atas merupakan persamaan *Darcy-Weisbach*, umum digunakan pada keadaan *fully developed, steady*, baik pada pipa horizontal atau vertikal. Persamaan *Darcy-Weisbach* menghubungkan *head loss* dengan friksi atau aliran turbulen pada pipa dengan kecepatan fluida, *friction factor*, dan diameter pipa.

Berdasarkan analisa dimensional, *friction factor* dapat ditentukan dengan perubahan *pressure loss*.

$$\Delta p = \frac{l}{D} \frac{\rho V^2}{2} \quad (2.15)$$

- $L$  = length of the pipe  
 $D$  = diameter of the pipe  
 $V$  = average velocity of the fluid  
 $\rho$  = massa jenis  
 $f$  = friction factor

Pada aliran *fully developed*, secara lebih ringkas, aliran laminar dapat dituliskan persamaannya

$$f = 64/Re \quad (2.16)$$

sedangkan untuk aliran turbulen, persamaannya bergantung dari *friction factor* pada *Reynolds number* dan kekasaran relatif

$$f = \phi \left( Re, \frac{\epsilon}{D} \right) \quad (2.17)$$

## 2.3 Sistem Pengkondisian Udara

Perancangan sistem penghangatan, sistem pendinginan, ventilasi, dan penkondisian udara atau *heating, ventilating and air conditioning* (HVAC) harus dimulasi dengan mengetahui sifat-sifat termal dinding dan atap. Hal ini bertujuan untuk menghitung kapasitas dan energi kerja yang dibutuhkan. Salah satu tujuan dari sistem pengkondisian udara ialah untuk menciptakan kenyamanan pada ruangan yang akan dikondisikan. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan tersebut yang akan dibahas kemudian.

### 2.3.1 Kondisi Sehat dan Nyaman

Tubuh manusia merupakan suatu organisme yang dapat menyesuaikan diri, bahkan tubuh manusia mampu berfungsi dalam kondisi termal yang cukup ekstrim. Keanekaragaman suhu dan kelembaban udara luar seringkali berada pada keadaan di luar batas kemampuan adaptasi tubuh, karena itu diperlukan kondisi lingkungan yang sehat dan nyaman.

### 2.3.2 Kenyamanan Termal

Tubuh manusia secara terus-menerus menghasilkan kalor yang harus disalurkan, hal ini bertujuan agar suhu tubuh tetap. Proses perpindahan kalor dari tubuh manusia ke ruangan sekitar dapat terjadi secara konveksi dan diradiasikan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu umur, kesehatan, dan tingkat kegiatan seseorang, sedangkan empat faktor lingkungan yang mempengaruhi kemampuan tubuh adalah suhu udara, suhu permukaan yang ada di sekitar, kelembaban dan kecepatan udara. Jumlah dan Jenis pakaian serta tingkat kegiatan seseorang berinteraksi dengan keempat faktor ini.

Kenyamanan termal akan didapat oleh manusia pada batasan suhu kerja antara  $20^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ , kecepatan udara antara 0.25 m/detik hingga 0.4 m/detik dengan suhu pengembunan  $2^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}$ <sup>[2]</sup>.

### 2.3.3 Kualitas Udara

Kualitas udara dalam suatu ruangan diatur dengan menyingkirkan komponen pengotor yang berada di dalam dan di luar ruangan dan selanjutnya

memasukkan udara segar. Ventilasi memegang peranan penting dalam kedua proses tersebut. Ventilasi merupakan faktor utama dalam penggunaan energi karena ventilasi menimbulkan beban yang berarti bagi peralatan pemanas ataupun pendingin.

#### 2.3.4 Perkiraan Besar Kalor yang Hilang dan yang Diperoleh

Dalam melakukan perancangan suatu sistem, hal-hal yang harus diperhitungkan diantaranya jenis bahan yang akan digunakan, faktor geometris bangunan, dan faktor iklim. Perhitungan kehilangan dan perolehan kalor berguna untuk menghitung kapasitas yang diperlukan dalam berbagai peralatan pemanasan dan pengkondisian udara untuk mempertahankan kondisi nyaman dalam ruangan.

#### 2.3.5 Kondisi-kondisi Rancangan

Kondisi-kondisi rancangan yang perlu diperhatikan dalam menghitung beban pendinginan antara lain kelembaban udara dan intensitas cahaya matahari. Untuk menghitung beban maksimum pendinginan, hal yang perlu diketahui adalah lokasi geografis dan arah ruangan tersebut. Beban kalor yang diterima oleh suatu rancangan tergantung pada orientasi ruangan sebagai contoh untuk ruangan yang menghadap ke Timur, beban maksimum dapat terjadi pada jam 8 pagi, sedangkan untuk ruangan yang menghadap Barat, beban maksimum akan terjadi pada jam 4 sore.

### 2.4 Perencanaan Sistem *Ducting*

*Ducting* merupakan alat berupa saluran udara sehingga dalam pengkondisian ruangan hanya dibutuhkan *Air Conditioner* dalam jumlah yang lebih sedikit sebagai sumbernya, serta dalam pendistribusian udara akan lebih merata apabila berada di ruangan yang sangat luas, karena dapat menjangkau hingga ke berbagai bagian ruangan. Adapun dalam perancangan sistem pendistribusian udara dalam ruangan yang dikondisikan, perlu memperhatikan beberapa hal seperti kecepatan udara, *heat gain/Loss*, material, *friction drop*, tekanan statis, dan kebocoran-kebocoran pada *ducting*

#### 2.4.1 Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara akan menimbulkan tekanan (*velocity pressure*), penambahan tekanan akan mempengaruhi besar total tekanan statis yang terjadi dalam saluran udara. Kecepatan awal *duct* dan kecepatan akhirnya akan menentukan besarnya *gain/loss* kecepatan tersebut.

#### 2.4.2 Heat Gain/Loss

Penambahan atau kehilangan panas yang terjadi di sepanjang lintasan *ducting* disebabkan karena sistem saluran udara melewati ruangan atau lingkungan yang tidak dikondisikan dan bertemperatur tinggi. Penambahan isolasi pada permukaan luar *ducting* akan membuat *ducting* bebas dari pengaruh panas.

#### 2.4.3 Material

Material yang dapat digunakan sebagai bahan *ducting* tersedia dalam berbagai macam pilihan, baik untuk *ducting* berbahan metal ataupun tekstil. Aliran udara pada saluran keluaran *ducting* dipengaruhi oleh ketebalan dari material dan juga bentuk serta besarnya lubang keluaran udara pada *ducting*. Nilai dari koefisien saluran ( $\mu$ ) menandakan akselerasi saluran disebabkan oleh suatu kepadatan arus di suatu tempat adalah antara 0.6 sampai 0.9.

#### 2.4.4 Friction Drop

*Friction Drop* merupakan kerugian yang menyebabkan penurunan tekanan pada *ducting*. Friksi udara terjadi di sepanjang lintasan *ducting*, termasuk pada sambungan, belokan, lubang keluaran dan aksesoris lainnya. Besarnya nilai *friction drop* dari lintasan yang terjauh atau terpanjang dikalikan dengan *friction rate* yang terjadi dalam *duct*.

#### 2.4.5 Tekanan Statis

Udara yang ditekan atau didorong ke dalam *ducting* mendorong ke segala arah dalam lintasannya. Besar tekanan yang diberikan akan menentukan penggolongan sistem *ducting*, yaitu tekanan tinggi, medium, dan tekanan rendah, serta pemilihan tipe fan yang akan digunakan dalam *Air Handling Unit*.



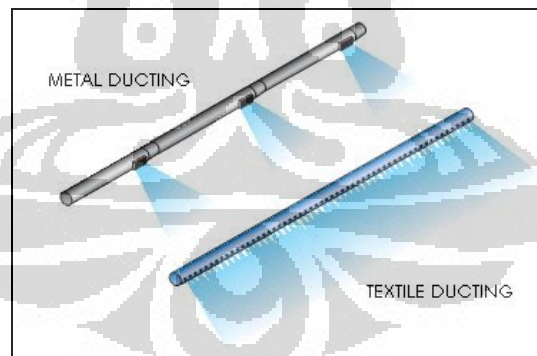
#### 2.4.6 Aliran Udara

*Throw* merupakan jarak hembusan udara yang keluar dari saluran udara sampai kecepatan udara maksimumnya berkurang hingga nilai yang ditentukan, seperti 50, 100, atau 150 ft/min.

Pola aliran udara yang keluar dari *diffuser* atau kisi-kisi udara dipengaruhi oleh kecepatan rata-rata udara pada lubang keluaran udara dari saluran udara (*ducting*). Udara yang keluar melalui *diffuser* saluran udara mempunyai empat zona pengembangan udara ruangan.

#### 2.5 Textile Ducting

*Textile ducting* merupakan suatu alternatif untuk sistem penyaluran udara. Berbeda dengan sistem *ducting* konvensional dengan material *metal* yang menyemburkan udara pada lokasi-lokasi tertentu, *textile ducting* memberikan distribusi udara yang lebih merata. Distribusi udara *textile ducting* yang lebih merata ini adalah karena udara keluar dari lubang-lubang (*orifice*) yang terdapat di sepanjang *textile duct* tersebut, bukan menggunakan *diffuser* pada beberapa lokasi seperti halnya *metal ducting*.



Gambar 2. 12 Perbandingan distribusi udara *metal ducting* dan *textile ducting*

(Sumber: DuctSox)

Sistem *textile ducting* ini dapat diaplikasikan di berbagai tempat misalnya di industri, kolam renang, gedung olahraga, auditorium, supermarket, laboratorium, rumah sakit, perkantoran, tenda pameran dan sebagainya.



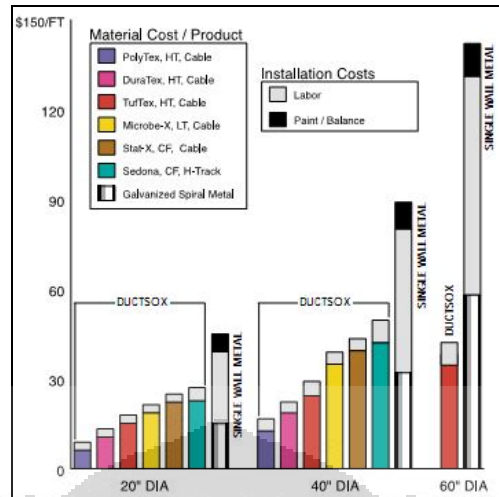
Gambar 2. 13 Contoh beberapa aplikasi *textile ducting*

(Sumber: DuctSox)

## 2.6 Kelebihan dan Kekurangan *Textile Ducting*

Dibandingkan dengan sistem *ducting* konvensional yang menggunakan *metal*, *textile ducting* memiliki kelebihan-kelebihan antara lain sebagai berikut:

1. Biaya yang lebih murah. Untuk ukuran yang sama, biaya untuk material *textile ducting* lebih rendah. Penghematan ini akan lebih besar pada aplikasi di sistem *ducting* ukuran yang lebih besar. Penghematan ini diperoleh dari lebih sedikitnya jumlah pekerja (*man hour*) untuk instalasi *textile ducting* serta biaya pengecatan yang tidak perlu ada karena *textile duct* tersebut telah berwarna.



Gambar 2. 14 Perbandingan antara biaya *textile ducting* dengan *metal ducting*

(Sumber: DuctSox)

Selain itu, pengurangan biaya juga diperoleh dari berkurangnya biaya transportasi karena *textile duct* mudah dikirim dalam kemasan-kemasan yang lebih kecil dan ringan.

2. Kemudahan instalasi. *Textile ducting* lebih mudah dan sederhana dalam instalasinya, bahkan dapat menghemat man hours sampai 90%. Penggunaan alat pengangkat juga dapat dikurangi karena *textile duct* jauh lebih ringan daripada metal duct.
3. Kemudahan perawatan (*maintenance*). Untuk menjaga kualitas udara ruangan, sistem *ducting* harus dibersihkan. Untuk pembersihan, *metal ducting* membutuhkan pembersihan baik bagian luar maupun dalam, yang mana ini akan memerlukan biaya seperti untuk pekerja, material, *scaffolding*, serta kemungkinan terganggunya kegiatan bisnis karena pelaksanaan *maintenance* ini. Sementara itu, untuk sistem *textile ducting*, *duct* dapat dengan mudah dilepas dan dibersihkan. Pembersihan dapat dilakukan dengan *vacuum cleaner* maupun dicuci dengan tangan atau mesin.
4. Tidak menimbulkan *noise*. Dengan desain yang tepat, udara disalurkan tanpa menimbulkan *noise* dan tanpa sifat resonansi seperti yang terdapat pada *metal*.

Sementara itu, beberapa kekurangan dari sistem *textile ducting* adalah bahwa sistem ini akan lebih efektif untuk ukuran ruangan yang besar seperti di industri, ruang pertemuan yang besar, serta tenda pameran. Hal lain adalah perhitungan desain yang lebih kompleks untuk sistem *textile ducting* yang memiliki percabangan.

## 2.7 Klasifikasi *Textile Ducting*

*Textile ducting* dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis metode pendispersian udara, yaitu *low-throw*, *comfort flow*, dan *high-throw*.

### 2.7.1 *Low Throw*

Model *low throw* ini menggunakan material yang bersifat *air permeable*. Pendispersian udara terjadi melalui permukaan yang *porous*. Aplikasi model ini ideal untuk industri pemrosesan makanan atau aplikasi lain yang membutuhkan udara berkecepatan rendah. Kelebihan dari model ini adalah kemampuan penyaringan udara (*filtering*) oleh permukaan *duct* yang *porous* tersebut.

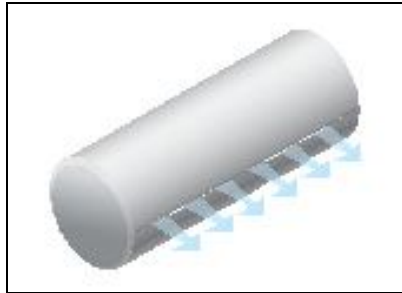


Gambar 2. 15 Model *low throw*

(Sumber: DuctSox)

### 2.7.2 *Comfort Flow*

Udara disalurkan melalui lubang-lubang yang merata secara linear di sepanjang *duct*, menghasilkan aliran udara yang lembut. Aplikasi jenis ini adalah pada tempat-tempat yang *high occupancy*, dimana tujuan dari sistem *ducting*-nya ditekankan pada difusi aliran dan pencampurannya.



Gambar 2. 16 Model *comfort flow*

(Sumber: DuctSox)

### 2.7.3 *High Throw*

Pada model ini, udara disalurkan ke ruangan melalui *orifice*, yang menghasilkan jet udara dan jangkauan aliran yang lebih jauh. Jenis ini dapat diaplikasikan pada tempat yang *high occupancy* maupun *low occupancy*. Kelebihan dari model ini adalah harga yang lebih murah.

