

TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI  $90^\circ$  SQUARE  
ELBOW DENGAN *DISTURBANCE BODY* BERUPA  
*AIRFOIL* PADA SUDUT SERANG ( $\alpha$ ) =  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $10^\circ$**

INTAN PUTRI BUANA PRIASTITI  
NRP 0211144000012

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TM141585

**STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI 90° *SQUARE ELBOW* DENGAN *DISTURBANCE BODY* BERUPA *AIRFOIL* PADA SUDUT SERANG ( $\alpha$ ) = 0°, 5°, dan 10°**

INTAN PUTRI BUANA PRIASTITI  
NRP. 0211144000012

Dosen Pembimbing:  
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng., Ph.D

PROGRAM SARJANA  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT – TM141585

**EKSPERIMENTAL INVESTIGATION OF FLOW THROUGH 90° SQUARE ELBOW WITH AIRFOIL DISTURBANCE BODY AT ANGLE OF ATTACK ( $\alpha$ ) = 0°, 5°, and 10°**

INTAN PUTRI BUANA PRIASTITI  
NRP. 0211144000012

Advisory Lecturer  
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng., Ph.D

BACHELOR PROGRAM  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2018

**STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI 90°  
SQUARE ELBOW DENGAN DISTURBANCE BODY  
BERUPA AIRFOIL PADA SUDUT SERANG ( $\alpha$ ) = 0°,  
5°, dan 10°**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Intan Putri Buana Priastiti**

**NRP. 0211144000012**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D (Pembimbing)  
NIP. 196412281990031002
2. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T, M.T. (Penguji I)  
NIP. 197104051997021001
3. Vivien Suphandani, S.T, M.Eng, Ph.D (Penguji II)  
NIP. 198105292003122001
4. Dr. Ir. Heru Mirmanto (Penguji III)  
NIP. 196202161995121001

**SURABAYA**

**JULI, 2018**

**Studi Eksperimen Aliran melalui 90° Square Elbow  
dengan *Disturbance Body* berupa *Airfoil* pada Sudut  
Serang ( $\alpha$ ) = 0°, 5°, dan 10°**

**Nama Mahasiswa** : Intan Putri Buana Priastiti  
**NRP** : 0211144000012  
**Departemen** : Teknik Mesin FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.d.

**ABSTRAK**

Instalasi perpipaan dibentuk dari saluran lurus dan berbentuk *fitting* seperti *elbow* 90°. Pemasangan *elbow* digunakan untuk membelokkan arah aliran *fluida* sesuai yang dibutuhkan, namun memiliki dampak lain yaitu memiliki *pressure drop* yang lebih tinggi dari pada saluran lurus dengan kecepatan *freestream* yang sama. *Pressure drop* muncul akibat adanya *friction loss*, dan *secondary flow* yang terjadi setelah aliran melewati *fitting* tersebut. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penambahan *disturbance body* pada area *inlet* atau *upstream* dapat menurunkan nilai *pressure drop*.

Penelitian kali ini dilakukan secara eksperimen dengan instalasi *square duct* dengan diameter hidrolis ( $D_h$ ) = 125 mm yang terdiri dari : *upstream straight duct* dengan panjang  $7D_h$ , *square elbow* 90° dengan *curvature ratio* ( $R_c$ ) = 2 dan *downstream straight duct* dengan Panjang  $16D_h$ . Pada area *upstream duct* terdapat *airfoil disturbance body* (ADB) tipe simetri airfoil NACA 0024 dengan *chord line* 30 mm pada posisi tetap yaitu jarak ADB sebesar  $0,3 D_h$  dari *inlet elbow* serta *gap* sebesar 7 mm dari *inner wall upstream duct* ke *chord line*, dan memiliki variasi *angle of attack* 0°, 5° dan 10°. Penelitian ini dilakukan dengan  $Re$  sebesar  $6,36 \times 10^4$  untuk mendapatkan profil kecepatan sepanjang

*downstream duct* dan *pressure coefficient* pada *elbow 90°*, sedangkan untuk mendapatkan *pressure drop* antara sisi masuk dan sisi keluar saluran, serta *koefisien minor losses elbow 90°* pada  $Re$  sebesar  $2,38 \times 10^4 < Re < 10,3 \times 10^4$ .

Hasil penelitian ini diketahui bahwa penempatan *airfoil disturbance body (ADB)* pada saluran mengakibatkan nilai *koefisien minor losses elbow 90°* dan nilai *pressure drop* dari sisi masuk dan sisi keluar saluran lebih besar dari pada saluran tanpa *ADB*. Dimana pada saluran tanpa *ADB* memiliki nilai rata – rata  $K_L$  terkecil senilai 0,179 dan pada saluran dengan *ADB*  $\alpha = 10^\circ$  memiliki nilai rata – rata  $K_L$  terbesar senilai 0,22. Nilai *pressure coefficient* cenderung sama untuk setiap variasi, namun pada saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  yang memiliki nilai *pressure coefficient* lebih rendah dibandingkan variasi lainnya. Penambahan *ADB* pada bidang horizontal dan vertikal mengakibatkan profil kecepatan cenderung mengalami *backflow* yang cukup kuat dari pada saluran tanpa *ADB*. Hal ini disebabkan oleh *flow recirculation* dan aliran yang tersparasi pada *inner wall elbow* yang semakin besar, sehingga mengakibatkan aliran yang melalui *elbow* jadi terhambat.

**Kata kunci :** *pressure drop, elbow 90°, inlet disturbance body, airfoil, square duct.*

***Experimental Investigation of Flow Through 90° Square Elbow with Airfoil Disturbance Body at Angle of Attack ( $\alpha$ ) = 0°, 5°, and 10°***

**Name** : Intan Putri Buana Priastiti  
**NRP** : 0211144000012  
**Departement** : Teknik Mesin FTI – ITS  
**Advisor** : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.d.

**ABSTRACT**

*Piping installation consists of straight duct and fittings like elbow 90°. Elbow-fittings is used to deflecting direction of fluid flow appropriate as needed, however impacted at pressure drop greater than straight duct with the same velocity as freestream. Pressure drop result from friction loss, and secondary flow occur after flow through the fitting. From research that have been done before, disturbance body increasing at inlet area or upstream can reduce pressure drop.*

*This research according to experiment with square duct installation with hydraulic diameter ( $D_h$ ) = 125 mm consist of upstream straight duct with a  $7D_h$  length, square elbow 90° with curvature ratio ( $R_c$ ) = 2 and downstream straight duct with a  $16D_h$  length. Symmetry airfoil NACA 0024 types of a Airfoil disturbance body (ADB) in upstream duct with chord line 30 mm at fixed position is  $0,3D_h$  ADB distance from inlet elbow and 7 mm gap from inner wall upstream duct to chord line and variation angle of attack is 0°, 5° and 10°. This research use  $Re = 6,36 \times 10^4$  for measurement velocity profile through downstream duct and pressure coefficient for elbow 90°, then  $Re$  for measurement pressure drop between inlet and outlet ducting as well as koefisien minor losses elbow 90° can used  $2,38 \times 10^4 < Re < 10,3 \times 10^4$ .*

*Research result from this experiment known that addition of airfoil disturbance body (ADB) at ducting impacted coefficient minor losses elbow  $90^\circ$  and pressure drop between inlet and outlet ducting greater than ducting without ADB. Ducting without ADB have the lower of average  $K_L$  is 0,179 and the highest of average  $K_L$  is 0,22 at ducting with ADB  $\alpha = 10^\circ$ . The value of pressure coefficient tended to constant for each variation, but pressure coefficient of addition ADB at ducting with angle of attack  $10^\circ$  lower than other variation. The addition ADB impacted the horizontal and vertical velocity profile tended to backflow occur strong enough than ducting without ADB. In this case reasoned by flow recirculation and the sparation flow at inner wall elbow ever greater, until blocked flow through elbow.*

***Keyword : pressure drop, elbow  $90^\circ$ , inlet disturbance body, airfoil, square duct.***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, atas rahmat dan hidayah Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berjudul “**Studi Eksperimen Aliran melalui 90° Square Elbow dengan Disturbance Body berupa Airfoil pada Sudut Serang ( $\alpha$ ) = 0°, 5°, dan 10°**” untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak dorongan dan bantuan yang telah didapatkan penulis selama penyusunan Tugas Akhir. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Bapak Supriyanto dan Ibu Karyati yang senantiasa mendoakan, dan mendorong penulis selama proses penyelesaian tugas akhir.
3. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulis hingga Tugas Akhir ini selesai.
4. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT., Vivien Suphandani, ST, M.Eng, PhD. dan Dr. Ir. Heru Mirmanto selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik tentang tugas akhir ini.
5. Segenap dosen Departemen Teknik Mesin FTI ITS, atas ilmu yang diberikan kepada penulis serta Bapak Sutrisno yang telah membantu membuatkan peralatan penelitian.
6. Seluruh teman-teman angkatan M57 dan teman-teman ITS yang senantiasa memberi motivasi dan mendoakan penulis selama proses pembuatan Tugas Akhir ini.

Semoga segala keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah. Apabila terdapat beberapa kesalahan, dan kekurangan pada tugas akhir ini, penulis menerima kritik dan saran dari berbagai pihak. Semoga hasil penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak

Surabaya, Juli 2018

**Penulis**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. <i>Fully Developed Flow</i> .....	7
2.2. Karakteristik aliran di dalam <i>elbow</i> 90°.....	8
2.3. <i>Secondary Flow</i> .....	9
2.4. <i>Flow Separation</i> .....	10
2.5. Pressure drop on pipe or duct .....	11
2.6. <i>Loss Coefficient</i> .....	11
2.7. <i>Pressure Coefficient (Cp)</i> .....	13
2.8. <i>Reynolds number</i> .....	14
2.9. Karakteristik Aliran melalui <i>Rectangular duct</i> .....	14
2.10. <i>Airfoil Louver dan Flat Louver</i> .....	17
2.11. Pengaruh <i>Curvature Ratio</i> .....	19
2.12. <i>Inlet Disturbance Body</i> berbentuk silinder .....	20
2.13. <i>Square Disturbance Body</i> .....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1. Skema Penelitian .....	27
3.2. Peralatan Pendukung.....	29
3.2.1 <i>Square Ducting</i> .....	29

3.2.2	<i>Centrifugal Fan</i> .....	29
3.2.3	<i>Honey Comb, Screen dan Nozzle</i> .....	30
3.2.4	<i>Airfoil Disturbance Body</i> .....	31
3.2.5	Alat Ukur.....	31
3.3.	Analisa Dimensi Parameter - Parameter yang Dianalisa	34
3.3.1	Analisa Grup Tak Berdimensi untuk <i>Pressure Drop</i> pada <i>Square Ducting</i> .....	35
3.3.2	Analisa Grup Tak Berdimensi untuk kecepatan pada <i>Square Ducting</i> .....	37
3.4.	Langkah-Langkah Kalibrasi Tekanan Dinamis dan Tekanan Statis.....	37
3.5.	Prosedur Pengambilan Data.....	40
3.5.1	Pengambilan Data Kuantitatif.....	40
3.5.2	Pengolahan Data Kuantitatif.....	41
3.5.3	Hasil yang diperoleh.....	42
3.6	Langkah - Langkah Penelitian.....	43
3.7.	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	44
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1.	Koefisien <i>Minor Losses Elbow 90°</i> .....	47
4.2.	<i>Pressure Drop</i> sisi masuk dan sisi keluar saluran <i>Square Duct</i> dan <i>Square Elbow 90°</i> .....	53
4.3.	<i>Pressure Coefficient</i> pada dinding <i>Elbow 90°</i> .....	59
4.4.	Profil Kecepatan Aliran Bidang Horizontal dan Vertikal pada <i>Upstream Duct</i> .....	64
4.5.	Profil Kecepatan Aliran Bidang Horizontal dan Vertikal pada <i>Downstream Duct</i> .....	66
4.5.1	Profil Kecepatan Aliran Bidang Horizontal <i>Downstream Duct</i> .....	66
4.5.2	Profil Kecepatan Aliran Bidang Vertikal <i>Downstream Duct</i> .....	69
4.6.	Hubungan antara <i>Pressure Coefficient (Cp)</i> dan $K_L$ .....	73
BAB V	PENUTUP.....	77
5.1.	Kesimpulan Hasil Penelitian.....	77
5.2.	Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	.....	79
LAMPIRAN	.....	81

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Aliran <i>Fully Developed</i> (Munson dkk, 2002).....	7
Gambar 2. 2 Karakteristik aliran didalam <i>elbow</i> 90° serta nilai <i>coefficient losses</i> (Munson dkk, 2002).....	8
Gambar 2. 3 (a) Aliran ideal yang melintasi belokan (b) <i>Secondary Flow</i> (Miller, 1990).....	9
Gambar 2. 4 <i>Flow Separation</i> (Nakayama dan Boucher, 2000) .	10
Gambar 2. 5 a) Sekma pengambilan data pada test section, b) Mesh pada Volume dan c) Posisi pengukuran pressure (Rup dan Sarna, 2011) .....	15
Gambar 2. 6 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$ (Rup dan Sarna, 2011) .....	16
Gambar 2. 7 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi <i>inner</i> dan <i>outer wall elbow</i> hasil simulasi dan eksperimen (Rup dan Sarna, 2011) .....	16
Gambar 2. 8 <i>Velocity counters</i> pada <i>airfoil louvers</i> dengan sudut a) 25° b) 35° dan c) 45° ( Mohd Hafiz dkk, 2012) .....	18
Gambar 2. 9 <i>Velocity profile</i> dari <i>curvature ratio</i> 1 sampai 5 (Dutta dan Nandi, 2015).....	19
Gambar 2. 10 Skema instalasi penelitian dan gambar detail dari peletakkan <i>IDB</i> (Hardian, 2017).....	21
Gambar 2. 11 <i>Pressure drop</i> pada <i>square duct</i> dengan <i>square elbow</i> 90° (Hardian, 2017).....	21
Gambar 2. 12 <i>Koefisien loss elbow</i> 90° pada <i>square duct</i> dengan <i>square elbow</i> 90° (Hardian, 2017) .....	22
Gambar 2. 13 Skema instalasi penelitian dan gambar detail dari peletakkan <i>SDB</i> (Fauzi, 2017) .....	23
Gambar 2. 14 Grafik <i>pressure drop</i> pada <i>square duct</i> dengan <i>square elbow</i> 90° dengan variasi jarak peletakkan <i>square disturbance body</i> terhadap $Re$ $3,97 \times 10^4$ sampai $1,35 \times 10^5$ (Fauzi, 2017).....	24

Gambar 2. 15 Grafik <i>minor loss coefficient elbow</i> 90° dengan variasi jarak peletakan <i>square disturbance body</i> terhadap $Re$ $3,97 \times 10^4$ sampai $1,35 \times 10^5$ (Fauzi, 2017)	24
Gambar 3. 1 Skema instalasi penelitian dan peletakkan <i>ADB</i> pada posisi variasi <i>angle of attack</i> (a) 0°, (b) 5° dan (c) 10°	27
Gambar 3. 2 Model <i>ducting</i> untuk uji penelitian	28
Gambar 3. 3 <i>Centrifugal Fan</i>	30
Gambar 3. 4 <i>Honey Comb</i> dan <i>Nozzle</i>	30
Gambar 3. 5 Bentuk <i>ADB</i>	31
Gambar 3. 6 <i>Inclined Manometer</i>	33
Gambar 3. 7 Skema kalibrasi a) tekanan dinamis dan b) tekanan statis	39
Gambar 3. 8 Grafik hasil kalibrasi tekanan dinamis dan tekanan statis	40
Gambar 3. 9 <i>Flowchart</i> penelitian	45
Gambar 4. 1 Koefisien <i>minor losses elbow</i> 90° pada <i>Reynolds number</i> $2,38 \times 10^4$ sampai $10,3 \times 10^4$	50
Gambar 4. 2 <i>Pressure drop</i> sisi masuk dan sisi keluar saluran pada <i>Reynolds number</i> $2,38 \times 10^4$ sampai $10,3 \times 10^4$	55
Gambar 4. 3 <i>Pressure coefficient elbow</i> 90° pada <i>Reynolds number</i> $6,36 \times 10^4$ atau pada kecepatan 8 m/s	62
Gambar 4. 4 <i>Pressure coefficient upstream</i> dan <i>downstream duct</i> pada <i>Reynolds number</i> $6,36 \times 10^4$ atau pada kecepatan 8 m/s	63
Gambar 4. 5 Profil Kecepatan Aliran (a) Bidang Vertikal dan (b) Bidang Horizontal <i>Upstream Duct</i>	65
Gambar 4. 6 Profil kecepatan bidang horizontal untuk aliran (a) tanpa penambahan <i>ADB</i> , (b) penambahan <i>ADB</i> dengan <i>angle of attack</i> 0°, (c) penambahan <i>ADB</i> dengan <i>angle of attack</i> 5°, dan (d) penambahan <i>ADB</i> dengan <i>angle of attack</i> 10°	67
Gambar 4. 7 Profil kecepatan bidang vertikal untuk aliran (a) tanpa penambahan <i>ADB</i> , (b) penambahan <i>ADB</i> dengan	

*angle of attack*  $0^\circ$ , (c) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$ , dan (d) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  ..... 71

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Loss Coefficients</i> dari komponen pipa.....	12
Tabel 2. 2 Perbedaan tekanan pada titik $P_0$ , $P_i$ , $P_1$ , $P_2$ , $P_3$ , $P_4$ , $P_5$ , $P_6$ , $P_7$ , dan $P_8$ .....	17
Tabel 2. 3 Tekanan pada <i>airfoil louvers</i> .....	18
Tabel 2. 4 Tekanan pada <i>flat louvers</i> .....	18
Tabel 3. 1 Urutan Langkah Pengambilan Data .....	43
Tabel 4. 1 Koefisien <i>minor losses</i> .....	48
Tabel 4. 2 <i>Pressure drop</i> sisi masuk dan sisi keluar <i>duct</i> .....	53
Tabel 4. 3 <i>Pressure drop</i> pada area <i>upstream duct</i> .....	57
Tabel 4. 4 <i>Pressure drop</i> pada area <i>elbow</i> .....	57
Tabel 4. 5 <i>Pressure drop</i> pada area <i>downstream duct</i> .....	58

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR SIMBOL

$C_p$	: <i>Pressure Coefficient</i>
$K_L$	: koefisien <i>loss minor elbow 90°</i>
$V$	: nilai voltase dari pengukuran
$\Delta p$	: perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m <sup>2</sup> )
$\rho$	: massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )
$U_{re}$	: kecepatan <i>freestream</i> di <i>inlet upstream straight channel</i> (m/s)
$U$	: kecepatan local (m/s)
$\mu$	: viskositas absolut fluida (kg/(m.s))
$g$	: gap <i>ADB</i> dengan dinding <i>square duct</i>
$R_i$	: <i>inner radius elbow 90°</i> (m)
$R_o$	: <i>outer radius elbow 90°</i> (m)
$R_C$	: <i>centerline radius elbow 90°</i> (m)
$l_i$	: panjang total <i>inner</i> searah <i>streamline elbow 90°</i> (m)
$l_o$	: panjang <i>downstream straight channel</i> (m)
$L_i$	: panjang <i>upstream straight channel</i> (m)
$L_o$	: panjang <i>downstream straight channel</i> (m)
$D_h$	: diameter hidrolik saluran (m)
$Y$	: aliran searah sumbu koordinat $y$
$Z$	: aliran searah sumbu koordinat $z$
$X$	: aliran searah sumbu koordinat $x$
$l$	: jarak <i>ADB</i> dari sisi <i>inner elbow</i>
$\alpha$	: <i>angle of attack airfoil</i>
$c$	: panjang <i>chord line airfoil</i>
$y_o$	: batas awal manometer
$y_i$	: batas akhir manometer
$\Delta h$	: selisih ketinggian batas awal dan batas akhir manometer
$\Delta y$	: selisih perubahan kerosene dari batas awal dan akhir

$\emptyset$	:	kemiringan manometer V
$P_{atm}$	:	selang terbuka ke atmosfer
$P_{stat}$	:	selang terhubung dengan
$P_{dinamis}$	:	(Pstagnasi-Pstatis) tekanan dinamis diukur dengan pitot tube (N/m <sup>2</sup> )
$P_{kerosene}$	:	massa jenis kerosene pada 28°C (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_{udara}$	:	massa jenis udara pada 28°C (kg/m <sup>3</sup> )
$G$	:	percepatan gravitasi (m/s <sup>2</sup> )
$SG_{kerosene}$	:	<i>specific gravity kerosene</i> pada 28°C
$\rho_{H2O}$	:	massa jenis air pada 28°C (kg/m <sup>3</sup> )

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan perekonomian dan pembangunan dari tahun ke tahun semakin pesat. Kondisi tersebut dimanfaatkan oleh para pengusaha untuk membangun apartemen, mall, swalayan dll. Dengan kondisi suhu bumi yang saat ini semakin tinggi membuat suhu ruangan menjadi semakin meningkat. Kunci penting untuk mengatasi permasalahan seperti ini adalah proses pendinginan berupa penggunaan AC sentral, dimana AC ini membutuhkan saluran perpipaan *rectangular (ducting)* untuk mensirkulasi antara udara panas dan udara dingin. Penyaluran udara harus sesuai dengan tata letak setiap ruangan, sehingga instalasi perpipaan dapat sesuai dengan kebutuhan

Instalasi perpipaan dibentuk dari saluran lurus dan berbentuk *fitting* seperti *elbow 90°*. Pemasangan *elbow* digunakan untuk membelokkan arah aliran *fluida* sesuai yang dibutuhkan, namun memiliki dampak lain yaitu dari segi energi. Hal tersebut terjadi karena *elbow* selalu dikaitkan dengan *pressure drop* yang lebih tinggi dari pada saluran lurus dengan kecepatan *freestream* yang sama. *Pressure drop* muncul akibat adanya *friction loss*, dan *secondary flow* yang terjadi setelah aliran melewati *fitting* tersebut. Kondisi tersebut memungkinkan terjadinya aliran balik yang dapat menghambat laju aliran yang ada dibelakangnya sehingga memberikan beban besar pada instalasi pendukung, seperti fan. Kerugian tersebut menjadikan pemasangan *elbow* memiliki kebutuhan daya lebih besar dibandingkan tanpa *elbow*.

Beberapa upaya pendekatan dilakukan untuk mengamati perilaku aliran pada saluran *elbow*. **Hardian (2017)** mengkaji tentang penurunan *pressure drop* akibat pengaruh dari variasi jarak *inlet disturbance body (IDB)* berbentuk *circular* terhadap aliran melalui *square duct* dengan *elbow 90°*. Penelitian dilakukan dengan jarak *IDB*  $l = 0,1 - 0,5D_h$ . Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa *pressure drop* terendah pada *IDB*  $l = 0,1D_h$

dengan rata-rata persentase penurunan *pressure drop* sebesar 17,68% terhadap saluran tanpa *IDB* sedangkan *pressure drop* tertinggi pada *IDB*  $l= 0,5D_h$  terhadap saluran tanpa *IDB*. Dengan penambahan *IDB* pada daerah *upstream duct* berhasil mereduksi *pressure drop* jika dibandingkan dengan saluran tanpa *IDB*. Fenomena ini menjadi bukti bahwa penempatan *IDB* yang dikombinasikan dengan kelengkungan pada *elbow*  $90^\circ$  mampu memberikan pengaruh mereduksi *pressure drop* pada sepanjang *elbow*  $90^\circ$ . Hal itu disebabkan adanya intensitas turbulensi yang kuat dari *separated shear layer* pada *IDB* yang mengalami *re-attachment* pada *boundary layer* kelengkungan *elbow*  $90^\circ$  yang mampu untuk melawan *adverse pressure* dan mengurangi *blockage area*. Oleh karena itu, secara langsung akan memberikan pengaruh pada penurunan *pressure drop* pada *elbow*  $90^\circ$ .

