



**UNIVERSITAS INDONESIA**

***EXPERIMENTAL SETUP* PERALATAN UJI ALIRAN UDARA  
UNTUK *TEXTILE DUCT***

**SKRIPSI**

**YUNARTO  
0405020715**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

***EXPERIMENTAL SETUP PERALATAN UJI ALIRAN UDARA  
UNTUK TEXTILE DUCT***

**SKRIPSI**

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

**YUNARTO  
0405020715**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Yunarto**  
**NPM : 0405020715**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 2 Juli 2009**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Yunarto  
NPM : 0405020715  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : *Experimental Setup* Peralatan Uji Aliran Udara  
untuk *Textile Duct*

**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. Budihardjo, Dipl-Ing (.....)  
Pembimbing : Dr. Ir. Warjito, M.Eng (.....)  
Penguji : Ir. Rusdi Malin, MME (.....)  
Penguji : Ir. Agung Subagio, Dipl-Ing (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karuniaNya bisa melaksanakan skripsi dan menyusun hasilnya dalam sebuah laporan skripsi. Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik, Departemen Mesin, Universitas Indonesia. Tiada hasil maksimal yang bisa dicapai seseorang atas usaha sendiri, kecuali atas kerjasama dan bantuan orang sekitar kita. Itulah ungkapan yang pantas penulis sampaikan dalam penyusunan laporan ini. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik saat proses skripsi berlangsung maupun dalam penyusunan laporan ini:

1. Bapak Irfan selaku pimpinan bengkel Karya Terampil atas bantuannya saat proses pembuatan alat.
2. Semua civitas akademika Universitas Indonesia.
3. Kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya laporan skripsi.
4. Semua teman angkatan 2005, terimakasih atas dukungan, saran serta kritiknya.
5. Bapak Ir Rusdy Malin, M.Eng, Dr.Ir Budihardjo, Dip-Ing, Dr.Ir Warjito, M.Eng selaku pembimbing skripsi.
6. Semua anggota team skripsi *textile duct* (Dicky, Irfan, Nico, Yuda) yang selalu kompak.

Khusus untuk orang tua penulis yang senantiasa memberikan semangat dan memanjatkan do'a untuk keberhasilan putra-putrinya. Penulis sangat bangga mempunyai orang tua seperti kalian.

Semoga laporan yang penulis susun ini bisa memberikan manfaat bagi yang membacanya.

Depok, 2 Juli 2009

Penulis

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

---

---

Sebagai civitas akademika Universitas Indonesia, penulis yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yunarto  
NPM : 0405020715  
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 penulis yang berjudul :

***Experimental Setup Peralatan Uji Aliran Udara  
untuk Textile Duct***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir penulis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2009

Yang menyatakan

( Yunarto)

v

## ABSTRAK

Nama : Yunarto  
Program studi : Teknik Mesin  
Judul : *Experimental Setup* Peralatan Uji Aliran Udara  
untuk *Textile Duct*

Penelitian mengenai penurunan tekanan dan profil kecepatan udara dalam *duct* berbahan kain Taslan telah dilakukan dalam upaya mencari bahan alternatif untuk sistem pendistribusian udara AC. Selain itu, penelitian pendukung dilakukan untuk mengetahui kekasaran dan permeabilitas bahan tersebut. Pengujian dimulai dengan kalibrasi alat dan pembuatan kerangka pengujian. Dilanjutkan dengan pemilihan bahan dan pengujian kekasaran serta permeabilitas. Kerangka pengujian yang dibuat mampu menahan getaran dan kerutan pada *duct*. Dengan menggunakan AFD-240GTAE diketahui bahwa *fan* yang dipakai saat pengambilan data mempunyai tekanan statik berkisar antara 7.9-150 mmH<sub>2</sub>O dan efisiensi *fan* antara 5.25-45%. Hasil dari pengujian menunjukkan kain Taslan mempunyai kekasaran 12.32  $\mu\text{m}$  dan bersifat permeabel pada tekanan 55 mmH<sub>2</sub>O. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kain Taslan bisa dijadikan bahan alternatif *textile duct*.

Kata kunci: profil kecepatan, *duct*, penurunan tekanan, permeabilitas

## ABSTRACT

Name : Yunarto  
Study program : Mechanical Engineering  
Title : The Experimental Setup of Air Flow Apparatus for  
Textile Duct

A research about pressure drop and air velocity profile in Taslan textile materialized has been done to find alternative material for AC air distribution system. In addition, a support research has been done to know the roughness and permeability of this material. The testing began with the instrument calibration and make duct support. Then it followed by choosing the material, testing the roughness and permeability. The duct support can resist vibration and prevent wrinkle on the duct. Using AFD-240GTAE is known that fan used when taking the data has static pressure between 9-150 mmAq and fan efficiency between 5.25-45%. The result from the testing shown that Taslan Textile has 12.32  $\mu\text{m}$  roughnesses and become permeable at 55 mmAq pressure. The research show that Taslan textile can be used for alternative material textile duct.

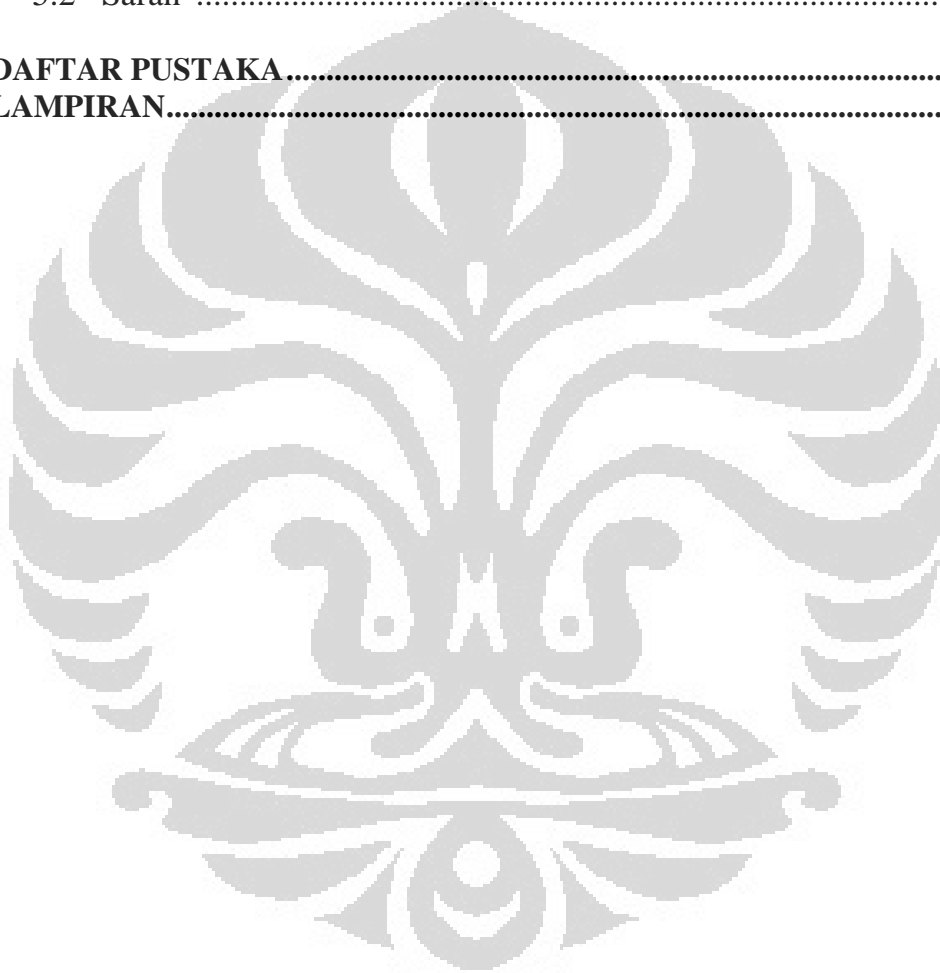
Keywords: velocity profile, duct, pressure drop, permeability

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
<b>1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Permasalahan .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.4 Metodologi Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Textile Duct</i> .....	5
2.2 Sifat-sifat Aliran Fluida Dalam Pipa .....	7
2.2.1 Persamaan Bernoulli .....	8
2.2.2 Tekanan Statik, Tekanan Stagnasi dan Tekanan Dinamik.....	9
2.2.3 Aliran Laminar Berkembang Penuh .....	12
2.2.4 Aliran Turbulen berkembang penuh .....	13
2.3 Alat Ukur Laju Aliran AFD-240GTAE.....	15
2.3.1 Skema Alat.....	15
2.3.2 Istilah Pada Alat .....	16
<b>3 METODOLOGI PENGUKURAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Diagram Alir Proses Penelitian <i>Textile Duct</i> .....	19
3.2 Langkah Awal <i>Experimental Setup</i> Peralatan Uji Aliran Udara dalam <i>Textile Duct</i> .....	20
3.2.1 Pengujian Kalibrasi Menggunakan AFD-240GTAE .....	22
3.2.2 Pengujian Permeabilitas .....	23
3.2.3 Pengujian Kekasaran Permukaan Tekstil .....	25
3.3 Modifikasi <i>Air Flow Demonstration Apparatus</i> .....	27
3.4 Pengujian Verifikasi .....	31



<b>4</b>	<b>HASIL DAN ANALISA PENELITIAN.....</b>	<b>32</b>
4.1	Hasil Pengujian Kalibrasi Alat .....	32
4.1.1	Perhitungan .....	32
4.1.2	Hasil dan Pembahasan .....	36
4.2	Permeabilitas Bahan <i>Duct</i> .....	43
4.3	Kekasaran Bahan <i>Duct</i> .....	44
4.4	Pengukuran Verifikasi Profil Aliran.....	44
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran .....	49
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>50</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tipe <i>Textile Duct</i> yang ada di Pasaran.....	6
Gambar 2.2. Tipe Sistem <i>Duct</i> .....	7
Gambar 2.3. Pola Aliran Memasuki Pipa .....	8
Gambar 2.4. <i>Wall Pressure Tap</i> dan Tabung Pitot .....	10
Gambar 2.5. Jatuh Tekanan pada Daerah Masuk dan Daerah Berkembang Penuh..	11
Gambar 2.6. Profil Aliran Dalam Pipa.....	12
Gambar 2.7. Sebuah Fenomena Turbulen.....	14
Gambar 2.8. Komponen <i>Air flow Demonstration Apparatus</i> .....	15
Gambar 2.9. Prinsip Pengukuran Manometer Sudut .....	17
Gambar 2.10. Skema Pengukuran Laju Aliran Dengan Orifice .....	18
Gambar 3.1. Skema Alur Penelitian .....	19
Gambar 3.2. <i>Control box</i> untuk AFD-240GTAE .....	22
Gambar 3.3. <i>Experimental Setup</i> Peralatan Uji Permeabilitas <i>Duct</i> .....	25
Gambar 3.4. Profil Tekstur Permukaan .....	26
Gambar 3.5. <i>Surface Roughness Tester</i> (atas: unit alat, kiri: spesimen dan <i>dial indicator</i> , kanan: display/monitor) .....	26
Gambar 3.6. Mesin Pendingin pada Sisi Masuk Fan .....	28
Gambar 3.7. Desain Kerangka Pengujian/ <i>jig</i> .....	29
Gambar 3.8. Desain <i>Duct</i> .....	29
Gambar 3.9. Posisi <i>Pressure tap</i> .....	30
Gambar 3.10. Desain <i>Straightener</i> dan Posisi Klem pada <i>Duct</i> .....	30
Gambar 4.1. Kurva Unjuk Kerja AFD-240GTAE.....	37
Gambar 4.2. Kurva Pemakaian Daya Fan Sentrifugal AFD-240GTAE RPM 1200 .	38
Gambar 4.3. Kurva Karakteristik Fan Sentrifugal AFD-240GTAE RPM 1200.....	39
Gambar 4.4. Kurva Karakteristik Fan Sentrifugal AFD-240GTAE RPM 1800 .....	40
Gambar 4.5. Kurva Karakteristik Fan Sentrifugal AFD-240GTAE RPM 2400 .....	40
Gambar 4.6. Kurva Karakteristik Fan Sentrifugal AFD-240GTAE RPM 2700 .....	41
Gambar 4.7. Kurva Profil Aliran di <i>Apparatus</i> Sebelum Pemasangan <i>Test section</i> ..	45
Gambar 4.8. Kurva Profil Aliran di <i>Apparatus</i> Setelah Pemasangan <i>Test section</i> ...	46
Gambar 4.9. Kurva Profil Aliran Udara pada Akhir <i>Test section</i> .....	48

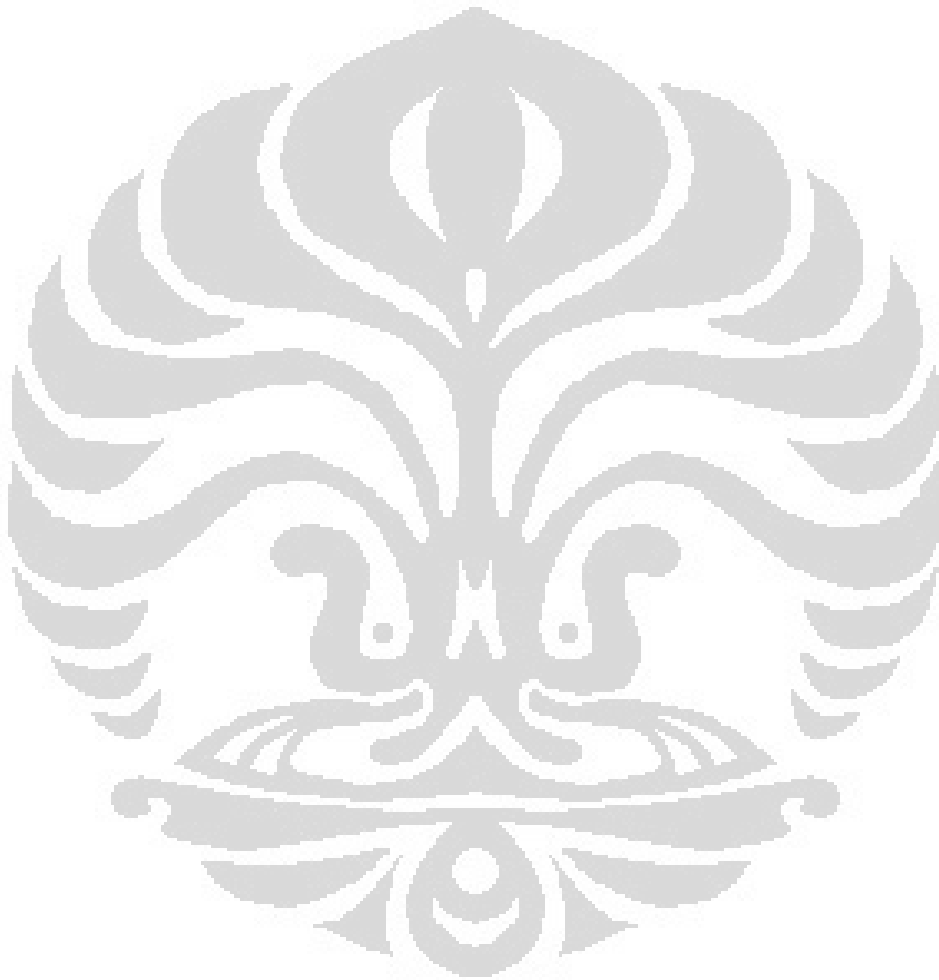
## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Posisi Pengukuran dengan <i>Pitot tube</i> .....	31
Tabel 4.1. Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 1200 .....	32
Tabel 4.2. Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 1800 .....	33
Tabel 4.3. Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 2400 .....	34
Tabel 4.4. Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 2900 .....	35
Tabel 4.5. Karakteristik Fan Kondisi Bebas Tanpa <i>Throttle</i> .....	36
Tabel 4.6. Unjuk Kerja Belt-Drive Fan .....	42
Tabel 4.7. Penentuan Diameter Berdasarkan Referensi fpm Standar <i>Duct</i> .....	43
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Permeabilitas Bahan <i>Duct</i> (Taslan) .....	44
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Kekasaran Bahan <i>Duct</i> (Taslan).....	44
Tabel 4.10. Kecepatan Rata-rata Aliran Awal pada Apparatus .....	45
Tabel 4.11. Kecepatan Rata-rata Aliran dalam m/s .....	47



## DAFTAR LAMPIRAN

1. Data Pengujian Profil Aliran
2. Data Pengujian Kalibrasi Alat
3. ASTM D 737-04



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Permasalahan

Pengkondisian udara (*air conditioning*) merupakan proses yang penting untuk diperhitungkan dalam perencanaan suatu bangunan. Hal ini sangat berkaitan erat antara sistem tata udara dan teknik pendingin. Kunci pokoknya kita harus mengatur temperatur, kelembaban, distribusi aliran dan kualitas udara. Beberapa definisi tentang pengkondisian udara:

1. SNI 03-6390-2000: Pengkondisian udara adalah usaha mengolah udara untuk mengendalikan temperatur ruangan, kelembaban relatif, kualitas udara, dan penyebarannya untuk menjaga persyaratan kenyamanan (*comfort*) bagi penghuni. Suatu sistem pengkondisian udara belum tentu dapat mengendalikan seluruh parameter tersebut.
2. W.F. Stoecker dan J.W. Jones (1994 : 1) menyatakan “ Mengondisikan udara adalah perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni di dalamnya”
3. V. Paul Lang (1971: 3) mengemukakan bahwa “Pengkondisian udara merupakan suatu proses dari pengontrolan panas, dingin, kebersihan, dan sirkulasi udara serta kandungan uap air dari udara.

Dahulu pengkondisian udara pada rumah atau gedung hanya membutuhkan ventilasi udara yang cukup agar udara yang ada dalam ruangan dapat bersirkulasi. Tetapi sekarang dengan tingginya tingkat polusi udara khususnya di kota-kota besar dan adanya pemanasan global mengakibatkan kebutuhan ventilasi udara bukan merupakan syarat utama sebuah bangunan. Hal penting terkait hal tersebut adalah perhitungan beban pendinginan.

Perhitungan beban pendinginan merupakan langkah utama dalam perancangan suatu sistem pengkondisian udara. karena apabila tidak tepat

akan mengakibatkan beban pendinginan tidak dapat diatasi, dan kenyamanan udara yang direncanakan tidak optimal. Oleh karena itu *pengkondisian udara* memerlukan perhitungan beban pendinginan yang tepat sesuai dengan beban di ruangan, sehingga pemanfaatannya menjadi efektif dan efisien.