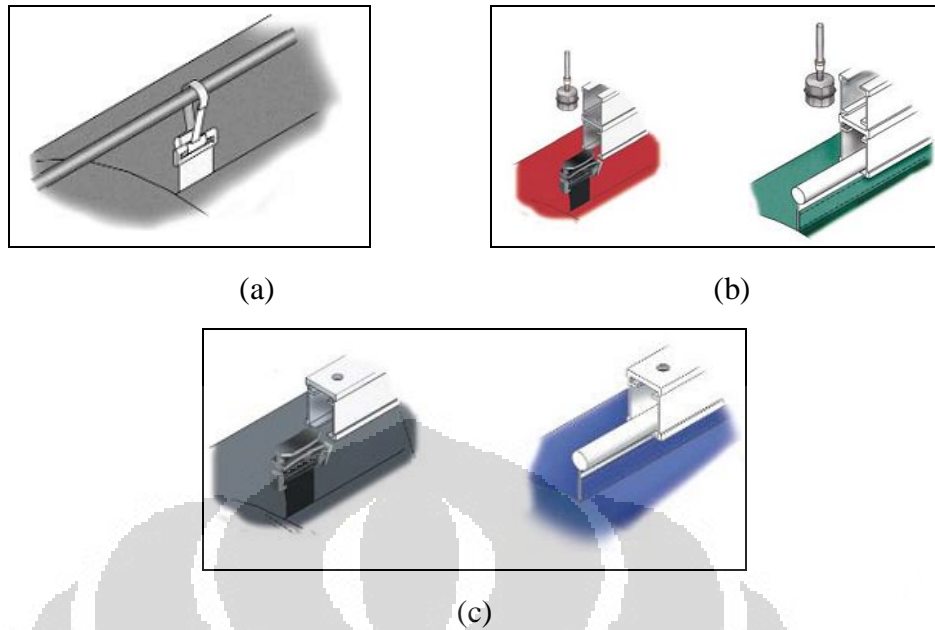


Gambar 2. 17 Model *high throw*

(Sumber: DuctSox)

## 2.8 Suspensi Untuk *Textile Ducting*

*Textile ducting* dapat dengan mudah digantung, dengan jenis suspensi yang disesuaikan dengan keadaan dan desain dari ruangan. Sistem suspensi yang dapat digunakan antara lain adalah *tension cable* dan sistem *track (flush mount dan H-Track)*.



Gambar 2. 18 Suspensi (a) *Tension cable*, (b) *H-Track*, (c) *Flush mount track*

(Sumber: DuctSox)

## 2.9 Perancangan *Textile Ducting*

Udara yang dialirkan melalui sistem *textile ducting* merupakan akibat dari adanya tekanan positif di dalam ducting. Tekanan inilah yang membuat *textile duct* mengembang dan dapat meniupkan udara keluar melalui orifis maupun pori-porinya.

### 2.9.1 Tekanan Dalam *Textile Ducting*

Desain sistem *textile ducting* adalah berdasarkan tekanan rata-rata, AP (*Average Pressure*). *Average pressure* ini merupakan tekanan static rata-rata di dalam *ducting* dari inlet sampai ke ujung *duct* (*end cap*). Nilai *average pressure* ini nantinya akan digunakan untuk perhitungan pendispersian udara, misalnya untuk menghitung jumlah dan ukuran dari orifis pada *ducting* jenis *high throw*. Nilai AP dapat dihitung dengan persamaan berikut<sup>[4]</sup>:

$$AP = ISP + 0.65 (VP - FL) \quad (2.18)$$

Dimana,

$$AP = \text{Average Pressure} \quad (\text{in. H}_2\text{O})$$

ISP= *Inlet Static Pressure* (in. H<sub>2</sub>O)

VP = *Velocity Pressure* (in. H<sub>2</sub>O)

FL = *Friction Loss* (in. H<sub>2</sub>O)

#### 2.9.1.1 *Inlet Static Pressure*

Komponen terpenting dari tekanan operasi dalam suatu sistem *textile ducting* adalah *inlet static pressure* (ISP), yang merupakan tekanan statik yang tersedia pada sisi masukan/*inlet* dari *textile duct*. Operasi dan pengembangan dari *textile duct* tergantung pada tekanan statik didalamnya dan bukan kecepatan udara masuk.

Berdasarkan data dari *DuctSox*, kira-kira 80 persen dari instalasi *textile ducting* saat ini menggunakan ISP sebesar 0,5 in. H<sub>2</sub>O, sementara sisanya menggunakan ISP antara 0,25 in. H<sub>2</sub>O sampai 1,5 in. H<sub>2</sub>O. Untuk kemudahan dalam perhitungan, nilai ISP adalah konstan sepanjang seluruh *textile duct*.

#### 2.9.1.2 *Velocity Pressure*

*Velocity pressure* (VP) adalah tekanan dinamik, merupakan energy kinetik yang kemudian akan berubah menjadi energi potensial berupa tekanan statik selama udara mengalir sepanjang *duct* karena terjadinya penurunan kecepatan udara. Ini terkait dengan persamaan konsep *Bernoulli* yang mengatakan bahwa jumlah dari tekanan statik dan tekanan dinamik adalah konstan sepanjang aliran.

Tekanan statik yang terbentuk dari hasil penurunan *velocity pressure* ini disebut dengan *Static Pressure Regain* (SPR). Besarnya SPR ini sama dengan besarnya VP pada inlet, yang nilainya diberikan oleh persamaan berikut:

$$VP = \left( \frac{\text{Inlet Velocity}}{4005} \right)^2 \quad (2.19)$$

Dimana,

VP = *Velocity Pressure* (in.H<sub>2</sub>O)

*Inlet Velocity* = Kecepatan pada *inlet textile duct* (ft/s)

### 2.9.1.3 Friction Loss

Sama halnya dengan *metal duct*, *textile duct* juga memiliki rugi-rugi tekanan, *friction loss* (FL), sepanjang sistemnya. Besarnya FL ini bergantung pada kecepatan udara yang mengalir didalam *duct*. Karena udara didispersikan sepanjang *duct* maka kecepatannya berkurang, dengan demikian nilai FL juga berkurang pada sepanjang *duct*.

Nilai dari FL ini dapat dihitung dengan persamaan *Darcy-Weisbach* sebagai berikut (satuan telah disesuaikan):

$$FL = 39.4 \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.20)$$

dimana,

- FL = *friction loss* (in. H<sub>2</sub>O)
- f* = *Darcy-Weisbach friction factor*
- L = panjang *duct* (m)
- D = diameter *duct* (m)
- V = kecepatan udara (m/s)
- g = percepatan gravitasi (9.8 m/s<sup>2</sup>)

atau, (satuan telah disesuaikan):

$$FL = 144 \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.21)$$

dengan,

- FL = *friction loss* (in. H<sub>2</sub>O)
- f* = *Darcy-Weisbach friction factor*
- L = panjang *duct* (ft)
- D = diameter *duct* (in.)
- V = kecepatan udara (ft/s)
- g = percepatan gravitasi (32.2 ft/s<sup>2</sup>)

Faktor gesekan *Darcy-Weisbach*, *f*, besarnya bergantung pada material *duct*. Nilai dari *f* inilah yang dicari dengan eksperimen yang dilakukan.

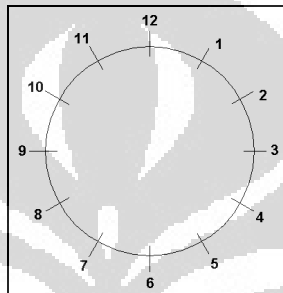


### 2.9.2 Orientasi *Outlet Ducting*

Terdapat beberapa posisi dan orientasi dari *outlet textile ducting*. Pertimbangan untuk penentuan posisi dan orientasi ini tergantung pada jenis aplikasi dari sistem *textile ducting*.

- a. Arah jam 11&1, 10&2 dan 3&9

Orientasi-orientasi ini dipilih untuk aplikasi instalasi sistem pendinginan atau ventilasi. Dengan orientasi *outlet* ini, udara diarahkan relatif ke arah atas.



Gambar 2. 19 Orientasi *outlet* pada *textile duct*

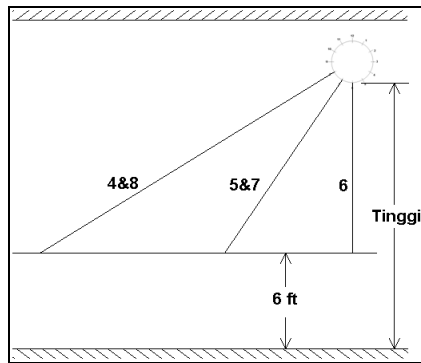
- b. Arah jam 4&8, 5&7 dan 6

Kebanyakan orientasi ini dipilih untuk aplikasi pemanas ruangan, tetapi ini juga dapat digunakan pada sistem pendinginan dan ventilasi. Hal yang harus dipertimbangkan dalam desain dengan orientasi ini adalah jangkauan (*throw*), karena arah aliran langsung menuju pada daerah tertentu yang diinginkan. *Occupied space* adalah setinggi 6 kaki dari lantai, dengan demikian jangkauan aliran dapat dihitung berdasarkan rumus-rumus berikut:

$$\text{Jangkauan arah 4\&8} = (\text{Tinggi} - 6 \text{ ft}) \times 2$$

$$\text{Jangkauan arah 5\&7} = (\text{Tinggi} - 6 \text{ ft}) \times 1,16$$

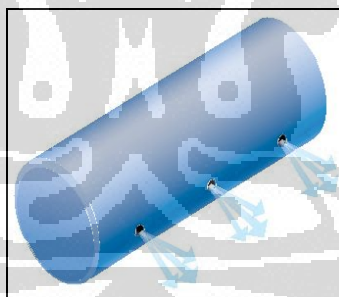
$$\text{Jangkauan arah 6} = (\text{Tinggi} - 6 \text{ ft})$$



Gambar 2. 20 Pengaruh orientasi *outlet* terhadap jangkauan aliran (*throw*).

### 2.9.3 Perancangan *Orifice Textile Ducting Tipe High Throw*

Pemilihan ukuran dan orientasi dari *orifice* didasarkan pada *throw* yang paling sesuai dengan kebutuhan. Kecuali disyaratkan khusus oleh pemesan, penyebaran *orifice* adalah dalam jarak yang seragam sesuai dengan panjang *duct* dan jumlah *orifice* yang dibutuhkan. Pada bagian *inlet* atau pada setiap bagian lain setelah fitting harus disediakan 4 ft tanpa *orifice*, ini adalah untuk meminimalkan potensi kerusakan pada pangkal *duct*, misalnya sobek.



Gambar 2. 21 *Orifice* pada tipe *high throw*

Apabila jumlah *orifice* hasil perhitungan terlalu banyak sehingga mengakibatkan jaraknya terlalu dekat satu sama lain, yang tentunya dapat membuat *textile duct* sangat rentan sobek, maka alternatifnya adalah dengan membagi jumlah *orifice* tersebut dalam 4 baris misalnya dengan konfigurasi 4&6 dan 5&7.

Tabel 2. 3 Pemilihan ukuran *orifice*

Orifice (in.)	AP (in. w.g.)	Airflow (cfm/ea)	Distance (ft) to velocity (fpm)		
			150	100	50
0.5	0.25	1.64	3	4	8
	0.5	2.32	4	6	11
	0.75	2.84	5	7	14
	1	3.28	5	8	16
	1.25	3.67	6	9	18
1	0.25	6.56	5	8	16
	0.5	9.28	8	11	23
	0.75	11.37	9	14	28
	1	13.12	11	16	32
	1.25	14.67	12	18	36
2	0.25	26.25	11	16	32
	0.5	37.12	15	23	45
	0.75	45.46	19	28	56
	1	52.49	21	32	64
	1.25	58.69	24	36	72
2.5	0.25	41.01	13	20	40
	0.5	58	19	28	57
	0.75	71.03	23	35	69
	1	82.02	27	40	80
	1.25	91.7	30	45	90
3	0.25	59.06	16	24	48
	0.5	83.52	23	34	68
	0.75	102.29	28	42	83
	1	118.11	32	48	96
	1.25	132.06	36	54	108
4	0.25	104.99	21	32	64
	0.5	148.48	30	45	91
	0.75	181.85	37	56	111
	1	209.98	43	64	128
	1.25	234.76	48	72	144
5	0.25	164.05	27	40	80
	0.5	232	38	57	113
	0.75	284.14	46	69	139
	1	328.09	53	80	160
	1.25	366.82	60	90	179

(Sumber: *DuctSox Design Manual*)

Berdasarkan tekanan rata-rata (*Average Pressure / AP*) dan diameter *orifice* yang dipilih, besarnya *flowrate* per *orifice* serta kecepatan udara pada jarak

tertentu dari *orifice* dapat diperkirakan menurut Tabel 3.1 (*DuctSox*). *Flowrate* tiap *orifice* inilah yang digunakan untuk menghitung jumlah dari *orifice* yang diperlukan.

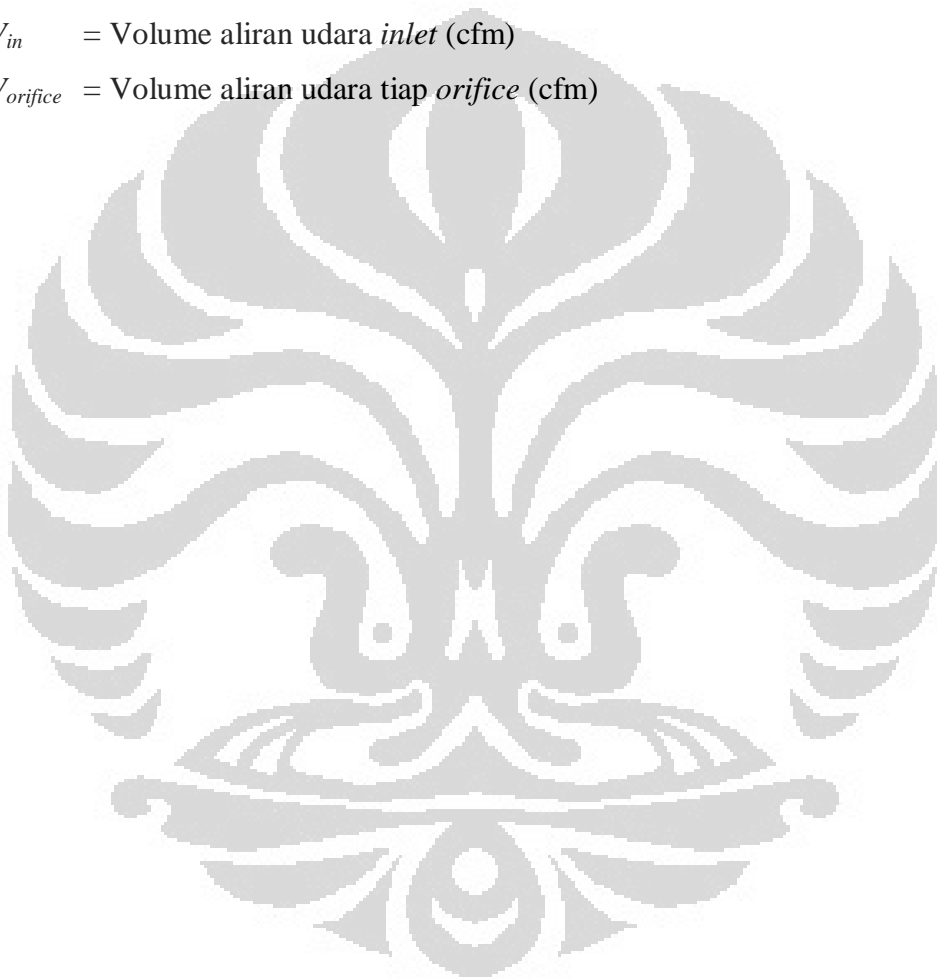
Untuk penentuan jumlah *orifice* yang diperlukan, digunakan rumus berikut:

$$\text{Jumlah Orifice} = \frac{V_{in}}{V_{orifice}} \quad (2.22)$$

Dengan,

$V_{in}$  = Volume aliran udara *inlet* (cfm)

$V_{orifice}$  = Volume aliran udara tiap *orifice* (cfm)



## BAB 3 PERANCANGAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

### 3.1 Perancangan

Perancangan untuk penelitian *friction loss*, *velocity profile* pada *textile ducting*, dan *velocity profile* pada *textile ducting* mempunyai kebutuhan berbeda-beda, maka di sini akan dibahas mengenai perancangan peralatan yang akan digunakan pada setiap penelitian. Penelitian *textile ducting* ini menggunakan alat *air flow demonstration apparatus* (model : AFD-240GTAE) sebagai alat bantu uji dalam memberikan data-data yang dibutuhkan, seperti kecepatan fluida, dan debit fluida dengan mengatur kecepatan putar *blower*.



