



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KERUGIAN GESEK PADA *TEXTILE DUCTING*
BERBAHAN TASLAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**DICKY JANUARIZKY SILITONGA
0405020235**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

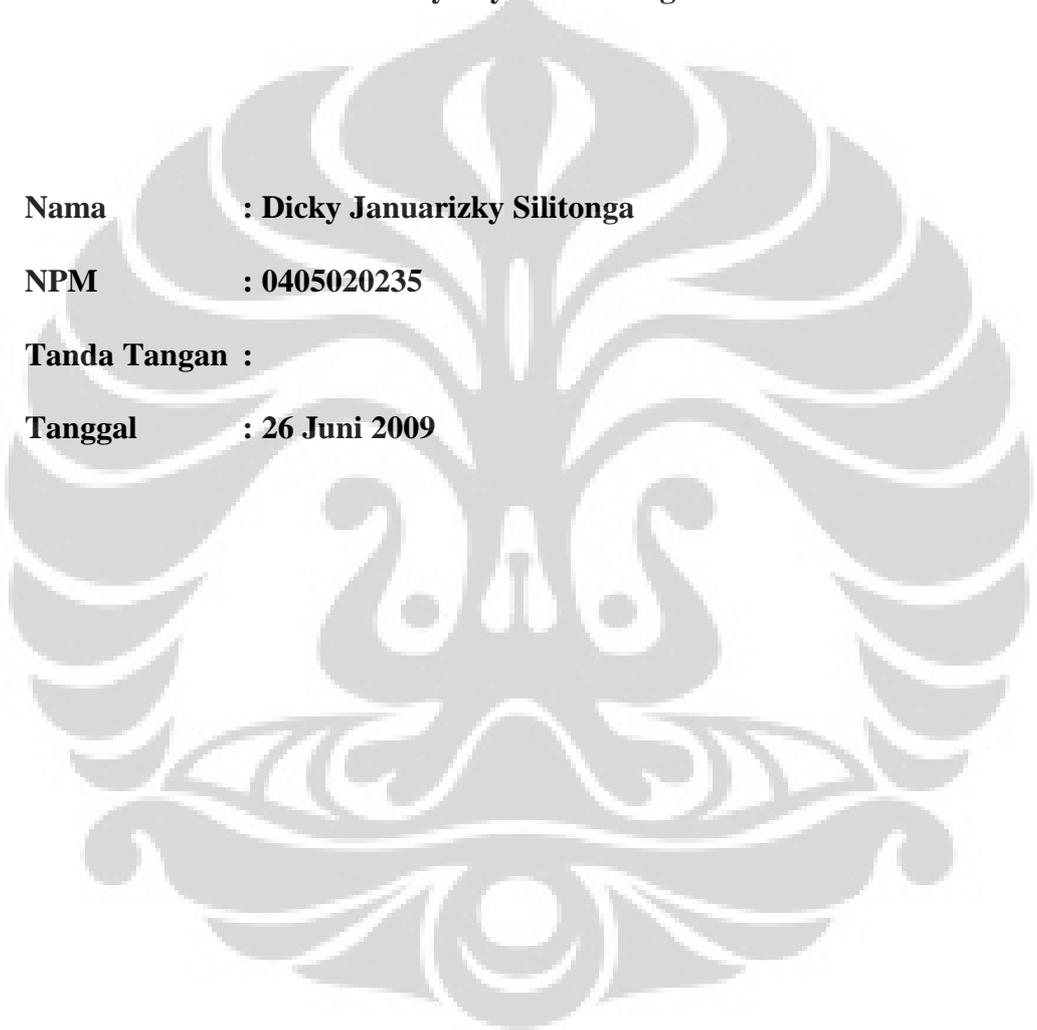
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Dicky Januarizky Silitonga

NPM : 0405020235

Tanda Tangan :

Tanggal : 26 Juni 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dicky Januarizky Silitonga
NPM : 0405020235
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Kerugian Gesek 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 : Dr. Ir. Warjito, M.Eng. ()
Pembimbing : Ir. Rusdy Malin, MME. ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, M.Sc ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M. Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, maka skripsi ini dapat terselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini merupakan sebagian dari proyek penelitian *Local Textile Ducting* yang melibatkan beberapa peneliti.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

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

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan baik material maupun moral. Akhir kata, semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 26 Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : Dicky Januarizky Silitonga

NPM : 0405020235

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 :

Analisis Kerugian Gesek Pada *Textile Ducting* Berbahan Taslan

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 : 26 Juni 2009

Yang menyatakan,

(Dicky Januarizky Silitonga)

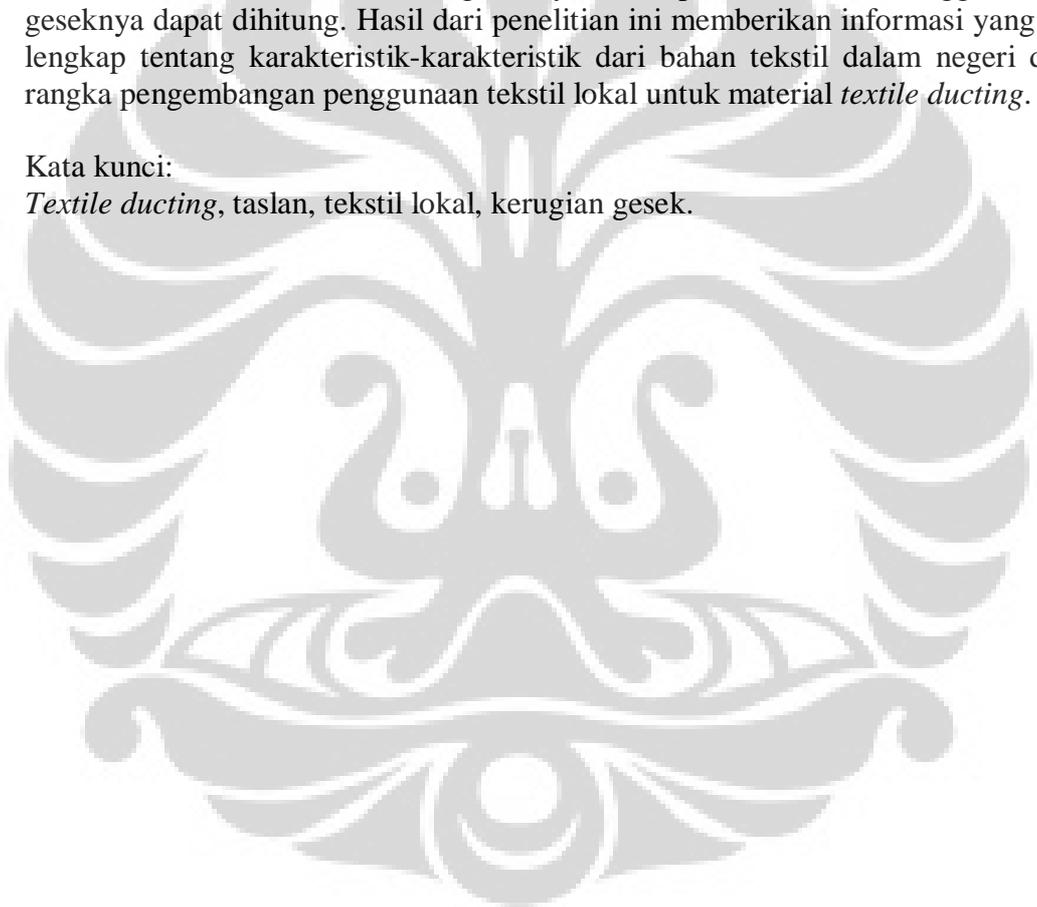
ABSTRAK

Nama : Dicky Januarizky Silitonga
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Kerugian Gesek Pada *Textile Ducting* Berbahan Taslan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kerugian gesek dari salah satu bahan tekstil lokal, yaitu taslan, yang digunakan sebagai material untuk *textile ducting*. Eksperimen kerugian gesek ini dilakukan dengan memasang beberapa *pressure tap* pada dinding *duct* untuk mengukur besarnya jatuh tekanan antara *tap-tap* tersebut. Dari eksperimen ini, nilai faktor gesek (f) dari *textile duct* berbahan taslan untuk suatu bilangan Reynolds dapat ditentukan sehingga kerugian geseknya dapat dihitung. Hasil dari penelitian ini memberikan informasi yang lebih lengkap tentang karakteristik-karakteristik dari bahan tekstil dalam negeri dalam rangka pengembangan penggunaan tekstil lokal untuk material *textile ducting*.

Kata kunci:

Textile ducting, taslan, tekstil lokal, kerugian gesek.



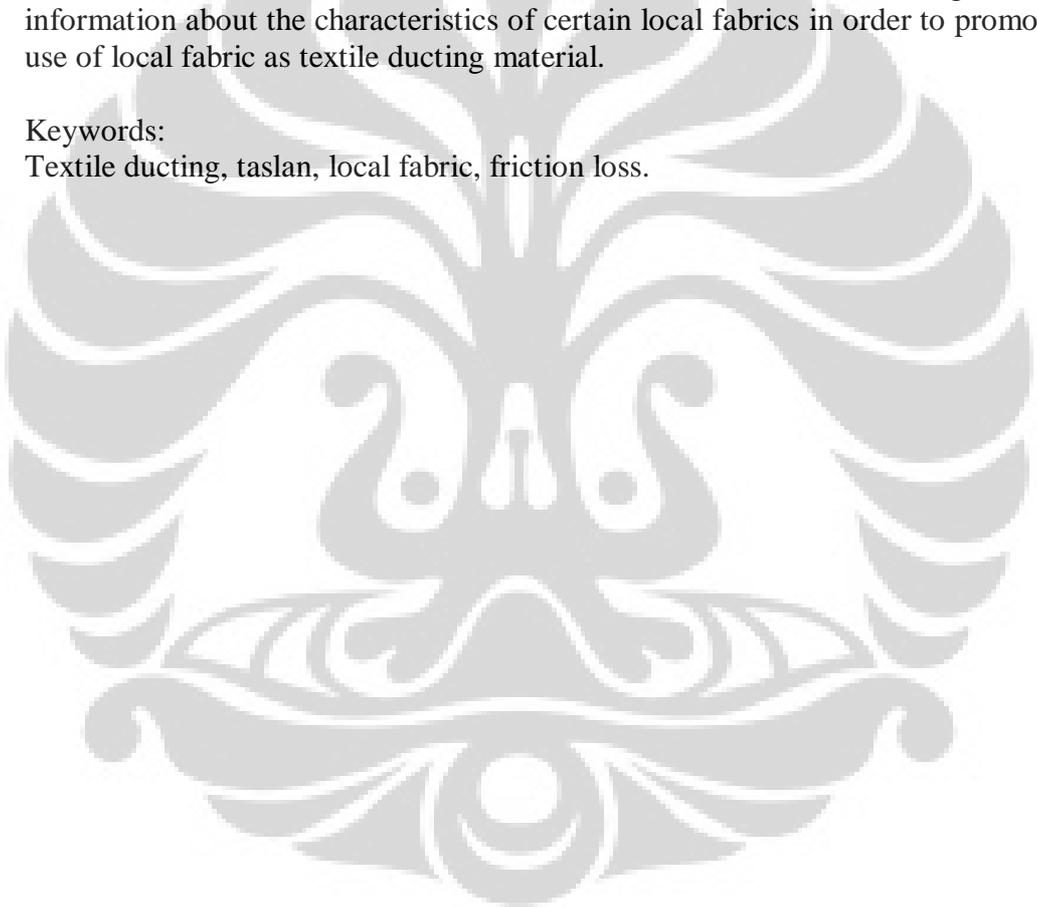
ABSTRACT

Name : Dicky Januarizky Silitonga
Study Program: Mechanical Engineering
Title : Friction Loss Analysis of Taslan Textile Ducting

The purpose of this research is to find out the friction loss characteristic of a local fabric, namely taslan, used as material for textile ducting. This friction loss experiment is conducted by putting several flush mounted pressure taps on the duct to measure the pressure drop between the taps. As the result of this experiment, the friction factor value (f) of taslan textile duct for certain Reynolds number can be determined, thus the friction loss can be calculated. These results give further information about the characteristics of certain local fabrics in order to promote the use of local fabric as textile ducting material.

