



TUGAS AKHIR - TM 091585

**STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI
SQUARE DUCT DAN *SQUARE ELBOW 90⁰*
DENGAN *SINGLE GUIDE VANE* PADA VARIASI
SUDUT BUKAAN *DAMPER***

**FARICH FIRMANSYAH HALWAN
NRP 2114 105 012**

**Dosen Pembimbing
Dr. Wawan Aries Widodo ST, MT**

**PROGRAM SARJANA
LABORATORIUM MEKANIKA FLUIDA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT - TM 091585

**EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW THROUGH
SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW 90°
WITH SINGLE GUIDE VANE IN VARIATION OF
OPENING ANGLE OF DAMPER**

**FARICH FIRMANSYAH HALWAN
NRP 2114 105 012**

**Academic Advisor
Dr. Wawan Aries Widodo ST, MT**

**BACHELOR DEGREE PROGRAM
MECHANICAL FLUID LABORATORY
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI *SQUARE DUCT* DAN *SQUARE ELBOW 90°* DENGAN *SINGLE GUIDE VANE* PADA VARIASI SUDUT BUKAAN *DAMPER*

TUGAS AKHIR


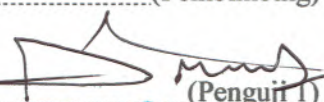
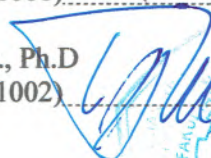
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

FARICH FIRMANSYAH HALWAN

NRP : 2114 105 012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.  (NIP. 197104051997021001)..... (Pembimbing)
2. Nur Ikhwan, ST, M.Eng  (NIP. 196709151995121001)..... (Penguji 1)
3. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D  (NIP. 196412281990031002)..... (Penguji 2)

SURABAYA 2016



STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI *SQUARE DUCT* DAN *SQUARE ELBOW 90°* DENGAN *SINGLE GUIDE* *VANE* PADA VARIASI SUDUT BUKAAN *DAMPER*

Nama Mahasiswa : Farich Firmansyah Halwan
NRP : 2114 105 012
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T, M.T

ABSTRAK

Saluran udara (*ducting system*) dalam dunia industri tidak hanya berupa pipa lurus, namun juga terdapat *fitting* baik dalam bentuk percabangan saluran, penggabungan saluran, ataupun pembelokan saluran. Contoh *fitting* yang digunakan pada saluran udara adalah *elbow 90°* dan *damper (valve)*. Penggunaan *elbow 90°* akan menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*) karena adanya *friction loss*, *separation loss*, dan *secondary flow* yang terjadi setelah melewati *elbow 90°*. Untuk mengurangi *separation loss* dan *secondary flow* adalah dengan menambahkan sudu pengarah pada *elbow 90°*.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan model saluran udara berpenampang bujursangkar (*square duct*) dengan $D_h=125\text{mm}$ yang terdiri dari: *upstream duct (straight duct)* dengan panjang $6D_h$, *elbow 90°* dengan $r/D_h=1,5$ dan dilengkapi *single guide vane*, *damper*, *downstream duct (straight duct)* dengan panjang $16D_h$, dan *induced draft fan*. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan *pitot static tube*, *inclined manometer*, dan *pressure transducer*. Pengujian dilakukan dengan variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° , 30° yang diputar secara CCW dengan $Re_{D_h} 7,88 \times 10^4$ untuk mendapatkan profil kecepatan sepanjang *downstream duct*, *pressure drop* antara *downstream duct* dan *upstream duct* berupa nilai *pressure coefficient*, koefisien *loss minor elbow 90°* dengan *single guide vane*, dan koefisien *loss minor damper* pada variasi nilai Re_{D_h} sebesar $3,94 \times 10^4 \leq Re_{D_h} <$

10^5 (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s).

Dari studi eksperimen ini diperoleh hasil bahwa saluran dengan *damper* sudut 30° merupakan variasi sudut paling efektif untuk proses *recovery* aliran pada akhir *section* baik dari bidang vertikal maupun horizontal. Penambahan satu buah *guide vane* pada *square elbow* 90° mampu menghilangkan aliran balik (*backflow*) pada *inner outlet elbow* 90° . Nilai *pressure coefficient* (C_p) hampir konstan seiring bertambahnya nilai *reynolds number* pada saluran tanpa *damper*, dengan sudut bukaan *damper* 0° , 10° , dan 20° . Sedangkan pada saluran dengan sudut bukaan *damper* 30° nilai *pressure coefficient* (C_p) turun seiring bertambahnya nilai *reynolds number*. Nilai *pressure coefficient* (C_p) semakin besar seiring bertambah besarnya sudut bukaan *damper*, yakni pada sudut bukaan *damper* 30° memiliki nilai *pressure coefficient* (C_p) paling besar lalu sudut bukaan *damper* 20° , 10° , dan 0° secara berurutan dan saluran tanpa *damper* memiliki nilai *pressure coefficient* (C_p) paling kecil. Nilai *Koefisien losses damper* semakin besar seiring bertambahnya sudut bukaan *damper* dan nilai *Koefisien losses damper* hampir sama seiring bertambahnya nilai *Reynolds number*. Sedangkan nilai *Koefisien losses elbow* 90° semakin rendah seiring bertambahnya nilai *Reynolds number* pada setiap bukaan sudut *damper*.

Kata kunci: *Square duct, elbow 90° , single guide vane, damper*

EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW THROUGH SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW 90° WITH SINGLE GUIDE VANE IN VARIATION OF OPENING ANGLE OF DAMPER

Name : Farich Firmansyah Halwan
NRP : 2114 105 012
Departement : Mechachanical Engineering
Supervisor : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T

ABSTRACT

An air duct (ducting system) in the industrial is not only a straight pipe, but also has good fitting in the form of branching ducts, merging of ducts, or deflection ducts. The fittings examples that are used in the air ducts is elbow 90° and damper (valve). The uses of an elbow 90° will cause a pressure drop due to friction loss, separation loss and secondary flow that occurs after passing elbow 90°. To reduce the separation loss and the secondary flow by adding a guide vane at elbow 90°.

This study was conducted by experiments of a square Air duct with diameter $D_h = 125\text{mm}$ consisting of: upstream duct (straight duct) with a $6D_h$ length, elbow 90° with $r / D_h = 1.5$ including a single guide vane, damper, downstream duct (straight duct) with a $16D_h$ length, and induced draft fan. Measurements in this study using a pitot static tube, inclined manometer, and a pressure transducer. The experiments variation of opening angle of damper was 0°, 10°, 20° and 30° rotated in CCW with $Re_{D_h} 7,88 \times 10^4$ for the velocity profile along the downstream duct, duct pressure drop between the pressure coefficient of downstream and the pressure coefficient of upstream duct, coefficient losses of minor elbow 90o with single guide vane, and the minor coefficient losses of a damper with the variation value $3,94 \times 10^4 \leq Re_{D_h} Re_{D_h} < 10^5$ (air speed of 5 m/s to 12 m/s with the increase of speed of 1 m/s).

The results of this experimental study shows that the variation of damper duct with an angle of 30° was the most effective for flow recovery process at the end of section in vertically or horizontally. The addition of a single guide vane on the square elbow 90° able to eliminate the backflow from the inner outlet 90° elbow. The value of pressure coefficient (C_p) is almost constant with increasing value of Reynolds number ducting without damper, with a opening angle of damper 0° , 10° and 20° . Meanwhile on the duct with a opening angle of damper of 30° the value of pressure coefficient (C_p) decreased by increasing the value of Reynolds number. The value of pressure coefficient (C_p) more increase as the expanding opening angle of damper, the opening angle of damper 30° has the highest value of pressure coefficient (C_p) and opening angle of damper 20° , 10° and 0° sequentially and duct without damper has the lowest value of pressure coefficient (C_p). The highest Values coefficient losses of damper by increasing opening angle of damper and the damper coefficient losses almost constant as increasing the value of Reynolds number. While the value of coefficient losses elbow 90° more lower by increasing the value of Reynolds number at every opening angle of damper.