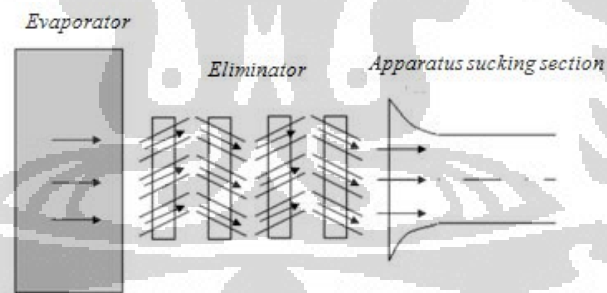
Gambar 3. 1 *Air flow demonstration apparatus*

Selain menggunakan alat *air flow demonstration apparatus* sebagai alat bantu, pada penelitian *friction loss* ini juga menggunakan *air conditioner* sebagai alat bantu pendinginan udara yang akan masuk ke *textile ducting*. *Air conditioner* tersebut dipisahkan antara bagian *evaporator* dan *condenser*, kemudian bagian *evaporator* dipindahkan ke bagian *suction* pada alat *air flow demonstration apparatus* untuk mendapatkan udara dengan temperatur udara yang lebih rendah.

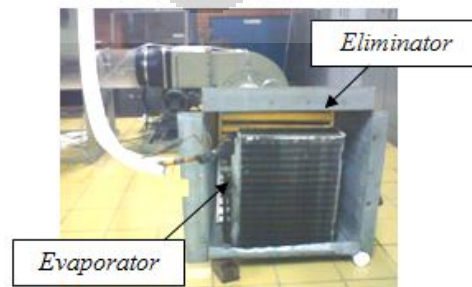


Gambar 3. 2 Bagian *evaporator* yang telah ditutup *case*

Pemasangan *evaporator* pada *apparatus sucking section* mungkin akan dapat menurunkan temperatur udara yang cukup signifikan, tetapi *moisture* yang dihasilkan dari *evaporator* dapat merusak *blower* dari *apparatus* apabila terbawa masuk ke dalam alat *air flow demonstration apparatus*, selain itu *moisture* tersebut memungkinkan untuk merusak bentuk dari aliran udara, terlebih apabila *moisture* tersebut masuk bersama aliran udara ke dalam *textile ducting* sehingga selain bentuk aliran udara menjadi lebih tidak beraturan, tekstil juga akan menjadi basah. Oleh karena itu sebelum memasuki alat *air flow demonstration apparatus*, digunakan *eliminator* untuk mengeliminasi *moisture* yang dihasilkan oleh *evaporator*.



Gambar 3. 3 Skema jalur masuk udara

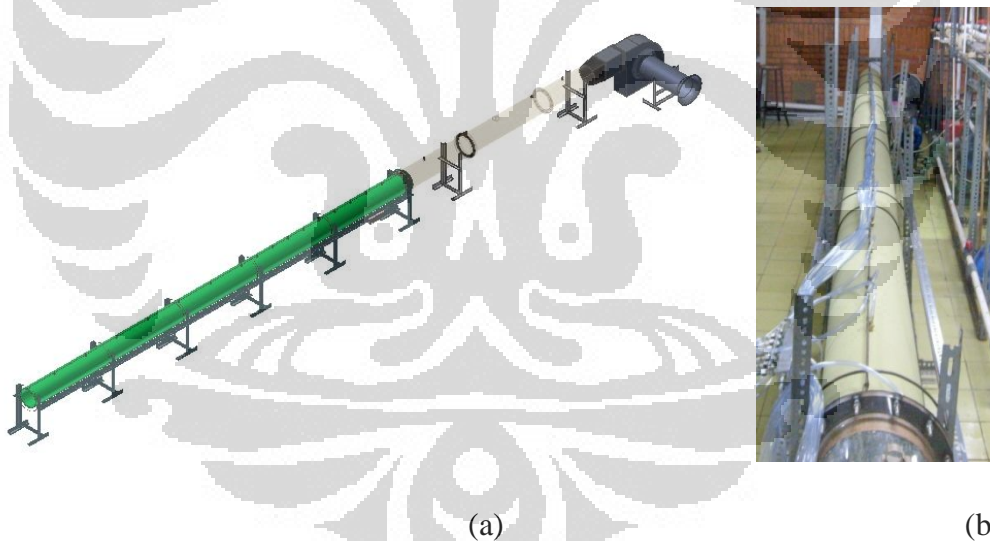


Gambar 3. 4 *Evaporator* dan *eliminator*

Perancangan untuk penelitian *friction loss*, *velocity profile* pada *textile ducting*, dan *velocity profile* pada *orifice* diperlukan banyak pertimbangan, diantaranya panjang dari *textile ducting* yang akan dipasang, jumlah *pressure tap*, *entrance length*, peralatan yang diperlukan agar *textile ducting* tetap dalam posisi lurus, dan peralatan yang diperlukan untuk mendapatkan data *velocity profile* pada *orifice*.

### 3.1.1. Textile Ducting

Panjang *textile ducting* yang akan digunakan sepanjang 6m. Hal ini dikarenakan keterbatasan tempat dari Laboratorium Departemen Teknik Mesin Lantai 3, tetapi hal ini tidak menghambat dalam mengetahui karakteristik dari *textile ducting* tersebut karena pemasangan *pressure tap* yang telah disesuaikan dan pemasangan *straightener* yang berfungsi untuk memperpendek *entrance length*.



Gambar 3. 5 *Textile Ducting* (a) model beserta *Airflow demonstration apparatus*  
(b) foto *textile ducting*

Jenis *textile ducting* yang digunakan pada ketiga penelitian tersebut berbeda. Penelitian *friction loss* dan *velocity profile* menggunakan *textile ducting* dengan ujung terbuka, sedangkan penelitian *velocity profile* pada *textile ducting*

menggunakan *textile ducting* yang berlubang dengan diameter dan jarak yang telah ditentukan (Tabel 3.1) dan pada ujung *textile ducting* tersebut tertutup.

Berikut ini adalah perencanaan *textile duct* yang digunakan untuk penelitian di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin FTUI. Bahan yang digunakan adalah taslan dengan *coating* di bagian dalam.

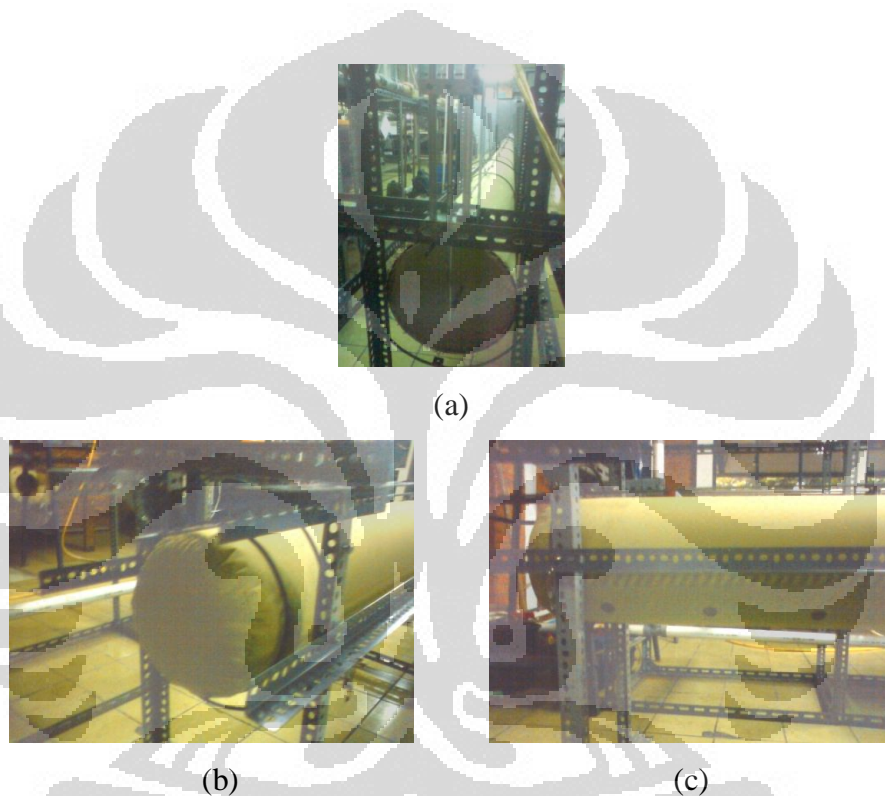
Tabel 3. 1 Perhitungan perancangan *textile duct*

<b>Jenis Ducting</b>	<i>Textile – impermeable</i>	-
<b>Bahan</b>	Taslan	-
<b>Model</b>	<i>High throw</i>	-
<b>Jumlah ducting</b>	1	-
<b>Suplai udara suplai per ducting</b>	<b>730,2 cfm</b>	Untuk memperoleh kecepatan 1500 fpm
<b>Diameter ducting</b>	<b>0.24 m (9,45 in.)</b>	Ditentukan
<b>Panjang ducting</b>	<b>6 m (19,7 ft)</b>	Ditentukan
<b>Perhitungan tekanan didalam orifice</b>		
<b>Kecepatan inlet</b>	<b>7,62 m/s (1500 fpm)</b>	Ditentukan
<b>Tekanan static (ISP1)</b>	0,5 in. H <sub>2</sub> O	Standar desain ( <i>DuctSox</i> )
<b>Tekanan kecepatan (VP)</b>	$(V/4005)^2 = (1500/4005)^2 = 0,14$ in. H <sub>2</sub> O	
<b>Kerugian gesek (FL)</b>	$FL = 39,4 \times f \times \frac{l}{D} \times \frac{V^2}{2g}$ $FL = 39,4 \times 0,000016 \times \frac{6}{0,24} \times \frac{7,62^2}{2 \times 9,8} = 0,05$ in. H <sub>2</sub> O	Nilai <i>f</i> untuk material yang digunakan adalah hasil eksperimen yang telah dilakukan untuk bahan Taslan
<b>Tekanan rata-rata (AP)</b>	$AP = ISP1 + 0,66 \times (VP - FL)$ $AP = 0,5 + 0,66 \times (0,14 - 0,05) = 0,6$ in. H <sub>2</sub> O	
<b>Desain orifice</b>		
<b>Diameter orifice</b>	<b>1 in.</b>	Dipilih
<b>Kecepatan outlet</b>		Tabel 2.3
<b>Air flow orifice</b>	11,37 cfm/orifice	Tabel 2.3
<b>Jumlah orifice</b>	$= (\text{Jumlah suplai udara per ducting} / \text{jumlah udara outlet per orifice})$ $= (730.2 \text{ cfm} / 11.37 \text{ cfm})$ $= 64.2 \text{ dibulatkan ke jumlah genap} \rightarrow \mathbf{64 \text{ buah orifice}}$	
Rekomendasi jarak dari inlet <i>blower – ducting</i> = 4 ft (tanpa <i>orifice</i> )		
<b>L<sub>1</sub>'</b>	19.7 ft – 4 ft = 15.7 ft = 188.4 in.	
<b>Spasi antar orifice</b>	L <sub>1</sub> ' / (jml orifice/2) = 188.4 / (64/2) = <b>5.9 in.</b>	Arah jam 4&8



Data-data yang digunakan dalam perhitungan dan desain adalah sebagai berikut:

1. Panjang *duct* = 6 m (19.7 ft)
2. Diameter *duct* = 0.24 m ( 9.45 in.)
3. Kecepatan *inlet* = 7.6 m/s (1500 fpm)
4. Bentuk *duct* = silinder
5. Tipe *outlet* = *high throw*

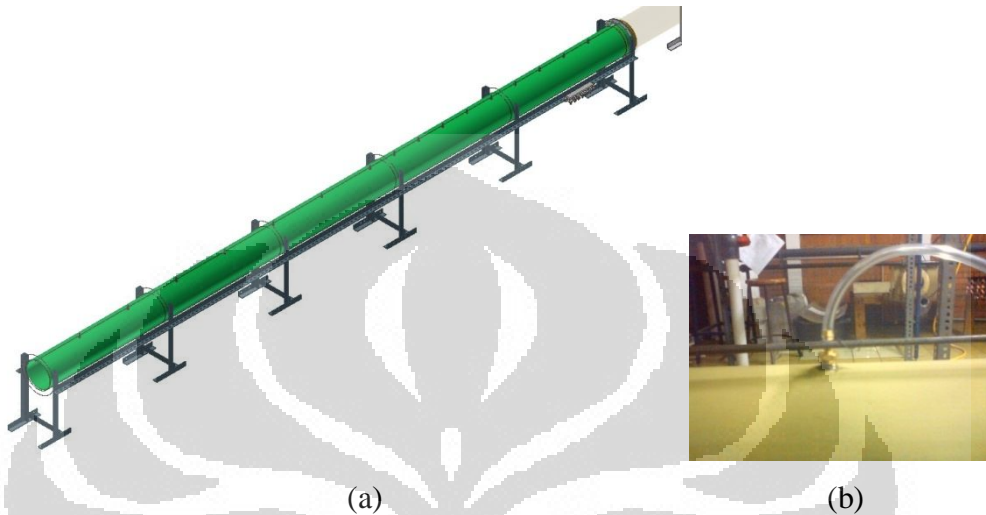


Gambar 3. 6 Jenis *textile ducting* (a) dengan ujung terbuka (b) dengan ujung tertutup (c) *orifice* pada *textile ducting*

#### 3.1.1.1 *Pressure tap*

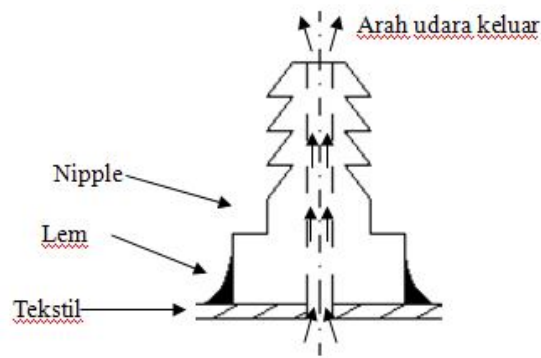
Pemasangan *pressure tap* untuk penelitian *friction loss* pada *textile ducting* terdapat 16 buah. Pada 10 *tap* pertama, jarak antara *tap* adalah 250 mm, sedangkan untuk 6 *tap* selanjutnya jaraknya 500 mm. Hal ini dilakukan karena bentuk aliran udara pada awal *ducting* yang masih turbulen karena sebelum masuk ke *textil ducting* tersebut, terkena gangguan yaitu *straightener*, sehingga pemasangan *pressure tap* dengan jarak yang berdekatan di sini dimaksudkan

untuk melihat fenomena *pressure drop* pada *entrance length region*. Pada 6 *pressure tap* selanjutnya diperkirakan telah melewati *entrance length region* dan *pressure drop*-nya akan linear, sehingga dibuat jarak yang lebih jauh dari 10 *tap* pertama.