Sekarang kita bisa mengenal tipe pendinginan langsung seperti pada AC tipe split dan window. Selain itu dikenal tipe pendinginan tidak langsung dalam hal ini perlu adanya alat untuk mendistribusikan udara dingin dari pendingin (*chiller*). Alat tersebut yang disebut *duct*.

*Duct* konvensional biasanya masih menggunakan metal sebagai bahan bakunya dengan dilapisi isolator untuk menjaga kondensasi. Akan tetapi saat ini telah banyak dilakukan kajian dan aplikasi *duct* menggunakan *textile*. Berbeda dengan *duct* metal yang berupa saluran dengan *diffuser* pada beberapa tempat yang diinginkan, *textile duct* digunakan baik sebagai *duct* sekaligus *diffuser*nya karena udara dapat keluar di sepanjang saluran dengan demikian distribusi udara dingin merata.

Dengan beberapa keunggulannya, baik secara mekanis, teknis, ekonomis maupun estetika, *textile duct* akan mampu menjadi pilihan alternatif digunakan dalam pendistribusian udara. Secara mekanis, *textile duct* dapat menghasilkan distribusi udara yang lebih merata sehingga memberikan kenyamanan yang lebih baik. Instalasi dan pemeliharaan *textile duct* juga lebih mudah dan murah sehingga dapat menjadi salah alternatif untuk menekan biaya gedung. Dengan berbagai pilihan warna, pemilihan dan penyesuaian warna yang baik *textile duct* dapat dibuat menjadi elemen yang menambah estetika ruangan.

Produk *textile duct* yang saat ini digunakan di Indonesia adalah produk impor. Biasanya mereka mengimpor *duct* dalam bentuk produk jadi, bukan dalam bentuk tekstil. Hal ini bisa dimaklumi karena mereka belum tahu karakteristik dari bahan tekstilnya. Sehingga mereka akan mengeluarkan biaya yang cukup besar meskipun telah menggunakan *duct* alternatif yang terbuat dari tekstil. Pada tugas akhir ini dikaji mengenai

karakteristik/parameter yang diperlukan ketika kita akan mendesain sebuah *duct* menggunakan tekstil.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini secara umum adalah untuk mengetahui pola aliran udara dan menghitung jatuh tekanan pada *textile duct*. Dengan data-data dan analisa yang dilakukan maka nantinya akan diperoleh lebih banyak informasi mengenai karakteristik *textile duct* yang diuji. Diantara data yang dihasilkan antara lain diagram jatuh tekanan, kurva profil aliran keluar nosel dan beberapa parameter lainnya. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Mempersiapkan alat uji aliran udara dalam *textile duct* dengan modifikasi AFD-240GTAE.
2. Memastikan kualitas tekstil yang dipakai cocok untuk dipakai sebagai *duct* dengan pengujian permeabilitas dan kekasaran.

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

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Berikut ini adalah lingkup yang akan dibahas pada tugas akhir ini:

1. *Experimental setup* peralatan uji aliran udara dalam *textile duct*.
2. Pengujian permeabilitas bahan *duct*.
3. Pengujian kekasaran bahan *duct*.
4. Kalibrasi alat.

## 1.4 Metodologi Penelitian

Metoda yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah eksperimen dan studi pustaka. Eksperimen dilakukan di laboratorium mekanika fluida DTM FTUI dengan terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk udara standar pada alat yang tersedia dilanjutkan perancangan alat dan pengambilan data. Literatur yang digunakan diperoleh dari buku-buku,

**Universitas Indonesia**

standar-standar internasional, skripsi-skripsi sebelumnya, serta informasi dari internet.

## 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 Tinjauan Pustaka**

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

- **Bab III Metodologi Penelitian**

Bab ini berisikan tentang perancangan peralatan pengujian yang akan digunakan untuk eksperimen dan proses pengujian yang dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

- **Bab IV Hasil dan Analisis Penelitian**

Data-data yang diperoleh dari pengujian dan pengamatan kemudian dianalisa dan disajikan hasil analisisnya 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 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Textile Duct*

Menurut Ductsox keunggulan *textile duct* dibandingkan dengan jenis *duct* lainnya adalah sebagai berikut:

1. Pemasangannya mudah dan sederhana  
Sistem suspensi yang sederhana mengurangi waktu pemasangan hingga 90%.
2. Ringan  
Dibandingkan dengan sistem konvensional/*metal duct*, *textile duct* jauh lebih ringan sehingga mengurangi beban atap, mudah dipasang dan mengurangi peralatan pengangkat.
3. Fleksibel  
Karena sifatnya yang fleksibel dan tidak mengalami goresan seperti pada *metal duct*, sangat cocok untuk dipasang pada gedung sekolah maupun arena gedung olahraga.
4. *Textile duct* bersifat porous  
Air yang keluar melalui kain bisa mengurangi resiko terjadinya kondensasi dan lengkungan akibat debu yang mengumpul pada permukaan *duct*.
5. Higienis  
Secara langsung tanpa isolasi tambahan *textile duct* bersifat tidak kondensasi karenanya tidak menyebabkan bakteri dan microba berkembang sehingga cocok untuk pemasangan pada industri makanan dan manufaktur.
6. Murah  
Baik biaya *duct* maupun biaya instalasi sangat murah dibandingkan konvensional *duct*.

Saat ini telah dikembangkan sistem saluran udara yang menggunakan material tekstil sebagai saluran udara atau yang disebut sebagai *textile*

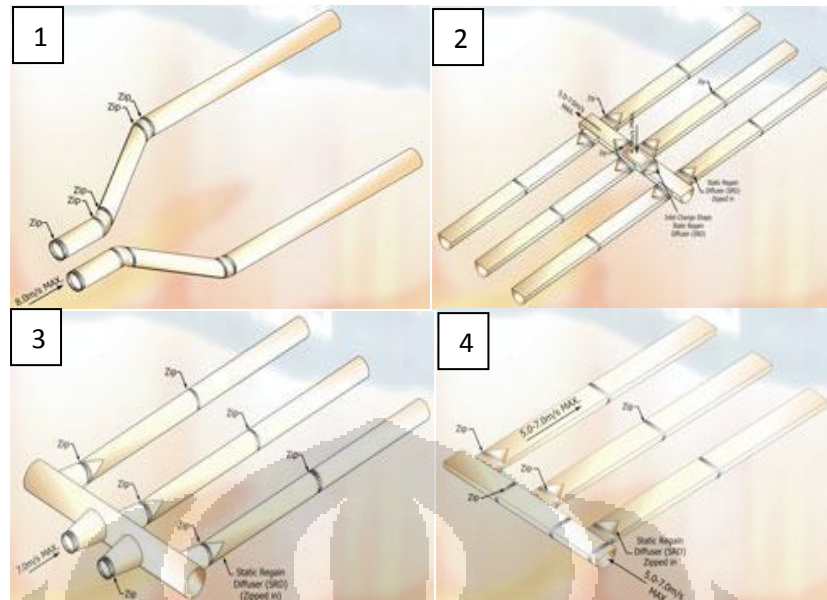
*duct*. Berbeda dengan *duct* konvensional, *textile duct* tidak membutuhkan *diffuser* dan *grille*. *Textile duct* mendistribusikan udara melalui permukaannya maupun melalui *orifice* di sepanjang saluran udara.

Dalam perencanaan sistem pendistribusian udara dalam ruangan yang dikondisikan, perlu memperhatikan beberapa hal seperti kecepatan udara, jatuh tekanan, tingkat kebisingan yang ditimbulkan, *heat gain/loss*, kebocoran-kebocoran pada *duct* dan tekanan *duct*. Berikut adalah contoh *duct* yang telah dibuat oleh produsen asing.



**Gambar 2.1.** Tipe *Textile Duct* yang ada di Pasaran

Sumber : google.com (textile duct)



**Gambar 2.2.** Tipe Sistem *Duct*

Sumber : <http://www.acr-news.com/news/news.asp?id=1197>

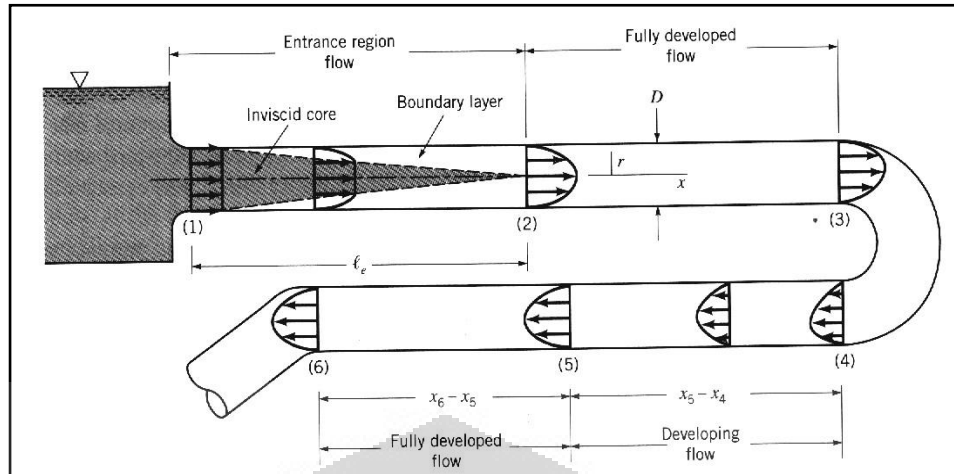
Keterangan gambar:

1. Sistem 2 saluran, dengan sudut lengkung  $30-45^{\circ}$  yang bertujuan mengurangi gangguan dan memperluas ruang antar saluran. Sedangkan sudut lengkung saling berlawanan  $90^{\circ}$  dengan maksud mengurangi jatuh tekanan dan efisiensi daya motor.
2. Sistem semi lingkaran *textile duct* yang menempel pada plafon
3. Sistem menggunakan *textile plenum* dengan maksud untuk mendistribusikan udara secara merata ke semua *duct*.
4. Sistem semi lingkaran dengan *plenum* yang dipasang menempel pada plafon.

## 2.2 Sifat-sifat Aliran Fluida Dalam Pipa

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa memasuki pada suatu lokasi yang disebut daerah masuk. Fluida memasuki sebuah pipa biasanya dengan profil yang hampir seragam. Adanya efek viskos menyebabkan profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa  $x$  (lapisan batas/*boundary layer*) sampai fluida mencapai akhir dari daerah masuk. Setelah itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut  $x$  (lapisan berkembang penuh/*fully developed*).[3]

Universitas Indonesia



**Gambar 2.3.** Pola Aliran Memasuki Pipa

Sumber: Bruce R. Munson & Donald F Young (2003)

Panjang daerah masuk berkaitan erat dengan angka bilangan Reynolds.

Panjang masuk ada umumnya diberikan hubungan:

$$\frac{l_e}{D} = 0.06 Re \text{ untuk aliran laminar}$$

dan

$$\frac{l_e}{D} = 4,4 (Re)^{1/6} \text{ untuk aliran turbulen} \quad (2.1)$$

### 2.2.1 Persamaan Bernoulli

Persamaan momentum aliran fluida (*viscous & compressible*) dianalisa dengan mempergunakan persamaan Navier-Stokes. Bila persamaan ini diterapkan pada aliran tanpa gesekan (*nonviscous/inviscid*) diperoleh persamaan Euler yaitu :

$$\rho g - \nabla p = \rho \frac{DV}{Dt} \quad (2.2)$$

dimana :

$\rho$  : massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  : percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m / dt}^2$ )

$\nabla p$  : gradien tekanan ( $\text{N/m}$ )

$\frac{DV}{Dt}$  : turunan total vektor kecepatan terhadap waktu

Universitas Indonesia

Dari persamaan Euler dan persamaan Hukum II Newton akan diperoleh persamaan Bernoulli dengan asumsi :

- Aliran tunak (*steady*)
- Aliran tak mampu mampat (*incompressible*)
- Aliran tanpa gesekan (*inviscid/non viscous*)
- Aliran menurut garis arus ( sepanjang *streamline*)

$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{v^2}{2} = C \quad (2.3)$$

dimana :

$p$  : tekanan fluida ( Pa)       $V$  : kecepatan fluida ( m/dt<sup>2</sup>)  
 $z$  : perubahan ketinggian ( m)  $C$  : konstan/tetap

### 2.2.2 Tekanan Statik, Tekanan Stagnasi dan Tekanan Dinamik

Tekanan statik atau tekanan thermodinamika pada persamaan Bernoulli adalah tekanan fluida yang diukur oleh alat yang bergerak bersama dengan fluida. Kondisi ini sangat sulit diwujudkan. Namun dengan kenyataan bahwa tidak ada variasi tekanan pada arah penampang tegak lurus aliran, maka tekanan statik dapat diukur dengan membuat lubang kecil pada dinding aliran sedemikian rupa sehingga sumbunya tegak lurus dinding aliran (*wall pressure tap*). Cara lain adalah dengan memasang *probe* atau tabung pitot pada aliran fluida jauh dari dinding aliran (gambar 2.4). Pengukuran tekanan statis dilakukan oleh lubang kecil di bagian bawah dinding tabung.

Tekanan Stagnasi adalah tekanan fluida yang diukur pada aliran fluida yang diperlambat sampai diam,  $V = 0$  dengan kondisi aliran tanpa gesekan. Pengukuran tekanan stagnasi pada tabung pitot diukur oleh lubang kecil di mulut tabung yang akan tepat tegak lurus terhadap garis arus dari aliran.

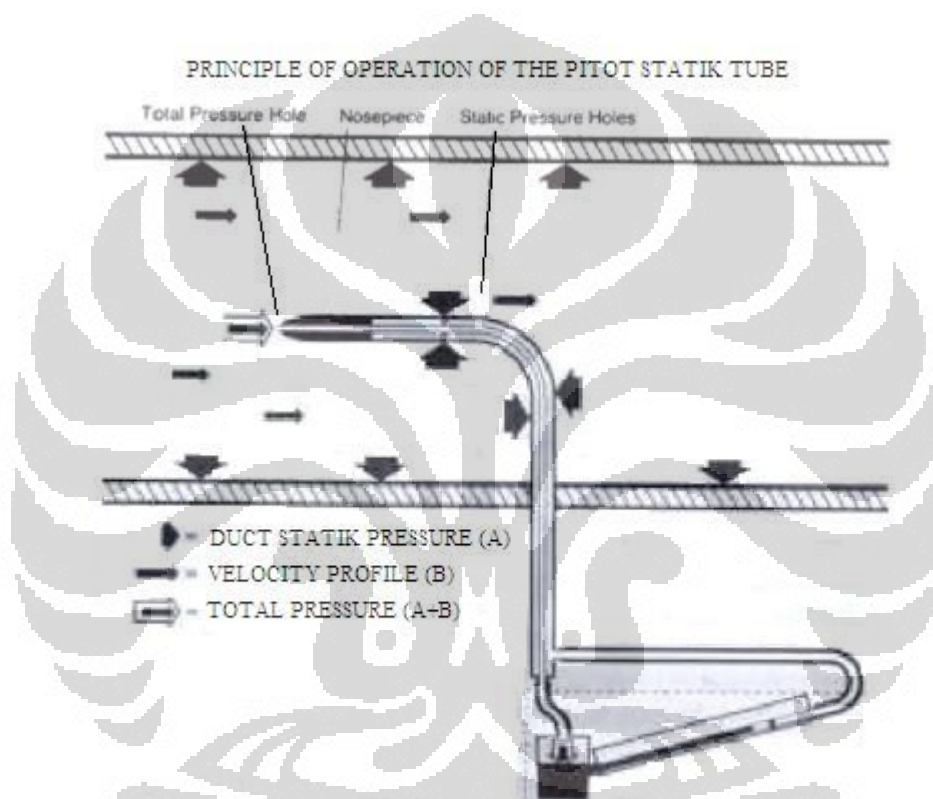
Jika  $p$  adalah tekanan statik pada penampang dengan kecepatan fluida adalah  $V$  dan  $p_0$  adalah tekanan stagnasi dimana kecepatan stagnasi aliran fluida  $V_0$  adalah 0, maka dapat dihitung :

**Universitas Indonesia**

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = C \rightarrow \frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

$$P_0 = P + \rho \frac{V^2}{2} \quad (2.4)$$

Suku kedua,  $\rho.V^2/2$  adalah tekanan dinamik yaitu tekanan akibat kecepatan fluida, yakni selisih antara tekanan statik dengan tekanan stagnasi.



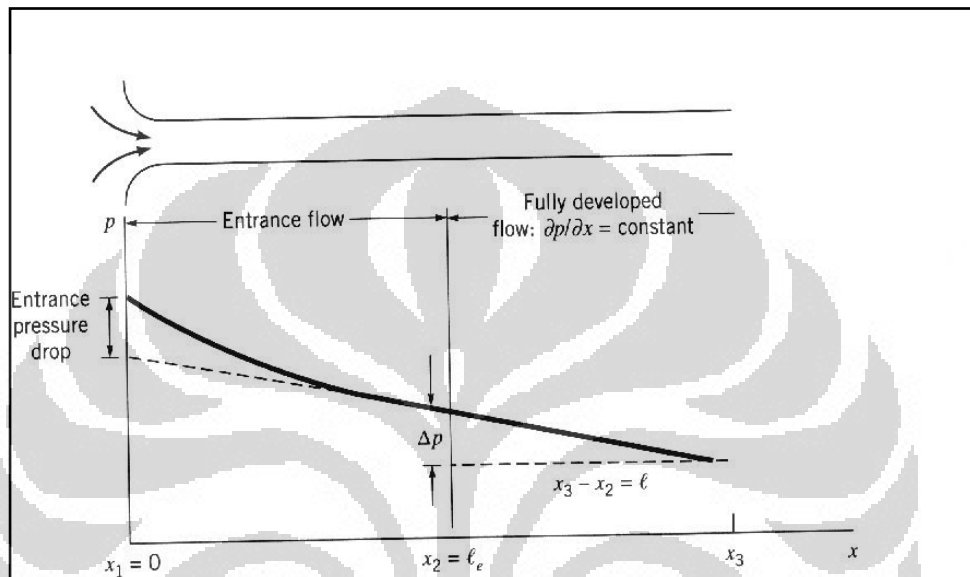
**Gambar 2.4.** Wall Pressure Tap dan Tabung Pitot

Sumber : <http://www.habmigern2003.info/suggestions/Flow/Flowvelocity-calculation.htm>

Perubahan tekanan dalam aliran fluida terjadi karena adanya perubahan ketinggian, perubahan kecepatan akibat perubahan penampang dan gesekan fluida. Pada aliran tanpa gesekan perubahan tekanan dapat dianalisa dengan persamaan Bernoulli yang memperhitungkan perubahan tekanan ke dalam perubahan ketinggian dan perubahan kecepatan. Sehingga perhatian utama dalam menganalisa kondisi aliran nyata adalah pengaruh dari gesekan. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau

**Universitas Indonesia**

kehilangan tekanan dibandingkan dengan aliran tanpa gesekan. Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan tekanan akibat gesekan atau kerugian ini dapat digolongkan menjadi 2 yaitu: kerugian mayor dan kerugian minor.