Keyword : Square duct, elbow 90° , single guide vane, damper

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR SIMBOL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Persamaan Euler.....	7
2.2 Aliran di Dalam Saluran.....	9
2.2.1 Aliran Laminer	9
2.2.2 Aliran Turbulen.....	9
2.2.3 Aliran Berkembang Penuh (<i>Fully Developed Flow</i>).....	9
2.2.4 Proses Terjadinya Separasi pada <i>Elbow</i>	10
2.2.5 Proses Terjadinya Aliran Sekunder pada <i>Elbow</i> ...	11
2.3 Bilangan <i>Reynolds</i>	12
2.4 Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis	12
2.5 Karakteristik Aliran Melalui <i>Elbow 90°</i>	15
2.6 Karakteristik Aliran Yang Melewati Saluran dengan <i>Butterfly Valve</i> Sebagai Body Pengganggu.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Skema Penelitian	25
3.2 Peralatan Pendukung Penelitian	27
3.2.1 <i>Induced Draft fan</i>	27

3.2.2 <i>Honey Comb, Screen dan Nozzle</i>	28
3.2.3 <i>Damper</i>	29
3.2.4 <i>Elbow 90° dengan Single Guide Vane</i>	29
3.2.5 Alat Ukur	30
3.3 Analisa Dimensi Parameter-Parameter yang Dianalisa...	32
3.3.1 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk Pressure Drop pada <i>Square Ducting</i>	33
3.3.2 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk Kecepatan pada <i>Square Ducting</i>	35
3.4 Langkah-Langkah Validasi.....	37
3.4.1 Alat yang Digunakan.....	37
3.4.2 Validasi Tekanan Dinamis	37
3.4.3 Validasi Tekanan Dinding.....	39
3.5 Prosedur Pengambilan Data	39
3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif	32
3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif.....	40
3.6 Urutan Langkah Penelitian.....	47
3.7 <i>Flowchart</i> Penelitian	48
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal pada Sisi <i>Inlet Upstream Duct</i> $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$..	49
4.2 Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa <i>Damper</i> dengan Sudut Bukaan <i>Damper</i> $0^\circ Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$	51
4.3 Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa <i>Damper</i> dengan Sudut Bukaan <i>Damper</i> $10^\circ Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$	53
4.4 Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa <i>Damper</i> dengan Sudut Bukaan <i>Damper</i> $20^\circ Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$	56
4.5 Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa <i>Damper</i> dengan Sudut Bukaan <i>Damper</i> $30^\circ Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$	59
4.6 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Bidang Vertikal dan Bidang Horizontal Tanpa <i>Damper</i> dengan	

Sudut Bukaannya <i>Damper</i> 0°, 10°, 20° dan 30° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$	63
4.7 <i>Pressure Drop</i> pada <i>Square Duct</i> Fungsi <i>Reynolds Number</i> dengan Variasi Tanpa <i>Damper</i> dan Sudut Bukaannya <i>Damper</i> 0°, 10°, 20°, 30°	70
4.8 Koefisien <i>Losses Damper</i> pada <i>Square Duct</i> Fungsi <i>Reynolds Number</i> dan Variasi Sudut Bukaannya <i>Damper</i> 0°, 10°, 20° dan 30°	73
4.9 Koefisien <i>Losses Elbow 90°</i> pada <i>Square Duct</i> Fungsi <i>Reynolds Number</i> dan Variasi Sudut Bukaannya <i>Damper</i> 0°, 10°, 20° dan 30°	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh penambahan guide vane terhadap <i>pressure drop</i>	19
Tabel 3.1 Lokasi perhitungan profil kecepatan	41
Tabel 3.2 Urutan langkah penelitian	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Partikel fluida yang mengalir sepanjang streamline.....	8
Gambar 2.2 Profil kecepatan untuk (a) aliran laminar di dalam saluran (b) aliran turbulen di dalam saluran.....	10
Gambar 2.3 <i>Secondary flow</i>	12
Gambar 2.4 Pengukuran tekanan statis	13
Gambar 2.5 Pengukuran tekanan stagnasi	14
Gambar 2.6 Pengukuran Tekanan Stagnasi dan Tekanan Statis.....	15
Gambar 2.7 a) Posisi pengambilan data pada <i>domain</i> uji b) Mesh pada <i>Volume</i>	16
Gambar 2.8 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen Untuk $\phi = 30^\circ$ ($z/Dh = 0.0$).....	16
Gambar 2.9 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $\phi = 60^\circ$ ($z/Dh = 0.0$).....	17
Gambar 2.10 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ and $z/Dh = 0.0$	17
Gambar 2.11 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi <i>inner</i> dan <i>outer wall elbow</i> hasil simulasi dan eksperimen.....	18
Gambar 2.12 Profil kecepatan pada elbow (a) tanpa guide vane, (b) 1 guide vane, (c) 2 guide vane, (d) 3 guide vane.....	20
Gambar 2.13 Instalasi pipa lurus dengan <i>butterfly valve</i>	21
Gambar 2.14 Grafik <i>Reynolds number vs pressure loss coefficient</i>	21
Gambar 2.15 <i>Test Section</i> serta posisi <i>valve</i> $x/D=1$ dan sudut α	23

Gambar 2.16 Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran horizontal pada sudut $\alpha=0^\circ$ dengan <i>elbow</i>	23
Gambar 2.17 Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran horizontal pada sudut $\alpha=30^\circ$ dengan <i>elbow</i>	24
Gambar 3.1 Skema instalasi penelitian	25
Gambar 3.2 Model Penelitian.....	26
Gambar 3.3 Instalasi penelitian	27
Gambar 3.4 (a) <i>Induced draft fan</i> , (b) Inverter	28
Gambar 3.5 <i>Honey Comb</i>	28
Gambar 3.6 <i>Damper</i>	29
Gambar 3.7 <i>Elbow 90°</i> dengan <i>Single Guide Vane</i>	30
Gambar 3.8 <i>Pitot Tube</i>	30
Gambar 3.9 (a) DAQ PRO 5300, (b) Differential Pressure Transmitter	31
Gambar 3.10 <i>Inclined Manometer</i>	32
Gambar 3.11 (a) Skema validasi tekanan dinamis, (b) hasil validasi tekanan dinamis	37
Gambar 3.12 (a) Skema validasi tekanan statis, (b) hasil validasi tekanan statis	38
Gambar 3.13 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan.....	42
Gambar 3.14 Fluktuasi kecepatan pada <i>inlet upstream</i>	46
Gambar 3.15 <i>Flowchart</i> penelitian	48
Gambar 4.1 Grafik profil kecepatan (a) bidang horizontal sisi <i>upstream duct</i> (b) bidang vertikal sisi <i>upstream duct</i>	50
Gambar 4.2 Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 0°	52
Gambar 4.3 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 0°	52

Gambar 4.4 Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 10°	54
Gambar 4.5 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 10°	54
Gambar 4.6 Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 20°	57
Gambar 4.7 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 20°	57
Gambar 4.8 Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 30°	60
Gambar 4.9 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream duct</i> tanpa damper dan sudut damper 30°	60
Gambar 4.10 Grafik profil kecepatan bidang horizontal pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> berdasarkan <i>test section</i> : a)-2; b)-1; c)1; d)2; e)3; f)0 ;g)13; h)14	65
Gambar 4.11 Grafik profil kecepatan bidang vertikal pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> berdasarkan <i>test section</i> : a)-2; b)-1; c)1; d)2; e)3; f)10 ;g)13; h)14.....	69
Gambar 4.12 Grafik <i>pressure coefficient</i> fungsi <i>Reynolds number</i> $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ dan variasi sudut bukaan <i>damper</i> 0°,10°,20° dan 30°.....	71
Gambar 4.13 Grafik <i>Koefisien losses damper</i> fungsi variasi sudut bukaan <i>damper</i> 0°,10°,20° dan 30° dengan variasi <i>Reynolds number</i> $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$..	73
Gambar 4.14 Grafik <i>Koefisien losses elbow 90°</i> dengan <i>single guide vane</i> fungsi variasi sudut bukaan	

damper 0°,10°,20° dan 30° dengan variasi 60
Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$

DAFTAR SIMBOL

Δp	: perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m ²)
C_p	: <i>pressure coefficient</i>
ρ	: massa jenis fluida (kg/m ³)
μ	: viskositas absolut fluida (kg/(m.s))
U_{ref}	: kecepatan <i>freestream</i> di <i>inlet upstream duct</i> (m/s)
u	: kecepatan local (m/s)
a	: tinggi <i>damper</i> (m)
b	: lebar <i>damper</i> (m)
R_m	: mean radius <i>elbow 90°</i> (m)
R_i	: <i>inner radius elbow 90°</i> (m)
R_o	: <i>outer radius elbow 90°</i> (m)
R_g	: <i>single guide vane radius</i> (m)
l_i	: panjang total <i>inner</i> searah <i>streamline elbow 90°</i> (m)
l_o	: panjang total <i>outer</i> searah <i>streamline elbow 90°</i> (m)
D_h	: diameter hidrolis saluran (m)
L_i	: panjang <i>upstream duct</i> (m)
L_o	: panjang <i>downstream duct</i> (m)
x	: jarak <i>damper</i> dari output <i>elbow 90°</i> (m)
θ	: sudut pembukaan <i>damper</i>
Re_{Dh}	: <i>Reynolds Number</i>
m	: massa (kg)
∇	: volume (m ³)
ρ	: massa jenis (kg/m ³)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem saluran fluida atau udara memegang peranan penting untuk mendukung proses industri, seperti pada pembangkit listrik, sistem perkapalan, dan kilang minyak. Selain itu, sistem saluran udara juga banyak penerapannya didalam kehidupan diluar industri, seperti perpipaan air bersih dan penyaluran udara terkondisi di gedung-gedung. Saluran udara tidak hanya berupa pipa lurus, namun juga terdapat *fitting* baik dalam bentuk percabangan saluran, penggabungan saluran, ataupun pembelokan saluran. Contoh penggunaan *fitting* adalah *elbow 90°* untuk pembelokan saluran dan *damper (valve)* untuk mengatur debit aliran.