Gambar 3. 7 *Pressure tap* (a) sepanjang *textile ducting* (model) (b) foto

*Pressure tap* yang dipasang pada *textile ducting* tersebut tidak boleh membuat permukaan pada *textile ducting* menjadi tidak mulus, baik karena beban *pressure tap* ataupun pemasangan *pressure tap* tersebut karena hal ini dapat membuat *static pressure* menjadi berubah (lebih kecil atau lebih besar). Arah pemasangan *pressure tap* tersebut juga harus tegak lurus terhadap *textile ducting* tersebut agar didapat *static pressure* yang murni. Dalam penelitian ini, pemasangan *pressure tap* pada *textile ducting* menggunakan lem *epoxy*, sehingga permukaan bagian dalam *textile ducting* tetap mulus dan untuk menghindarkan beban dari *pressure tap* yang menekan *textile ducting* tersebut, setiap *pressure tap* tersebut dipasang kawat yang terhubung dengan sling.

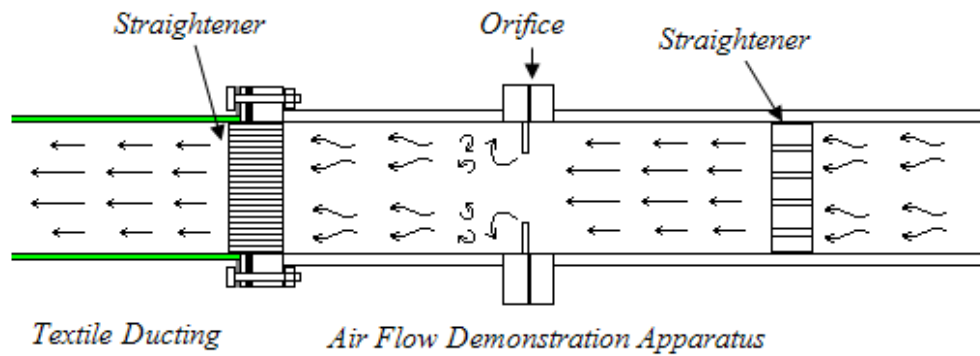


Gambar 3. 8 Skema pemasangan *pressure tap* pada *textile ducting*

### 3.1.1.2 *Straightener*

Pada *air flow demonstration apparatus* telah terdapat *straightener* yang bertujuan untuk mendapatkan profil kecepatan yang baik pada *air flow demonstration apparatus* ketika melakukan pengukuran menggunakan *pitot-static tube*.

Sebelum udara memasuki *textile ducting*, udara akan melewati *straightener* kembali, dimana pemasangan *straightener* di sini bertujuan untuk memperpendek *entrance length* pada *textile ducting*, sehingga diharapkan dengan panjang 6 m aliran udara sudah mencapai *fully develop*. *Fully develop* di sini dimaksudkan ketika melakukan pengambilan data *pressure drop* untuk *friction loss*, data menjadi *valid*, karena apabila aliran udara belum mencapai *fully develop*, tekanan akan mengalami perubahan yang tidak teratur. Pemasangan *straightener* sebelum *textile ducting* dilakukan untuk meluruskan aliran udara menuju *textile ducting* yang telah terkena gangguan oleh *orifice* pada *air flow demonstration apparatus*. *Straightener* yang dipasang pada penelitian ini mempunyai profil silinder dengan diameter 7 mm, diameter *straightener* 240 mm, dan panjang 15 mm.



Gambar 3. 9 Skema aliran udara menuju *Textile ducting*

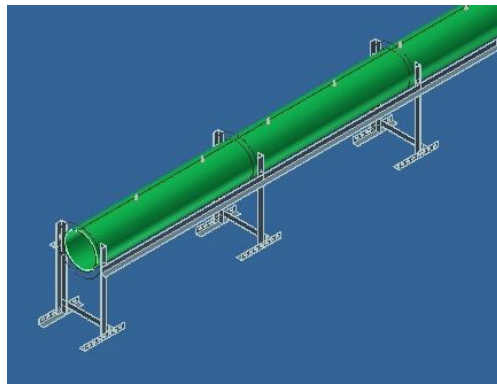
Dalam menentukan *entrance length*, *Reynolds number* mempunyai peranan yang sangat besar, sehingga dalam penelitian ini, faktor kecepatan udara akan sangat mempengaruhi *entrance length*.



Gambar 3. 10 *Straightener* pada *Textile Ducting* (a) model (b) foto

### 3.1.1.3 *Stand* dan *Ring*

Dalam melakukan pengambilan data *pressure*, posisi *textile ducting* harus tetap lurus dan stabil, maka diperlukan *stand* dan *ring* untuk menjaga posisi *textile ducting* tetap dalam kondisi stabil walaupun udara mengalir di dalamnya. Penelitian ini menggunakan 2 buah *ring* dengan diameter 0.24m dan 0.33m pada setiap *stand* (jarak antar *stand* 1 meter). Untuk menjaga posisi antar *stand* dan *ring* tetap dalam posisi lurus, digunakan sling dan besi.



(a)



(b)

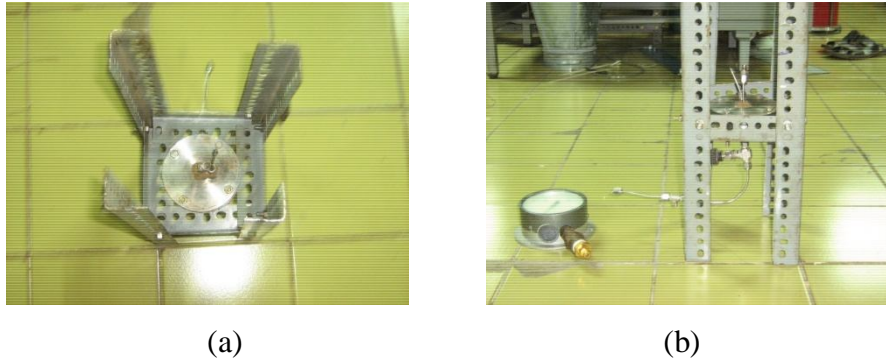
Gambar 3. 11 *Stand dan ring* (a) model (b) foto

#### 3.1.1.4 Material

Pemilihan material untuk menjadi *textile ducting* harus memenuhi ASTM D737-04, yaitu standar metode tes untuk permeabilitas udara pada *textile ducting*. Pada ASTM D737-04 terdapat metode tes untuk permeabilitas udara dan tekanan minimal yang disarankan untuk tekstil yang akan dijadikan material *textile ducting* (125 Pa).

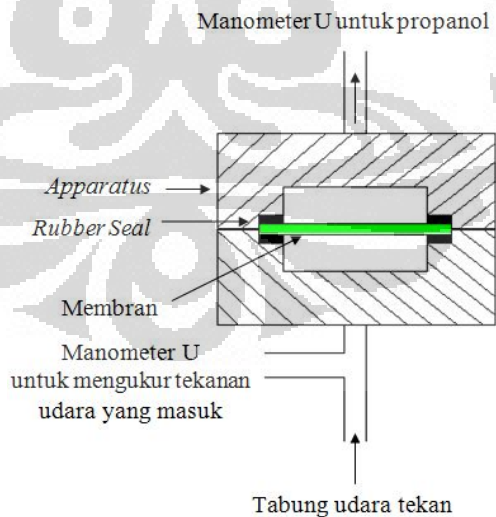
Permeabilitas udara menjadi sesuatu yang penting di sini karena apabila tekstil yang digunakan bersifat *air permeable*, tekanan udara di bagian ujung akan semakin berkurang karena udara yang telah berdifusi keluar (*textile ducting* jenis *low throw*), sedangkan jenis *textile ducting* yang akan digunakan di sini adalah *textile ducting* jenis *high throw*, menggunakan *orifice* sebagai lubang keluar udara. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah material tekstil taslan balon yang terdapat *coating* pada bagian dalamnya.

Pengujian yang dilakukan material tekstil tersebut agar memenuhi standar tekanan minimal ASTM D737-04 dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia menggunakan alat sel permeasi. Alat ini terdiri dari dua buah lempeng logam sebagai wadah meletakkan membran (tekstil) yang akan diuji. Membran dalam bentuk lembaran diletakkan antara dua lempeng logam kemudian ditutup rapat (dibantu menggunakan *rubber seal*). Sel permeasi yang ditutup rapat ini bertujuan untuk mencegah kebocoran gas.



Gambar 3. 12 Alat sel permeasi (a) tampak atas (b) tampak samping

Prinsip kerja dari alat sel permeasi adalah membran di bagian tengah diberikan udara bertekanan dari salah satu saluran dan saluran satu lagi terhubung dengan pipa yang terdapat propanol dan pipa tersebut terhubung dengan udara atmosfer. Pemberian tekanan pada membran tersebut mengakibatkan membran terdorong oleh tekanan yang diberikan dan setelah itu dapat dilihat pergerakan dari propanol. Apabila membran tersebut tahan terhadap tekanan yang diberikan atau permeabilitas udaranya nol, maka propanol tidak akan mengalami suatu pergerakan, tetapi apabila membran tersebut tidak tahan terhadap tekanan yang diberikan, maka propanol akan bergerak.



Gambar 3. 13 Prinsip kerja alat sel permeasi

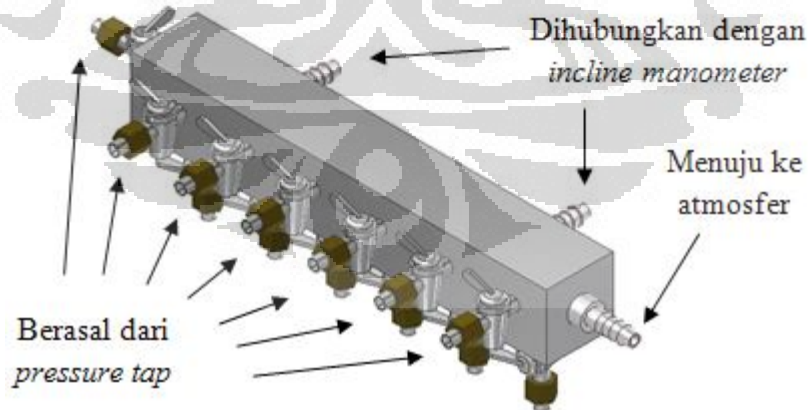
Selain permeabilitas udara, material tekstil tersebut diuji kekasaran terlebih dahulu sebelum memulai penelitian untuk mengetahui karakteristik tekstil

tersebut. Metode pengujian yang digunakan mengacu pada standar ASTM E1364–95 (2005).

Kekasaran suatu bahan adalah harga rata-rata aritmatik nilai absolut jarak profil terukur dengan profil tengah ( $R_a$ ). Didapat nilai  $R_a$  untuk jenis taslan balon sebesar  $12.32\mu\text{m}$ . Nilai kekasaran ini dapat digunakan untuk mencari *friction factor* menggunakan persamaan *Colebrook-White*.

### 3.1.2. Manifold

Dalam pembacaan tekanan pada *pressure tap* dalam jumlah banyak, akan menjadi tidak efisien apabila pipa pada *pressure tap* dihubungkan satu persatu ke *incline manometer* secara bergantian. Oleh karena itu, khususnya untuk penelitian perhitungan *friction loss* pada *textile ducting*, digunakan *manifold* untuk menghubungkan pipa-pipa dari *pressure tap*. *Manifold* ini mempunyai 16 lubang, 13 diantaranya untuk pipa yang berasal dari *pressure tap*, 2 lubang untuk dihubungkan ke *incline manometer*, dan 1 lubang untuk di hubungkan ke atmosfer. Untuk mengatur lubang yang ingin diukur, pada setiap lubang terdapat katup.



Gambar 3. 14 *Manifold* dan arah aliran udara



Gambar 3. 15 Alur penelitian *friction loss* menggunakan *manifold*

### 3.1.3 *Pitot Tube Transverse Apparatus*

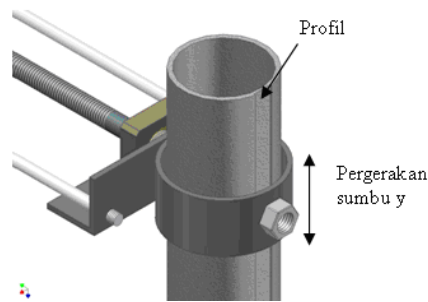
Penelitian *velocity profile* pada *orifice* harus menggunakan alat khusus dalam melakukan pengukuran karena alat tersebut dapat bergerak dalam 3 sumbu dengan jarak yang ditentukan. Perancangan alat ini harus mempertimbangkan berat, dimensi, dan skala yang diinginkan untuk ketiga sumbu. Selain itu, alat ini harus dapat di-*reassembly* agar mempermudah modifikasi alat apabila terjadi kesalahan dimensi, *part*, atau alat ini akan digunakan untuk penelitian selanjutnya yang mempunyai perbedaan dimensi.



Gambar 3. 16 Penggunaan *Pitot Tube Transverse Apparatus*

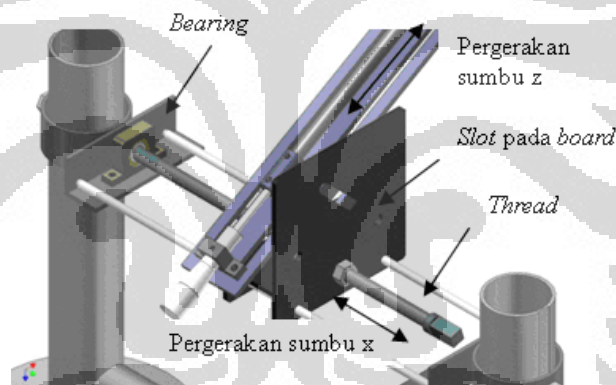
*Pitot tube transverse apparatus* merupakan alat untuk melakukan penelitian *velocity profile* pada *orifice* dengan *pitot tube* pada bagian ujungnya dan alat ini dapat menggeser *pitot tube* pada 3 sumbu dan dapat mengubah sudut dari kemiringan *pitot tube*. Perubahan posisi 3 sumbu dilakukan dengan mekanisme *micrometer*, batang silinder berulir, dan *stand*. Penggunaan *micrometer* menggunakan *micrometer* dengan skala 25 mm.





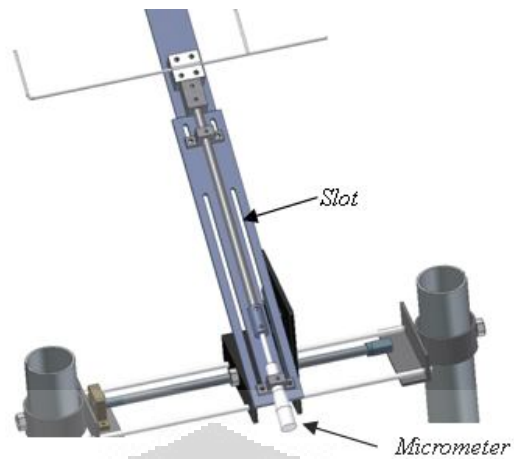
Gambar 3. 17 Komponen *Stand Pitot Tube Transverse Apparatus*

Untuk pergerakan ke atas dan ke bawah (sumbu y), pada *stand* dibuat profil agar baut pada *stand rel* dapat mengunci lebih kuat pada *stand*. Selain itu, untuk *stand* digunakan material yang cukup berat agar ketika alat ini terkena hembusan dari angin yang berasal dari *textile ducting* tidak mengalami perubahan posisi.