Keywords:

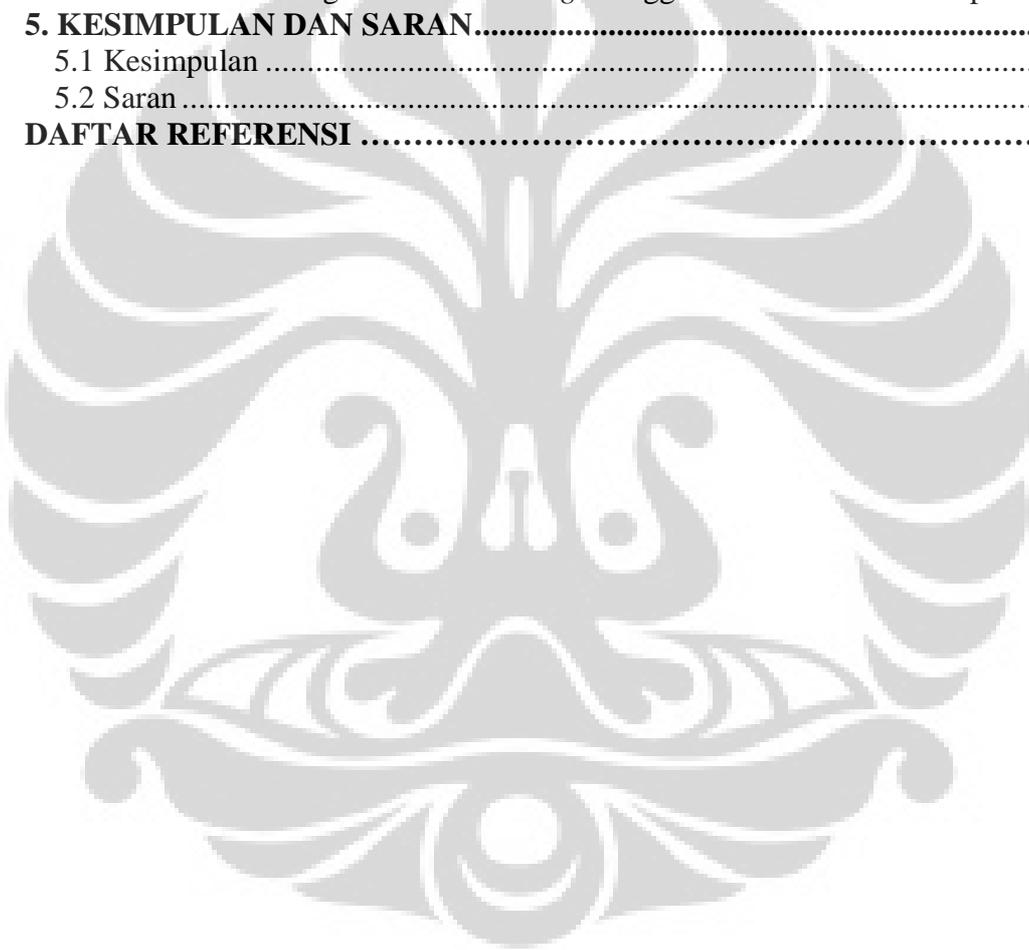
Textile ducting, taslan, local fabric, friction loss.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
1. PENDAHULUAN	1
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
2. DASAR TEORI.....	5
2.1 Teori Dasar Aliran Udara.....	5
2.1.1 Bentuk Aliran Udara	5
2.1.2 Pengukuran Aliran	6
2.1.2.1 <i>Orifice meter</i>	7
2.1.2.2 <i>Pitot-static tube</i>	8
2.1.3 Permeabilitas Udara	10
2.2 Aliran Udara Dalam Pipa.....	11
2.2.1 Entrance Region dan Fully Developed Flow.....	11
2.2.2 Friction Factor.....	13
2.3 Sistem Pengkondisian Udara	16
2.4 Perencanaan Sistem Ducting.....	17
2.4.1 Kecepatan Aliran Udara	17
2.4.2 Heat Gain/Loss	18
2.4.3 Material dan Head Loss.....	18
2.4.4 Tekanan Statik	18
2.5 Textile Ducting.....	19
2.6 Kelebihan Dan Kekurangan Textile Ducting.....	20
2.7 Klasifikasi Textile Ducting.....	22
2.7.1 Low Throw	22
2.7.2 Comfort Flow.....	23
2.7.3 High Throw.....	23
2.8 Suspensi Untuk Textile Ducting	24
2.9 Perancangan Textile Ducting	24
2.9.1 Tekanan Dalam Textile Ducting.....	24
2.9.1.1 Inlet Static Pressure.....	25
2.9.1.2 Velocity Pressure	25
2.9.1.3 Friction Loss.....	26
2.9.2 Orientasi Outlet Ducting	27

2.9.3 Perancangan Orifis Textile Ducting Tipe High Throw	28
2.9.4 Contoh Perencanaan Textile Ducting	30
3. PERANCANGAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN	32
3.1 Perancangan Alat Pengujian	32
3.1.1 Desain Textile Ducting	34
3.1.2 Material Textile Ducting	36
3.2 Prosedur Pengujian	38
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Kerugian Gesek (<i>Friction Loss</i>) Pada <i>Textile Duct Taslan</i>	41
4.1.1 Nilai Faktor Gesekan f dari Textile Duct Taslan	42
4.1.2 Prediksi Friction Loss Chart untuk Textile Duct Taslan.....	45
4.2 Perbandingan Dengan Data <i>Textile Duct</i> yang Ada di Pasaran	47
4.3 Contoh Perancangan <i>Textile Ducting</i> Menggunakan Data Hasil Eksperimen. 48	
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52
DAFTAR REFERENSI	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram alir metode penelitian <i>friction loss</i> 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 Orifice meter dan venturi meter	6
Gambar 2.4 Konstruksi <i>orifice meter</i>	7
Gambar 2.5 <i>Orifice meter discharge coefficient</i>	8
Gambar 2.6 <i>Pitot-static tube</i>	9
Gambar 2.7 Desain <i>pressure tap</i>	10
Gambar 2.8 Pola aliran dalam sistem pemipaan	12
Gambar 2.9 Distribusi tekanan pada pipa horizontal	13
Gambar 2.10 Aliran pada dinding pipa yang lembut dan kasar	14
Gambar 2.11 Perbandingan distribusi udara <i>metal ducting</i> dan <i>textile ducting</i>	19
Gambar 2.12 Contoh beberapa aplikasi <i>textile ducting</i>	20
Gambar 2.13 Perbandingan antara biaya <i>textile ducting</i> dengan <i>metal ducting</i>	21
Gambar 2.14 Model <i>low throw</i>	22
Gambar 2.15 Model <i>comfort flow</i>	23
Gambar 2.16 Model <i>high throw</i>	23
Gambar 2.17 Suspensi.....	24
Gambar 2.18 Orientasi <i>outlet</i> pada <i>textile duct</i>	27
Gambar 2.19 Pengaruh orientasi <i>outlet</i> terhadap jangkauan aliran (<i>throw</i>)	28
Gambar 2.20 <i>Orifice</i> pada tipe <i>high throw</i>	28
Gambar 3.1 <i>Air flow demonstration apparatus</i>	32
Gambar 3.2 <i>evaporator</i> pada <i>suction apparatus</i>	33
Gambar 3.3 Skema jalur masuk udara	33
Gambar 3.4 <i>evaporator</i> dan <i>drift eliminator</i>	34
Gambar 3.5 Alat pengujian.....	34
Gambar 3.6 Penempatan <i>pressure tap</i>	35
Gambar 3.7 Skema pemasangan <i>pressure tap</i> pada <i>textile duct</i>	35
Gambar 3.8 <i>Flow straightener</i> pada alat pengujian	36
Gambar 3.9 <i>Stand</i> dan <i>ring</i>	36
Gambar 3.10 Alat sel permeasi	37
Gambar 3.11 Prinsip kerja alat sel permeasi	38
Gambar 3.12 <i>Manifold</i>	39
Gambar 3.13 <i>Inclined manometer</i>	39
Gambar 3.14 Prinsip kerja <i>incline manometer</i>	40
Gambar 3.15 Alur pengujian <i>pressure drop</i>	40
Gambar 4.1 Variasi tekanan sepanjang <i>textile duct</i>	41
Gambar 4.2 Plot nilai <i>f</i> teoritis dengan nilai <i>f</i> eksperimen pada <i>Moody Chart</i>	44
Gambar 4.3 <i>Friction chart</i> untuk <i>textile duct</i> taslan	46
Gambar 4.4 Grafik variasi perubahan tekanan terhadap jarak	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Solubilitas beberapa molekul gas pada suhu tertentu	11
Tabel 2.2 Pemilihan ukuran <i>orifice</i>	29
Tabel 2.3 Contoh perhitungan perancangan <i>textile duct</i>	31
Tabel 4.1 Nilai <i>f</i> hasil eksperimen	42
Tabel 4.2 Nilai <i>f</i> untuk diplot ke <i>Moody chart</i>	43
Tabel 4.3 Contoh perancangan <i>textile duct</i> menggunakan data eksperimen	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. ASTM D737-04.....	55
Lampiran 2. <i>Airflow Demonstration Apparatus Instructions Manual</i>	60
Lampiran 3. <i>Moody chart</i>	66



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengkondisian udara (*air conditioning*) merupakan salah satu sistem yang penting pada sebuah gedung. Kondisi udara, 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 di suatu ruangan untuk mendinginkan ruangan tersebut, atau dapat juga berupa AC *central* yang mana udara dingin 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, maka dengan pemilihan 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 materialnya berasal

dari dalam negeri yang tentunya akan relatif lebih murah harganya dibandingkan dengan tekstil impor, dengan kualitas yang tidak kalah baiknya.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui besarnya kerugian gesek (*friction loss*) pada *textile ducting*, dalam hal ini *textile ducting* dengan material tekstil lokal. Dengan data-data yang diperoleh dan analisis yang dilakukan terhadap data-data tersebut maka nantinya akan diperoleh informasi mengenai karakteristik kerugian gesek pada *textile duct* yang diujikan. Informasi ini penting untuk diketahui karena kerugian gesek merupakan salah satu faktor yang diperhitungkan dalam perancangan instalasi *textile ducting* misalnya untuk merancang panjang *duct*, diameter *duct*, serta jumlah *orifice* pada *textile ducting* jenis *high throw*.

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

1.3 Pembatasan Masalah

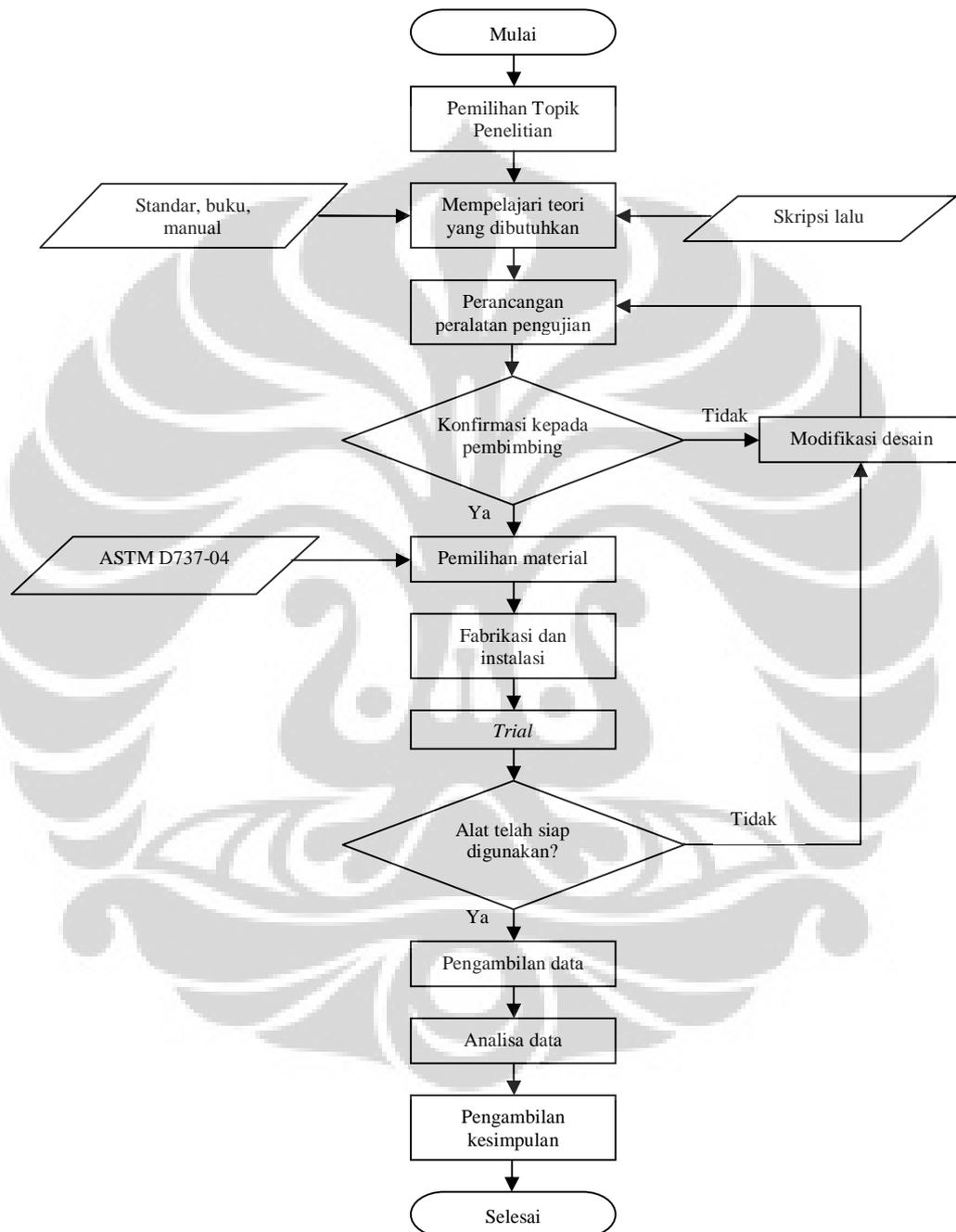
Berikut ini adalah pembatasan dari masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini:

- Bahan *textile duct* sudah ditentukan, yaitu Taslan dengan *coating* yang impermeabel terhadap udara.
- Jenis *textile ducting* dipilih adalah jenis *high-throw*.
- Ukuran diameter *textile duct* pada eksperimen adalah 24 cm.
- Kecepatan udara untuk pengujian adalah 1200 fpm sampai 2000 fpm.