Elbow 90° merupakan komponen instalasi system saluran udara berupa saluran pipa melengkung. Aliran di dalam elbow mengalami *pressure drop* lebih besar daripada aliran di dalam pipa lurus dengan panjang ekuivalen sama. Hal ini disebabkan karena aliran di dalam *elbow* selain mengalami kerugian akibat gesekan (*friction loss*) juga mengalami kerugian akibat separasi (*separation loss*) dan *secondary flow*. Separasi di dalam *elbow 90°* terjadi akibat ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure gradient*, sehingga sebagian aliran akan terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya dan akan membentuk *vortex*. Terbentuknya *vortex* dapat mengurangi energi aliran. Sedangkan terbentuknya *secondary flow* pada *cross section area*, terjadi akibat adanya perbedaan tekanan pada sisi *inner* dan *outer wall* dan akibat adanya interaksi *boundary layer* pada *endwall flow*. Efek yang ditimbulkan oleh adanya *secondary flow* ini adalah terjadinya penyumbatan aliran (*blockage effect*) dan mengurangi *effective flow area*. Sedangkan *damper* akan mengurangi terjadinya turbulensi aliran setelah melalui *elbow 90°*. *Pressure drop* yang terjadi pada suatu asesoris tambahan suatu saluran akan berpengaruh pada aliran di dalamnya sehingga akan memberikan nilai koefisien tertentu sesuai sudut

bukaannya. Secara tidak langsung *pressure drop* dapat mengurangi *head* aliran, sehingga daya yang dibutuhkan oleh instalasi seperti pompa, kompresor, dan fan akan meningkat. Oleh sebab itu usaha untuk mengurangi besarnya *pressure drop* menjadi hal yang penting untuk dilakukan.

Salah satu usaha untuk mengurangi *pressure drop* yang terjadi pada *elbow* 90° adalah dengan menambahkan sudu pengarah (*guide vane*). *Guide vane* akan membantu mengarahkan aliran serta mengurangi terjadinya separasi aliran dan *secondary flow*. Dengan menambahkan *guide vane* pada kondisi tertentu juga dapat mengurangi *pressure drop* yang terjadi karena dapat memaksimalkan *effective flow area*. **Sutardi dkk (2010)** melakukan penelitian secara eksperimen pada sebuah elbow. Elbow yang digunakan *rectangular elbow* 90° dengan 4 variasi pemasangan *guide vane* yaitu tanpa *guide vane*, satu *guide vane*, dua *guide vane*, dan tiga *guide vane*. Jarak pada setiap jumlah *guide vanes* yang digunakan sama atau linier terhadap sisi dekat *inner wall* sampai *outer wall*. *Re* aliran yang melalui *elbow* divariasikan menjadi $2,1 \times 10^4$, $8,4 \times 10^4$ dan 12×10^4 . Hasil yang didapat dari eksperimen adalah, pada *Re* terkecil sebesar $2,1 \times 10^4$, penambahan *guide vane* mengurangi *pressure drop*. Hal tersebut berbanding terbalik dengan variasi *Re* aliran $8,4 \times 10^4$ dan 12×10^4 dimana terjadi peningkatan *pressure drop* pada setiap penambahan *guide vane*.

Kimura T. dkk (1995) melakukan penelitian secara numerik dan eksperimen pada pipa lurus berpenampang *circular* dan bujursangkar yang terdapat *butterfly valve*. Eksperimen menggunakan *butterfly valve* yang berbentuk *oval valve* dan *flat valve*. Variasi bilangan *Reynolds* yang digunakan adalah dari 7×10^3 sampai 5×10^5 dengan kecepatan maksimal 10 m/s. Hasil dari penelitian eksperimen adalah pengaruh bukaan sudut *butterfly valve* terhadap *pressure loss coefficient* sehingga didapatkan grafik hubungan nilai *pressure loss coefficient* terhadap kenaikan nilai *Reynolds number*. *Pressure loss coefficient* didapatkan dari

pengukuran tekanan statis pada daerah *upstream* (sebelum *valve*) dan *downstream* (sesudah *valve*).

Danbon dan Sollic (2000) melakukan eksperimen pada pipa lurus yang diganggu oleh *butterfly valve*. Pipa tersebut memiliki diameter 0,3 m dan panjang 11D . Pengambilan data dilakukan pada bilangan Reynolds yang bervariasi rentangnya $5.0 \times 10^4 < Re < 10^6$, dilakukan dengan tambahan *elbow 90°* dan *butterfly valve* yang di-*setting* kemiringan 0° (*fully open*) dan 30° . Hasil yang didapat melalui grafik profil kecepatan pada pipa lurus yang terdapat *valve* bahwa aliran akan mencapai *fully developed* lebih awal dari pada pipa lurus yang ditambahkan *elbow 90°*, hal ini disebabkan karena pada *elbow 90°* tersebut sudah terjadi aliran sekunder sebelum melalui *damper*.

1.2. Rumusan Masalah

Pada latar belakang masalah di atas, telah dijelaskan beberapa penyebab terjadinya *pressure drop* aliran di dalam *elbow 90°*, diantaranya disebabkan karena adanya *friction loss*, separasi aliran, dan *secondary flow*. Oleh karena dilakukan penelitian mengenai fenomena aliran pada *square duct* setelah melewati *elbow 90°* yang ditambahkan *single guide vane* didalamnya dan juga melewati suatu gangguan seperti *damper* yang divariasikan sudut bukaannya 0° (*fully open*), 10° , 20° , dan 30° . Untuk mengamati hal tersebut maka dirumuskanlah:

1. Bagaimana profil kecepatan pada *upstream* dan *downstream duct* (posisi bidang horizontal dan vertikal)?
2. Bagaimana *pressure drop* instalasi saluran udara, koefisien *loss minor elbow 90°* dengan *single guide vane*, dan koefisien *loss minor damper*?

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sehingga pembahasan dalam penelitian ini lebih bisa terfokus. 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. Perpindahan panas akibat gesekan antara udara dengan dinding saluran dapat diabaikan.
3. Kekasaran dinding diabaikan.
4. Aliran yang melintasi saluran udara memiliki lapis batas turbulen.
5. Temperatur fluida didalam udara diasumsikan konstan.
6. Kecepatan udara masuk *upstream duct* pada $Re_{Dh} > 7,88 \times 10^4$ untuk mengukur profil kecepatan dan pada *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 \leq Re_{Dh} < 10^5$ untuk mengukur *pressure drop*, *koefisien loss minor elbow 90°* dengan *single guide vane*, dan *koefisien loss minor damper*.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu guna mengetahui karakteristik aliran yang melalui suatu gangguan (*damper*) yang diletakkan pada jarak $x/D_h=2$ dari saluran outlet *elbow 90°* yang dilengkapi dengan *single guide vanes* pada saluran *downstream* namun tujuan khusus dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui profil kecepatan pada *upstream* dan *downstream duct* (posisi bidang horizontal dan vertikal).
2. Mengetahui *pressure drop* instalasi saluran udara, *koefisien loss minor elbow 90°* dengan *single guide vane* dan *koefisien loss minor damper*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapat setelah melakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran tentang perbedaan profil kecepatan aliran yang melewati suatu saluran berpenampang *square* yang dipasang *damper* pada saluran *downstream duct* dengan saluran yang tidak dipasang *damper*.
2. Memberikan penjelasan tentang *pressure drop* instalasi saluran udara, *koefisien loss minor elbow 90°* dengan *single guide vane*, dan *koefisien loss minor damper* pada variasi sudut bukaan *damper*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan mengenai teori penunjang yang berhubungan dengan penelitian ini. Teori ini digunakan sebagai landasan untuk menganalisis dalam penelitian studi eksperimen.

2.1 Persamaan Euler

Streamline merupakan sembarang garis yang dilukiskan dalam medan aliran, dimana garis singgung pada setiap titik dalam garis tersebut menyatakan arah kecepatan aliran. Setiap kecepatan aliran hanya diwakili satu streamline sehingga tidak ada aliran yang menyebrangi atau melintasi *streamline* lain. Hal ini membuat *streamline* seakan menjadi batas padat yang tidak bisa ditembus oleh aliran (*imaginary solid boundary*).

