



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROFIL KECEPATAN UDARA KELUAR *ORIFICE TEXTILE*
DUCTING BERBAHAN TASLAN PADA 2000 FPM**

SKRIPSI

IRFAN

0405020383

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Irfan
NPM : 0405020383
Tanda Tangan :
Tanggal :

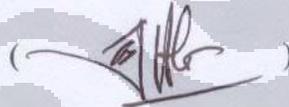
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Irfan
NPM : 0405020383
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Profil Kecepatan Udara Keluar *Orifice Textile Ducting*
Berbahan Taslan pada 1500 fpm

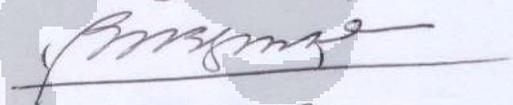
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

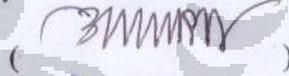
Pembimbing : Dr. Ir. Warjito, M.Eng..

()

Pembimbing : Ir. Rusdy Malin, MME

()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng

()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat menjadi Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penyusunan skripsi ini memiliki tema mendasar tentang *textile ducting*, yang melibatkan beberapa rekan yaitu Yuda Septiyanto, Yunarto, Nico Widjaya, dan Dicky Januarizky. Dengan masing-masing memiliki tema tersendiri yaitu experimental set-up alat uji *textile ducting* (Yunarto), karakteristik *textile ducting* dan profil aliran udara di dalam *textile ducting* (Nico dan Dicky), dan profil kecepatan udara keluar orifice textile duct (penulis dan Yuda Septiyanto). Skripsi ini memiliki beberapa kesamaan dengan Yuda Septiyanto, sehingga harap maklum apabila ada beberapa kesamaan. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan beberapa pihak baik selama masa awal perkuliahan, sampai penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, Dzat Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas segala karunia nikmat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Warjito, M.Eng; Ir. Rusdy Malin, M.ME; dan Dr. Ir. Budihardjo Dipl.Ing selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan penulis menyusun skripsi ini.
3. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Mesin FT UI dan Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng selaku Sekretaris Departemen Teknik Mesin FT UI.
4. Seluruh staff pengajar Departemen Teknik Mesin FT UI, atas segala ilmu dan dedikasinya selama ini, semoga ilmu yang diberikan dapat memberikan manfaat.
5. Yuda Septiyanto selaku rekan dalam penelitian kecepatan profil udara orifis dalam *textile ducting*.

6. Yunarto, Nico dan Dicky selaku rekan dalam penelitian *textile ducting*.
7. Mas Udiyono, Mas Jajat (karyawan Dept. Teknik Kimia), Mas Syarif, Mas Awang dan karyawan Departemen Teknik Mesin lainnya atas segala bantuannya selama ini.
8. Keluarga besar beasiswa Etos, yang telah membimbing saya selama 3 tahun menerima beasiswa; khususnya rekan-rekan 2005 atas motivasi dan dukungannya selama ini.
9. Seluruh teman-teman Mesin angkatan 2005 atas motivasi, kebersamaan dan persahabatannya selama ini.
10. Dan seluruh pihak yang penulis tidak dapat tuliskan, yang telah membantu penulis selama menjalani perkuliahan sejak awal baik secara langsung maupun tidak langsung.

Terima kasih sebesar-besarnya khusus kepada kedua orang tua penulis, Abi dan Umi tercinta, atas segala kasih sayang, doa dan bimbingannya selama ini. Sehingga penulis sampai sekarang dapat mengenyam pendidikan hingga perguruan tinggi. Dan juga kepada abang dan adik penulis atas doa dan *support*-nya dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan saudara-saudara semua. Semoga skripsi ini merupakan sebuah amal kebaikan dan membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

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 : Irfan
NPM : 0405020383
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 :

Profil Kecepatan Udara Keluar *Orifice Textile Ducting* Berbahan Taslan Pada 2000 fpm

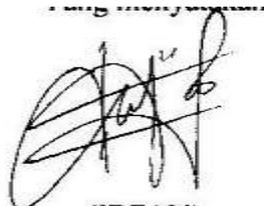
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Juni 2009

Yang menyatakan


(IRFAN)

ABSTRAK

Nama : Irfan
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Profil Kecepatan Udara Keluar Orifis *Textile Ducting* Berbahan Taslan pada 2000 fpm

Textile ducting merupakan sistem saluran udara untuk menyalurkan udara dingin dari *Air Handling Unit* (AHU) ke dalam ruangan. Pendistribusian udara dari *textile ducting* dilakukan melalui orifis (lubang udara pada *textile ducting*). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui profil kecepatan udara orifis pada 2000 fpm saluran ducting. Profil kecepatan di dapat dengan mengukur tekanan dinamik dari udara keluar orifis dengan menggunakan *Pitot Tube Transverse Apparatus* dan manometer. Penelitian ini menggunakan *Air Flow Demonstration Apparatus* (AFD-240GTAE) sebagai alat uji percobaan. Hasil penelitian ini menunjukkan profil kecepatan udara keluar orifis tidak radial terhadap orifis melainkan menyamping terutama pada bagian terdekat *inlet airflow textile ducting* setelah *straightener*.

Kata kunci:
textile ducting, orifis, profil kecepatan

ABSTRACT

Name : Irfan
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Velocity Profile at Outlet Orifice of Taslan Textile Ducting at 2000 fpm

Textile ducting is a system of air channel for supplying cool air from Air Handling Unit (AHU) to the room. Air is delivered from textile ducting through orifice (hole of air textile ducting). The purpose of this research is identifying air velocity profile at outlet orifice on 2000 fpm main duct. Velocity profile can be found with measured pressure dynamic from air outlet orifis used Pitot Tube Transverse Apparatus and manometer. This research used Air Flow Demonstration Apparatus (AFD-240GTAE) as an experiment device. These results shows that air velocity profile at outlet orifice is not radial with orifice but sideways especially on closest part of inlet airflow textile ducting after straightener.

Keywords:
textile ducting, orifice, velocity profile

DAFTAR ISI

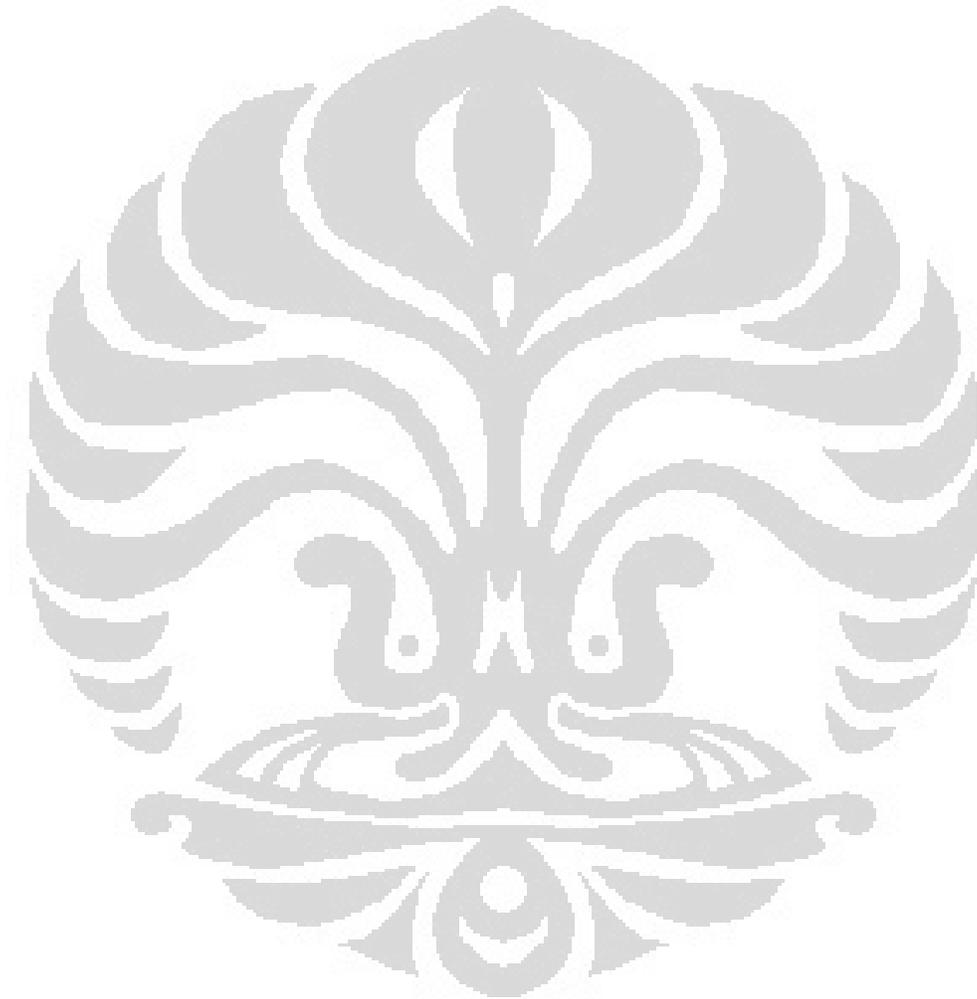
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
2. DASAR TEORI.....	4
2.1 Aliran Fluida	4
2.1.1 Pendahuluan	4
2.1.2 Bentuk Aliran Fluida.....	5
2.1.2.1 Aliran Laminar.....	5
2.1.2.2 Aliran Turbulen.....	7
2.1.3 Energi yang Hilang Akibat Gesekan.....	8
2.1.4 Tekanan dan Tegangan Geser pada Fluida	9
2.1.5 Tekanan Statik, Tekanan Stagnasi dan Tekanan Dinamik.....	10
2.1.6 Jet bebas	14
2.2 Alat Ukur Fluida	14
2.2.1 Orificemeter	15
2.2.2 Manometer Tabung U.....	16
2.2.3 Manometer Tabung Miring.....	17
2.3 Sistem Saluran Udara.....	18
2.3.1 Pendahuluan	18
2.3.2 Textile Ducting.....	20
2.3.2.1 Sistem textile ducting.....	20
2.3.2.2 Pemilihan diameter textile ducting.....	22
2.3.2.3 BahanTextile	25
2.3.2.4 Tekanan	26
2.3.2.5 Model	26
2.3.2.6 Arah semburan aliran udara	28
2.3.2.7 Desain orifis	28
2.3.2.8 Sistem suspensi	30

3. METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Perancangan	32
3.2.1 Perancangan <i>Textile Ducting</i>	32
3.2.2 Perancangan Pitot Tube Transverse Apparatus	38
3.3 Metode Pengambilan Data	41
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Hasil Data	44
4.1.1 Perbandingan Kecepatan Pada Arah Jarum Jam 4 dan Jam 8	44
4.1.2 Penggabungan Kecepatan Tiap <i>Orifice</i> Arah Jarum Jam 8 dan 4	50
4.2 Analisa Data	54
4.2.1 Nilai dan Arah Laju Aliran Udara Pada Tiap <i>Orifice</i> Arah Jam 4	54
4.2.2 Nilai dan Arah Laju Aliran Udara Pada Tiap <i>Orifice</i> Arah Jam 8	56
4.2.3 Profil Aliran Udara Keluar Orifis	58
5. KESIMPULAN	60
DAFTAR REFERENSI	62
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

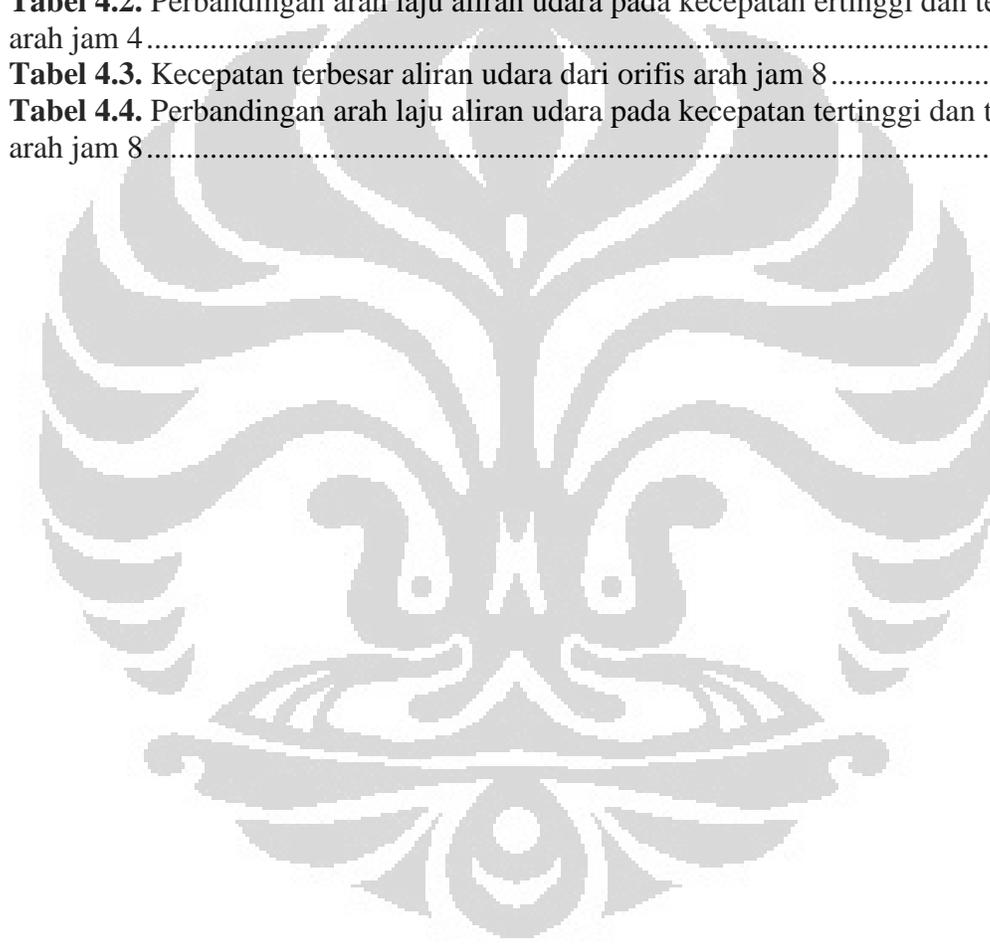
Gambar 2.1.	Penggambaran jenis aliran dengan percobaan tinta.....	5
Gambar 2.2.	Aliran laminar pada sistem pemipaan	6
Gambar 2.3.	Aliran Turbulen	7
Gambar 2.4.	Diagram Moody.....	9
Gambar 2.5.	Distribusi tekanan pada pipa horizontal	10
Gambar 2.6.	Pengukuran tekanan statik dan stagnasi	11
Gambar 2.7.	<i>Wall Pressure Tap</i> dan Tabung Pitot.....	12
Gambar 2.8.	Aliran vertikal dari sebuah tangki.....	14
Gambar 2.9.	Konstruksi <i>orifice meter</i>	15
Gambar 2.10.	<i>Orifice meter discharge coefficient</i>	16
Gambar 2.11.	Manometer Tabung U.....	16
Gambar 2.12.	Manometer Tabung Miring.....	18
Gambar 2.13.	textile ducting jenis silinder.....	21
Gambar 2.14.	textile ducting surface mount.....	21
Gambar 2.15.	desain <i>layout textile ducting</i>	22
Gambar 2.16.	konfigurasi inlet ducting	24
Gambar 2.17.	Model <i>comfort-flow</i>	26
Gambar 2.18.	Model <i>high-throw</i>	27
Gambar 2.19.	Model <i>low-throw</i>	27
Gambar 2.20.	Arah orientasi outlet udara keluar orifis	28
Gambar 2.21.	Sistem suspensi	30
Gambar 3.1.	Skema alir penelitian	31
Gambar 3.2.	Desain <i>textile ducting</i>	32
Gambar 3.3.	<i>Evaporator</i> dengan penutupnya.....	33
Gambar 3.4.	Skema pemasangan <i>drift eliminator</i>	33
Gambar 3.5.	<i>Straightener</i> pada <i>apparatus</i>	34
Gambar 3.6.	Penyangga <i>ducting</i>	34
Gambar 3.7.	Penentuan orientasi outlet.....	38
Gambar 3.8.	Hasil Rancangan Akhir <i>Pitot Tube Transverse Apparatus</i>	38
Gambar 3.9.	Gerakan maju dan mundurnya rel <i>pitot tube</i>	39
Gambar 3.10.	Posisi perubahan sudut <i>pitot tube</i>	39
Gambar 3.11.	Posisi naik turunnya penyangga <i>pitot tube</i>	40
Gambar 3.12.	Pergerakan kanan-kiri penyangga <i>pitot tube</i>	40
Gambar 3.13.	Lubang orifis pengambilan data	42
Gambar 3.14.	Skema pengambilan data	43
Gambar 3.15.	Manometer miring	43
Gambar 4.1.	Profil kecepatan orifis 2 pada arah jarum jam 8 dan 4	45
Gambar 4.2.	Profil kecepatan orifis 5 pada arah jarum 8 dan 4	46
Gambar 4.3.	Profil kecepatan orifis 18 arah jarum jam 8 dan 4.....	47
Gambar 4.4.	Profil kecepatan orifis 29 arah jarum jam 8 dan 4.....	48
Gambar 4.5.	Profil kecepatan orifis 30 arah jarum jam 8 dan 4.....	49
Gambar 4.6.	Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 50 mm	50

Gambar 4.7.	Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 100 mm.....	51
Gambar 4.8.	Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 150 mm.....	52
Gambar 4.9.	Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 200 mm.....	53
Gambar 4.10.	Perbandingan arah kecepatan tiap orifis arah jam 4	54
Gambar 4.11.	Perbandingan arah kecepatan udara tiap orifis arah jam 8	56
Gambar 4.12.	Profil aliran udara keluar orifis.....	58



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penentuan kecepatan <i>inlet textile ducting</i> jenis silinder.....	23
Tabel 2.2. Volume udara per <i>inlet</i> diameter dengan kecepatan <i>inlet</i> ditentukan (cfm).....	24
Tabel 2.3. Pemilihan diameter <i>inlet</i> untuk <i>top inlet</i> dan <i>end inlet</i>	25
Tabel 2.4. Penentuan jumlah <i>airflow</i> per orifis (cfm)	29
Tabel 3.1. Penentuan diameter dari hasil perhitungan	36
Tabel 3.2. Perhitungan desain <i>textile ducting</i>	37
Tabel 4.1. Kecepatan terbesar aliran udara dari orifis arah jam 4.....	54
Tabel 4.2. Perbandingan arah laju aliran udara pada kecepatan tertinggi dan terendah arah jam 4.....	55
Tabel 4.3. Kecepatan terbesar aliran udara dari orifis arah jam 8.....	56
Tabel 4.4. Perbandingan arah laju aliran udara pada kecepatan tertinggi dan terendah arah jam 8.....	57