1.4 Metodologi Penelitian

Penelitian *friction loss* pada *textile ducting* dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan alat yang tersedia dan telah dirancang sehingga sesuai dengan keperluan pengambilan data. Literatur yang digunakan diperoleh dari buku-buku, standar-standar internasional, buku-buku manual alat, skripsi-skripsi sebelumnya, serta informasi dari internet.

Pada penelitian *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 *friction loss* pada *textile ducting*

1.5 Sistematika Penulisan

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

- **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

- **BAB 2 DASAR TEORI**

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

- **BAB 3 PERANCANGAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN**

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

- **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

- **BAB 5 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 Dasar Aliran Udara

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

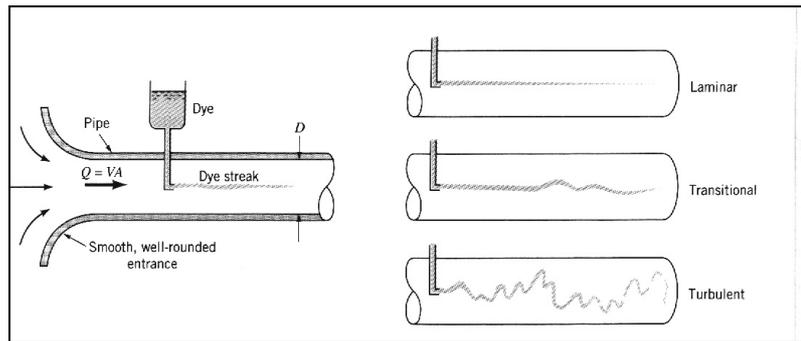
Variabel non-dimensional yang sangat berpengaruh dalam aliran udara adalah *Reynolds number*. *Reynolds number* merupakan ukuran rasio dari gaya inersia pada elemen fluida terhadap gaya viskos pada suatu elemen, didefinisikan sebagai berikut (Ref. 10)

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

yang mana ρ adalah massa jenis fluida, V kecepatan fluida, D adalah panjang karakteristik yang pada kasus aliran udara dalam pipa/*duct* merupakan diameter dalam pipa/*duct*, dan μ adalah viskositas fluida.

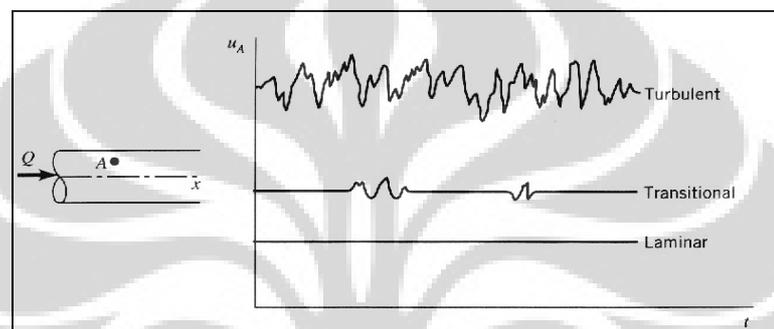
2.1.1 Bentuk Aliran Udara

Bentuk dan aliran udara dalam pipa dapat dibedakan menjadi tiga jenis aliran, yaitu aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen. Aliran laminar merupakan aliran udara yang bergerak dengan kecepatan konstan dan seragam, mempunyai nilai bilangan Reynolds < 2100 . Aliran transisi (transitional) merupakan gabungan dari aliran laminar dan turbulen, dengan bilangan Reynolds antara 2100 dan 4100. Aliran turbulen merupakan aliran udara yang mempunyai kecepatan berbeda-beda pada setiap titik, dengan bilangan Reynolds > 4100 . Berdasarkan bilangan Reynolds ini, maka semakin turbulen, yaitu semakin besar nilai bilangan Reynolds, maka faktor inersia dari aliran fluida semakin dominan dibandingkan dengan faktor viskositasnya, dan sebaliknya apabila bilangan Reynolds semakin kecil maka faktor viskositas dari fluida semakin besar pengaruhnya dibanding dengan inersianya.



Gambar 2. 1 Eksperimen untuk menggambarkan jenis aliran dalam pipa

(Ref. 10)

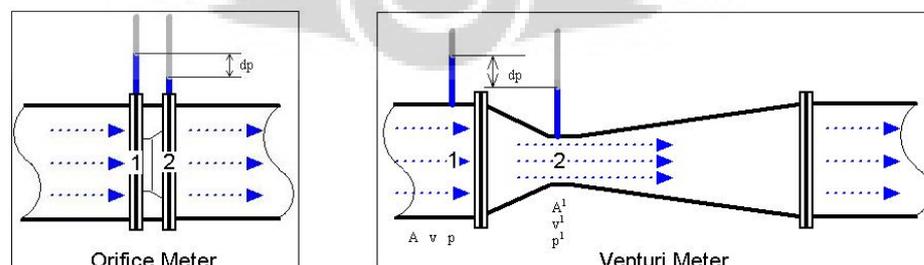


Gambar 2. 2 Variasi kecepatan di suatu titik terhadap waktu

(Ref. 10)

2.1.2 Pengukuran Aliran

Beberapa alat ukur yang biasa digunakan untuk mengukur aliran diantaranya *orifice meter*, *venturi meter*, serta *pitot tube*. Alat-alat tersebut mempunyai prinsip kerja yang serupa, peningkatan kecepatan mengakibatkan penurunan tekanan dan juga sebaliknya. Perbedaan di antara ketiganya adalah fungsi spesifik, harga, akurasi, dan kedekatan dengan kondisi aktual.



Gambar 2.3 Orifice meter dan venturi meter

(Ref. 13)

Apabila diambil kecepatan pada bagian (1) dan bagian (2), persamaannya akan menjadi: (Ref. 10)

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

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

Persamaan Bernoulli, dengan mengabaikan perbedaan ketinggian, dapat dituliskan sebagai berikut: (Ref. 10)

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

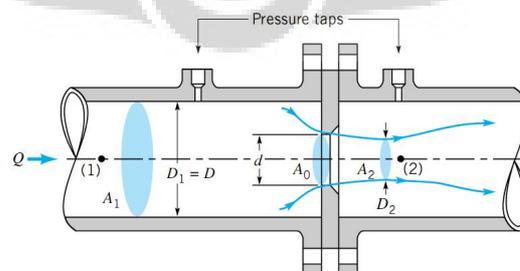
Kombinasi dari kedua persamaan ini akan menjadi: (Ref. 10)

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

Maka, aliran dapat ditentukan apabila nilai perbedaan tekanan bisa diperoleh. Aliran aktual akan lebih kecil dibandingkan dengan hasil yang didapat melalui perhitungan teoritis. 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 untuk mengukur aliran dalam pipa baik untuk gas maupun fluida cair, dan akan digunakan pada penelitian *textile ducting* ini adalah *orifice meter*. *Orifice meter* adalah pelat dengan lubang di tengahnya yang biasanya dijepit diantara *flange* dua buah pipa yang disambung (Gambar 2.4)



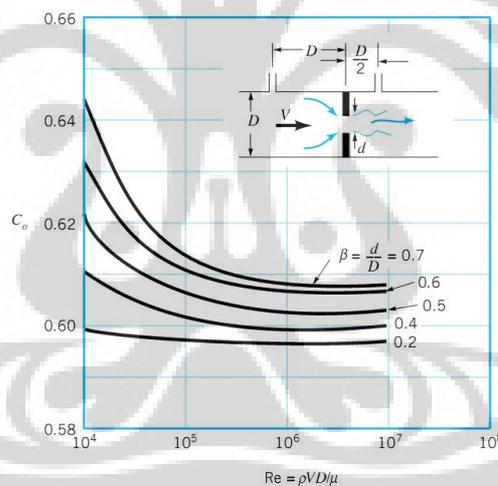
Gambar 2.4 Konstruksi *orifice meter*

(Ref. 10)

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 resirkulasi dekat pelat *orifice* akan mempengaruhi *head loss*. Besarnya laju aliran adalah (Ref. 10)

$$Q = C_o Q_{\text{ideal}} = C_o A_0 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad (2.5)$$

Dimana $A_0 = \pi d^2 / 4$ adalah luas penampang 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*, geometri lubang pelat *orifice* (*square* atau *beveled*) dan lain-lain). Kondisi *orifice* yang sangat presisi akan membuat pengukuran lebih akurat.

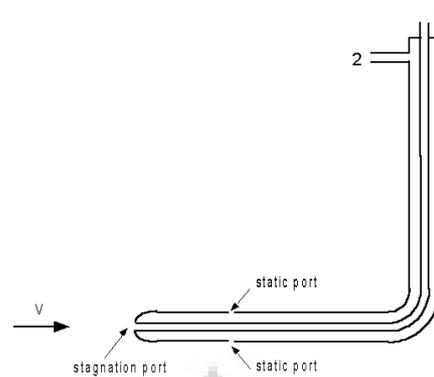


Gambar 2.5 Orifice meter discharge coefficient

(Ref. 10)

2.1.2.2 Pitot-static tube

Alat 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 yaitu tekanan dinamik.



Gambar 2.6 *Pitot-static tube*

(Ref. 15)

Dua pipa konsentris akan dihubungkan dengan dua alat pengukur tekanan sehingga beda tekanan p_1 dan p_2 ($p_1 - p_2$) dapat ditentukan. Pipa bagian tengah mengukur tekanan stagnasi, yaitu tekanan total yang besarnya adalah jumlah dari tekanan statik dan tekanan dinamik di titik tersebut. Sementara pipa bagian luar mengukur tekanan statik pada *static port* yang besarnya dianggap sama dengan tekanan statik pada *stagnation point*. *Static port* biasanya terdiri dari beberapa lubang dengan jarak yang telah ditentukan dari bagian ujungnya sehingga lubang-lubang tersebut menghitung tekanan statik. Dengan mengabaikan perbedaan ketinggian diabaikan, maka : (Ref. 10)

$$p_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.6)$$

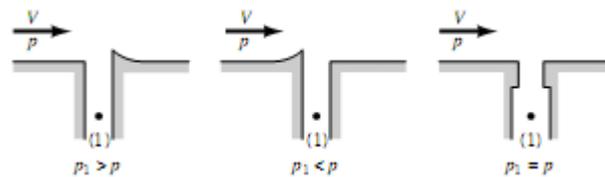
sehingga,

$$V = \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho} \quad (2.7)$$

Dalam kata lain, V dapat dihitung dengan mendapatkan selisih dari p_1 dan p_2 .

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 (*flush*) dan tanpa adanya kesalahan dalam posisi (sudut) dari *static port pitot-static tube* atau *pressure tap*. Gambar 2.7 memperlihatkan ketidaksempurnaan dapat

mengakibatkan tekanan menjadi lebih rendah atau lebih tinggi dari tekanan statik aktual.



Gambar 2.7 Desain *pressure tap*

(Ref. 10)

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. 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 : (Ref. 11)

$$P = D \times S \quad (2.8)$$

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 2.1 Solubilitas beberapa molekul gas pada suhu tertentu

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

(Ref. 11)

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.