Berdasarkan gambar 2.1 gerakan partikel aliran dapat diketahui dalam koordinat *streamline* yang dibangun dari persamaan Euler pada *inviscid flow* yang dinyatakan pada persamaan 2.1.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p \quad (2.1)$$

Dari persamaan 2.1 dapat dijelaskan hubungan antara tekanan dengan kecepatan dari partikel fluida disepanjang *streamline*, dimana semakin besar tekanan partikel fluida maka kecepatan yang dihasilkan akan semakin kecil. Hubungan antara tekanan dan kecepatan tersebut memenuhi hukum kekekalan energi, jika aliran dianggap tanpa gesekan penjumlahan komponen tekanan dan kecepatan pada setiap titik adalah sama sehingga persamaan Euler dapat disederhanakan sebagai persamaan 2.2 dengan asumsi aliran *steady*, *body force* diabaikan, *viscous force* diabaikan dan aliran *incompressible*

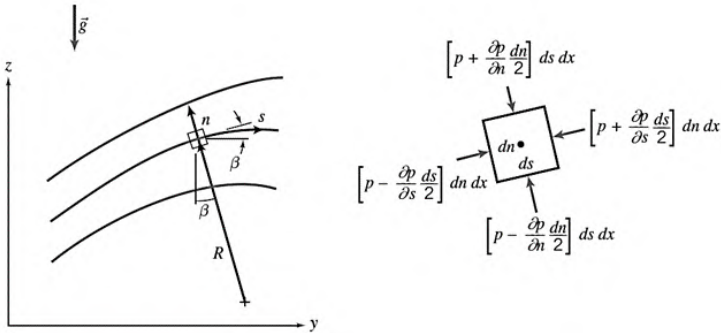
$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = -V \frac{\partial V}{\partial s} \quad (2.2)$$

Pada kondisi *steady flow* dimana R adalah kelengkungan dari *streamline*, maka persamaan Euler normal dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + g \frac{\partial z}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.3)$$

Pada aliran *streamline* pada bidang horizontal efek ketinggian dapat diabaikan, sehingga persamaan dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.4)$$



Gambar 2.1 Partikel fluida yang mengalir sepanjang streamline (Fox et al, 2010)

Pada persamaan 2.4 dijelaskan pengaruh dari perubahan radius kelengkungan tekanan fluida disepanjang aliran *streamline* normal (n). Semakin besar radius kelengkungan maka tekanan yang terjadi juga semakin besar. Perbedaan tekanan ini digunakan untuk mengimbangi gaya sentrifugal oleh karena itu aliran di dalam pipa lurus, tekanan pada sisi normalnya konstan. Ketika streamlinenya lurus maka tidak ada perubahan tekanan pada normal *streamline*.

2.2 Aliran di Dalam Saluran

Fluida yang mengalir dalam suatu ruang yang dibatasi dinding yang padat akan memiliki karakteristik aliran, yaitu aliran laminar atau aliran turbulen. Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa.

2.2.1 Aliran Laminer

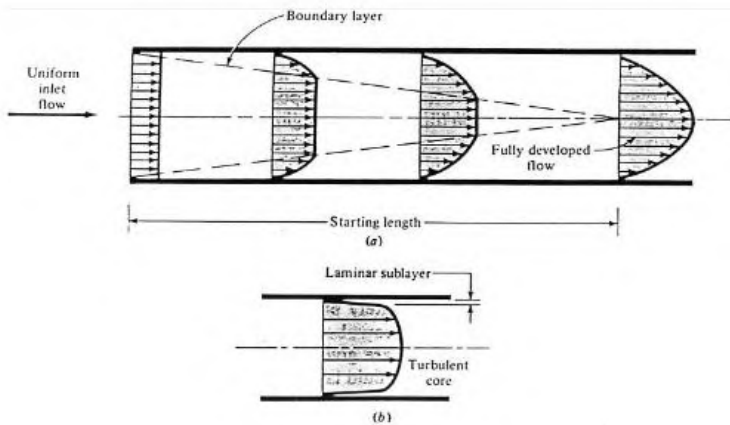
Aliran laminar didefinisikan sebagai fluida yang bergerak secara halus dan lancar dengan kecepatan relatif rendah. Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan – lapisan dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Aliran laminar memiliki bilangan Reynolds yang kurang dari 2300.

2.2.2 Aliran Turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran dimana pergerakan aliran dari partikel–partikel fluida sangat tidak menentu. Aliran turbulen memiliki bilangan Reynolds lebih dari 4000. Dalam hal ini turbulensi yang terjadi dapat membangkitkan tegangan geser yang merata di seluruh aliran fluida.

2.2.3 Aliran Berkembang Penuh (*Fully Developed Flow*)

.Fully development flow adalah suatu keadaan dimana boundary layer maksimum dengan kata lain keadaan profil kecepatan tidak mengalami perubahan, keadaan ini mempunyai beberapa kondisi yang tergantung dengan laminar dan turbulen. Profil ini dipengaruhi oleh viskositas sehingga membuat gaya geser antara profil kecepatan.



Gambar 2.2 Profil kecepatan untuk (a) aliran laminar di dalam saluran (b) aliran turbulen di dalam saluran

Keadaan fully development flow akan terbentuk jika aliran tidak ada gangguan. Maksudnya gangguan tersebut misalnya bentuk saluran, instalasi, dan sebagainya. Setiap aliran baik laminar maupun turbulen mempunyai besaran berbeda-beda dimana untuk laminar bernilai konstan dari titik awal, karena pengaruh dari kecepatan fluida sehingga fully development flow lebih cepat, berbeda dengan aliran turbulen dimana keadaan fully development flow atau aliran berkembang penuh karena terdapat aliran acak sehingga development flow terjadi lebih panjang. Jika aliran laminar, profil kecepatan berbentuk parabola akan didapatkan seperti gambar 2.2(a). Jika aliran adalah turbulen, akan didapatkan profil kecepatan yang lebih tumpul seperti yang ditunjukkan gambar 2.2(b).

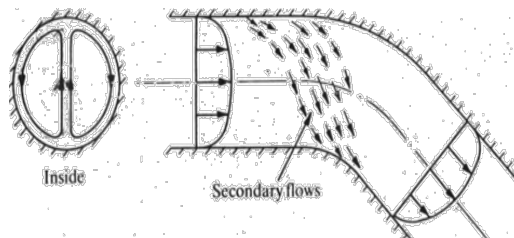
2.2.4 Proses Terjadinya Separasi pada *Elbow*

Separasi merupakan salah satu karakter aliran yang penting untuk dikaji pada *elbow* yang dapat menimbulkan terjadinya kerugian *pressure drop*. Kontak antara aliran secara kontinu dengan dinding *elbow* menyebabkan terjadinya gesekan yang dapat mengurangi momentum dari aliran. Ketika momentum

aliran tidak mampu lagi melawan gesekan dan hambatan akan terjadi tekanan balik (*adverse pressure gradient*) yang dapat merugikan yang ditunjukkan dengan perubahan besarnya kecepatan dan terjadinya *vortex* disekitar dinding *elbow*. Besarnya *vortex region* dapat merugikan karena menurunkan momentum aliran dimana luas penampang aliran utama akan semakin kecil yang menyebabkan aliran mengalami percepatan dan menyebabkan terjadinya *pressure drop*.

2.2.5 Proses Terjadinya Aliran Sekunder Pada *Elbow*

Aliran sekunder didalam *elbow* merupakan fenomena aliran tiga dimensi karena terjadinya perbedaan distribusi pada sisi *inner* dan *outer wall*. Perbedaan ini terjadi karena semakin kesisi luar maka tekanan statis aliran akan semakin besar sehingga pada sisi *outer wall* tekanan statisnya lebih besar dibanding sisi *inner wall*. Ketika aliran melewati dinding *elbow* aliran yang terjadi tidak sepenuhnya searah dengan *streamwise*, ini terjadi karena terdapat *boundary layer* pada sisi bawah dan samping pada *elbow*. Kecepatan aliran salah satunya bergerak searah dengan normal *streamwise* bergerak menuju *inner wall* karena tekanan statisnya lebih kecil. Pada aliran *elbow* terjadinya aliran sekunder tampak jelas terjadi pada bagian *cross section* seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Secondary flow* (Miller, 1990)

Pada *rectangular elbow* mempunyai karakter khusus jika dibandingkan *circular elbow* dengan terjadinya aliran sekunder pada sisi *corner*. Ini terjadi karena pada *rectangular elbow* terjadi *boundary layer* pada sisi bawah dan samping sedangkan pada

sirkular elbow tidak dijumpai. Interaksi *boundary layer* pada sisi bawah dan samping menyebabkan terjadinya aliran sekunder.

2.3 Bilangan *Reynolds*

Bilangan *Reynolds* merupakan salah satu indikasi menentukan jenis suatu aliran dapat dikatakan laminar maupun turbulen. Suatu aliran dalam ducting perpipaan bisa dikatakan turbulen ketika nilai *Re* lebih besar dari 2300. Sedangkan aliran laminar mempunyai nilai *Re* kurang dari 2300. Sedangkan aliran transisi mempunyai nilai *Re* disekitar 2300. Bilangan *Reynolds* (*Re*) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Re_{Dh} = \frac{(\rho U_{\infty} D_h)}{\mu} \quad (2.5)$$

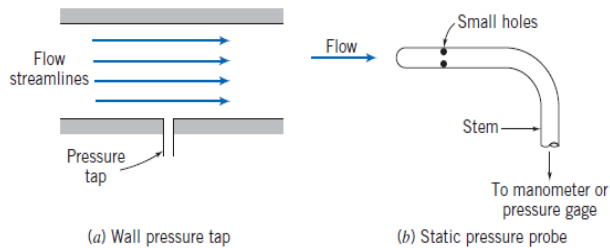
Dimana:

- ρ : massa jenis fluida
- U_{∞} : kecepatan *freestream* fluida disisi *upstream*
- D_h : diameter hidraulis
- μ : viskositas dinamis fluida

2.4 Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis

Tekanan P yang digunakan pada persamaan Bernoulli adalah tekanan termodinamis atau lebih dikenal dengan tekanan statis. Tekanan statis adalah tekanan yang diukur oleh alat ukur yang bergerak bersama-sama aliran dengan kecepatan yang sama. Bagaimanapun juga cara pengukuran yang demikian sangat sulit dilakukan. Oleh karena itu perlu ada cara yang praktis untuk mengukurnya.