**Gambar 2.5.** Jatuh Tekanan pada Daerah Masuk dan Daerah Berkembang Penuh

Sumber: Bruce R. Munson & Donald F Young (2003)

Aliran tunak berkembang penuh pada pipa berdiameter konstan mungkin dipengaruhi oleh tekanan dan/atau gravitasi. Untuk pipa horisontal, gravitasi tidak memberikan pengaruh. Yang mempengaruhi fluida mengalir hanyalah adanya beda tekanan  $\Delta p = p_1 - p_2$ . Efek viskos memberikan efek dimana akan menghambat gaya tekan sehingga memungkinkan fluida mengalir tanpa percepatan.

Pada daerah aliran masuk, terdapat kesetimbangan antara gaya tekanan, gaya viskos, dan gaya inersia (percepatan) sehingga profil kecepatannya seragam. Sehingga gradien tekanan di daerah masuk lebih besar dari gradien tekanan di daerah berkembang penuh.

Kondisi dimana gradien tekanan disepanjang pipa tidak sama dengan 0 diperlukan untuk mengatasi efek viskos dapat dilihat dari 2 sudut pandang yaitu:

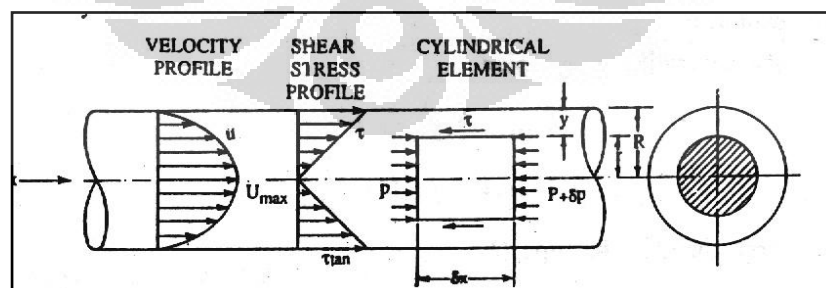
1. Dari sudut pandang kesetimbangan gaya-gaya yaitu untuk mengatasi efek viskos yang muncul.
2. Dari sudut pandang kesetimbangan energi diperlukan untuk mengatasi disipasi viskos dari energi diseluruh fluida.

Dari persamaan (2.4) maka pengukuran tekanan statis dan tekanan stagnasi dengan tabung pitot dapat juga sekaligus mengukur tekanan dinamisnya. Penerapan yang lain dari persamaan ini adalah perubahan tekanan dinamis menjadi kecepatan fluida dengan kondisi aliran tak mampu mampat. Dengan demikian tabung pitot dapat juga dipergunakan sebagai alat ukur kapasitas aliran.

### 2.2.3 Aliran Laminar Berkembang Penuh

Pendekatan yang digunakan untuk analisis aliran laminar berkembang penuh meliputi:

1. Persamaan Newton tentang gaya/gerak  $F = ma$
2. Persamaan Navier-stokes tentang gerak
3. Metode analisis dimensional



**Gambar 2.6.** Profil Aliran Dalam Pipa

Sumber: Bruce R. Munson & Donald F Young (2003)



Jika suatu aliran berkembang penuh dan tunak maka perubahan bentuk pada setiap ujung elemen fluida sama dan tidak ada bagian dari fluida yang mengalami percepatan. Percepatan lokal (percepatan pada suatu titik) adalah nol ( $\partial V/\partial t = 0$ ) karena tunak, dan percepatan konvektif (percepatan sepanjang garis jejak) adalah 0 ( $V \cdot \nabla V = u \partial u/\partial x$   $i = 0$ ) karena aliran berkembang penuh.

Pada aliran pipa horisontal berkembang penuh kesetimbangan hanya semata antara kesetimbangan tekanan dan gaya viskos. Hubungan antara penurunan tekanan dan tegangan geser dinding adalah:

$$\Delta p = \frac{4l\tau_w}{D} \quad (2.5)$$

Dengan  $\tau_w$  adalah tegangan geser pada dinding. Sebuah tegangan geser yang kecil dapat menghasilkan perbedaan tekanan yang besar jika pipa relatif panjang ( $l/D \gg 1$ ).

Untuk aliran laminar tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan

$$\tau = \mu \frac{du}{dr} \quad (2.6)$$

Untuk mencari profil kecepatan kita bisa menghubungkan antara tegangan geser dinding dan gradien tekanan:

$$u(r) = \frac{D\tau_w}{4\mu} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

Sedangkan untuk mencari debit fluida yang masuk dengan persamaan:

$$Q = \frac{\pi D^2 \Delta p}{128 \mu l} \quad (2.8)$$

#### 2.2.4 Aliran Turbulen berkembang penuh

Perbedaan dasar antara aliran laminar dan turbulen adalah adanya perilaku Chaos, acak dari berbagai parameter fluida. Variasi seperti ini terjadi dalam tiga komponen kecepatan, tekanan, tegangan geser, temperatur dan variabel lainnya yang memiliki deskripsi medan.



**Gambar 2.7.** Sebuah Fenomena Turbulen

Sumber: File presentasi mekanika fluida karangan Dr.Ir. Harinaldi, M.Eng

Untuk aliran turbulen, besarnya tegangan geser didapatkan dari persamaan

$$\tau_{turb} = -\rho \overline{u'v'} \quad (2.9)$$

Nilai yang khas dari aliran turbulen  $\tau_{turb}$  adalah 100 sampai 10000 kali lebih besar dari pada aliran laminer  $\tau_{lam}$  (daerah luar) dan sebaliknya untuk sublapisan viscos. Alternatif persamaan untuk menghitung tegangan geser pada aliran turbulen adalah dinyatakan viskositas Eddy,  $\eta$

$$\tau_{turb} = \eta \frac{d\bar{u}}{dy} \quad (2.10)$$

Atau pada bentuk lain:

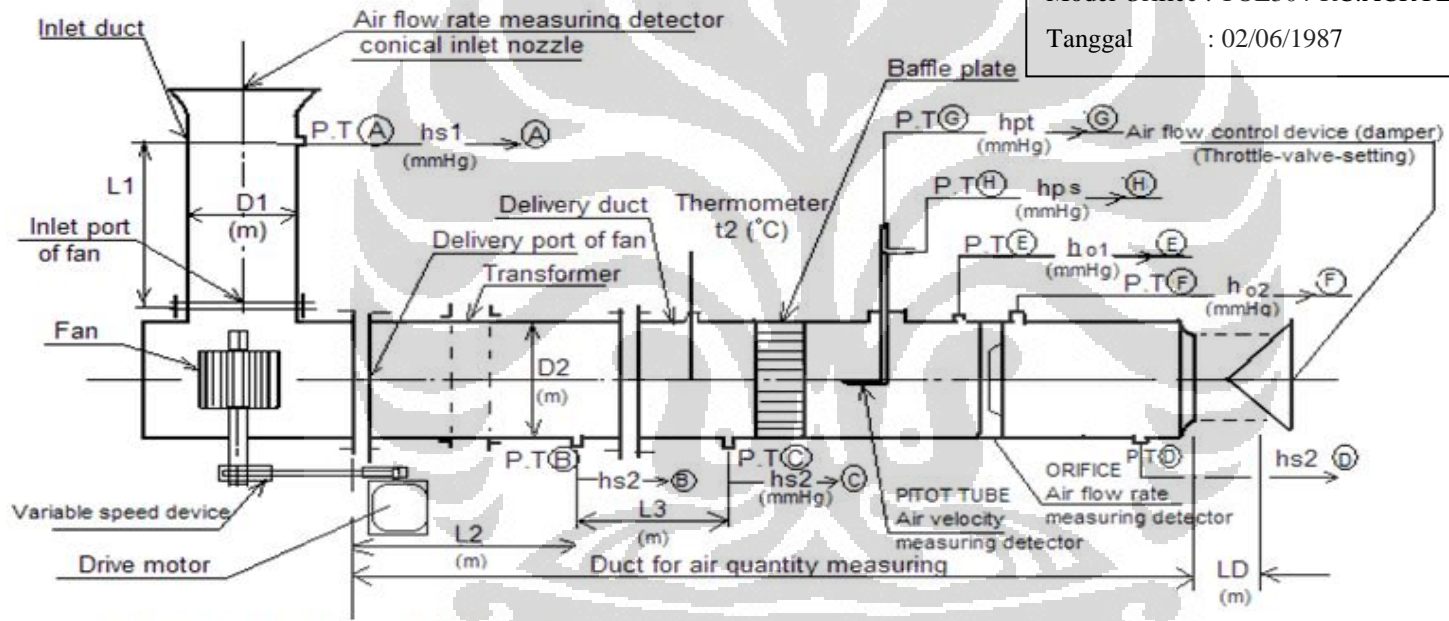
$$\tau_{turb} = \rho l_m^2 \left( \frac{d\bar{u}}{dy} \right)^2 \quad (2.11)$$

dimana  $l_m$  adalah panjang percampuran.

**2.3 Alat Ukur Laju Aliran AFD-240GTAE**

**2.3.1 Skema Alat**

Nama alat	: Air Flow Demonstration Apparatus
Model	: AFD-240GTAE
Power Suply	: AC 380V, 50Hz, 3 Phase
Produsen	: Ogawa Seiki Co., LTD.
Model Orifice	: TOE304-RC.ACRYL250A
Tanggal	: 02/06/1987



Catatan : Digambar ulang tanpa skala

**Gambar 2.8.** *Komponen Air Flow Demonstration Apparatus*

Sumber: Buku Manual AFD-240GTAE

### 2.3.2 Istilah Pada Alat

$$P_T = P_{t2} - P_{t1} = (P_{s2} - P_{s1}) + (P_{d2} - P_{d1}) \quad (2.12)$$

$$P_s = P_T - P_{d2} = (P_{s2} - P_{s1}) - P_{d1} \quad (2.13)$$

$$P_{t2} = h_{s2} + \overline{h_{d2}} + \Delta_2 \quad (2.14)$$

$$P_{t1} = h_{s1} + \overline{h_{d1}} + \Delta_1 \quad (2.15)$$

$$\overline{h_{d2}} = \frac{\gamma_2}{2g} \left( \frac{Q}{60A_2} \right)^2 \quad (2.16)$$

$$\overline{h_{d1}} = \frac{\gamma_1}{2g} \left( \frac{Q}{60A_1} \right)^2 \quad (2.17)$$

$$A_2 = 0.025 \frac{L_2}{D_2} h_{d2} \quad (2.18)$$

$$A_1 = 0.025 \frac{L_1}{D_1} h_{d1} \quad (2.19)$$

Keterangan:

$P_T, P_s$  : Tekanan total fan, tekanan static fan

$Q$  : Jumlah udara yang keluar (debit)

$P_{t2}, P_{t1}$  : Tekanan total sisi keluar, dan sisi masuk fan

$P_{s2}, P_{s1}$  : Tekanan statik sisi keluar, dan sisi masuk fan

$P_{d2}, P_{d1}$  : Tekanan dinamik sisi keluar, dan sisi masuk fan

$h_{s2}, h_{s1}$  : Tekanan statik saluran udara keluar dan masuk

$\gamma_2, \gamma_1$  : Berat spesifik saluran udara keluar dan masuk

$A_2, A_1$  : Luas penampang saluran udara keluar dan masuk

$\Delta_2, \Delta_1$  : Gaya gesek saluran udara keluar dan masuk

$L_2$  : Panjang pipa antara sisi keluar fan dan tap B

$L_1$  : Panjang pipa antara sisi masuk fan dan tap A

$D_2, D_1$  : Diameter pipa saluran keluar dan masuk

Gaya gesek udara ( $\Delta_1$ ) pada saluran udara masuk fan diabaikan, dan

$P_{t1}$  akan diasumsikan sama dengan nol (0). Sehingga persamannya

menjadi:

$$P_T = P_{t2} \quad (2.20)$$

$$P_s = P_{t2} - P_{d2} \quad (2.21)$$

$$P_{t2} = \overline{h_{s2}} + \overline{h_{d2}} + \Delta_2 \quad (2.22)$$

$$h_{d2} = \frac{\gamma_2}{2g} \left( \frac{Q}{60A_2} \right)^2 \quad (2.23)$$

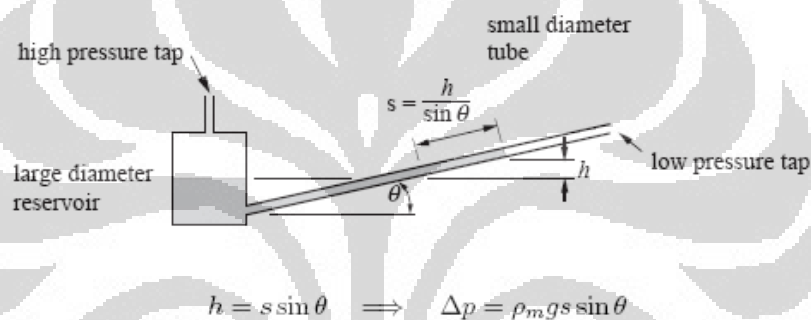
$$A_2 = 0.025 \frac{L_z}{2g} \overline{h_{d2}} \quad (2.24)$$

$$P_{d2} = \frac{\gamma_2}{2g} \left( \frac{Q}{60A'_2} \right)^2 \quad (2.25)$$

dimana,

$A'_2$  adalah luas penampang fan pada sisi keluar.

Untuk meningkatkan akurasi pengukuran dibandingkan pengukuran dengan manometer U maka dipakai manometer sudut. Prinsip pengukuran menggunakan manometer sudut adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.9.** Prinsip Pengukuran Manometer Sudut

Sumber : <http://web.cecs.pdx.edu/~gerry/class/ME449/lectures/pdf/pressureVelocityOutline.pdf>

a) Laju Aliran Udara pada Fan

Laju aliran udara yang keluar fan akan dihitung dengan persamaan 2.26.

$$Q_o = 60 \cdot \alpha_o \cdot \epsilon_o \cdot a_o \sqrt{\frac{2g}{\gamma_o} h_o} \quad (2.26)$$

Keterangan:

$Q_o$  : Debit udara yang melalui orifice ( $m^3/min.$ )

$\alpha_o$  : *Coefficient of discharge* (-)

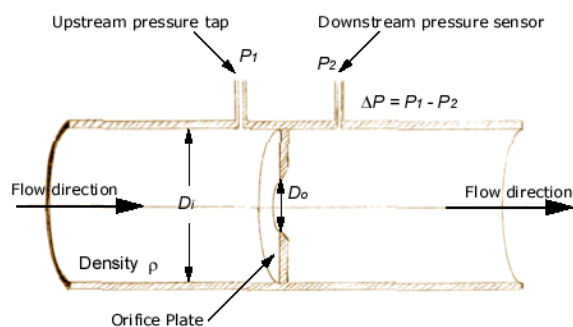
$\epsilon_o$  : Faktor koreksi karena ekspansi udara

$a_o$  : Luas lubang lingkaran =  $\frac{\pi}{4} d_o^2$  ( $m^2$ )

$\gamma_o$  : Berat spesifik udara sementara pada orifice ( $kg/m^2$ )

$h_o$  : Beda tekanan antara sisi depan dan belakang orifice

**Universitas Indonesia**



**Gambar 2.10.** Skema Pengukuran Laju Aliran Dengan Orifice

Sumber : <http://www.jegasho.net/rotron%20pages/orifice%20flow%20calculation.htm>

Jika bilangan Reynold's  $R_{oD}$  pada keadaan operasi lebih besar dari nilai batas  $R_{oD21}$  maka bilangan Reynold's dihitung menggunakan persamaan:

$$R_{oD2} = \frac{\bar{v}_2 D_2}{\nu_2} \times 10^4 \quad (2.27)$$

Keterangan:

$\bar{v}_2$  : Laju aliran udara rata-rata saluran keluar (m/s)

$D_2$  : Diameter dalam saluran keluar (m)

$\nu_2$  : Koefisien kinematik udara saluran keluar ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

b) Laju Aliran Udara pada *Conical Inlet Nozzle*

$$Q_n = 60 \cdot \alpha_n \cdot a_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma_n} h_n} \quad (2.28)$$

Keterangan:

$Q_n$ : Debit udara yang melalui *Conical Inlet Nozzle* ( $\text{m}^3/\text{min.}$ )

$\alpha_n$ : *Coefficient of discharge* (-)

$a_n$ : Luas lubang lingkaran =  $\frac{\pi}{4} d_1^2$  ( $\text{m}^2$ )

$\gamma_n$ : Berat spesifik udara pada *Conical Inlet Nozzle* ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$h_n$ : Beda tekanan antara sesaat pada tap A ( $h_n = h_{s1}$ ) (mmAq)