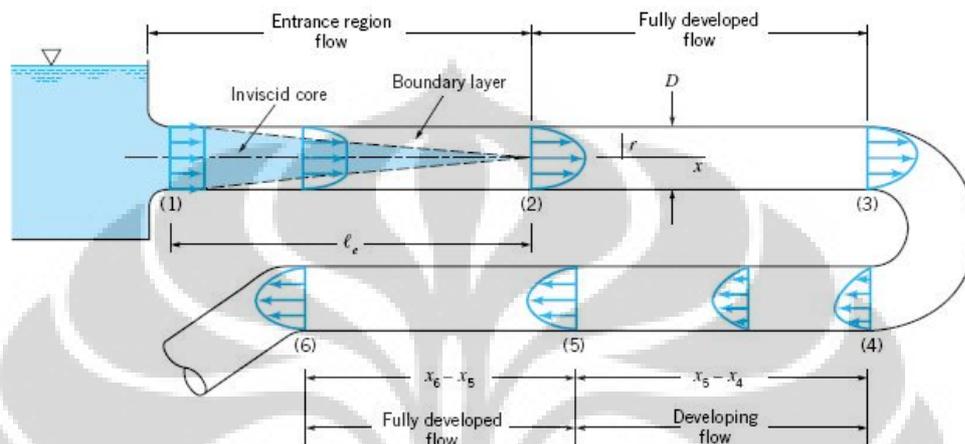
2.2 Aliran Udara Dalam Pipa

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 Flow

Daerah aliran dimana dekat dengan tempat masuknya fluida dinamakan *entrance region*. Terlihat pada gambar 2.8, fluida tersebut memasuki pipa dengan profil kecepatan yang seragam yang ditunjukkan pada bagian (1). *Boundary layer*

yang mana sangat dipengaruhi oleh efek viskos, terbentuk 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 terhadap jarak x (profil kecepatan tetap).



Gambar 2.8 Pola aliran dalam sistem pemipaan

(Ref. 10)

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.

$$\frac{l_e}{D} = 0.06 \text{ Re untuk aliran laminar} \quad (2.9)$$

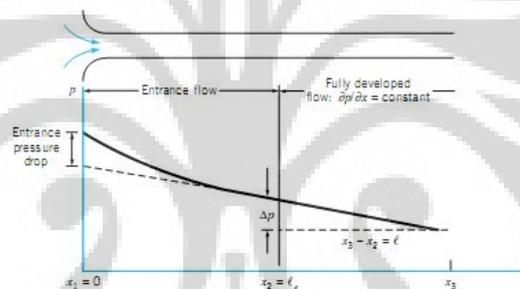
$$\frac{l_e}{D} = 4.4 (\text{Re})^{1/6} \text{ untuk aliran turbulen} \quad (2.10)$$

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

Profil kecepatan dan distribusi tekanan dalam *entrance region* sangat kompleks, tetapi setelah fluida mencapai batas akhir dari *entrance region*, (bagian (2) pada gambar 2.8), aliran akan menjadi lebih mudah untuk digambarkan dan

dihitung. Hal ini berlaku sampai 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 secara bertahap kembali menjadi aliran yang *fully developed* [bagian (5)] dan profil ini berlanjut hingga komponen pemipaan atau gangguan 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 pada pipa vertikal variasi tekanan hidrostatik akan menimbulkan efek yang mempengaruhi perbedaan tekanan di sepanjang pipa.



Gambar 2.9 Distribusi tekanan pada pipa horizontal

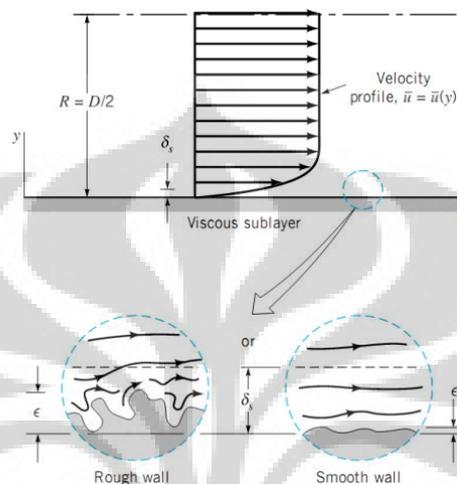
(Ref. 10)

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 δ_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.



Gambar 2.10 Aliran pada dinding pipa yang lembut dan kasar

(Ref. 10)

Besarnya jatuh tekanan karena gesekan, atau yang disebut dengan kerugian gesek (*friction/head loss*) pada pipa/*duct* dapat dihitung dengan persamaan

$$H_L = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.11)$$

Dimana,

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* menunjukkan hubungan *friction loss* dengan kecepatan fluida, panjang, dan diameter pipa/*duct*.

Friction factor, f, merupakan parameter tak berdimensi yang besarnya tergantung pada material dan bilangan *Reynolds*. *Friction factor* dapat ditentukan dengan mengetahui terlebih dahulu besarnya *pressure drop* Δp .

$$f = \frac{\Delta p \times D \times 2g}{\rho \times V^2 \times l} \quad (2.12)$$

l = length of the pipe

D = diameter of the pipe

V = average velocity of the fluid

ρ = massa jenis

f = friction factor

Pada aliran *fully developed*, nilai dari *friction factor* (f) untuk aliran laminar hanya merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds*, nilainya diberikan oleh rumus:

$$f = 64/Re \quad (2.13)$$

Untuk aliran turbulen, *friction factor* merupakan fungsi dari *Reynolds number* dan kekasaran relatif,

$$f = \phi \left(Re, \frac{\epsilon}{D} \right) \quad (2.14)$$

Nilai dari *friction factor, f*, pada aliran turbulen dapat dihitung dengan persamaan *Colebrook* (atau *Colebrook-White*) berikut ini:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7 D_h} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.15)$$

dimana,

D_h = diameter hidrolik (untuk *duct* digunakan diameter dalam)

ε = kekasaran permukaan

2.3 Sistem Pengkondisian Udara

Perancangan sistem pemanasan, sistem pendinginan, ventilasi, dan penkondisian udara atau *heating, ventilating and air conditioning* (HVAC) harus dimulai 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.

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.

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 $2^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}$.

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.

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.

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 udara juga mempengaruhi besarnya kerugian gesek karena kerugian gesek berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan. Semakin besar kecepatan yang digunakan maka akan semakin besar *head loss* dari sistem. Selain itu kecepatan yang terlalu besar juga dapat menimbulkan *noise* yang mengganggu.

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. *Heat gain* pada sepanjang saluran udara dingin dapat membuat udara yang keluar di ujung *duct* yang jauh menjadi sudah tidak dingin lagi.

2.4.3 Material dan Head Loss

Jenis material yang kebanyakan digunakan sebagai material *ducting* saat ini adalah metal, namun juga telah dikembangkan dan telah banyak diaplikasikan *ducting* dengan bahan tekstil sebagaimana dibahas dalam tulisan ini. Aliran udara pada saluran keluaran *ducting* dipengaruhi oleh kekasaran dari material.

Head Loss merupakan kerugian yang menyebabkan penurunan tekanan pada *ducting*. Friksi udara dengan dinding terjadi di sepanjang lintasan *ducting*, termasuk pada sambungan, belokan, lubang keluaran dan aksesoris lainnya. *Head loss* ini terutama adalah kerugian gesek yang besarnya sangat tergantung pada material *ducting*.

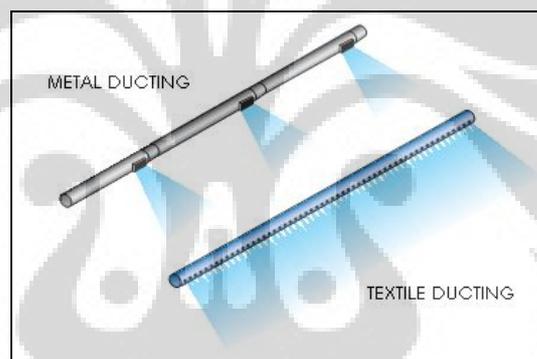
2.4.4 Tekanan Statik

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*. Pada

system *textile ducting*, tekanan statik di dalam *duct* inilah yang menyebabkan udara keluar baik melalui pori-pori pada sistem *comfort flow* maupun melalui *orifice* pada sistem *high throw*.

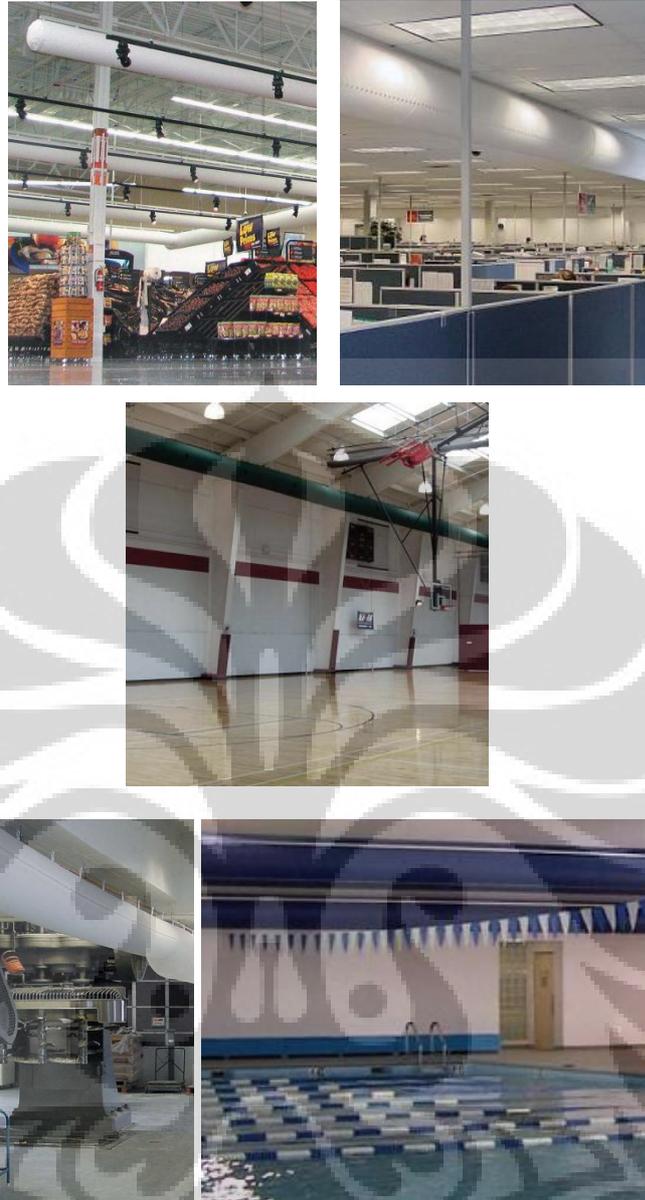
2.5 Textile Ducting

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 2.11 Perbandingan distribusi udara *metal ducting* dan *textile ducting*
(Ref. 4)

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 2.12 Contoh beberapa aplikasi *textile ducting*

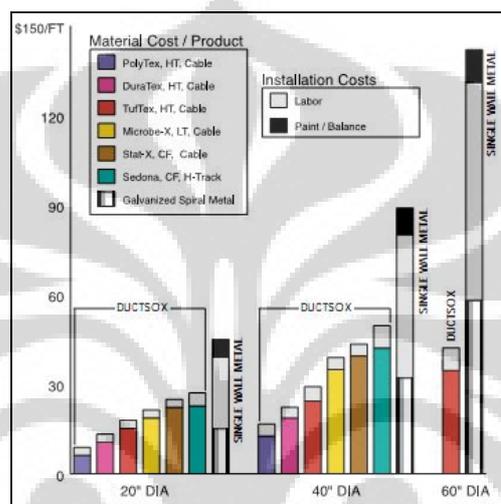
(Ref. 4)

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



Gambar 2.13 Perbandingan antara biaya *textile ducting* dengan *metal ducting* (Ref. 4)

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.

Pada model *low throw* ini, pendinginan udara dapat dicapai tanpa ada udara berkecepatan yang terasa di *occupied zone*. Dengan ini, maka kenyamanan termal dapat tercapai tanpa merasakan tiupan angin seperti apa yang biasa dirasakan apabila berada dibawah *diffuser* pada sistem *ducting* konvensional.

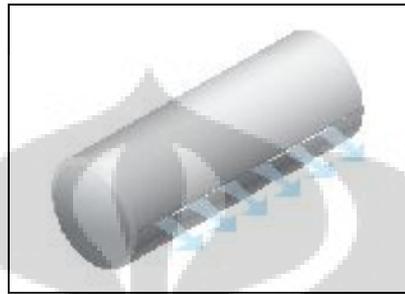


Gambar 2.14 Model *low throw*

(Ref. 6)

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 2.15 Model *comfort flow*

(Ref. 6)

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. Untuk aplikasi model *high throw* ini digunakan tekstil yang kedap udara atau impermeabel terhadap udara. Dengan demikian berbeda dengan *comfort flow*, model ini hanya mengeluarkan udara dari lubang-lubang *orifice*-nya.