Fluida yang mengalir lurus akan mempunyai streamlines lurus pula dan tidak mempunyai variasi tekanan ke arah normal dari aliran streamlines tersebut. Kenyataan ini memungkinkan untuk melakukan pengukuran tekanan statis dengan menggunakan wall pressure tap yang ditempatkan di daerah dimana aliran streamlines lurus, seperti yang terlihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.4 Pengukuran tekanan statis (Fox and McDonald's, 8th edition)

Pressure tap adalah sebuah lubang kecil yang dibuat pada dinding dimana axisnya tegak lurus terhadap permukaan dinding. Apabila lubang tersebut tegak lurus terhadap dinding suatu saluran dan bebas dari kotoran, akurasi pengukuran tekanan statis akan dapat diperoleh dengan menghubungkan pressure tap dengan suatu alat ukur yang sesuai. Apabila fluida mengalir jauh dari dinding, atau bila streamlines-nya berbentuk kurva, akurasi pengukuran tekanan statis dapat diperoleh dengan menggunakan pressure probe, seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Tekanan stagnasi adalah tekanan yang dapat diukur bila aliran diperlambat sampai kecepatannya sama dengan nol dengan proses tanpa gesekan. Pada aliran incompressible, persamaan Bernoulli dapat digunakan sehubungan dengan perubahan kecepatan dan tekanan sepanjang streamlines. Dengan mengabaikan diferensial elevasi, persamaan Bernoulli menjadi :

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstan}$$

Bila tekanan statis p pada suatu titik dalam suatu aliran dimana kecepatannya adalah V , maka tekanan stagnasi p_o , dimana kecepatan stagnasi V_o adalah nol, maka :

$$\frac{p_o}{\rho} + \frac{V_o^2}{2} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

dimana $V_o = 0$, sehingga :

$$\frac{p_o}{\rho} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

atau,

$$p_o = p + \frac{1}{2}\rho V^2$$

Persamaan di atas adalah kalimat matematis dari defenisi tekanan stagnasi, yang valid untuk aliran incompressible. Bentuk $\frac{1}{2}\rho V^2$ umumnya disebut tekanan dinamis. Jadi persamaan tekanan dinamis adalah :

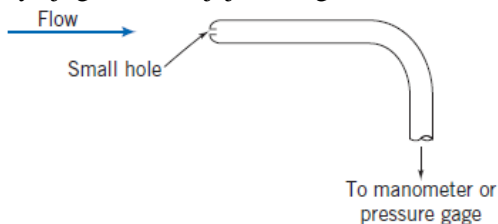
$$\frac{1}{2}\rho V^2 = p_o - p$$

dan kecepatannya adalah :

$$V = \sqrt{\frac{2(p_o - p)}{\rho}} \quad (2.6)$$

Jadi, bila tekanan stagnasi dan tekanan statis diukur pada suatu titik, maka persamaan kecepatan diatas akan menghasilkan kecepatan aliran lokal.

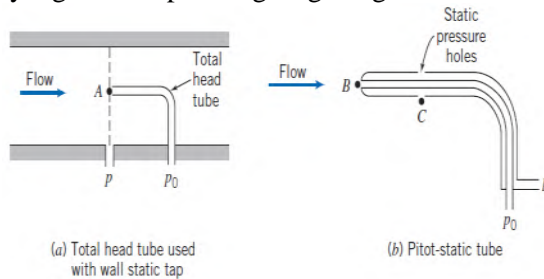
Tekanan stagnasi dapat diukur dengan menggunakan sebuah probe dimana lubangnya langsung berhadapan dengan aliran seperti terlihat pada gambar 2.5. Probe ini dikenal dengan nama stagnation pressure probe atau pitot tube. Daerah pengukurannya juga harus sejajar dengan arah aliran lokal.



Gambar 2.5 Pengukuran tekanan stagnasi (Fox, and Mc. Donald, 8th edition)

Pada gambar 2.6 terlihat bahwa tekanan statis dapat dibaca dari *wall static pressure tap* yang terletak pada dinding. Sedangkan

tekanan stagnasi dapat diukur langsung dengan menggunakan total head tube yang berhadapan langsung dengan aliran.

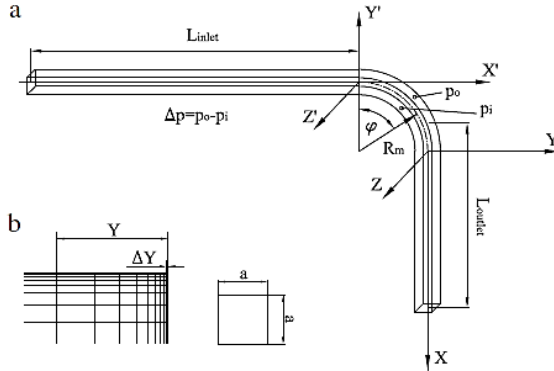


Gambar 2.6 Pengukuran Tekanan Stagnasi dan Tekanan Statis (Fox, and Mc. Donald, 8th edition)

Perbedaan antara tekanan lokal statik pada setiap titik dalam aliran dengan tekanan statik pada freestream bergantung langsung dengan tekanan dinamik pada free stream, dan perbandingan ini yang disebut dengan koefisien tekanan atau *pressure coefficient* (C_p).

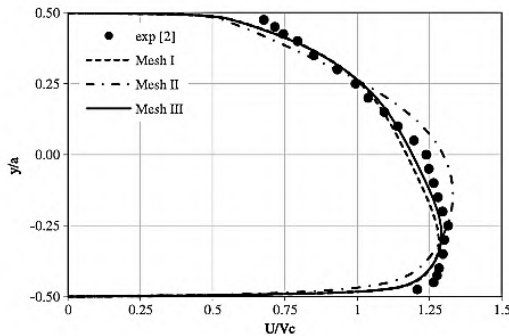
2.5 Karakteristik Aliran Melalui *Elbow 90°*

Dalam menganalisa karakteristik aliran melalui *square duct* seperti yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen oleh **Rup dan Sarna (2011)**. Simulasi ini menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*) dilakukan pada $Re = 40000$ yang memiliki ukuran geometri $a \times a = 80 \times 80$ mm, $D_h = 80$ mm dan $L_{inlet} = L_{outlet} = 20D_h = 1600$ mm seperti yang terlihat pada gambar 2.7. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing*, dengan jumlah mesh $V_k = 553\,052$, $V_k = 1766\,079$, and $V_k = 1034\,775$

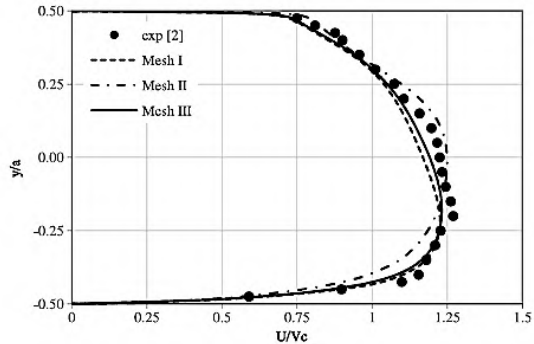


Gambar 2.7 a) Posisi pengambilan data pada *domain* uji b) Mesh pada *Volume*
(Rup dan Sarna : 2011)

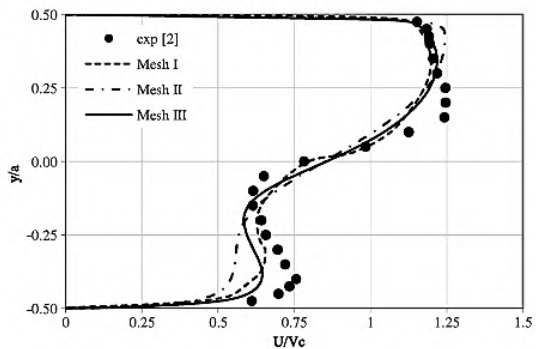
Hasil yang didapatkan yaitu membandingkan hasil eksperimen dan simulasi profil kecepatan pada jarak tertentu dan koefisien tekanan pada aliran sepanjang *elbow*.



Gambar 2.8 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen Untuk $\phi = 30^\circ$ ($z/D_h = 0.0$) (Rup dan Sarna : 2011)

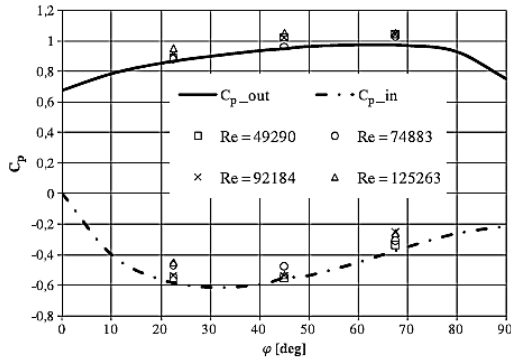


Gambar 2.9 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $\phi = 60^\circ$ ($z/Dh = 0.0$) (Rup dan Sarna : 2011)



Gambar 2.10 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ and $z/Dh = 0.0$ (Rup dan Sarna : 2011)

Pada gambar 2.8 dan 2.9, mendeskripsikan bahwa hasil yang didapat dari simulasi mendekati hasil eksperimen untuk profil kecepatan sepanjang *elbow* pada lokasi $\phi = 30^\circ$ dan 60° . Terdapat perbedaan yang jelas terlihat pada gambar 2.10 yang menunjukkan profil kecepatan pada dengan lokasi $x/Dh = 1.0$ and $z/Dh = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada variasi *mesh* III ($Vk = 1034\ 775$).