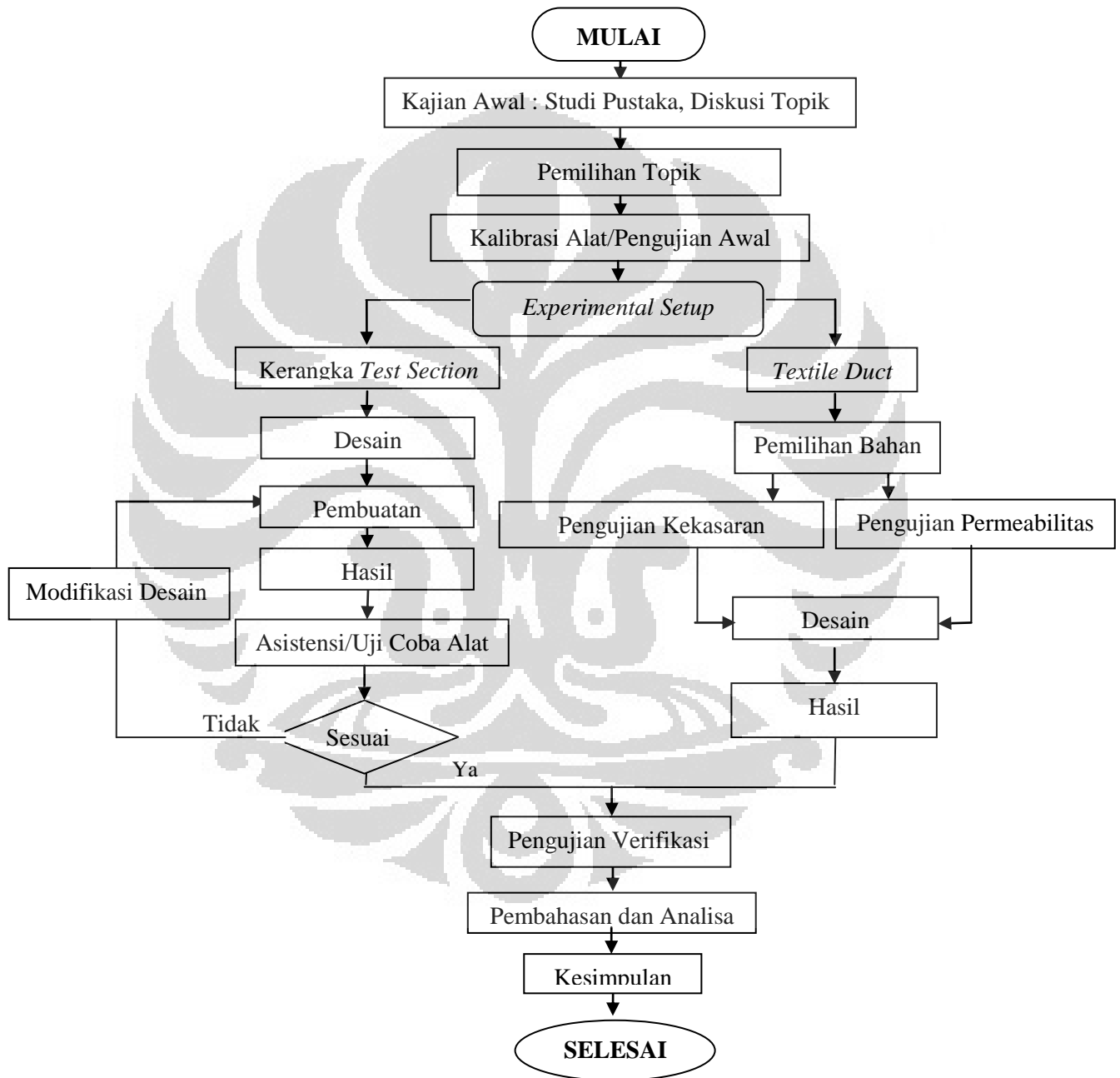
c) Bilangan Reynold's pada Fan

Jika bilangan Reynold's  $R_n$  pada keadaan operasi lebih besar dari  $5.5 \times 10^4$  maka bilangan Reynold's dihitung menggunakan persamaan:

$$R_n = \frac{\bar{v}_1 D_1}{\nu_1} \times 10^4 \quad (2.29)$$

**BAB 3**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir Proses Penelitian *Textile Duct***



**Gambar 3.1.** Skema Alur Penelitian

### 3.2 Langkah Awal *Experimental Setup* Peralatan Uji Aliran Udara dalam *Textile Duct*

Sebagaimana tujuan penelitian ini yang telah disampaikan di depan bahwa penelitian ini bertujuan untuk :

1. Membuat perangkat peralatan yang bagus untuk pengambilan data mengenai pola aliran udara dan penurunan tekanan serta profil kecepatan dan temperatur udara keluar nosel pada *textile duct*.
2. Memastikan kualitas tekstil yang dipakai cocok untuk dipakai sebagai *duct* dengan pengujian permeabilitas.
3. Mendapatkan parameter kekasaran dari bahan yang dipakai.

Secara garis besar penelitian ini meliputi 2 kali pengujian yaitu:

- Pengukuran awal --sebelum pembuatan *textile duct*-- Menggunakan *Air Flow Demonstration Apparatus* untuk mengkalibrasi alat. Menguji kekasaran untuk mendapatkan parameter kekasaran. Selanjutnya pengujian permeabilitas untuk mengetahui kualitas tekstil.
- Pengujian verifikasi --setelah pembuatan *textile duct*-- menggunakan perangkat uji spesimen *textile duct* dengan variasi laju aliran volumetrik udara.

Keterangan parameter untuk data yang bisa diukur atau dihitung menggunakan alat uji *Air Flow Demonstration Apparatus* AFD-240GTAE adalah:

Pengukuran dari:

- |                                                      |                       |
|------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. Input energi motor listrik                        | $L_{m1}$ (kW)         |
| 2. Kecepatan putaran <i>fan</i>                      | $N_t$ (rpm)           |
| 3. Penurunan tekanan pada corong nosel masuk         | $h_{s1}$ (mmAq)       |
| 4. Penurunan tekanan pada <i>orifice</i>             | $h_o$ (mmAq)          |
| 5. Beda tekanan pada pitot tube                      | $h_p$ (mmAq)          |
| 6. Tekanan udara yang melewati <i>fan</i>            | $h_{t2}$ (mmAq)       |
| 7. Temperatur udara yang melewati <i>fan</i>         | $t_2$ ( $^{\circ}$ C) |
| 8. Beda tekanan untuk melihat profil kecepatan udara | $h_p$ (mmAq)          |
| 9. Gaya gesek pada <i>duct</i>                       | $h_s$ (mmAq)          |

Universitas Indonesia



- |                                                |                              |
|------------------------------------------------|------------------------------|
| 10. Distribusi tekanan model pada aliran udara |                              |
| 11. Tekanan atmosfer                           | $P_a$ (mmHg)                 |
| 12. Temperatur atmosfer (TDB)                  | $t_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
| 13. Temperatur atmosfer (TWB)                  | $t_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
| 14. <i>Throttle valve setting</i>              | $L_D$ (m)                    |

Penghitungan dari:

- |                                                 |                                                 |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. Tekanan total pada <i>fan</i>                | $P_T$ (mmAq)                                    |
| 2. Tekanan statik pada <i>fan</i>               | $P_s$ (mmAq)                                    |
| 3. Input energi ke poros <i>fan</i>             | $L_{sT}$ (KW)                                   |
| 4. Energi keluar ke udara pada <i>fan</i>       | $L_{dT}$ (KW)                                   |
| 5. Efisiensi pada tekanan total pada <i>fan</i> | $\eta_T$ (-)                                    |
| 6. Laju aliran pada <i>fan</i>                  | $Q$ ( $\text{m}^3/\text{menit}$ )               |
| 7. Profil kecepatan udara pada <i>duct</i>      | $v$ (m/s)                                       |
| 8. Kecepatan rata-rata udara dalam duct         | $\bar{v}$ (m/s)                                 |
| 9. <i>Head</i> gaya gesek pada <i>duct</i>      | $\Delta_2$ (mmAq)                               |
| 10. Kelembaban relatif udara                    | $\phi$ (-)                                      |
| 11. Berat spesifik udara                        | $\gamma_o, \gamma_n$ ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) |

Persamaan karakteristik udara:

Persamaan yang digunakan adalah:

$$\gamma = \frac{P}{RT} \quad (3.1)$$

dimana,

- |       |                                                |                                 |
|-------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| $P$   | : Tekanan Absolut ( $P = P_a + P_g$ )          | ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ - abs) |
| $P_a$ | : Tekanan atmosfer                             | ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ - abs) |
| $P_g$ | : Tekanan pengukuran udara                     | ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ - G)   |
| $T$   | : Temperatur mutlak udara ( $T = 273.15 + t$ ) | ( $^{\circ}\text{K}$ )          |
| $t$   | : Temperatur udara                             | ( $^{\circ}\text{C}$ )          |
| $R$   | : Konstanta gas udara                          |                                 |

### 3.2.1 Pengujian Kalibrasi Menggunakan AFD-240GTAE

Langkah-langkah yang dilakukan dalam tahap ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Penyetelan/*Adjustment*

Penyetelan yang dilakukan meliputi:

- Pengecekan *wiring* (kabel, power, dan sebagainya termasuk di dalamnya motor dan fan sebagai penggerak fluida).
- Pengecekan alat pengukur tekanan (manometer, slang, pitot tube, nosel).
- Penggantian fluida ukur.

#### 2. Pengambilan Data Menggunakan *Apparatus*

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 5 Januari 2009. Data yang diambil adalah dengan melakukan masukan data berupa rpm motor yaitu pada rpm 1200, 1800, 2400, 2900. Angka-angka tersebut dipakai untuk mendapatkan variasi data yang selanjutnya dipakai untuk menentukan karakteristik fan AFD-240GTAE dan ukuran diameter *duct*.



**Gambar 3.2.** *Control Box* untuk AFD-240GTAE

Pengujian dilakukan pada tanggal 5 Januari 2009, adapun prosesnya sebagai berikut:

- 1) Tujuan pengujian untuk membantu saat mendesain *textile duct*.

- 2) Melakukan persiapan dengan pengecekan, penggantian, dan pengkalibrasian alat.
- 3) Menghidupkan alat untuk memulai pengambilan data (atur pada rpm rendah untuk mulai *running* untuk mengurangi gesekan dan suara).
- 4) Data diambil saat kondisi sudah stabil.
- 5) Untuk mengukur *head* tekanan dilakukan dengan membaca angka pada manometer.
- 6) Semua data pengukuran yang diambil menggunakan manometer adalah dalam bentuk *head* tekanan dalam mmH<sub>2</sub>O.
- 7) Pengujian dilakukan dengan penggantian variasi rpm, jarak *throttle*, dan posisi tabung pitot tube.

### 3. Pengkalibrasian/*Calibration*

Pada langkah ini mengkalibrasi hubungan antara kecepatan motor (rpm) dengan debit yang dihasilkan. Hasil tersebut akan dipakai oleh kelompok selanjutnya sebagai bahan referensi untuk mengatur rpm supaya bisa mendapatkan kecepatan aliran yang diinginkan.

#### 3.2.2 Pengujian Permeabilitas

Acuan yang dipakai adalah standar ASTM D 737-04 untuk pengujian permeabilitas udara pada tekstil. Menurut standar, syarat tekstil dikatakan permeabel untuk aplikasi *duct* adalah jika pada suhu  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  dan kelembaban  $65 \pm 2\%$  dengan tekanan 125 Pa (12.7 mmH<sub>2</sub>O) tidak terjadi kebocoran.

##### 1. Tujuan

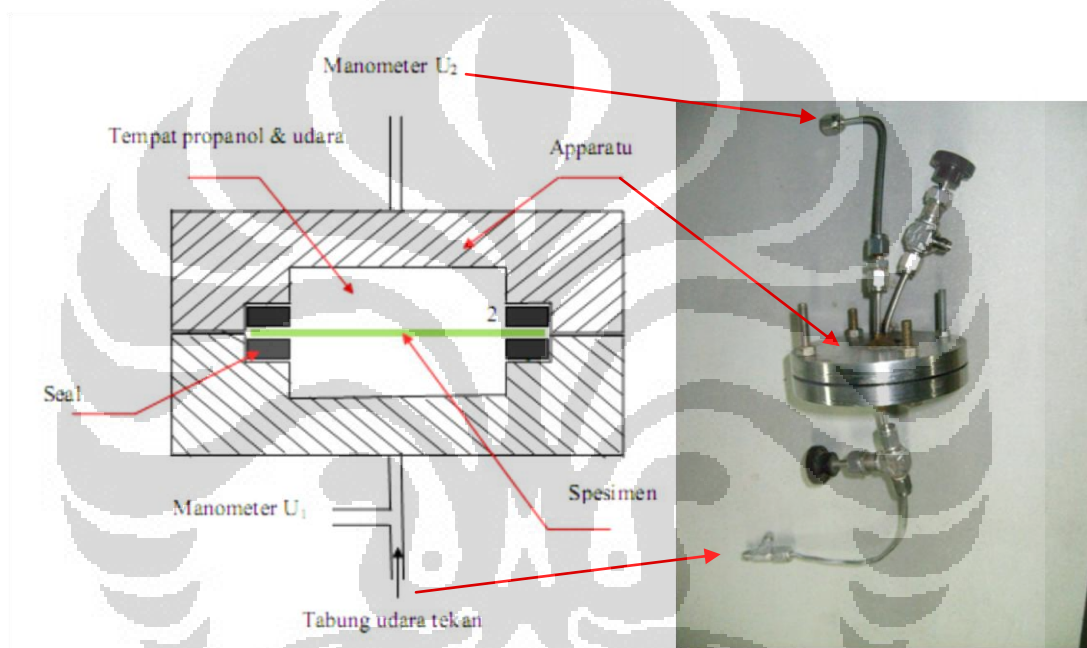
Untuk menguji apakah bahan yang dipakai permeabel atau tidak untuk standar pemakaian pada *duct*.

##### 2. Alat dan bahan:

- 1) Satu set alat penguji permeabilitas (*Air Permeability Testing Apparatus*) yang terdiri dari:

**Universitas Indonesia**

- *Test Head* dengan diameter spesimen 5 cm.
- Sistem klem untuk menjaga spesimen dengan gaya tegangan  $50 \pm 5$  N.
- Manometer U dengan air sebagai fluida ukurnya.
- Valve untuk mengatur debit aliran sehingga dihasilkan setingan tekanan sebesar 100-2500 Pa. Untuk kondisi minimum pressure gage harus mampu mengukur tekanan 125 Pa.



Catatan : Alat buatan sendiri sehingga tidak ada spesifikasi khusus

**Gambar 3.3.** *Experimental Setup* Peralatan Uji Permeabilitas *Duct*

- 2) *Injector* propanol
- 3) Alkohol
- 4) Kain uji
- 5) Udara tekan

### 3. Proses Pengujian

- 1) Memotong kain lingkaran dengan diameter 5 cm sebanyak 3 buah.
- 2) Memasang kain pada alat uji.
- 3) Memasukan propanol.
- 4) Memasang slang udara tekan pada sisi masuk alat.
- 5) Membuka katup udara tekan dengan mengatur tekanan masuk pada manometer  $U_1$  mulai dari 15 sampai 60 mmH<sub>2</sub>O.

#### 3.2.3 Pengujian Kekasaran Permukaan Tekstil

Acuan yang dipakai adalah standar ASTM E1364 - 95(2005) untuk pengujian kekasaran *textile duct*. Dibawah ini adalah gambar profil tekstur permukaan dan beberapa istilah penting yang ada pada pengujian kekasaran:

- **Profil tengah** : nama yang digunakan untuk profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrical ideal pada suatu panjang sampel sedemikian sehingga luas daerah di atas dan di bawah profil sama besar.
- **Ra** : kekasaran rata-rata aritmetik adalah harga rata-rata aritmetik nilai absolut jarak profil terukur dengan profil tengah.

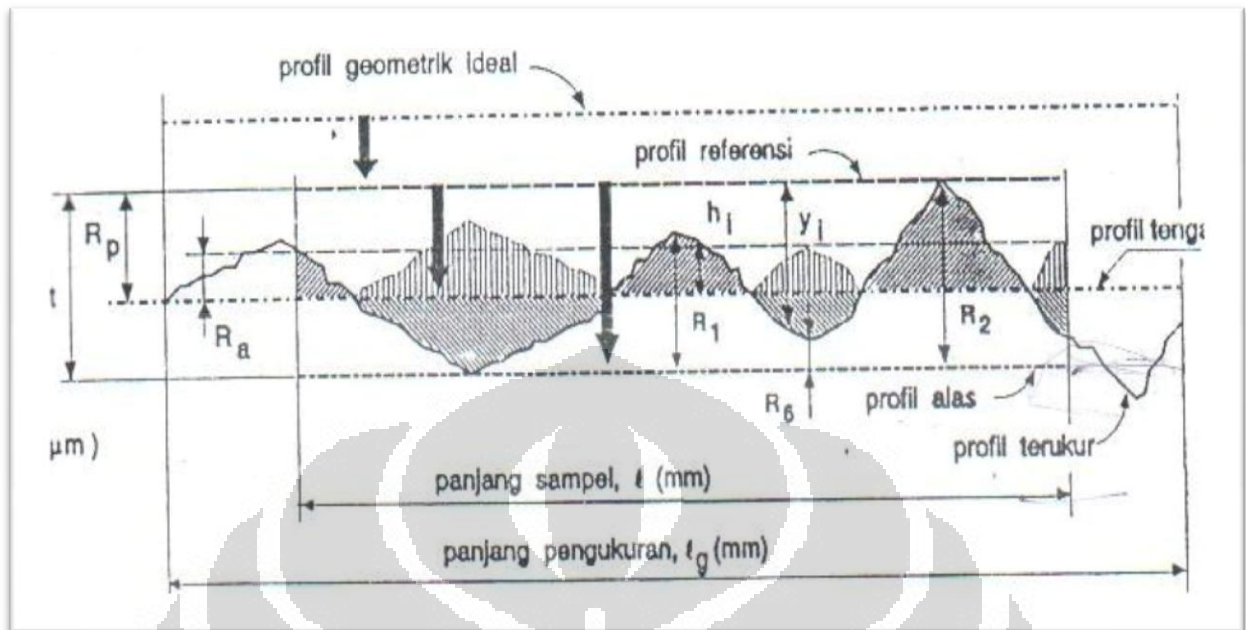
$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |h_i| dx \quad (4.1)$$

- **Rt** : kekasaran total yaitu jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- **Rp** : kekasaran perataan yaitu jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.

$$Rp = \frac{1}{l} \int_0^l y_i dx \quad (4.2)$$

- **Rz** : jarak rata-rata profil alas ke profil terukur

$$R_z = \sum[R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 - \dots - R_{10}] / 5 \quad (4.3)$$



**Gambar 3.4.** Profil Tekstur Permukaan

Sumber : Taufiq Rochim. Spesifikasi, Metrologi & Kontrol Kualitas Geometrik, Penerbit ITB, Bandung, 2001.

1. Tujuan

Untuk menguji berapakah kekasaran permukaan dalam kain Taslan.

2. Alat dan bahan

1) *Surface roughness tester*

2) Kain uji/specimen



**Gambar 3.5.** *Surface Roughness Tester* (atas: unit alat, kiri: spesimen dan dial indicator, kanan: display/monitor)

### 3. Pengujian

- 1) Memotong kain dengan ukuran 10 x 10 cm sebanyak 2 buah.
- 2) Memasang kain pada *roughness tester*.
- 3) Menghidupkan *roughness tester* dilanjutkan pengambilan data.
- 4) Pengolahan data dan penarikan kesimpulan.