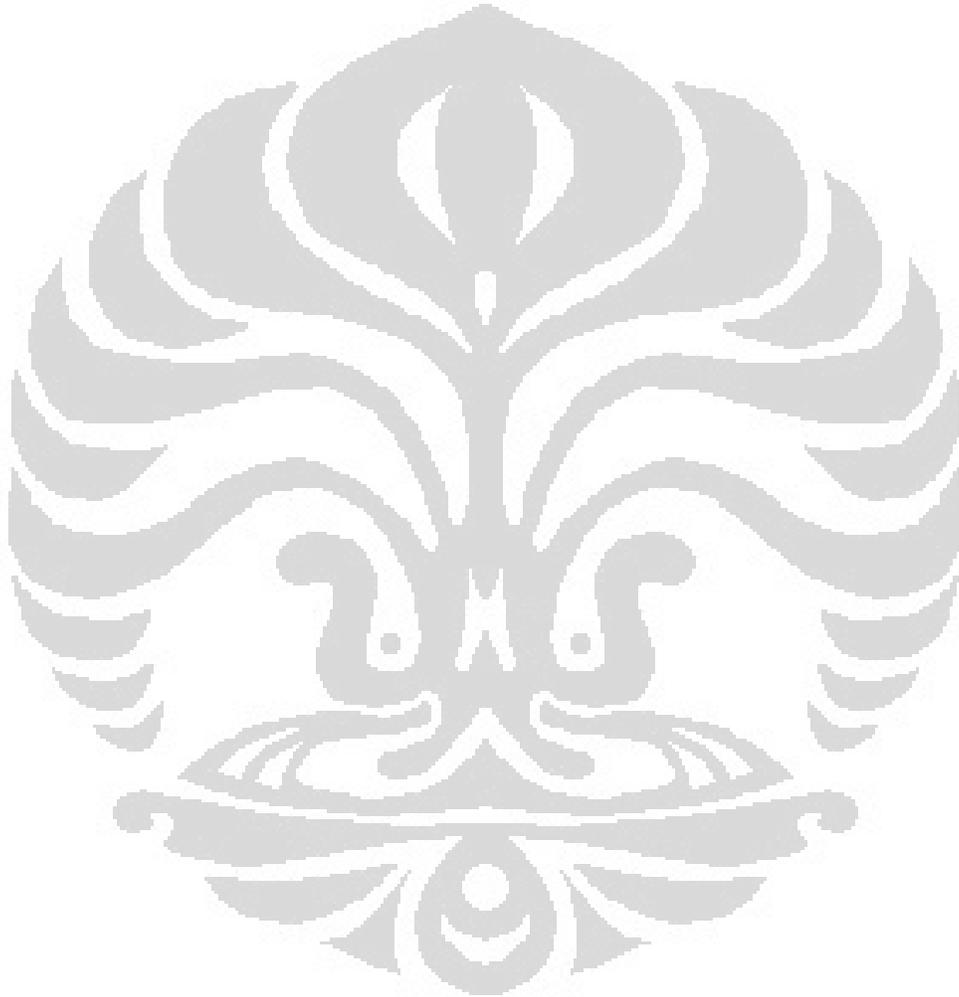
DAFTAR NOTASI



γ	= <i>specific gravity</i> (kg./m ² .s ²)
ρ	= massa jenis (kg/m ³)
g	= percepatan gravitasi (m/s ²)
p	= tekanan (Pa atau N/ m ²)
Re	= bilangan Reynold (non dimensional)
f	= <i>friction factor</i> (non dimensional)
v	= kecepatan (m/s atau fpm)
Q	= debit aliran (m ³ /s atau cfm)
A	= luas permukaan (m ²)
α_0	= <i>Discharge</i> koefisien (non dimensional)
ε_0	= Faktor koreksi akibat ekspansi udara (non dimensional)
a_0	= Luas lingkaran apparatus (m ²)
h_0	= Perbedaan tekanan (mm H ₂ O)

DAFTAR LAMPIRAN

DuctSox. *Engineering and Design Manual*. Indiana: DuctSox Corp., 2008



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengkondisian udara merupakan usaha mengolah udara untuk mengendalikan temperature ruangan, kelembaban relative, kualitas udara, dan penyebarannya, untuk menjaga persyaratan kenyamanan (*comfort*) bagi penghuni (SNI 03-6390-2000, Konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung). Suatu sistem pengkondisian udara belum tentu dapat mengendalikan seluruh parameter tersebut. Salah satu instrumen pengkondisi udara ruangan adalah *air conditioning* (AC). Penggunaan *air conditioning* di Indonesia telah cukup lama dan telah meluas di berbagai tempat, bukan hanya di perkantoran dan pusat perbelanjaan, tetapi juga di rumah, toko, pusat kebugaran dan lain sebagainya.

Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju dan inovatif, banyak perubahan di berbagai bidang. Salah satunya di bidang tata udara yaitu penggunaan air conditioning dengan tambahan instrumen sistem saluran udara (*ducting*). Pada awalnya, material *ducting* menggunakan bahan metal untuk menyalurkan udara ke ruangan yang dituju. Dalam perkembangannya, material *ducting* mengalami inovasi dengan menggunakan bahan textile. Penggunaan bahan tekstil pada *ducting* memiliki beberapa keuntungan antara lain : mempermudah pemasangan, mudah dalam pembersihan dan perawatan serta tidak menimbulkan polusi suara. Umumnya textile *ducting* yang beredar sekarang di Indonesia menggunakan bahan import, sedangkan bahan lokal atau buatan dalam negeri jarang ada yang menggunakannya karena belum diteliti lebih lanjut tentang efektifitas dan fungsinya sebagai *ducting*.

Dalam perkembangannya tidak semua bahan tekstil bisa dijadikan material pengganti bahan metal, karena harus ada penelitian dahulu tentang fungsi dan penggunaan bahan tekstil tersebut untuk dibuat *ducting*. Untuk pemakaian *ducting* pada ruangan tertentu seperti perkantoran, ruang pertemuan, dan lain sebagainya dibutuhkan bahan tekstil yang memiliki permeabilitas nol, agar udara yang mengalir

tepat tersalur melalui daerah orifice. Sedangkan pemakaian ducting untuk ruangan khusus seperti ruangan pendingin makanan maka bahan tekstil yang digunakan adalah bahan yang dapat menembus udara dengan ukuran pori-pori bahan yang perlu diteliti lebih lanjut.

1.2 Tujuan

Tujuan penulisan penelitian ini adalah mengetahui pola aliran kecepatan udara keluar orifis pada *textile ducting*. Pengaruh jarak tiap orifis pada *textile ducting*. Dari data-data yang diperoleh, kemudian dibuat analisa sehingga didapatkan informasi bagaimana pengaruh jarak orifis pada profil kecepatan udara keluar orifis.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini, *textile ducting* yang akan diteliti menggunakan alat *Air Flow Demonstration Apparatus* (model : AFD-240GTAE) dengan batasan masalah :

1. Bahan tekstil yang diteliti adalah taslan coating yang telah diuji permeabilitasnya.
2. Aliran *textile ducting* menggunakan jenis *high throw*.
3. Ukuran diameter *textile ducting* sebesar 24 cm.
4. Perhitungan kecepatan udara keluar orifice dilakukan pada beberapa titik orifice yaitu orifice 2, 5, 18, 29 dan 30.

1.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan antara lain :

1. Studi lapangan dan pustaka
Melakukan penelitian, pengamatan, dan pengujian pada alat *Air Flow Demonstration Apparatus* sebelum dipasang *textile ducting*. Disamping itu, melakukan studi literatur tentang *textile ducting* dan pola aliran fluida.
2. Perancangan Alat
Melakukan perancangan alat ukur tekanan yaitu *Pitot Tube Transverse Apparatus*, kemudian merancang *textile ducting* yang akan diteliti.
3. Pendataan

Mengambil data-data yang diperlukan untuk melakukan pengamatan terhadap alat tersebut yang telah terpasang *textile ducting*.

4. Analisa

Dari data-data telah ada, selanjutnya dilakukan analisa terhadap data-data tersebut.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penyusunan dari skripsi ini adalah :

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan

Bab II Dasar Teori

Bab ini berisi dasar-dasar teori yang digunakan mengenai aliran fluida, alat ukur fluida, dan sistem saluran udara

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang perancangan dan pembuatan *textile ducting* beserta desain pembuatan *orifice*; pembuatan alat Pitot Tube Transverse Apparatus, sebagai alat pengukur tekanan udara dengan menggunakan *inclined manometer*.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini membahas hasil-hasil yang telah didapatkan dari penelitian tentang profil kecepatan udara keluar *orifice*, kemudian dibuat analisa-analisa dari data yang telah didapat.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari pengamatan yang telah didapat, kemudian memberikan saran-saran yang diperlukan

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Aliran Fluida

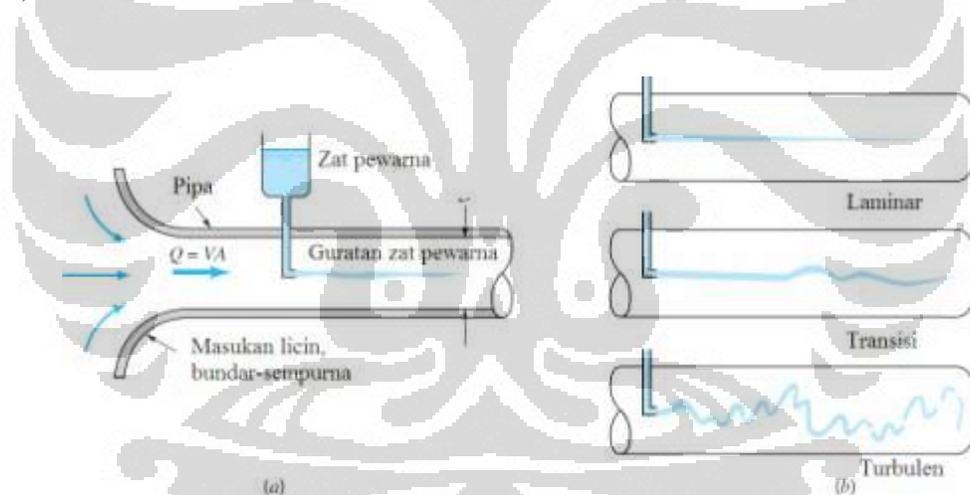
2.1.1 Pendahuluan

Fluida adalah zat yang tidak dapat menahan perubahan bentuk (distorsi) secara permanen. Bila kita mencoba mengubah bentuk suatu massa fluida, maka di dalam fluida tersebut akan terbentuk lapisan-lapisan di mana lapisan yang satu akan mengalir di atas lapisan yang lain, sehingga tercapai bentuk baru. Selama perubahan bentuk tersebut, terdapat tegangan geser (*shear stress*), yang besarnya bergantung pada viskositas fluida dan laju alir fluida relatif terhadap arah tertentu. Bila fluida telah mendapatkan bentuk akhirnya, semua tegangan geser tersebut akan hilang sehingga fluida berada dalam keadaan kesetimbangan. Pada temperatur dan tekanan tertentu, setiap fluida mempunyai densitas tertentu. Jika densitas hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan yang suhu dan tekanan yang relatif besar, fluida tersebut bersifat *incompressible*. Tetapi jika densitasnya peka terhadap perubahan variabel temperatur dan tekanan, fluida tersebut digolongkan *compressible*. Zat cair biasanya dianggap zat yang *incompressible*, sedangkan gas umumnya dikenal sebagai zat yang *compressible*. Perilaku zat cair yang mengalir sangat bergantung pada kenyataan apakah fluida itu berada di bawah pengaruh bidang batas padat atau tidak. Di daerah yang pengaruh gesekan dinding kecil, tegangan geser dapat diabaikan dan perilakunya mendekati fluida ideal, yaitu *incompressible* dan mempunyai viskositas nol. Aliran fluida ideal yang demikian disebut aliran potensial. Pada aliran potensial berlaku prinsip-prinsip mekanika Newton dan hukum kekekalan massa. Aliran potensial mempunyai 2 ciri pokok:

1. tidak terdapat sirkulasi ataupun pusaran sehingga aliran potensial itu disebut aliran irrotasional
2. tidak terjadi gesekan sehingga tidak ada disipasi (pelepasan) dari energi mekanik menjadi kalor.

2.1.2 Bentuk Aliran Fluida

Aliran fluida pada umumnya mengabaikan tegangan geser, dimana fluida dianggap sebagai fluida ideal (tidak mempunyai kekentalan/inviscid). Namun dalam kenyataannya fluida di alam ini mempunyai kekentalan. Jika fluida bergerak, kekentalan yang dikandungnya akan mengakibatkan munculnya tegangan geser. Tegangan geser yang terjadi akan merubah sebagian energi aliran menjadi energi panas, suara dan lainnya. Jika kecepatan aliran fluida rendah dan kekentalannya cukup besar maka lintasan partikel fluida akan bergerak teratur. Aliran seperti ini disebut aliran laminar. Dengan bertambahnya kecepatan, aliran akan berubah menjadi tidak teratur. Aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen (gambar 2.1).



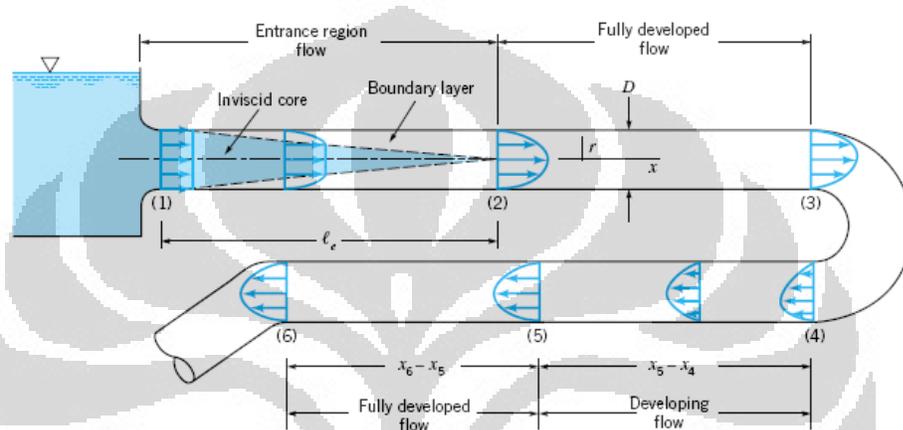
Gambar 2.1. Penggambaran jenis aliran dengan percobaan tinta

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

2.1.2.1 Aliran Laminar

Aliran laminar (seragam) merupakan aliran yang tidak memiliki ulakan-ulakan (*vortex*) di dalamnya, partikel-partikel udara mengalir hampir lurus, seragam dan teratur. Fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pada suatu lokasi. Daerah dekat lokasi dimana fluida memasuki pipa 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 (yang kita sebut lapisan batas/*boundary layer*) sampai fluida mencapai akhir dari daerah masuk. Setelah itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut arah x dan menjadi lapisan berkembang penuh (*fully developed*).



Gambar 2.2. Aliran laminar pada sistem pemipaan

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

Panjang daerah masuk berkaitan erat dengan angka bilangan Reynolds. Panjang masuk ada umumnya diberikan hubungan:

$$\frac{\ell_e}{D} = 0.06 Re \text{ untuk aliran laminar} \quad (2.1)$$

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.

2.1.2.2 Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran yang memiliki banyak ulakan-ulakan di dalamnya, baik yang kecil maupun yang besar serta berfluktuasi secara random (gambar 2.3). 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.

$$\frac{l_s}{D} = 4,4 (Re)^{1/6} \text{ untuk aliran turbulen} \quad (2.2)$$



Gambar 2.3. Aliran Turbulen

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

Aliran akan menjadi turbulen jika gaya viskos lokal mampu diatasi oleh gaya inersia, gaya buoyancy, gaya centrifugal atau gaya lainnya. Gaya viskos inilah yang berperan terhadap kestabilan dari aliran. Aliran yang stabil kemudian disebut sebagai aliran laminar. Pada saat gaya inersia dan gaya badan cukup besar dibandingkan gaya viskos, mereka akan memperbesar gangguan-gangguan acak yang ada pada setiap aliran untuk kemudian tumbuh dan menjadi tidak stabil dan tidak linear, berinteraksi satu dengan yang lain dan bergabung menjadi gerakan acak yang tidak beraturan. Pada saat tersebut aliran kemudian berubah menjadi turbulen. Kriteria dari suatu aliran akan menjadi turbulen adalah dengan melihat harga bilangan Re (Reynolds). Bilangan Re merupakan perbandingan dari gaya inersia dan gaya viskos. Harga dari batas bilangan Re untuk suatu aliran akan menjadi turbulen dapat ditentukan secara empiris.

Turbulen dapat dengan mudah ditemui pada :

1. Dalam kebanyakan aliran dalam (*internal flow*) seperti aliran dalam pipa, penukar panas, peralatan kimia dan teknik lainnya, pompa, kompresor, turbin, mesin pembakaran dalam, dan lainnya.
2. Dalam aliran luar (*external flow*) seperti aliran di luar pesawat terbang, kapal, kereta api, kendaraan bermotor, tenis, golf, dan lainnya.
3. Dalam atmosfer bumi dalam angin pada ketinggian yang lebih rendah maupun yang lebih tinggi.
4. Dalam aliran air di alam seperti sungai, danau, dan laut.