Gambar 2.11 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi *inner* dan *outer wall elbow* hasil simulasi dan eksperimen (**Rup dan Sarna : 2011**)

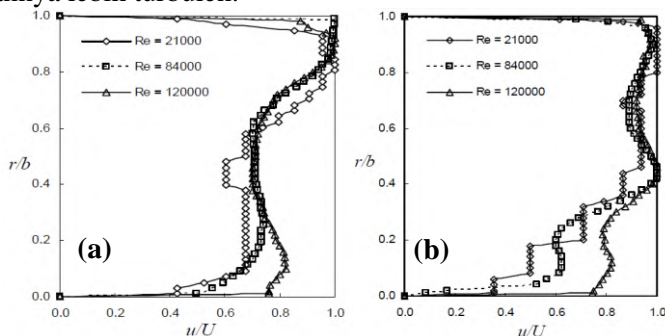
Gambar 2.11 memberikan informasi tentang distribusi koefisien tekanan pada elbow yang, dapat diamati bahwa koefisien tekanan maksimum di dinding elbow terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut $\phi = 45^\circ$ ($Z = 0.00$). Perbedaan tekanan ini menjadi parameter untuk menentukan besar koefisien losses pada *elbow* tersebut

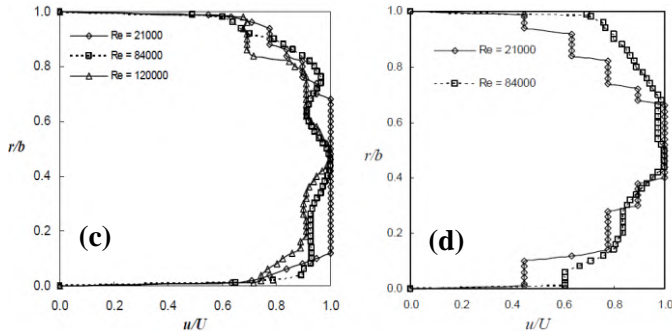
Sutardi dkk (2010) melakukan penelitian secara eksperimen pada sebuah *elbow*. *Elbow* yang digunakan berbentuk *rounded* dan *rectangular* dengan 4 variasi pemasangan guide vane yaitu tanpa guide vane, satu guide vane, dua guide vane, dan tiga guide vane. Re_{dh} aliran yang melalui elbow divariasikan menjadi 2.1×10^4 , 8.4×10^4 dan 12×10^5 . Hasil yang didapat dari eksperimen adalah, pada Re_{dh} e terkecil sebesar 2.1×10^4 , penambahan guide vane mengurangi pressure drop. Hal tersebut berbanding terbalik dengan variasi Re_{dh} aliran 8.4×10^4 dan 12×10^5 dimana terjadi peningkatan pressure drop pada setiap penambahan guide vane. Selain itu, penambahan guide vane pada setiap variasi Re_{dh} juga berhasil mengurangi turbulansi aliran. Perbandingan data kuantitatif pengaruh penambahan guide vane terhadap *pressure drop* dapat dijelaskan pad tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Pengaruh penambahan guide vane terhadap *pressure drop* (Sutardi dkk, 2010)

Re_{Dh}	Number of Guide Vanes	Δp (N/m ²)	Δp (%)
21000	0	4.01	-
	1	2.67	-33.42%
	2	2.73	-31.92%
	3	2.71	-32.42%
84000	0	36.07	-
	1	37.40	3.69%
	2	51.12	41.72%
	3	74.59	106.79%
120000	0	79.11	-
	1	88.66	12.07%
	2	118.22	49.44%
	3	-	-

Sedangkan untuk profil kecepatan lokasi *downstream* pada elbow dengan 4 variasi pemasangan guide vane yaitu tanpa guide vane, satu guide vane, dua guide vane, dan tiga guide vane ditunjukkan pada gambar 2.12. Lokasi *downstream* adalah $3Dh$ dari ujung guide vanes. Untuk semua konfigurasi elbow, tanpa guide vane, dengan satu, dua, atau tiga guide vanes, profil kecepatannya dipengaruhi oleh nilai Re_{dh} . Profil kecepatan berkembang pada nilai Re_{dh} yang tinggi, hal ini disebabkan karena alirannya lebih turbulen.



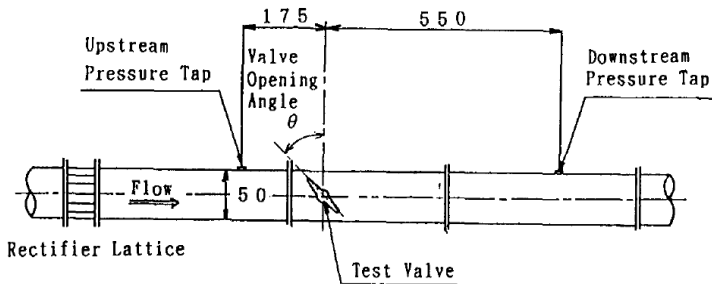


Gambar 2.12 Profil kecepatan pada elbow (a) tanpa guide vane, (b) 1 guide vane, (c) 2 guide vane, (d) 3 guide vane (Sutardi dkk, 2010)

Profil kecepatan elbow tanpa guide vane pada gambar 2.12 (a) saat $Re_{dh} = 12 \times 10^5$ lebih berkembang dibandingkan saat $Re_{dh} = 2,1 \times 10^4$ dan $8,4 \times 10^4$. Untuk elbow dengan satu guide vane pada gambar 2.12 (b) profil kecepataannya lebih berkembang daripada elbow tanpa guide vane dan profil kecepataannya juga berkembang seiring bertambahnya nilai Re_{dh} . Begitu juga pada elbow dengan tiga guide vane profil kecepataannya berkembang saat Re_{dh} tertinggi ($Re_{dh} = 8,4 \times 10^4$) seperti pada gambar 2.12 (d). Namun pada gambar 2.12 (c) untuk elbow dengan dua guide vane profil kecepataannya tidak berkembang pada Re_{dh} yang tertinggi ($Re_{dh} = 12 \times 10^5$). Hal ini dikarenakan lokasi downstream pada $3Dh$ setelah guide vane profilnya jauh dari relaksasi

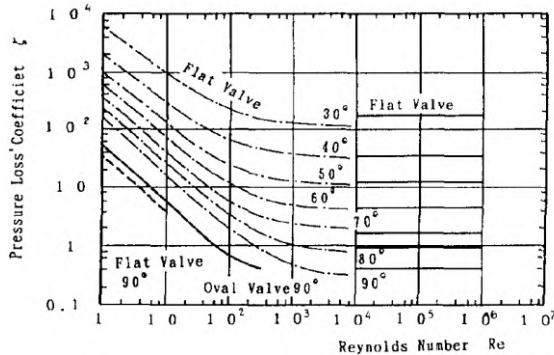
2.6 Karakteristik Aliran yang Melewati Saluran dengan Butterfly Valve Sebagai Body Pengganggu

Kimura T. dkk (1995) melakukan penelitian secara numerik dan eksperimen pada pipa lurus berpenampang *circular* dan bujursangkar yang terdapat *butterfly valve*. Eksperimen menggunakan *butterfly valve* yang berbentuk *oval valve* dan *flat valve* dengan instalasi penelitian pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Instalasi pipa lurus dengan *butterfly valve*

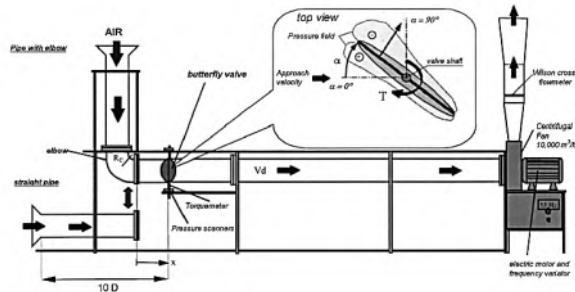
Pada gambar 2.13 terlihat instalasi penelitian dengan diameter pipa sebesar 50mm. Penelitian secara eksperimen dengan dilakukan pengukuran tekanan statis pada daerah *upstream* dan *downstream*. *Upstream pressure tap* diletakkan 175mm sebelum *butterfly valve* dan *downstream pressure tap* diletakkan sejauh 550mm setelah *butterfly valve*. Variasi bilangan *Reynolds* yang digunakan adalah dari 7×10^3 sampai 5×10^5 dengan kecepatan maksimal 10 m/s. Eksperimen dilakukan pengukuran tekanan statis pada posisi *upstream* dan *downstream* dengan variasi *Reynolds number* yang ditentukan dan didapatkan grafik pengaruh bukaan sudut *butterfly valve* terhadap *pressure loss coefficient* (ζ) yang terlihat seperti gambar 2.14.