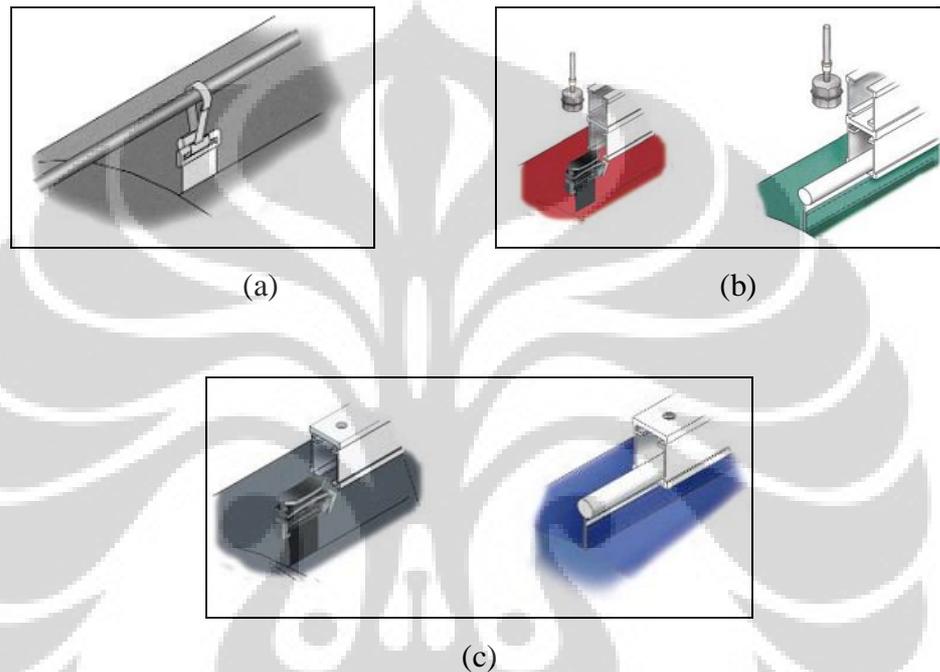


Gambar 2.16 Model *high throw*

(Ref. 6)

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 2.17 Suspensi: (a) *Tension cable*, (b) *H-Track*, (c) *Flush mount track*
(Ref. 6)

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: (Ref. 5)

$$AP = ISP + 0.65 (VP - FL) \quad (2.16)$$

Dimana,

$AP = \text{Average Pressure}$ (in. H₂O)

$ISP = \text{Inlet Static Pressure}$ (in. H₂O)

$VP = \text{Velocity Pressure}$ (in. H₂O)

$FL = \text{Friction Loss}$ (in. H₂O)

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. H₂O, sementara sisanya menggunakan ISP antara 0,25 in. H₂O sampai 1,5 in. H₂O. 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: (Ref. 5)

$$VP = \left(\frac{\text{Inlet Velocity}}{4005} \right)^2 \quad (2.17)$$

Dimana,

VP = Velocity Pressure (in.H₂O)

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, dengan angka-angka merupakan faktor konversi ke satuan inci,

$$FL = 39.4 \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.18)$$

dimana,

FL = friction loss/head loss (in.)

f = Darcy-Weisbach friction factor

L = panjang *duct* (m)

D = diameter *duct* (m)

V = kecepatan udara (m/s)

g = percepatan gravitasi (9.8 m/s²)

atau,

$$FL = 144 \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.19)$$

dengan,

FL = *friction loss/head loss* (in.)

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^2)

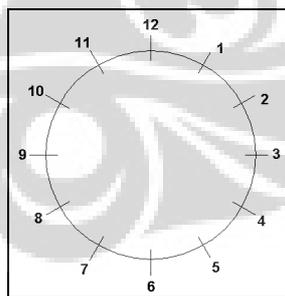
Faktor gesekan *Darcy-Weisbach*, f , besarnya bergantung pada material *duct*. Nilai dari f inilah yang dicari dengan eksperimen yang dilakukan.

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 2.18 Orientasi *outlet* pada *textile duct*

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

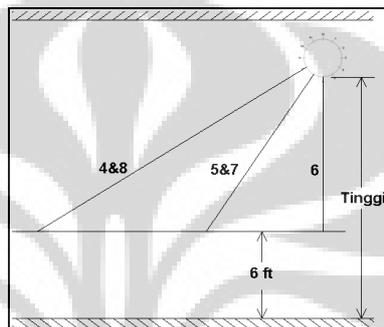
Kebanyakan orientasi ini dipilih untuk aplikasi pemanas ruangan, tetapi ini juga dapat digunakan pada sistem pendinginan dan ventilasi. Hal yang

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:

$$\text{Jangkauan arah 4\&8} = (\text{Tinggi} - 6 \text{ ft}) \times 2 \quad (2.20)$$

$$\text{Jangkauan arah 5\&7} = (\text{Tinggi} - 6 \text{ ft}) \times 1,16 \quad (2.21)$$

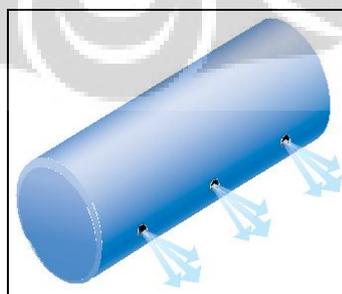
$$\text{Jangkauan arah 6} = (\text{Tinggi} - 6 \text{ ft}) \quad (2.22)$$



Gambar 2.19 Pengaruh orientasi *outlet* terhadap jangkauan aliran (*throw*).

2.9.3 Perancangan Orifis *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 2.20 *Orifice* pada tipe *high throw*

(Ref. 6)

Tabel 2.2 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

(Ref. 6)

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.

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 2.2. *Flowrate* tiap *orifice* inilah yang digunakan untuk menghitung jumlah dari *orifice* yang diperlukan.

Untuk penentuan jumlah *orifice* yang diperlukan, digunakan rumus: (Ref. 7)

$$\text{Jumlah Orifice} = \frac{V_{in}}{V_{orifice}} \quad (2.23)$$

Dengan,

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

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

2.9.4 Contoh Perencanaan *Textile Ducting*

Tabel 2.3 adalah contoh prosedur perhitungan perencanaan desain *textile duct* dengan jenis *high-throw*. Prosedur ini terutama digunakan untuk menentukan jumlah dari *orifice* dan jarak antar *orifice* tersebut.

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

Panjang <i>duct</i>	=	10 m (32.8 ft)
Diameter <i>duct</i>	=	0.24 m (9.45 in.)
Kecepatan <i>inlet</i>	=	7.6 m/s (1500 fpm)
Bentuk <i>duct</i>	=	silinder
Tipe <i>outlet</i>	=	<i>high throw</i>

Tabel 2.3 Contoh perhitungan perancangan *textile duct*

Jenis Ducting	Textile – impermeable	-
Bahan	Taslan	-
Model	High throw	-
Jumlah ducting	1	-
Suplai udara suplai per ducting	730,2 cfm	Untuk memperoleh kecepatan 1500 fpm
Diameter ducting	0.24 m (9,45 in.)	Ditentukan
Panjang ducting	6 m (19,7 ft)	Ditentukan
Perhitungan tekanan didalam ducting		
Kecepatan inlet	7,62 m/s (1500 fpm)	Ditentukan
Tekanan static (ISP1)	0,5 in. H ₂ O	Standar desain (<i>DuctSox</i>)
Tekanan kecepatan (VP)	$(V/4005)^2 = (1500/4005)^2 = 0,14$ in. H ₂ O	
Kerugian gesek (FL)	$FL = 39,4 \times f \times \frac{l}{D} \times \frac{V^2}{2g}$ $FL = 39,4 \times 0,000016 \times \frac{6}{0,24} \times \frac{7,62^2}{2 \times 9,8} = 0,05 \text{ in. H}_2\text{O}$	Misalkan nilai $f = 1,6 \times 10^{-5}$
Tekanan rata-rata (AP)	$AP = ISP1 + 0,65 \times (VP - FL)$ $AP = 0,5 + 0,65 \times (0,14 - 0,05) = 0,6$ in. H ₂ O	
Desain orifis		
Diameter orifis	1 in.	Dipilih
Kecepatan outlet		Tabel 2.2
Air flow orifis	11,37 cfm/orifis	Tabel 2.2
Jumlah orifis	= (Jumlah suplai udara per ducting / jumlah udara outlet per orifis) = (730.2 cfm / 11.37 cfm) = 64.2 dibulatkan ke jumlah genap → 64 buah orifis	
rekomendasi jarak dari inlet fan – ducting = 4 ft (tanpa orifis)		
L ₁ '	32.8 ft – 4 ft = 28.8 ft = 345.6 in.	
Spasi antar orifis	L ₁ ' / (jml orifis/2) = 345.6 / (64/2) = 10.8 in.	Arah jam 4&8

BAB 3

PERANCANGAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Perancangan Alat Pengujian

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 udara, dan laju aliran udara dengan mengatur kecepatan putaran *blower*.



Gambar 3.1 *Air flow demonstration apparatus*

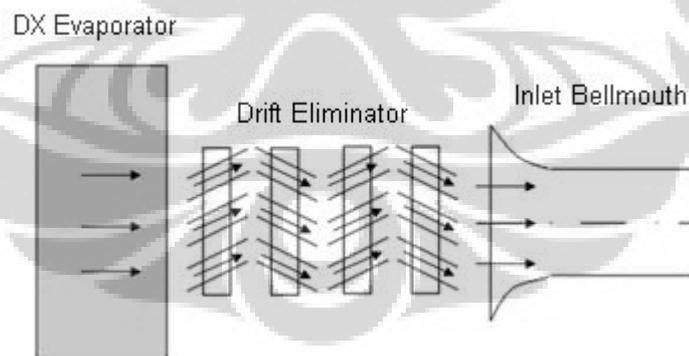
Selain menggunakan alat *air flow demonstration apparatus* sebagai alat bantu, pada penelitian *friction loss* ini juga menggunakan *air conditioner* sebagai alat bantu pendinginan udara yang akan masuk ke *textile ducting*. *Air conditioner* tersebut dipisahkan antara bagian *evaporator* dan *condenser*, kemudian bagian *evaporator* diletakkan di bagian *suction* pada alat *air flow demonstration apparatus* sehingga udara yang dihisap oleh *blower*, dan dengan demikian udara yang mengalir pada *textile duct* memiliki temperatur udara yang lebih rendah disbanding temperatur udara lingkungan (*ambient*).

Pemasangan *evaporator* pada bagian *suction* akan dapat menurunkan temperatur udara cukup signifikan, akan tetapi ternyata terdapat *moisture* yang terbawa masuk ke dalam pipa apparatus.



Gambar 3.2 evaporator pada suction apparatus

Moisture yang dihasilkan karena kondensasi udara yang melewati evaporator ini dapat merusak *blower* dan bagian lain dari *apparatus* karena korosi. 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 *drift eliminator* untuk menahan *moisture* yang dihasilkan pada evaporator supaya jangan masuk ke dalam *apparatus*.



Gambar 3.3 Skema jalur masuk udara

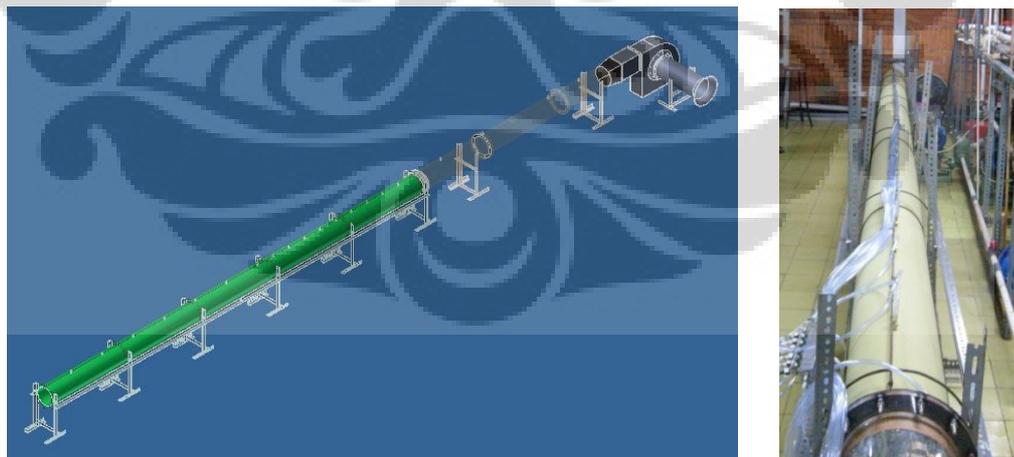


Gambar 3.4 evaporator dan drift eliminator

3.1.1 Desain *Textile Ducting*

Dalam pembuatan desain *textile ducting* untuk penelitian *friction loss* diperlukan banyak pertimbangan, diantaranya panjang dari *textile ducting* yang akan dipasang, jumlah *pressure tap*, serta peralatan yang diperlukan untuk mempertahankan bentuk dan posisi *textile ducting* selama proses pengujian.