### 3.3 Modifikasi *Air Flow Demonstration Apparatus* untuk Pengujian *Textile Duct*

Modifikasi yang dilakukan adalah:

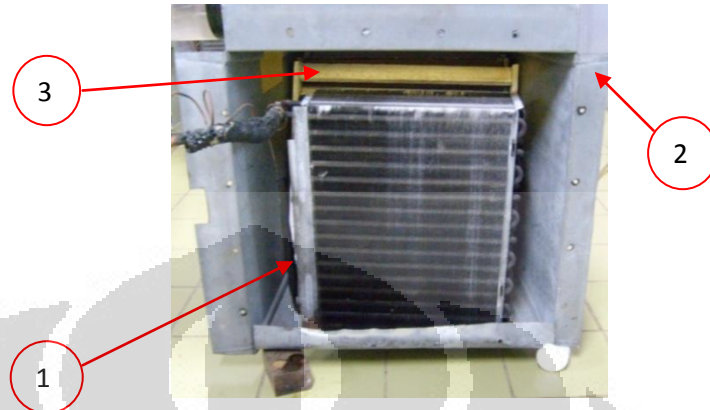
#### 1. Merancang Mesin Pendingin Pada Sisi Masuk Fan

Parameter yang mempengaruhi kondisi udara nyaman atau tidak meliputi kondisi temperatur, kelembaban, kecepatan udara, tingkat kebisingan, dan kualitas udara. Kondisi suhu dan kelembaban relatif udara nyaman adalah berkisar 25-28°C pada kelembaban 50% dan kecepatan udara menyentuh kulit maksimal 25 fpm.[4] Sedangkan menurut SNI (Standar Nasional Indonesia 03-6390-2000) kondisi nyaman adalah udara pada temperatur bola kering 25°C ± 1 °C dan kelembaban relatif 60% ± 10%. Menurut standar Depnakertrans ambang kebisingan yang diizinkan maksimal 80 dB.

Agar data yang diperoleh saat pengujian mendekati kondisi aktual untuk kenyamanan maka pada sisi masuk fan dipasang mesin pendingin. Hal-hal yang dilakukan pada perancangan ini meliputi:

- 1) Pemasangan koil evaporator pada sisi masuk *fan* menggunakan AC tipe window dengan cara memisah penempatan kondenser pada ventilasi agar pembuangan kalor efektif.
- 2) Pemasangan tutup koil evaporator menggunakan seng agar efisiensi pendinginan maksimal dan mengurangi kondensasi pada koil.
- 3) Pemasangan *drift eliminator* untuk menghalangi udara terkondensasi masuk ke dalam sistem *duct*. Bahan yang dipakai

adalah kayu yang telah dicat untuk mengurangi kecepatan pelapukan.

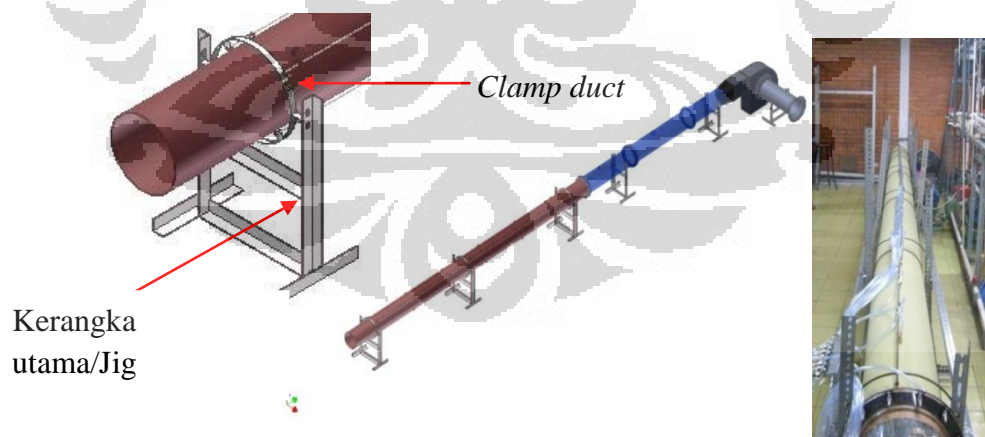


**Gambar 3.6.** Mesin Pendingin pada Sisi Masuk Fan

## 2. Merancang, Membuat, Dan Memasang *Textile Duct*

### 1) Membuat Kerangka Pengujian/*Jig Textile Duct*

Rangka pengujian/*Jig* digunakan untuk mengurangi getaran pada tekstil yang sedang diuji sehingga mengurangi kesalahan pengukuran. Desain *Jig* tersebut adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.7.** Desain Kerangka Pengujian/*jig*

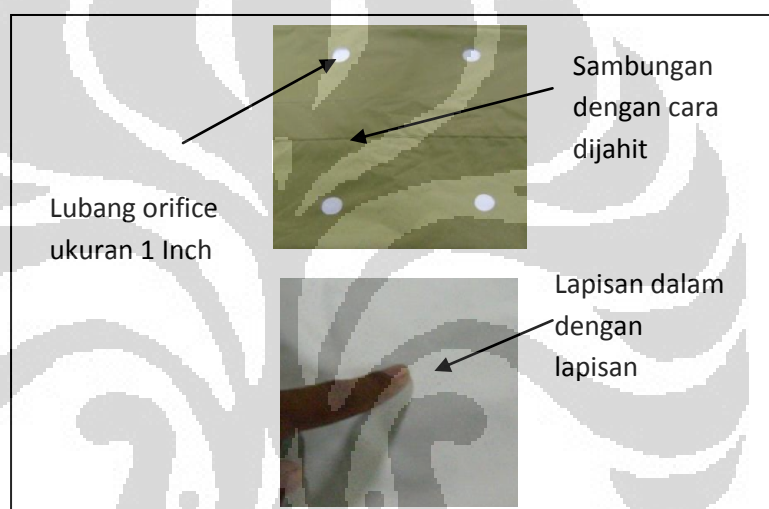


Selain kerangka utama, masih ditambah dengan *clamp duct* yang menjaga bentuk *duct* berbentuk silinder lurus dan tanpa adanya getaran.

## 2) Membuat *Duct* Menggunakan Tekstil

Ukuran *duct* adalah berdasarkan perhitungan data percobaan menggunakan *Apparatus* yaitu dengan panjang *duct* 6 m dan diameter 24 cm. Hal di atas dipilih dengan pertimbangan ruang, tanpa mengurangi/menghilangkan karakteristik yang ada.

Adapun desain *textile duct*-nya adalah sebagai berikut:

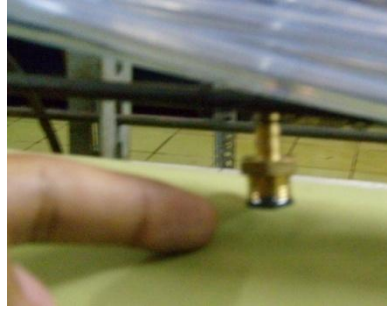


**Gambar 3.8.** Desain *Duct*

Pembuatan *duct* dengan menjahit pada kedua sisinya. Lubang orifice berukuran 1 Inch dibuat dengan menggunakan lubang pada posisi jam pukul 4 dan 8. Untuk menjaga permeabilitas sisi sebelah dalam *duct* di-coating dari pabrik.

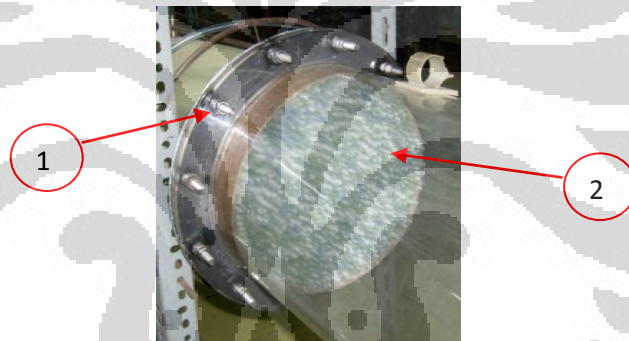
## 3) Perancangan, Pemasangan *Pressure Tap* pada *Duct*

Rancangan *pressure tap* dibuat menggunakan *neppel*. Hal itu dipilih karena dari segi pemasangan mudah dilakukan. Pelubangan dilakukan menggunakan solder listrik untuk mendapatkan lubang yang kecil dan rata. Untuk pengeleman dilakukan menggunakan lem *epoxy*.



**Gambar 3.9.** Posisi *Pressure Tap*

- 4) Perancangan dan pemasangan klem untuk menghubungkan antara ujung *duct* dengan *apparatus* ditunjukkan gambar 3.10 no 1. Bahan yang dipakai adalah seng.
- 5) Perancangan dan pemasangan *straightener* menggunakan sedotan plastik. Bisa dilihat pada gambar 3.10 no 2.



**Gambar 3.10.** Desain *Straightener* dan Posisi Klem pada *Duct*

### 3.4 Pengujian Verifikasi

Pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan alat yang dirancang sesuai untuk pengujian yang di antaranya:

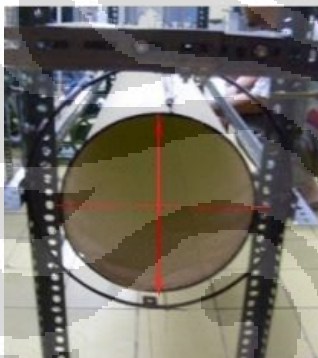
1. Tidak ada getaran pada *test section* waktu dilakukan pengujian. Berdasarkan Ductsox hal tersebut ditandai dengan tekanan statik (*external static pressure/ESP*) maksimum untuk *textile duct 3/8"*.
2. Batas kecepatan masuk *textile duct* sebesar 1500-2000 fpm. Jika dibawah angka tersebut akan terjadi lekukan karena tidak mengembang penuh, sedangkan jika terlalu besar terjadi getaran pada

*duct*. Dengan adanya syarat kecepatan tersebut maka bisa ditentukan rpm motor yang sesuai pada AFD-240GTAE.s

3. Memastikan *straightener* yang dipasang sesuai dengan fungsinya yaitu membuat aliran dalam *test section* berkembang penuh sehingga penurunan tekanannya konstan dan *entrance length*-nya lebih pendek. Mengenai hal ini akan dikaji lanjut oleh Dicky dan Nico.

Ada dua posisi dalam melakukan pengujian ini yaitu pada *apparatus* diantara dua *straightener* dan di akhir dari *test section*. Posisi cara pengukurannya ditunjukkan seperti berikut:

**Tabel 3.1.** Posisi Pengukuran dengan *Pitot tube*



Keterangan untuk Pitot tube	
Posisi (atas ke bawah)	Ukuran (mm)
1	115
2	57.5
3	0
4	-57.5
5	-115

**BAB 4**  
**HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN**

**4.1 Hasil Pengujian Kalibrasi Alat**

**4.1.1 Perhitungan**

Penelitian yang dilakukan diawali dengan pengujian untuk bisa mendapatkan kalibrasi alat sehingga bisa menentukan parameter dari *duct* yang akan dipakai. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada 4 kecepatan putaran untuk mendapatkan karakteristik dari AFD-240GTAE untuk kondisi atmosfer laboratorium.

**Tabel 4.1.** Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 1200

	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$A_2'$ (m <sup>2</sup> )	$L_2$ (m)	$D_2$ (m)	$\alpha_0$	$\epsilon_0$	$d_o$	$a_0$	Ro ol						
AFD 240	0.045	0.04	1.84	0.24	0.7329	1	0.18	0.025	$2.2 \times 10^5$						
<b>CALCULATION</b>															
<b>BASED ON ORIFICE MEASURING</b>															
SYMBOL	$P_o$	$T_o$	$\gamma_{o1}$	$Q_o$	$\tilde{v}_2$	$R_{oD}$	$Q_1$	$h_{d2}$	$\Delta_2$	PT (pt <sub>2</sub> )	$P_{d2}$	$P_s$	$L_{aT_o}$	$L_{ST}$	$\eta_{T_o}$
UNIT	kg/m <sup>2</sup>	°K	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /min	m/s		m <sup>3</sup> /min	mmAg (kg/m <sup>3</sup> )					kW		
ID NO	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
0 - 1	10466	273	1.3	0	0	0	0	0	0	24	0	24	0	0.408	0

0 - 2	10461.9	273	1.3	7.39	2.74	41884.43	0.733	0.003	0.00058	20	0.0034	20	0.0024	0.415	0.006
0 - 3	10453.4	273	1.3	13.51	5.0	76501.23	1.337	0.006	0.001059	12.5	0.0062	12.5	0.0027	0.415	0.007
0 - 4	10451.9	273	1.3	14.80	5.48	83808.91	1.465	0.006	0.00116	10.01	0.0068	10	0.0024	0.430	0.006
0 - 5	10451.4	273	1.3	15.10	5.59	85539.16	1.495	0.006	0.001183	9.507	0.0069	9.5	0.0023	0.430	0.005
0 - 6	10450.9	273	1.3	15.40	5.70	87235.26	1.525	0.006	0.001207	9.008	0.0071	9	0.0022	0.430	0.005

**Tabel 4.2.** Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 1800

	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$A_2'$ (m <sup>2</sup> )	$L_2$ (m)	$D_2$ (m)	$\alpha_0$	$\varepsilon_0$	$d_0$	$a_0$	Ro ol	CALCULATION						BASED ON ORIFICE MEASURING										
AFD 240	0.045	0.04	1.84	0.24	0.7302	1	0.18	0.025	$2.2 \times 10^5$	SYMBOL	$P_o$	$T_o$	$\gamma_{o1}$	$Q_o$	$\tilde{v}_2$	$R_{oD}$	$Q_1$	$h_{d2}$	$\Delta_2$	PT (pt <sub>2</sub> )	$P_{d2}$	$P_s$	$L_{aT_o}$	$L_{ST}$	$\eta_{T_o}$	
	kg/m <sup>2</sup>	°K	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /min	m/s		m <sup>3</sup> /min	mmAg (kg/m <sup>3</sup> )				kW														
ID NO	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116											
0 - 1	10467	273	1.3	0	0	0	0	0	0	56	0	56	0	0.49	0											
0 - 2	10456.3	273	1.3	13.455	4.98	76208.795	1.34	0.0055	0.001055	45.01	0.00619	45	0.00983	0.55	0.018											
0 - 3	10444.3	273	1.3	19.04	7.05	107837.41	1.89	0.00778	0.001491	33.01	0.00875	33	0.01019	0.58	0.017											
0 - 4	10435.8	273	1.3	22.131	8.2	125346.76	2.19	0.00903	0.001732	25.01	0.01016	25	0.00897	0.57	0.016											
0 - 5	10433.8	273	1.3	22.337	8.27	126514.18	2.21	0.00912	0.001747	22.01	0.01026	22	0.00796	0.56	0.014											
0 - 6	10432.3	273	1.3	22.135	8.2	125367.79	2.19	0.00903	0.001731	21.01	0.01016	21	0.00753	0.56	0.013											

Universitas Indonesia

**Tabel 4.3.** Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 2400

	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$A_2'$ (m <sup>2</sup> )	$L_2$ (m)	$D_2$ (m)	$\alpha_0$	$\varepsilon_0$	$d_0$	$a_0$	Ro ol						
AFD 240	0.045	0.04	1.84	0.24	0.7277	1	0.18	0.025	2.2x10 <sup>5</sup>						
CALCULATION															
BASED ON ORIFICE MEASURING															
SYMBOL	$P_o$	$T_o$	$\gamma_{oi}$	$Q_o$	$\tilde{v}_2$	$R_{oD}$	$Q_1$	$h_{d2}$	$\Delta_2$	PT (pt <sub>2</sub> )	$P_{d2}$	$P_s$	$L_{aTo}$	$L_{ST}$	$\eta_{To}$
UNIT	kg/m <sup>2</sup>	°K	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /min	m/s		m <sup>3</sup> /min		mmAg (kg/m <sup>3</sup> )			kW			
ID NO	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
0 - 1	10513	273	1.3	4.229	1.566	23889.4	0.43	0.0017	0.0003	103	0.002	103	0.007	0.92	0.009
0 - 2	10485.11	273	1.3	20.31	7.522	114722.6	2.06	0.0083	0.0016	75.01	0.0094	75	0.025	0.79	0.032
0 - 3	10464.11	273	1.3	26.13	9.678	147608.8	2.65	0.0107	0.0021	55.013	0.012	55	0.024	0.88	0.027
0 - 4	10453.11	273	1.3	28.45	10.54	160714.5	2.88	0.0116	0.0022	43.014	0.0131	43	0.020	0.88	0.023
0 - 5	10451.11	273	1.3	30.29	11.22	171110.0	3.06	0.0124	0.0024	40.015	0.0139	40	0.020	0.79	0.025
0 - 6	10449.11	273	1.3	30.29	11.22	171126.4	3.06	0.0124	0.0024	39.015	0.0139	39	0.020	0.88	0.022

**Tabel 4.4.** Perhitungan Hasil Pengujian dengan AFD-240GTAE RPM 2900

	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$A_2'$ (m <sup>2</sup> )	$L_2$ (m)	$D_2$ (m)	$\alpha_0$	$\varepsilon_0$	$d_0$	$a_0$	Ro ol						
AFD 240	0.045	0.04	1.84	0.24	0.7227	1	0.18	0.025	2.2x105						
<b>CALCULATION</b>															
BASED ON ORIFICE MEASURING															
SYMBOL	$P_o$	$T_o$	$\gamma_{o1}$	$Q_o$	$\tilde{v}_2$	$R_{oD}$	$Q_1$	$h_{d2}$	$\Delta_2$	PT (pt <sub>2</sub> )	$P_{d2}$	$P_s$	$L_{aTo}$	$L_{ST}$	$\eta_{To}$
UNIT	kg/m <sup>2</sup>	°K	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /min	m/s		m <sup>3</sup> /min	mmAg (kg/m <sup>3</sup> )					kW		
ID NO	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
0 - 1	10560	273	1.3	13.99	5.183	79056.84	1.46	0.006	0.00111	150	0.007	150	0.036	0.79	0.045
0 - 2	10497.33	273	1.3	31.1	11.52	175682.7	3.22	0.013	0.00245	84.02	0.014	84	0.044	1.18	0.037
0 - 3	10473.83	273	1.3	35.07	12.99	198090.7	3.62	0.014	0.00275	63.02	0.016	63	0.037	1.18	0.032
0 - 4	10454.33	273	1.3	28.45	10.54	160705.1	2.93	0.012	0.00223	43.01	0.013	43	0.021	1.17	0.018
0 - 5	10467.33	273	1.3	36.09	13.37	203855.6	3.72	0.015	0.00283	56.02	0.017	56	0.034	1.17	0.029
0 - 6	10466.33	273	1.3	36.21	13.41	204567.1	3.73	0.015	0.00284	55.02	0.017	55	0.034	1.17	0.029

**Catatan:**

- Format tabel mengikuti format tabel petunjuk manual AFD-240GTAE
- Acuan debit yang dipakai untuk perhitungan diameter adalah jarak bukaan *throttle* terjauh dengan alasan pada kondisi tersebut menyerupai kondisi aktual tanpa gangguan/backflow (aliran balik).