2.1.3 Energi yang Hilang Akibat Gesekan

Untuk mencari energi yang hilang akibat adanya gesekan pada aliran fluida digunakan persamaan Darcy Weisbach :

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (2.3)$$

Di mana :

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

v = kecepatan rata-rata aliran (m/s)

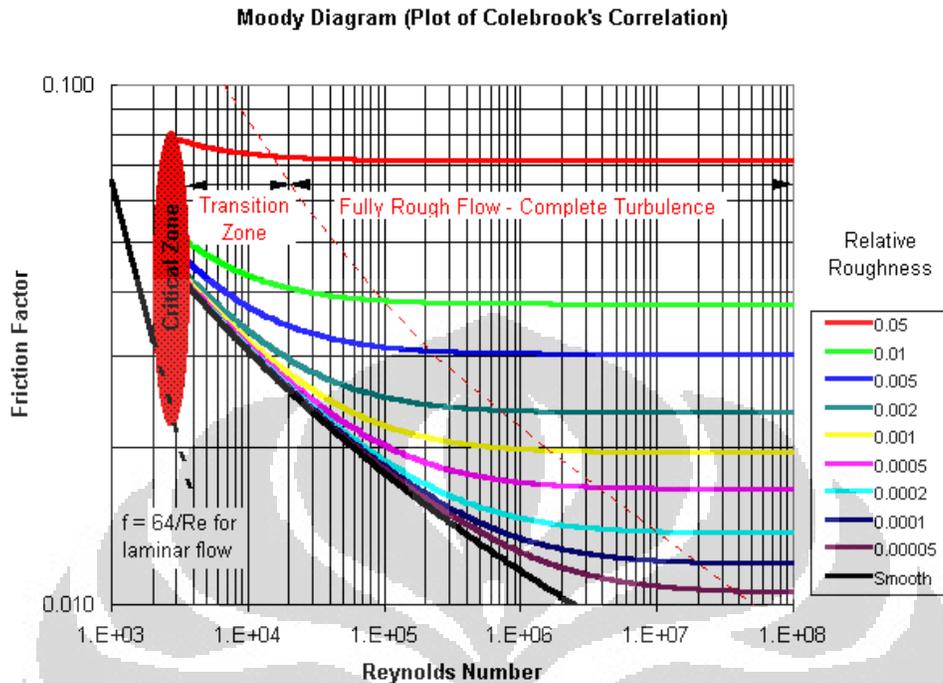
g = gravitasi (m/s²)

f = *friction factor* (tidak berdimensi)

Pada aliran laminar nilai faktor gesek menggunakan persamaan :

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.4)$$

Sedangkan untuk aliran turbulen nilai faktor gesek, dapat ditentukan dengan menggunakan *Moody Diagram*.



Gambar 2.4. Diagram Moody

(Sumber : <http://me.queensu.ca/courses/MECH441/losses.htm>)

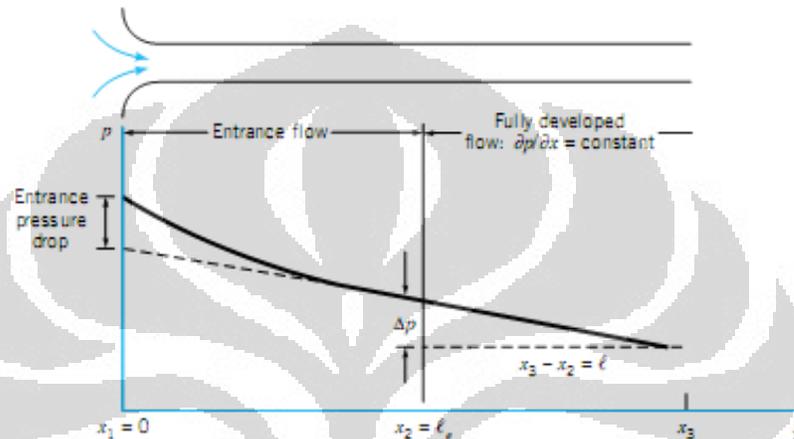
2.1.4 Tekanan dan Tegangan Geser pada Fluida

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.

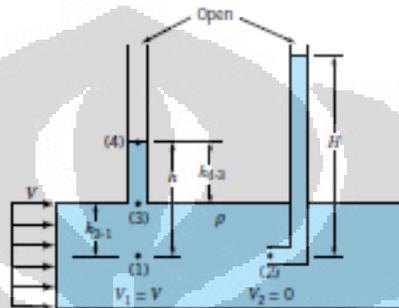


Gambar 2.5. Distribusi tekanan pada pipa horizontal
(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

2.1.5 Tekanan Statik, Tekanan Stagnasi dan Tekanan Dinamik

Tekanan statik atau tekanan termodinamika 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. 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.



Gambar 2.6. Pengukuran tekanan statik dan stagnasi

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

Pada gambar di atas, menunjukkan cara pengukuran tekanan statik dan stagnasi pada sebuah aliran fluida dengan menggunakan tabung pitot tube. Besarnya nilai tekanan fluida yang mengalir pada daerah aliran tersebut dapat ditentukan dengan persamaan Bernoulli :

$$p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \gamma z_2 = p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \gamma z_1 \quad (2.5)$$

Dengan $v_2 = 0$ dan asumsi $z_2 = z_1$, maka persamaan di atas menjadi :

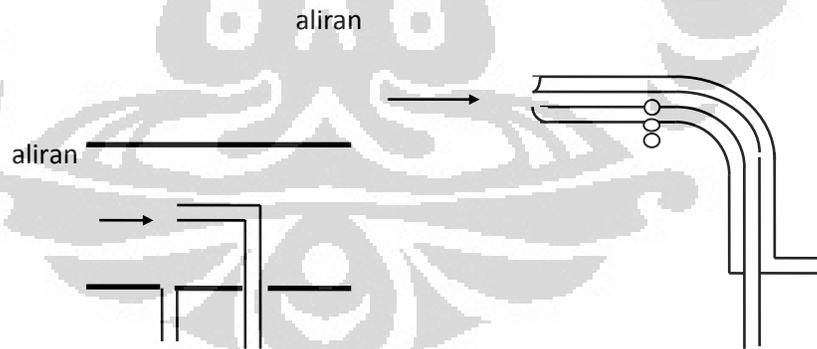
$$p_2 - p_1 = \frac{\rho v_1^2}{2} \quad (2.6)$$

atau

$$\Delta p = \frac{\rho v_1^2}{2} \quad (2.7)$$

Δp merupakan tekanan dinamik, yang merupakan selisih antara tekanan static dan tekanan stagnasi.

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 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 2.7. Wall Pressure Tap dan Tabung Pitot

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

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.

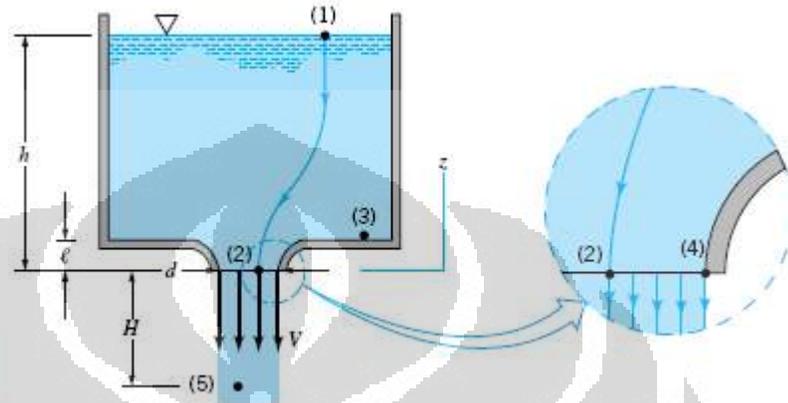
Kondisi dimana gradien tekanan sepanjang pipa tidak sama dengan nol diperlukan untuk mengatasi efek viskos dapat dilihat dari 2 sudut pandang yaitu:

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 2.6 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.

2.1.6 Jet bebas

Sebuah jet cairan dengan diameter d mengalir dari nosel dengan kecepatan V .



Gambar 2.8. Aliran vertikal dari sebuah tangki

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

Dari gambar di atas, $z_1 = h$, $z_2 = 0$, reservoir besar ($V_1=0$) terbuka ke atmosfer ($P_1=0$ pengukuran), dan fluida meninggalkan reservoir sebagai “jet bebas” ($P_2=0$) sehingga kita memperoleh

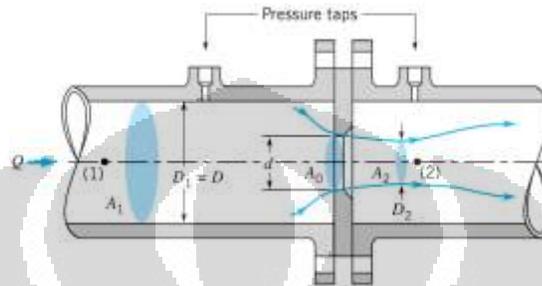
$$V = \sqrt{2 \frac{\gamma h}{\rho}} = \sqrt{2gh} \quad (2.8)$$

2.2 Alat Ukur Fluida

Fluida merupakan zat yang dapat diukur. Ada banyak alat yang dapat digunakan untuk mengukur fluida, antara lain :

2.2.1 Orificemeter

Salah satu alat pengukuran aliran yang sangat sering digunakan antara lain *orificemeter*. *Orifice meter* terdiri dari buah *flange* (pelat dengan sebuah lubang di tengahnya) pada sebuah pipa (gambar 2.9)



Gambar 2.9. Konstruksi *orifice meter*

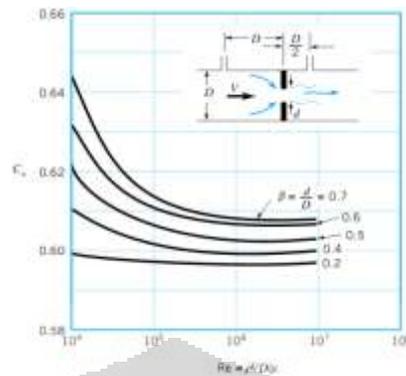
(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

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

$$Q = C_o Q_{ideal} = C_o A_0 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad (2.9)$$

C_o = *orifice discharge coefficient*

Dimana $A_0 = \pi d^2 / 4$ adalah area lubang pada pelat *orifice*. Nilai C_o adalah fungsi dari $\beta = d/D$ dan *Reynolds number*, dimana $V = Q/A$. Nilai C_o bergantung dari konstruksi dari *orifice meter* (contoh penempatan *pressure taps*, konstruksi pelat *orifice*, *square* atau *beveled*, dan lain-lain). Kondisi *orifice* yang sangat presisi menentukan pengukuran yang lebih akurat.

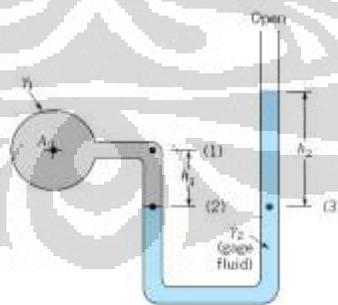


Gambar 2.10. Orifice meter discharge coefficient
(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

2.2.2 Manometer Tabung U

Manometer merupakan alat untuk mengukur selisih tinggi tekanan dinamik dan tinggi tekanan statik (SNI 3409 : 2008, Tata cara pengukuran kecepatan aliran pada uji model hidraulik fisik dengan tabung pitot). Jenis manometer ada bermacam-macam, antara lain yang sering digunakan yaitu manometer tabung U. Manometer tabung U merupakan alat ukur tekanan yang berbentuk U. Fluida yang berada dalam manometer disebut *fluida pengukur*. Untuk menentukan tekanan p_A yang dinyatakan dalam berbagai ketinggian kolom, dapat dilakukan dengan menelusuri dari sebuah ujung sistem sampai ke ujung lainnya dengan menggunakan persamaan

$$p = \gamma h + p_0 \quad (2.10)$$



Gambar 2.11. Manometer Tabung U

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

Pada manometer tabung U tekanan pada titik A dan (1) sama dan akan bergerak dari titik 1 ke 2 maka tekanan akan meningkat sebesar $\gamma_1 h_1$. Tekanan pada titik 2 sama dengan tekanan di titik 3, karena tekanan pada ketinggian yang sama dalam suatu massa fluida diam yang kontinu pasti sama. Apabila tekanan pada titik 3 diketahui, maka tekanan di ujung terbuka adalah nol. Apabila pergerakan fluida bergerak vertical ke atas, tekanan berkurang sebesar $\gamma_2 h_2$. Sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$p_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 = 0 \quad (2.11)$$

Maka tekanan p_A dinyatakan dalam sebagai berikut :

$$p_A = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 \quad (2.12)$$

Kelebihan utama dari manometer tabung U didasari kenyataan bahwa fluida pengukur dapat berbeda dari fluida di dalam bejana di mana tekanan akan ditentukan. Misalnya fluida di A pada gambar di atas dapat berupa zat cair atau gas. Jika A berisi gas, kontribusi dari ketinggian kolom gas $\gamma_1 h_1$ hampir selalu diabaikan sehingga $p_A = p_2$. Maka persamaan di atas menjadi :

$$p_A = \gamma_2 h_2 \quad (2.13)$$

Manometer tabung U juga banyak dipakai untuk mengukur perbedaan tekanan antara dua bejana atau dua titik dalam sebuah sistem.

2.2.3 Manometer Tabung Miring

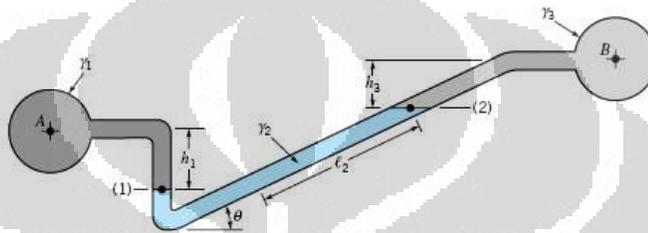
Manometer tabung miring biasa digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan yang kecil dengan akurat. Perbedaan tekanan $p_A - p_B$ dapat dinyatakan sebagai

$$P_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 l_2 \sin \theta - \gamma_3 h_3 = P_B \quad (2.14)$$

atau

$$P_A - P_B = \gamma_2 l_2 \sin \theta - \gamma_3 h_3 - \gamma_1 h_1 \quad (2.15)$$

di mana perbedaan tekanan antara titik (1) dan (2) disebabkan oleh jarak vertical antara titik-titik tersebut, yang dapat dinyatakan sebagai $l_2 \sin \theta$. Jadi, untuk sudut yang relative kecil, bacaan perbedaan sepanjang tabung miring dapat menjadi besar meskipun hanya ada perbedaan tekanan yang kecil.



Gambar 2.12. Manometer Tabung Miring

(Sumber : Bruce R. Munson, Fundamental of Fluid Mechanics)

2.3 Sistem Saluran Udara

2.3.1 Pendahuluan

Sistem tata udara adalah keseluruhan sistem yang mengkondisikan udara di dalam gedung dengan mengatur besaran termal seperti temperatur dan kelembaban relatif, serta kesegaran dan kebersihannya, sedemikian rupa sehingga diperoleh kondisi ruangan yang nyaman (SNI 03-6390-2000, Konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung). Dalam sistem tata udara terdapat sistem saluran udara (*ducting*). Sistem saluran udara atau *ducting* merupakan sistem untuk menyalurkan udara yang berasal dari peralatan pengkondisian udara ke tempat yang diinginkan. Sistem saluran udara pada umumnya terletak tersembunyi seperti sistem perkabelan listrik. Secara normal, performa optimal kerja dari saluran udara tidak dapat diketahui. Dalam merancang tata udara harus ada lima hal yang harus diperhatikan :

1. Ruang yang tersedia

Mempertimbangkan ruangan yang ada adalah hal penting yang harus dipertimbangkan dalam merancang tata udara. Perancangan tata udara dalam

sebuah gedung dan pabrik akan berbeda. Hal ini terkait dengan efektifitas dan estetika yang diinginkan.

2. Tingkat kebisingan

Tingkat kebisingan yang diinginkan pada sebuah ruangan dapat menjadi sebuah pertimbangan utama dalam perancangan sebuah sistem tata udara. Dalam mendesain tata udara sebuah stasiun radion ataupun televisi memiliki persyaratan redaman udara yang tinggi dibandingkan dengan suatu bangunan pabrik.

3. Kerugian gesekan atau *friction loss*

Gesekan pada sistem tata udara atau hambatan pada aliran udara harus diperhatikan. Kerugian karena gaya gesek sangat berarti bagi perancang desain, karena hal ini terkait dengan biaya yang akan dikeluarkan dan hasil yang maksimal. Seorang perancang haruslah mengontrol kerugian karena gaya gesek pada perancangannya, selain itu juga harus mengontrol biaya operasi tahunan pada sistem tata udara yang dibuat.

4. Kerugian panas dan panas tambahan

Kerugian panas atau panas tambahan pada sistem tata udara dapat terjadi cukup signifikan. Jika sebuah sistem dirancang untuk menyalurkan udara ke sebuah ruangan dengan suhu 60°F tetapi karena peningkatan panas maka temperatur dapat menjadi 64°F atau lebih. Maka tujuan dari pendinginan yang dilakukan tidak tercapai.

5. Biaya awal

Biaya merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan dalam perancangan sistem tata udara. Seseorang akan mempertimbangkan untuk memilih biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan biaya yang tinggi dengan kualitas tata udara yang sama.

2.3.2 Textile Ducting

Textile ducting merupakan hasil perkembangan dari ducting conventional yang ada. Perbedaannya terletak pada material yang digunakan. Material yang biasa digunakan untuk membuat ducting berasal dari bahan metal, baik berupa baja lapis seng (BJLS), Aluminium, dan lain sebagainya. Penggunaan material ducting saat ini telah mengalami perkembangan dengan menggunakan material tekstil. Ducting dengan bahan tekstil (disebut *textile ducting*) memiliki perbedaan dengan ducting berbahan metal, *textile ducting* tidak membutuhkan *diffuser* dan *grille*. Pendistribusian udara dengan *textile ducting* dapat dilakukan melalui permukaannya atau melalui lubang-lubang di sepanjang saluran udara ducting tersebut atau disebut juga *orifice*.