**Mohd Hafiz (2012)** yang mengkaji tentang perbandingan *CFD* pada *airfoil* dan *flat louvers* pada *air duct intake*. Penelitian dilakukan pada variasi *angle of attack*  $25^\circ$ ,  $35^\circ$  dan  $45^\circ$ . Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat *angle of attack* maka *pressure drop* dan *velocity* semakin meningkat. Serta *pressure drop* terkecil terjadi pada *airfoil louvers* sebesar 65% dari *flat louvers* pada posisi *angle of attack*  $25^\circ$ .

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penambahan *disturbance body* pada area *inlet* atau *upstream* dapat menurunkan nilai *pressure drop*. Sehingga dapat diperkirakan dengan penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* pada posisi tetap di area *upstream* dengan variasi *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ , dapat meningkatkan momentum aliran, dan dapat mengurangi *pressure drop*. Penelitian tentang *ADB* kali ini dilakukan dengan tujuan memberikan informasi karakteristik aliran pada area *downstream ducting* dan *elbow*  $90^\circ$ .

## 1.2. Rumusan Masalah

Penyebab terjadinya *pressure drop* aliran di dalam *elbow*  $90^\circ$ , diantaranya disebabkan karena adanya *friction loss*, *separation* dan *secondary flow*. *Curvature ratio* kecil cenderung membuat aliran

pada *elbow*  $90^\circ$  mengalami sparasi. Upaya untuk mengurangi fenomena tersebut adalah dengan menambahkan *airfoil disturbance body* atau selanjutnya disebut sebagai *ADB*. *ADB* yang akan ditambahkan pada instalasi perpipaan pada penelitian ini adalah *airfoil* tipe NACA 0024. **Haci (2017)** mengkaji tentang perbedaan  $C_L$  dan  $C_D$  dari NACA 0008, NACA 0009, NACA 0010, NACA 0012, NACA 0015, NACA 0018, NACA 0021 dan NACA 0024. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin meningkatnya ketebalan relatif dari *airfoil* maka *coefficient lift* ( $C_L$ ) semakin menurun sedangkan *coefficient drag* ( $C_D$ ) cenderung meningkat.

Nilai  $C_D$  dari NACA 0024 yang cukup besar dari pada jenis *airfoil* simetris lainnya menjadi pertimbangan dalam pemilihan tipe *ADB* yang akan digunakan. Dimana nilai  $C_D$  ini akan menyebabkan aliran tersparasi dan membentuk *shear layer* baru. Penambahan *ADB* NACA 0024 memberikan efek aliran disekitar *ADB* memiliki kecepatan yang cukup besar dari pada aliran dibelakang *ADB* atau daerah sparasi. Namun hal ini hanya berlaku di region atau area *near wake*, sedangkan region *far wake* aliran dibelakang *airfoil* mengalami *recovery flow*.

Penempatan *ADB* ini terletak pada jarak 7 mm dari *inner wall* dengan harapan agar aliran fluida dapat mengalir dibawah *ADB* dan aliran didekat dinding tidak mengalami defisit *velocity*. Berdasarkan penelitian **Choi & Lee (2000)** menunjukkan bahwa peletakkan silinder  $A/B = 1$  dengan variasi  $G/B = 1,0$  memiliki profile kecepatan mendekati profil kecepatan tanpa adanya silinder. Apabila silinder semakin didekatkan ke dinding maka energi pada area dekat dinding cenderung mengalami defisit, hal ini dikarenakan aliran cenderung melalui bagian atas silinder dari pada bagian bawah silinder.

Pada penelitian **Haci (2017)** disebutkan bahwa *angle of attack* maksimal untuk  $C_L/C_D$  dari NACA 0024 terdapat pada sudut  $8^\circ$ . Hal ini menjadi pertimbangan dalam pemilihan variasi *angle of attack* dari *ADB*. Dimana variasi *angle of attack* *ADB* antara lain  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ . Variasi  $0^\circ$  digunakan sebagai referensi untuk

membedakan bagaimana pengaruh ditambahkan *ADB* dengan tanpa adanya *ADB*. Serta sebagai referensi pengaruh perubahan *angle of attack* dari *ADB*. Sedangkan pemilihan sudut  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari peningkatan *angle of attack* terhadap pola aliran yang ada, serta untuk mengetahui akibat yang ditimbulkan dari variasi sudut diatas sudut maksimal referensi yaitu  $8^\circ$ .

Penempatan *ADB* pada jarak 7 mm dari *inner wall* diharapkan memiliki intensitas turbulensi yang tinggi sehingga dapat meningkatkan momentum aliran disekitar *wall*. Serta dengan adanya *ADB* NACA 0024 diharapkan terbentuk *shear layer* baru dimana aliran di sekitar airfoil memiliki kecepatan yang tinggi dibandingkan dengan daerah di belakang airfoil atau daerah wake. Intensitas turbulensi yang kuat dari *separated shear layer* pada *ADB* diharapkan mengalami *re-attachment boundary layer* pada *elbow*  $90^\circ$  lebih awal, sehingga mampu mereduksi *blockage area*. Dengan meningkatnya intensitas turbulensi dan adanya *re-attachment* pada *boundary layer* menyebabkan *blockage area* atau *flow recirculation* akan berkurang sehingga *pressure drop* pada *elbow*  $90^\circ$  berkurang. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai fenomena aliran melalui *square duct* melewati *elbow*  $90^\circ$  yang ditambahkan suatu body pengganggu berbentuk *airfoil disturbance body* (*ADB*) pada posisi tetap di area *upstream* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ .

### 1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sehingga pembahasan akan terfokus dan batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja adalah udara dengan profil kecepatan udara *uniform* pada sisi *inlet*, sifat *incompressible*, *viscous* dan *steady*.
2. Temperatur fluida diasumsikan konstan.
3. Kekasaran dinding dan perpindahan panas akibat gesekan fluida diabaikan
4. Aliran yang melintasi saluran udara merupakan aliran *turbulen*.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum dalam penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh interaksi aliran antara *airfoil disturbance body (ADB)* variasi *angle of attack*  $0^\circ$  ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  pada posisi tetap di area *upstream* dengan dinding saluran berpenampang bujur sangkar, untuk mengetahui karakter aliran tersebut maka dilakukan studi eksperimental. Tujuan khusus dari penelitian ini sebagai berikut :

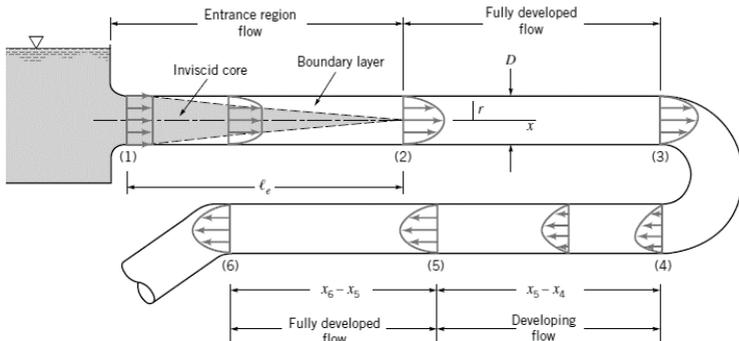
1. Mengetahui *pressure drop* antara sisi masuk dan sisi keluar saluran (*duct*)
2. Mengetahui koefisien *loss minor (K<sub>L</sub>) elbow 90°* .
3. Mengetahui nilai *pressure coefficient (C<sub>p</sub>)* pada *elbow 90°*.
4. Mengetahui profil kecepatan pada *downstream duct* (posisi bidang horizontal dan vertikal).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Fully Developed Flow

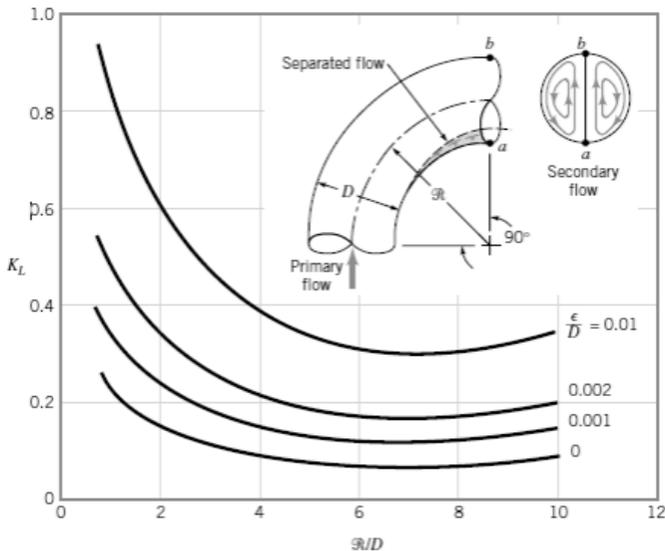
*Fully develop flow* merupakan suatu fenomena aliran dimana terjadinya *boundary layer* maksimum atau profil kecepatan yang tetap, tidak mengalami perubahan. Profil ini dipengaruhi oleh viskositas yang berakibat pada terjadinya gaya geser pada profil kecepatan. Fenomena aliran seperti ini akan terjadi ketika aliran yang mengalir tidak mengalami gangguan, seperti *fitting*, instalasi, dan sebagainya. Fenomena aliran *fully developed* ini dapat dilihat pada gambar 2.1, dinamakan aliran diantara (2) dan (3) merupakan aliran *fully developed*. Gangguan diluar seperti *bend* membuat aliran mengalami perubahan profil kecepatan (area 3-5) selanjutnya aliran secara bertahap kembali menjadi *fully developed* (area 5) dan bentuk profil aliran akan tetap sama sampai sistem komponen pipa atau *duct* selanjutnya (area 6). Pada beberapa kasus jarak yang pendek antara salah satu komponen (*bend* atau *valve*) dalam sistem perpipaan menyebabkan aliran *fully developed* sulit tercapai (Munson dkk, 2002).



**Gambar 2. 1** Aliran *Fully Developed* (Munson dkk, 2002)

## 2.2. Karakteristik aliran di dalam *elbow* 90°

Belokan dalam pipa menghasilkan *head loss* yang lebih besar dari pada pipa lurus. *Losses* terjadi pada area aliran yang terseparasi pada bagian dekat lengkungan sisi dalam pipa (terutama bila belokan tersebut tajam) dan putaran dari *secondary flow* yang terjadi karena akibat dari ketidak seimbangan gaya sentripetal yang terjadi sepanjang *centreline* lengkungan pipa. Efek dan besarnya *coefficient loss* tersebut bergantung pada nilai bilangan Reynolds yang mengalir melalui sebuah *elbow* 90° ditunjukkan pada gambar 2.2. *Friction loss* dari arah aksial lengkungan pipa dapat digunakan untuk menemukan nilai dari *loss coefficient* yang ada pada gambar 2.2 (Munson dkk, 2002).

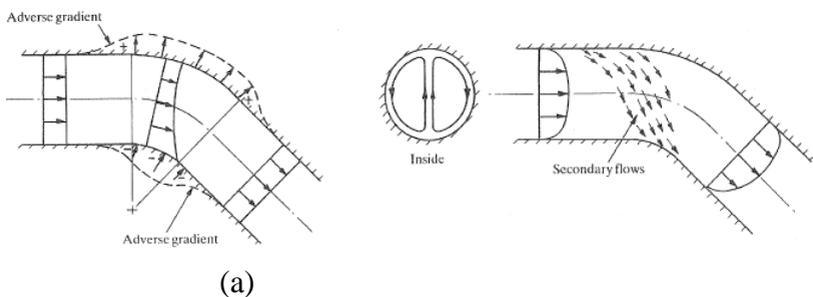


**Gambar 2. 2** Karakteristik aliran didalam *elbow* 90° serta nilai *coefficient losses* (Munson dkk, 2002)

### 2.3. Secondary Flow

Ketika fluida dianggap ideal dengan energi yang terdistribusi sepanjang *bend* (lengkungan) *uniform* seperti pada gambar 2.3.a. *Bend* dengan radius yang diinginkan akan meningkatkan tekanan statik dan mengimbangi gaya sentrifugal, namun kecepatan fluida mengalami penurunan dari sisi masuk ke sisi keluar belokan. Efek dari kecepatan yang selalu berubah-ubah mulai dari nol (pada saat di dinding) hingga bernilai maksimum (pada saat di bagian *core*), menyebabkan *actual flow* yang melewati *bend* memiliki distribusi energi *non-uniform*. Gaya sentrifugal dan tekanan mengakibatkan aliran pada *core* lebih cepat berpindah karena aliran pada bagian *core* harus dibelokkan ke bagian luar *bend*.

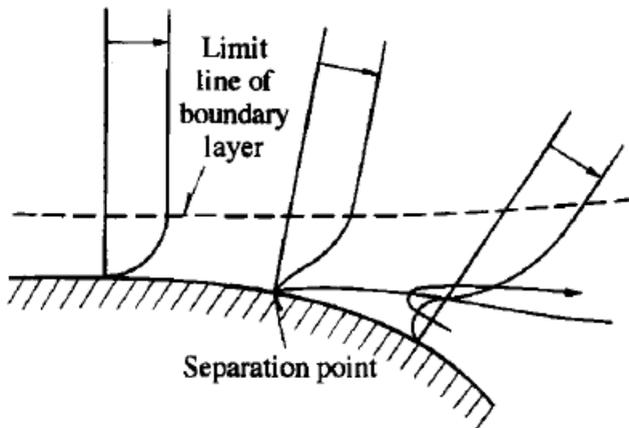
*Adverse pressure gradient* terlihat pada fluida yang mendekati keluaran *bend*, seperti pada gambar 2.3.a. Energi dari fluida dekat dinding pada area sekitar keluaran dinding berkurang dan tidak dapat melewati *adverse pressure gradient*. Sebagai gantinya aliran bergerak menuju ke daerah bertekanan statik lebih rendah yaitu pada bagian dalam *bend*. Gerakan dari fluida berenergi rendah menuju ke bagian dalam *bend*, dikombinasikan dengan defleksi dari kecepatan fluida pada area *core* yang tinggi menyebabkan terbentuknya dua sel *secondary flow* seperti yang terlihat pada gambar 2.3.b (Miller,1990).



**Gambar 2. 3** (a) Aliran ideal yang melintasi belokan (b) *Secondary Flow* (Miller, 1990)

#### 2.4. Flow Separation

Aliran akan mengalami penurunan tekanan sepanjang aliran, ketika fluida dipercepat dan *boundary layer* yang tipis. Pada penyempitan aliran, gradien tekanan negative (favouable) akan membuat aliran menjadi stabil ketika turbulensi berangsur-angsur menurun. Sedangkan aliran dengan gradien tekanan positif (adverse) dimana akan mengalami peningkatan tekanan di sepanjang aliran, seperti aliran pada belokan dinding seperti pada gambar 2.4. Fluida akan menjauhi dinding apabila memiliki kecepatan aliran yang tinggi dan inersia yang tinggi. Aliran dapat melindungi area *downstream* untuk menanggulangi tekanan tinggi pada area *downstream*. Fluida dekat dinding memiliki kecepatan rendah, sehingga tidak dapat menanggulangi tekanan pada area *downstream* karena memiliki inersia yang cukup kecil. Kecepatan aliran menjadi lebih kecil sampai *velocity gradient* bernilai nol. Kondisi ini disebut *separation point* dari sebuah aliran. (Nakayama dan Boucher, 2000).



Gambar 2. 4 Flow Separation (Nakayama dan Boucher, 2000)

## 2.5. Pressure drop on pipe or duct

*Pressure drop* akibat adanya gesekan dengan analisa penampang konstan dan dalam kondisi horizontal, dapat dirumuskan seperti berikut ini

$$\Delta p = \frac{128\mu L Q}{\pi D^4} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :  $\mu$ : viskositas absolut fluida

$L$ : panjang pipa

$Q$ : flow rate

$D$ : diameter dalam pipa

$\Delta p$ : pressure drop

Perumusan ini digunakan untuk aliran laminar, sedangkan untuk aliran turbulen persamaan ini tidak mungkin digunakan untuk analisa. Hal inidikarenakan perlu adanya pengembangan perumusan berdasarkan kombinasi antara teori dan eksperimen. Adanya *losses* akibat *friction* terdiri dari dua kategori: *major losses*, *losses* yang terjadi akibat adanya gesekan dalam pipa atau *duct* dengan luas area konstan dan *minor losses* (lebih besar dari pada *major losses*), *losses* yang terjadi akibat adanya *valve*, *elbows* dan lain-lain (Fox dkk, 2011).

*Pressure drop* juga dapat didapatkan dari  $P_{inlet}$  dan  $P_{outlet}$  , seperti berikut:

$$\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :  $\Delta P$  : pressure drop

$P_{inlet}$  : pressure inlet

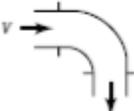
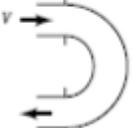
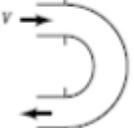
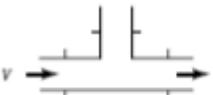
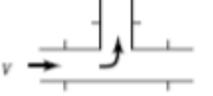
$P_{outlet}$  : pressure outlet

## 2.6. Loss Coefficient

Kategori penting dalam komponen sistem perpipaan adalah terdapatnya *pipe fittings* seperti *elbows*, *valve* dan *filter*. Nilai dari *loss coefficient*,  $K_L$  sangat bergantung pada bentuk dari komponen tersebut. *Loss coefficient* dari elbow 90° tidak hanya bergantung pada sambungan pipa, tetapi bergantung pula terhadap diameter

pipa, *flow rate*, atau *fluid propoertie*. Jenis-jenis nilai  $K_L$  dari setiap komponen dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** *Loss Coefficients* dari komponen pi

Component	$K_L$		
<b>a. Elbows</b>			
Regular 90°, flanged	0.3	  	
Regular 90°, threaded	1.5		
Long radius 90°, flanged	0.2		
Long radius 90°, threaded	0.7		
Long radius 45°, flanged	0.2		
Regular 45°, threaded	0.4		
<b>b. 180° return bends</b>			
180° return bend, flanged	0.2		
180° return bend, threaded	1.5		
<b>c. Tees</b>			
Line flow, flanged	0.2	 	
Line flow, threaded	0.9		
Branch flow, flanged	1.0		
Branch flow, threaded	2.0		
<b>d. Union, threaded</b>			
	0.08		
<b>e. Valves</b>			
Globe, fully open	10		
Angle, fully open	2		
Gate, fully open	0.15		
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	0.26		
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	2.1		
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17		
Swing check, forward flow	2		
Swing check, backward flow	$\infty$		
Ball valve, fully open	0.05		
Ball valve, $\frac{1}{2}$ closed	5.5		
Ball valve, $\frac{3}{4}$ closed	210		

\*See Fig. 8.36 for typical valve geometry

**Sumber : Munson dkk (2002)**

Koefisien *losses elbow* 90° merupakan nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor* yang ada akibat dari pemasangan sebuah *elbow* 90° pada sebuah saluran udara (Munson dkk, 2002).

Koefisien *losses elbow* 90° diperoleh dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet elbow* 90° dan *outlet elbow* 90°.

$$P_{outlet\ elbow\ 90^\circ} - P_{inlet\ elbow\ 90^\circ} = K_{elbow\ 90^\circ} \frac{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}}{2} \dots(2.3)$$

$$K_{elbow\ 90^\circ} = \frac{(P_{outlet\ elbow\ 90^\circ} - P_{inlet\ elbow\ 90^\circ}) \times 2}{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana:

- $P_{outlet\ elbow\ 90^\circ}$  : tekanan pada *outlet elbow* 90° (N/m<sup>2</sup>)
- $P_{inlet\ elbow\ 90^\circ}$  : tekanan pada *inlet elbow* 90° (N/m<sup>2</sup>)
- $V^2$  : kecepatan udara masuk pada *upstream* (m/s)
- $\rho_{udara}$  : massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>)
- $K_{elbow\ 90^\circ}$  : *minor loss coefficient elbow* 90°

**2.7. Pressure Coefficient (Cp)**

Dalam bidang *aerodynamic*, terbentuk suatu rasio dimana  $\Delta p$  merupakan tekanan lokal dikurangi dengan tekanan *freestream*,  $\rho$  dan  $V$  merupakan properti dari aliran *freestream*. Rasio ini selanjutnya diberi nama *Leonhard Euler*. Sedangkan *Euler Number* merupakan rasio dari *pressure forces* terhadap *inertia forces*. *Euler Number* ini dikenal dengan istilah *pressure coefficient* atau  $C_p$  (Fox dkk, 2011).

$$Eu = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho_{udara} V^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho_{udara} V_\infty^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho_{udara} V_\infty^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

- Dimana  $Eu$  : *Euler number*  
 $C_p$  : *Pressure Coefficient*  
 $P_c$  : Tekanan lokal (N/m<sup>2</sup>)  
 $P_\infty$  : Tekanan *freestream* (N/m<sup>2</sup>)

$\rho_{udara}$  : Massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>)  
 $V$  : Kecepatan udara (m/s)

## 2.8. Reynolds number

*Osborne Reynolds*, *British engineer* telah mempelajari aliran transisi diantara aliran laminar dan turbulen dalam pipa. Beliau menemukan parameter yang diberi nama *Reynolds number* ( $Re$ ) dimana parameter tersebut merupakan kriteria aliran yang diamati. *Reynolds number* merupakan rasio dari *inertia force* terhadap *viscous forces*. Aliran dengan nilai  $Re$  besar biasanya aliran turbulen. Sedangkan aliran dengan *inertia forces* kecil dibandingkan dengan *viscous force*, merupakan karakteristik dari aliran laminar (Fox dkk, 2011).

*Reynolds number* dapat didapat melalui persamaan 2.8 seperti berikut :

$$Re_{Dh} = \frac{\rho_{udara} \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot D_h}{\nu} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:  $\rho_{udara}$ : Massa jenis fluida

$\nu$  : viskositas kinematis fluida

$\mu$  : viskositas absolut fluida

$U_{ref}$  : kecepatan *freestream* (m/s)

$D_h$  : diameter hidrolik *ducting* (m)

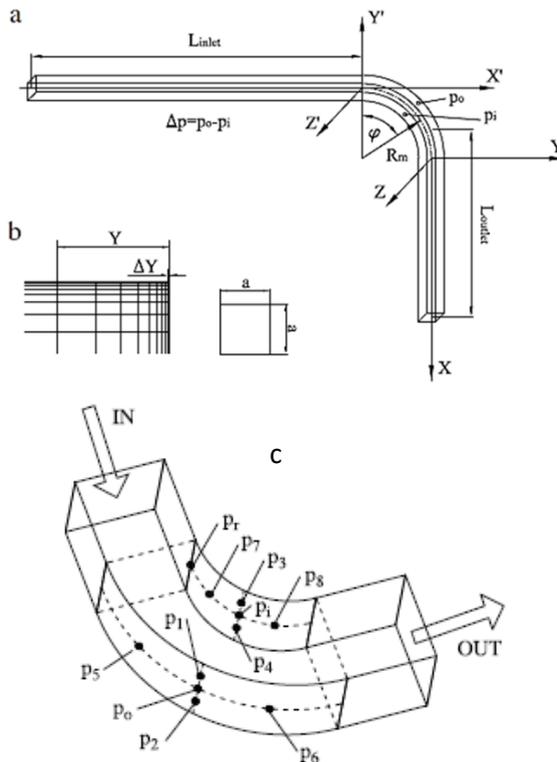
$Re_{Dh}$  : *Reynolds number*

## 2.9. Karakteristik Aliran melalui *Rectangular duct*

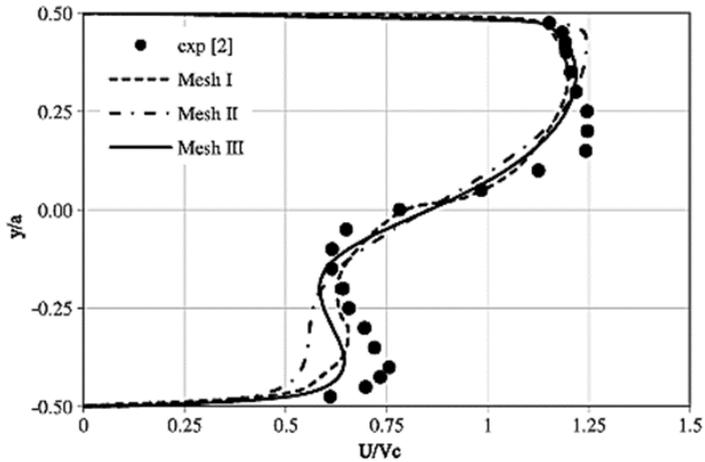
**Rup dan Sarna** melakukan perbandingan penelitian yang dilakukan melalui permodelan numerik dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi ini menggunakan *software FLUENT* dengan model turbulen *RSM (Reynolds Stress Model)* dan dilakukan pada  $Re = 40000$ . Intalasi dari eksperimen ini memiliki ukuran geometri  $a \times a = 80 \times 80$  mm,  $D_h = 80$  mm dan  $L_{inlet} = L_{outlet} = 20 D_h = 1600$  mm. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing* dengan jumlah elemen  $Vk = 553\ 052$ ,  $Vk = 1766\ 079$ , and  $Vk = 1034\ 775$ . Hasil yang diharapkan yaitu mengetahui profil kecepatan pada jarak

tertentu dan *pressure coefficient* aliran sepanjang *elbow*. Kemudian didapatkan bahwa hasil simulasi mendekati hasil eksperimen untuk profil kecepatan sepanjang *elbow* pada lokasi  $\phi = 30^\circ$  dan  $60^\circ$ .