Universitas Indonesia

### 4.1.2 Hasil dan Pembahasan

Pembahasan ini meliputi unjuk kerja, menentukan diameter *duct*, dan karakteristik AFD-240GTAE, permeabilitas bahan, kekasaran bahan, serta profil aliran udara pada *apparatus* dan *duct* sebelum dan setelah pemasangan *straightener*. Data-data tersebut kemudian dikaji untuk menjadi bahan referensi kelompok selanjutnya pada pengujian jatuh tekanan dan profil aliran keluar nosel.

#### 1. Karakteristik AFD-240GTAE *Fan Airflow Demonstration Apparatus*

Dari data perhitungan di atas maka dapat diambil data khusus mengenai unjuk kerja dan karakteristik dari *fan* AFD-240GTAE. Dengan mengambil data untuk bukaan *throttle* penuh. Pada bukaan *throttle* penuh, untuk 4 kecepatan putaran, diperoleh data-data sebagai berikut:

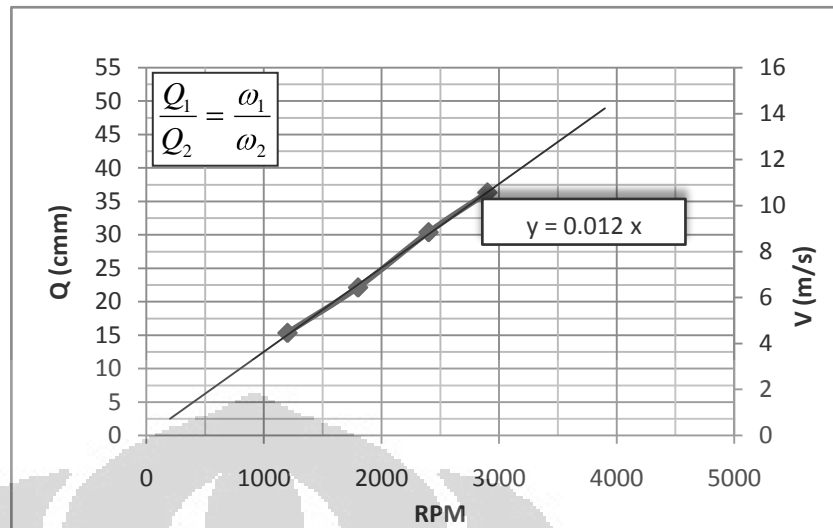
**Tabel 4.5.** Karakteristik *Fan* Kondisi Bebas Tanpa *Throttle*

RPM	Q (cmm)	V (m/s)	Head (P) (mm.H <sub>2</sub> O)	Daya Watt	Efisiensi fan $\eta$
1200	15.34	5.65	9	430	5.25
1800	22.13	8.16	21	560	13.61
2400	30.39	11.2	39	880	22.01
2900	36.33	13.39	55	1170	27.94

Dari hasil di atas, bisa dilihat bahwa efisiensi *fan* maksimum 27.94% pada rpm 2700 dan debit 36.33 cmm. Ada koreksi bahwa menurut buku manual AFD-240GTAE debit maksimum 30 cmm dan minimum 12.992 cmm. Data-data tersebut dibuat ke grafik hubungan rpm terhadap V dan Q dibawah ini. Sumbu x menyatakan kecepatan sudut motor dalam rpm, sumbu y sebelah kiri adalah debit dalam cmm, serta sumbu y sebelah kanan adalah kecepatan aliran dalam m/s.

**Universitas Indonesia**





**Gambar 4.1.** Kurva Unjuk Kerja AFD-240GTAE

Berdasarkan gambar 5.1 bisa dilihat kurva unjuk kerja AFD-240GTAE. Hubungan kecepatan putar (rpm) dengan debit (Q) adalah mendekati linear. Untuk mencari debit yang dihasilkan fan tersebut bisa didekati secara linear dengan persamaan:

$$Q = C_Q \omega D^3$$

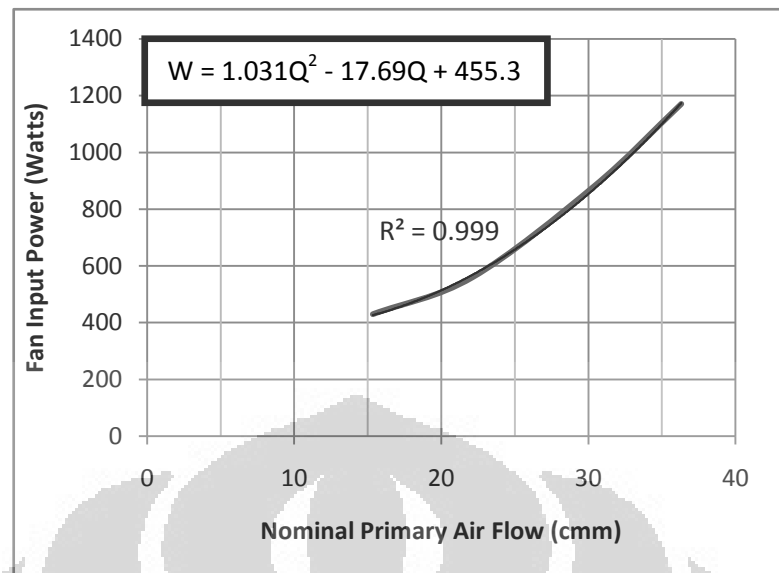
Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil persamaan:  $Q = 0.012 \omega$ . Angka 0.012 menyatakan kemiringan kurva. Sehingga bisa disimpulkan besar nilai dari  $C_Q D^3 = 0.012$  dengan  $C_Q$  adalah koefisien aliran.

Untuk dua kondisi dengan satu jenis fan dengan koefisien aliran yang sama ( $C_{Q1} = C_{Q2}$ ) seperti di atas maka diperoleh dengan persamaan analisis dimensional diperoleh:

$$\frac{Q}{\omega D^3} = \frac{Q}{\omega D^3}$$

untuk pengambilan data dengan alat yang sama maka :

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\omega_1} \omega_2$$



**Gambar 4.2.** Kurva Pemakaian Daya AFD-240GTAE RPM 1200

Selanjutnya melihat kurva hubungan antara daya yang diberikan ke *fan* dan debit aktual yang dihasilkan oleh *fan* tersebut. Dengan memposisikan sumbu mendatar sebagai besarnya debit yang mengalir dan sumbu tegak daya yang dipakai diperoleh persamaan:

$$W = 1.031Q^2 - 17.69Q + 455.3$$

Dengan:

W : Daya yang digunakan fan (Watt)

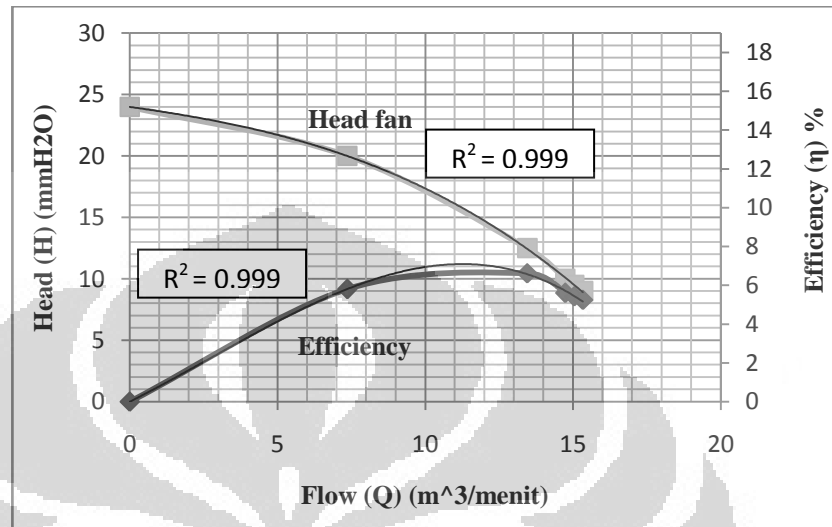
Q : Debit nominal yang mengalir (meter kubik per menit)

persamaan di atas adalah pendekatan dengan nilai *R-squared* sebesar 0.999 pada orde 2. Kurva di atas hanyalah bahan untuk referensi jika dilakukan pengujian sejenis dengan alat yang sama. Tentunya tiap *fan* tidak sama hasilnya tergantung dari banyak hal. Diantaranya; jenis *fan* tersebut, besar *blade* yang dipakai serta efisiensi dari *fan* dan motornya. Gambar 4.3 menunjukkan bagaimana hubungan antara debit, tekanan statik dan efisiensi *fan*.

Jenis *fan* yang dipakai adalah *fan* sentrifugal. Pada debit yang kecil mempunyai tekanan statik yang tinggi tetapi akan

**Universitas Indonesia**

menurun untuk debit kurang dari nilai puncaknya. Tetapi hal tersebut kurang bisa dibaca karena adanya keterbatasan saat pengujian.



**Gambar 4.3.** Kurva Karakteristik AFD-240GTAE RPM 1200 *Head fan* menurun terus dengan meningkatnya debit udara yang mengalir melalui fan. Sementara pada rpm 1200 untuk bukaan *throttle* penuh nilai *head fan* sekitar 8 mmH<sub>2</sub>O, dengan efisiensi maksimum sekitar 7 %. Untuk membantu analisis hubungan antara *Head*, debit, dan efisiensi diperoleh persamaan:

$$H = -0.001Q^3 - 0.015Q^2 - 0.334Q + 24$$

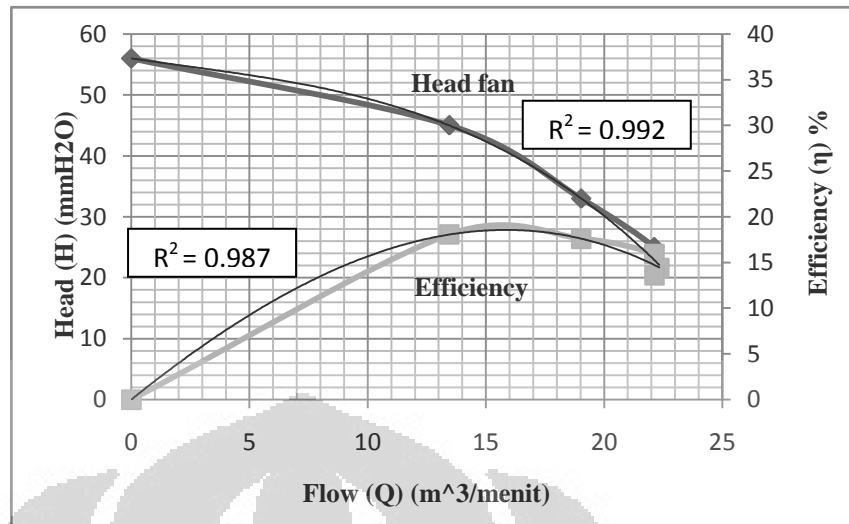
$$\eta = -0.003Q^3 + 0.032Q^2 + 0.763Q$$

dengan:

H : Tekanan statik (mmH<sub>2</sub>O)

Q : Debit (meter kubik per menit)

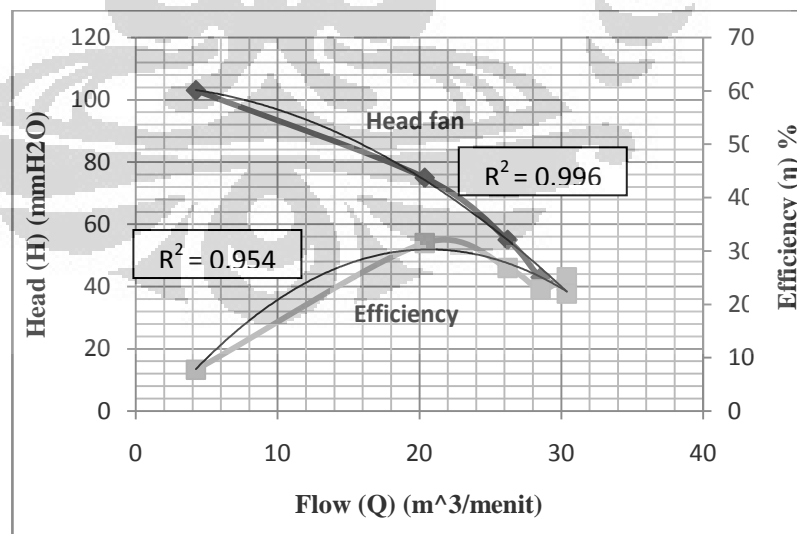
η : Efisiensi (%)



**Gambar 4.4.** Kurva Karakteristik AFD-240GTAE RPM 1800  
Sedikit berbeda kurva karakteristik untuk rpm 1800. Terlihat perbandingan beda antara gambar 4.3 dengan 4.4 semakin tinggi rpmnya maka semakin tinggi pula tekanan statik dan efisiensinya. Untuk rpm 1800 hubungan ketiganya diperoleh persamaan:

$$H = -0.002Q^3 + 0.018Q^2 - 0.571Q + 56$$

$$\eta = -0.001Q^3 - 0.040Q^2 + 2.08Q$$

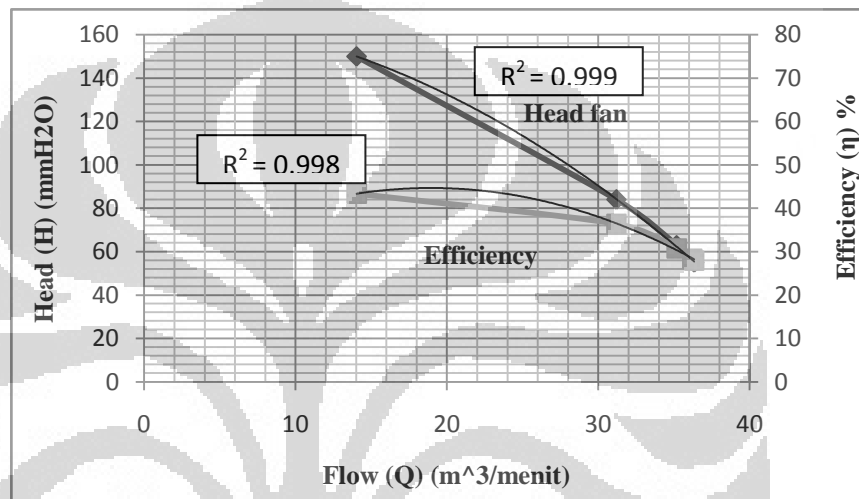


**Gambar 4.5.** Kurva Karakteristik AFD-240GTAE RPM 2400

Berbeda dengan pada rpm 1200 dan 1800, pada rpm 2400 untuk bukaan *throttle* yang kecil debit yang mengalir sekitar 6 cmm. Efisiensi tertinggi terjadi pada debit sekitar 20 cmm. Sementara *head* dan efisiensi lebih tinggi untuk rpm sebelumnya. Hubungan antara ketiganya adalah:

$$H = -0.068Q^2 - 0.113Q + 104.8$$

$$\eta = -0.083Q^2 + 3.44Q - 5.230$$



**Gambar 4.6.** Kurva Karakteristik AFD-240GTAE RPM 2900

Untuk rpm 2900 efisiensi maksimum terjadi pada debit sekitar 20 cmm dengan nilai efisiensi maksimum sekitar 45%.

$$H = -0.079Q^2 - 0.218Q + 168.8$$

$$\eta = -0.054Q^2 + 2.074Q + 25.03$$

Yang menarik di sini adalah kurva bergeser ke kanan yaitu ke arah debit yang lebih besar. Sementara efisiensi tertinggi tetap terjadi pada debit sekitar 20 cmm.

Dengan mengambil standar Ductsox syarat fpm yang diizinkan untuk *duct* dan melihat karakteristik dari AFD-240GTAE, diambil 1 ukuran rpm yang sesuai spesifikasi *duct* yang kita sebut *taken diameter* yaitu:

RPM 1535

Universitas Indonesia

Rpm tersebut sengaja dipilih dengan alasan motor dengan rpm terdekat dengan hasil pengujian adalah rpm 1360. Referensi itu diperoleh dari tabel 4.6.

**Tabel 4.6.** Unjuk Kerja Belt-Drive Fan

Debit Fan tipe Belt-Drive						
RPM	1 –1/2 hp Fan-TSP (In of water)					bhp
	0.5	0.75	1	1.25	1.5	
990	1640	1140				0.5
1110	1950	1660	960			0.75
1210	2205	2010	1660			1
1360	2540	2400	2190	1870	1260	1.5

Sumber: buku HVAC simplified hal. 140

2. Penentuan Diameter Berdasarkan Kecepatan Standar untuk *Textile Duct* (1500,1750,2000 fpm)

Langkah pertama setelah mengkalibrasi alat, adalah menentukan ukuran diameter *duct*. Diameter didapat dari hasil pengujian tentunya dengan mengacu diameter standar yang biasa ada di pasaran (*taken diameter*). Pengujian pada keempat rpm dan mengacu pada standar kecepatan udara untuk *textile duct* yaitu katalog Ductsox (1500, 1750, 2000 fpm). Referensi hasil dengan mengacu pada bukaan *throttle* terjauh dengan asumsi pada kondisi tersebut akan dihasilkan aliran yang bebas aliran balik/*backflow*.