Penggunaan textile ducting dapat diaplikasikan pada berbagai tempat antara lain :

- a). Pusat perbelanjaan
- b). Industri makanan, industri tekstil
- c). Gedung perkantoran
- d). Rumah Sakit, Laboratorium
- e). Kolam Renang
- f). Ruang Pertemuan, Gedung Olahraga

2.3.2.1 Sistem textile ducting

Sistem textile ducting terdiri dari lima bagian:

1. Jenis atau bentuk ducting

a. Silinder



Gambar 2.13. *Textile ducting jenis silinder*

(Sumber : DuctSox)

Textile ducting jenis tersebut umumnya digantung horizontal menggunakan tension cable atau sistem suspensi aluminium. Inlet diameter pada ducting jenis tersebut ditentukan berdasarkan persyaratan kecepatan inlet desain sistem. Pada jenis tersebut, diutamakan memiliki diameter yang konstan untuk meminimalisasi kehilangan (*loses*) karena gesekan.

b. Surface mount



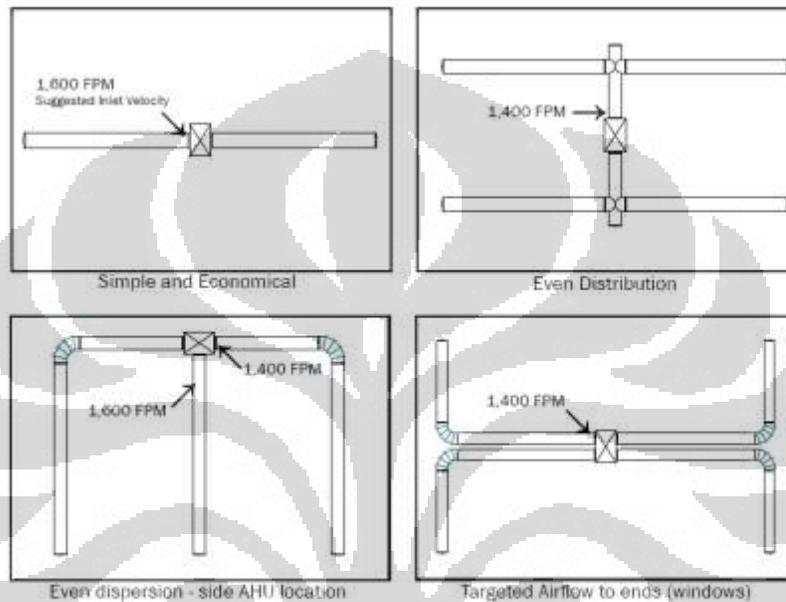
Gambar 2. 14. *Textile ducting surface mount*

(Sumber : DuctSox)

Textile ducting jenis tersebut diaplikasikan untuk ketinggian atap kurang dari 14'. Pada jenis tersebut, aliran udara masuk ke sistem melalui bagian ujung textile atau panel datar pada dinding.

2. Desain layout

Secara sederhana, sistem textile ducting terdiri dari duct dan diffuser. Desain layout ducting harus mengenai sasaran persyaratan udara yang didistribusikan ke dalam sistem. Beberapa contoh desain layout textile ducting



Gambar 2.15. Desain *layout textile ducting*

(Sumber : DuctSox)

2.3.2.2 Pemilihan diameter textile ducting

a) Jenis silinder

diameter ditentukan berdasarkan aliran udara dan kondisi inlet. Kecepatan inlet yang rendah (1000 – 1200 fpm) akan mereduksi tegangan dan kebisingan. Jika diameter yang dibutuhkan terlalu besar, dapat menggunakan tabel 2.1 untuk menentukan kecepatan inlet.

Tabel 2.1. Penentuan kecepatan *inlet textile ducting* jenis silinder

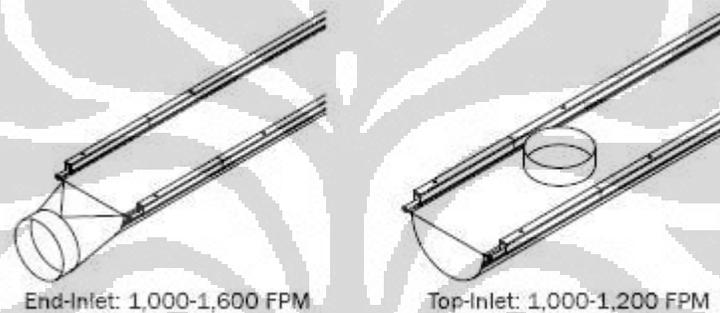
Diameter (in)	Inlet Velocity (fpm)			
	1000	1200	1400	1600
8	349	419	489	559
10	545	654	764	873
12	785	942	1,100	1,257
14	1,069	1,283	1,497	1,710
16	1,396	1,676	1,955	2,234
18	1,767	2,121	2,474	2,827
20	2,182	2,618	3,054	3,491
22	2,640	3,168	3,696	4,224
24	3,142	3,770	4,398	5,027
26	3,687	4,424	5,162	5,899
28	4,276	5,131	5,986	6,842
30	4,909	5,890	6,872	7,854
32	5,585	6,702	7,819	8,936
34	6,305	7,566	8,827	10,088
36	7,069	8,482	9,896	11,310
38	7,876	9,451	11,026	12,601
40	8,727	10,472	12,217	13,963
42	9,621	11,545	13,470	15,394
44	10,559	12,671	14,783	16,895
46	11,541	13,849	16,157	18,466
48	12,566	15,080	17,593	20,106
50	13,635	16,362	19,090	21,817
52	14,748	17,698	20,647	23,597
54	15,904	19,085	22,266	25,447
56	17,104	20,525	23,946	27,367
58	18,348	22,017	25,687	29,356
60	19,635	23,562	27,489	31,416
62	20,966	25,159	29,352	33,545
64	22,340	26,808	31,276	35,744
66	23,758	28,510	33,262	38,013
68	25,220	30,264	35,308	40,352
70	26,725	32,070	37,415	42,761
72	28,274	33,929	39,584	45,239

(Sumber : DuctSox)

b) Jenis *surface mount* (D- shape)

Dalam menentukan diameter textile ducting jenis *surface mount*, dilakukan

- memilih konfigurasi inlet (akhir atau puncak)
- menentukan aliran udara melalui masing- masing inlet. Untuk inlet puncak, hitung aliran udara setiap inlet.
- memilih diameter inlet.
- memilih diameter textile ducting



Gambar 2.16. Konfigurasi inlet ducting

(Sumber : DuctSox)

Tabel 2.2. Volume udara per *inlet* diameter dengan kecepatan *inlet* ditentukan (cfm)

Diameter (in)	Inlet Velocity (fpm)			
	1000	1200	1400	1600
8	349	419	489	559
10	545	654	764	873
12	785	942	1,100	1,257
14	1,069	1,283	1,497	1,710
16	1,396	1,676	1,955	2,234
18	1,767	2,121	2,474	2,827
20	2,182	2,618	3,054	3,491
22	2,640	3,168	3,696	4,224
24	3,142	3,770	4,398	5,027

(Sumber : DuctSox)

top (puncak) inlet: pilih minimum diameter D- shape dari tabel di bawah setiap pemilihan inlet diameter.

end (akhir) inlet :pilih maksimum diameter D- shape dari tabel di bawah setiap pemilihan diameter inlet.

Tabel 2.3. Pemilihan diameter *inlet* untuk *top inlet* dan *end inlet*

Dia. D-shape	Dia. Min. End Inlet	Dia. Max Top Inlet
18	10	10
22	13	14
26	16	18
14	18	22
30	21	26
34	24	30

(Sumber : DuctSox)

1. Bahan *textile*

Yang harus diperhatikan dalam memilih bahan untuk *textile ducting*:

a. Porositas

Bahan yang memiliki porositas dipilih jika permukaan ducting ganda untuk mencegah kondensasi. Bahan yang tidak memiliki porositas dipilih untuk ducting dengan permukaan tunggal.

b. Jenis bahan yang dapat dipilih untuk *textile ducting* diantaranya:

1. Sedonna- Xm
memiliki pororositas udara
2. Tuftex
Tidak memiliki porositas udara
3. Verona
4. DuraTex
5. EkoTex
6. Stat-X
7. Microbe-X

c. Dispersi udara

2.3.2.4 Tekanan

Udara yang didistribusikan melalui textile ducting menghasilkan tekanan positif ke dalam ruangan. Pada sistem yang tertutup, desain textile ducting berdasarkan Average Pressure atau AP (DuctSox Engineering Manual) :

$$AP = ISP 1 + 0.66 (VP - VL) \text{ (in H}_2\text{O)} \quad (2.16)$$

keterangan :

ISP 1 = *Inlet Static Pressure* (in H₂O)

VP = *Velocity Pressure* (in H₂O) = (velocity/4005)²

FL = *Frictional Pressure Loss*

Inlet Static Pressure (ISP) mengindikasikan tekanan statik yang di suplai pada daerah inlet *textile ducting*. Nilai ISP 1 memiliki standar ½” w.g dengan range 1/8” – 3 “ w.g. Sedangkan *velocity pressure* yang dihasilkan berasal dari tekanan static. Untuk nilai *friction pressure loss* didapatkan dari persamaan Darcy-Weisbach :

$$FL = 39,4 \times f \times \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (2.17)$$

Angka 39,4 merupakan faktor konversi dari SI menjadi in H₂O.

2.3.2.5 Model

Comfort- Flow

Pada model ini, udara dialirkan melalui ventilasi linier.

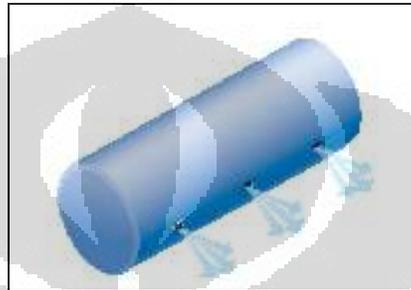


Gambar 2.17. Model *comfort-flow*

(Sumber : DuctSox)

High-Throw

Udara dialirkan melalui orifis yang dibuat dengan jarak tertentu. Udara yang keluar orifis adalah tipe aliran udara jet.



Gambar 2.18. Model *high-throw*

(Sumber : DuctSox)

Low-Throw

Udara dialirkan melalui bahan permeable untuk mengurangi kecepatan udara kurang dari 30 FPM. Model ini cocok untuk lingkungan pabrik makanan yang membutuhkan distribusi udara seragam dan udara filtrasi.

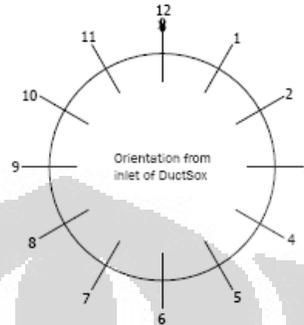


Gambar 2.19. Model *low-throw*

(Sumber : DuctSox)

2.3.2.6 Arah semburan aliran udara

Pertimbangan penentuan arah semburan aliran udara



Gambar 2.20. Arah orientasi *outlet* udara keluar orifis

(Sumber :DuctSox)

- arah jam 11 dan 1, 10 dan 2, 3 dan 9 : dipilih untuk aplikasi pendinginan atau ventilasi. Semburan udara diarahkan ke eksterior dinding.
- arah jam 4 dan 8, 5 dan 7, dan 6 : dipilih untuk aplikasi dengan pemanas, atau pendingin atau ventilasi. Semburan diarahkan ke seluruh daerah (space).

2.3.2.7 Desain orifis

Dalam menentukan desain orifis, kami menggunakan jenis aliran ducting *high throw*. Pilih ukuran orifis dan orientasi berdasarkan semburan. Tekanan yang rendah akan meningkatkan efisiensi, sedikit kebisingan. Untuk menghitung jumlah orifis, dihitung dengan cara membagi airflow volume dengan airflow per orifis

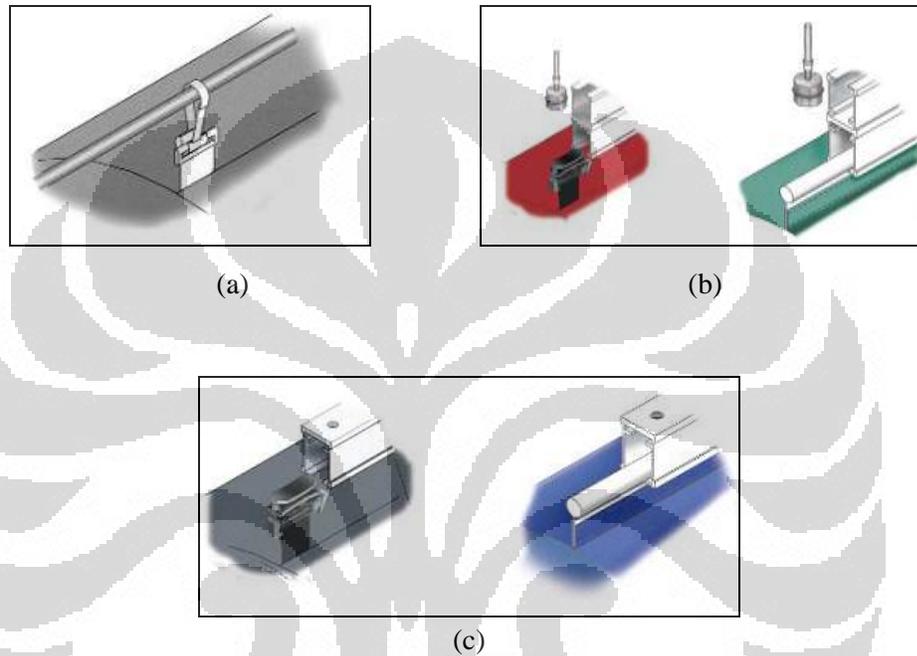
Tabel 2.4. Penentuan jumlah *airflow* per orifis (cfm)

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

(Sumber : DuctSox)

2.3.2.8 Sistem suspensi

Sistem suspensi dibuat untuk menjaga kondisi textile ducting tetap dalam keadaan mengembang sehingga tidak terjadi penurunan tekanan yang signifikan. Ada beberapa macam model sistem suspensi yang dapat digunakan, diantaranya:

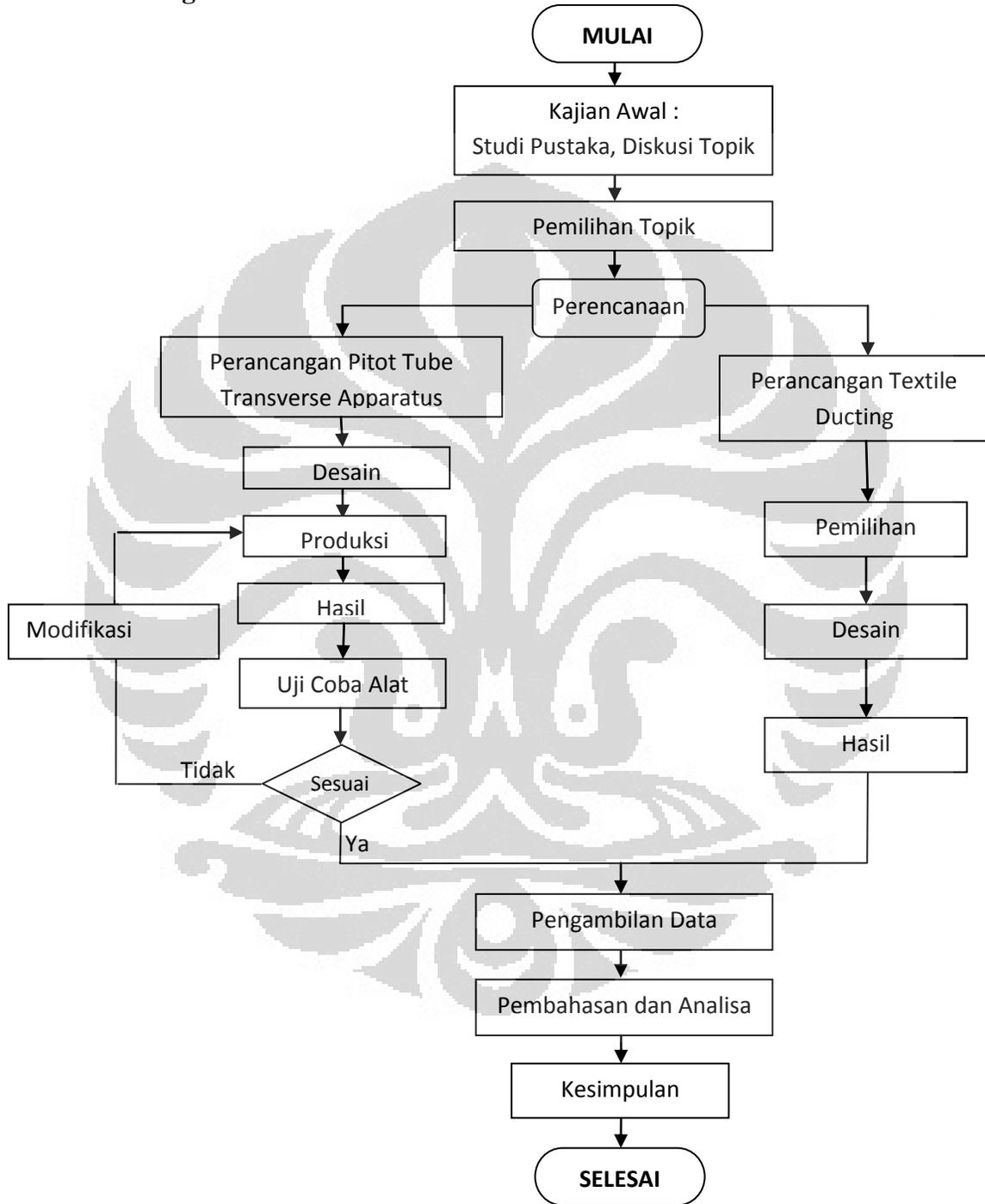


Gambar 2.21. Sistem suspensi: (a) *Tension cable*, (b) *H-Track*,
(c) *Flush mount track*

(Sumber: DuctSox)

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Skema alir penelitian

3.2 Perancangan

3.2.1 Perancangan *Textile Ducting*

Pada penelitian ini, perancangan *textile ducting* disesuaikan dengan alat bantu *Air Flow Demonstration Apparatus* (AFD-240GTAE) yang akan digunakan berasal dari bahan taslan coating. Panjang untuk dapat melakukan pengukuran profil kecepatan udara keluar dari orifis *ducting*, maka alat uji harus disiapkan.

Ducting yang digunakan pada penelitian tersebut bermodel *high throw*. Pada model *high throw*, udara dialirkan melalui orifis yang dibuat dengan jarak tertentu. Udara yang keluar orifis adalah tipe aliran udara jet. *Ducting* yang diuji tidak memiliki percabangan sehingga keseluruhan *ducting* sebagai *main duct*. Instalasi *ducting* dibuat agar *textile ducting* tetap dalam posisi lurus (*inline*) dan tetap terjaga kebulatannya. Oleh karena itu kerangka *ducting* yang dibuat harus memenuhi fungsi tersebut. Kerangka *ducting* dibuat untuk menjaga *textile ducting* agar tetap dalam keadaan bundar. Lekukan/ kerutan yang terjadi pada *textile ducting* dapat mempengaruhi *pressure drop* pada *ducting*. Gambar 3.2 menjelaskan gambar keseluruhan desain *textile ducting* dengan penyangganya.