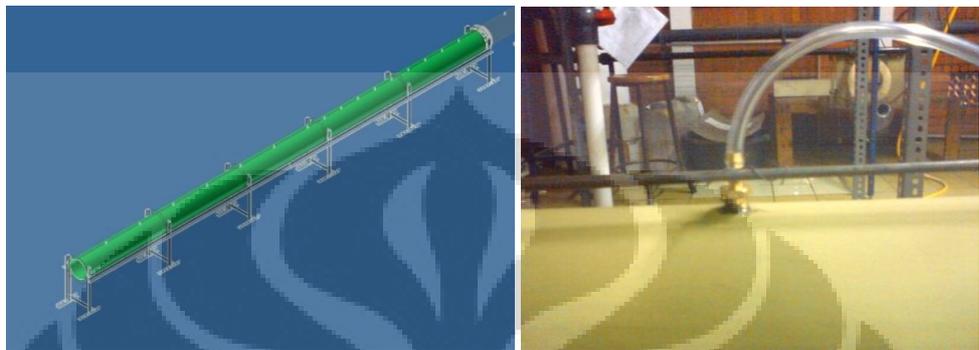
Panjang *textile ducting* yang akan digunakan sepanjang 6 meter. Hal ini dikarenakan keterbatasan tempat dari Laboratorium Departemen Teknik Mesin Lantai 3, tetapi hal ini tidak menghambat dalam mengetahui karakteristik dari *textile ducting* tersebut karena pemasangan *pressure tap* yang telah disesuaikan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



Gambar 3.5 Alat pengujian

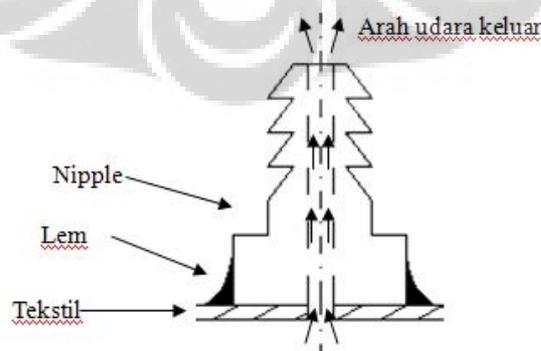
Jumlah *pressure tap* yang digunakan dalam eksperimen penelitian *friction loss* pada *textile ducting* terdapat 16 buah. Pada 10 *tap* pertama, jarak antara *tap*

adalah 250 mm, sedangkan untuk 6 *tap* selanjutnya jaraknya 500 mm. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya gradien perubahan tekanan yang besar pada daerah masuk dari *test section* ini. Pada 6 *pressure tap* selanjutnya diperkirakan telah melewati *entrance region*-nya dan *pressure drop*-nya akan linear, sehingga dibuat jarak yang lebih jauh dari 10 *tap* pertama.



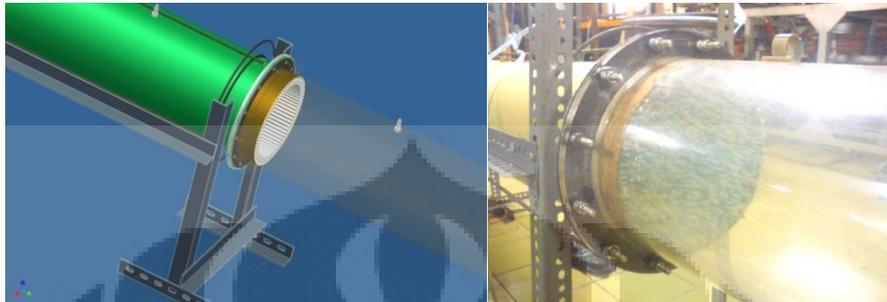
Gambar 3.6 Penempatan *pressure tap*

Pressure tap yang dipasang pada *textile ducting* tersebut tidak boleh membuat permukaan *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). Orientasi pemasangan *pressure tap* tersebut juga harus tegak lurus terhadap *textile ducting* tersebut agar didapat nilai *static pressure* yang *valid*. Dalam penelitian ini, pemasangan *pressure tap* pada *textile ducting* menggunakan lem, sehingga permukaan bagian dalam *textile ducting* tetap mulus (*flush mounted*). Untuk menghindarkan *textile duct* tertekan karena beban dari *pressure tap*, setiap *pressure tap* tersebut diikat kawat ke rangka besi.



Gambar 3.7 Skema pemasangan *pressure tap* pada *textile duct*

Sebelum udara memasuki *textile ducting*, udara tersebut akan melewati *straightener* dimana pemasangan *straightener* tersebut bertujuan untuk memperpendek mengatur bentuk dan pola aliran. Tetapi pemasangan *straightener* tersebut akan membuat aliran sedikit terganggu pada awalnya.



Gambar 3.8 *Flow straightener* pada alat pengujian

Dalam melakukan pengambilan data *pressure*, posisi *textile ducting* harus tetap lurus dan stabil, maka diperlukan *stand* dan *ring* untuk menjaga posisi *textile duct* tetap dalam kondisi stabil walaupun udara mengalir di dalamnya. Penelitian ini menggunakan 2 buah *ring* dengan diameter 0.24 m dan 0.33 m pada setiap *stand* (jarak antar *stand* 1.2 m). Untuk menjaga posisi antar *stand* dan *ring* tetap dalam posisi lurus, digunakan rangka besi diameter 5 mm.



Gambar 3.9 *Stand* dan *ring*

3.1.2 Material *Textile Ducting*

Pemilihan material untuk menjadi *textile ducting* harus memenuhi ASTM D737, yaitu standar metode tes untuk permeabilitas udara pada *textile ducting*. Pada ASTM D737 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* (permeabel terhadap udara) maka udara akan dapat menembus *textile duct*. Ini menyebabkan 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* yang menggunakan *orifice* untuk lubang keluar udara. Tekstil yang digunakan pada penelitian ini adalah material tekstil *taslan balon* yang terdapat *coating* pada bagian dalamnya. Bahan tekstil ini memiliki berat 0.2 kg/m^2 .

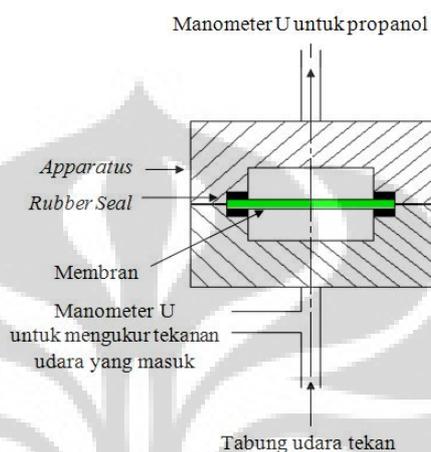
Pengujian permeabilitas yang dilakukan pada material tekstil tersebut agar memenuhi standar ASTM D737 dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia menggunakan alat sel permeasi. Alat ini terdiri dari dua buah blok logam sebagai tempat meletakkan membran (tekstil) yang akan diuji. Membran dalam bentuk lembaran diletakkan antara dua lempeng logam kemudian ditutup rapat, menggunakan *rubber seal* untuk menjamin tidak terjadinya kebocoran pada sisi samping.



Gambar 3.10 Alat sel permeasi

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 berisi propanol dan pipa tersebut terhubung dengan udara atmosfer. Pemberian tekanan pada salah satu sisi membran tersebut mengakibatkan udara di bagian bertekanan tinggi akan memaksa untuk berdifusi

melalui membran ke bagian yang bertekanan rendah. Apabila membran tersebut tahan terhadap tekanan yang diberikan atau permeabilitas udaranya nol, maka udara tidak akan ada yang berdifusi dan propanol dalam pipa tidak akan mengalami suatu pergerakan, tetapi apabila membran tersebut permeabel terhadap udara pada tekanan yang diberikan, maka propanol akan bergerak.



Gambar 3.11 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.

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*.

3.2 Prosedur Pengujian

Pada proses pengujian *textile ducting* ini, akan diperoleh data *pressure drop* dengan mengukur besar tekanan pada setiap *pressure tap*. Pada pengujian *pressure drop*, digunakan *manifold* sebagai alat bantu untuk mempermudah pengukuran. *Manifold* ini terdiri dari beberapa *valve/cock* yang saling terhubung pada satu saluran didalam. Saluran ini memiliki satu *port* keluar di bagian belakang yang dihubungkan ke salah satu sisi manometer. Dengan demikian,

membuka salah satu *cock* dengan menutup semua *cock* yang lain akan memberikan pembacaan tekanan di *pressure tap* yang terhubung ke *cock* tersebut. *Manifold* ini juga memiliki satu *cock* yang tidak terhubung ke salah satu *pressure tap* manapun dan apabila dibuka maka akan terbuka ke atmosfer, ini dimaksudkan untuk *me-reset* atau menormalkan kembali posisi manometer.



Gambar 3.12 *Manifold*

Untuk pengambilan data, karena yang diukur berupa tekanan, maka digunakan *inclined* manometer. Pada *inclined* manometer, fluida yang digunakan mempunyai *density* 0.98 air (H_2O), namun pembacaannya sudah dikalibrasi untuk satuan “*inches of water*” atau in. H_2O . *Inclined* manometer mempunyai profil miring sebagai tempat fluida untuk membuat pembacaan tekanan dengan skala yang lebih kecil.

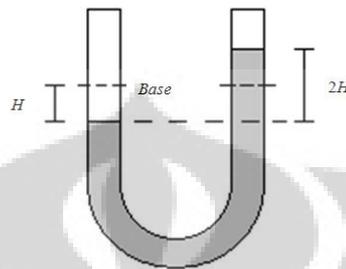


Gambar 3.13 *Inclined manometer*

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

$$\Delta h = \text{Base} + 2H \quad (3.1)$$

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



Gambar 3.14 Prinsip kerja *incline* manometer

Pengujian *pressure drop* ini menggunakan 16 *pressure tap*, *hose*, *manifold*, dan *incline* manometer. Pada pengujian ini, diukur besarnya tekanan dari setiap *pressure tap* hingga jarak yang terjauh untuk kemudian diplot ke grafik dan dilihat gradien penurunan tekanannya. Setelah udara dari *textile ducting* masuk ke *pressure tap*, kemudian udara tersebut melalui *hose* masuk ke *manifold* yang terhubung dengan *inclined manometer*. Untuk mengukur tekanan pada *pressure tap* yang diinginkan, cukup membuka katup pada *manifold*, sesuai dengan urutan *pressure tap* kemudian mengukur ketinggian kolom fluida pada *inclined manometer*. Pada pengambilan data tekanan, dilakukan dengan menunggu ± 1 menit, hingga fluida pada *incline* manometer stabil.



Gambar 3.15 Alur pengujian *pressure drop*

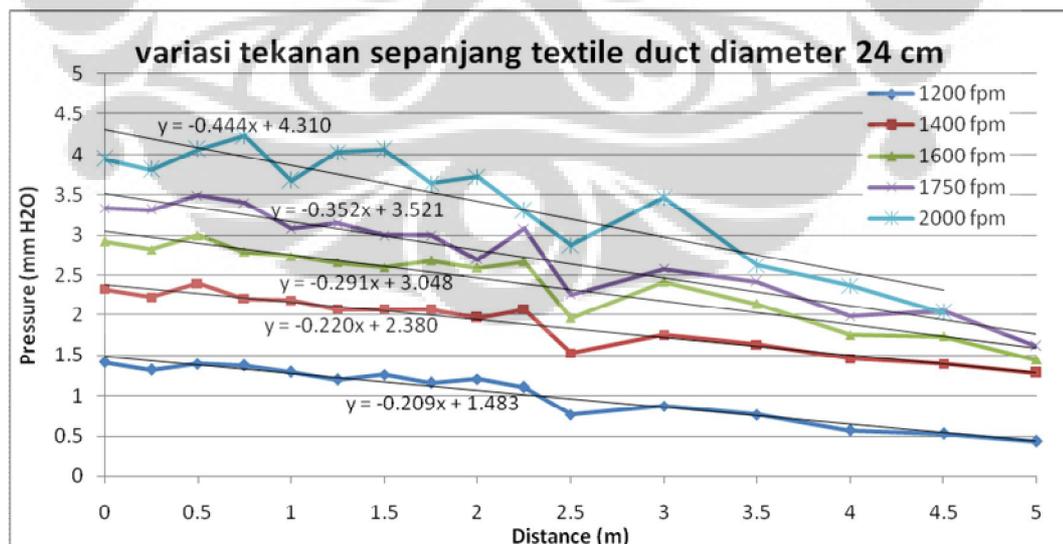
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kerugian Gesek (*Friction Loss*) Pada *Textile Duct Taslan*

Sepanjang saluran lurus, tekanan statik dalam *duct* bervariasi dimana tekanan semakin berkurang terhadap bertambahnya jarak. Ini disebabkan oleh adanya gesekan pada dinding *duct*. Jatuh tekanan (*pressure drop*) karena adanya gesekan antara fluida dengan dinding inilah yang disebut dengan kerugian gesek atau *friction loss*. Kerugian gesek ini merupakan *major loss* pada aliran didalam pipa atau *duct*.