**Tabel 4.7.** Penentuan Diameter Berdasarkan Referensi fpm Standar *Duct*

rpm	V		Q		d		d taken		Kecepatan aktual	
	fpm	m/s	cfm	m <sup>3</sup> /min	m	in	in	m	fpm	m/s
1200	1500	7.62	541.8	15.34	0.21	8.14	8	0.203	1553	7.89
	1750	8.89	541.8	15.34	0.19	7.54	8	0.203	1553	7.89
	2000	10.16	541.8	15.34	0.18	7.05	8	0.203	1553	7.89
1800	1500	7.62	781.5	22.13	0.25	9.78	10	0.254	1434	7.28
	1750	8.89	781.5	22.13	0.23	9.05	10	0.254	1434	7.28
	2000	10.16	781.5	22.13	0.22	8.47	8	0.203	2240	11.38
2400	1500	7.62	1073	30.39	0.29	11.5	12	0.305	1367	6.95
	1750	8.89	1073	30.39	0.27	10.6	10	0.254	1969	10
	2000	10.16	1073	30.39	0.25	9.92	10	0.254	1969	10
2900	1500	7.62	1283	36.33	0.32	12.5	12	0.305	1634	8.3
	1750	8.89	1283	36.33	0.29	11.6	12	0.305	1634	8.3
	2000	10.16	1283	36.33	0.28	10.8	10	0.254	2353	11.95

Berdasarkan tabel di atas maka didapatkan tiga ukuran diameter yaitu 8", 10", dan 12". Sementara pada penelitian ini hanya dilakukan untuk diameter ukuran 8 inch. Diameter tersebut dipilih untuk mendapatkan kurva jatuh tekanan dan profil liran keluar *orifice*.

#### 4.2 Permeabilitas Bahan *Duct*

Pada tekanan masuk sebesar 5.5 cmH<sub>2</sub>O ada perubahan pergerakan propanol sehingga dapat disimpulkan pada tekanan tersebut terjadi kebocoran/batas tekanan permeabel. Dengan mengacu pada standar ASTM D 737-04, yang menyebutkan bahwa batas tekanan permeabel untuk *textile* sebesar 125 Pa (1.275 cmH<sub>2</sub>O) maka bisa disimpulkan bahwa bahan yang dipakai adalah non permeabel.

**Tabel 4.8.** Hasil Pengujian Permeabilitas Bahan *Duct* (Taslan)

No	Tekanan (mmH <sub>2</sub> O)	Hasil Pengamatan	Waktu (s)	Head (cm)	Hasil Analisis (cm <sup>3</sup> /s/cm <sup>2</sup> )
1	1.5	Tidak ada pergerakan propanol	40	0	0
2	2	Tidak ada pergerakan propanol	19.78	0	0
3	3	Tidak ada pergerakan propanol	15.73	0	0
4	5	Tidak ada pergerakan propanol	25.98	0	0
5	5.5	Ada pergerakan kecil propanol	19.21	5	0.240125
6	6	Ada pergerakan kecil propanol	21.79	30	1.63425

### 4.3 Kekasaran Bahan *Duct*

Berdasarkan standar, bahwa yang dikatakan kekasaran suatu bahan adalah harga rata-rata aritmetik nilai absolut jarak profil terukur dengan profil tengah ( $R_a$ ). Dengan 2 buah sampel pengujian dan mengambil nilai rata-ratanya dapat disimpulkan bahwa kekasaran bahan untuk tekstil jenis taslan adalah 12.32  $\mu\text{m}$ .

**Tabel 4.9.** Hasil Pengujian Kekasaran Bahan *Duct* (Taslan)

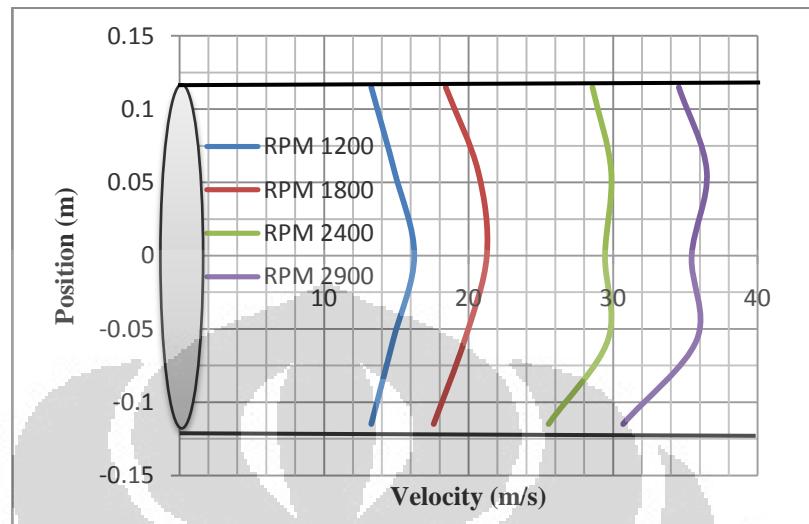
Parameter	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata
Length	4 mm	4 mm	4 mm
$R_a$	12.32 $\mu\text{m}$	13.12 $\mu\text{m}$	12.32 $\mu\text{m}$
$R_t$	69.32 $\mu\text{m}$	90.50 $\mu\text{m}$	79.51 $\mu\text{m}$
$R_z$	53.26 $\mu\text{m}$	55.10 $\mu\text{m}$	53.78 $\mu\text{m}$
$R_p$	18.78 $\mu\text{m}$	22.24 $\mu\text{m}$	20.51 $\mu\text{m}$

### 4.4 Pengukuran Verifikasi Profil Aliran

Kita akan melihat profil aliran udara pada alat uji sekaligus *test section*. Ini cukup membantu untuk analisa profil aliran keluar nosel dan jatuh tekanan. Sumbu Y menyatakan posisi penempatan pitot tube (radial



terhadap sumbu *duct*) saat pengambilan data. Sedangkan tanda elips hanya untuk membantu memperjelas gambaran pemasangan pitot tube tersebut.



**Gambar 4.7.** Kurva Profil Aliran Udara pada *Apparatus* Sebelum Pemasangan *Test Section*

Sebelum dibuat *test section* dan *straightener* telah dilakukan pengujian profil alirannya pada *apparatus* terlebih dulu. Pada gambar 4.7 dengan melihat nilai kecepatan maka bisa disimpulkan bahwa profil alirannya turbulen dengan Reynolds terkecil.

**Tabel 4.10.** Kecepatan Rata-rata Aliran Awal pada *Apparatus*

PUTARAN FAN (RPM)	KECEPATAN RATA-RATA (m/s)
1200	4.58
1800	6.18
2400	9.05
2900	10.94

$$\rho \text{ udara laboratorium} = 1.3 \text{ kg/m}^3$$

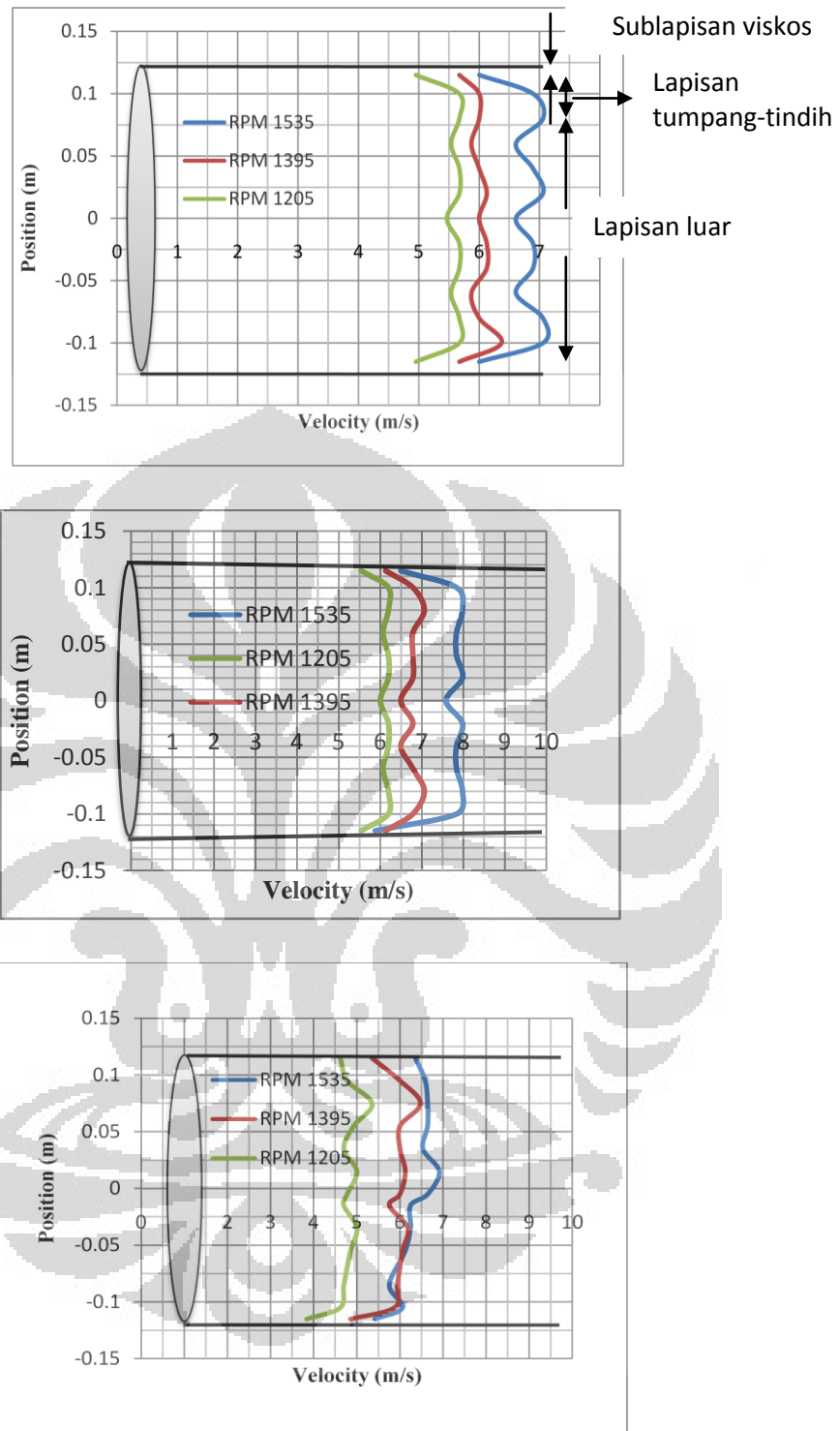
$$D = 0.24 \text{ m}$$

$$v \text{ terkecil} = 4.58 \text{ m/s}$$

$$\mu \text{ udara} = 0.0000179$$

$$Re = \frac{1.3 \times 4.58 \times 0.24}{0.0000179} = 79830$$

Universitas Indonesia



**Gambar 4.8.** Kurva Profil Aliran Udara pada *Apparatus* Setelah Pemasangan *Test section* (atas: *duct* untuk mengukur profil kecepatan dengan 2 *straightener*, tengah: *duct* untuk mengukur *friction loss* dengan 1 *straightener*, bawah: *duct* untuk mengukur *friction loss* dengan 2 *straightener*)

**Tabel 4.11.** Kecepatan Rata-rata Aliran dalam m/s

PADA APPARATUS	KECEPATAN PUTARAN MOTOR		
	1205	1395	1535
<i>Test section</i> jatuh tekanan dengan 2 <i>straightener</i>	4.76	5.9	6.32
<i>Test section</i> jatuh tekanan dengan 1 <i>straightener</i>	7.6	6.68	6.06
<i>Test section</i> profil kecepatan dengan 2 <i>straightener</i>	5.53	5.99	6.74
PADA TEST SECTION			
<i>Test section</i> jatuh tekanan dengan 2 <i>straightener</i>	4.36	5.02	5.51

Sementara untuk profil aliran setelah pemasangan *test section* diperoleh fenomena yang sedikit berbeda pada *apparatus*. Hal itu ditunjukkan pada gambar 4.8.

1. Kecepatan aliran turun drastis

Penyebabnya adalah karena disebabkan *minor loss* akibat pemasangan *straightener* menggunakan slang plastik yang sangat rapat. Di satu sisi menguntungkan karena menyebabkan aliran setelah *straightener* menjadi berkembang penuh. Tetapi konsekuensinya aliran menjadi terhambat dan mengakibatkan penurunan kecepatan.

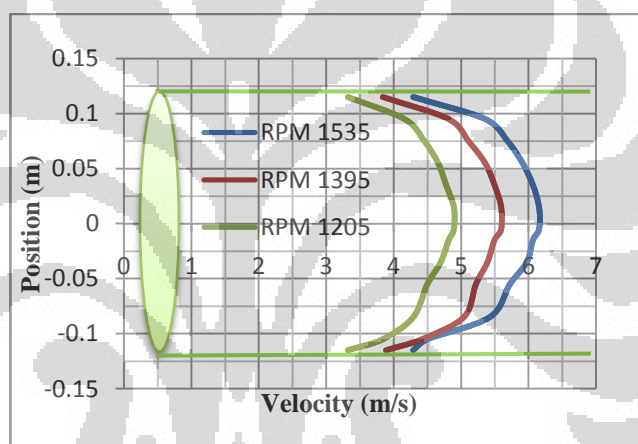
2. Karena alirannya turbulen, maka secara teoritis pada gambar 4.8 bisa dibagi menjadi tiga daerah. Daerah pertama yang disebut daerah sublapisan viskos yaitu daerah sempit dekat dinding pipa, dimana tegangan geser laminar mendominasi daripada tegangan geser turbulen. Akan tetapi pada pengujian gambar 4.8 daerah tersebut tidak bisa dimunculkan karena keterbatasan alat. Sementara daerah selanjutnya yaitu daerah tansisi antara laminar dan turbulen yang disebut daerah tumpang-tindih. Daerah selanjutnya adalah daerah turbulen dimana tegangan geser turbulen medominasi.

3. Adanya fenomena aliran balik

Aliran balik ini terjadi setelah pemasangan *straightener* dengan pemasangan yang cukup rapat dan jarak pemasangannya sangat dekat dengan *straightener* dari *apparatus* yang disebut *baffle plate*. Ini bisa

diatasi dengan penggantian *straightener* slang plastik dengan bahan lain yang datar atau lebih renggang.

4. Profil aliran turbulen dengan kecepatan yang bervariasi pada setiap garis aliran. Kemungkinan hal ini disebabkan karena adanya pemasangan dua *straightener* yang sangat berdekatan. Karena jika dibandingkan dengan data sebelum pemasangan *straightener* kedua tidak timbul profil tersebut.
5. Untuk rpm 1205 sampai 1505 tekanan statik sekitar 0.35-0.59 inchH<sub>2</sub>O. Ini adalah tekanan statik bukan pada test section tetapi pada *apparatus*. Sedangkan yang diharapkan pada textile duct menurut Ductsox sekitar 3/8" H<sub>2</sub>O dengan alasan jika terlalu kecil *duct* tidak mengembang, sedangkan jika terlalu besar *duct* akan bergetar.



**Gambar 4.9.** Kurva Profil Aliran Udara pada Akhir *Test section*

Sementara untuk profil aliran keluar *test section* diperlihatkan pada gambar 4.9. Berbalik dengan kondisi sebelumnya di sini profil alirannya seragam dan terjadi peningkatan kecepatan. Hal ini diprediksikan alirannya mencapai *fully developed*. Hal ini memang yang diharapkan untuk desain *textile duct*. Hal itu diperlukan agar tekanan statiknya relatif seragam sehingga nantinya distribusi kecepatan aliran lewat nosel merata juga. Yang perlu diingat bahwa hasil tersebut bukan untuk kondisi *duct* sebenarnya. Pada *duct* sebenarnya pada sisi akhir *test section* ditutup dan mengganti keluarnya udara melalui *orifice*. Untuk lebih pastinya tentang dua kondisi tersebut akan dianalisis oleh kelompok selanjutnya.

**Universitas Indonesia**

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dengan melihat uraian-uraian di atas, bisa ditarik beberapa kesimpulan penting mengenai kajian tentang *textile duct*.

1. Dari pengujian *textile duct*, kain diketahui bahwa kain Taslan bisa digunakan sebagai bahan *duct* dengan alasan:
  - Non permeabel berdasarkan standar pengujian ASTM D 737-04
  - Kekasarannya rendah (12.32  $\mu\text{m}$ ) berdasarkan standar pengujian ASTM E1364 - 95(2005) sehingga *major losses*-nya kecil.
  - Mudah dibentuk.
  - Bersifat lentur
2. Kerangka pengujian yang didesain mampu mendukung pengujian *textile duct* sehingga bisa digunakan untuk pengujian lebih lanjut.
3. Berdasarkan pengukuran awal dan verifikasi menunjukkan bahwa AFD-240GTAE bisa digunakan untuk pengujian *textile duct*

#### **5.2 Saran**

Melihat dari kesimpulan di atas perlu kiranya diberikan saran kepada pihak-pihak yang berkait dengan *textile duct* untuk melakukan kajian mengenai:

1. Dilakukan pengujian lanjut dengan diameter *duct* yang berbeda sehingga semakin lengkap kajian tersebut.
2. Standar kekuatan bahan untuk *textile duct*  
Hal tersebut berkaitan dengan *life cycle* dari produk sehingga berkaitan erat dengan biaya yang diperlukan.
3. Perhitungan biaya instalasi sehingga akan semakin jelas keunggulan dari *textile duct* dibandingkan *duct* konvensional.