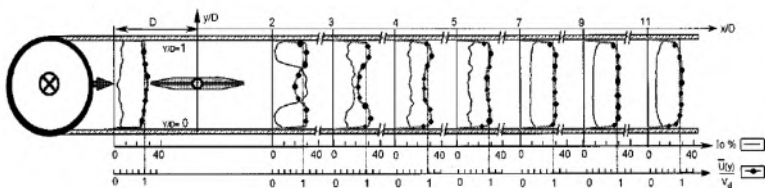
Gambar 2.14 Grafik *Reynolds number* vs *pressure loss coefficient*

Pada gambar 2.14 terlihat hubungan *Reynolds number* dengan *pressure loss coefficient* (ζ) dengan *butterfly valve* yang digunakan adalah *flat valve* dan *oval valve*. Garis padat merupakan grafik milik *oval valve* pada kondisi *fully open* dari hasil numerik, sedangkan garis putus-putus merupakan grafik milik *flat valve* dari hasil numerik. Garis berbentuk rantai menunjukkan grafik *flat valve* pada setiap bukaan sudut *valve*, dengan hasil pada *Reynolds number* yang kecil nilai *pressure loss coefficient* (ζ) semakin kecil seiring bertambahnya nilai *Reynolds number*. Sedangkan garis padat pada *Reynolds number* diatas 4×10^4 merupakan hasil eksperimen dengan menggunakan *valve test* berupa *flat valve* dan didapatkan hasil yaitu semakin besar nilai *Reynolds number* maka nilai *pressure loss coefficient* (ζ) hampir konstan seperti pada gambar 2.14.

Danbon dan Sollic (1999) melakukan eksperimen pada saluran berpenampang *circular* yang di dalamnya dipasang *butterfly valve* sebagai pengontrol laju aliran fluida, dengan memanfaatkan torsi yang dihasilkan oleh gaya-gaya aerodinamisnya akan membuka atau menutup seiring bertambah atau berkurangnya laju aliran massa. Eksperimen dilakukan pada kecepatan 40 m/s dan intensitas turbulen 2%, *valve* diletakkan di posisi $x/D=1$ dengan variasi $\alpha=0^\circ$ dan $\alpha=30^\circ$ serta bilangan Reynolds $5.0 \times 10^4 < Re < 10^6$, seperti yang terlihat pada gambar 2.15. Kemudian hasil yang diperoleh adalah profil kecepatan dan profil intensitas turbulen yang digambarkan berupa *dotlines* dan *solidlines*, seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada gambar 2.15; 2.16.

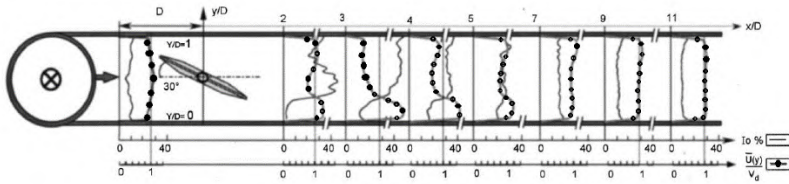


Gambar 2.15 Test Section serta posisi valve $x/D=1$ dan sudut α (Danbon dan Sollicic :1999)



Gambar 2.16 Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran pada sudut $\alpha=0^\circ$ dengan *elbow* (Danbon dan Sollicic : 1999)

Ketika *valve* dipasang secara *fully open* (0°) dengan *elbow* seperti pada gambar 2.16 terlihat ada perubahan yang signifikan terhadap profil kecepatan sesaat setelah melalui *valve*, diketahui bahwa nilai $\frac{\bar{U}(y)}{V_d} < 1$ pada *centreline* ($y/D=0,5$) namun akan berangsur-angsur kembali *fully developed* pada $x/D=12$.



Gambar 2.17 Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran pada sudut $\alpha=30^\circ$ dengan *elbow* (Danbon dan Sollic 1999)

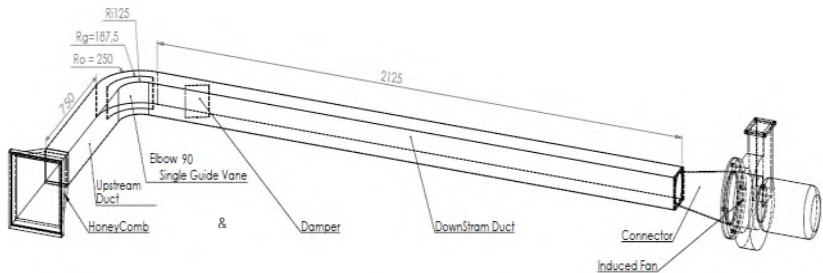
Hal ini juga terjadi pada sudut kemiringan 30° (gambar 2.17) yang kembali mencapai *fully developed* pada $x/D=12$. Aliran yang melewati *elbow* mengalami gangguan akibat aliran sekunder di dalamnya, kemudian sesaat setelah melewati *elbow* terdapat *blockage effect* berupa *valve* sehingga seolah-olah gangguan tersebut terakumulasi akibatnya aliran tertunda mencapai *fully developed*. Secara keseluruhan, untuk aliran yang melalui *valve* bukaan 30° akan lebih cepat kembali normal dari pada *fully open*, disebabkan oleh *blockage effect* yang lebih besar akan memberikan momentum tambahan untuk melawan gaya gesernya.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas metode penelitian yang digunakan, yaitu metode penelitian secara eksperimen. Pembahasan meliputi instalasi dan test section penelitian, peralatan pendukung penelitian, analisa dimensi, prosedur pengambilan data, serta langkah-langkah dalam pengelolaan data.

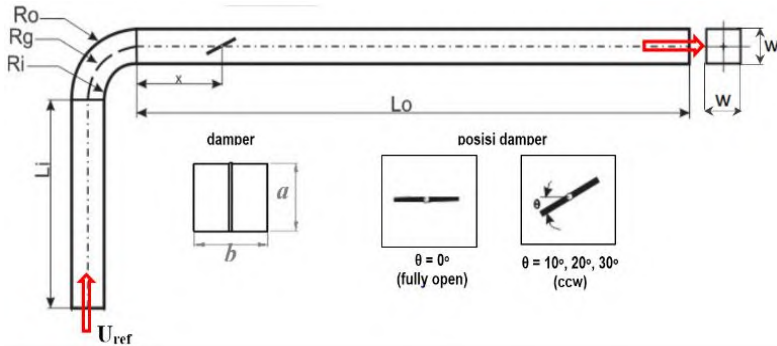
3.1 Skema Penelitian

Sekema instansi penelitian berupa benda uji (*test section*) secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.1. Peralatan pendukung instalasi meliputi *honey comb*, *upstream duct*, *elbow 90°* dengan ditambahkan *single guide vane*, *downstream duct*, *damper*, *connector*, *induced draft fan*.



Gambar 3.1 Skema instalasi penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan model saluran udara masuk melalui *honey comb* menuju *upstream duct* berpenampang bujursangkar (*square*) dengan $D_h=125mm$. Aliran udara dibelokkan oleh *elbow 90°* dengan $r/D_h=1,5$ dan dilengkapi *single guide vane* menuju *downstream duct*. Di dalam *downstream duct* terdapat *damper* dipasang pada $2D_h$ setelah *elbow*. Model penelitian ditunjukkan pada gambar 3.2. Penelitian ini dilakukan dengan variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° , dan 30°



Gambar 3.2 Model Penelitian

Spesifikasi saluran udara:

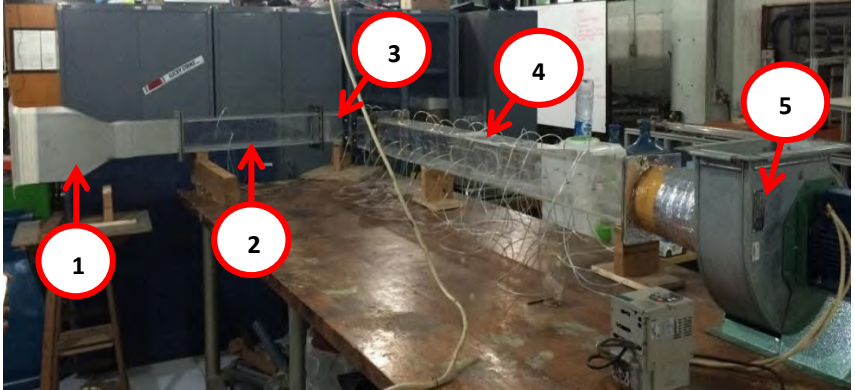
- w (panjang sisi penampang) : 125 mm
- Bahan : Akrilik
- Tebal : 8 mm
- L_i (*upstream duct*) : 750 mm
- L_o (*downstream duct*) : 2125 mm
- R_m (*centerline elbow 90° radius*) : 187,5 mm
- R_i (*inner radius*) : 125 mm
- R_o (*outer radius*) : 250 mm
- R_g (*guide vane radius*) : 187,5 mm
- a (tinggi *damper*) : 125 mm
- b (lebar *damper*) : 125 mm
- x (jarak outlet elbow 90° dengan *damper*) : 250 mm
- θ (variasi bukaan *damper*) : 0°, 10°, 20°, 30°

Dari spesifikasi di atas dengan panjang sisi penampang saluran udara (w) 125 mm, maka didapatkan diameter hidrolis saluran udara (D_h) bernilai :

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (125\text{mm})^2}{125\text{mm} \times 4} = 125 \text{ mm}$$

3.2 Peralatan Pendukung Penelitian

Peralatan pendukung dibutuhkan untuk instalasi penelitian yang dapat ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Instalasi Penelitian

Keterangan :

1. *Nozzle*
2. *Upstream Duct*
3. *Elbow 90° dengan single guide vanes*
4. *Downstream Duct*
5. *Centrifugal Fan*

3.2.1 *Induced Draft Fan*

Pada penelitian ini digunakan 1 buah *induced draft fan* yang berfungsi untuk menghisap udara seperti pada gambar. *Inverter* berfungsi memberikan input berupa frekuensi kemudian dikonversikan menjadi putaran oleh *induced draft fan*. Gambar 3.4 merupakan *Induced draft fan* dan *Inverter*.