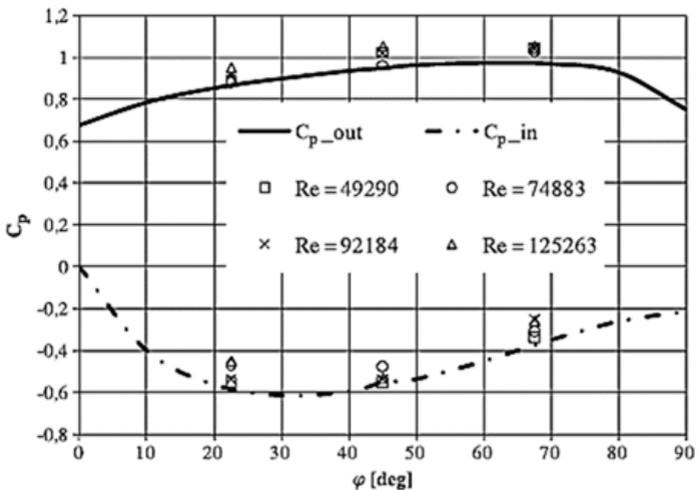
Deformasi dari profil kecepatan untuk aliran yang sama pada  $Re=40000$  dapat dilihat pada gambar 2.6. Hasil yang ditunjukkan pada lokasi  $x/D_h = 1.0$  dan  $z/D_h = 0.0$  menunjukkan perubahan kualitatif dari profil kecepatan, dimana pendekatan profil kecepatan terbaik terjadi pada variasi *mesh* III ( $Vk = 1034\ 775$ ).



**Gambar 2. 5** a) Sekma pengambilan data pada test section, b) Mesh pada Volume dan c) Posisi pengukuran pressure (**Rup dan Sarna, 2011**)



**Gambar 2. 6** Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk  $x/Dh = 1.0$  dan  $z/Dh = 0.0$  (**Rup dan Sarna, 2011**)



**Gambar 2. 7** Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi *inner* dan *outer wall elbow* hasil simulasi dan eksperimen (**Rup dan Sarna, 2011**)

**Tabel 2. 2** Perbedaan tekanan pada titik Po, Pi, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8

Re <sub>elbow</sub>		$\Delta p_{01}$ (Pa)		$\Delta p_{57}$ (Pa)		$\Delta p_{68}$ (Pa)	
Num	Exp	Exp (num)	Exp	Num	Exp	Num	Num
49 290	47 588	75.54	73.54	71.97	62.78	67.12	
74 883	71 799	173.93	170.68	166.09	141.45	153.47	
92 184	88 507	263.89	255.06	251.89	213.75	231.22	
125 263	118 814	488.54	475.60	465.60	406.51	425.28	

Re <sub>elbow</sub>		$\Delta p_{01}$ (Pa)		$\Delta p_{13}$ (Pa)		$\Delta p_{24}$ (Pa)	
Num	Exp	Exp (num)	Exp	Num	Exp	Num	Num
49 290	47 588	75.54	73.58	74.93	73.58	74.95	
74 883	71 799	173.93	172.66	172.20	173.64	172.34	
92 184	88 507	263.89	262.91	260.96	262.91	261.12	
125 263	118 814	488.54	468.92	480.16	465.98	481.23	

Sumber : Rup dan Sarna (2011)

Gambar 2.7 dan table 2.2. memberikan informasi tentang distribusi *pressure coefficient* pada dinding *elbow* bagian dalam dan luar, yang dapat diamati bahwa *pressure coefficient* maksimum di dinding *elbow* terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut  $\phi = 45^\circ$  ( $Z = 0.00$ ). Perbedaan tekanan ini menjadi parameter untuk menentukan besar koefisien *losses* pada *elbow* tersebut. Selain itu perbedaan tekanan ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi *volumetric flow rate* dari fluida dan *circular section bend* yang sama pada instalasi pipa (Rup dan Sarna, 2011)

## 2.10. Airfoil Louver dan Flat Louver

**Mohd Hafiz dkk** melakukan penelitian mengenai perbandingan *airfoil louver* dan *flat louver* pada *intake air duct* yang dilakukan secara simulasi numerik. Airfoil yang digunakan merupakan airfoil simetris NACA 4 digit dengan ketebalan maksimum 10 mm dengan *chord line* 100 mm. Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan *Solidwork Flow Simulation* dengan variasi sudut serang  $25^\circ$ ,  $35^\circ$  dan  $45^\circ$ . Sedangkan untuk *flat louver* memiliki ketebalan 10 mm.

Berdasarkan prinsip *Bernoulli*, peningkatan kecepatan aliran di suatu wilayah tertentu akan mengakibatkan penurunan tekanan di daerah tersebut. Hal ini terlihat pada tabel 2.3 dan 2.4 dimana

peningkatan kecepatan yang besar akibat peningkatan sudut *louver* mengakibatkan penurunan tekanan yang terjadi lebih besar pula. Penurunan tekanan pada *airfoil louvers* lebih rendah dari pada *flat louvers*. Hal ini dikarenakan *streamlined airfoil geometry* membentuk sedikit *vortex* antara susunan kisi-kisi (*louvers*), akibatnya aliran yang tersparasi disekitar *streamline body* lebih rendah dari pada *blunt geometry* dengan kondisi *angle of attack* sama.

**Tabel 2. 3** Tekanan pada *airfoil louvers*

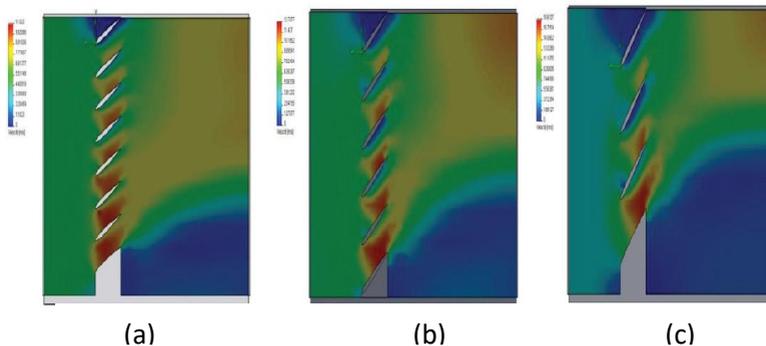
Angle ( $^{\circ}$ )	Inlet Pressure (Pa)	Outlet Pressure (Pa)	$\Delta P$	Velocity (m/s)
25	101371.56	101325	46.56	5.63
35	101407.82	101325	82.82	5.93
45	101512.41	101325	187.41	6.58

Sumber : Mohd Hafiz dkk (2012)

**Tabel 2. 4** Tekanan pada *flat louvers*

Angle ( $^{\circ}$ )	Inlet Pressure (Pa)	Outlet Pressure (Pa)	$\Delta P$	Velocity (m/s)
25	101396.62	101325	71.62	5.86
35	101441.51	101325	116.51	6.18
45	101580.23	101325	255.23	6.93

Sumber : Mohd Hafiz dkk (2012)

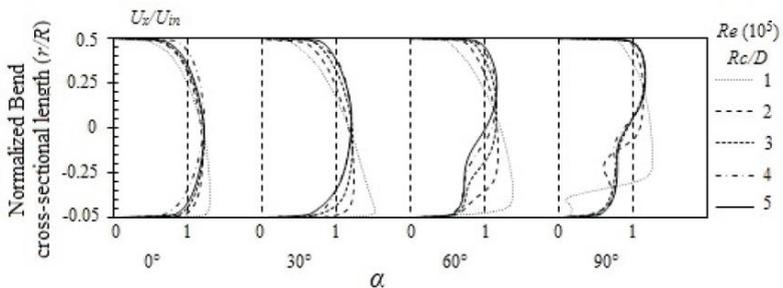


**Gambar 2. 8** *Velocity counters* pada *airfoil louvers* dengan sudut a) 25° b) 35° dan c) 45° ( Mohd Hafiz dkk, 2012)

Pembentukan *vortex* yang disebabkan oleh aliran yang tersparasi menghasilkan kenaikan kecepatan aliran sehingga terjadi penurunan tekanan pada area tersebut. Aliran sparasi kembali terjadi di permukaan *downstream*, membentuk gelembung di bagian dekat *leading edge louvers* yang sering disebut sebagai *vortex*. Ketika sudut *louvers* bertambah, aliran sparasi yang terjadi lebih besar dan titik *reattachment* menjauhi *downstream* sehingga menimbulkan *vortex* yang lebih besar, seperti yang terlihat pada gambar 2.8 (Mohd Hafiz dkk, 2012).

### 2.11. Pengaruh *Curvature Ratio*

*Secondary flows* pada belokan menyebabkan perubahan *velocity profile*, *vortex* dan menghasilkan *hydraulic losses*. Pada penelitian ini menggunakan *turbulent single phase flows* yang melalui *elbow*  $90^\circ$  dengan variasi *curvature ratio* ( $Rc/D = 1$  to  $5$ ) dan menggunakan simulasi numerik dengan variasi  $Re = 1 \times 10^5$  sampai  $10 \times 10^5$ . Simulasi numerik dilakukan untuk mengetahui *flow pattern* dan karakteristik dari *swirling secondary flow* pada *elbow*  $90^\circ$ . Simulasi ini dengan metode *simplex* dengan model turbulensi *k-epsilon*.



**Gambar 2.9** *Velocity profile* dari *curvature ratio* 1 sampai 5 (Dutta dan Nandi, 2015)

Dari hasil simulasi didapatkan hasil seperti pada gambar 2.9. dimana *velocity profile* rata-rata dengan *inlet velocity* dengan nilai  $Re = 1 \times 10^5$  pada lima tipe kelengkungan ( $Rc/D = 1- 5$ ). Pada area

*outlet elbow* ( $\alpha = 90^\circ$ ) terdapat aliran balik sebagai akibat dari *adverse pressure gradient* dimana momentum aliran lebih rendah dari pada *freestream* sehingga mengakibatkan kecepatan aliran didekat dinding berkurang dan *boundary layer thickness*. Ditemukan kecepatan aliran tertinggi pada kelengkungan dengan *curvature ratio* rendah ( $Rc/D = 1$ ). Pada area *downstream bend* dengan nilai *curvature ratio* besar ( $Rc/D = 5$ ), bentuk aliran pada *inner core* mulai membentuk aliran *fully developed* kembali.

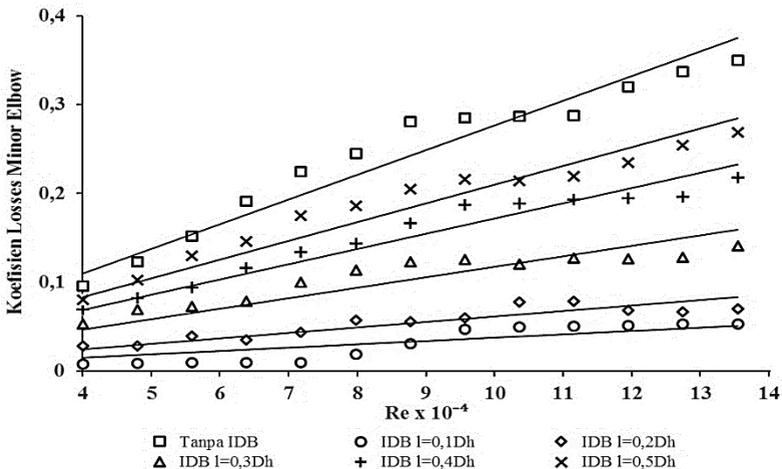
Dari hasil yang didapatkan rata-rata profil kecepatan tidak terlalu bergantung pada *Reynolds number* untuk *curvature ratio* kecil dan *curvature ratio* tinggi cenderung mendapatkan bentuk *fully developed* seiring dengan bertambahnya nilai *Reynolds number*. Oleh sebab itu dapat disimpulkan nilai *Re* tinggi menyebabkan efek dari bentuk *bend curvature* kurang berpengaruh. Kecenderungan aliran tersparasi lebih banyak terjadi pada belokan (*bends*) dengan *curvature ratio* kecil sedangkan untuk *curvature ratio* besar cenderung mampu mengatasi pola aliran *unsteady* dan *complex flow* (Dutta dan Nandi, 2015).

### **2.12. Inlet Disturbance Body berbentuk silinder**

**Hardian (2017)** melakukan eksperimen dengan model saluran berpenampang bujur sangkar (*square duct*) dengan  $D_h = 125$  mm yang terdiri dari beberapa bagian yaitu *upstream duct* dengan penambahan *inlet disturbance body (IDB)* berbentuk silinder dengan  $d = 12,5$  mm, *elbow*  $90^\circ$ , dan *downstream duct*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak  $l/D_h = 0,1 - 0,5$  dengan gap dan besar *elbow* konstan yaitu  $g/D_h = 0,2$  dan  $R/D_h = 1,5$  pada variasi nilai *Re* sebesar  $3,97 \times 10^4 < Re < 13,5 \times 10^4$ .



Hasil dari penelitian ini adalah bahwa penempatan *IDB* efektif untuk proses *recovery* aliran dan menanggulangi timbulnya *secondary flow*. Penempatan *IDB* pada saluran dengan jarak  $l = 0,1D_h$  merupakan jarak paling efektif untuk meningkatkan intensitas turbulensi dan menurunkan *pressure drop*. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.11 dimana jarak *inlet disturbance body*  $0,1 D_h$  memiliki *pressure drop* paling rendah dengan rata-rata persentase penurunan *pressure drop* sebesar 17,68% terhadap saluran tanpa *IDB*. Sedangkan pada jarak *inlet disturbance body*  $0,5 D_h$  memiliki *pressure drop* paling tinggi pada setiap variasi *Reynolds number*.

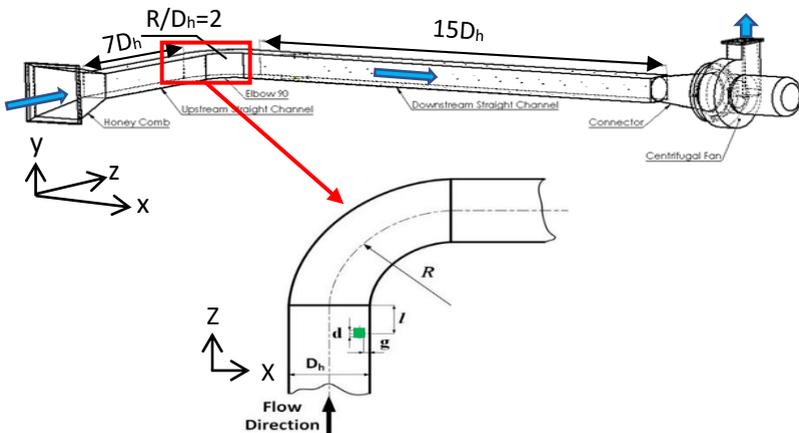


**Gambar 2. 12** Koefisien loss elbow 90° pada square duct dengan square elbow 90° (Hardian, 2017)

Pada gambar 2.12 terlihat jarak *inlet disturbance body*  $0,1 D_h$  memiliki nilai koefisien loss elbow 90° paling rendah dengan persentase sebesar 9,74% terhadap koefisien loss elbow 90° pada saluran tanpa *inlet disturbance body*, sedangkan pada jarak variasi tanpa menggunakan *inlet disturbance body* memiliki nilai koefisien loss elbow 90° paling tinggi pada setiap variasi *Reynolds number*.

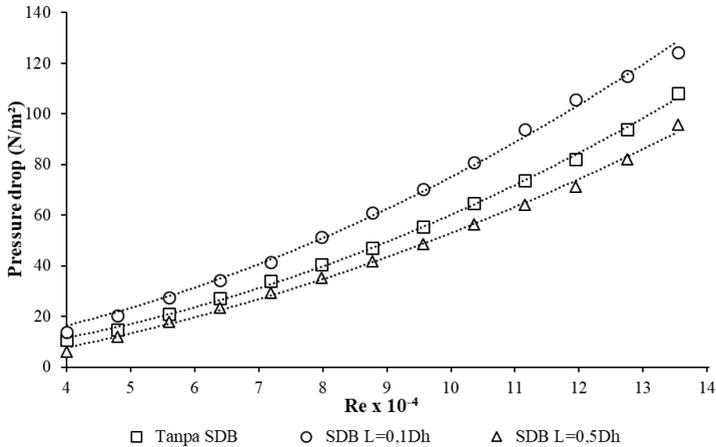
### 2.13. Square Disturbance Body

**Fauzi (2017)** melakukan eksperimen dengan model saluran berpenampang bujur sangkar (*square duct*) dengan  $D_h = 125$  mm yang terdiri dari beberapa bagian yaitu *upstream duct* dengan penambahan *square disturbance body* (SDB) dengan  $D = 12,5$  mm, *elbow*  $90^\circ$ , dan *downstream duct*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak  $l/D_h = 0,1 - 0,5$  dengan gap dan besar *elbow* konstan yaitu  $g/D = 0,2$  dan  $R/D_h = 2$  pada variasi nilai  $Re$  sebesar  $3,97 \times 10^4 < Re < 1,35 \times 10^5$ .

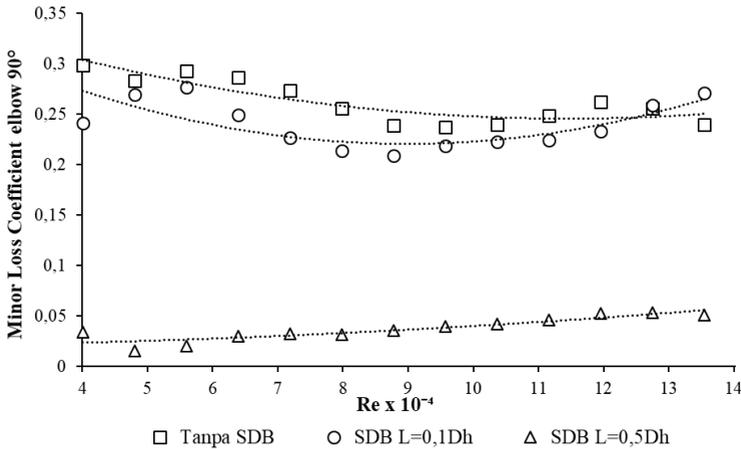


**Gambar 2. 13** Skema instalasi penelitian dan gambar detail dari peletakkan SDB (**Fauzi, 2017**)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan SDB efektif untuk menurunkan *pressure drop* seperti yang terlihat pada gambar 2.14. Penempatan SDB pada saluran dengan jarak  $l = 0,5 D_h$  merupakan jarak paling optimal untuk menurunkan *pressure drop*, dimana penurunan nilai rata-rata *pressure drop* sebesar 13,2%. Sedangkan variasi SDB pada jarak  $l = 0,1 D_h$  justru mengalami peningkatan *pressure drop* sebesar 24,8%.



**Gambar 2.14** Grafik *pressure drop* pada *square duct* dengan *square elbow 90°* dengan variasi jarak peletakan *square disturbance body* terhadap  $Re\ 3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$  (Fauzi, 2017)



**Gambar 2.15** Grafik *minor loss coefficient elbow 90°* dengan variasi jarak peletakan *square disturbance body* terhadap  $Re\ 3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$  (Fauzi, 2017)

Gambar 2.15 menunjukkan bahwa dengan penambahan *SDB* maka akan menurunkan nilai *minor loss coefficient* ( $K$ ) pada *elbow*  $90^\circ$ . Hal ini terlihat dari penambahan *SDB* dengan variasi jarak  $l = 0,1 D_h$  pada  $R_e$  terendah nilai *minor loss coefficient* ( $K$ ) adalah 0,24 dan pada  $R_e$  tertinggi nilai *minor loss coefficient* ( $K$ ) adalah 0,27 dengan rata-rata nilai *minor loss coefficient* ( $K$ ) total adalah 0,24. Sedangkan penambahan *SDB* pada variasi jarak  $l = 0,5 D_h$  pada  $R_e$  terendah nilai *minor loss coefficient* ( $K$ ) adalah 0,03 dan pada  $R_e$  tertinggi nilai *minor loss coefficient* ( $K$ ) adalah 0,05 dengan nilai rata-rata *minor loss coefficient* ( $K$ ) total adalah 0,04.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

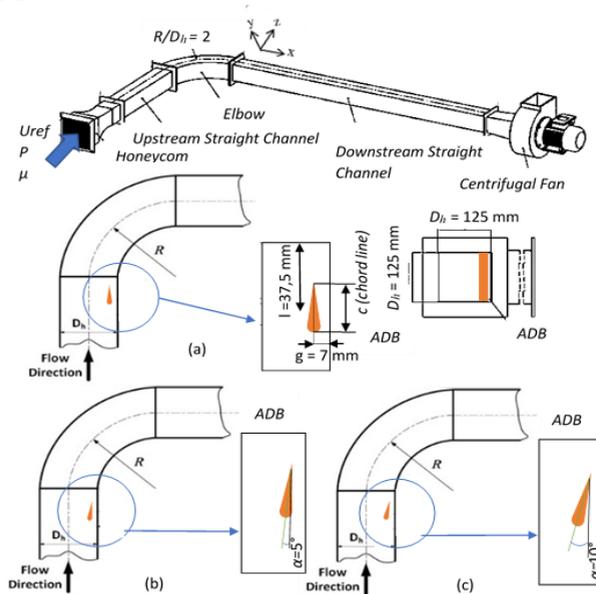
# BAB III

## METODE PENELITIAN

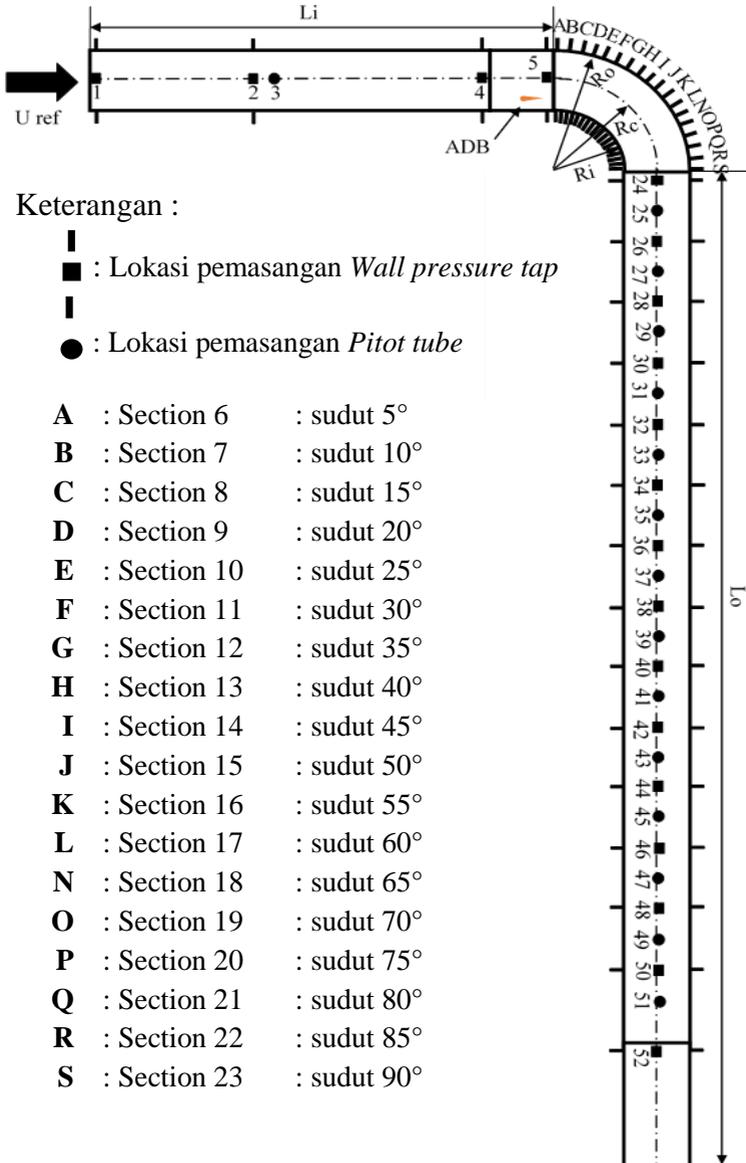
Metode penelitian secara eksperimen digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran yang melewati *square duct* dan *elbow 90°* dengan tanpa dan dengan penambahan *inlet disturbance body* pada area *upstream*, berbentuk *symmetric airfoil* dengan tinggi 125 mm yang selanjutnya disebut dengan *airfoil disturbance body (ADB)*.