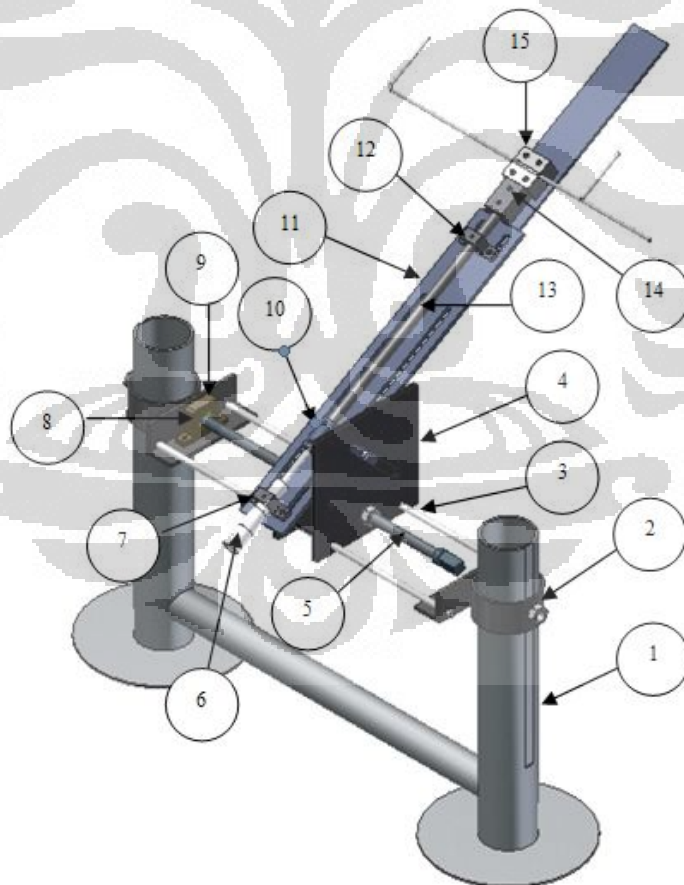
Gambar 3. 18 Komponen *Board* beserta bagian-bagiannya

*Board* dirancang menggunakan *slot* dengan kemiringan  $45^{\circ}$ , sehingga *pitot tube* dapat disesuaikan sudut kemiringannya hingga  $\pm 60^{\circ}$ . Pada *board* bagian bawah terdapat tiga lubang, dua lubang bagian kanan dan kiri untuk rel dan bagian tengah diberikan ulir dalam untuk jalur *thread*. Pergerakan terhadap sumbu x dilakukan menggunakan *thread* yang terpasang pada *bearing*, sehingga *thread* tersebut tidak mengalami perubahan posisi ketika berputar.




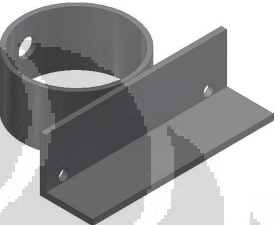
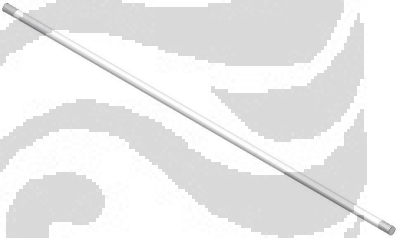

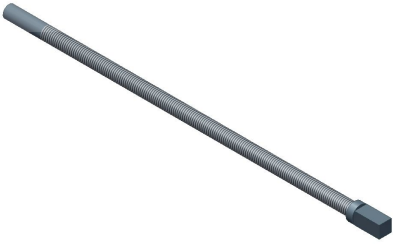
Gambar 3. 19 Komponen *incline*

Pada bagian *incline* terdapat dua buah *slot* untuk *holder stick* dan untuk *holder micrometer*, sehingga pergerakan *micrometer* yang hanya 25mm dapat diperbesar dan disesuaikan posisinya dengan menggunakan *slot*.


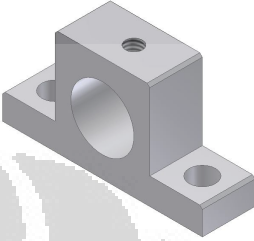
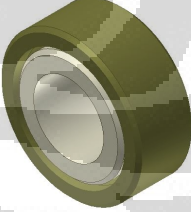
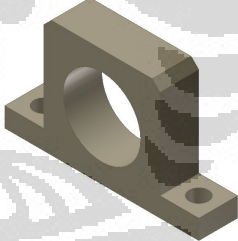
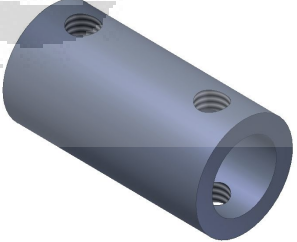


Gambar 3. 20 *Pitot Tube Transverse Apparatus*

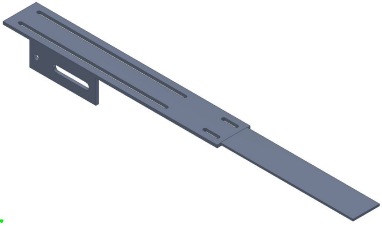
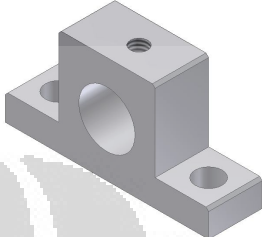

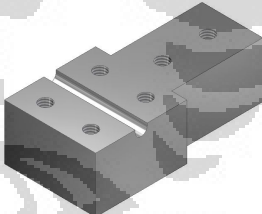
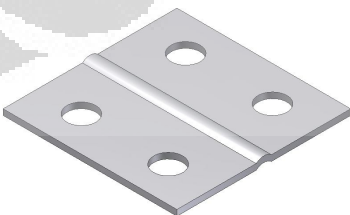
Tabel 3. 2 Daftar Komponen *Pitot Tube Transverse Apparatus*

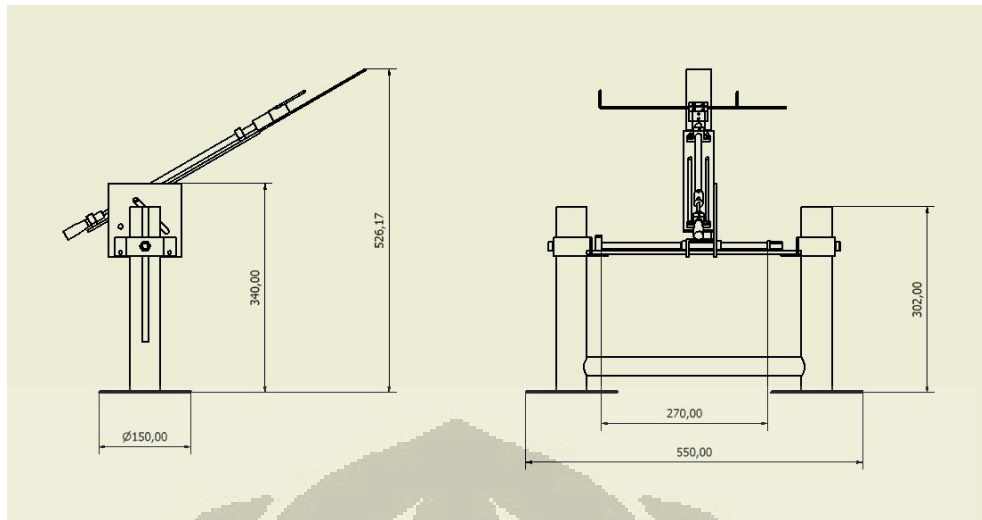
No	Nama	Jumlah	Gambar Komponen
1	Stand	1	
2	Stand rel	2	
3	Rel	2	
4	Board	1	
5	Thread	1	

Tabel 3.2 (sambungan)

6	Micrometer	1	
7	Holder Micrometer	1	
8	Bearing	1	
9	Holder Bearing	1	
10	Connector	1	

Tabel 3.2 (sambungan)

11	Incline	1	
12	Holder Stick	1	
13	Rod Stick	1	
14	Holder Pitot Tube	1	
15	Plate	1	



Gambar 3. 21 Dimensi *Pitot Tube Transverse Apparatus*

#### 3.1.4 *Incline manometer*

Untuk penelitian pada *textile ducting*, karena yang diukur berupa tekanan, maka digunakan *incline* manometer. Pada *incline* manometer terdapat 2 buah lubang, salah satu lubang dihubungkan dengan tekanan yang akan diukur dan lubang yang satunya lagi dihubungkan dengan udara atmosfer. *Incline* manometer mempunyai profil miring sebagai tempat fluida untuk membuat pembacaan tekanan dengan skala yang lebih kecil.

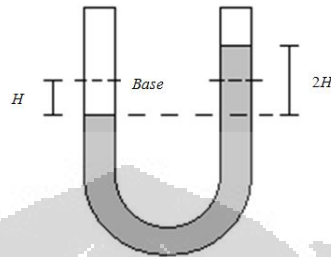


Gambar 3. 22 *Incline manometer*

Prinsip kerja pembacaan *incline manometer*, seperti pembacaan pada manometer U, hanya pada *incline manometer* dimensinya hanya terdapat pada salah satu sisi saja, maka pembacaan tekanan dilakukan dengan :

$$Base + 2H = p \quad (3.1)$$

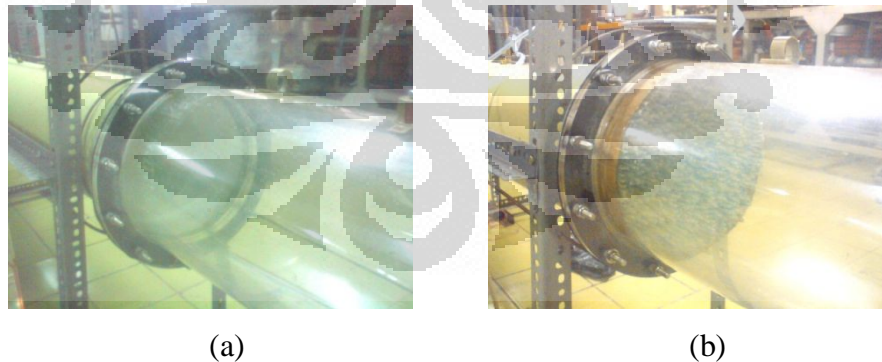
*Base* merupakan tekanan awal atau ketika stabil, sedangkan *H* merupakan selisih ketinggian dari *base* terhadap posisi fluida setelah diberikan tekanan.  $2H$  merupakan selisih ketinggian fluida ketika diberikan tekanan, tetapi karena yang terdapat ukuran hanya pada 1 bagian, maka dibaca dengan  $2H$ .



Gambar 3. 23 Prinsip kerja pembacaan tekanan pada *incline* manometer

### 3.2 Prosedur Pengujian

Pada penelitian *textile ducting* yang mempunyai panjang hanya 6m, akan dilakukan pengambilan pola aliran udara pada *textile ducting* tersebut dengan dan tanpa menggunakan *flow straightener*. Spesifikasi dari *straightener* yang digunakan pada penelitian ini yaitu tebal 15 mm, diameter pipa aliran 7 mm, diameter *straightener* 240 mm. Di sini akan diuji mengenai pola aliran udara pada jarak dan kecepatan udara yang telah ditentukan.



Gambar 3. 24 *Straightener* (a) *textile ducting* tanpa menggunakan *straightener*  
(b) *textile ducting* menggunakan *straightener*

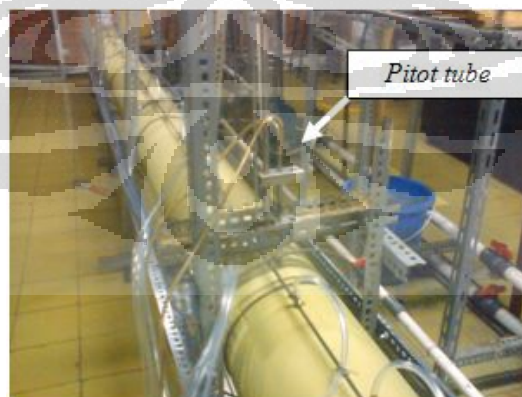
Pada proses pengujian pola aliran udara pada *textile ducting* ini akan menggunakan *pitot tube* yang mengubah kecepatan menjadi tekanan dan untuk

pembacaan tekanan menggunakan *incline manometer*. Pengujian pola aliran udara dilakukan menggunakan *pitot tube* pada 7 ketinggian yang berbeda. Diameter dari *textile ducting* sebesar 240 mm dan diameter *pitot tube* sebesar 10 mm, maka jarak total perpindahan adalah sebesar 235 mm.

Tabel 3. 3 Titik ketinggian *pitot tube* pada *textile ducting* berdiameter 0.24m

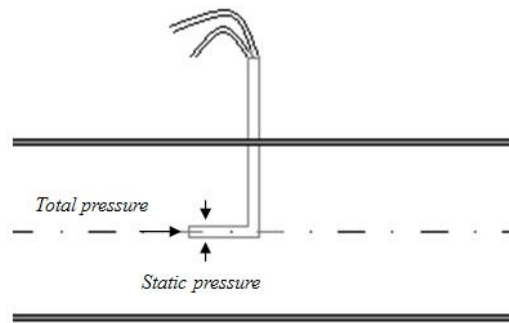
No	Ketinggian
1	117.5
2	77.5
3	37.5
4	0
5	-37.5
6	-77.5
7	-117.5

Pengambilan data menggunakan *pitot tube* akan mendapatkan dua buah data tekanan, yaitu *total pressure* dan *static pressure*, selisih antara *total pressure* dan *static pressure* akan mendapatkan *dynamic pressure* yang akan dijadikan profil kecepatan.



Gambar 3. 25 Pemasangan *Pitot Tube* pada *Textile Ducting*





Gambar 3. 26 Skema Pemasangan *Pitot Tube* pada *Textile Ducting*

Untuk melihat pola aliran udara pada *textile ducting*, penelitian akan dilakukan pada kecepatan udara 1500,1750, dan 2000 fpm pada 5 titik untuk penggunaan *flow straightener* (0.15m, 0.25m, 1.3m, 3.7m, dan 6m) untuk mencari posisi *fully developed* dan 3 titik tanpa menggunakan *flow straightener* (1.3m, 3.7m, dan 6m) dengan posisi 0 terdapat pada titik pemasangan *textile ducting* pada *air flow demonstration apparatus*.

## BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

### 4.1 Aliran pada *Textile Ducting*

Pemasangan *flow straightener* sebelum *textile ducting* dimaksudkan untuk mengatur aliran udara yang berasal dari *air flow demonstration apparatus* sehingga mengurangi turbulen karena gangguan dari dalam pipa (contoh *orifice*) dan memperpendek *entrance length*.