Gambar 3.2. Desain *textile ducting*

Berikut adalah tahapan-tahapan perancangan *textile ducting*:

1. Pemasangan *Evaporator*

Tujuan dari pemasangan *evaporator* ini adalah mengalirkan udara dingin yang dialirkan melalui *Air Flow Demonstration Apparatus* menuju *textile*

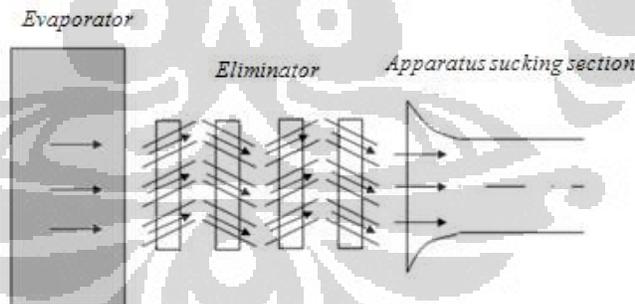
ducting. Pemasangan *evaporator* pada gambar 3.3 menggunakan penutup (*casing*), agar udara dingin yang di hembuskan evaporator langsung menuju apparatus.



Gambar 3.3. *Evaporator* dengan penutupnya

2. Pemasangan *Drift Eliminator*

Tujuan dari pemasangan dari *drift eliminator* ini adalah mengurangi kandungan uap air (*moisture*) yang keluar dari *evaporator*. Apabila tidak agar apparatus kandungan uap air tidak masuk apparatus dan *textile ducting*.



Gambar 3.4. Skema pemasangan *drift eliminator*

3. Pemasangan *straightener*

Pemasangan *straightener* pada gambar 3.5, bertujuan untuk membuat aliran udara yang masuk pada bagian *entrance length textile ducting* agar aliran udara menjadi laminar. Sebelum udara masuk ke dalam *textile ducting* (udara

pada apparatus), masih bersifat turbulen oleh karena itu pemasangan *straightener* akan memberikan gangguan pada udara sehingga udara yang masuk ke dalam textile ducting menjadi laminar.



Gambar 3.5. *Straightener* pada *apparatus*

4. Penyangga *ducting*

Penyangga *ducting* pada gambar 3.6, bertujuan agar *textile ducting* yang akan diuji dapat berdiri dengan tegak tanpa adanya pergerakan ataupun getaran-getaran dari aliran udara yang mengalir melalui *textile ducting*. Penyangga ini terdiri dari rangka fondasi dari plat besi siku dan besi silinder pejal yang dibuat melingkar.



Gambar 3.6. Penyangga *ducting*

5. Desain textile ducting

Dalam perancangan textile ducting ada beberapa tahapan yang dilakukan yaitu :

a. Pemilihan bahan textile ducting

Textile ducting yang digunakan pada penelitian tersebut menggunakan bahan jenis *Taslan Coating*. Bahan *textile ducting* tersebut telah di uji permeabilitasnya dan memiliki permeabilitas nol (ASTM D737-04). Sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat *textile ducting*.

b. Penentuan jenis aliran udara

Jenis aliran udara yang dipilih yaitu *high throw*, karena aliran udara yang dihasilkan cukup kuat dan memiliki jangkauan juga luas.

c. Pemilihan diameter ducting dan perhitungan jumlah orifis

Penentuan diameter textile ducting berdasarkan kecepatan aliran udara pada *main duct* yaitu kecepatan yang langsung di suplai oleh fan ke *main duct*. Kecepatan di *main duct* ditentukan untuk 1500 fpm, 1750 fpm, dan 200 fpm. Pada tabel 3.1 dari hasil perhitungan, diameter *ducting* yang dapat dipilih adalah 8", 10", dan 12". Untuk penelitian ini, diameter *textile ducting* yang dipilih adalah 10". Salah satu alasannya adalah disesuaikan dengan diameter apparatus.

Tabel 3.1. Penentuan diameter dari hasil perhitungan

rpm	v		Q		d	
	fpm	m/s	cfm	m ³ /min	m	in
1200	1500	7.62	541.8	15.3411	0.21	8.14
	1750	8.89	541.8	15.3411	0.19	7.54
	2000	10.16	541.8	15.3411	0.18	7.05
1800	1500	7.62	781.5	22.1286	0.25	9.78
	1750	8.89	781.5	22.1286	0.23	9.05
	2000	10.16	781.5	22.1286	0.22	8.47
2400	1500	7.62	1073	30.3883	0.29	11.5
	1750	8.89	1073	30.3883	0.27	10.6
	2000	10.16	1073	30.3883	0.25	9.92
2900	1500	7.62	1283	36.3267	0.32	12.5
	1750	8.89	1283	36.3267	0.29	11.6
	2000	10.16	1283	36.3267	0.28	10.8

dengan:

rpm = putaran *fan* pada *blower apparatus*

v = kecepatan udara di *main duct* (fpm)

Q = *flow rate* yang diperoleh dari putaran *fan*, m³/min
(didapat melalui perhitungan)

d = diameter *ducting* (m)

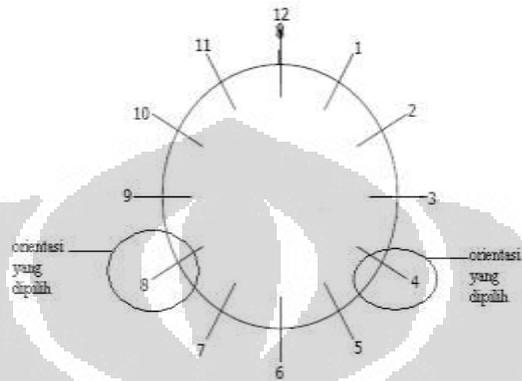
Pada tabel 3.2 menjelaskan perhitungan lengkap model *textile ducting* yang akan digunakan beserta desain orifis. Beberapa rumusan di dalam tabel mengikuti standar DuctSox.

Tabel 3.2. Perhitungan desain *textile ducting*

Jenis Ducting	Textile	-
Bahan	Taslan	-
Model	High throw	-
Jumlah ducting	1	-
Suplai udara per suplai 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)	0.04 in. H₂O	Nilai FL diperoleh berdasarkan Gambar 4.3, untuk panjang 19.7 ft.
Tekanan rata-rata (AP)	AP = ISP1 + 0,66 x (VP – FL) AP = 0,5 + 0,66 x (0,14 – 0,04) = 0,6 in. H ₂ O	
Desain orifis		
Diameter orifis	1 in.	Ditentukan
Air flow orifis	11,37 cfm/orifis	Tabel 2.4
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'	19.7 ft – 4 ft = 15.7 ft = 188.4 in.	
Spasi antar orifis	$L_1' / (\text{jml orifis}/2) = 188.4 / (64/2) = 5.9$ in.	Arah jam 4&8

d) Penentuan orientasi *outlet*

Penentuan orientasi outlet pada textile ducting akan menentukan panjang jangkauan aliran udara keluar orifuis. Pada penelitian tersebut dipilih posisi jam 4&8.



Gambar 3.7. Penentuan orientasi *outlet*

3.2.2 Perancangan Pitot Tube Transverse Apparatus

Pitot Tube Transverse Apparatus merupakan alat yang digunakan untuk mengukur profil kecepatan udara keluar orifice. Fungsi alat ini yaitu menempatkan posisi pitot tube yang akan digunakan untuk mengukur aliran udara keluar orifice. Alat kemudian akan dihubungkan dengan *incline manometer* untuk melihat tekanan yang dihasilkan dari aliran yang keluar.

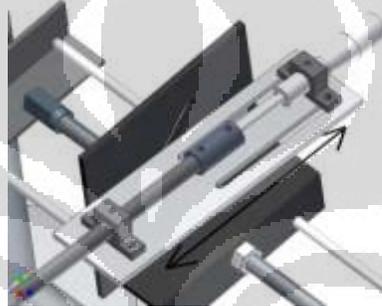


Gambar 3.8. Hasil rancangan akhir *Pitot Tube Transverse Apparatus*

Ada beberapa keunggulan dari *Pitot Tube Transverse Apparatus* ini :

1. Mengatur gerakan sumbu z (maju dan mundur) *pitot tube*

Dari desain yang dihasilkan alat ini dapat mengatur posisi *pitot tube* untuk mengukur kecepatan udara keluar orifis. Pada gambar 3.9, posisi *pitot tube* dapat melakukan gerakan maju-mundur. Desain ini memiliki jangkauan mundur sekitar 25 cm dari *centerline* orifis.



Gambar 3.9. Gerakan maju dan mundurnya rel *pitot tube*

2. Mengatur sudut *pitot tube*

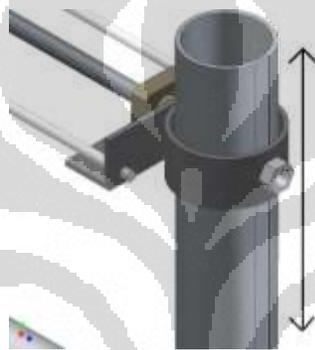
Alat ini mampu mengatur sudut yang diinginkan agar tetap dalam posisi sama dalam mengukur aliran udara. Pada gambar 3.10, posisi *pitot tube* dapat diatur besarnya sudut yang diinginkan dari arah semburan udara yang keluar. Hal ini dilakukan agar alat ukur dapat mengikuti posisi semburan udara.



Gambar 3.10. Posisi perubahan sudut *pitot tube*

3. Mengatur gerakan sumbu y (naik dan turun) penyangga *pitot tube*

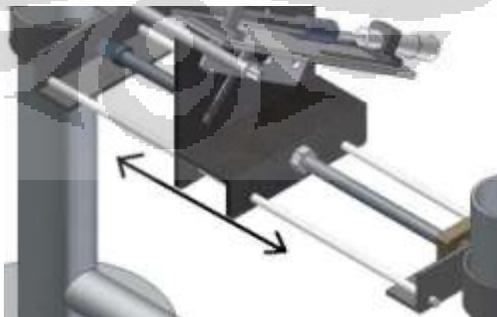
Posisi pitot tube dapat diatur ketinggiannya dengan menaikkan atau menurunkan posisi *pitot tube*. Pada gambar 3.11 menjelaskan bahwa posisi rel penyangga *pitot tube* dapat dibuat naik turun. Hal ini dilakukan agar alat ukur menjangkau pada jarak tertentu baik pada ketinggian maksimal maupun pada ketinggian minimal.



Gambar 3.11. Posisi naik turunnya penyangga *pitot tube*

4. Mengatur gerakan sumbu x (kanan dan kiri) penyangga *pitot tube*

Pada gambar 3.12, pergerakan kanan-kiri penyangga *pitot tube* dilakukan untuk mengukur kecepatan udara keluar orifis dari posisi *centerline* orifis. Jangkauan gerakan kanan-kiri ini sepanjang 25 cm.



Gambar 3.12. Pergerakan kanan dan kiri penyangga *pitot tube*

3.3 Metode Pengambilan Data

Untuk mengetahui pola aliran udara yang keluar dari orifis, diperlukan metode pengambilan data yang tepat dan seakurat mungkin. Pada penelitian ini, metode pengambilan data dilakukan dengan mengambil data tekanan dinamik aliran udara keluar orifis *textile ducting*. Pengambilan data dilakukan pada orientasi outlet jam 4 dan jam 8. Pengambilan data dilakukan pada lubang ke 2, 5, 18, 29, dan 30. Pengukuran dilakukan pada putaran sesuai dengan desain *textile ducting* yaitu 1875 rpm (untuk mendapatkan 2000 fpm)

Untuk mendapatkan nilai 2000 fpm, ditentukan dengan pengukuran dan perhitungan mengacu pada apparatus demonstrasi aliran udara (*Airflow Demonstration Apparatus*). Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan *differential pressure* antara depan orifis dan dibelakang orifis (melewati orifis). Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan *Discharge air flow rate across orifice*. Dari hasil pengukuran dimasukkan ke dalam persamaan pada *Instruction Manual for Airflow Demonstration Apparatus*, Model AFD-240GTAE :

$$Q = 60 \cdot \alpha_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot a_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma_0} h_0} \quad (3.1)$$

dengan:

Q = Laju aliran udara melewati orifis (m³/min)

α_0 = Discharge koefisien (0,687)

ε_0 = Faktor koreksi akibat ekspansi udara (1)

a_0 = Luas lingkaran apparatus = $\frac{\pi}{4} d_i^2 (m^2)$

γ_0 = Berat spesifik udara (1.3 kg/m³)

h_0 = Perbedaan tekanan melalui orifis apparatus (mm H₂O)

Nilai Q yang diperoleh kemudian dihitung untuk mendapatkan kecepatan dengan hubungan

$$Q = A.V \quad (3.2)$$

dengan:

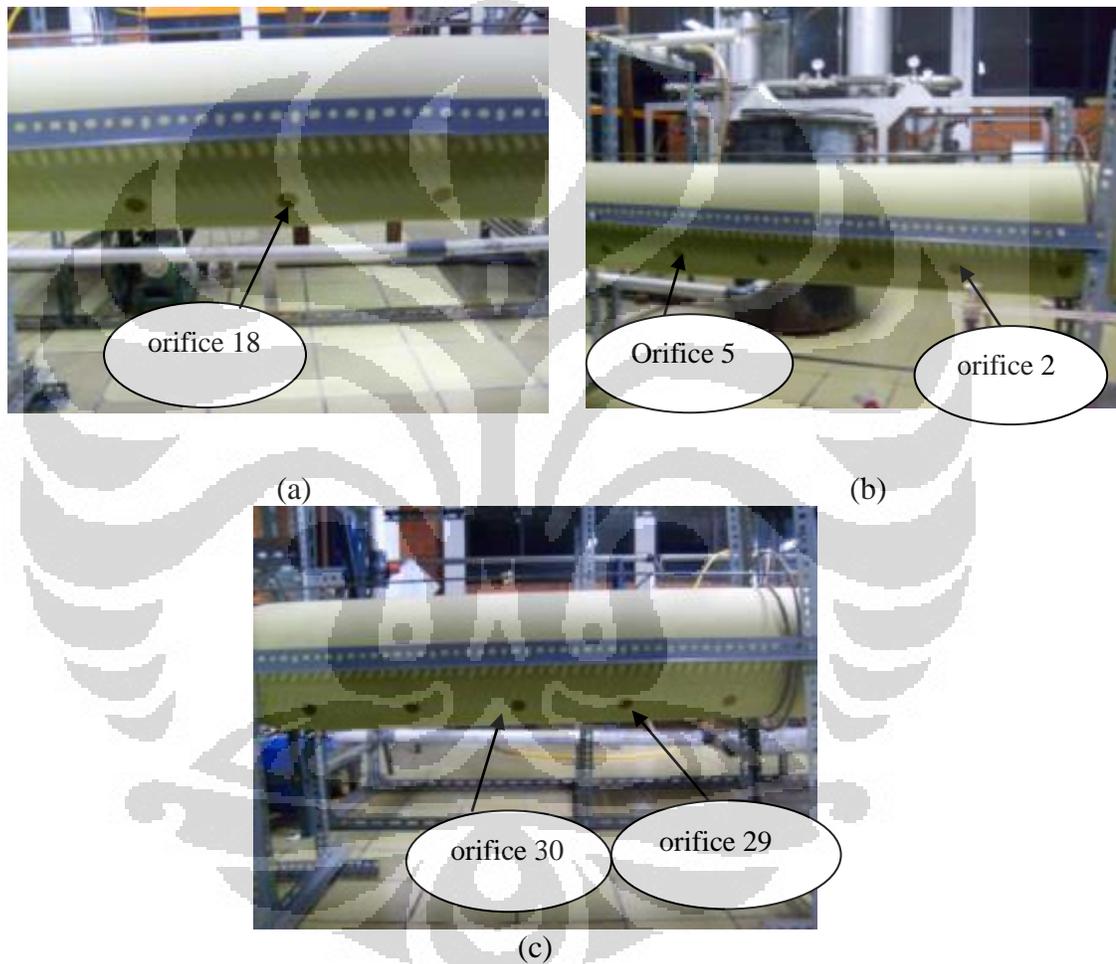
Q = Laju aliran udara melewati orifis (m³/min)

$A = \text{Luas lingkaran apparatus} = \frac{\pi}{4} d_i^2 (m^2)$

$V = \text{Kecepatan melewati orifis (m/min)}$

Nilai V (m/min) dikonversi menjadi fpm

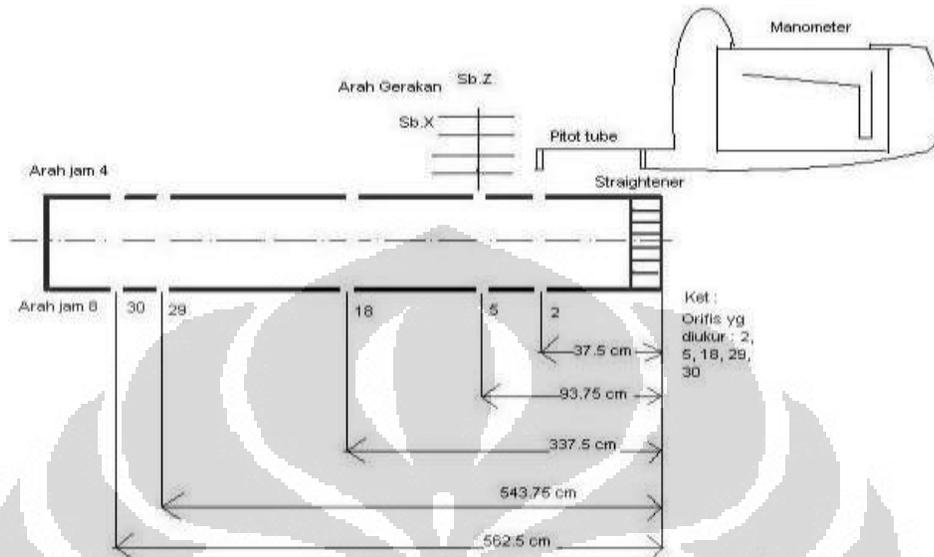
Dari perhitungan di atas didapatkan rpm yang dihasilkan untuk mencapai 1500 fpm yaitu 1380 rpm dan untuk mencapai 2000 fpm yaitu sebesar 1875 rpm.