### 3.1. Skema Penelitian

Skema instalasi penelitian terlihat seperti pada gambar 3.1. Secara keseluruhan dapat dilihat terdapat *ADB* yang terpasang pada *upstream square duct* dengan jarak  $l = 0,3 D_h$  dari *inlet elbow*, *gap* antara dinding *inner* sebesar  $\pm 7$  mm dan variasi *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ .



**Gambar 3. 1** Skema instalasi penelitian dan peletakkan *ADB* pada posisi variasi *angle of attack* (a)  $0^\circ$ , (b)  $5^\circ$  dan (c)  $10^\circ$



**Gambar 3. 2** Model *ducting* untuk uji penelitian

## 3.2 Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian, yaitu *honey comb*, *nozzle*, *square duct*, *inlet dicturbance body*, *centrifugal fan*, dan alat ukur.

### 3.2.1 *Square Ducting*

Penelitian menggunakan *square ducting* dan *square elbow 90°* yang akan digunakan untuk menguji benda dalam skala model. *Square ducting* dan *square elbow 90°* dibuat dengan kondisi-kondisi yang mendekati sebenarnya, dengan harapan hasil yang ada cukup akurat.

*Square ducting* yang digunakan dalam percobaan ini seperti pada gambar 3.1 dan 3.2. adalah jenis *open circuit*, dimana udara yang dialirkan dalam *ducting* akan melalui *work section* dan selanjutnya akan langsung dilepas ke udara bebas.

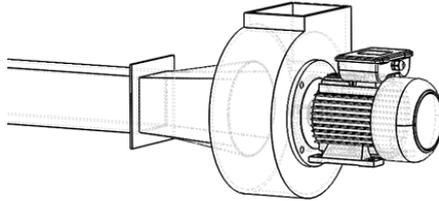
Spesifikasi *Square Ducting* :

- Bahan : Akrilik
- Tebal : 8 mm
- $L_i$  (*upstream straight duct*) : 875 mm
- $L_o$  (*downstream straight duct*) : 2000 mm
- $R_c$  (*centerline elbow 90° radius*) : 250 mm
- $R_i$  (*inner radius*) : 188 mm
- $R_o$  (*outer radius*) : 312 mm
- $D_h$  (diameter hidrolik) : 125 mm
- $g$  (*gap chord line ADB ke inner wall*) : 7 mm
- $l$  (jarak ADB dari *inlet elbow*) : 37,5 mm

### 3.2.2 *Centrifugal Fan*

Pada penelitian ini menggunakan satu buah *centrifugal fan* seperti pada gambar 3.3. yang disambungkan dengan *inverter*. *Inverter* berfungsi sebagai pengatur kecepatan *fan* dengan cara melakukan perubahan frekuensi. Kecepatan awal ( $U_{ref}$ ) didapatkan dengan cara mengatur variasi frekuensi pada inverter secara

manual. Variasi frekuensi yang digunakan 0 Hz sampai 50 Hz. Spesifikasi dari *centrifugal fan* sebagai berikut:

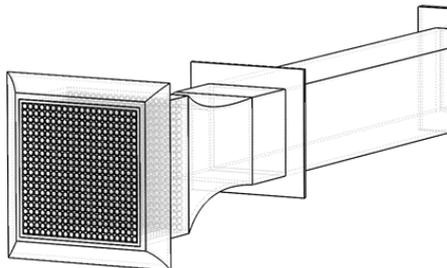


**Gambar 3.3** *Centrifugal Fan*

- Merk : VANCO
- Type /No : VCD/4 – 225
- Frekuensi : 50 Hz
- Fan Speed : 1440 RPM
- Power : 0,75 Kw
- Debit :  $2550 \text{ m}^3/\text{h}$
- U (max spesifikasi) : 45 m/s
- U pengukuran (max) : 13 m/s

### 3.2.3. *Honey Comb, Screen dan Nozzle*

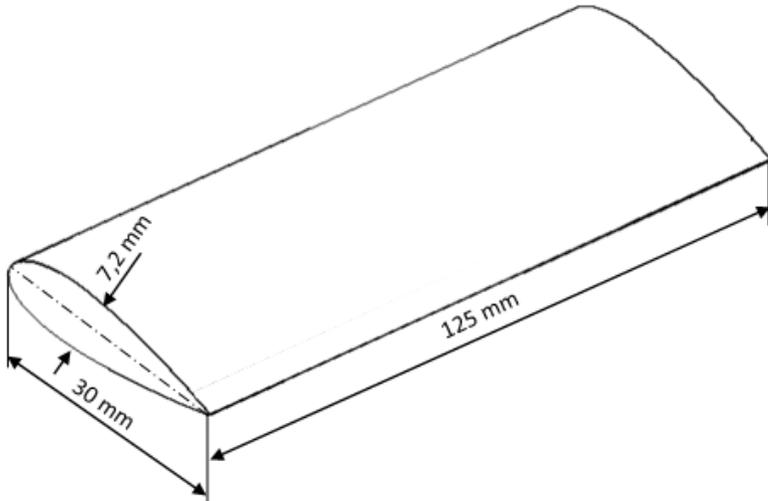
*Nozzle* berfungsi untuk menambah kecepatan aliran sebelum memasuki *test suction*. Didalam *nozzle* terdapat *honeycomb* yang berfungsi untuk mengarahkan aliran serta menjadikan aliran mendekati uniform dan mengurangi turbulensi aliran ketika memasuki instalasi *test suction*.



**Gambar 3.4** *Honey Comb dan Nozzle*

### 3.2.4. Airfoil Disturbance Body

Body pengganggu pada penelitian ini berbentuk airfoil NACA 0024 dengan ukuran *chord line* 30 mm, *thickness* 7,2 mm dan dengan tinggi 125 mm. Material ADB terbuat dari bahan kayu.



**Gambar 3. 5** Bentuk ADB

### 3.2.5. Alat Ukur

Pada eksperimen ini dibutuhkan beberapa alat ukur untuk mendapatkan tekanan statis dan tekanan stagnasi, diantaranya adalah *wall-pressure tap*, *pitot static tube*, *transducer* dan *manometer V*.

#### 1. *Wall-pressure tap*

*Wall-pressure tap* yaitu lubang–lubang kecil berdiameter 1 mm yang terhubung pada manometer atau transducer tekanan. *Wall-pressure tap* ini dipasang di sepanjang saluran yang searah aliran dan tegak lurus terhadap permukaan. Posisi pemasangan *wall pressure tap* dapat dilihat pada gambar 3.2. Pada *area test*

*section downstream duct* peletakkan *wall pressure tap* masing – masing berjarak 125 mm.

## 2. Pitot Tube

Alat ini berfungsi untuk mengukur besarnya tekanan statis sekaligus tekanan stagnasi aliran fluida yang terdapat pada saluran maupun yang terletak dibelakang benda uji. Pergeseran titik pengukuran secara horizontal pada setiap *cross section* yang sama dilakukan secara manual dengan skala pengukuran tertentu.

*Pitot static tube* dipasang pada *centerline ducting* dan sejajar dengan *wall pressure tap*, dimana jarak antar *tap* adalah 125 mm. *Pitot static tube* digunakan untuk mengetahui profil kecepatan aliran, maka *test section* memiliki 14 *section* yang nantinya akan dijadikan posisi peletakkan *pitot tube*. Posisi peletakkan *pitot tube* dapat dilihat pada gambar 3.2.

## 3. Transducer Tekanan

Berikut spesifikasi *Transducer* yang akan digunakan dalam eksperimen ini :

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1. Untuk mengukur profil kecepatan | 2. Untuk mengukur <i>pressure drop</i> |
| <i>Model</i> : PX653 - 01D5L       | <i>Model</i> : PX653 - 03D5V           |
| <i>Range</i> : $\pm 1$ " WC        | <i>Range</i> : $\pm 3$ " WC            |
| Akurasi: 0.25% FS (Fullscale)      | Akurasi: 0.25 % FS (Fullscale)         |
| <i>Output</i> : 1 – 5 VDC          | <i>Output</i> : 1 – 5 VDC              |
| <i>Excitation</i> : 12 – 36 VDC    | <i>Excitation</i> : 12 – 36 VDC        |
| <i>Ser.no.</i> : X14500102         | <i>Ser.no.</i> : X114501               |

## 4. Manometer V dan Mistar

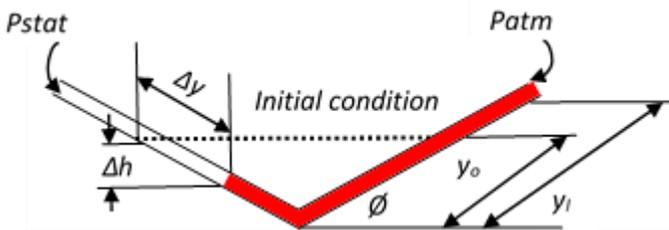
*Manometer* disini berfungsi sebagai pembaca tekanan yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube*. *Manometer* ini memiliki kemiringan sebesar  $15^\circ$  dengan harapan agar mempermudah pengamat melihat perubahan ketinggian atau

selisih  $\Delta h$ . *Manometer* digunakan sebagai pembaca tekanan statis dan stagnasi yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6. dengan bantuan mistar yang terpasang pada *manometer*. Sehingga dengan adanya *manometer* maka selisih  $\Delta h$  dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\Delta y = y_i - y_o \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\Delta h = \Delta y \sin \emptyset \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\Delta h = 2. \Delta y \sin 15^\circ \dots\dots\dots(3.3)$$



**Gambar 3. 6** *Inclined Manometer*

Keterangan :

- $y_o$  : Batas awal manometer
- $y_i$  : Batas akhir manometer
- $\Delta h$  : Selisih ketinggian batas awal dan batas akhir manometer
- $\Delta y$  : Selisih perubahan *kerosene* dari batas awal dan akhir
- $\emptyset$  : kemiringan manometer V
- P atm : Selang terbuka ke atmosfer
- P stat : Selang terhubung dengan

Spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Kerosene* ( $SG_{kerosene} = 0,827$ )
- Kemiringan ( $\emptyset$ ) :  $15^\circ$

### 3.3. Analisa Dimensi Parameter - Parameter yang Dianalisa

Analisa dimensi dibutuhkan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari suatu parameter terhadap suatu eksperimen. Parameter-parameter yang saling berhubungan ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Pi Theorem*. Pada skema penelitian seperti pada gambar 3.1 dan gambar 3.2 menjelaskan parameter-parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik aliran sepanjang *downstream straight duct*. Parameter – parameter tersebut antara lain :

$\Delta p$ : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m <sup>2</sup> )	$\mu$ : viskositas absolut fluida (kg/(m.s))
$\rho$ : massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )	$U$ : kecepatan local (m/s)
$U_{ref}$ : kecepatan <i>freestream</i> di inlet upstream straight channel (m/s)	$g$ : gap ADB dengan dinding square duct
$R_i$ : inner radius elbow 90° (m)	$R_o$ : outer radius elbow 90° (m)
$L_i$ : panjang upstream straight channel (m)	$L_o$ : panjang downstream straight channel (m)
$D_h$ : diameter hidrolis saluran (m)	$Y$ : aliran searah sumbu koordinat y
$Z$ : aliran searah sumbu koordinat z	$\alpha$ : angle of attack airfoil
$X$ : aliran searah sumbu koordinat x	$c$ : Panjang chord line airfoil
$l$ : jarak ADB dari sisi inner elbow	$R_c$ : centerline radius elbow 90° (m)

Sedangkan untuk kecepatan *freestream* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$P_{dinamis} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h \dots \dots \dots (3.4)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot (U_{\text{ref}})^2 = SG_{\text{kerosene}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot 2 \cdot \Delta y \sin 15^\circ \dots (3.5)$$

$$U_{\text{ref}} = \sqrt{\frac{4 \cdot SG_{\text{kerosene}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{\text{udara}}}} \dots \dots \dots (3.6)$$

- dimana :
- $P_{\text{dinamis}}$  : ( $P_{\text{stagnasi}} - P_{\text{statis}}$ ) tekanan dinamis diukur dengan *pitot tube* ( $\text{N/m}^2$ )
  - $P_{\text{kerosene}}$  : massa jenis *kerosene* pada  $28^\circ\text{C}$  ( $\text{kg/m}^3$ )
  - $\rho_{\text{udara}}$  : massa jenis udara pada  $28^\circ\text{C}$  ( $\text{kg/m}^3$ )
  - $G$  : percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )
  - $\Delta h$  : perbedaan fluida pada manometer (m)
  - $U_{\text{ref}}$  : kecepatan freestream pada *inlet upstream* (m/s)
  - $SG_{\text{kerosene}}$  : *specific Gravity kerosene* pada  $28^\circ\text{C}$
  - $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  : massa jenis air pada  $28^\circ\text{C}$  ( $\text{kg/m}^3$ )

### 3.3.1. Analisa Grup Tak Berdimensi untuk *Pressure Drop* pada *Square Ducting*

*Pressure drop* pada *square ducting* diperkirakan dipengaruhi oleh beberapa parameter yang mempengaruhi perbedaan tekanan sehingga dinyatakan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta p = f(\rho, \mu, U_{\text{ref}}, D_h, c, l, R, g, x, y, z, \dots) \dots \dots (3.7)$$

dimana  $\Delta P$  adalah perbedaan tekanan ( $\text{N/m}^2$ )

Menggunakan *Buckingham Pi-theorema* dengan parameter  $\rho$ ,  $U_{\text{ref}}$  dan  $D_h$  diperoleh 9 grup tak dimensi yaitu

- 1  $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U_{\text{ref}}^2}$  : koefisien tekanan
- 2  $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{\text{ref}} D_h}$  : bilangan *Reynolds*
- 3  $\pi_3 = \frac{c}{D_h}$  : perbandingan *chord line ADB* dengan diameter hidrolik

- 4      $\pi_4 = \frac{l}{D_h}$      : perbandingan jarak peletakan *ADB* pada sisi *inner upstream duct* dari *inlet elbow 90°* dengan diameter hidrolik
- 5      $\pi_5 = \frac{R}{D_h}$      : perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
- 6      $\pi_6 = \frac{g}{D_h}$      : perbandingan *gap ADB* dari *inner wall upstream* dengan diameter hidrolik
- 7      $\pi_7 = \frac{x}{D_h}$      : perbandingan *arah aliran sumbu x* dengan diameter hidrolik
- 8      $\pi_8 = \frac{y}{D_h}$      : perbandingan *arah aliran sumbu y* dengan diameter hidrolik
- 9      $\pi_9 = \frac{z}{D_h}$      : perbandingan *arah aliran sumbu z* dengan diameter hidrolik
- 10     $\pi_{10} = \frac{u}{U_{ref}}$     : kecepatan tak berdimensi

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}) \dots (3.8)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{c}{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right) \dots (3.9)$$

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah  $\frac{c}{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}$  sehingga

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}\right) \dots (3.10)$$

dan untuk *pressure drop* tak berdimensi ( $\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2}$ ) pada *square ducting* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_2(Re_{D_h}) \dots (3.11)$$

### 3.3.2. Analisa Grup Tak Berdimensi untuk kecepatan pada *Square Ducting*

*Velocity profile* pada *square ducting* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga kecepatan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$u = f(\rho, \mu, U_{ref}, D_h, c, l, R, g, x, y, z) \dots\dots(3.12)$$

dimana  $u$  adalah kecepatan lokal (m/s)

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}) \dots\dots(3.13)$$

$$\frac{u}{U_{ref}} = f\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{c}{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right) \dots\dots(3.14)$$

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah  $\frac{c}{D_h}$ ,  $\frac{l}{D_h}$ ,  $\frac{R}{D_h}$ ,  $\frac{g}{D_h}$ ,  $\frac{y}{D_h}$ ,  $\frac{z}{D_h}$  sehingga

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{x}{D_h}\right) \dots\dots\dots(3.15)$$

dan untuk kecepatan tak berdimensi ( $\frac{u}{U_{ref}}$ ) pada *square ducting* adalah sebagai berikut :

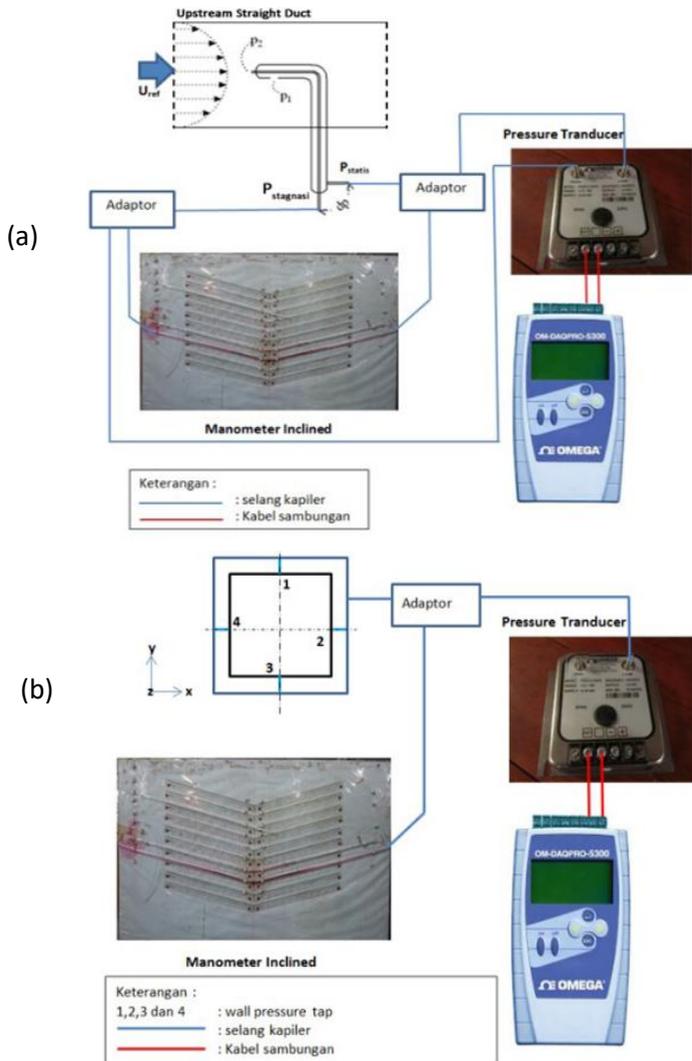
$$\frac{u}{U_{ref}} = f_2\left(Re_{D_h}, \frac{x}{D_h}\right) \dots\dots\dots(3.16)$$

### 3.4. Langkah-Langkah Kalibrasi Tekanan Dinamis dan Tekanan Statis

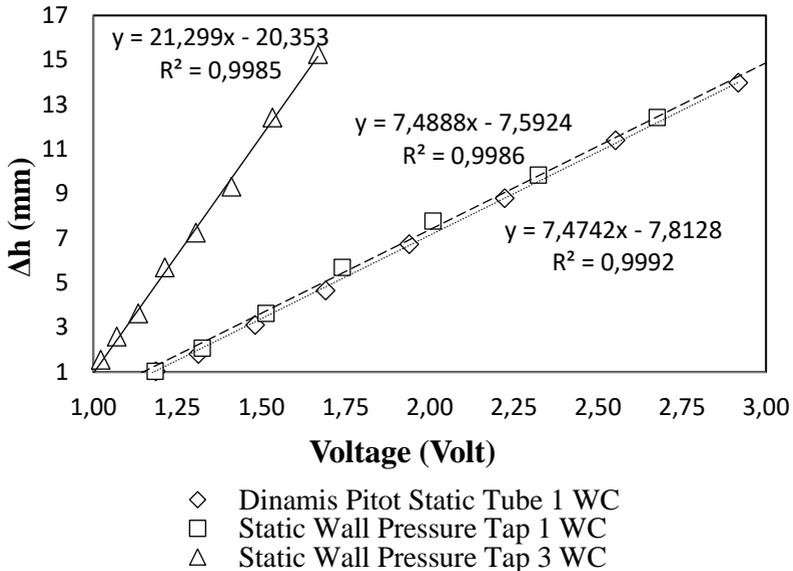
Perlu dilakukan beberapa langkah kalibrasi sebelum melakukan pengambilan data. Skema instalasi alat yang digunakan untuk kalibrasi dapat dilihat pada gambar 3.7. Sedangkan langkah-langkah kalibrasi tersebut antara lain :

1. Pemasangan instalasi tanpa dipasang *inlet disturbance body* untuk keadaan *free stream*.
2. Pemasangan *Pitot static tube* pada dinding saluran udara yang tersambung pada *manometer* dan *transducer* untuk pengukuran tekanan dinamis. Sedangkan untuk pengukuran tekanan statis dilakukan pemasangan *wall pressure tap* pada area *inlet upstream* yang dihubungkan pada *manometer* dan *transducer*.

3. *Inverter* divariasikan dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Data *manometer* dicatat dan data *pressure transduser 1" WC* dicatat untuk tekanan dinamik. Sedangkan untuk tekanan statis data yang dicatat adalah data *manometer* dan data *pressure transduser 3" WC* untuk pengukuran *pressure drop* dan *elbow loss coefficient* atau data *pressure transduser 1" WC* untuk pengukuran *elbow pressure coefficient (Cp)*.
5. Dari *manometer* didapatkan nilai  $\Delta h$  (mm) dan dari data akuisisi didapatkan nilai *Voltage*.
6. Data-data tersebut selanjutnya digunakan untuk membuat grafik  $\Delta h$  *manometer* vs *voltage (Volt)* sehingga dapat diketahui hubungan parameter tersebut dengan sebuah formula.



**Gambar 3. 7** Skema kalibrasi a) tekanan dinamis dan b) tekanan statis



**Gambar 3. 8** Grafik kalibrasi tekanan dinamis dan tekanan statis

### 3.5. Prosedur Pengambilan Data

#### 3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif

Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi tekanan stagnasi dan tekanan statis. Perlu pengukuran suhu ruangan terlebih dahulu sebelum melakukan pengambilan data. Masing-masing pengukuran memiliki prosedur pengambilan data yang berbeda-beda. Prosedur pengambilan data tersebut antara lain:

1. Prosedur pengukuran tekanan dinamis
 

Prosedur dalam pengukuran tekanan dinamis pada penelitian ini antara lain:

  - a) *Test section* dipersiapkan.
  - b) *Pitot tube* dipasang pada posisi yang ingin diukur.
  - c) *Pitot tube* dihubungkan dengan *pressure transducer* dengan menggunakan selang kapiler.