Pengujian pola aliran udara pada *textile ducting* ini sangat penting terutama untuk melakukan perhitungan *friction loss* pada *textile ducting*. Perhitungan *friction loss* harus dilakukan pada daerah yang alirannya sudah berkembang penuh, yaitu dimana pola alirannya sudah tidak lagi berubah terhadap posisi maupun waktu.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *pitot-static tube* untuk mengukur tekanan dinamik yang kemudian dikonversikan ke kecepatan berdasarkan rumus berikut:

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{air}}h_{\text{air}}}{\rho_{\text{udara}}}} \quad (4.1)$$

dengan,

$v$  = kecepatan udara (m/s)

$\rho_{\text{air}}$  = massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{\text{udara}}$  = massa jenis udara (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (9.8 m/s<sup>2</sup>)

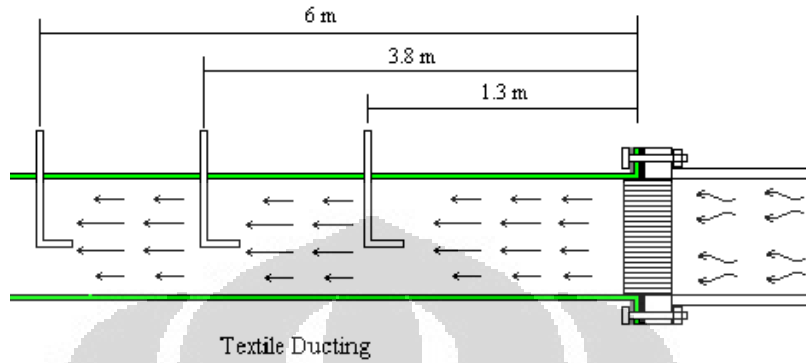
$h_{\text{air}}$  = beda ketinggian kolom air pada bacaan manometer (m)

### 4.2 Hasil Pengujian

#### 4.2.1 Menggunakan *Straightener*

Data diambil pada 5 titik di *textile ducting* untuk pengukuran menggunakan *flow straightener* (0.15 m, 0.25m, 1.3 m, 3.7 m, dan 6 m) dan 3 titik

di *textile ducting* untuk pengukuran tanpa menggunakan *flow straightener* (1.3 m, 3.7 m, dan 6 m), pada 7 titik ketinggian *pitot tube*, dan pada 3 kecepatan yang berbeda (1500 fpm, 1750 fpm, dan 2000 fpm).

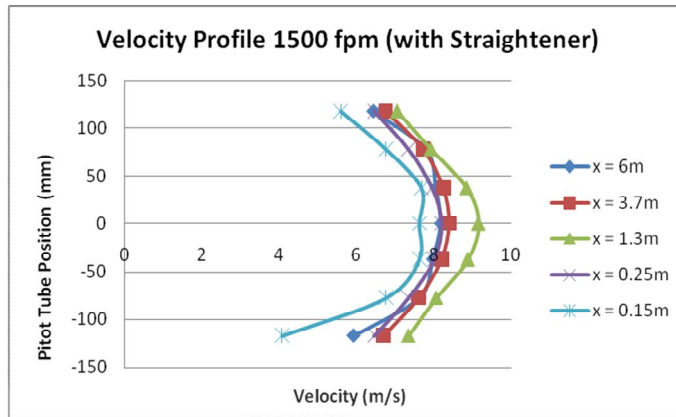


Gambar 4. 1 Skema Posisi *Pitot Tube* pada *Textile Ducting*

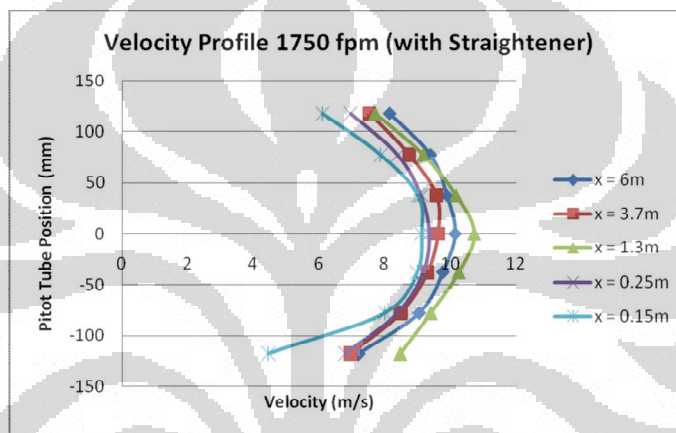
Data diambil sebanyak 3 kali untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Spesifikasi *flow straightener* yang digunakan pada pengujian ini mempunyai tebal 15mm, diameter pipa silinder 7mm, dan diameter *straightener* 240mm.

Tabel 4. 1 Contoh perhitungan pola aliran udara

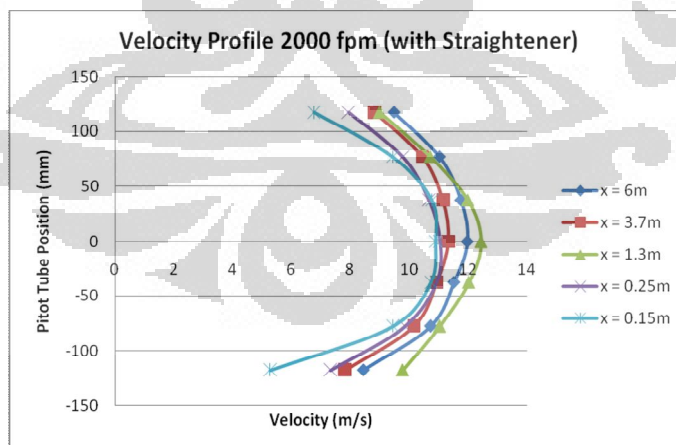
T amb =		29.5 C								
T udara =		29.5 C								
distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
6	117.5	0.27	0.275	0.28	117.5	2.29	2.54	2.79	2.54	6.44
	77.5	0.297	0.298	0.3	77.5	3.66	3.71	3.81	3.73	7.80
	37.5	0.3	0.3	0.31	37.5	3.81	3.81	4.32	3.98	8.07
	0	0.302	0.305	0.31	0	3.91	4.06	4.32	4.10	8.19
	-37.5	0.3	0.3	0.305	-37.5	3.81	3.81	4.06	3.89	7.98
	-77.5	0.297	0.29	0.298	-77.5	3.66	3.30	3.71	3.56	7.62
	-117.5	0.262	0.27	0.27	-117.5	1.88	2.29	2.29	2.15	5.93
									Average velocity =	7.43



(a)



(b)

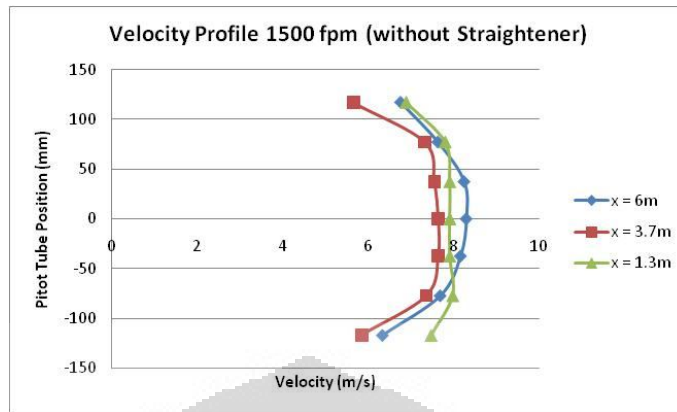


(c)

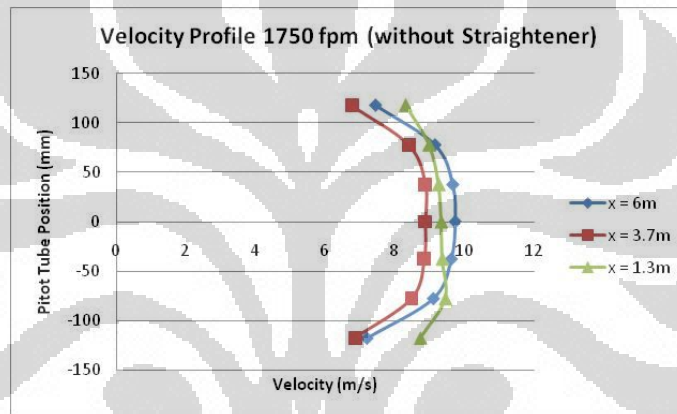
Gambar 4. 2 Pola aliran udara menggunakan *flow straightener*

(a) 1500 fpm (b) 1750 fpm (c) 2000 fpm

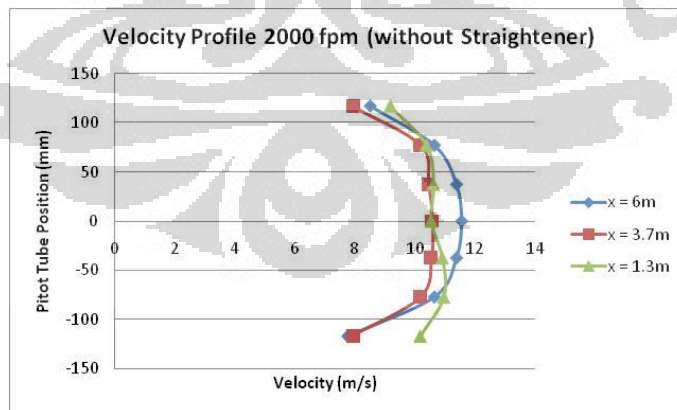
#### 4.2.2 Tanpa menggunakan *straightener*



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 3 Pola aliran udara tanpa menggunakan *flow straightener*

(a) 1500 fpm (b) 1750 fpm (c) 2000 fpm

### 4.3 Analisis

Setelah melakukan pengujian pola aliran udara pada *textile ducting* taslan dengan dan tanpa menggunakan *straightener*, didapat pola aliran yang berbeda. Pada pengujian yang dilakukan menggunakan *flow straightener*, didapat pola aliran udara yang tidak jauh berbeda terhadap  $x$  (posisi *pitot tube* pada *textile ducting*). Tetapi pada titik 0.15m, diperoleh pola aliran yang agak berbeda dibandingkan yang lain, hal ini mungkin diakibatkan aliran masih terdapat dalam *entrance region*.

Sedangkan untuk pengujian yang dilakukan tanpa menggunakan *flow straightener*, diperoleh pola aliran udara yang agak berbeda terutama pada jarak  $x=1.3\text{m}$  mempunyai pola aliran yang tidak teratur, sehingga pengambilan tekanan statik tanpa menggunakan *flow straightener* tidak *valid* karena masih berada dalam *entrance region* aliran.

Penggunaan *flow straightener* dapat memperpendek *entrance length*, terbukti dengan pola aliran udara yang hampir serupa terhadap  $x$  sehingga aliran udara pada *textile ducting* yang telah menggunakan *flow straightener* dapat dianggap telah berada dalam kondisi berkembang penuh. Kondisi ini membuat pengambilan data, khususnya *pressure drop* untuk perhitungan *friction loss* menjadi *valid*.

Kecepatan udara rata-rata pada *textile ducting* di setiap titiknya mengalami perubahan, hal ini disebabkan karena kekasaran permukaan yang berbeda pada setiap segmennya, toleransi dimensi dari *textile ducting* yang masih cukup besar, kecepatan putaran *blower* yang masih dalam toleransi  $\pm 5\text{rpm}$ , dan faktor-faktor lainnya.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil eksperimen dan perhitungan menggunakan data-data yang diperoleh, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Test rig* yang dirancang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya setelah dilakukan *trial* dan penyesuaian
2. Penggunaan *flow straightener* membuat aliran pada *textile duct* berbahan *taslan* ini telah berada pada kondisi berkembang penuh (*fully developed*) dan dapat digunakan untuk pengambilan data *pressure drop* untuk perhitungan *friction loss*.

#### **5.2 Saran**

Dalam pembuatan *textile ducting* sebaiknya toleransi dimensi *textile ducting* harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang baik dan dalam pengambilan data, kecepatan *blower* harus diperhatikan setiap beberapa saat untuk menghindari data yang tidak *valid*.

Penggunaan *flow straightener* sangat baik untuk membuat pola aliran udara berkembang penuh dalam jarak yang lebih kecil, tetapi penggunaan *flow straightener* membuat tekanan statik mengalami penurunan yang cukup besar. Oleh karena itu, ketebalan dari *flow straightener* harus diperhatikan.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Munson, Bruce R., Donald F. Young, and Theodore H. Okiishi. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [2] Harun, Yulfari “Pola Keluaran Aliran Udara pada *Textile Ducting* Berbahan Polyester”. Skripsi Program Sarjana FTUI, Depok : 2007
- [3] *Instruction Manual for Airflow Demonstration Apparatus*. Ogawa Seiki Co., Ltd.
- [4] DuctSox. *Design Methods for Fabric Ducts System*. Indiana: DuctSox Corp., 2008.
- American Society for Testing and Material. *ASTM D737-04: Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics*. ASTM, 2008.
- Universitas Indonesia. *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*. Depok: Universitas Indonesia, 2008.
- Saputra, Andhi “Tekstil Berbahan Polyester Sebagai Bahan Ducting (Pengujian Berdasarkan ASTM D737-96)”. Skripsi Program Sarjana FTUI : 2008.
- “Colebrook Equation.”  
< [http://www.engineeringtoolbox.com/colebrook-equation-d\\_1031.html](http://www.engineeringtoolbox.com/colebrook-equation-d_1031.html)>
- “Darcy-Weisbach Equation.”  
< <http://www.wikipedia.org>>
- DuctSox. *Engineering and Design Manual*. Indiana: DuctSox Corp., 2008.



Lampiran 1: Data pada 1500 fpm menggunakan *flow straightener*

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
6	117.5	0.27	0.275	0.28	117.5	2.29	2.54	2.79	2.54	6.44
	77.5	0.297	0.298	0.3	77.5	3.66	3.71	3.81	3.73	7.80
	37.5	0.3	0.3	0.31	37.5	3.81	3.81	4.32	3.98	8.07
	0	0.302	0.305	0.31	0	3.91	4.06	4.32	4.10	8.19
	-37.5	0.3	0.3	0.305	-37.5	3.81	3.81	4.06	3.89	7.98
	-77.5	0.297	0.29	0.298	-77.5	3.66	3.30	3.71	3.56	7.62
	-117.5	0.262	0.27	0.27	-117.5	1.88	2.29	2.29	2.15	5.93
Average velocity =									7.43	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
3.7	117.5	0.28	0.28	0.28	117.5	2.79	2.79	2.79	2.79	6.76
	77.5	0.298	0.295	0.298	77.5	3.71	3.56	3.71	3.66	7.73
	37.5	0.308	0.308	0.305	37.5	4.22	4.22	4.06	4.17	8.25
	0	0.31	0.31	0.31	0	4.32	4.32	4.32	4.32	8.40
	-37.5	0.308	0.305	0.305	-37.5	4.22	4.06	4.06	4.11	8.20
	-77.5	0.295	0.295	0.294	-77.5	3.56	3.56	3.51	3.54	7.61
	-117.5	0.275	0.282	0.28	-117.5	2.54	2.90	2.79	2.74	6.70
Average velocity =									7.66	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
1.3	117.5	0.28	0.275	0.3	117.5	2.79	2.54	3.81	3.05	7.06
	77.5	0.302	0.3	0.3	77.5	3.91	3.81	3.81	3.84	7.93
	37.5	0.32	0.32	0.318	37.5	4.83	4.83	4.72	4.79	8.85
	0	0.325	0.325	0.328	0	5.08	5.08	5.23	5.13	9.16
	-37.5	0.32	0.32	0.32	-37.5	4.83	4.83	4.83	4.83	8.88
	-77.5	0.3	0.305	0.305	-77.5	3.81	4.06	4.06	3.98	8.07
	-117.5	0.285	0.29	0.295	-117.5	3.05	3.30	3.56	3.30	7.35
Average velocity =									8.18	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
0.25	117.5	0.28	0.274	0.272	117.5	2.79	2.49	2.39	2.56	6.47
	77.5	0.29	0.29	0.29	77.5	3.30	3.30	3.30	3.30	7.35
	37.5	0.302	0.302	0.3	37.5	3.91	3.91	3.81	3.88	7.96
	0	0.308	0.305	0.305	0	4.22	4.06	4.06	4.11	8.20
	-37.5	0.305	0.302	0.3	-37.5	4.06	3.91	3.81	3.93	8.01
	-77.5	0.29	0.29	0.29	-77.5	3.30	3.30	3.30	3.30	7.35
	-117.5	0.276	0.275	0.275	-117.5	2.59	2.54	2.54	2.56	6.47
Average velocity =									7.40	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
0.15	117.5	0.268	0.26	0.26	117.5	2.18	1.78	1.78	1.91	5.59
	77.5	0.28	0.28	0.28	77.5	2.79	2.79	2.79	2.79	6.76
	37.5	0.298	0.295	0.295	37.5	3.71	3.56	3.56	3.61	7.68
	0	0.295	0.295	0.295	0	3.56	3.56	3.56	3.56	7.62
	-37.5	0.295	0.295	0.295	-37.5	3.56	3.56	3.56	3.56	7.62
	-77.5	0.28	0.28	0.28	-77.5	2.79	2.79	2.79	2.79	6.76
	-117.5	0.245	0.245	0.245	-117.5	1.02	1.02	1.02	1.02	4.08
Average velocity =									6.59	