Gambar 3.13. Lubang orifis pengambilan data

Hal yang perlu diperhatikan dalam pengambilan data adalah arah gerak *pitot tube* terhadap aliran udara keluar orifis. *Pitot tube* yang digunakan memiliki dua *tape* (statik dan stagnasi), aliran/ vektor kecepatan udara yang mengenai kedua *tape* akan memberikan pembacaan pada manometer miring (gambar 3.16). Pengukuran kedua

tekanan diperlukan kehati- hatian terutama *tape* statik karena jika keluar dari vektor kecepatan udara keluar orifis maka yang terukur adalah tekanan atmosfer.



Gambar 3.14. Skema pengambilan data

Gambar 3.15 menjelaskan proses pengambilan data dengan menggeser *pitot tube* maju- mundur (sumbu z) dan kiri- kanan (sumbu x) di depan lubang orifis. Jarak tersebut harus ditentukan untuk kemudahan dalam pencatatan data. Pergeseran *pitot tube* dimulai dari jarak paling dekat lubang orifis hingga yang paling jauh dari lubang orifis. Jarak pergerakan sumbu- z paling dekat dengan orifis adalah 50 mm dengan pertimbangan model *pitot tube* yang tidak dapat diposisikan tepat di tengah orifis ($z = 0$ mm). Pergeseran kiri dan kanan (sumbu- x) juga dilakukan pada jarak yang sama 5 mm.



Gambar 3.15. Manometer miring

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Data

Pengambilan data dari semburan udara orifice menggunakan alat ukur *incline manometer*, dari alat ini didapatkan head yang didapat pada setiap titik yang diinginkan. Pada alat uji ini menggunakan dua buah *straightener* yaitu pada apparatus dan saluran awal textile ducting. Pemasangan alat ini bertujuan untuk mengurangi terjadinya aliran turbulen. Kemudian mencari besarnya kecepatan udara keluar orifice dengan menggunakan persamaan 2.7, sehingga didapatkan rumus kecepatan :

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Delta p \cdot 249,1)}{\rho_{udara}}} \quad (4.1)$$

dengan,

v = kecepatan udara (m/s)

Δp = *differential pressure* (in H₂O)

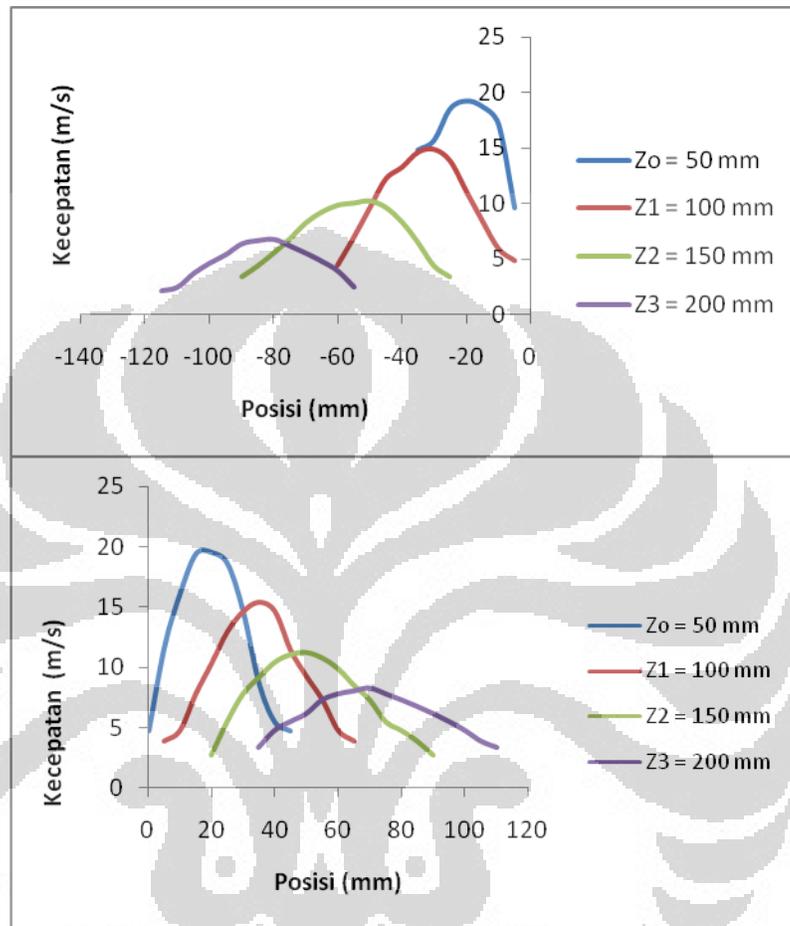
ρ_{udara} = massa jenis udara (1,3 kg/m³)

Angka 249,1 merupakan konversi *differential pressure* dari in H₂O menjadi satuan SI (Pa atau N/m²). Dari data-data yang didapatkan, dibuat perbandingan profil kecepatan pada orifis 2, 5, 18, 29 dan 30 dengan variasi yang berbeda antara lain : perbandingan profil kecepatan tiap orifis yang sama dengan beda arah jarum jam, perbandingan profil aliran udara pada jarak yang berbeda, dan penggabungan profil aliran udara pada tiap orifice dengan arah jarum jam 4 dan jam 8.

4.1.1 Perbandingan Kecepatan Pada Arah Jarum Jam 4 dan Jam 8

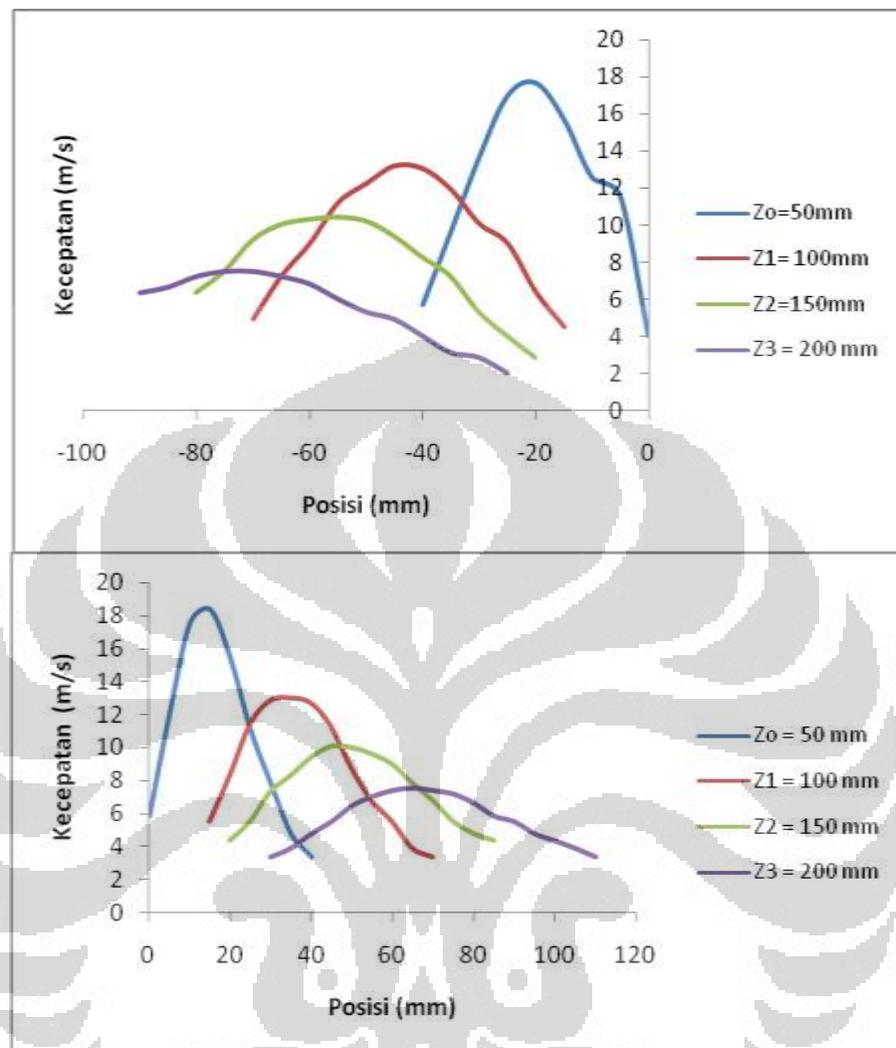
Proses pengambilan data kecepatan keluar orifice dilakukan pada beberapa titik orifice yaitu pada orifice 2, 5, 18, 29 dan 30. Hal ini dilakukan ingin mengetahui berapa besarnya kecepatan pada daerah awal, tengah, dan akhir saluran textile

ducting. Posisi orifice ditempatkan berdasarkan putaran jarum jam yaitu arah jarum jam 4 dan jam 8.



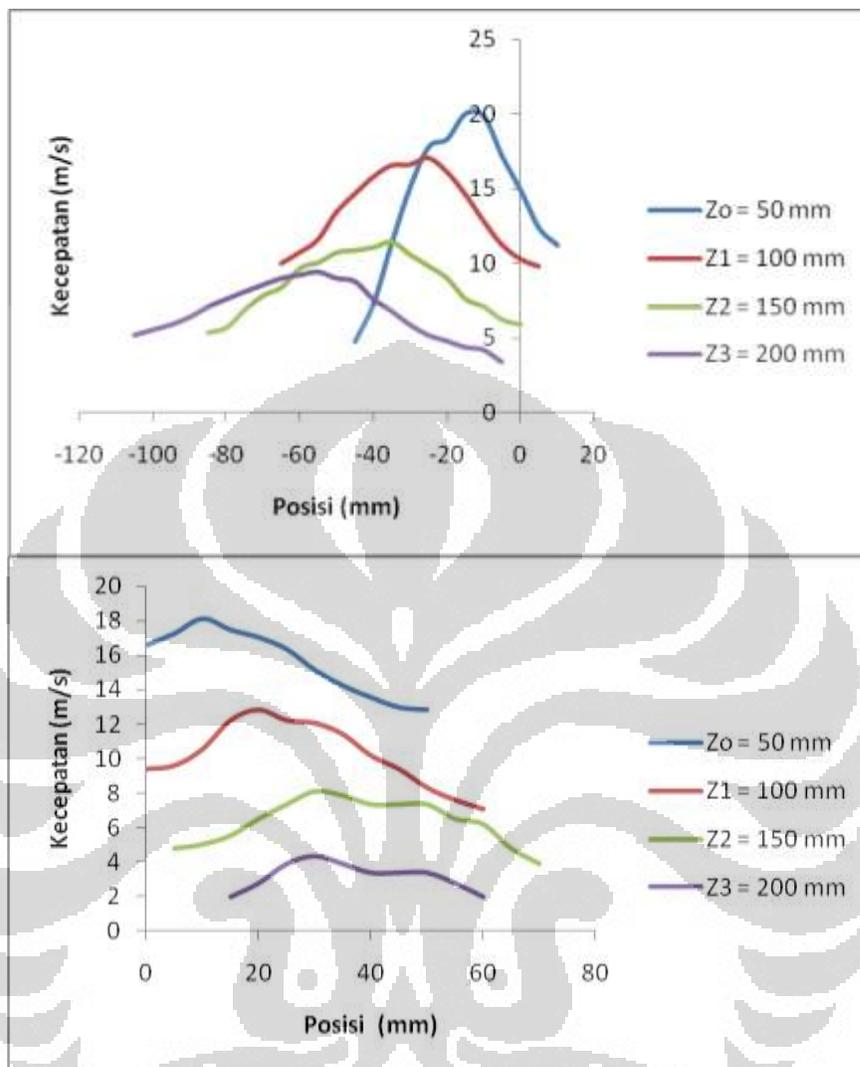
Gambar 4.1 Profil kecepatan orifis 2 pada arah jarum jam 8 dan 4

Pada gambar 4.1 menggambarkan bahwa kecepatan aliran udara keluar orifice terjadi cukup merata pada jarum jam 4 dan jarum jam 8. Posisi alat ukur ditempatkan *centerline* dari lubang orifice. Pada jarak 50 mm ini menunjukkan grafik kecepatan pada 1875 rpm (untuk memperoleh kecepatan 2000 fpm). Pada jarak ini kecepatan tertinggi mencapai 20 m/s baik pada arah jarum jam 4 dan jam 8. Sedangkan kecepatan terendah berada pada jarak 200 mm yaitu sekitar 2 m/s dengan jarak terjauh 120 mm arah kanan.



Gambar 4.2 Profil kecepatan orifis 5 pada arah jarum 8 dan 4

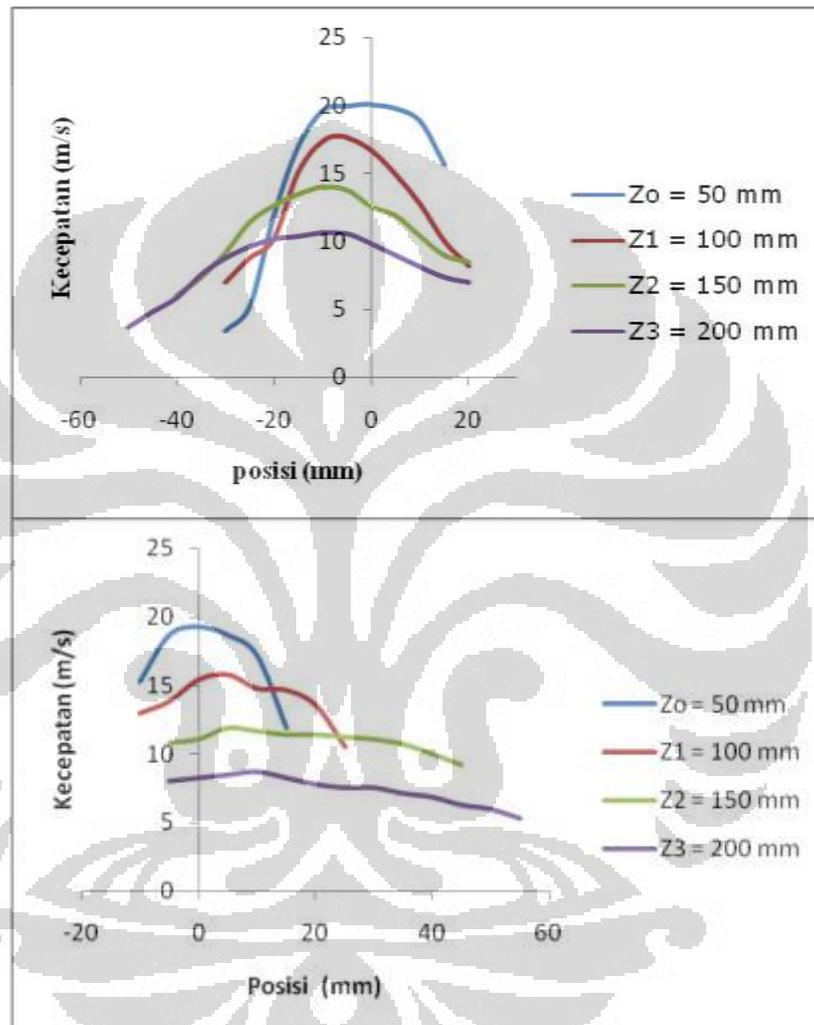
Pada gambar di atas menggambarkan bahwa kecepatan aliran udara keluar orifice terjadi cukup merata pada jarum jam 4 dan jarum jam 8. Posisi alat ukur ditempatkan *centerline* dari lubang orifice. Pada 1875 rpm ini, jarak dari *centerline* orifice 50 mm ini menunjukkan bahwa kecepatan tertinggi mencapai 18 m/s baik pada arah jarum jam 8 dan jam 4. Sedangkan kecepatan terendah pada jarak 100 mm yaitu sekitar 3 m/s dengan jarak terjauh 100 mm arah kanan. Titik puncak profil aliran menggambarkan ke arah kiri pada jarum jam 8 dan ke arah kanan pada jarum jam 4.



Gambar 4.3 Profil kecepatan orifis 18 arah jarum jam 8 dan 4

Pada gambar di atas menggambarkan bahwa kecepatan aliran udara keluar orifice terjadi cukup merata pada jarum jam 4 dan jarum jam 8. Posisi alat ukur ditempatkan *centerline* dari lubang orifice. Pada 1875 rpm ini, jarak dari *centerline* orifice 50 mm ini menunjukkan bahwa kecepatan tertinggi mencapai 20 m/s baik pada arah jarum jam 8, sedangkan jarum jam 4 kecepatan tertinggi pada puncak profil sebesar 18 m/s. Hal ini bisa saja terjadi karena posisi sudut pitot tube tidak tegak lurus arah semburan udara. Sedangkan kecepatan terendah pada jarak 200 mm yaitu sekitar 1 m/s dengan jarak terjauh 60 mm arah kanan. Titik puncak profil

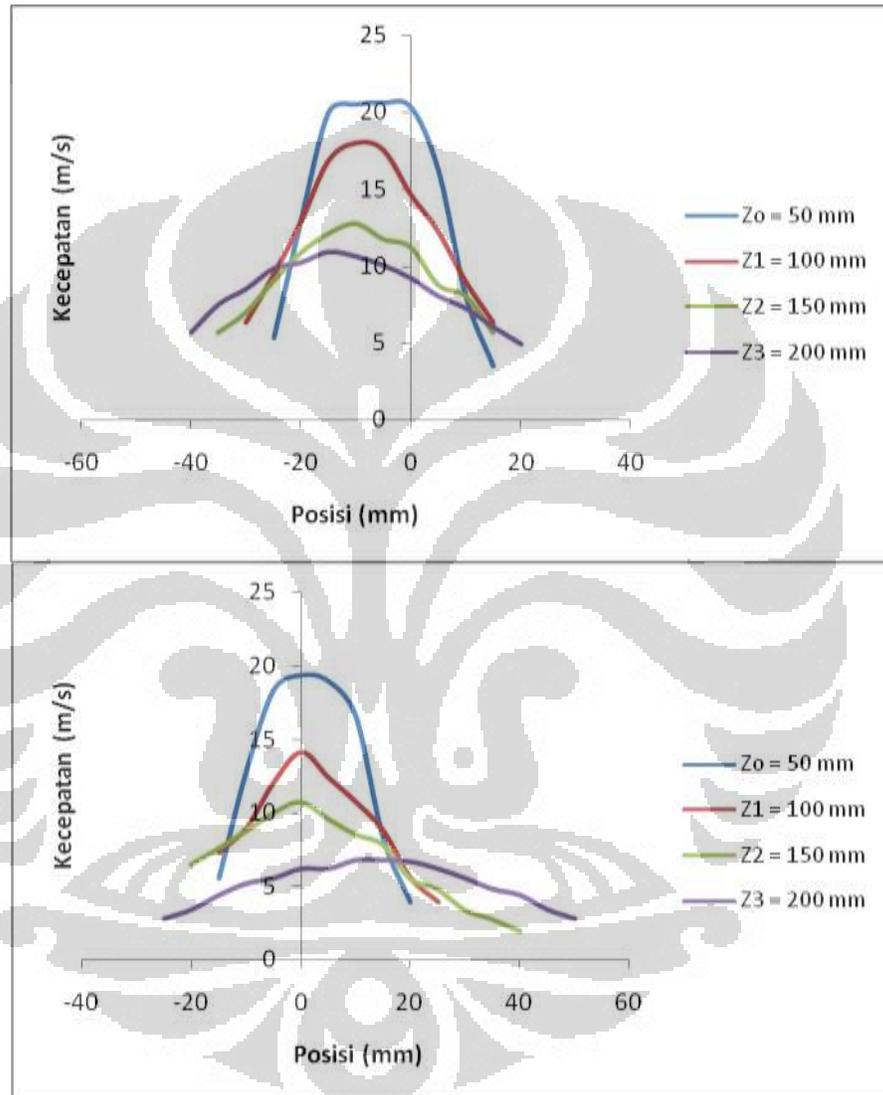
aliran menggambarkan ke arah kiri pada jarum jam 8 dan ke arah kanan pada jarum jam 4.