- d) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
  - e) *Voltage* dari *pressure transducer* pada tekanan stagnasi pada dicatat.
  - f) *Blower* dimatikan
  - g) Langkah d sampai f diulangi sampai titik tekanan stagnasi terakhir yang telah ditentukan sebelumnya.
2. Prosedur dalam pengukuran tekanan statis pada penelitian ini antara lain:
- a) *Test section* dipersiapkan.
  - b) *Wall pressure tap* dihubungkan ke *pressure transducer* dengan selang kapiler.
  - c) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
  - d) Data *voltage* dari *pressure transducer* dicatat.
  - e) Selang kapiler *pressure transducer* dilepas dari *wall pressure tap* pertama kemudian dihubungkan dengan selang kapiler untuk *wall pressure tap* pada titik *section* selanjutnya.
  - f) Langkah c) sampai e) diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir pada posisi  $15D_h$  dari *inlet downstream straight duct*.

### 3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Contoh perhitungan yang dibuat meliputi perhitungan bilangan *Reynolds*, kecepatan lokal *elbow*, *minor loss coefficient*, *pressure drop* ( $\Delta p$ ), dan *pressure coefficient*. Dalam menunjang proses perhitungan diperlukan beberapa data awal sebagai berikut:

- Diameter hidrolis ( $D_h$ ) : 125 mm
- Panjang *downstream straight duct* : 2000 mm
- Panjang *upstream straight duct* : 875 mm
- Sudut *inclined manometer* ( $\theta$ ) :  $15^\circ$

- *Specific Gravity kerosene* ( $SG_{kerosene}$ ) : 0,827
- Percepatan Gravitasi ( $g$ ) : 9,81 m/s<sup>2</sup>
- Temperatur ruangan ( $T$ ) : 28°C
- Massa jenis udara pada  $T = 28^\circ\text{C}$  ( $\rho_{ud}$ ) : 1,182 kg/m<sup>3</sup>
- Viskositas kinematis pada  $T = 28^\circ\text{C}$  ( $\nu$ ) :  $1,59 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s
- Massa jenis air pada  $T = 28^\circ\text{C}$  ( $\rho_{H_2O}$ ) : 996,4 kg/m<sup>3</sup>

### 3.5.3. Hasil yang diperoleh

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini antara lain bilangan *Reynolds number*, *loss coefficient minor elbow 90°*, *pressure drop* ( $\Delta p$ ), *pressure coefficient* dan profil kecepatan. Klasifikasi pengambilan data dapat dibedakan sebagai berikut:

- *Pressure drop* antara sisi masuk dan sisi keluar saluran, dan *loss coefficient minor elbow 90°* pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,3 \times 10^4$ .
- *Pressure coefficient elbow 90°* dan *velocity profile* dari *downstream duct* pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s.

Pada penelitian ini *pressure drop* yang dimaksudkan merupakan selisih tekanan *inlet* pada *upstream straight duct* dan tekanan *outlet* pada *downstream straight duct*, hal ini terlihat seperti pada gambar 3.1. Sedangkan untuk *elbow 90°* yang digunakan berpenampang *square*, yang terletak diantara *upstream* dan *downstream duct*. Semakin besar rasio kelengkungan *elbow 90°* akan mengakibatkan *loss coefficient elbow 90°* pada saluran semakin kecil. Selain itu dengan adanya *ADB* pada area *upstream* diharapkan koefisien *losses elbow* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan tanpa *ADB*. Sedangkan perhitungan *pressure coefficient* pada penelitian ini dilakukan pada *elbow 90°*. Perhitungan  $C_p$  dilakukan pada sisi *inner* dan *outer* pada *elbow 90°* tersebut.

Data – data *Reynolds number*, *loss coefficient minor elbow 90°*, *pressure drop* ( $\Delta p$ ), *pressure coefficient* dan profil kecepatan yang diperoleh selanjutnya akan diolah dalam bentuk grafik. Grafik tersebut antara lain sebagai berikut :

- Grafik *pressure drop* ( $\Delta p$ ) terhadap *Reynolds number*
- Grafik *minor loss coefficient* terhadap *Reynolds number*
- Grafik *pressure coefficient* terhadap sudut *elbow*
- Profile kecepatan pada area *downstream*

### 3.6 Langkah - Langkah Penelitian

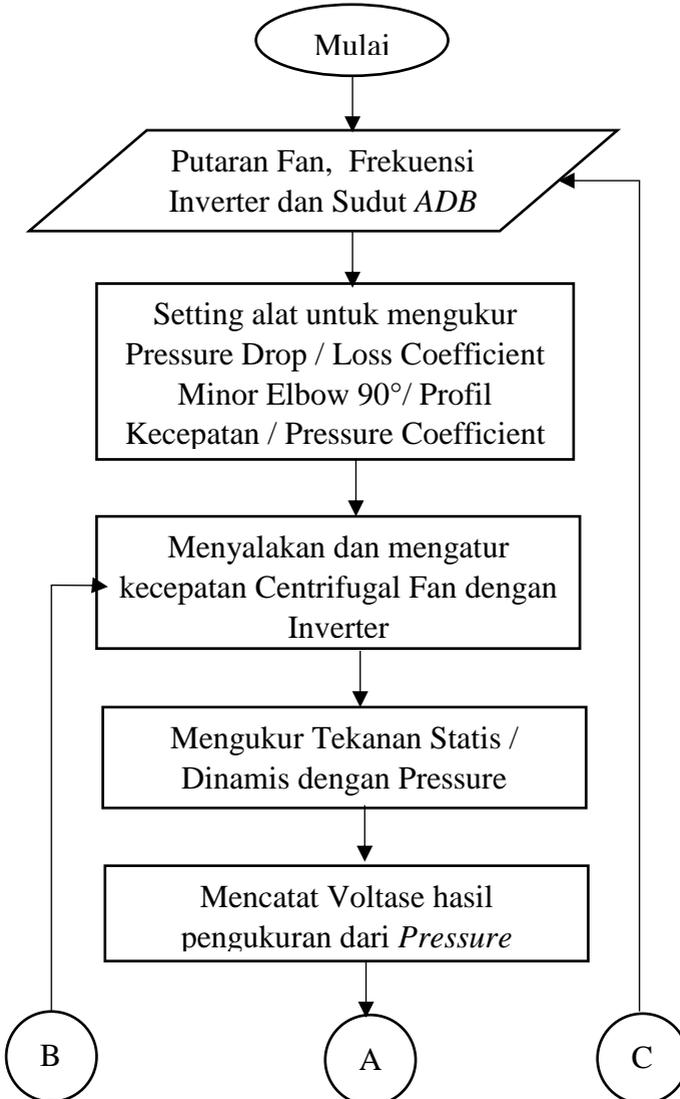
Langkah-langkah penelitian dan pengambilan data terlihat pada table 3.1. , antara lain sebagai berikut:

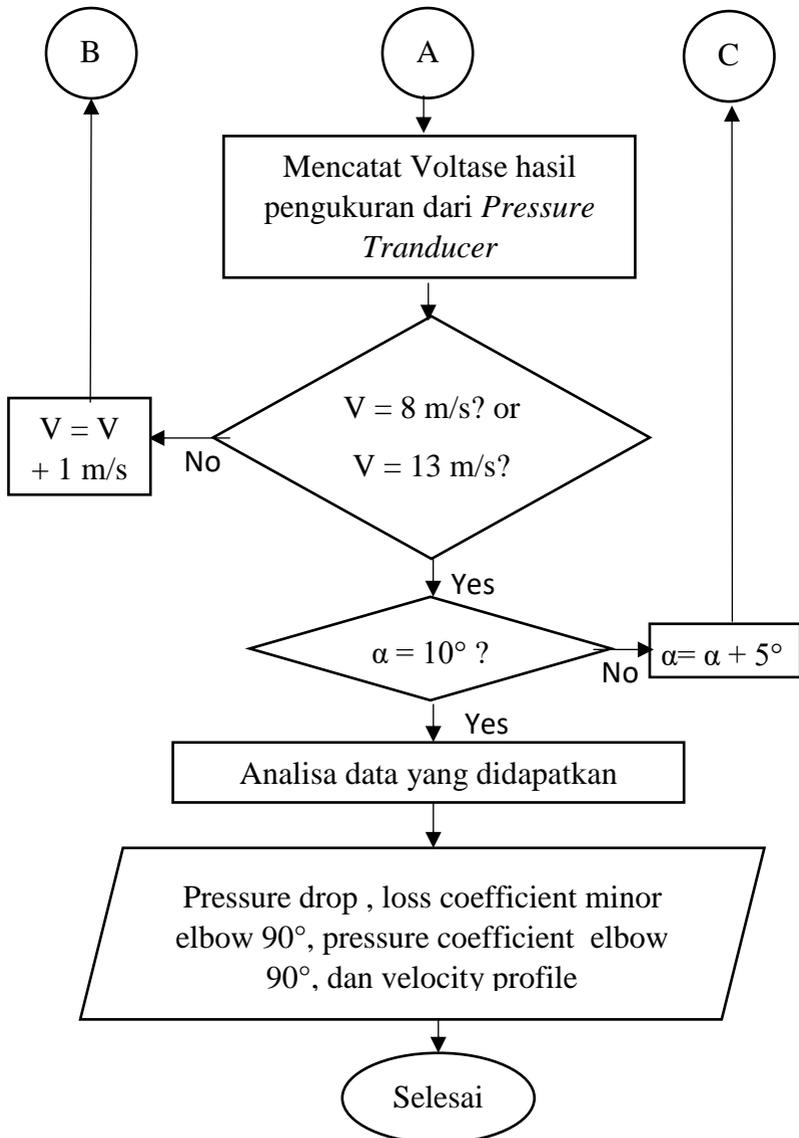
**Tabel 3. 1** Urutan Langkah Pengambilan Data

No.	Pressure Drop	Profil Kecepatan
1.	Peralatan disiapkan sesuai dengan instalasi penelitian	Peralatan disiapkan sesuai dengan instalasi penelitian
2.	<i>Airfoil Disturbance Body</i> dipasang dengan <i>angle of attack</i> $0^\circ$	<i>Airfoil Disturbance Body</i> dipasang dengan <i>angle of attack</i> $0^\circ$
3.	<i>Induced Draft Fan</i> dinyalakan	<i>Induced Draft Fan</i> dinyalakan
4.	Kecepatan <i>inlet</i> diatur pada kecepatan 3 m/s sampai 13 m/s dengan variasi <i>Reynolds number</i> $2,38 \times 10^4 < Re < 10,3 \times 10^4$ .	Kecepatan <i>inlet</i> diatur pada kecepatan 8 m/s dengan <i>Reynolds number</i> ( <i>Re</i> ) $6,36 \times 10^4$ .
5.	<i>Pressure Drop</i> dihitung dari tekanan statis <i>wall pressure tap</i> pada posisi $P_{inlet}$ dan $P_{outlet}$	Profil kecepatan dihitung dari tekanan dinamis dengan <i>pitot tube</i> pada 7 <i>sections</i> sepanjang <i>downstream</i>
6.	Data dievaluasi untuk mendapatkan grafik <i>pressure drop vs Re<sub>Dh</sub></i>	Data dievaluasi untuk mendapatkan grafik profil kecepatan pada setiap <i>section</i>
7.	Langkah 2 sampai 6 diulangi dengan variasi <i>angle of attack Airfoil Disturbance Body</i> sebesar $5^\circ$ , $10^\circ$ dan tanpa <i>ADB</i>	Langkah 2 sampai 6 diulangi dengan variasi <i>angle of attack Airfoil Disturbance Body</i> sebesar $5^\circ$ , $10^\circ$ dan tanpa <i>ADB</i>

### 3.7. Flowchart Penelitian

Gambar 3.9. dibawah ini merupakan *flowchart* dari langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan.





**Gambar 3. 9** *Flowchart* penelitian

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan grafik dan analisa karakteristik aliran yang melewati *square duct* dan *elbow 90°* dengan tanpa penambahan *body* pengganggu dan dengan penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* pada pada posisi tetap di area *upstream*, dengan tinggi 125 mm dan panjang *chord line* 30 mm. *ADB yang digunakan* memiliki variasi *angle of attack* 0°, 5° dan 10°. Hasil studi yang akan ditampilkan dan dibahas meliputi *pressure drop* antara sisi masuk dan sisi keluar saluran, dan *koefisien minor losses elbow 90°* pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,3 \times 10^4$ . Serta *pressure coefficient elbow 90°* dan *velocity profile* dari *downstream duct* pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s.

### 4.1. Koefisien *Minor Losses Elbow 90°*

Eksperimen ini menggunakan saluran udara berbentuk *square duct* dan *square elbow 90°* dengan ditambahkan *ADB* pada jarak  $l = 0,3 D_h$  dari *inlet elbow 90°* dan *gap*  $\pm 7$  mm dari *inner wall upstream duct*. Pemasangan *ADB* ini memberikan dampak pada nilai *koefisien minor losses elbow 90°*. *Koefisien minor losses elbow 90°* merupakan nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor* yang ada akibat dari pemasangan *ADB* dan pemasangan sebuah *elbow 90°* pada sebuah saluran udara. Nilai dari *koefisien minor losses elbow 90°* didapatkan melalui perbedaan tekanan dari pemasangan *wall pressure tap* pada *inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°*. Posisi *inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°* dapat dilihat pada gambar 3.2. Area bernomer 5 merupakan tempat *wall pressure tap inlet elbow 90°* dan area bernomer 24 merupakan tempat *wall pressure tap outlet elbow 90°*

Berdasarkan hasil eksperimen didapatkan tabel 4.1 yaitu tabel nilai *koefisien minor losses elbow 90°* pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,3 \times 10^4$  atau pada kecepatan udara 3 m/s

sampai 13 m/s. Berikut ini merupakan tabel *koefisien minor losses elbow 90°* :

**Tabel 4. 1** Koefisien *minor losses*

<b>Re x 10<sup>-4</sup></b>	<b>VARIASI</b>			
	<b>Tanpa ADB</b>	<b>ADB <math>\alpha = 0^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 5^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 10^\circ</math></b>
2,38	0,191	0,177	0,126	0,114
3,18	0,200	0,212	0,167	0,189
3,97	0,198	0,240	0,184	0,288
4,77	0,186	0,224	0,206	0,323
5,56	0,182	0,220	0,211	0,252
6,36	0,178	0,216	0,207	0,211
7,15	0,173	0,207	0,203	0,221
7,95	0,166	0,208	0,202	0,213
8,74	0,162	0,207	0,201	0,212
9,54	0,164	0,197	0,198	0,213
10,33	0,164	0,202	0,203	0,211
<b>AVERAGE</b>	0,179	0,210	0,192	0,222

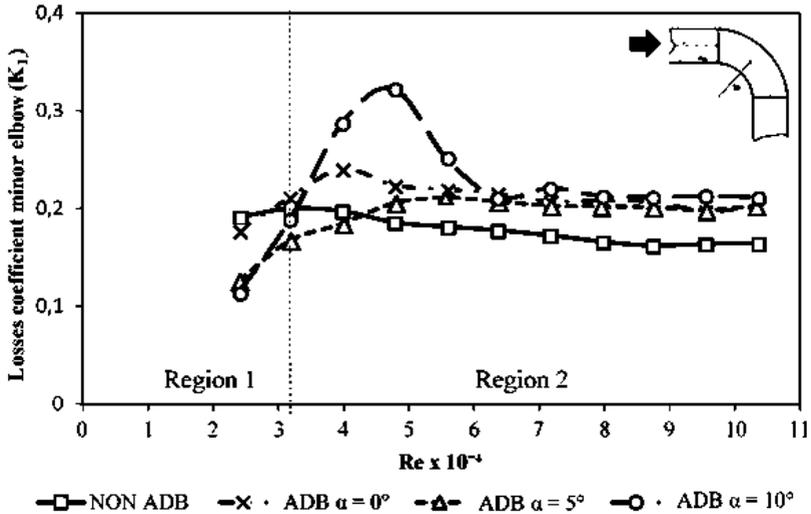
Pada eksperimen ini menggunakan saluran udara yang terbuat dari akrilik dimana berdasarkan **Fox et al (2011)** memiliki kekasaran permukaan atau *surface roughness* yang dapat digolongkan pada kategori *smooth* atau  $\epsilon = 0$ . Hubungan antara nilai *koefisien minor losses*, *roughness* dan *Reynolds number* dapat dilihat pada gambar 2.2. Pada gambar 2.2 dapat dilihat pada jenis *duct* dengan kekasaran permukaan *smooth* dengan  $R/D_h = 2$  memiliki nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) kurang dari 0,2. Berdasarkan hasil eksperimen, rata-rata didapatkan nilai  $K_L$  lebih kecil dari pada 0,2. Dimana pada saluran tanpa ADB memiliki rata-rata nilai  $K_L$  sebesar 0,179. Sedangkan saluran dengan adanya penambahan ADB pada variasi *angle of attack*  $0^\circ$  memiliki nilai

$K_L$  sebesar 0,21 , pada variasi *angle of attack*  $5^\circ$  memiliki nilai  $K_L$  sebesar 0,19, dan pada variasi *angle of attack*  $10^\circ$  memiliki nilai  $K_L$  sebesar 0,22.

Berdasarkan referensi pada gambar 2.2, nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) pada saluran tanpa *ADB* telah sesuai dengan referensi yaitu lebih kecil dari 0,2. Namun nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) ini jika dilihat berdasarkan referensi dari tabel 2.1, nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) yang ada kurang sesuai. Pada tabel 2.1 untuk sambungan *elbow*  $90^\circ$  memiliki nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) sebesar 1,5 , sedangkan pada saluran tanpa *ADB* memiliki rata-rata nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) sebesar 0,179 dengan nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) terendah sebesar 0,162. Jika dilihat berdasarkan referensi pada tabel 2.1 nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) cenderung lebih besar dari pada nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) dari referensi tabel 2.1 , hal ini dapat dikarenakan kekasaran permukaan dari saluran yang meningkat. Bertambahnya kekasaran permukaan pada saluran diakibatkan oleh seringnya peralatan ini dipakai dan adanya banyak lubang yang ditutup dengan selotip. Hal ini menyebabkan kekasaran permukaan berbeda dengan saat awal pembuatan peralatan atau dengan kata lain kekasaran permukaannya tidak lagi *smooth*.

Selain itu berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat bahwa dengan penambahan *ADB* pada *upstream duct* menghasilkan nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) pada *elbow* lebih besar dibandingkan dengan tanpa adanya *ADB*. Nilai  $K_L$  pada saluran tanpa *ADB* mengalami kenaikan pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $3,18 \times 10^4$  dan selanjutnya mengalami penurunan nilai  $K_L$  sampai pada *Reynolds number*  $10,3 \times 10^4$ . Sedangkan saluran yang memiliki penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  memiliki nilai  $K_L = 0,177$ , lebih rendah dari pada nilai  $K_L$  pada saluran tanpa *ADB*. Namun saluran yang memiliki penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  mengalami kenaikan nilai  $K_L$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $3,97 \times 10^4$  dengan nilai  $K_L$  tertinggi sebesar 0,24, selanjutnya mengalami

penurunan nilai  $K_L$  sampai dengan *Reynolds number*  $10,3 \times 10^4$  dengan nilai  $K_L$  terendah sebesar 0,2.



**Gambar 4. 1** Koefisien *minor losses elbow* 90° pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,3 \times 10^4$

Selanjutnya pada saluran yang memiliki penambahan *ADB* dengan *angle of attack* 5° mengalami kenaikan nilai  $K_L$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $5,56 \times 10^4$  dengan nilai  $K_L$  tertinggi sebesar 0,211 , kemudian mengalami penurunan nilai  $K_L$  sampai dengan *Reynolds number*  $10,3 \times 10^4$  dengan nilai  $K_L$  terendah sebesar 0,2. Hal yang sama juga berlaku pada saluran yang memiliki penambahan *ADB* dengan *angle of attack* 10° mengalami kenaikan nilai  $K_L$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $4,77 \times 10^4$  dengan nilai  $K_L$  tertinggi sebesar 0,32, dan selanjutnya mengalami penurunan nilai  $K_L$  sampai dengan *Reynolds number*  $10,3 \times 10^4$  dengan nilai  $K_L$  terendah sebesar 0,21.

Pada tabel 4.1 atau pada gambar 4.1 terlihat adanya penurunan  $K_L$  elbow pada saluran dengan penambahan *ADB* pada variasi nilai *Reynolds number* tertentu yaitu pada  $Re = 2,38 \times 10^4$  untuk saluran dengan *angle of attack* 0°, pada  $Re = 2,38 \times 10^4$  -

$3,97 \times 10^4$  untuk saluran dengan *angle of attack*  $5^\circ$  dan pada  $Re = 2,38 \times 10^4 - 3,18 \times 10^4$  untuk saluran dengan *angle of attack*  $10^\circ$ . Pada variasi *Reynolds number* tersebut menyebabkan nilai  $K_L$  elbow pada saluran dengan penambahan ADB lebih kecil dibandingkan dengan saluran tanpa ADB. Penurunan nilai  $K_L$  elbow ini menyebabkan penurunan nilai *pressure drop* pada variasi *Reynolds number* tersebut.

Namun ketika *Reynolds number* pada saluran dengan penambahan ADB yang memiliki *angle of attack*  $0^\circ$  dan  $10^\circ$  dinaikan sampai  $3,18 \times 10^4$ , aliran yang tersparasi pada *inner elbow* semakin besar karena titik sparasi pada ADB lebih menuju area *leading edge*. Aliran yang tersparasi dari ADB ini tidak dapat menempel pada *inner wall elbow* sehingga menyebabkan *secondary flow* pada area *inner wall elbow* semakin besar. Semakin meningkatnya area *secondary flow* atau *blockage area* menyebabkan area *effective flow* semakin sempit. *Secondary flow* pada elbow terjadi pada dua bagian yaitu bagian *inner wall* dan bagian *outer wall*. Pada gambar 4.3 atau pada grafik  $C_p$  terlihat terjadinya dua *secondary flow* pada area elbow dimana pada area *outer wall* sparasi aliran dari *outer wall* terlihat pada area dekat *inlet elbow* dan mengalami *reattachment* pada *outer wall* sebelum aliran fluida keluar dari elbow. Sedangkan *secondary flow* pada *inner wall* terjadi pada area belokan sebelum keluaran elbow. Namun penambahan ADB ini menyebabkan perubahan pola *secondary flow inner wall*.

Ketika area *effective flow* semakin kecil menyebabkan meningkatnya *pressure drop* pada elbow. Saluran dengan penambahan ADB yang memiliki *angle of attack*  $0^\circ$  pada *Reynolds number*  $3,97 \times 10^4$  dan  $10^\circ$  pada *Reynolds number*  $4,77 \times 10^4$  merupakan kondisi nilai  $K_L$  maksimal. Sedangkan pada saluran dengan penambahan ADB yang memiliki *angle of attack*  $5^\circ$  mengalami kenaikan nilai  $K_L$  sampai *Reynolds number*  $5,56 \times 10^4$  dan pada *Reynolds number* tersebut nilai  $K_L$  yang terjadi maksimal.

Selanjutnya semakin naiknya *Reynolds number* nilai  $K_L$  mulai menurun karena titik sparasi ADB menuju ke *trailing edge*.

Hal ini mengakibatkan area yang tersparasi dari *ADB* lebih kecil, sehingga *blockage area* pada *inner wall elbow* sedikit berkurang. Namun semakin meningkatnya *Reynolds number* nilai  $K_L$  tidak mengalami penurunan kembali, namun lebih cenderung konstan. Hal ini terjadi pada *Reynolds number*  $7,95 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$ . Penyebab nilai  $K_L$  cenderung konstan yaitu titik sparasi pada *ADB* dalam kondisi tetap sehingga aliran yang tersparasi cenderung konstan meskipun *Reynolds number* meningkat. Ketika besarnya aliran yang tersparasi dari *ADB* konstan maka menyebabkan *blockage area* pada *elbow* yang terjadi juga relative konstan. Namun meskipun pada saluran dengan *ADB* mengalami penurunan nilai  $K_L$ , tetap tidak menguntungkan karena nilai  $K_L$  yang ada lebih tinggi dari pada nilai  $K_L$  pada saluran tanpa *ADB*. Jadi semakin meningkatkan *Reynolds number*, cenderung tidak mempengaruhi besarnya aliran yang tersparasi dari *ADB*. Sehingga *secondary flow* yang timbul pada *inner wall elbow* cenderung konstan pada *Reynolds number* tinggi. Selain itu penyebab lain dari nilai  $K_L$  konstan yaitu semakin besar nilai *Reynolds number* maka *friction loss* yang terjadi relative lebih kecil, sehingga mengakibatkan tidak adanya perubahan nilai  $K_L$ .