Percobaan pengukuran kerugian gesek ini dilakukan pada daerah yang telah berkembang penuh (*fully developed*). Pada daerah yang berkembang penuh ini, gradien penurunan tekanan terhadap jarak adalah linear. Oleh karena itu, data yang diperoleh dari eksperimen kemudian diplot ke grafik untuk dibuat *trendline* linearnya. Dari persamaan *trendline* inilah diperoleh harga jatuh tekanannya.

Berdasarkan percobaan yang dilakukan, tekanan didalam *textile duct* menurun terhadap pertambahan jarak sebagaimana ditampilkan grafik pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Variasi tekanan sepanjang *textile duct*

4.1.1 Nilai Faktor Gesekan f dari *Textile Duct* Taslan

Dengan menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach* maka dapat dicari nilai dari *friction factor* (f) spesifik untuk bahan *textile ducting* dengan bahan *taslan* ber-coating seperti yang diuji ini. *Pressure drop* per satuan panjang (mm H₂O/m) pada tiap-tiap kecepatan yang diujikan dalam eksperimen besarnya adalah sesuai gradien *trendline* masing-masing grafik. Data nilai f pada beberapa kecepatan yang diujikan pada eksperimen disajikan dalam Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Nilai f hasil eksperimen

laju aliran (m ³ /s)	kecepatan (m/s)	Re	friction loss (mmH ₂ O/m)	friction loss (mH ₂ O/m)	f (<i>head</i> H ₂ O) (10 ⁻⁵)
0.27	6.01	92502	0.209	0.000209	2.7
0.32	7.04	108355	0.22	0.00022	2.1
0.37	8.19	126055	0.291	0.000291	2.0
0.40	8.88	136675	0.352	0.000352	2.1
0.45	10.01	154067	0.444	0.000444	2.1

Nilai jatuh tekanan yang digunakan pada perhitungan adalah berdasarkan gradien *trendline* dan bukan berdasarkan beda tekanan dari antara dua *tap*. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan resiko kesalahan karena kerusakan atau gangguan pada *tap*. Dengan mengambil nilai berdasarkan pada *trendline*, maka dapat diperoleh distribusi yang lebih merata dari setiap *pressure tap* di sepanjang *textile duct*.

Dengan rumus *Darcy-Weisbach*, *friction loss (head loss)* yang diperoleh adalah dalam satuan *head*/kolom dari fluida yang mengalir didalam pipa atau *duct* yang bersangkutan. Misalnya didalam *duct* mengalir udara maka besarnya *friction loss* adalah dalam satuan *head* udara. Karena pada umumnya dalam aplikasi *ducting* nilai tekanan dinyatakan dalam *head* air (H₂O) dan bukan *head* udara walaupun yang mengalir adalah udara, maka nilai f disesuaikan sehingga menghasilkan harga *friction loss* langsung dalam satuan *head* air (mm H₂O atau in. H₂O). Nilai dari f untuk *head* air kira-kira seperseribu dari f untuk *head* udara, karena untuk menghasilkan tekanan yang sama air membutuhkan kolom (*head*)

setinggi seperseribu dari tinggi kolom yang dibutuhkan udara. Ini berkaitan dengan massa jenis masing-masing dan dapat dituliskan hubungannya sebagai berikut:

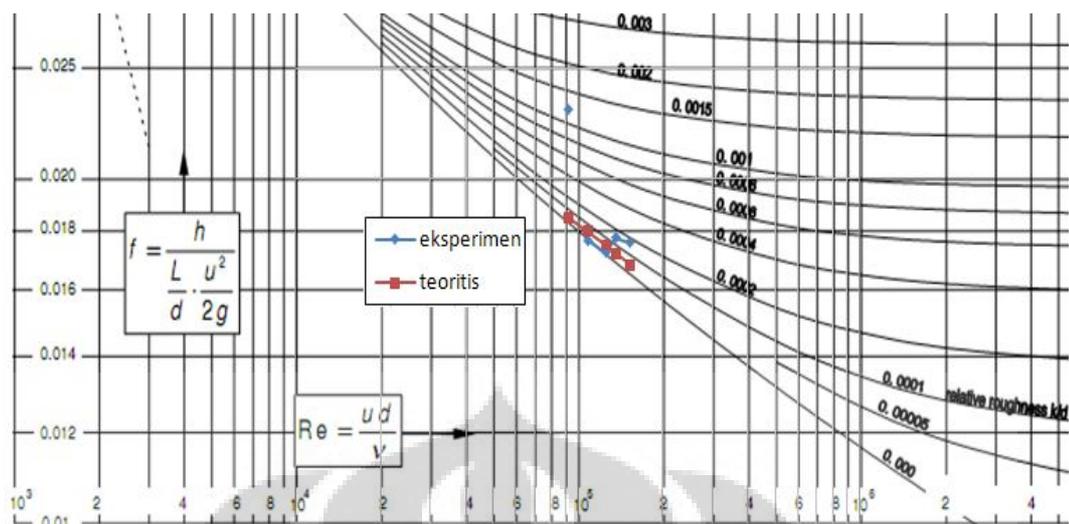
$$\frac{f \text{ untuk head udara}}{f \text{ untuk head air}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{udara}}} \approx \frac{1.2}{1000} \quad (4.1)$$

Oleh karena penelitian ini bertujuan untuk memperoleh *friction loss* dalam satuan *head air* (mm H₂O atau in H₂O) sebagaimana umumnya dalam perancangan *ducting* dan khususnya *textile ducting*, maka nilai dari *f* yang akan dicari dan dianalisa adalah nilai *f* untuk memperoleh *friction loss* dalam *head air*. Nilai *f* yang diperoleh dari perhitungan hasil pengambilan data juga adalah *f* untuk *head air* karena pengambilan data tekanan menggunakan manometer dengan satuan *head air* (in. H₂O).

Selain melalui eksperimen jatuh tekanan, nilai *f* juga dapat diperoleh menggunakan rumus *Colebrook* (2.15). Dengan mengetahui terlebih dahulu kekasaran permukaan maka *f* dapat dihitung secara teoritis dengan rumus *Colebrook* tersebut. Bahan taslan ini memiliki kekasaran permukaan 12,32 μm berdasarkan pengukuran. Dengan demikian untuk *textile duct* yang diujikan (diameter 24 cm), kekasaran relatif ϵ/d adalah 0,00005. Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan antara *f* hasil eksperimen dan *f* teoritis (*Colebrook*) yang diplot pada *Moody chart*. Pada *Moody chart*, *f* adalah untuk menghasilkan nilai *friction loss* dalam *head* fluida yang mengalir, dalam hal ini udara, karena itu nilai *f* pada Tabel 4.1 perlu dikonversi sesuai persamaan (4.1).

Tabel 4.2 Nilai *f* untuk diplot ke *Moody chart*

Re	<i>f</i> exp. (head H ₂ O)	<i>f</i> exp. (head udara)	<i>f</i> colebrook (head udara)
92502	0.000027	0.023	0.0185
108355	0.000021	0.0176	0.018
126055	0.00002	0.0172	0.0175
136675	0.000021	0.0177	0.0172
154067	0.000021	0.0176	0.0168



Gambar 4.2 Plot nilai f teoritis dengan nilai f eksperimen pada *Moody Chart*

Nilai dari f hasil eksperimen ternyata terletak di sekitar nilai teoritis *Colebrook*-nya, dan cenderung lebih besar. Perbedaan antara nilai f eksperimental dengan teoritisnya ini dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan yang tidak seragam di sepanjang *textile duct*. Sesuai dengan rumus *Colebrook* atau juga dapat dibaca pada *Moody chart*, f yang merupakan fungsi bilangan Reynolds dan kekasaran relatif ini akan meningkat nilainya apabila pada bilangan Reynolds yang sama nilai dari kekasaran relatif pipa lebih besar. Nilai f teoritis bagaimanapun merupakan nilai ideal yang dapat digunakan untuk pendekatan dalam perhitungan kerugian gesek pada berbagai jenis pipa dan *duct* secara umum. Tetapi pada aplikasi praktis tentunya tiap-tiap material *ducting* tidak berada dalam kondisi ideal tersebut, misalnya saja dalam hal keseragaman kekasaran permukaan. Namun demikian, rumus *Colebrook* atau *Moody chart* ini menghasilkan perkiraan yang sangat baik untuk mencari nilai f karena hasil eksperimen ternyata menunjukkan nilai yang dekat dengan nilai pada *chart*.

Perbedaan nilai dari teoritisnya ini juga dapat disebabkan oleh adanya kemungkinan-kemungkinan gangguan atau perubahan bentuk (deformasi) dari *textile duct*, mengingat *duct* dengan bahan tekstil ini sangat mudah berubah bentuknya yang tentunya akan mempengaruhi pola aliran dan kemudian parameter-parameter aliran lainnya. Gangguan-gangguan yang mungkin terjadi

dalam instalasi *textile ducting* antara lain adalah jahitan-jahitan dan persambungan-persambungan serta kemungkinan lipatan maupun sedikit perubahan *cross sectional area* di sepanjang *duct* karena proses penyambungan/penjahitan yang tidak sempurna.

Nilai f yang diperoleh dari eksperimen ini hanya berlaku pada Reynolds regime yang diujikan oleh penulis, yaitu antara 92000 sampai 154000. Secara praktis nilai faktor gesekan ini dapat digunakan pada berapapa saja ukuran diameter *duct* dan kecepatan *inlet* selama masih dalam jangkauan bilangan Reynolds tersebut. Untuk *textile ducting*, range bilangan Reynolds sebesar ini sudah dapat digunakan pada perancangan karena *textile ducting* bekerja pada kecepatan yang relatif rendah, 1000 fpm – 1500 fpm (5 m/s – 7.5 m/s), terkait dengan kekuatan dari material *textile*. Misalnya dalam petunjuk perancangan instalasi produk *textile ducting* dari *DuctSox*, aplikasi *textile ducting* untuk kecepatan aliran melebihi 1500 fpm sudah diluar standar dan dinyatakan tidak ditanggung garansi oleh produsen.

4.1.2 Prediksi *Friction Chart* untuk *Textile Duct* Taslan

Friction chart merupakan suatu *chart* yang menunjukkan hubungan antara besarnya jatuh tekanan karena gesekan (*friction loss*) pada *duct* dengan *flowrate*, diameter *duct* serta kecepatan alirannya. *Chart* ini sangat membantu dalam perancangan instalasi *ducting*.

Dari data-data pada Tabel 4.1, diambil satu nilai yang dapat mewakili data-data tersebut yaitu sebesar 2.1×10^{-5} . Dengan satu nilai f yang digunakan secara umum tanpa memperhatikan bilangan Reynolds-nya, maka dapat dibuat prediksi *friction chart* untuk berbagai ukuran *duct* serta kecepatan aliran. Gambar 4.3 berikut ini merupakan *friction chart* untuk *textile duct* berbahan taslan, yang dihasilkan dengan perhitungan rumus *Darcy-Weisbach* menggunakan harga rata-rata f hasil eksperimen.



Gambar 4.3 *Friction chart* untuk *textile duct* taslan

Range kecepatan dan ukuran diameter *duct* dibatasi hanya pada harga-harga tersebut untuk menghindari semakin membesarnya kesalahan (*error*). Kesalahan ini dikarenakan harga-harga f dari hasil eksperimen yang kemudian diambil nilai rata-ratanya tersebut hanya diambil pada suatu Reynolds *regime* yang relatif sempit. Sumber perambatan kesalahan yang lainnya dapat disebabkan pengaruh perubahan diameter *duct* karena nilai dari f pada aliran turbulen selain merupakan fungsi dari kekasaran permukaan juga merupakan fungsi dari diameter *duct*.

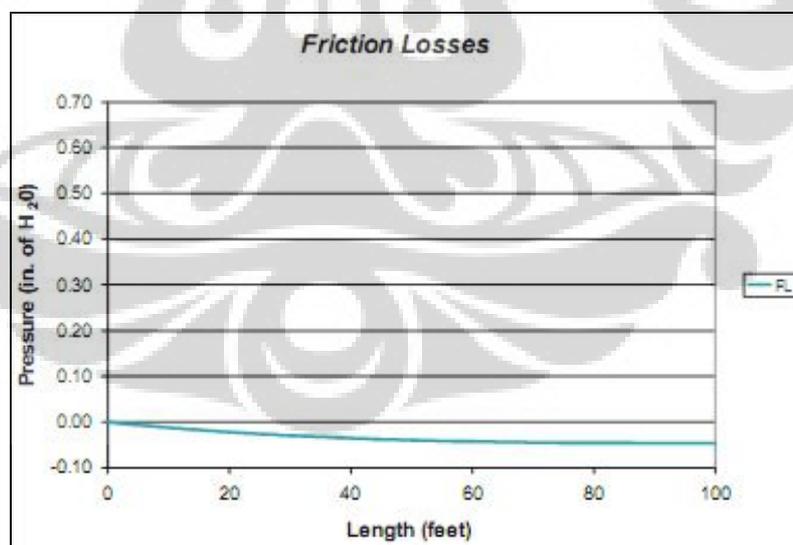
Data hasil eksperimen dengan diameter *duct* 10 inci pada 1200 fpm menunjukkan jatuh tekanan sebesar 0,034 in. H₂O sepanjang 16,4 ft (5 m) yang berarti pada sepanjang 100 ft jatuhnya adalah sebesar 0,21 in. H₂O. Nilai ini tidak terlalu jauh dari nilai yang ditunjukkan *friction chart* (0,2 in. H₂O). Dengan demikian, secara praktis *chart* ini telah dapat digunakan dalam perhitungan atau estimasi besarnya kerugian gesek pada *textile duct* berbahan *taslan*. Namun untuk memperoleh hasil yang lebih akurat sesuai dengan nilai bilangan Reynolds dari aliran, tetap dapat dilakukan perhitungan menggunakan rumus *Darcy-Weisbach* dengan nilai f pada bilangan Reynolds tersebut.