Gambar 4.4 Profil kecepatan orifis 29 arah jarum jam 8 dan 4

Pada gambar 4.4 menerangkan bahwa kecepatan aliran udara keluar orifice terjadi cukup merata pada jarum jam 4 dan jarum jam 8. Posisi alat ukur ditempatkan *centerline* dari lubang orifice. Pada 1875 rpm ini, jarak dari *centerline* orifice 50 mm ini menunjukkan bahwa kecepatan tertinggi mencapai 14 m/s baik pada arah jarum jam 4 dan jam 8. Sedangkan kecepatan terendah pada jarak 200 mm yaitu sekitar 3

m/s dengan jarak terjauh 50 mm arah kiri. Titik puncak profil aliran hampir tepat berada di tengah-tengah *centerline* orifice.



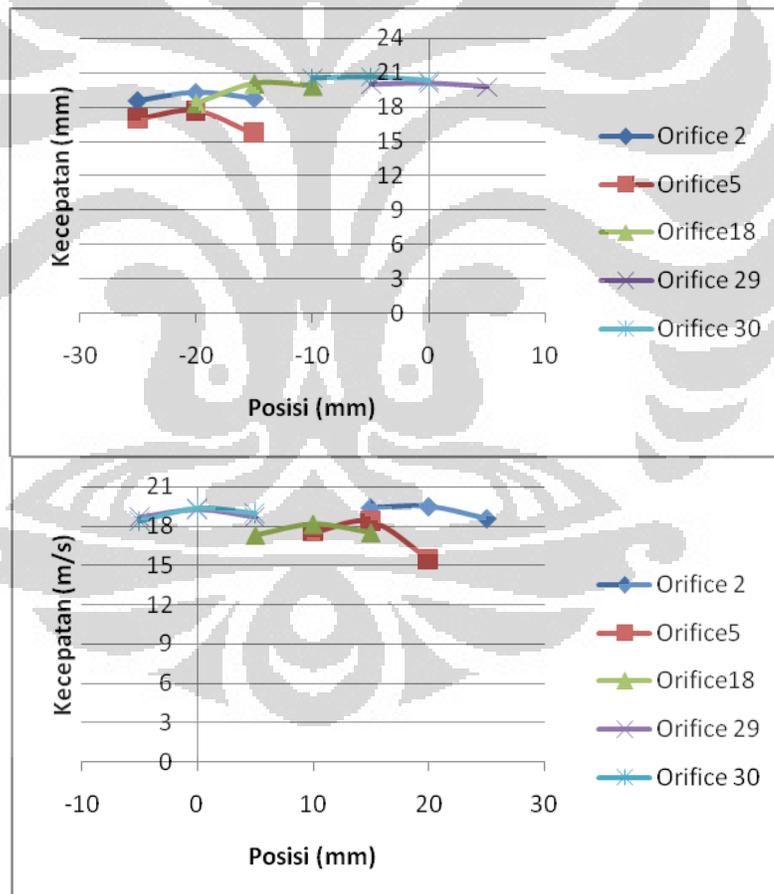
Gambar 4.5 Profil kecepatan orifis 30 arah jarum jam 8 dan 4

Pada gambar 4.5 menerangkan bahwa kecepatan aliran udara keluar orifice terjadi cukup merata pada jarum jam 4 dan jarum jam 8. Posisi alat ukur ditempatkan *centerline* dari lubang orifice. Pada 1875 rpm ini, jarak dari *centerline* orifice 50 mm ini menunjukkan bahwa kecepatan tertinggi mencapai 14 m/s baik pada arah jarum

jam 4 dan jam 8. Sedangkan kecepatan terendah pada jarak 200 mm yaitu sekitar 2 m/s dengan jarak terjauh 50 mm arah kanan. Titik puncak profil aliran hampir tepat berada di tengah-tengah *centerline* orifice.

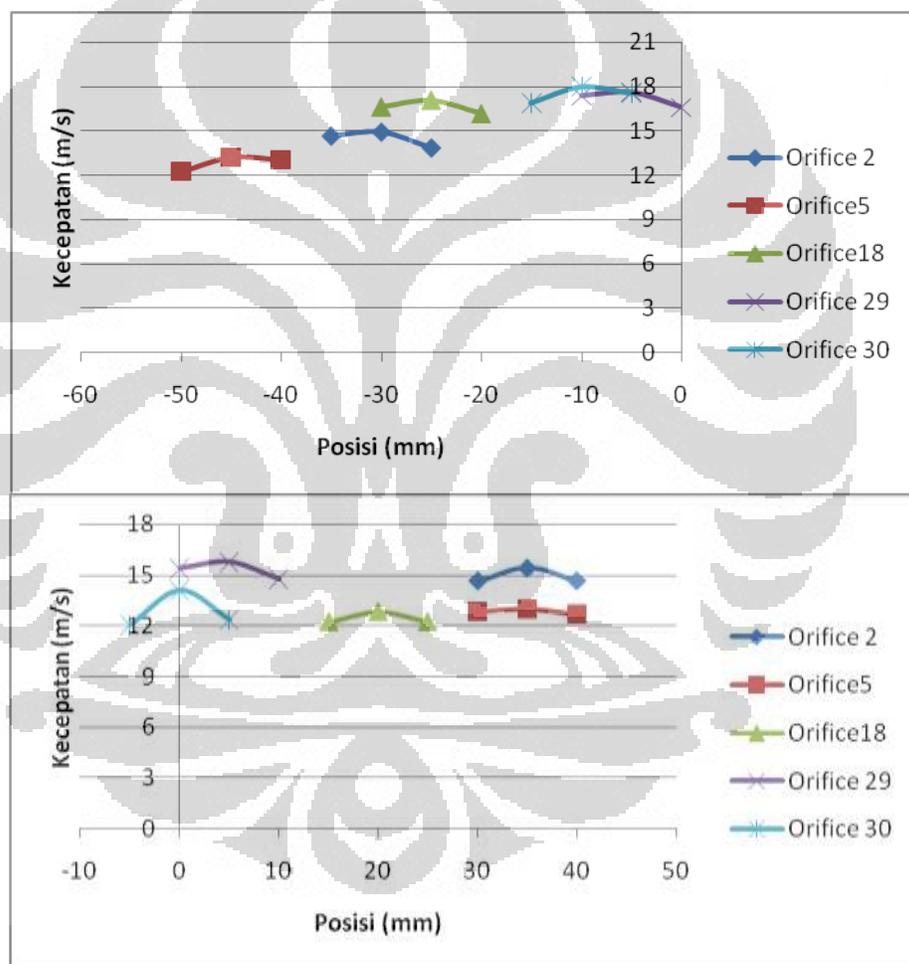
4.1.2 Penggabungan Kecepatan Tiap Orifice Arah Jarum Jam 8 dan 4

Penggabungan kecepatan pada tiap orifis dimaksudkan untuk membandingkan besarnya nilai kecepatan pada tiap orifis dengan jarak yang berbeda. Pada profil ini, dipilih tiga titik puncak profil kecepatan untuk menggambarkan bahwa letak orifis sangat mempengaruhi posisi letak profil terhadap *centerline* orifis, hal ini didapat dari grafik-grafik yang dihasilkan.



Gambar 4.6 Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 50 mm

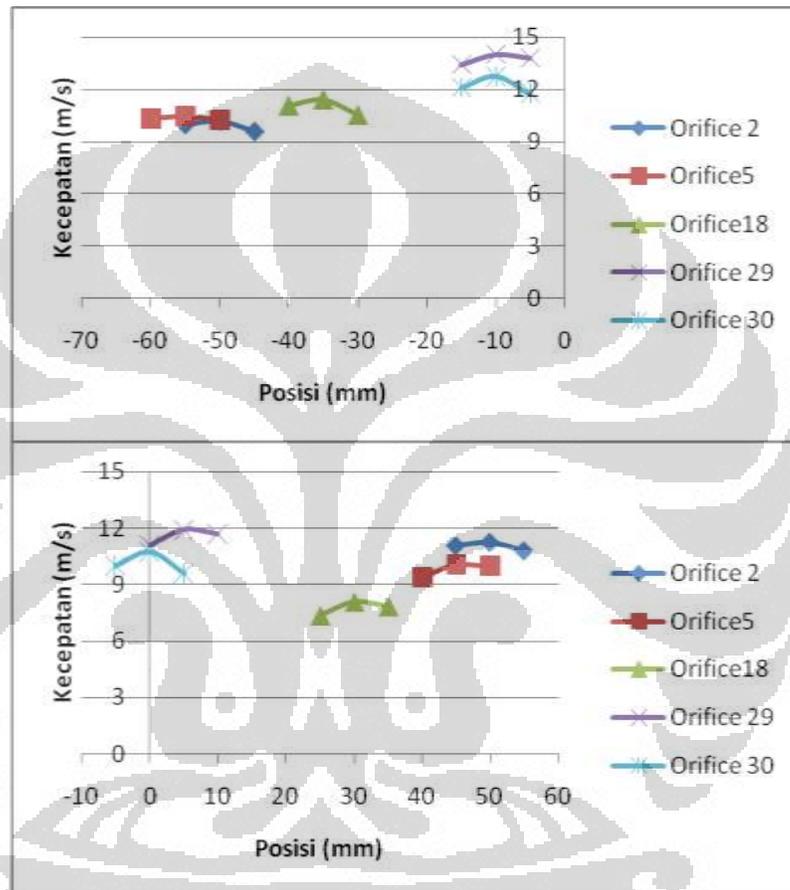
Dari gambar 4.6 menerangkan bahwa profil kecepatan tiap orifis pada jarak 50 mm dari *centerline* orifis hampir sama. Terutama pada puncak profil pada tiap-tiap orifis. Hal ini menggambarkan bahwa laju aliran di tiap orifis hampir sama. Kalaupun ada sedikit perbedaan salah satu faktornya adalah posisi sudut pitot tube yang berbeda-beda pada arah semburan udara keluar pada tiap-tiap orifis. Nilai rata-rata puncak aliran pada tiap orifis yaitu sebesar 18.9 m/s pada jarum jam 4 dan 19.5 m/s pada arah jarum jam 8.



Gambar 4.7 Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 100 mm

Dari gambar 4.7 menggambarkan bahwa profil kecepatan tiap orifis pada jarak 100 mm dari *centerline* orifis hampir sama. Terutama pada puncak profil pada

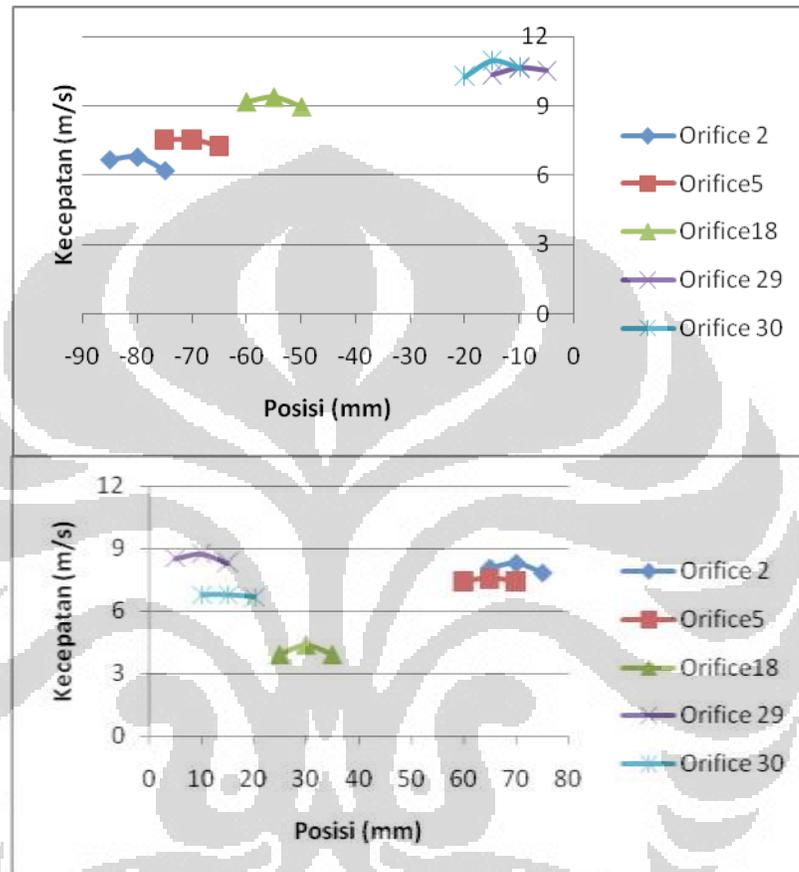
tiap-tiap orifis. Hal ini menggambarkan bahwa laju aliran di tiap orifis hampir sama. Kalaupun ada sedikit perbedaan salah satu faktornya adalah posisi sudut pitot tube yang berbeda-beda pada arah semburan udara keluar pada tiap-tiap orifis. Nilai rata-rata puncak aliran pada tiap orifis yaitu sebesar 14.4 m/s pada jarum jam 4 dan 16.2 m/s pada arah jarum jam 8.



Gambar 4.8 Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 150 mm

Dari gambar 4.8 menggambarkan bahwa profil kecepatan tiap orifis pada jarak 150 mm dari *centerline* orifis hampir sama. Terutama pada puncak profil pada tiap-tiap orifis. Hal ini menggambarkan bahwa laju aliran di tiap orifis hampir sama. Kalaupun ada sedikit perbedaan salah satu faktornya adalah posisi sudut pitot tube yang berbeda-beda pada arah semburan udara keluar pada tiap-tiap orifis. Nilai rata-

rata puncak aliran pada tiap orifis yaitu sebesar 10.4 m/s pada jarum jam 4 dan 11.75 m/s pada arah jarum jam 8



Gambar 4.9 Profil penggabungan kecepatan orifis pada jarak 200 mm

Dari gambar 4.9 menggambarkan bahwa profil kecepatan tiap orifis pada jarak 200 mm dari *centerline* orifis hampir sama. Terutama pada puncak profil pada tiap-tiap orifice. Hal ini menggambarkan bahwa laju aliran di tiap orifis hampir sama. Kalaupun ada sedikit perbedaan salah satu faktornya adalah posisi sudut pitot tube yang berbeda-beda pada arah semburan udara keluar pada tiap-tiap orifis. Nilai rata-rata puncak aliran pada tiap orifis yaitu sebesar 7.2 m/s pada jarum jam 4 dan 9.1 m/s pada arah jarum jam 8.

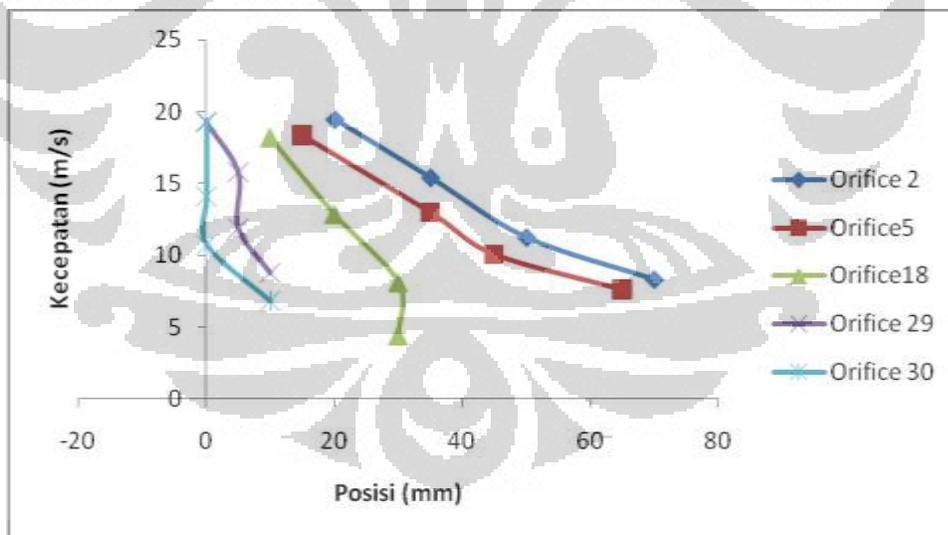
4.2 Analisa Data

4.2.1 Nilai dan Arah Kecepatan Udara Pada Tiap Orifice Arah Jam 4

Profil kecepatan aliran yang didapatkan, kemudian kita gabungkan untuk mengetahui posisi kemiringan laju aliran udara pada masing-masing orifis. Hal ini menggambarkan bahwa letak orifis mempengaruhi arah aliran dari *centerline* orifis. Pada tabel 4.1 memperlihatkan nilai kecepatan terbesar dari posisi alat ukur dari orifis.