Untuk lebih mempermudah pemahaman mengenai efek dari penambahan *ADB* pada nilai *koefisien minor losses elbow* maka pada gambar 4.1 dibagi menjadi dua region. Region 1 merupakan kondisi dimana dengan penambahan *ADB* maka mengakibatkan penurunan nilai *koefisien minor losses elbow*. Region 2 merupakan kondisi dimana dengan penambahan *ADB* mengakibatkan nilai *koefisien minor losses elbow* meningkat. Penambahan *ADB* pada kondisi *Reynolds number* tinggi menyebabkan *secondary flow* yang cukup besar pada *elbow* sehingga nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) lebih tinggi dibandingkan dengan saluran tanpa *ADB*. Nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) lebih tinggi ini menyebabkan nilai *pressure drop* yang ada juga lebih tinggi dibandingkan saluran tanpa *ADB*. Sehingga penambahan *ADB* pada kondisi *Reynolds number* tinggi tidak disarankan dilakukan kembali karena merugikan.

#### 4.2. Pressure Drop sisi masuk dan sisi keluar saluran Square Duct dan Square Elbow 90°

*Pressure drop* merupakan penurunan tekanan dari satu titik ke titik lain akibat dari gaya gesek atau gaya yang menghambat aliran fluida pada suatu saluran. Pada eksperimen ini, *pressure drop* yang dimaksud adalah perbedaan tekanan dari *wall pressure tap* pada sisi masuk saluran dan sisi keluar saluran dengan variasi tanpa ADB dan adanya penambahan ADB dengan *angle of attack* 0°, 5° serta 10°. *Wall pressure tap* sisi masuk saluran dapat dilihat pada gambar 3.2 area bernomer 1 sedangkan sisi keluar saluran dapat dilihat pada gambar 3.2 area bernomer 52. Nilai *pressure drop* yang didapatkan dari eksperimen ini dapat dilihat pada gambar 4.2 atau pada tabel 4.2. Berikut ini adalah tabel *pressure drop* sisi masuk dan sisi keluar *duct*.

**Tabel 4. 2** *Pressure drop* sisi masuk dan sisi keluar *duct*

<b>Re x 10<sup>-4</sup></b>	<b>VARIASI</b>			
	<b>Tanpa ADB</b>	<b>ADB <math>\alpha = 0^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 5^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 10^\circ</math></b>
2,38	3,63	4,87	3,86	4,14
3,18	6,95	7,95	7,01	8,15
3,97	10,88	12,24	10,07	13,07
4,77	14,88	15,37	14,80	16,85
5,56	19,10	19,50	19,52	20,69
6,36	23,55	24,23	24,13	25,11
7,15	28,47	29,16	29,38	31,82
7,95	34,47	35,40	35,67	38,61
8,74	41,06	42,30	42,44	45,22
9,54	47,48	48,84	48,86	51,84
10,33	55,17	57,35	58,60	59,92

Pada gambar 4.2 terlihat saluran yang memiliki *ADB* dengan variasi *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  serta  $10^\circ$  memiliki nilai *pressure drop* lebih besar dari pada saluran tanpa adanya *ADB*. Pada saluran tanpa *ADB* memiliki *trendline grafik* yang terus meningkat mulai dari *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  dengan nilai *pressure drop* tertinggi sebesar  $55,17 \text{ N/m}^2$ . Saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  memiliki *trendline grafik* yang terus meningkat mulai dari *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  dengan nilai *pressure drop* tertinggi sebesar  $57,35 \text{ N/m}^2$ . Selanjutnya saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  memiliki *trendline grafik* yang terus meningkat mulai dari *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  dengan nilai *pressure drop* tertinggi sebesar  $58,6 \text{ N/m}^2$ . Dan untuk saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  memiliki *trendline grafik* yang terus meningkat mulai dari *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  dengan nilai *pressure drop* tertinggi sebesar  $59,92 \text{ N/m}^2$ . Berdasarkan gambar 4.2 dapat dilihat bahwa *trendline grafik pressure drop* dari saluran yang memiliki *ADB* dengan variasi *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  serta  $10^\circ$  lebih besar dari pada saluran tanpa adanya *ADB*. Saluran tanpa *ADB* memiliki nilai *pressure drop* paling kecil dari pada variasi lainnya. Sedangkan yang memiliki nilai *pressure drop* tertinggi adalah saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$ .

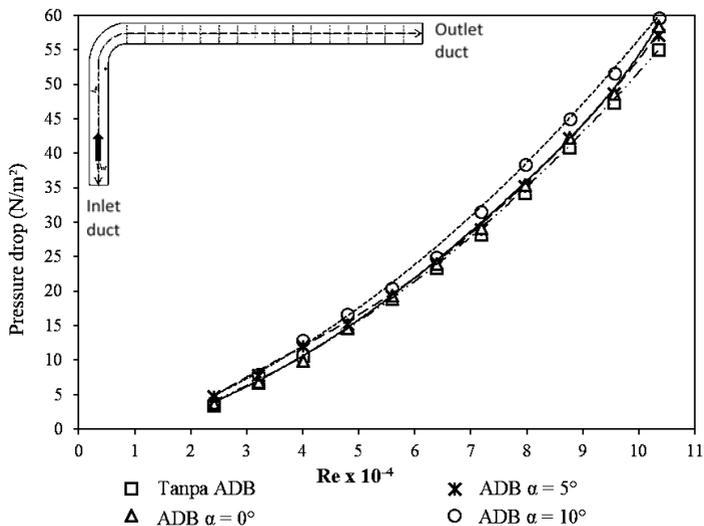
Nilai *pressure drop* yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya *Reynolds number* menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan suatu fluida menyebabkan nilai *pressure drop* meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh *headloss* yang semakin besar, sesuai dengan persamaan berikut :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{V^2}{2} \times \left( f \frac{L_{upstream}}{D_h} + f \frac{L_{downstream}}{D_h} + K_L \text{ elbow} \right) \dots (4.1)$$

*Headloss* disini merupakan kerugian yang ditimbulkan akibat adanya gesekan yang terjadi sepanjang *upstream* dan *downstream duct* serta *koefisien minor losses* pada *elbow*.

Pada eksperimen ini menggunakan saluran udara yang terbuat dari akrilik dimana kekasaran permukaan atau *roughness* bisa digolongkan *smooth* atau  $\epsilon = 0$ . Hubungan nilai *roughness* dan

Reynolds number dapat dilihat melalui moody chart. Berdasarkan moody chart pada lampiran gambar 1, dapat dilihat pada tipe duct yang memiliki kekasaran smooth semakin tinggi Reynolds number mengakibatkan nilai friction factor semakin menurun. Sehingga pada Reynolds number tinggi, gaya gesek yang terjadi semakin kecil. Namun hal ini tidak berlaku pada saluran dengan penambahan ADB. ADB yang dipakai pada eksperimen ini terbuat dari bahan kayu yang memiliki kekasaran permukaan /  $\epsilon = 0,18$ . Pengaruh dari kenaikan Reynolds number pada permukaan ADB adalah semakin besar Reynolds number maka friction factor yang ada cenderung menurun kemudian konstan, seperti pada Moody diagram pada lampiran gambar 1. Namun penurunan friction factor ini tidak sebesar penurunan friction factor pada saluran berbahan akrilik. Sehingga pada saluran dengan penambahan ADB pada upstream duct memiliki nilai friction factor lebih besar dari pada saluran tanpa penambahan ADB. Dimana friction factor pada upstream duct dari saluran dengan penambahan ADB terdiri dari friction factor dari bahan ducting (akrilik) dan bahan ADB (kayu).



**Gambar 4. 2** Pressure drop sisi masuk dan sisi keluar saluran pada Reynolds number  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,3 \times 10^4$

Selain itu berdasarkan gambar 4.1 nilai  $K_L$  elbow memiliki nilai lebih besar dari pada seharusnya. Dimana pada saluran tanpa *ADB* memiliki rata-rata nilai  $K_L$  sebesar 0,1786. Sedangkan saluran dengan adanya penambahan *ADB* pada variasi *angle of attack*  $0^\circ$  memiliki nilai  $K_L$  sebesar 0,21, pada variasi *angle of attack*  $5^\circ$  memiliki nilai  $K_L$  sebesar 0,19, dan pada variasi *angle of attack*  $10^\circ$  memiliki nilai  $K_L$  sebesar 0,22. Namun pada *Reynolds number*  $7,95 \times 10^4$  atau pada kecepatan 10 m/s nilai  $K_L$  cenderung konstan pada setiap variasi.

Saluran dengan penambahan *ADB* memiliki nilai  $K_L$  yang lebih besar dari pada saluran tanpa *ADB* karena aliran yang tersparasi dari *ADB* tidak mengalami *re-attachment* pada *inner elbow* dan membuat *blockage area* atau *recirculation zone* semakin besar. Nilai  $K_L$  dan nilai *friction factor* pada saluran dengan penambahan *ADB* lebih besar dari pada saluran tanpa adanya *ADB* dapat dilihat pada tabel 4.1. Hal inilah yang menyebabkan nilai *headloss* pada saluran dengan penambahan *ADB* lebih besar dari pada saluran tanpa adanya *ADB*. Semakin besarnya nilai *headloss* pada saluran dengan adanya penambahan *ADB* menyebabkan *pressure drop* yang terjadi juga lebih besar dari pada *pressure drop* pada saluran tanpa adanya *ADB*. *Pressure drop* pada elbow dapat dilihat pada tabel 4.4 dimana semakin besar *Reynolds number* maka mengakibatkan nilai  $K_L$  semakin besar dan menyebabkan *pressure drop* semakin besar pula.

**Tabel 4. 3** *Pressure drop pada area upstream duct*

<b>Re x 10<sup>-4</sup></b>	<b>VARIASI</b>			
	<b>Tanpa ADB</b>	<b>ADB <math>\alpha = 0^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 5^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 10^\circ</math></b>
2,38	0,90	1,86	1,48	1,72
3,18	1,97	2,71	2,53	3,05
3,97	3,32	3,86	3,44	4,33
4,77	4,92	4,69	4,68	5,41
5,56	6,12	5,75	5,93	6,42
6,36	7,15	6,91	7,15	7,55
7,15	8,46	7,90	8,46	9,12
7,95	10,32	9,31	10,32	11,09
8,74	12,47	11,09	12,27	12,70
9,54	14,57	13,20	13,68	14,11
10,33	16,78	15,59	16,56	16,04

**Tabel 4. 4** *Pressure drop pada area elbow*

<b>Re x 10<sup>-4</sup></b>	<b>VARIASI</b>			
	<b>Tanpa ADB</b>	<b>ADB <math>\alpha = 0^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 5^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 10^\circ</math></b>
2,38	1,01	0,93	0,66	0,60
3,18	1,88	1,98	1,57	1,77
3,97	2,90	3,52	2,70	4,22
4,77	3,93	4,72	4,34	6,81
5,56	5,22	6,31	6,06	7,24
6,36	6,68	8,10	7,78	7,92
7,15	8,21	9,85	9,64	10,49
7,95	9,74	12,19	11,85	12,47
8,74	11,50	14,68	14,29	15,04
9,54	13,84	16,66	16,74	17,99
10,33	16,30	19,97	20,09	20,94

**Tabel 4. 5** *Pressure drop* pada area *downstream duct*

<b>Re x 10<sup>-4</sup></b>	<b>VARIASI</b>			
	<b>Tanpa ADB</b>	<b>ADB <math>\alpha = 0^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 5^\circ</math></b>	<b>ADB <math>\alpha = 10^\circ</math></b>
2,38	1,72	2,08	1,72	1,83
3,18	3,10	3,26	2,91	3,32
3,97	4,66	4,86	3,93	4,53
4,77	6,04	5,96	5,78	4,64
5,56	7,76	7,44	7,53	7,02
6,36	9,72	9,22	9,20	9,64
7,15	11,79	11,41	11,28	12,21
7,95	14,41	13,91	13,50	15,05
8,74	17,09	16,53	15,87	17,48
9,54	19,07	18,98	18,44	19,73
10,33	22,10	21,79	21,95	22,94

Pada eksperimen ini saluran dengan penambahan *ADB* tidak disarankan dilakukan karena menyebabkan *pressure drop* sisi masuk dan sisi keluar saluran memiliki nilai yang lebih besar dari pada saluran tanpa *ADB* seperti yang terlihat pada tabel 4.2. Namun apabila nilai *pressure drop* ditinjau setiap *section* yang ada, maka dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan *ADB* dapat menyebabkan penurunan *pressure drop*. *Section* yang akan ditinjau antara lain area *upstream*, *elbow* dan *downstream*. Penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  dan  $5^\circ$  pada *Reynolds number*  $4,77 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  menyebabkan penurunan *pressure drop* pada area *upstream duct*. Sedangkan untuk penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  pada *Reynolds number*  $9,54 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  menyebabkan penurunan *pressure drop* pada area *upstream duct* seperti yang terlihat pada tabel 4.3.

Penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  menyebabkan penurunan *pressure drop* pada area *elbow*. Penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$

pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $3,97 \times 10^4$  dan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $3,18 \times 10^4$  juga dapat menyebabkan penurunan *pressure drop* pada area *elbow* seperti yang terlihat pada tabel 4.4. Penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  pada *Reynolds number*  $4,77 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  menyebabkan penurunan *pressure drop* pada area *downstream duct*. Penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,33 \times 10^4$  dan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  pada *Reynolds number*  $3,97 \times 10^4$  sampai  $6,36 \times 10^4$  juga dapat menyebabkan penurunan *pressure drop* pada area *downstream duct* seperti yang terlihat pada tabel 4.5. Dengan kata lain penambahan *ADB* dapat menyebabkan penurunan *pressure drop* pada section dan *Reynolds number* tertentu saja. Namun apabila dilihat secara keseluruhan penambahan *ADB* menyebabkan *pressure drop* pada sisi masuk dan sisi keluar saluran lebih besar daripada saluran tanpa *ADB* seperti yang terlihat pada tabel 4.2 atau gambar 4.2.

#### **4.3. Pressure Coefficient pada dinding Elbow $90^\circ$**

Pada eksperimen ini menggunakan *square elbow*  $90^\circ$  dengan  $R/D = 2$  dengan *wall pressure tap* sebanyak 19 pada sudut  $0^\circ$  sampai  $90^\circ$  dengan kenaikan sudut  $5^\circ$ . Eksperimen ini dilakukan pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s dengan variasi saluran tanpa *ADB* serta saluran yang memiliki *ADB* dengan variasi *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ . Berdasarkan gambar 4.3 dapat dilihat nilai *pressure coefficient* antara saluran tanpa *ADB* serta saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  dan  $5^\circ$  memiliki selisih nilai *pressure coefficient* cukup kecil terhadap saluran tanpa *ADB*. Sedangkan untuk saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  memiliki nilai *pressure coefficient* lebih kecil dari pada variasi lainnya.

Berdasarkan persamaan 2.7, salah satu faktor nilai *pressure coefficient* adalah perbandingan tekanan lokal dan tekanan *fresstream*. Berdasarkan hasil eksperimen didapatkan nilai

*pressure coefficient* ( $C_p$ ) dari *outer wall elbow* cenderung bernilai positif sedangkan nilai *pressure coefficient* ( $C_p$ ) dari *inner wall elbow* cenderung bernilai negatif. Kurva bagian atas pada gambar 4.3 menunjukkan nilai  $C_p$  pada *outer wall* dan kurva bagian bawah menunjukkan nilai  $C_p$  pada *inner wall*. Nilai  $C_p$  negative menunjukkan bahwa area *inner wall elbow* memiliki nilai tekanan lokal lebih kecil dari pada tekanan *freestream*. Hal ini menunjukkan bahwa pada area *inner wall* memiliki kecepatan fluida yang relative lebih tinggi dari pada *freestream*. Sedangkan pada area *outer wall*, nilai  $C_p$  positif menunjukkan bahwa nilai tekanan lokal pada area *outer wall* lebih besar dari pada tekanan *freestream*. Dimana hal ini menunjukkan bahwa kecepatan fluida pada area *outer wall* lebih rendah dari pada kecepatan *freestream*.

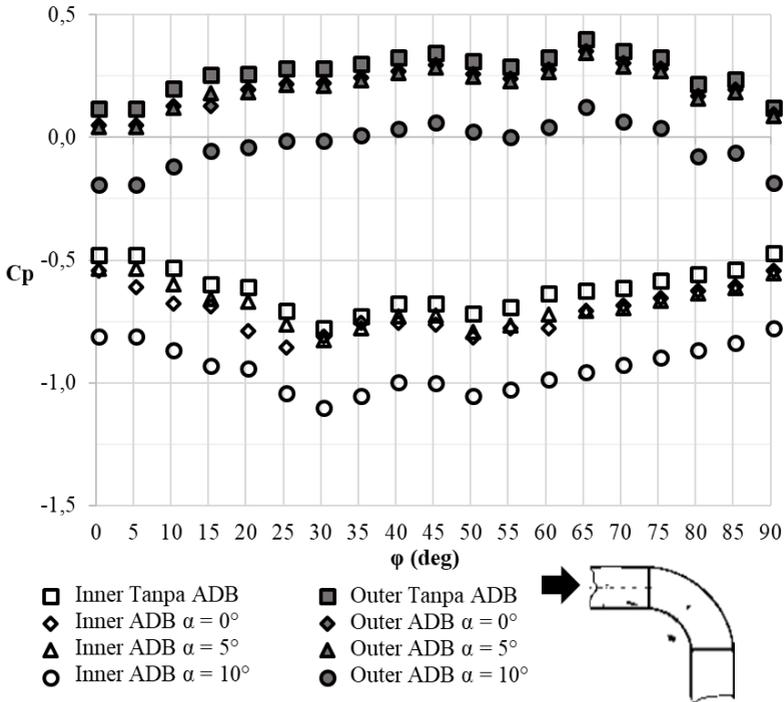
Pada saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  pada sudut *elbow*  $30^\circ$  memiliki nilai  $C_p$  *outer wall* berkisar pada nilai 0 sedangkan untuk nilai  $C_p$  *inner wall* berkisar pada nilai -1,1. Hal ini menunjukkan pada sudut *elbow*  $30^\circ$  area *outer wall* memiliki kecepatan lebih rendah dari pada area *inner wall*. Perbedaan kecepatan ini menunjukkan bahwa aliran tidak *uniform*. Fenomena ini sesuai dengan teori yang ada di **Miller (1990)** dimana *actual flow* yang melewati *bend* memiliki distribusi energi *non-uniform* dan aliran pada *core* lebih cepat berpindah karena aliran pada bagian *core* harus dibelokkan ke bagian luar *bend*.

Berdasarkan gambar 4.3 terlihat kenaikan nilai  $C_p$  *outer wall* terjadi pada area keluaran *elbow*. Hal ini menunjukkan bahwa pada keluaran *elbow*, area *outer wall* mengalami kenaikan tekanan atau terjadi *adverse pressure gradient*. Pada area *outer wall* kecepatan dari fluida cenderung lebih kecil dari pada kecepatan *freestream* atau dengan kata lain fluida memiliki energi yang rendah. Semakin lama energi fluida berkurang karena efek dari *adverse pressure gradient*, selanjutnya fluida sudah tidak mampu lagi melewati *adverse pressure gradient* sehingga fluida cenderung menuju ke daerah yang memiliki tekanan lebih rendah yaitu area *inner wall*. Namun untuk fluida dekat dinding pada area *outer wall* mengalami *sparasi* pada area dekat *inlet elbow* karena energi fluida

dekat dinding berkurang lebih cepat akibat fenomena *adverse pressure gradient* dan *friction*. Namun area yang tersparasi pada *outer wall* mengalami *reattachment* pada *outer wall* kembali ketika terjadi *favourable pressure gradient*. Fenomena ini ada ketika terjadi penurunan tekanan dimana hal ini membuat aliran fluida lebih stabil atau meningkatkan momentum fluida sehingga fluida mampu *reattachment* kembali pada area *outer wall*.

Pada area *inner wall* kecepatan fluida cenderung lebih cepat dari pada kecepatan freestream. Selanjutnya kecepatan fluida pada area *inner wall* mengalami peningkatan kecepatan karena mendapatkan energi fluida dari aliran fluida *outer wall* yang terdefleksi ke *inner wall*. Namun karena lintasan *elbow* pada *inner wall* sangat pendek mengakibatkan aliran fluida sulit untuk mengikuti bentuk lintasan *inner wall*. Hal ini mengakibatkan aliran cenderung mengalami sparasi pada sudut  $50^\circ$  karena aliran fluida tidak memiliki cukup energi untuk dapat mengikuti bentuk dari lintasan dinding. Fenomena ini terlihat pada gambar 4.3 dimana pada area dekat keluaran *elbow* nilai  $C_p$  *inner wall* cenderung meningkat akibat adanya peningkatan kecepatan atau *adverse pressure gradient*.

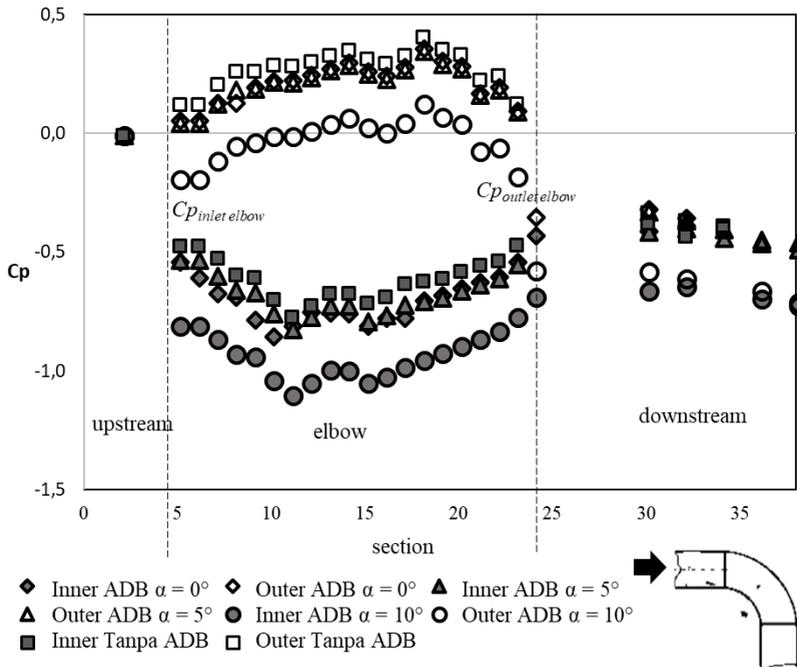
Pada gambar 4.3 terlihat pada *inner wall* mengalami penurunan distribusi *pressure coefficient* dengan cepat dan pada *outer wall* mengalami kenaikan distribusi *pressure coefficient* dengan cepat di area *bend*. Perbedaan nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* secara tidak langsung menunjukkan potensi terjadinya *secondary flow* pada area *elbow*. Sehingga semakin besar perbedaan nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* maka semakin besar pula potensi terjadinya *secondary flow* pada bagian *inner wall elbow*, begitu pula sebaliknya ketika perbedaan nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* semakin kecil maka mengakibatkan potensi terjadinya *secondary flow* pada bagian *inner wall elbow* semakin kecil pula.



**Gambar 4.3** Pressure coefficient elbow 90° pada Reynolds number  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s

Pada saluran tanpa ADB memiliki nilai perbandingan  $C_p$  outer dan inner terbesar sebesar 1,055 pada sudut elbow 30°. Nilai perbandingan  $C_p$  outer dan inner terbesar pada saluran yang memiliki ADB dengan angle of attack 0° sebesar 1,074 pada sudut elbow 25°. Selanjutnya nilai perbandingan  $C_p$  outer dan inner terbesar pada saluran yang memiliki ADB dengan angle of attack 5° sebesar 1,052 pada sudut elbow 65°. Sedangkan nilai perbandingan  $C_p$  outer dan inner terbesar pada saluran yang memiliki ADB dengan angle of attack 10° sebesar 1,089 pada sudut elbow 30°. Dari sini terlihat perbedaan nilai  $C_p$  antara inner wall dan outer wall terbesar dimiliki oleh saluran yang memiliki ADB

dengan *angle of attack*  $10^\circ$ , hal ini berarti *secondary flow* terbesar dimiliki oleh saluran yang memiliki ADB dengan *angle of attack*  $10^\circ$ . Semakin besar *secondary flow* pada *elbow* menunjukkan semakin besar pula nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*). Hal ini sesuai dengan diperolehnya data nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) pada gambar 3.1 dimana nilai  $K_L$  (*koefisien minor losses*) pada saluran yang memiliki ADB dengan *angle of attack*  $10^\circ$  memiliki rata-rata tertinggi.