## DAFTAR REFERENSI

1. Dixon, S.L. (1986). *Mekanika fluida Termodinamika “mesin turbo”*. Jakarta: Universitas Indonesia.
2. Anderson, Jhond D. Jr. (2001). *Fundamentals of Aerodynamics*. New York: McGraw-Hill.
3. Munson, Bruce R & Donald F Young. (2003). *Mekanika Fluida Jilid 1 edisi 4*. Jakarta: Erlangga.
4. Kavanaugh, Stephen P. (2005). *HVAC Simplified*. USA: ASHRAE Inc.
5. Rochim, Taufiq. Spesifikasi. (2001). *Metrologi & Kontrol Kualitas Geometrik*, Bandung: ITB.
6. Katalog Ductsox
7. File presentasi mekanika fluida karangan Dr.Ir. Harinaldi, M.Eng
8. <http://www.google.com>”textile duct”
9. Instruction manual for AFD Apparatus. Tokyo: Ogawa Seiki
10. <http://www.habmigern2003.info/suggestions/Flow/Flow-velocitycalculation.htm>
11. <http://www.efunda.com/formulae/fluids/manometer.cfm>
12. <http://web.cecs.pdx.edu/~gerry/class/ME449/lectures/pdf/pressureVelocityOutline.pdf>
13. [http://www.efunda.com/formulae/fluids/calc\\_orifice\\_flowmeter.cfm](http://www.efunda.com/formulae/fluids/calc_orifice_flowmeter.cfm)
14. <http://www.acr-news.com/news/news.asp?id=1197>
15. <http://www.jegasho.net/rotron%20pages/orifice%20flow%20calculation.html>
16. <http://www.quietflex.com/images/pdf/PDFQFTextileDuctweb.pdf>

## LAMPIRAN

### PENGUKURAN DENGAN KONDISI *DOUBLE STRAIGHTENER & DUCT PRESSURE TAP*

	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205
POSISI	TEKANAN DINAMIK			TEKANAN STATIK			KECEPATAN		
m	Inch.H2O			Inch.H2O			m/s		
0.115	0.110	0.098	0.080	0.235	0.192	0.310	6.494	6.129	5.538
0.10	0.160	0.098	0.100	0.210	0.209	0.300	7.832	6.129	6.191
0.08	0.166	0.098	0.100	0.207	0.209	0.303	7.977	6.129	6.191
0.06	0.160	0.090	0.096	0.207	0.215	0.304	7.832	5.874	6.066
0.04	0.160	0.098	0.100	0.213	0.209	0.303	7.832	6.129	6.191
0.02	0.166	0.098	0.100	0.207	0.209	0.303	7.977	6.129	6.191
0	0.150	0.110	0.094	0.215	0.19	0.306	7.583	6.494	6.003
-0.02	0.166	0.098	0.100	0.207	0.207	0.303	7.977	6.129	6.191
-0.04	0.160	0.098	0.100	0.213	0.209	0.303	7.832	6.129	6.191
-0.06	0.160	1.040	0.096	0.207	-0.74	0.304	7.832	19.97	6.066
-0.08	0.166	0.098	0.100	0.207	0.209	0.303	7.977	6.129	6.191
-0.10	0.160	0.300	0.100	0.210	0.007	0.303	7.832	10.72	6.191
-0.115	0.090	0.098	0.08	0.255	0.192	0.310	5.874	6.129	5.538
Tekanan statik rata-rata (Inch.H <sub>2</sub> O)				0.215	0.117	0.304			

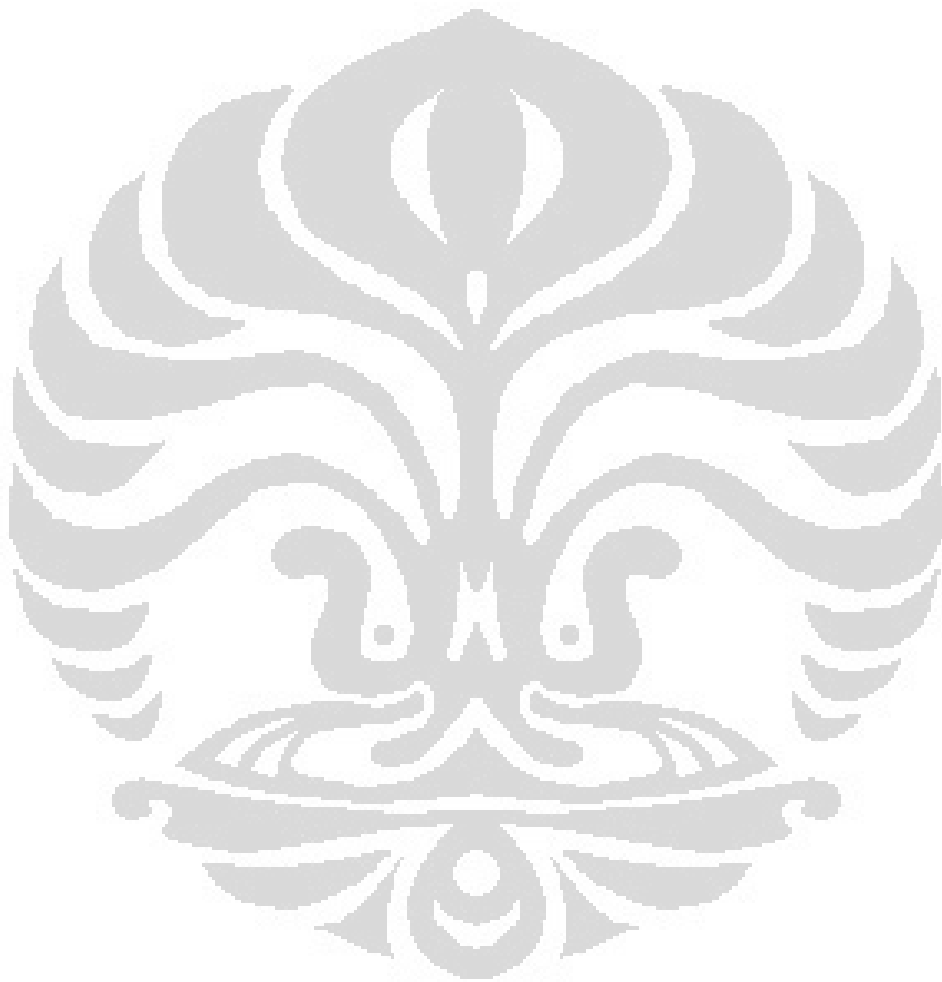
PENGUKURAN DENGAN KONDISI *DOUBLE STRAIGHTENER & DUCT ORIFICE*

	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205
POSISI	TEKANAN DINAMIK			TEKANAN STATIK			KECEPATAN		
m	Inch.H2O			Inch.H2O			m/s		
0.115	0.094	0.084	0.064	1.190	0.960	0.70	6.003	5.675	4.953
0.10	0.124	0.094	0.084	1.166	0.980	0.703	6.895	6.003	5.675
0.08	0.130	0.094	0.084	1.174	0.990	0.706	7.059	6.003	5.675
0.06	0.114	0.090	0.08	1.176	0.976	0.704	6.611	5.874	5.538
0.04	0.124	0.094	0.084	1.180	0.99	0.706	6.895	6.003	5.675
0.02	0.130	0.098	0.084	1.174	0.986	0.706	7.059	6.129	5.675
0	0.114	0.094	0.078	1.176	0.98	0.706	6.611	6.003	5.468
-0.02	0.124	0.098	0.084	1.180	0.986	0.706	6.895	6.129	5.675
-0.04	0.124	0.098	0.084	1.180	0.986	0.706	6.895	6.129	5.675
-0.06	0.114	0.090	0.08	1.176	0.984	0.704	6.611	5.874	5.538
-0.08	0.130	0.094	0.084	1.174	0.99	0.706	7.059	6.003	5.675
-0.10	0.130	0.106	0.084	1.174	0.978	0.706	7.059	6.375	5.675
-0.115	0.094	0.084	0.064	1.170	0.96	0.70	6.003	5.675	4.953
Tekanan statik rata-rata (Inch.H <sub>2</sub> O)				1.180	0.980	0.704			
Debit (CMM)							19.80	18.10	15.20
Kecepatan pada orifice							7.32	6.69	5.62



PENGUKURAN DENGAN KONDISI *SINGLE STRAIGHTENER & DUCT PRESSURE TAP*

	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205	RPM 1535	RPM 1395	RPM 1205
POSISI	TEKANAN DINAMIK APPARATUS			TEKANAN DINAMIK DUCT			KECEPATAN APPARATUS			KECEPATAN DUCT		
m	Inch.H <sub>2</sub> O			Inch.H <sub>2</sub> O			m/s			m/s		
0.115	0.110	0.078	0.058	0.100	0.080	0.060	6.362	5.358	4.620	6.066	5.426	4.699
0.10	0.118	0.098	0.062	0.156	0.126	0.094	6.590	6.005	4.777	7.577	6.810	5.882
0.08	0.120	0.114	0.078	0.176	0.142	0.108	6.645	6.477	5.358	8.048	7.229	6.304
0.06	0.120	0.098	0.066	0.190	0.156	0.118	6.645	6.005	4.928	8.362	7.577	6.590
0.04	0.116	0.098	0.060	0.200	0.164	0.124	6.534	6.005	4.699	8.579	7.769	6.755
0.02	0.130	0.102	0.068	0.206	0.170	0.130	6.917	6.127	5.002	8.707	7.910	6.917
0	0.120	0.098	0.062	0.206	0.170	0.130	6.645	6.005	4.777	8.707	7.910	6.917
-0.02	0.106	0.090	0.060	0.200	0.164	0.126	6.246	5.755	4.699	8.579	7.769	6.810
-0.04	0.106	0.104	0.068	0.194	0.158	0.120	6.246	6.187	5.002	8.450	7.625	6.645
-0.06	0.102	0.100	0.064	0.178	0.148	0.110	6.127	6.066	4.853	8.094	7.380	6.362
-0.08	0.090	0.096	0.060	0.160	0.138	0.100	5.755	5.944	4.699	7.673	7.126	6.066
-0.10	0.100	0.094	0.058	0.110	0.106	0.080	6.066	5.882	4.620	6.363	6.246	5.426
-0.115	0.080	0.064	0.040	0.100	0.082	0.060	5.426	4.853	3.837	6.066	5.493	4.699
Tekanan statik rata-rata (Inch.H <sub>2</sub> O)				1535	0.358							
				1395	0.301							
				1205	0.223							



## HASIL PENGUKURAN UNTUK RPM 1200

(TDB/TWB = 27/23°C, Weather = Cloudy, Power = 380 W/50 Hz, Atom Pressure = 101441.89 Kg/m<sup>2</sup>)

MEASUREMENTS																		
INSTR.	Barometer	Humidity Measuring Device			Air flow control device	Tachometer	A.C watt meter	Dial indicator or sensitive incline water										
	Capsule Dial	Dry Bulb	Wet Bulb					A	B	C	D	E	E, F	G, H				
		Thermometer							Pressure Tap									
OBJEKT	Atm. Pressure	Atm. Temperatur	Wet Bulb Temp	Delivery Air temp through Fan	Throttle Valve setting	Rotation speed of fan	Input energy to electric motor	Pressure Drop across conical inlet Nozzle	Static Pressure At delivery duct				Pressure difference in ORIFICE	Pressure diff. across Pitot Tube (atas ke bawah)				
SYMBOL	Pa	t <sub>a</sub> (t <sub>i</sub> )	t <sub>w</sub>	t <sub>2</sub>	L <sub>D</sub>	N <sub>t</sub>	L <sub>m1</sub>	h <sub>s1</sub> (h <sub>n</sub> )	h <sub>s2</sub>	h <sub>s2</sub> -C	h <sub>s2</sub> -D	h <sub>01</sub>	h <sub>0</sub>	h <sub>p</sub>				
UNIT	kg/m <sup>3</sup>	°C			cm	rpm	kW	mmAg										
ID No	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014				
1	10441.89	27	23	26	0	1200	0.57	0	24	24	24	24	0	0	0	0	0	
2	10441.89	27	23	26	20	1200	0.57	0.5	20	20	19	20	3	0.5	0.8	1	0.8	0.5
3	10441.89	27	23	26	70	1200	0.57	2	12.5	12.5	6	11.5	10	1	1.5	2	1.5	1
4	10441.89	27	23	26	140	1200	0.57	2	10	10	4	10	12	1.5	2	2.5	2	1.5
5	10441.89	27	23	26	240	1200	0.57	2.5	9.5	9.5	3	9.5	12.5	2	2	2.5	2.2	2
6	10441.89	27	23	26	280	1200	0.57	3	9	9	2	9	13	2	2.5	2.5	2.2	2

## HASIL PENGUKURAN UNTUK RPM 1800

(TDB/TWB = 27.25/24.25°C, Weather = Cloudy, Power = 380 W/50 Hz, Atom Pressure = 101441.3 Kg/m<sup>2</sup>)

MEASUREMENTS																	
INSTR.	Barometer	Humidity Measuring Device			Air flow control device	Tachometer	A.C watt meter	Dial indicator or sensitive incline water									
	Capsule Dial	Dry Bulb	Wet Bulb					A	B	C	D	E	E, F	G, H			
		Thermometer							Pressure Tap								
OBJEKT	Atm. Pressure	Atm. Temperatur	Wet Bulb Temp	Delivery Air temp through Fan	Throttle Valve setting	Rotational speed of fan	Input energy to electric motor	Pressure Drop across conical inlet Nozzle	Static Pressure At delivery duct				Pressure difference in ORIFICE	Pressure diff. across Pitot Tube (atas ke bawah)			
SYMBOL	Pa	t <sub>a</sub> (t <sub>1</sub> )	t <sub>w</sub>	t <sub>2</sub>	L <sub>D</sub>	N <sub>t</sub>	L <sub>m1</sub>	h <sub>s1</sub> (h <sub>n</sub> )	h <sub>s2</sub>	h <sub>s2</sub> -C	h <sub>s2</sub> -D	h <sub>01</sub>	h <sub>0</sub>	h <sub>p</sub>			
UNIT	kg/m <sup>3</sup>	°C			cm	rpm	kW	mmAg									
ID No	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014			
1	10411.3	27	24	26	0	1800	0.62	0	56	56	56	56	0	0	0	0	0
2	10411.3	27	24	26	20	1800	0.68	1	45	45	41	45	10	0.5	2	2	0.5
3	10411.3	27	24	26	50	1800	0.72	3.5	33	33	23.5	33	20	2.5	3	3.5	3
4	10411.3	27	24	26	100	1800	0.7	5	25	25	11	25	27	3.5	4	4	2.5
5	10411.3	27	24	26	150	1800	0.69	6	22	22	8	22.5	27.5	4	4.5	4.5	4
6	10411.3	27	24	26	200	1800	0.69	5	21	21	5.5	21	27	3	3.5	4	2.5

## HASIL PENGUKURAN UNTUK RPM 2400

(TDB/TWB = 27.5/23.5°C, Weather = Cloudy, Power = 380 W/50 Hz, Atom Pressure = 101401.11 Kg/m<sup>2</sup>)

MEASUREMENTS																		
INSTR.	Barometer	Humidity Measuring Device			Air flow control device	Tachometer	A.C watt meter	Dial indicator or sensitive incline water										
	Capsule Dial	Dry Bulb	Wet Bulb					A	B	C	D	E	E, F	G, H				
		Thermometer						Pressure Tap										
OBJECT	Atm. Pressure	Atm. Temperatur	Wet Bulb Temp	Delivery Air temp through Fan	Throttle Valve setting	Rotational speed of fan	Input energy to electric motor	Pressure Drop across conical inlet Nozzle	Static Pressure At delivery duct				Pressure difference in ORIFICE	Pressure diff. across Pitot Tube (atas ke bawah)				
SYMBOL	Pa	t <sub>a</sub> (t <sub>1</sub> )	t <sub>w</sub>	t <sub>2</sub>	L <sub>D</sub>	N <sub>t</sub>	L <sub>m1</sub>	h <sub>s1</sub> (h <sub>n</sub> )	h <sub>s2</sub>	h <sub>s2-C</sub>	h <sub>s2-D</sub>	h <sub>01</sub>	h <sub>0</sub>	h <sub>p</sub>				
UNIT	kg/m <sup>3</sup>	°C			cm	rpm	kW	mmAg										
ID No	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014				
1	10401.111	27.5	24.5	26	0	2400	1.1	0	103	103	103	103	1	0	0	0	0	0
2	10401.111	27.5	24.5	26	20	2400	0.95	0	75	75	65	75	23	4	4	4	4	3
3	10401.111	27.5	24.5	26	50	2400	1.05	7	55	54	34	54	38	5	6	7	6	5
4	10401.111	27.5	24.5	26	100	2400	1.05	9	43	43	19	43	45	7	8	7.5	7	5
5	10401.111	27.5	24.5	26	150	2400	0.95	10	40	40	14	41	51	8	9	8	9	6
6	10401.111	27.5	24.5	26	200	2400	1.05	10	39	39	12	39	51	8.5	8.5	8	9	7

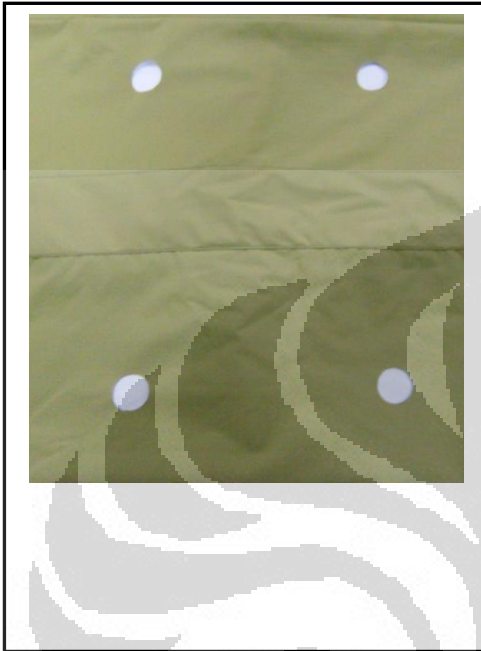
## HASIL PENGUKURAN UNTUK RPM 2900

(TDB/TWB = 28/23°C, Weather = Cloudy, Power = 380 W/50 Hz, Atom Pressure = 101411.33 Kg/m<sup>2</sup>)

MEASUREMENTS																		
INSTR.	Barometer	Humidity Measuring Device			Air flow control device	Tachometer	A.C watt meter	Dial indicator or sensitive incline water										
	Capsule Dial	Dry Bulb	Wet Bulb					A	B	C	D	E	E, F	G, H				
		Thermometer						Pressure Tap										
OBJEC T	Atm. Pressure	Atm. Temperatur	Wet Bulb Temp	Delive ry Air temp through Fan	Throttl e Valve setting	Rotation al speed of fan	Input energy to electric motor	Pressur e Drop across conical inlet Nozzle	Static Pressure At delivery duct				Pressure difference in ORIFICE	Pressure diff. across Pitot Tube (atas ke bawah)				
SYMBOL	Pa	t <sub>a</sub> (t <sub>1</sub> )	t <sub>w</sub>	t <sub>2</sub>	L <sub>D</sub>	N <sub>t</sub>	L <sub>mf</sub>	h <sub>s1</sub> (h <sub>n</sub> )	h <sub>s2</sub>	h <sub>s2</sub> -C	h <sub>s2</sub> -D	h <sub>01</sub>	h <sub>0</sub>	h <sub>p</sub>				
UNIT	kg/m <sup>3</sup>	°C			cm	rpm	kW	mmHg										
ID No	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014				
1	10411.33	28	23	26	0	2900	0.95	0	150	150	149	149	11	0.5	0	0	0	0
2	10411.33	28	23	26	20	2900	1.41	10.5	84	85	56.5	86	54	7	8	8.5	8	7
3	10411.33	28	23	26	100	2900	1.41	12	63	62	27	62.5	68.5	10	12	11	11	8
4	10411.33	28	23	26	100	2900	1.4	9	43	43	19	43	45	7	8	7.5	7	5
5	10411.33	28	23	26	220	2900	1.4	13	56	55	16	56	72.5	11	12	11	12	7.5
6	10411.33	28	23	26	370	2900	1.4	14	55	55	16	55	73	12	13	12	13	10

## KAIN TASLAN

PERMUKAAN LUAR



PERMUKAAN DALAM