Lampiran 2: Data pada 1750 fpm menggunakan *flow straightener*

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
6	117.5	0.308	0.305	0.302	117.50	4.22	4.06	3.91	4.06	8.15
	77.5	0.33	0.332	0.332	77.50	5.33	5.44	5.44	5.40	9.40
	37.5	0.342	0.345	0.342	37.50	5.94	6.10	5.94	5.99	9.90
	0	0.35	0.349	0.348	0.00	6.35	6.30	6.25	6.30	10.15
	-37.5	0.34	0.34	0.34	-37.50	5.84	5.84	5.84	5.84	9.77
	-77.5	0.325	0.323	0.323	-77.50	5.08	4.98	4.98	5.01	9.05
	-117.5	0.283	0.29	0.29	-117.50	2.95	3.30	3.30	3.18	7.21
Average velocity =									9.09	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
3.7	117.5	0.29	0.29	0.3	117.50	3.30	3.30	3.81	3.47	7.53
	77.5	0.32	0.312	0.32	77.50	4.83	4.42	4.83	4.69	8.76
	37.5	0.332	0.33	0.345	37.50	5.44	5.33	6.10	5.62	9.59
	0	0.34	0.335	0.335	0.00	5.84	5.59	5.59	5.67	9.63
	-37.5	0.33	0.328	0.33	-37.50	5.33	5.23	5.33	5.30	9.31
	-77.5	0.31	0.31	0.315	-77.50	4.32	4.32	4.57	4.40	8.48
	-117.5	0.28	0.285	0.285	-117.50	2.79	3.05	3.05	2.96	6.96
Average velocity =									8.61	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
1.3	117.5	0.29	0.3	0.3	117.50	3.30	3.81	3.81	3.64	7.72
	77.5	0.32	0.33	0.33	77.50	4.83	5.33	5.33	5.16	9.19
	37.5	0.35	0.35	0.35	37.50	6.35	6.35	6.35	6.35	10.19
	0	0.365	0.362	0.365	0.00	7.11	6.96	7.11	7.06	10.74
	-37.5	0.352	0.352	0.352	-37.50	6.45	6.45	6.45	6.45	10.27
	-77.5	0.33	0.33	0.335	-77.50	5.33	5.33	5.59	5.42	9.41
	-117.5	0.31	0.31	0.315	-117.50	4.32	4.32	4.57	4.40	8.48
Average velocity =									9.43	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
0.25	117.5	0.28	0.285	0.285	117.5	2.79	3.05	3.05	2.96	6.96
	77.5	0.31	0.31	0.31	77.5	4.32	4.32	4.32	4.32	8.40
	37.5	0.325	0.325	0.325	37.5	5.08	5.08	5.08	5.08	9.11
	0	0.33	0.332	0.33	0	5.33	5.44	5.33	5.37	9.37
	-37.5	0.325	0.33	0.325	-37.5	5.08	5.33	5.08	5.16	9.19
	-77.5	0.31	0.31	0.31	-77.5	4.32	4.32	4.32	4.32	8.40
	-117.5	0.28	0.282	0.28	-117.5	2.79	2.90	2.79	2.83	6.80
Average velocity =									8.32	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
0.15	117.5	0.265	0.27	0.275	117.5	2.03	2.29	2.54	2.29	6.11
	77.5	0.3	0.3	0.3	77.5	3.81	3.81	3.81	3.81	7.89
	37.5	0.32	0.325	0.325	37.5	4.83	5.08	5.08	5.00	9.04
	0	0.33	0.325	0.322	0	5.33	5.08	4.93	5.11	9.14
	-37.5	0.325	0.325	0.318	-37.5	5.08	5.08	4.72	4.96	9.01
	-77.5	0.3	0.302	0.305	-77.5	3.81	3.91	4.06	3.93	8.01
	-117.5	0.255	0.252	0.24	-117.5	1.52	1.37	0.76	1.22	4.46
Average velocity =									7.67	

Lampiran 3: Data pada 2000 fpm menggunakan *flow straightener*

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
6	117.5	0.335	0.33	0.335	117.50	5.59	5.33	5.59	5.50	9.49
	77.5	0.37	0.37	0.375	77.50	7.37	7.37	7.62	7.45	11.04
	37.5	0.392	0.391	0.392	37.50	8.48	8.43	8.48	8.47	11.77
	0	0.398	0.398	0.398	0.00	8.79	8.79	8.79	8.79	11.99
	-37.5	0.385	0.385	0.385	-37.50	8.13	8.13	8.13	8.13	11.53
	-77.5	0.361	0.365	0.365	-77.50	6.91	7.11	7.11	7.04	10.73
	-117.5	0.31	0.312	0.31	-117.50	4.32	4.42	4.32	4.35	8.44
Average velocity =									10.71	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
3.7	117.5	0.321	0.315	0.32	117.50	4.88	4.57	4.83	4.76	8.82
	77.5	0.36	0.355	0.355	77.50	6.86	6.60	6.60	6.69	10.46
	37.5	0.378	0.372	0.375	37.50	7.77	7.47	7.62	7.62	11.16
	0	0.38	0.38	0.38	0.00	7.87	7.87	7.87	7.87	11.35
	-37.5	0.37	0.368	0.37	-37.50	7.37	7.26	7.37	7.33	10.95
	-77.5	0.35	0.348	0.35	-77.50	6.35	6.25	6.35	6.32	10.16
	-117.5	0.295	0.3	0.3	-117.50	3.56	3.81	3.81	3.73	7.80
Average velocity =									10.10	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
1.3	117.5	0.32	0.322	0.325	117.50	4.83	4.93	5.08	4.94	8.99
	77.5	0.36	0.37	0.36	77.50	6.86	7.37	6.86	7.03	10.72
	37.5	0.395	0.4	0.4	37.50	8.64	8.89	8.89	8.81	12.00
	0	0.41	0.41	0.415	0.00	9.40	9.40	9.65	9.48	12.45
	-37.5	0.398	0.4	0.4	-37.50	8.79	8.89	8.89	8.86	12.03
	-77.5	0.37	0.37	0.375	-77.50	7.37	7.37	7.62	7.45	11.04
	-117.5	0.34	0.34	0.34	-117.50	5.84	5.84	5.84	5.84	9.77
Average velocity =									11.00	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
0.25	117.5	0.302	0.3	0.3	117.5	3.91	3.81	3.81	3.84	7.93
	77.5	0.34	0.34	0.34	77.5	5.84	5.84	5.84	5.84	9.77
	37.5	0.362	0.362	0.362	37.5	6.96	6.96	6.96	6.96	10.67
	0	0.372	0.372	0.372	0	7.47	7.47	7.47	7.47	11.05
	-37.5	0.368	0.37	0.368	-37.5	7.26	7.37	7.26	7.30	10.92
	-77.5	0.34	0.34	0.345	-77.5	5.84	5.84	6.10	5.93	9.84
	-117.5	0.288	0.29	0.29	-117.5	3.20	3.30	3.30	3.27	7.31
Average velocity =									9.64	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
0.15	117.5	0.28	0.28	0.28	117.5	2.79	2.79	2.79	2.79	6.76
	77.5	0.332	0.33	0.335	77.5	5.44	5.33	5.59	5.45	9.44
	37.5	0.365	0.365	0.365	37.5	7.11	7.11	7.11	7.11	10.78
	0	0.365	0.37	0.37	0	7.11	7.37	7.37	7.28	10.91
	-37.5	0.365	0.362	0.365	-37.5	7.11	6.96	7.11	7.06	10.74
	-77.5	0.33	0.332	0.335	-77.5	5.33	5.44	5.59	5.45	9.44
	-117.5	0.255	0.265	0.255	-117.5	1.52	2.03	1.52	1.69	5.26
Average velocity =									9.05	

Lampiran 4: Data pada 1500 fpm tanpa menggunakan *flow straightener*

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
6	117.5	0.285	0.275	0.28	117.50	3.05	2.54	2.79	2.79	6.76
	77.5	0.295	0.295	0.295	77.50	3.56	3.56	3.56	3.56	7.62
	37.5	0.31	0.305	0.305	37.50	4.32	4.06	4.06	4.15	8.24
	0	0.31	0.308	0.305	0.00	4.32	4.22	4.06	4.20	8.29
	-37.5	0.305	0.305	0.305	-37.50	4.06	4.06	4.06	4.06	8.15
	-77.5	0.298	0.295	0.295	-77.50	3.71	3.56	3.56	3.61	7.68
	-117.5	0.275	0.275	0.27	-117.50	2.54	2.54	2.29	2.46	6.34
Average velocity =									7.58	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
3.7	117.5	0.26	0.265	0.265	117.50	1.78	2.03	2.03	1.95	5.64
	77.5	0.29	0.29	0.288	77.50	3.30	3.30	3.20	3.27	7.31
	37.5	0.29	0.295	0.295	37.50	3.30	3.56	3.56	3.47	7.53
	0	0.295	0.295	0.295	0.00	3.56	3.56	3.56	3.56	7.62
	-37.5	0.295	0.295	0.295	-37.50	3.56	3.56	3.56	3.56	7.62
	-77.5	0.29	0.29	0.29	-77.50	3.30	3.30	3.30	3.30	7.35
	-117.5	0.265	0.265	0.268	-117.50	2.03	2.03	2.18	2.08	5.84
Average velocity =									6.99	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
1.3	117.5	0.282	0.282	0.282	117.50	2.90	2.90	2.90	2.90	6.88
	77.5	0.298	0.298	0.298	77.50	3.71	3.71	3.71	3.71	7.79
	37.5	0.3	0.3	0.3	37.50	3.81	3.81	3.81	3.81	7.89
	0	0.3	0.3	0.3	0.00	3.81	3.81	3.81	3.81	7.89
	-37.5	0.3	0.3	0.3	-37.50	3.81	3.81	3.81	3.81	7.89
	-77.5	0.302	0.3	0.302	-77.50	3.91	3.81	3.91	3.88	7.96
	-117.5	0.292	0.292	0.292	-117.50	3.40	3.40	3.40	3.40	7.46
Average velocity =									7.68	

Lampiran 5: Data pada 1750 fpm tanpa menggunakan *flow straightener*

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
6	117.5	0.29	0.295	0.29	117.50	3.30	3.56	3.30	3.39	7.44
	77.5	0.325	0.328	0.325	77.50	5.08	5.23	5.08	5.13	9.16
	37.5	0.338	0.34	0.335	37.50	5.74	5.84	5.59	5.72	9.67
	0	0.34	0.34	0.338	0.00	5.84	5.84	5.74	5.81	9.74
	-37.5	0.34	0.335	0.335	-37.50	5.84	5.59	5.59	5.67	9.63
	-77.5	0.325	0.325	0.325	-77.50	5.08	5.08	5.08	5.08	9.11
	-117.5	0.29	0.29	0.282	-117.50	3.30	3.30	2.90	3.17	7.20
Average velocity =									8.85	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
3.7	117.5	0.28	0.28	0.28	117.50	2.79	2.79	2.79	2.79	6.76
	77.5	0.31	0.31	0.31	77.50	4.32	4.32	4.32	4.32	8.40
	37.5	0.32	0.32	0.32	37.50	4.83	4.83	4.83	4.83	8.88
	0	0.32	0.32	0.32	0.00	4.83	4.83	4.83	4.83	8.88
	-37.5	0.318	0.32	0.32	-37.50	4.72	4.83	4.83	4.79	8.85
	-77.5	0.315	0.31	0.31	-77.50	4.57	4.32	4.32	4.40	8.48
	-117.5	0.28	0.28	0.285	-117.50	2.79	2.79	3.05	2.88	6.86
Average velocity =									8.16	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
1.3	117.5	0.305	0.31	0.31	117.50	4.06	4.32	4.32	4.23	8.32
	77.5	0.32	0.325	0.322	77.50	4.83	5.08	4.93	4.94	8.99
	37.5	0.33	0.328	0.327	37.50	5.33	5.23	5.18	5.25	9.26
	0	0.33	0.33	0.33	0.00	5.33	5.33	5.33	5.33	9.34
	-37.5	0.332	0.33	0.33	-37.50	5.44	5.33	5.33	5.37	9.37
	-77.5	0.335	0.332	0.331	-77.50	5.59	5.44	5.38	5.47	9.46
	-117.5	0.318	0.315	0.318	-117.50	4.72	4.57	4.72	4.67	8.74
Average velocity =									9.07	

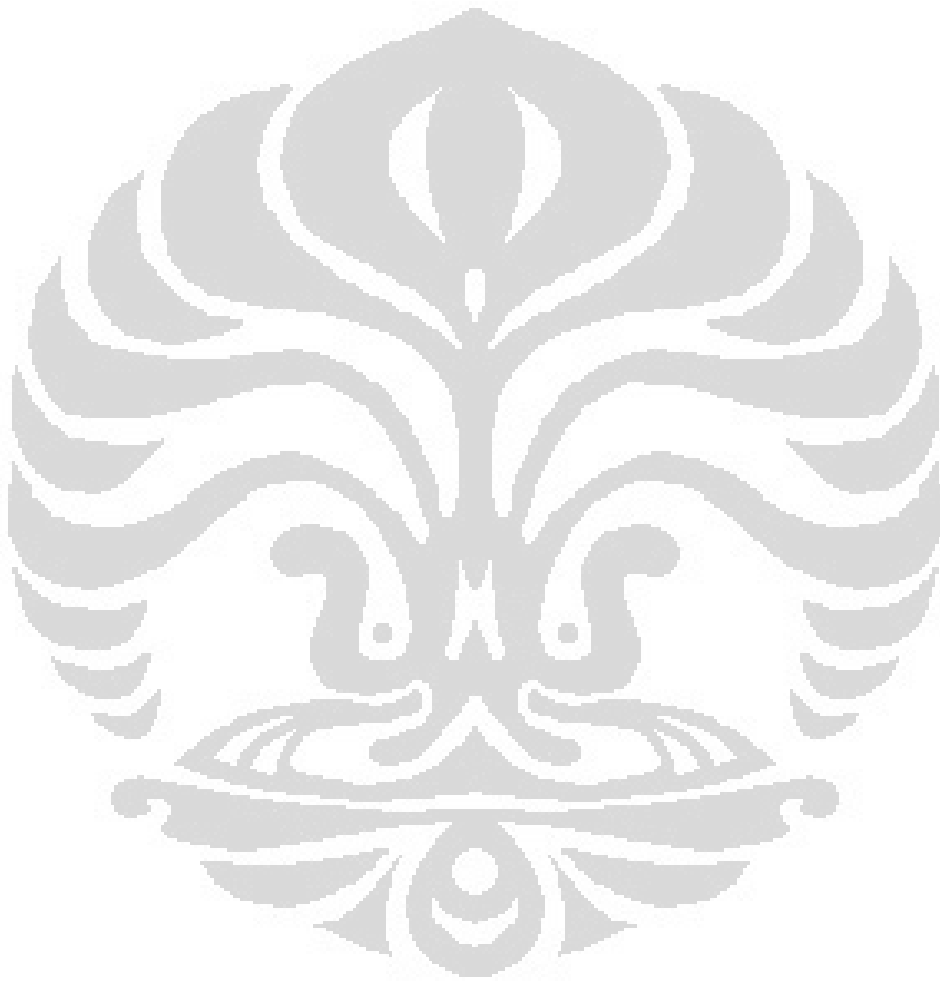
Lampiran 6: Data pada 1750 fpm tanpa menggunakan *flow straightener*