**Gambar 4. 4** Pressure coefficient upstream dan downstream duct pada Reynolds number  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s

Setelah melewati *elbow* nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* berangsur-angsur akan kembali ke nilai yang sama, hal ini terlihat pada gambar 4.4. Pada gambar 4.4 terdapat nilai *pressure coefficient* sepanjang *section*, dimana *section 2*

merupakan area *upstream duct* dan *section 24-32* merupakan area *downstream duct*. Terlihat pada area *upstream* nilai *pressure coefficient* antara *inner wall* dan *outer wall* memiliki nilai yang serupa, namun ketika melewati area *elbow* nilai *pressure coefficient* antara *inner wall* dan *outer wall* mengalami perbedaan dan perbedaan nilai *pressure coefficient* terbesar terletak pada sudut  $50^\circ$  dari *elbow*. Setelah melewati *elbow*, nilai *pressure coefficient* antara *inner wall* dan *outer wall* pada *downstream duct* berangsur-angsur menuju ke nilai  $C_p$  sama. Meskipun pada akhirnya nilai *pressure coefficient* antara *inner wall* dan *outer wall* pada area *downstream duct* memiliki nilai yang serupa atau bertemu pada satu titik yang sama, namun nilai  $C_p$  ini akan lebih rendah dari pada nilai  $C_p$  pada area *upstream duct*. Hal ini dikarenakan aliran pada *downstream duct* mengalami *losses* aliran saat melintasi *elbow*.

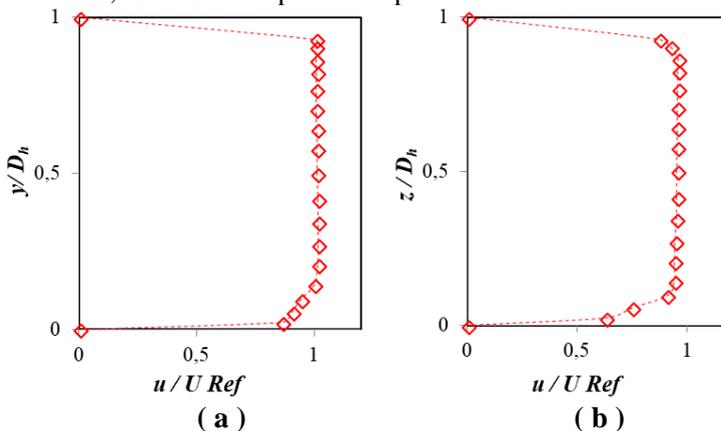
Berdasarkan gambar 4.4 terlihat nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* dari saluran tanpa *ADB* bertemu pada nilai -0,38. Nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* pada saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  bertemu pada nilai -0,35. Sedangkan nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* pada saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  bertemu pada nilai -0,46. Selain itu nilai  $C_p$  antara *inner wall* dan *outer wall* pada saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  bertemu pada nilai -0,7. Nilai  $C_p$  pada area *downstream duct* bernilai negatif dikarenakan tekanan *inner wall* dan *outer wall* pada area *downstream duct* lebih besar dari pada tekanan pada area *upstream duct*.

#### **4.4. Profil Kecepatan Aliran Bidang Horizontal dan Vertikal pada Upstream Duct**

Profil kecepatan aliran pada area *upstream duct* yang selanjutnya disebut sebagai profil kecepatan *freestream* dapat dilihat pada gambar 4.5, dimana profil kecepatan ini nanti digunakan sebagai acuan untuk menentukan profil kecepatan pada *downstream duct* sudah mengalami *recovery velocity profile* atau

belum. Gambar 4.5 terdiri dari profil kecepatan arah vertikal dan horizontal, dimana profil kecepatan ini merupakan bilangan tak berdimensi yang bernilai nol sampai satu. Sedangkan *vertical axis* pada gambar 4.5 menunjukkan posisi dimana nilai  $z/D_h = 0$  menunjukkan posisi *inner wall* sedangkan nilai  $z/D_h = 1$  menunjukkan posisi *inner wall*. Sedangkan  $y/D_h = 0$  menunjukkan posisi *lower wall* sedangkan nilai  $y/D_h = 1$  menunjukkan posisi *upper wall*.

Profil kecepatan ini didapatkan melalui *pitot static tube*, hal ini berdampak pada bentuk profil kecepatan tidak sempurna. Kelengkungan / bentuk *elbow* pada *pitot static tube* menyebabkan area *outer wall* dan *lower wall* tidak dapat dilakukan pengambilan data, sehingga profil kecepatan yang terbentuk kurang memuaskan. Pada eksperimen ini profil kecepatan bidang horizontal dan bidang vertikal diambil pada *section 25* ( $x/D_h = 1$ ), *27* ( $x/D_h = 2$ ), *29* ( $x/D_h = 3$ ), *33* ( $x/D_h = 5$ ), *41* ( $x/D_h = 9$ ), *47* ( $x/D_h = 12$ ), *49* ( $x/D_h = 13$ ), dan *51* ( $x/D_h = 14$ ). Setiap *section* dilakukan pengambilan data sebanyak 17 titik dari sisi *inner wall* ke *outer wall* pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s.

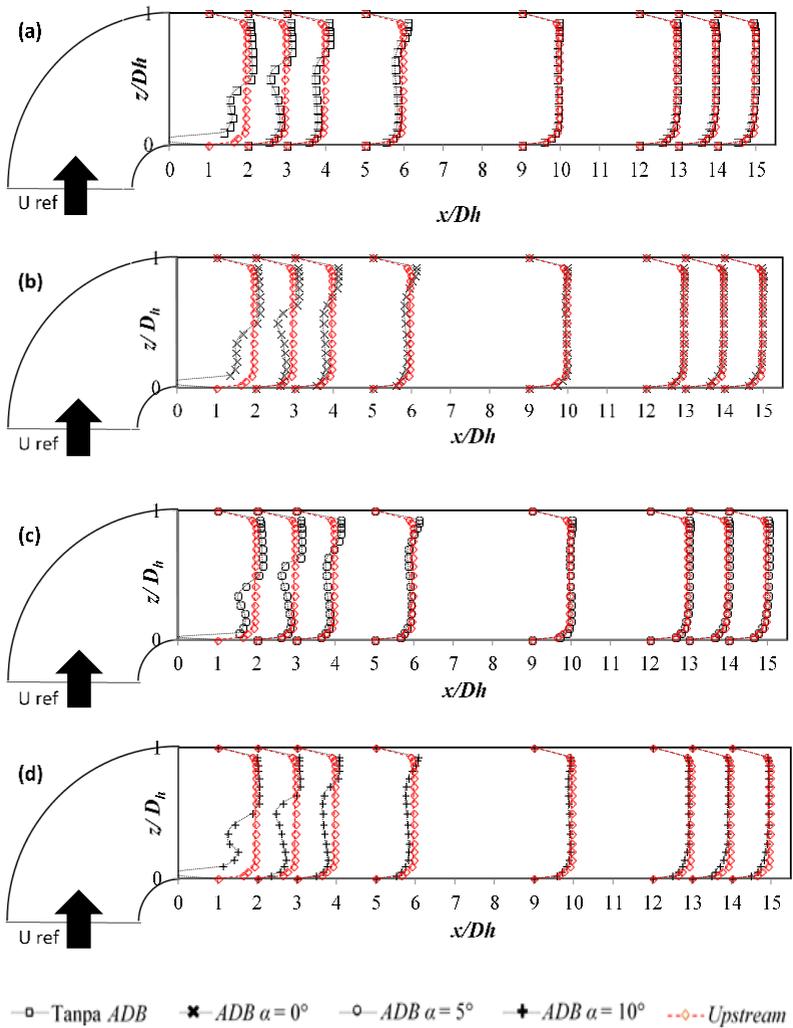


**Gambar 4.5** Profil Kecepatan Aliran (a) Bidang Vertikal dan (b) Bidang Horizontal *Upstream Duct*

## 4.5. Profil Kecepatan Aliran Bidang Horizontal dan Vertikal pada Downstream Duct

### 4.5.1. Profil Kecepatan Aliran Bidang Horizontal Downstream Duct

Profil kecepatan bidang horizontal merupakan bilangan tidak berdimensi yang bernilai nol sampai satu. Sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan melalui sumbu vertikal dari gambar 4.6 dimana nilai  $z/D_h = 0$  menunjukkan posisi *inner wall* sedangkan nilai  $z/D_h = 1$  menunjukkan posisi *inner wall*. Pada eksperimen ini profil kecepatan bidang horizontal diambil pada *section* 25 ( $x/D_h = 1$ ), 27 ( $x/D_h = 2$ ), 29 ( $x/D_h = 3$ ), 33 ( $x/D_h = 5$ ), 41 ( $x/D_h = 9$ ), 47 ( $x/D_h = 12$ ), 49 ( $x/D_h = 13$ ), dan 51 ( $x/D_h = 14$ ). Setiap *section* dilakukan pengambilan data sebanyak 17 titik dari sisi *inner wall* ke *outer wall* pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s.



**Gambar 4. 6** Profil kecepatan bidang horizontal untuk aliran (a) tanpa penambahan ADB , (b) penambahan ADB dengan *angle of attack*  $0^\circ$ , (c) penambahan ADB dengan *angle of attack*  $5^\circ$ , dan (d) penambahan ADB dengan *angle of attack*  $10^\circ$

Profil kecepatan bidang horizontal dari semua variasi dapat dilihat pada gambar 4.6. Pada gambar 4.6 menampilkan profil kecepatan bidang horizontal untuk aliran (a) tanpa penambahan *ADB*, (b) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ , (c) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$ , dan (d) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$ . Pada gambar 4.6 terlihat kecepatan aliran pada *outer wall* cukup besar, hal ini diakibatkan aliran pada area *outer wall* tidak terhalang oleh *blockage area* atau *flow recirculation*. Dari semua variasi yang ada, aliran pada *inner wall* mengalami fenomena *backflow*, namun fenomena ini tidak dapat terlihat pada grafik dikarenakan alat ukur *pitot static tube* tidak dapat mendeteksi arah yang berlawanan.

Gambar 4.6.a, 4.6.b dan 4.6.d menunjukkan profil kecepatan termasuk area *backflow* memiliki ukuran yang sama besar namun mengalami sedikit perbedaan kecepatan. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  dan  $10^\circ$  memiliki perbandingan nilai *pressure drop*, *koefisien minor losses elbow* dan *pressure coefficient* yang relatif kecil dari pada saluran tanpa penambahan *ADB*. Hal tersebut yang mengakibatkan bentuk profil kecepatan pada variasi tanpa *ADB* serta pada *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  dan  $10^\circ$  hampir sama. Namun hal berbeda terjadi pada penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$ . Hal ini dikarenakan besar area *backflow* lebih kecil dari pada variasi lainnya, padahal nilai *pressure drop*, *koefisien minor losses elbow* dan *pressure coefficient* hanya berbeda sedikit dari pada variasi lainnya.

Pada *section 1* aliran cenderung mengalami *backflow* dikarenakan fenomena yang terjadi pada *elbow* yaitu *separation flow* dan *recirculation flow*. *Backflow* terbesar terjadi pada saluran penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$ . Selanjutnya pada *section 2* dan *section 3*, *boundary layer* yang ada semakin berkembang sehingga *secondary flow* atau *backflow* pada area *inner wall* dan *centerline* berangsur-angsur merambat ke area *outer wall*. Hal ini mengakibatkan kecepatan pada area *outer wall*

mengalami perlambatan serta luas area *backflow* pada *centreline* berkurang.

Pada *section 5* dan *9* fenomena *backflow* sudah mulai berkurang dan aliran mengalami *recovery flow*. Hal ini terlihat dari profil kecepatan sudah mulai menuju ke bentuk profil kecepatan *freestream*. Namun untuk saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$ , luas area *backflow* cenderung lebih besar dari pada variasi yang lainnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses *recovery flow* pada saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  lebih lambat dari pada variasi lainnya.

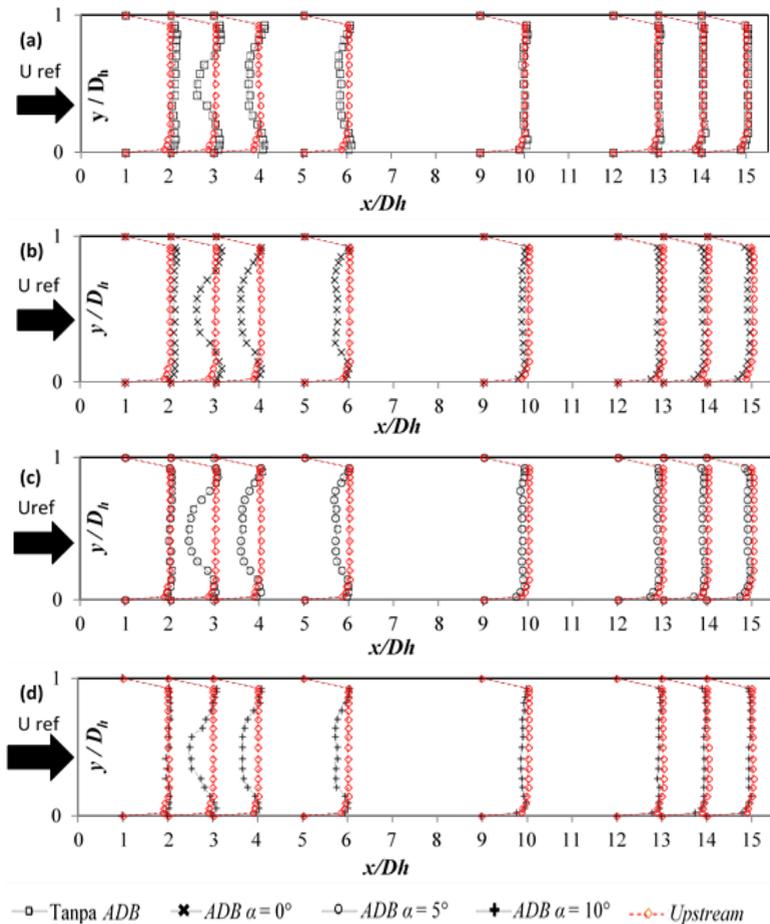
Selanjutnya untuk *section 12*, *13* dan *14*, aliran sudah mendekati bentuk *freestream* namun belum dapat dikatakan *fully developed flow*. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran masih mengalami fluktuasi atau belum konstan, serta bentuk aliran belum sepenuhnya menyerupai bentuk profil kecepatan area *freestream*. Terutama untuk saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  memiliki proses *recovery flow* yang lambat sehingga mengakibatkan semakin lamanya proses menuju aliran *fully developed flow*. Hal ini terlihat dari gambar 4.6 dimana pada variasi (a) tanpa penambahan *ADB*, (b) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ , dan (c) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  memiliki profil kecepatan yang cenderung mendekati profil kecepatan *freestream* sedangkan profil kecepatan pada *inner wall* variasi (d) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$  masih dalam proses *recovery flow* yang ditunjukkan dengan adanya *gap* antara profil kecepatan area *inner wall* dengan profil kecepatan *freestream*.

#### **4.5.2. Profil Kecepatan Aliran Bidang Vertikal Downstream Duct**

Profil kecepatan bidang vertikal merupakan bilangan tidak berdimensi yang bernilai nol sampai satu. Sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan melalui sumbu vertikal dari gambar 4.6 dimana nilai  $y/D_h = 0$  menunjukkan posisi *lower wall*

sedangkan nilai  $y/D_h = 1$  menunjukkan posisi *upper wall*. Pada eksperimen ini profil kecepatan bidang vertikal diambil pada *section* 25 ( $x/D_h = 1$ ), 27 ( $x/D_h = 2$ ), 29 ( $x/D_h = 3$ ), 33 ( $x/D_h = 5$ ), 41 ( $x/D_h = 9$ ), 47 ( $x/D_h = 12$ ), 49 ( $x/D_h = 13$ ), dan 51 ( $x/D_h = 14$ ). Setiap *section* dilakukan pengambilan data sebanyak 17 titik dari sisi *lower wall* ke *upper wall* pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s. Profil kecepatan bidang vertikal dari semua variasi dapat dilihat pada gambar 4.7. Pada gambar 4.7 menampilkan profil kecepatan bidang vertikal untuk aliran (a) tanpa penambahan *ADB*, (b) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ , (c) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$ , dan, (d) penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ .

Pada gambar 4.7 terlihat aliran menyinggalkan *outlet elbow*  $90^\circ$ , aliran mengalami perkembangan distribusi kecepatan yang di tunjukkan dengan profil kecepatan pada *section* 1 lebih besar dari pada profil kecepatan *freestream*. Namun kemudian terjadi fenomena *backflow* pada area *centerline* di *section* 2. Hal ini terjadi karena *flow recirculation* dan aliran yang tersparasi pada masih mempengaruhi aliran setelah keluaran *elbow*. Pada *section* 2 ini aliran yang mengalami *backflow* paling lemah adalah saluran tanpa penambahan *ADB*, selanjutnya saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  dan  $10^\circ$ . Sedangkan saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  mengalami *backflow* paling kuat. Berdasarkan fenomena yang terjadi pada *section* 2 dapat diartikan bahwa penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* sebagai body pengganggu pada saluran dengan posisi  $l = 0,3D_h$  dan dengan  $g = \pm 7$  mm tidak efektif digunakan karena dapat memperbesar *blockage area* yang terjadi.



**Gambar 4. 7** Profil kecepatan bidang vertikal untuk aliran (a) tanpa penambahan ADB , (b) penambahan ADB dengan *angle of attack*  $0^\circ$ , (c) penambahan ADB dengan *angle of attack*  $5^\circ$ , dan (d) penambahan ADB dengan *angle of attack*  $10^\circ$

Pada *section 3* terlihat *backflow* yang terjadi semakin kecil, dimana *backflow* yang terjadi pada *centerline* berangsur-angsur merambat ke area *upper wall*. Hal ini mengakibatkan aliran area

*upper wall* mengalami perlambatan kecepatan. Pada *section 3* ini juga dapat dilihat bahwa proses *recovery flow* pada saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  lebih lambat dari pada saluran tanpa *ADB*. Fenomena ini terlihat dari profil kecepatan pada *section 2* untuk saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  berdekatan dengan profil kecepatan dari saluran tanpa *ADB* namun pada *section 3* profil kecepatan untuk saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  berada jauh dibelakang profil kecepatan dari saluran tanpa *ADB*.

Sedangkan proses *recovery flow* pada *section 3* dari saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  lebih cepat dari pada saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ . Fenomena ini terlihat dari profil kecepatan pada *section 2* untuk saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  berada di belakang profil kecepatan dari saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  dan selanjutnya pada *section 3* profil kecepatan untuk saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  berdekatan atau memiliki nilai hampir sama dengan profil kecepatan pada saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ . Jadi untuk profil kecepatan pada *section 3* dari saluran dengan penamban *ADB* mendekati sama, namun *backflow* yang terjadi pada saluran dengan penamban *ADB* masih lebih besar dari pada saluran tanpa *ADB*.

Proses *recovery flow* masih berlanjut pada *section 5* dengan kondisi *backflow* yang terjadi pada saluran dengan penamban *ADB* masih lebih besar dari pada saluran tanpa *ADB*. Namun profil kecepatan pada *section 5* sedikit berbeda dengan *section* sebelumnya, dimana kecepatan pada area *centerline* mengalami peningkatan. *Recovery flow* masih terus berlanjut sampai dengan *section 14*. Pada *section 14* untuk saluran tanpa penambahan *ADB* memiliki profil kecepatan hampir menyerupai profil kecepatan *freestream*, namun belum mengalami *fully developed flow* karena masih mengalami fluktuasi kecepatan. Sedangkan pada *section 14* untuk saluran dengan penambahan

*ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  masih mengalami proses *recovery flow*. Hal ini terlihat dari profil kecepatan untuk saluran dengan penambahan *ADB* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  masih berada di belakang profil kecepatan *freestream* dan terus mengalami perkembangan profil kecepatan. Dalam kasus ini masih belum bisa memastikan sampai mana profil kecepatan pada area *downstream* ini mengalami *fully developed flow*. Hal ini dikarenakan panjang area *downstream duct* tidak mencukupi untuk pengambilan data tersebut.