Pembuatan *friction chart* yang lebih akurat dapat dilakukan dengan melakukan eksperimen *friction loss* pada beberapa diameter berbeda dan pada

beberapa kecepatan berbeda sehingga dapat diperoleh *chart* yang dapat digunakan untuk *range* diameter dan kecepatan yang besar dengan tidak kehilangan akurasinya.

4.2 Perbandingan Dengan Data *Textile Duct* yang Ada di Pasaran

Sebagai pembandingan, diambil data kerugian gesek dari rata-rata produk *textile duct* buatan *DuctSox*. Gambar 4.4 merupakan grafik yang menunjukkan variasi perubahan tekanan terhadap jarak pada *textile duct* produksi *DuctSox*. Grafik karakteristik kerugian gesek ini adalah berdasarkan produk *textile duct* ukuran diameter 24 inci, panjang 100 ft, dengan udara suplai 5000 cfm. Pada grafik ini terlihat bahwa gradien jatuh tekanan semakin mengecil dengan semakin bertambahnya jarak pada *duct*. Hal ini disebabkan karena *textile duct* yang diujikan untuk memperoleh grafik ini adalah *textile duct* yang tertutup di bagian ujungnya, sehingga udara melambat hingga akhirnya di ujung tertutup (*end cap*) kecepatan udara menjadi nol. Karena kerugian gesek merupakan fungsi kecepatan, maka pada kecepatan yang semakin rendah kerugian gesek juga semakin rendah, artinya gradien penurunan tekanan pada grafik juga semakin kecil.



Gambar 4.4 Grafik variasi perubahan tekanan terhadap jarak

(Ref. 5)

Untuk perbandingan dengan data hasil eksperimen pada bahan *taslan* maka diambil sebagian dari grafik *DuctSox* pada gambar 4.4 yang kecepatannya

diasumsikan masih belum terpengaruh oleh *end cap*, yaitu sampai jarak 20 ft dimana gradien penurunan tekanannya masih tampak relatif konstan. Sampai jarak ini dianggap kondisinya sama dengan *textile duct* yang terbuka ujungnya sebagaimana yang digunakan pada eksperimen. Dengan membaca grafik pada Gambar 4.4, diperoleh besarnya kerugian gesek untuk panjang 20 ft adalah sebesar 0.02 in. H₂O.

Untuk memperoleh nilai kerugian gesek *textile ducting* taslan lokal dengan ukuran diameter 24 inci pada 5000 cfm, *friction chart* pada Gambar 4.3 tidak dapat digunakan karena bilangan Reynolds yang besar ($Re=328777$) jauh diatas bilangan Reynolds yang diujikan ($Re=154067$) dan dengan demikian nilai f akan jauh berbeda dari yang diasumsikan pada *friction chart* tersebut. Oleh karena itu, untuk memperoleh besarnya kerugian gesek pada *textile duct* berbahan taslan ini digunakan rumus Darcy-Weisbach. Nilai f diperoleh dari *Moody chart* atau dari rumus Colebrook adalah sebesar 0.0144. Dengan memasukkan ke dalam rumus Darcy-Weisbach nilai dari variabel diameter, $d = 24$ inci (0,61 m); kecepatan aliran, $v = 1592$ fpm (8,09 m/s); dan panjang *duct*, $l = 20$ ft (6 m); maka diperoleh kerugian gesek (*head loss*) sebesar 0,022 inci H₂O. Ini menunjukkan bahwa kerugian gesek dari *textile duct* berbahan taslan lokal lebih besar 10 persen dibandingkan dengan *textile duct* produk *DuctSox*. Kerugian gesek yang lebih besar tentu akan berpengaruh pada kebutuhan daya yang diperlukan untuk operasinya misalnya untuk *blower*. Oleh karena itu diperlukan kajian lebih lanjut mengenai perbandingan kebutuhan daya dan tentunya biaya operasional antara *textile duct* lokal ini dengan *textile duct* impor yang ada di pasaran.

4.3 Contoh Perancangan *Textile Ducting* Menggunakan Data Hasil

Eksperimen

Dengan diperolehnya informasi mengenai kerugian gesek atau *friction loss* dari *textile duct* berbahan *taslan* ini, maka semua variabel perancangan untuk *textile duct* dengan bahan lokal ini telah lengkap.

Tabel 4.2 adalah contoh perhitungan perencanaan *textile duct* yang digunakan untuk eksperimen di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen

Teknik Mesin FTUI. Bahan yang digunakan adalah *Taslan* dengan *coating* di bagian dalam. Sesuai dengan aplikasi *high throw* yang membutuhkan bahan non-porous, *Taslan* dengan *coating* merupakan bahan impermeabel yang telah diuji permeabilitasnya di laboratorium sesuai ASTM D737-04.

Textile duct yang akan dirancang adalah *duct* lurus dengan spesifikasi dari *textile duct* sebagai berikut:

Panjang <i>duct</i>	=	6 m	(19.7 ft)
Diameter <i>duct</i>	=	0.24 m	(9.45 in.)
Kecepatan inlet	=	6.1 m/s	(1200 fpm)
Bentuk <i>duct</i>	=	silinder	
Tipe outlet	=	<i>high throw</i>	

Pada perancangan ini, nilai dari kerugian gesek ditentukan dengan menggunakan nilai yang dibaca pada *friction chart* pada Gambar 4.3, bukan dengan menggunakan perhitungan rumus. Dengan metode ini, maka penentuan nilai kerugian gesek menjadi lebih cepat.

Tabel 4.3 Contoh perancangan *textile duct* menggunakan data eksperimen

Jenis Ducting	Textile – impermeable	-
Bahan	Taslan	-
Model	High throw	-
Jumlah ducting	1	-
Suplai udara suplai per ducting	576 cfm	Untuk memperoleh kecepatan 1200 fpm
Diameter ducting	0.24 m (9,45 in.)	Ditentukan
Panjang ducting	6 m (19,7 ft)	Ditentukan
Perhitungan tekanan didalam ducting		
Kecepatan inlet	6.01 m/s (1200 fpm)	Ditentukan
Tekanan static inlet (ISP1)	0,5 in. H ₂ O	Standar desain (<i>DuctSox</i>)
Tekanan kecepatan (VP)	$(V/4005)^2 = (1200/4005)^2 = 0,09$ in. H ₂ O	
Kerugian gesek (FL)	19,7 ft x 0,2 in H₂O/100 ft = 0,04 in. H₂O	Nilai FL diperoleh berdasarkan Gambar 4.3, untuk panjang 19.7 ft.
Tekanan rata-rata (AP)	$AP = ISP1 + 0,65 \times (VP - FL)$ $AP = 0,5 + 0,65 \times (0,09 - 0,04) = 0,533$ in. H ₂ O	
Desain orifis		
Diameter orifis	1 in.	Ditentukan
Kecepatan outlet		Tabel 2.2
Air flow orifis	9.28 cfm/orifis	Tabel 2.2
Jumlah orifis	$= (\text{Jumlah suplai udara per ducting} / \text{jumlah udara outlet per orifis})$ $= (576 \text{ cfm} / 9.28 \text{ cfm})$ $= 62$	
rekomendasi jarak dari inlet fan – ducting = 4 ft (tanpa orifis)		
L_1'	$19.7 \text{ ft} - 4 \text{ ft} = 15.7 \text{ ft} = 188.4 \text{ in.}$	
Spasi antar orifis	$L_1' / (\text{jml orifis}/2) = 188.4 / (62/2) = 6.1 \text{ in.}$	Arah jam 4&8

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Kecenderungan dari nilai *friction factor* (f) hasil eksperimen bersesuaian dengan nilai teoritis yang berdasarkan rumus *Colebrook*. *Friction factor* ini merupakan fungsi dari bilangan Reynolds sehingga berbeda-beda nilainya untuk kecepatan dan diameter yang berbeda. Namun nilai rata-rata dari f pada suatu *range* bilangan Reynolds tertentu dapat digunakan secara umum untuk perhitungan *friction loss* pada berbagai variasi ukuran diameter dan kecepatan udara dalam *range* bilangan Reynolds tersebut dengan *error* yang kecil.
2. Nilai f rata-rata ini dapat digunakan untuk membuat *friction chart* spesifik untuk aplikasi *textile duct* berbahan *taslan* dalam suatu *range* bilangan Reynolds tertentu. Nilai yang diperoleh berdasarkan pembacaan *friction chart* dapat digunakan untuk proses desain *textile ducting* secara lebih mudah dan praktis karena hasilnya dapat dikatakan sama dengan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus *Darcy-Weisbach* yang nilai f -nya diambil berdasarkan bilangan Reynolds. Namun demikian, untuk bilangan Reynolds yang jauh diatas atau dibawah dari *range* bilangan Reynolds pada saat pengambilan data eksperimen, *friction chart* ini tidak dapat digunakan karena dapat mengakibatkan penyimpangan yang relatif besar.
3. Kerugian gesek pada *textile duct* berbahan *taslan* lokal ini lebih besar 10 persen dibandingkan *textile duct* impor yang telah ada di pasaran dan digunakan saat ini.

5.2 Saran

Untuk mempermudah proses perancangan dan instalasi *textile ducting* berbahan *taslan* ini, maka akan lebih baik jika terdapat *friction chart* yang lebih lengkap dan akurat mencakup *range* diameter *duct* dan kecepatan udara yang besar. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan eksperimen dengan metode yang sama dengan penelitian ini namun menggunakan banyak variasi diameter *duct*.

Selanjutnya perlu dilakukan pengujian jatuh tekanan pada *textile duct* berbahan *taslan* lokal ini dengan menggunakan *textile duct* ujungnya tertutup (dengan *end cap*) dan menggunakan *orifice* seperti keadaan operasinya. Dengan ini diharapkan dapat dibuat grafik yang lebih praktis yang juga mencakup pengaruh ukuran *orifice* terhadap karakteristik jatuh tekanan pada *textile duct*.



DAFTAR REFERENSI

- [1] American Society for Testing and Material. *ASTM D737-04: Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics*. Philadelphia: ASTM, 2008.
- [2] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. *ANSI/ASHRAE 120-1999: Method of Testing to Determine Flow Resistance of HVAC Ducts and Fittings*. Atlanta: ASHRAE, 1999.
- [3] Carrier Corporation. *Carrier Handbook*. New York: Carrier Corp.
- [4] *Discover the Advantages of Fabric Air Dispersion*. Indiana: DuctSox Corp., 2008.
- [5] DuctSox. *Design Methods for Fabric Ducts System*. Indiana: DuctSox Corp., 2008.
- [6] DuctSox. *Engineering and Design Manual*. Indiana: DuctSox Corp., 2008.
- [7] Harun, Yulfari. "Pola Keluaran Aliran Udara pada *Textile Ducting* berbahan Polyester." Skripsi Program Sarjana FTUI. Depok, 2007.
- [8] *Instruction Manual for Airflow Demonstration Apparatus*. Ogawa Seiki Co., Ltd.
- [9] McDowall, Robert. *Fundamentals of HVAC Systems*. ASHRAE, 2006.
- [10] Munson, Bruce R., Donald F. Young, and Theodore H. Okiishi. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [11] Saputra, Andhi. "Tekstil Berbahan Polyester Sebagai Bahan *Ducting* (Pengujian Berdasarkan ASTM D737-96)." Skripsi Program Sarjana FTUI. Depok, 2008.
- [12] Universitas Indonesia. *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*. Depok: Universitas Indonesia, 2008.
- [13] "Orifice, Nozzles, and Venturi Flowrate Meters."
<http://www.engineeringtoolbox.com/orifice-nozzle-venturi-d_590.html>

- [14] “Colebrook Equation.”< http://www.engineeringtoolbox.com/colebrook-equation-d_1031.html>
- [15] “Bernoulli’s Equation.”
<<http://www.ce.utexas.edu/prof/kinnas/319LAB/Lab/lab%204-Bernoulli%27s%20equation/4-Bernoulli.htm>>