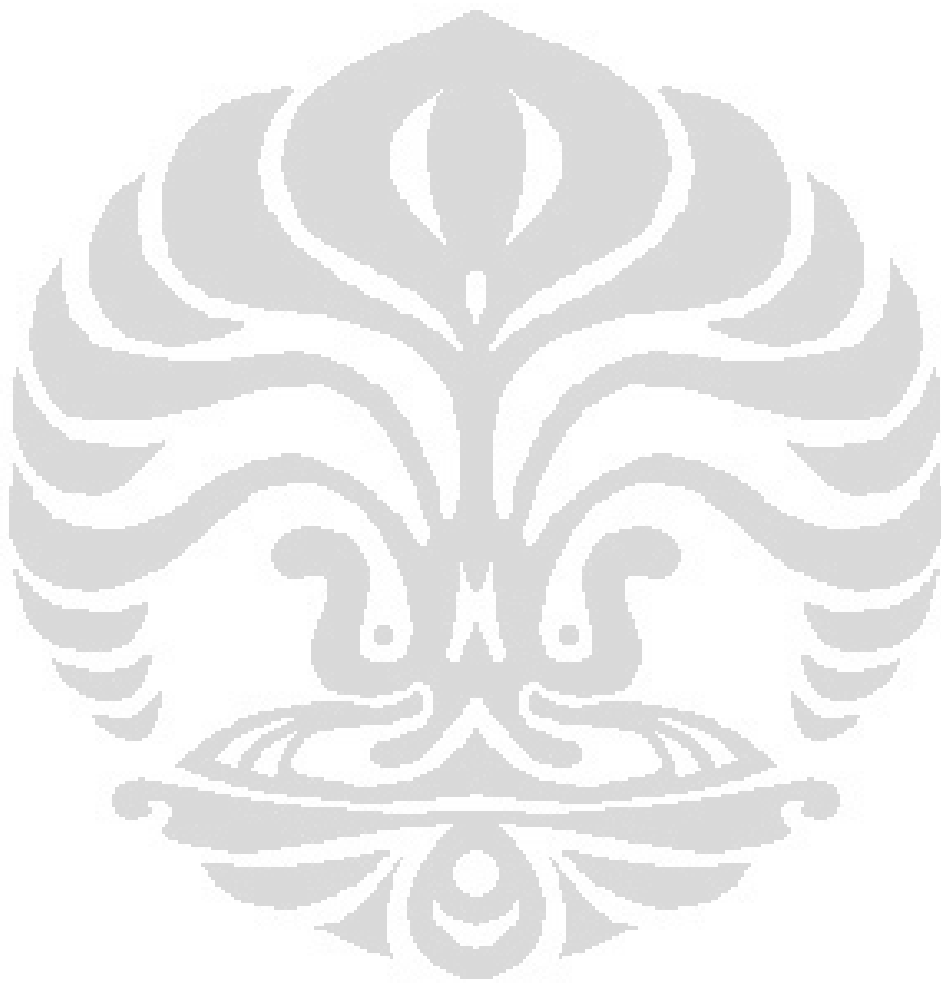
distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
6	117.5	0.31	0.312	0.315	117.50	4.32	4.42	4.57	4.44	8.52
	77.5	0.36	0.365	0.36	77.50	6.86	7.11	6.86	6.94	10.65
	37.5	0.38	0.384	0.38	37.50	7.87	8.08	7.87	7.94	11.40
	0	0.385	0.388	0.385	0.00	8.13	8.28	8.13	8.18	11.56
	-37.5	0.382	0.382	0.38	-37.50	7.98	7.98	7.87	7.94	11.40
	-77.5	0.36	0.365	0.36	-77.50	6.86	7.11	6.86	6.94	10.65
	-117.5	0.295	0.3	0.298	-117.50	3.56	3.81	3.71	3.69	7.77
Average velocity =									10.28	

distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
3.7	117.5	0.302	0.3	0.3	117.50	3.91	3.81	3.81	3.84	7.93
	77.5	0.35	0.35	0.35	77.50	6.35	6.35	6.35	6.35	10.19
	37.5	0.355	0.355	0.36	37.50	6.60	6.60	6.86	6.69	10.46
	0	0.36	0.36	0.36	0.00	6.86	6.86	6.86	6.86	10.59
	-37.5	0.355	0.36	0.362	-37.50	6.60	6.86	6.96	6.81	10.55
	-77.5	0.35	0.35	0.35	-77.50	6.35	6.35	6.35	6.35	10.19
	-117.5	0.3	0.302	0.3	-117.50	3.81	3.91	3.81	3.84	7.93
Average velocity =									9.69	

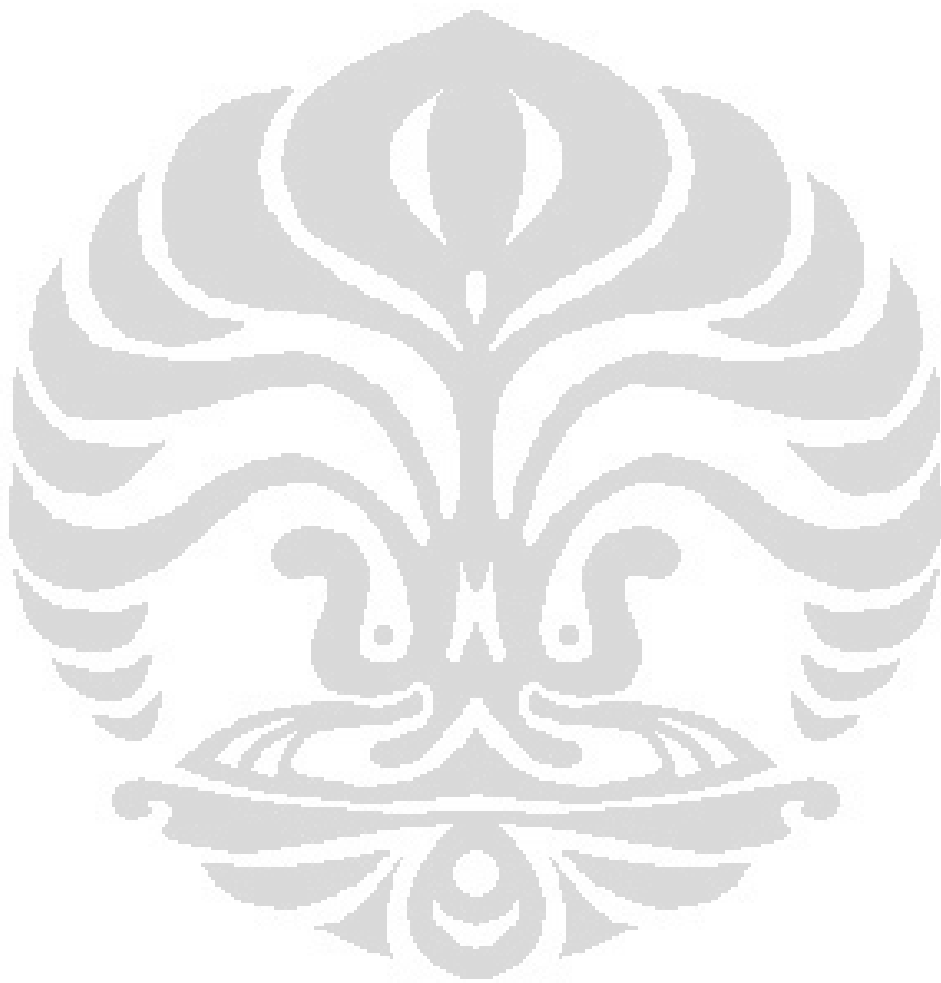
distance (m)	reading				calculated					
	y pos (mm)	q1 (in. H2O)	q2 (in. H2O)	q3 (in. H2O)	ypos (mm)	q1 (mm H2O)	q2 (mm H2O)	q3 (mm H2O)	average	velocity (m/s)
1.3	117.5	0.325	0.325	0.33	117.50	5.08	5.08	5.33	5.16	9.19
	77.5	0.355	0.355	0.355	77.50	6.60	6.60	6.60	6.60	10.39
	37.5	0.36	0.36	0.363	37.50	6.86	6.86	7.01	6.91	10.63
	0	0.36	0.355	0.362	0.00	6.86	6.60	6.96	6.81	10.55
	-37.5	0.37	0.368	0.368	-37.50	7.37	7.26	7.26	7.30	10.92
	-77.5	0.37	0.37	0.37	-77.50	7.37	7.37	7.37	7.37	10.97
	-117.5	0.35	0.35	0.35	-117.50	6.35	6.35	6.35	6.35	10.19
Average velocity =									10.41	

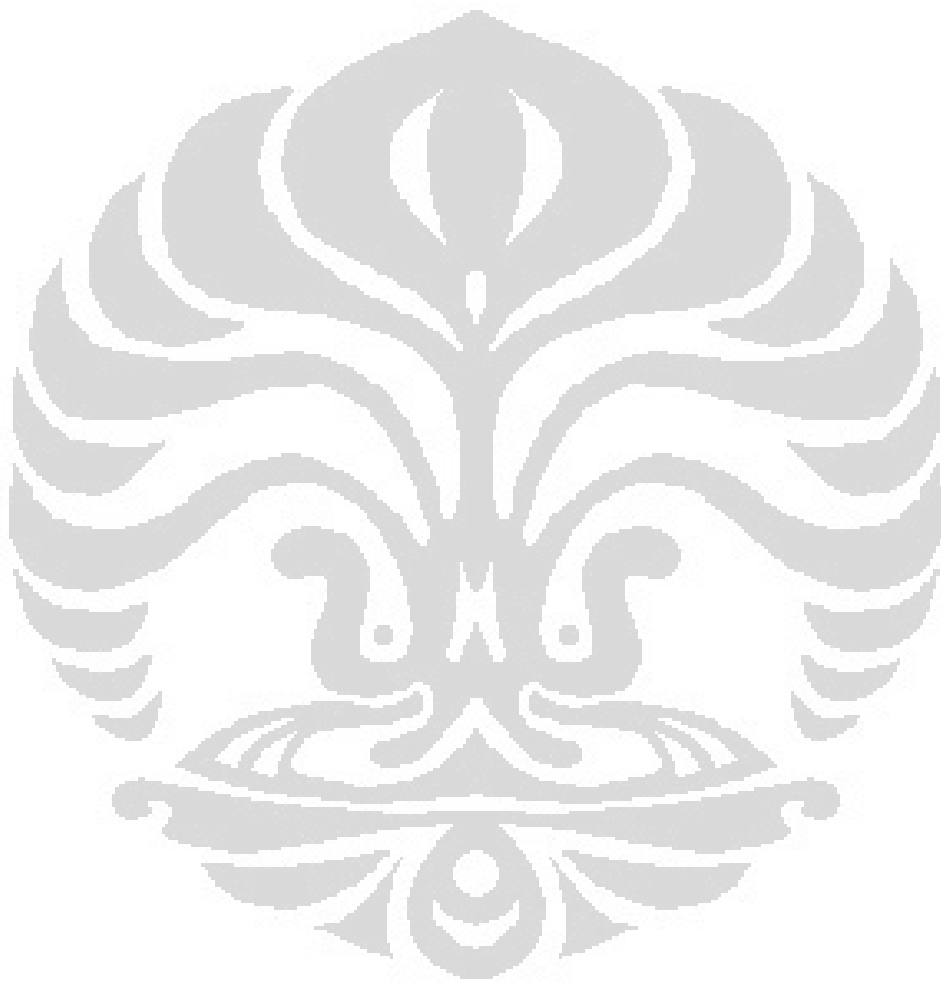
Lampiran 7: ASTM D737-04

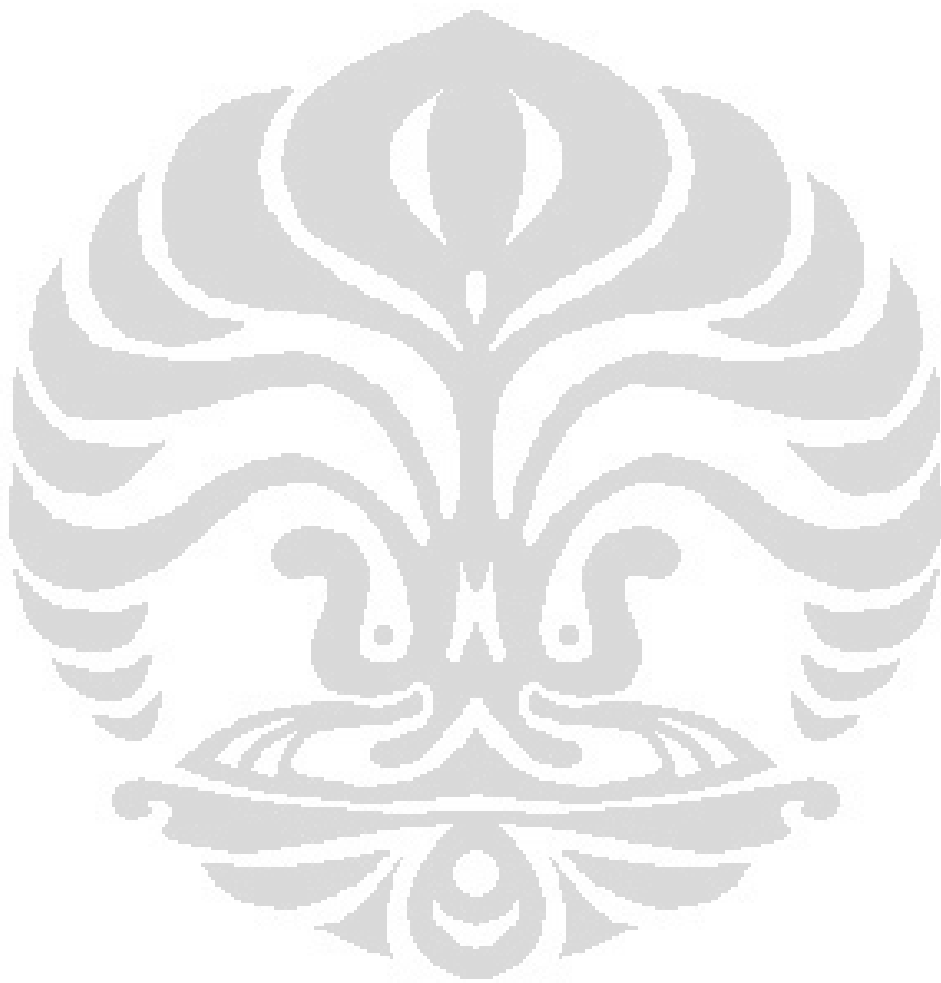












Lampiran 8: Manual *Airflow Demonstration Apparatus*