#### 4.6. Hubungan antara *Pressure Coefficient* ( $C_p$ ) dan $K_L$

Apabila nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  dihubungkan dengan nilai *pressure coefficient* maka harus didapatkan sebuah persamaan untuk menghubungkan keduanya. Nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  disini mengukur tekanan *inlet elbow* dan tekanan *outlet elbow*. Sedangkan nilai *pressure coefficient* ( $C_p$ ) disini mengukur tekanan lokal pada setiap sudut *elbow*. Sehingga untuk menghubungkan nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  dan *pressure coefficient* harus mencari terlebih dulu nilai  $C_p$  pada sisi *inlet elbow* dan sisi *outlet elbow*. Posisi nilai  $C_{p_{in}}$  dan  $C_{p_{out}}$  dapat dilihat pada gambar 4.3. Berikut ini adalah perumusan nilai  $C_{p_{in}}$  dan  $C_{p_{out}}$ :

$$C_{p_{in}} = \frac{\overline{P_{in}} - P_{in}}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$C_{p_{out}} = \frac{\overline{P_{out}} - P_{in}}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana

$C_{p_{in}}$  : nilai  $C_p$  *inlet elbow*

$C_{p_{out}}$  : nilai  $C_p$  *outlet elbow*

$\overline{P_{in}}$  : nilai rata-rata tekanan lokal pada *inlet elbow*

$P_{in}$  : nilai tekanan *freestream inlet duct*

$\overline{P_{out}}$  : nilai rata-rata tekanan lokal pada *outlet elbow*

Apabila nilai rata-rata tekanan lokal pada *inlet elbow* setara dengan nilai tekanan *freestream* pada *inlet duct* maka dapat

disimpulkan nilai  $Cp_{in} = 0$ . Namun karena adanya *losses* yang terjadi pada *elbow* maka menyebabkan nilai tekanan lokal pada *outlet elbow* lebih kecil dibandingkan dengan nilai tekanan *freestream* pada *inlet duct* sehingga dapat disimpulkan nilai  $Cp_{out} < 0$ . Setelah perumusan  $Cp_{in}$  dan  $Cp_{out}$  ini dapat dihubungkan dengan persamaan nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  seperti berikut ini:

$$K_L = \frac{P_{in} - P_{out}}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$K_L = \frac{\overline{P}_{in} - P_{in}}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} - \frac{\overline{P}_{out} - P_{in}}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} \dots\dots\dots (4.5)$$

$$K_L = Cp_{in} - Cp_{out} = \Delta Cp \dots\dots\dots (4.6)$$

Jika  $Cp_{in} = 0$  maka

$$K_L = -Cp_{out} = \Delta Cp \dots\dots\dots (4.7)$$

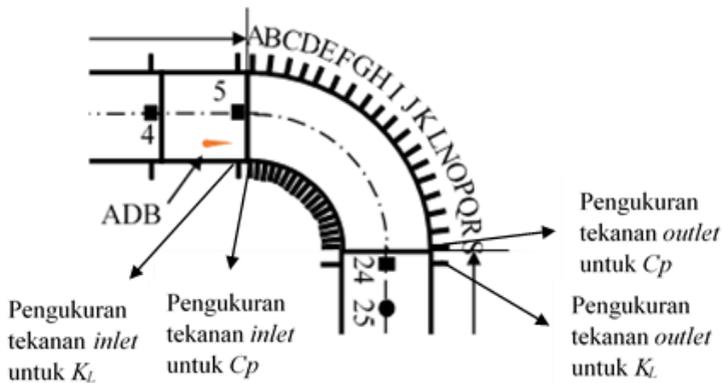
$$K_L = -\left(\frac{\overline{P}_{out} - P_{in}}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2}\right) = \Delta Cp \dots\dots\dots (4.8)$$

Namun perhitungan teoritis tersebut tidak sesuai dengan data eksperimen yang didapatkan. Berdasarkan hasil eksperimen didapatkan nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  dan nilai *pressure coefficient* pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$  sebagai berikut :

**Tabel 4. 6** Perbandingan nilai rata-rata  $K_L$  dan

Konfigurasi	Rata – rata $K_L$	$\Delta Cp = Cp_{in} - Cp_{out}$ $= - Cp_{out}$	$\frac{K_L - \Delta Cp}{K_L} \times 100\%$
Tanpa ADB	0,178	0,165	7,3
ADB  $\alpha = 0^\circ$	0,216	0,214	0,9
ADB  $\alpha = 5^\circ$	0,207	0,221	6,8
ADB  $\alpha = 10^\circ$	0,211	0,469	122,3

Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis seharusnya nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  setara dengan nilai  $-C_{p_{out}}$ , namun berdasarkan hasil eksperimen pada tabel 4.6 menunjukkan adanya perbedaan. Dimana nilai *error* terbesar terjadi pada saluran yang memiliki *ADB* dengan *angle of attack*  $10^\circ$ . Perbedaan ini disebabkan letak pengukuran nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  dan *pressure coefficient* berbeda. Letak pengukuran tekanan *inlet elbow* untuk nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  terletak di posisi  $\pm 40$  mm sebelum letak pengukuran tekanan *inlet elbow* untuk nilai *pressure coefficient*. Sedangkan letak pengukuran tekanan *outlet elbow* untuk nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  terletak di posisi  $\pm 40$  mm setelah letak pengukuran tekanan *outlet elbow* untuk nilai *pressure coefficient*. Untuk mempermudah pemahaman, letak pengukuran nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  dan *pressure coefficient* dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4. 8** Posisi pengukuran  $K_L$  dan  $C_p$

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan Hasil Penelitian**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* pada saluran mengakibatkan nilai *pressure drop* dari sisi masuk dan sisi keluar saluran lebih besar dari pada nilai *pressure drop* dari sisi masuk dan sisi keluar saluran pada saluran tanpa *ADB* pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4 < Re < 10,33 \times 10^4$ .
2. Penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* pada saluran mengakibatkan nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  lebih kecil dari pada saluran tanpa *ADB* pada  $Re < 3,18 \times 10^4$  dan mengakibatkan nilai *koefisien minor losses elbow*  $90^\circ$  lebih besar dari pada saluran tanpa *ADB* pada  $Re > 3,18 \times 10^4$ .
3. Penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* dengan *angle of attack*  $0^\circ$  dan  $5^\circ$  hampir menyerupai nilai *pressure coefficient* ( $C_p$ ) pada saluran tanpa *ADB* namun nilai  $C_p$  dari saluran dengan *ADB* pada *angle of attack*  $10^\circ$  nilai  $C_p$  yang lebih rendah dari pada variasi lainnya.
4. Penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* dengan *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$  mengakibatkan profil kecepatan bidang horizontal dan vertikal cenderung defisit kecepatan dan *backflow* yang cukup kuat dibandingkan dengan saluran tanpa *ADB*.
5. Penambahan *airfoil disturbance body (ADB)* mengakibatkan *blockage area elbow* semakin besar sehingga menyebabkan nilai *pressure drop*, *koefisien minor losses elbow* dan *backflow* pada profil kecepatan lebih besar dari pada saluran tanpa *ADB*.

## 5.2. Saran

Adapun saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

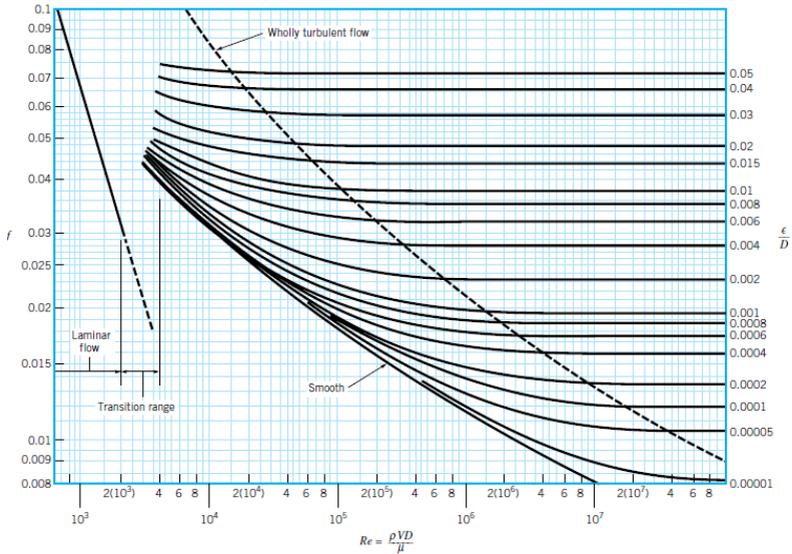
1. Diperlukan adanya peremajaan instalasi penelitian dan peralatan penelitian untuk menunjang keakuratan pengambilan data.
2. Kondisi ruangan harus dikontrol stabil agar memperoleh data yang baik.
3. Diperlukan penelitian lanjutan dengan variasi perubahan posisi jarak penempatan *ADB* dan variasi *gap ADB* agar dapat mengetahui kondisi dan posisi yang menguntungkan untuk menempatkan *ADB*.
4. Diperlukan simulasi numerik untuk mendukung hasil penelitian yang telah dilakukan dan untuk menampilkan fenomena yang tidak dapat dilihat dengan eksperimen.
5. Tidak disarankan dilakukan penambahan *ADB* pada posisi *gap* 7 mm dari *inner wall*, pada jarak  $0,3 D_h$  dari *inlet elbow* dan pada variasi  $\alpha = 0^\circ, 5^\circ$  dan  $10^\circ$  karena menyebabkan *pressure drop* sisi masuk dan sisi keluar saluran lebih besar dibandingkan dengan saluran tanpa *ADB*.

## DAFTAR PUSTAKA

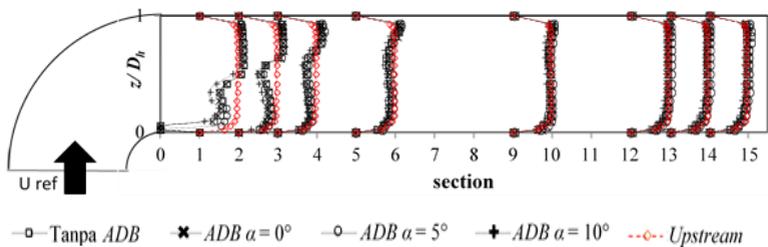
- Choi, J.H dan Lee, S.J. (200). **Ground Effect Of Flow Around An Elliptic Cylinder In A Turbulent Boundary Layer**, Journal of Fluid and Structures, 14, 697-709.
- Dutta, Prasun & Nandi, Nityananda. (2016). **Effect of Reynolds number and Curvature Ratio On Single Phase Turbulent Flow in Pipe Bends**. Mechanic and Mechanical Engineering, 1, 5-16.
- Fauzi, Rizky, A. (2017). **Studi Eksperimental Aliran Melalui Saluran Udara Berpenampang Bujur Sangkar yang Dipengaruhi Letak Square Disturbance Body (SDB) pada Upstream Duct**. Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS Surabaya.
- Fox, R.W., Mc Donald, A.T. dan Pritchard, P.J. (2011). **Fox and McDonald's : Introduction to Fluid Mechanics**, 8th Edition. New York : John Wiley & Sons Inc.
- Haci, S (2017). **Numerical Simulation of 4-Digit Inclined NACA 00XX Airfoils to Find optimum Angle of Attack for Airplane Wing**, Uludag University Journal of The Faculty of Engineering, 22.
- Hafiz, Mohd., dkk. (2012). **Comparison of Numerical Investigation on Airfoil and Flat Louvers on the Air Duct Intake**. Procedia Engineering, 41, 1761-1768.
- Hardian, Aqfa, S.F. (2017). **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jarak Inlet Disturbance Body terhadap Aliran Melalui Square Duct dengan Elbow 90°**. Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS Surabaya.
- Miller, D.S. (1990). **Internal Flow System**. Bedford : BHRA (Information Service)
- Munson, R., Young, F., Donald and Okiishi, H., Theodore. (2002). **Fundamentals of Fluid Mechanic**, 4<sup>th</sup> edition. New York: John Wiley & Sons Inc.

- Nakayama Y., dan Boucher R.F. (2000). **Introduction to Fluid Mechanics**. Oxford: Butterworth-Heinemann
- Rup, K., sarna, P. (2011). **Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow**. Flow Measurement and Instrumentation , 22, 383-391

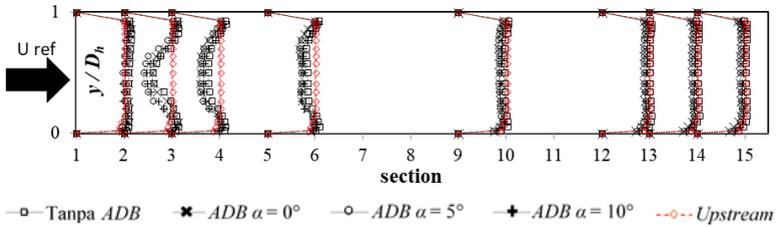
## LAMPIRAN



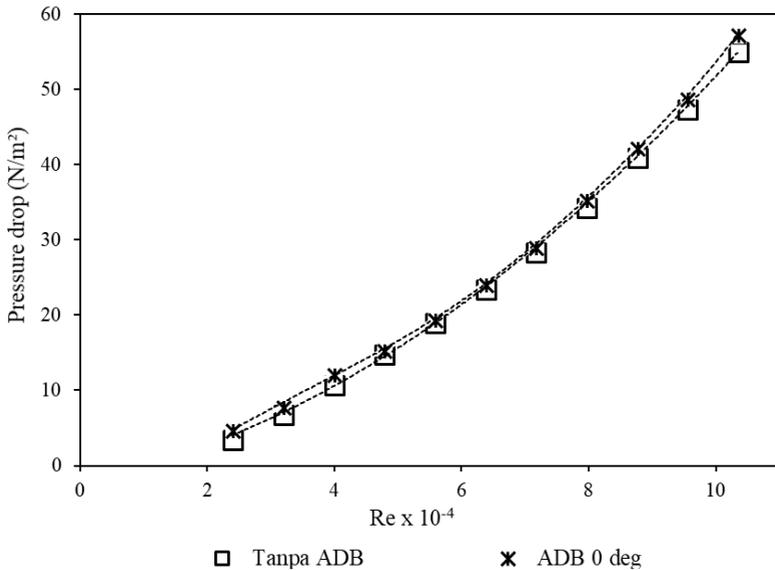
**Gambar 1.** Moody chart  
(Munson dkk, 2002)



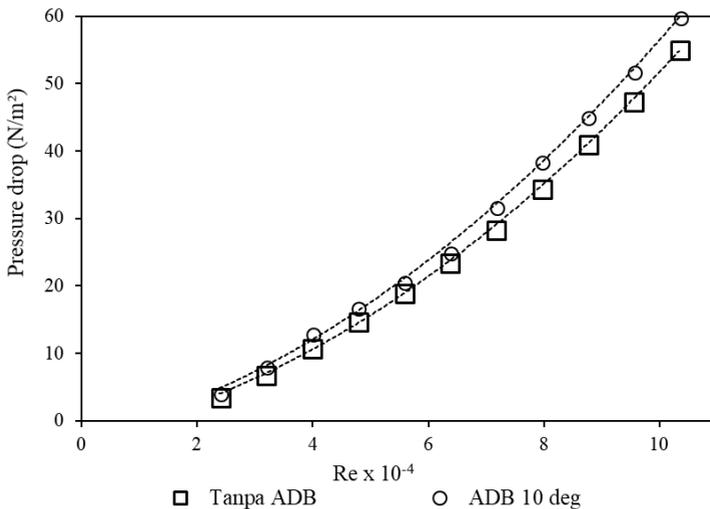
**Gambar 2.** Profil kecepatan bidang horizontal untuk saluran tanpa penambahan ADB , penambahan ADB dengan angle of attack  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $10^\circ$  pada Reynolds number  $6,36 \times 10^4$



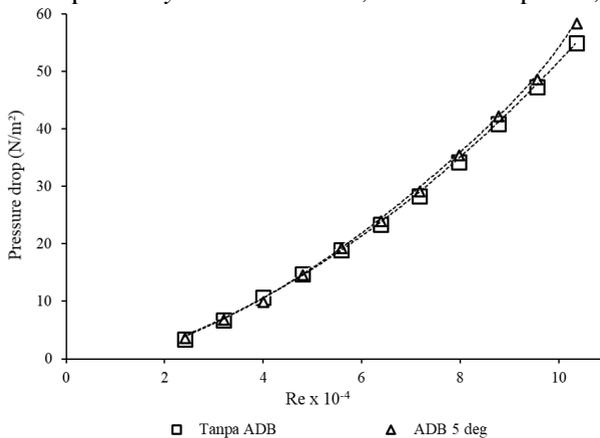
**Gambar 3.** Profil kecepatan bidang vertikal untuk saluran tanpa penambahan ADB, penambahan ADB dengan *angle of attack*  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $10^\circ$  pada *Reynolds number*  $6,36 \times 10^4$



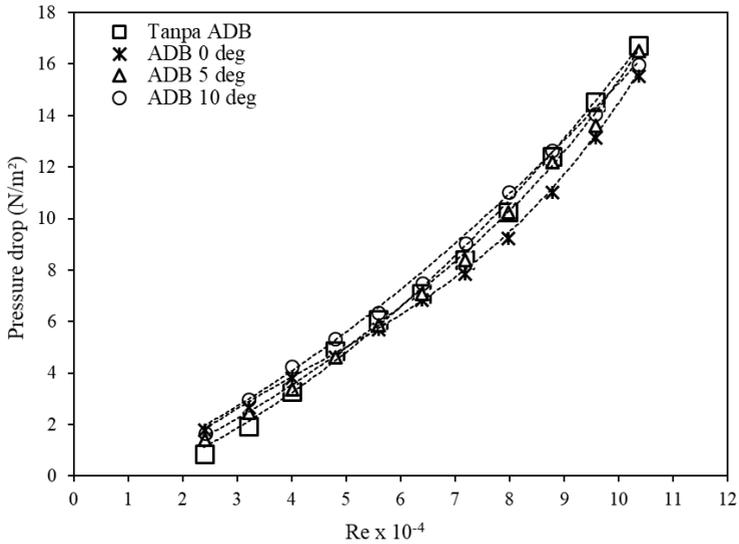
**Gambar 4.** *Pressure drop* sisi masuk dan sisi keluar saluran tanpa ADB dan saluran yang memiliki ADB dengan *angle of attack*  $0^\circ$  pada *Reynolds number*  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,3 \times 10^4$



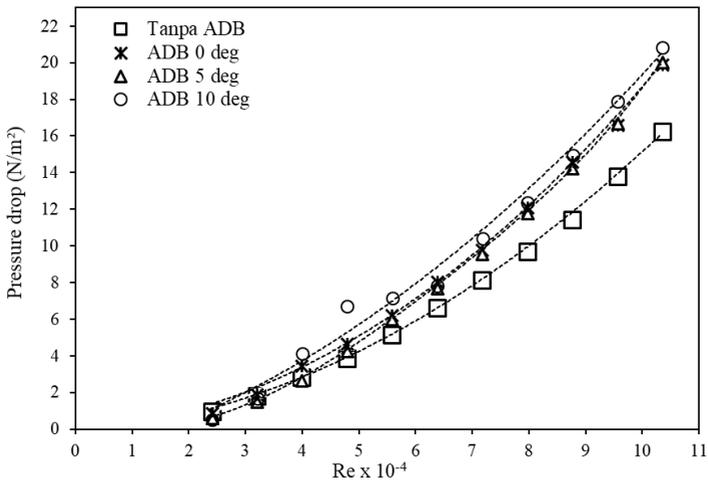
**Gambar 5.** *Pressure drop* sisi masuk dan sisi keluar saluran tanpa ADB dan saluran yang memiliki ADB dengan *angle of attack* 10° pada Reynolds number 2,38 x 10<sup>4</sup> sampai 10,3 x 10<sup>4</sup>



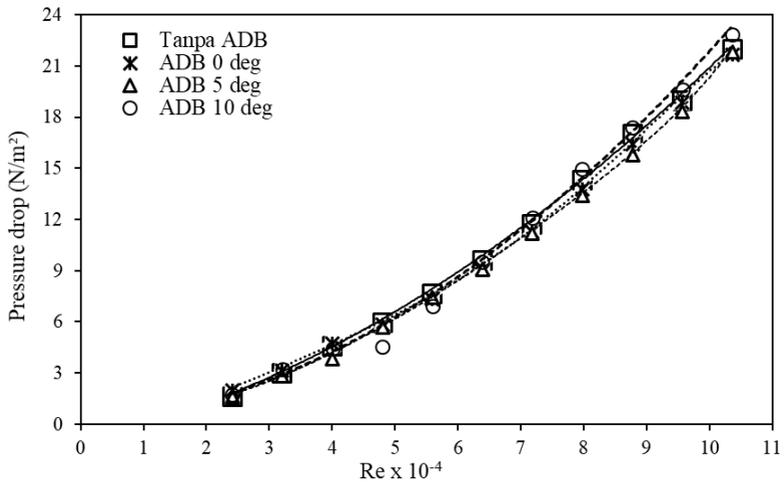
**Gambar 6.** *Pressure drop* sisi masuk dan sisi keluar saluran tanpa ADB dan saluran yang memiliki ADB dengan *angle of attack* 5° pada Reynolds number 2,38 x 10<sup>4</sup> sampai 10,3 x 10<sup>4</sup>



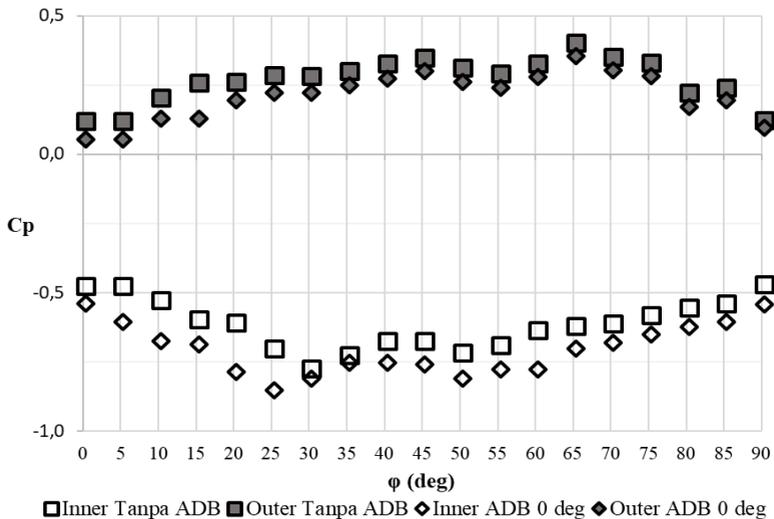
**Gambar 7.** *Pressure drop upstream duct pada Reynolds number 2,38 x 10<sup>4</sup> sampai 10,3 x 10<sup>4</sup>*



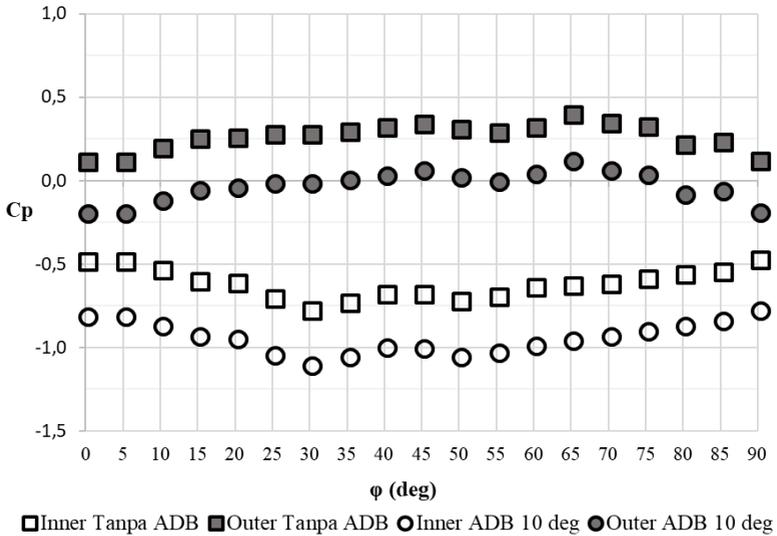
**Gambar 8.** *Pressure drop elbow pada Reynolds number 2,38 x 10<sup>4</sup> sampai 10,3 x 10<sup>4</sup>*



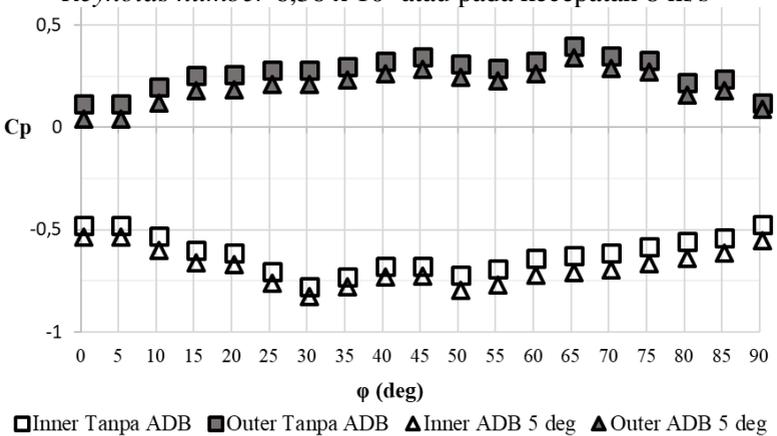
**Gambar 9.** Pressure drop downstream duct pada Reynolds number  $2,38 \times 10^4$  sampai  $10,3 \times 1$



**Gambar 10.** Pressure coefficient elbow  $90^\circ$  dari tanpa ADB dan saluran yang memiliki ADB dengan angle of attack  $0^\circ$  pada Reynolds number  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s



**Gambar 11.** Pressure coefficient elbow 90° dari tanpa ADB dan saluran yang memiliki ADB dengan angle of attack 10° pada Reynolds number  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s



**Gambar 12.** Pressure coefficient elbow 90° dari tanpa ADB dan saluran yang memiliki ADB dengan angle of attack 5° pada Reynolds number  $6,36 \times 10^4$  atau pada kecepatan 8 m/s

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Intan Putri Buana Priastiti** dilahirkan di Tulungagung, 26 Januari 1996, merupakan anak ke-dua dari 5 bersaudara pasangan Ibu (Almh.) Adi Titi Handayani dan Bapak Supriyanto, yang beralamat di Desa Kalangbret RT 01 RW 01, Kecamatan Kauman, Kabupaten Tulungagung. Riwayat pendidikan formal pertama adalah SDN 3 Kauman, SMPN 1 Kauman, dan SMAN 1 Kauman. Kemudian penulis lulus dan diterima di Jurusan S-1 Teknik Mesin melalui jalur

SNMPTN tahun 2014 dan terdaftar dengan Nomor Registrasi Pokok (NRP) 2114100012.

Penulis dikenal aktif mengikuti kegiatan mahasiswa dalam bidang RISTEK antara lain : PPIM Himpunan Mahasiswa Mesin 2015-2016, PKM Tahun 2017, Trainer Integrator dan Sostek Paguyuban KSE ITS. Penulis sempat merasakan kerja praktek di Conocophillips Indonesia sebagai *Maintenance and Reability group*. Selain itu, penulis juga pernah menjadi grader gambar mesin dan proses manufaktur serta menjadi asisten praktikum Mekanika Fluida 1.

Kontak : [intanputribuanapriastiti@gmail.com](mailto:intanputribuanapriastiti@gmail.com)