Tabel 4.1 Kecepatan terbesar aliran udara dari orifis arah jam 4

Jarak centerline (Z)	Orifice 2		Orifice5		Orifice18		Orifice 29		Orifice 30	
	Jarak (mm)	V (m/s)								
50	20	19.5	15	18.4	10	18.2	0	19	0	19.4
100	35	15.4	35	13	20	12.8	5	16	0	14.1
150	50	11.3	45	10.1	30	8.1	5	12	0	10.7
200	70	8.3	65	7.6	30	4.4	10	8.8	10	6.8



Gambar 4.10 Perbandingan arah kecepatan tiap orifis arah jam 4

Dari gambar 4.10 membuktikan bahwa aliran udara keluar orifis memiliki perbedaan pada masing-masing orifis. Hal ini dikarenakan letaknya yang berbeda. Pada orifis 2 dan 5 memiliki arah semburan cukup jauh dari *centerline* orifis. Hal ini

terjadi karena letak orifis 2 dan 5 sangat dekat dengan aliran udara yang melalui *flow straightener*, sehingga udara yang akan mengalir ke *textile ducting* langsung keluar orifis 2 dan 5 tanpa adanya pantulan dari ujung ducting yang jaraknya cukup jauh. Pada orifis 2 titik tertinggi kecepatan terdapat pada jarak ke kanan 20 mm dari *centerline* orifis yaitu sebesar 19.5 m/s. Sedangkan pada orifis 5 titik tertinggi kecepatan terdapat pada jarak ke kanan 15 mm dari *centerline* orifis yaitu sebesar 18.4 m/s. Sedangkan pada orifis 18 titik tertinggi kecepatan aliran terdapat pada jarak ke kanan 10 mm dari *centerline* orifis yaitu sebesar 18.2 m/s. Pada orifis 29 dan 30 titik tertinggi kecepatan tepat berada di *centerline* orifis yaitu sebesar 19.3 m/s dan 19.4 m/s. Hal ini terjadi karena pada ujung ducting terjadi pantulan aliran udara sehingga terjadi tumbukan antara aliran udara yang datang dengan aliran udara pantulan. Berikut ini adalah arah sudut aliran udara keluar orifis pada jarak 50 mm di tiap puncak kecepatan tertinggi pada jarak tersebut

Tabel 4.2 Perbandingan arah laju aliran udara pada kecepatan tertinggi dan terendah arah jam 4

Kecepatan Tertinggi ($Z_0=50\text{mm}$)				Kecepatan Tertinggi ($Z_3=200\text{mm}$)			
Orifice	Z_0	Jarak	sudut	Orifice	Z_3	Jarak	sudut
2	50	20	21,8	2	200	70	19.3
5	50	15	16.7	5	200	65	18
18	50	10	11,3	18	200	30	8.5
29	50	0	0	29	200	10	2.9
30	50	0	0	30	200	10	2.9

Pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa sudut aliran pada tiap puncak kecepatan pada jarak 50 mm dan 200 mm dari *centerline* orifis. Pada hasil di atas menunjukkan sudut arah aliran udara keluar orifis tidak jauh berbeda, baik pada jarak 50 mm dan 200 mm terutama pada orifis 2, 5, dan 18. Sedangkan pada orifis 29 dan 30 menunjukkan adanya perbedaan sudut cukup jauh. Hal ini terjadi karena

keterbatasan kepresisian sudut alat ukur *pitot tube transverse apparatus*. Pada saat mundur bisa saja terjadi perubahan sudut terhadap aliran udara keluar orifis.

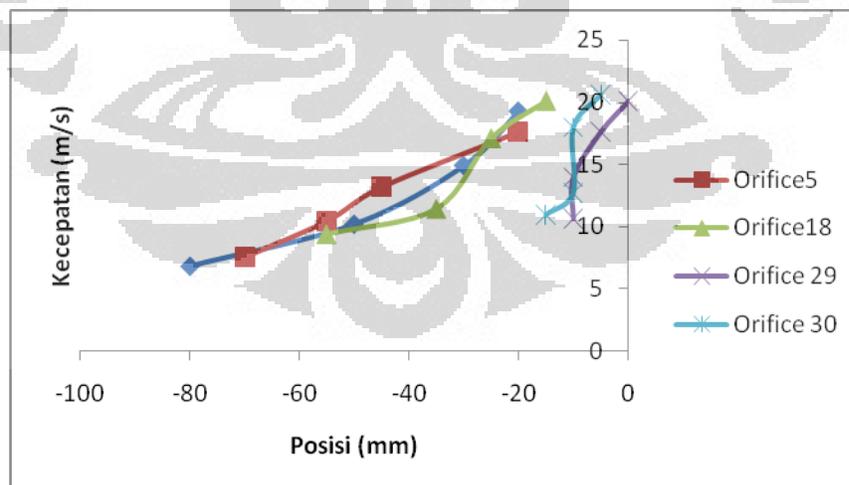
4.2.2 Nilai dan Arah Kecepatan Udara Pada Tiap Orifice Arah Jam 8

Profil kecepatan aliran yang didapat, kemudian digabungkan untuk mengetahui posisi kemiringan laju aliran udara pada masing-masing orifis. Hal ini menggambarkan bahwa letak orifis mempengaruhi arah aliran dari *centerline* orifis..

Tabel 4.3 Kecepatan terbesar aliran udara dari orifis arah jam 8

Jarak centerline (mm)	Orifice 2		Orifice5		Orifice18		Orifice 29		Orifice 30	
	Jarak (mm)	V (m/s)								
50	-20	19.3	-20	17.7	-15	20.1	0	20.1	-5	20.6
100	-30	14.9	-45	13.2	-25	17.1	-5	17.6	-10	18
150	-50	10.2	-55	10.5	-35	11.4	-10	14	-10	12.7
200	-80	6.78	-70	7.53	-55	9.39	-10	10.7	-15	10.9

Pada tabel 4.3 memperlihatkan nilai kecepatan terbesar dari posisi alat ukur dari orifis. Tanda jarak minus (-) menunjukkan arah pergerakan ke kiri dari *centerline* orifis.



Gambar 4.11 Perbandingan arah kecepatan udara tiap orifis arah jam 8

Gambar 4.11 membuktikan bahwa aliran udara keluar orifis memiliki perbedaan pada masing-masing orifis arah jarum 8. Hal ini dikarenakan letaknya yang berbeda-beda dari masing-masing orifis. Pada orifis 2 dan 5 memiliki arah semburan cukup jauh dari *centerline* orifis. Hal ini terjadi karena letak orifis 2 dan 5 sangat dekat dengan aliran udara yang melalui *flow straightener*, sehingga udara yang akan mengalir ke *textile ducting* langsung keluar orifis 2 dan 5 tanpa adanya pantulan dari ujung ducting yang jaraknya cukup jauh. Pada orifis 2 titik tertinggi kecepatan terdapat pada jarak ke kanan -20 mm dari *centerline* orifis yaitu sebesar 19.3 m/s. Sedangkan pada orifis 5 titik tertinggi kecepatan terdapat pada jarak ke kanan -20 mm dari *centerline* orifis yaitu sebesar 19.7 m/s. Sedangkan pada orifis 18 titik tertinggi kecepatan aliran terdapat pada jarak ke kanan -15 mm dari *centerline* orifis yaitu sebesar 20.1 m/s. Pada orifis 29 dan 30 titik tertinggi kecepatan berada pada jarak 0 cm dan -5 cm di *centerline* orifis yaitu sebesar 20.1 m/s dan 20.6 m/s. Hal ini terjadi karena pada ujung ducting terjadi pantulan aliran udara pada ujung ducting sehingga terjadi tumbukan antara aliran udara yang datang dengan aliran udara pantulan. Berikut ini adalah arah sudut aliran udara keluar orifis pada jarak 50 mm di tiap puncak kecepatan tertinggi pada jarak tersebut

Tabel 4.4 Perbandingan arah laju aliran udara pada kecepatan tertinggi dan terendah arah jam 8

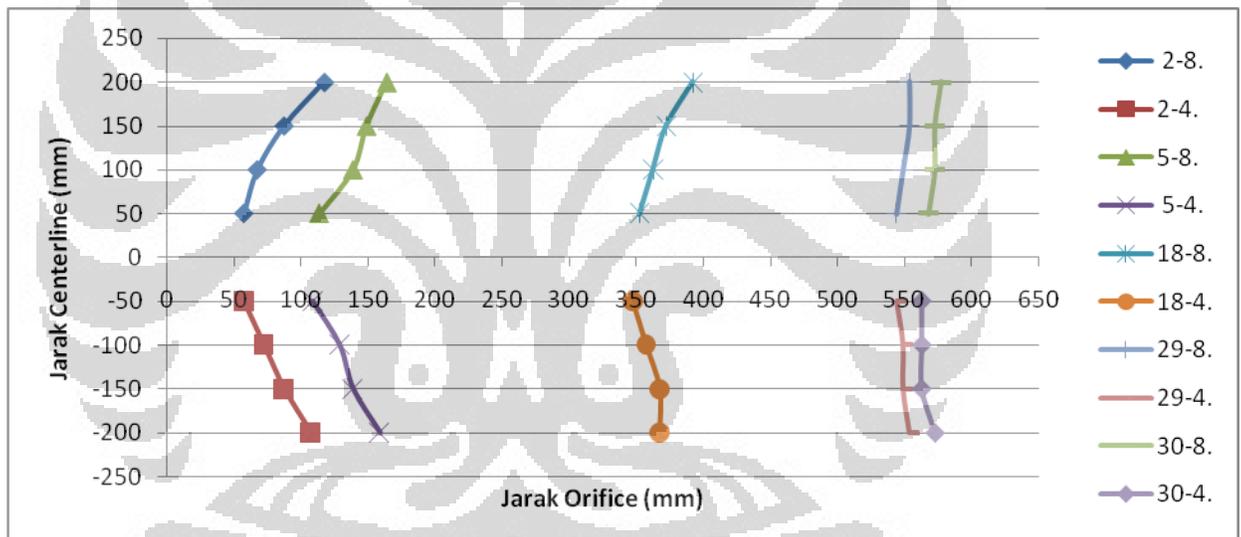
Kecepatan Tertinggi				Kecepatan Terendah			
Orifice	Zo	Jarak	sudut	Orifice	Zo	Jarak	sudut
2	50	-20	21.8	2	200	-80	21.8
5	50	-20	21.8	5	200	-70	19.3
18	50	-15	16.7	18	200	-55	15.4
29	50	0	0	29	200	-10	2.8
30	50	-5	5.7	30	200	-15	4.2

Pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa arah semburan aliran udara hampir sama pada titik jarak kecepatan tertinggi dan terendah yaitu pada orifis 2, 5 dan 18.

Sedangkan pada orifis 29 dan 30 menunjukkan adanya perbedaan sudut pada arah laju aliran udara kecepatan tertinggi dan terendah. Hal ini terjadi karena keterbatasan kpresisian sudut alat ukur *pitot tube transverse apparatus*. Pada saat mundur bisa saja terjadi perubahan sudut terhadap aliran udara keluar orifis.

4.2.3 Profil Aliran Udara Keluar Orifis

Pada profil masing-masing orifis telah dibahas dan digambarkan. Diketahui bahwa profil kecepatan udara keluar memiliki karakteristik yang berbeda. Hal ini didasarkan karena letak atau jarak orifice dari *inlet airflow textile ducting*. Semakin dekat jarak orifis dengan *inlet airflow textile ducting*, maka profil keluar udara akan semakin miring (*off-set*).



Gambar 4.12 Profil aliran udara keluar orifis

Pada gambar 4.12 memperlihatkan bahwa orifis 2 baik arah jarum 4 dan 8, puncak profil (kecepatan tertinggi) pada jarak 50 mm dari *centerline* orifis mempunyai jarak 23.75 cm dari *inlet airflow textile ducting*, maka kemiringan aliran sekitar $21,8^{\circ}$. Sedangkan pada orifis 5, puncak profil pada jarak 50 mm dari *centerline* orifis menunjukkan jarak 108,75 cm arah jarum jam 4 dan 113,75 cm arah jarum jam 8. Sehingga sudut kemiringan $16,7^{\circ}$ untuk arah jarum jam 4 dan $21,8^{\circ}$ untuk arah jarum jam 8. Untuk orifis 18, puncak profil pada jarak 50 mm dari

centerline orifis mempunyai jarak 352.5 cm pada arah jam 8 dan 347.5 cm pada arah jam 4. Besarnya sudut tersebut yaitu 16.7° pada arah jam 8 dan 11.3° pada arah jam 4. Untuk orifis 29 dan 30 puncak profil pada jarak 50 mm dari *centerline* hampir sama arahnya. Pada orifis 29 arah jam 8 dan jam 4 tidak terjadi sudut, sedangkan pada orifis 30 pada arah jam 4 tidak memiliki sudut kemiringan, hanya pada arah jam 4 terjadi sudut kemiringan cukup kecil yaitu 5.7° . Pada orifis 2 dan 5, arah semburan tidak radial terhadap orifis, dengan sudut kemiringan cukup besar, hal ini disebabkan momentum aliran udara pada saat bagian awal ducting masih besar dibandingkan bagian tengah dan akhir ducting, besarnya momentum makin berkurang. Jika yang diinginkan arah semburan udara sama pada tiap orifis, maka yang harus dilakukan adalah menambah besarnya nilai rpm dari standar rpm textile ducting yaitu 1500-2000fpm (standar DuctSox) atau 1380-1875 rpm. Karena apabila nilai rpm makin besar, maka akan ada *back pressure* dari ujung ducting yang tertutup. Namun, apabila hal ini dilakukan akan merusak material tekstil tersebut.

Dari penjabaran sebelumnya besarnya nilai kecepatan dan kemiringan pada arah jam 4 dan jam 8 menunjukkan perbedaan tidak jauh bahkan boleh dikatakan sama. Kalaupun ada sedikit perbedaan hanya dikarenakan beberapa faktor hal antara lain yaitu posisi awal *pitot tube* saat mengukur bisa saja tidak *centerline* orifis, pergeseran kanan dan kiri yang tidak presisi, ketidak stabilan putaran mesin, dan posisi ujung *pitot tube* yang berbeda sudut pada saat awal mengukur profil kecepatan keluar orifis.

BAB 5

KESIMPULAN

Pada pengukuran profil kecepatan aliran udara keluar orifis, pengambilan data hanya dilakukan pada beberapa titik atau beberapa orifis, yaitu orifis 2 dan 5 (jarak terdekat dari *inlet airflow textile ducting*), orifis 18 (jarak tengah dari *inlet air flow textile ducting*), orifis 29 dan 30 (bagian akhir/ujung dari *textile ducting*). Sedangkan desain letak orifis pada arah jam 4 dan 8 didasarkan untuk menyalurkan udara dingin ke dalam ruangan secara merata dan juga karena desain jenis aliran *textile ducting* yang bersifat *high throw*. Dari hasil kecepatan yang didapatkan, besarnya nilai kecepatan hampir seragam atau sama di tiap titik orifice baik arah jarum jam 4 dan jarum jam 8, karena posisi jam 4 dan jam 8 memiliki arah keluaran udara sama pada tiap orifis. Pada jarak pengukuran dari sumbu z atau *centerline* orifis didapatkan nilai rata-rata tiap orifis 18.9 m/s (arah jam 4) dan 19.5 m/s (arah jam 8) untuk jarak 50 mm. Pada jarak 100 mm nilai rata-rata tiap orifis yaitu 14.4 m/s (arah jam 4) dan 16.2 m/s (arah jam 8). Pada jarak 150 mm nilai rata-ratanya yaitu 10.4 m/s (arah jam 4) dan 11.75 m/s (arah jam 8). Pada jarak 200 mm nilai rata-ratanya yaitu 7.2 m/s (arah jam 4) dan 9.1 m/s (arah jam 8). Dari hasil ini, nilai rata-rata kecepatan orifis arah jam 8 lebih besar dikarenakan posisi pemasangan *textile ducting*, orifis arah jam 4 dan jam 8 memiliki sudut atau arah tidak sama persis. Maka pada saat pengukuran kecepatan dengan *pitot tube* sudut arah semburan mengalami perbedaan walaupun tetap sejajar *centerline* orifis.

Arah aliran keluar udara orifis pada jam 4 ke arah kanan pengamat dan jam 8 ke arah kiri pengamat. Kemudian didapatkan arah aliran udara *textile ducting* dari hasil yang didapatkan tidak *centerline* orifice. Tetapi memiliki kemiringan tersendiri. Arah aliran yang memiliki kemiringan pada jarak terdekat dengan *inlet airflow textile ducting*. Pada orifis 2 arah kemiringan cukup besar dari *centerline* orifis yaitu sekitar 21.8 derajat pada jarak 23.75 cm (dari *inle airflow textile ducting*) pada jarak dari *centerline* orifis (jarak sumbu z) yaitu 50 mm, baik pada arah jam 4 atau jam 8.

Pada orifis 5, arah kemiringan titik puncak profil hampir sama pada orifis 2 yaitu 21.8 derajat (arah jam 8) dan 16.7 derajat (arah jam 4) dengan jarak 50 mm dari orifis. Pada orifis 18 kemiringan titik puncak profil mendekati *centerline* orifis dengan sudut 11.3 derajat (arah jam 4) dan 16.7 derajat (arah jam 8). Sedangkan pada orifice 29 arah profil kecepatan udara titik puncaknya berada tepat di *centerline* orifis (baik arah jam 4 dan 8). Pada orifis 30 arah profil kecepatan udara titik puncaknya tepat di *centerline* orifis untuk arah jam 4 dan 5,7 derajat arah jam 8. Jadi jarak orifis dari *inlet airflow textile ducting* sangat mempengaruhi arah aliran. Semakin dekat jarak orifis dengan *inlet airflow textile ducting* maka aliran udara keluar semakin tidak radial terhadap orifis.



DAFTAR REFERENSI

- Bruce R. Munson, Donald F. Young, and Theodore H. Okiishi. Fundamentals of Fluid Mechanics. Wiley, New York, third edition, 2002.
- DuctSox. *Engineering and Design Manual*. Indiana: DuctSox Corp., 2008.
- Instruction Manual for Airflow Demonstration Apparatus*, Model AFD-240GTAE, Ogawa Seiki.
- American Society for Testing and Material. *ASTM D737-04: Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics*. ASTM, 2008.
- Hanjalic, K. Turbulence and Transport Phenomena, Modelling and Simulation, TU Darmstadt, Germany, 2005.
- SNI 03-6390-2000, Konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung.
- SNI 3409 : 2008, Tata cara pengukuran kecepatan aliran pada uji model hidraulik fisik dengan tabung pitot.
- <http://me.queensu.ca/courses/MECH441/losses.htm> . *Losses in Piping*. 24 April 2009

LAMPIRAN