Gambar 3.4 (a) *Induced draft fan*, (b) *Inverter*

- Merk : ElexMax Three-Phase Asynchronous Motor
- Type : 71M4 – 4 B3
- No : 0221
- Voltage : 220 / 380 Voltage
- Frekuensi : 0-50 Hz
- Daya : 0,75 KW
- Putaran : 1350 RPM
- Berat : 8,7 kg

3.2.2 *Honey Comb, Screen dan Nozzle*

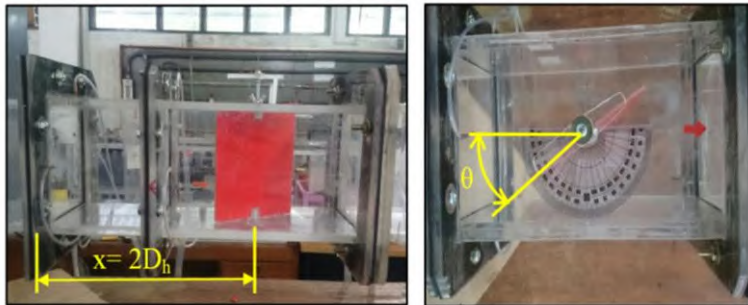
Nozzle berfungsi untuk menambah kecepatan aliran sebelum memasuki *test suction* . Didalam *nozzle* terdapat *screen* dan *honeycomb* yang berfungsi untuk menjadikan aliran mendekati uniform dan mengurangi turbulensi aliran ketika memasuki instalasi *test suction*.



Gambar 3.5 *Honey Comb*

3.2.3 Damper

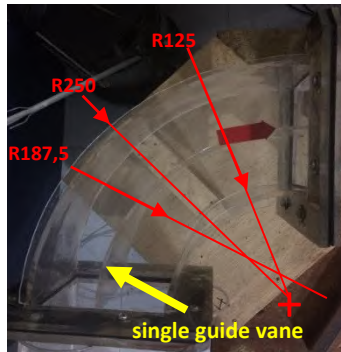
Dalam eksperimen ini, instalasi ducting dipasang bodi pengganggu berupa *butterfly valve* yang terletak pada jarak $x/D = 2$ sesudah outlet *elbow 90°*. Damper diposisikan dekat dengan outlet *elbow 90°* untuk mempercepat profil kecepatan agar konvergen dan mengurangi turbulensi aliran setelah melewati *elbow 90°*. Bentuk damper adalah bujursangkar (square) yang menyesuaikan dengan dimensi hidrolis (D_h).



Gambar 3.6 Damper

3.2.4. Elbow 90° dengan Single Guide Vane

Pada eksperimen ini terdapat *Elbow 90°* berpenampang bujursangkar yang di dalamnya terdapat *Single Guide Vane*. *Elbow 90°* untuk membelokkan aliran setelah melewati *upstream duct*. *Elbow 90°* memiliki *inner radius* 125 mm dan *outer radius* 250 mm, sedangkan *single guide vane* memiliki radius 187,5 mm.



Gambar 3.7 Elbow 90° dengan Single Guide Vane

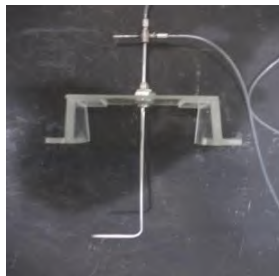
3.2.5. Alat Ukur

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

1. Wall-pressure tap

Wall-pressure tap yaitu lubang–lubang kecil berdiameter 1 mm yang terhubung pada manometer atau transducer tekanan serta dipasang sepanjang kontur permukaan benda uji maupun saluran yang searah aliran dan tegak lurus terhadap permukaan.

2. Pitot Tube

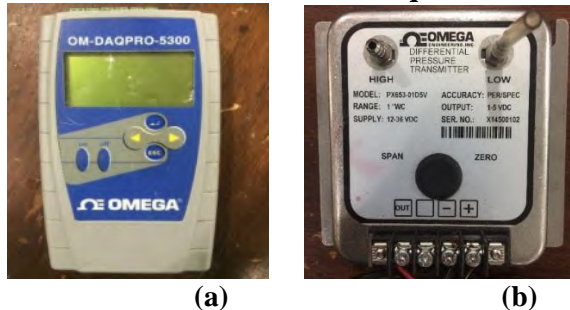


Gambar 3.8 Pitot Tube

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 maupun vertikal pada setiap cross section yang sama dilakukan secara manual dengan skala pengukuran tertentu.

3. Transducer Tekanan dan Data Aquisisi



Gambar 3.9 (a) DAQ PRO 5300, (b) Differential Pressure Transmitter

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

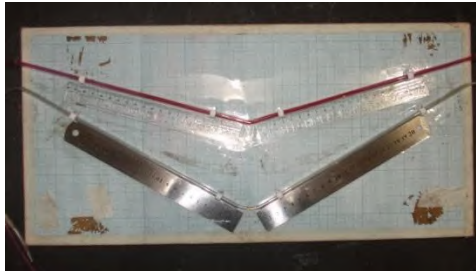
- a. Untuk mengukur tekanan stagnasi dan tekanan statis

Model	: PX653 - 01D5L
Range	: $\pm 1''$ WC
Akurasi	: 0.25 % FS (Fullscale)
Output	: 1 – 5 VDC
Excitation	: 12 – 36 Vdc
Ser.no.	: X14500102
- b. Untuk mengukur *pressure drop*, *koefisien losses elbow 90°* dan *koefisien losses damper*

Model	: PX653 - 03D5V
Range	: $\pm 3''$ WC
Akurasi	: 0.25 % FS (Fullscale)
Output	: 1 – 5 VDC
Excitation	: 12 – 36 VDC
Ser.no.	: X11450113

4. *Inclined manometer (Manometer V) dan Mistar*

Manometer digunakan sebagai pembaca tekanan yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube*. *Manometer* yang digunakan mempunyai kemiringan sebesar 15° yang bertujuan untuk mempermudah pembacaan Δh . *Manometer* digunakan sebagai pembaca tekanan statis dan stagnasi yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Inclined Manometer*

Spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Kerosene* (SG = 0,827)
- Kemiringan : 15°

3.3 Analisa Dimensi Parameter-Parameter yang Dianalisa

Analisa dimensi diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu eksperimen. Hubungan antara parameter yang saling mempengaruhi ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Pi Theorem*. Parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran sepanjang *downstream duct*.

Δp : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m^2)

ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

μ : viskositas absolut fluida (kg/(m.s))

- U_{ref} : kecepatan *freestream* di *inlet upstream duct* (m/s)
 u : kecepatan lokal (m/s)
 a : tinggi *damper* (m)
 b : lebar *damper* (m)
 R_i : *inner radius elbow 90°* (m)
 R_o : *outer radius elbow 90°* (m)
 R_m : *mean radius elbow 90°* (m)
 R_g : *single guide vane radius* (m)
 l_i : panjang total *inner* searah *streamline elbow 90°* (m)
 l_o : panjang total *outer* searah *streamline elbow 90°* (m)
 D_h : diameter hidrolik saluran (m)
 L_i : panjang *upstream duct* (m)
 L_o : panjang *downstream duct* (m)
 x : jarak *damper* dari output elbow 90° (m)
 θ : sudut bukaan *damper*

3.3.1 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk Koefisien Tekanan pada *Square Ducting*

Pressure drop pada *square duct* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga perbedaan tekanan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta p = f(\rho, \mu, U_{ref}, a, b, R_i, R_o, R_g, l_i, l_o, L_i, L_o, D_h, x) \quad (3.1)$$

Dipilih *repeating parameter* ($m=r=3$) dari parameter berdimensi , yaitu ρ, U_{ref} dan D_h . Dari analisa dimensi akan diperoleh 13 grup tak berdimensi ($n-m=13$) pada *dependent variable* Δp dengan menggunakan *Buckingham Pi-theorema*, maka diperoleh 13 grup tak dimensi yaitu :

1. $\Pi_1 = \frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2}$; koefisien tekanan
2. $\Pi_2 = \frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}$; bilangan Reynolds
3. $\Pi_3 = \frac{R_m}{D_h}$; perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik

4. $\Pi_4 = \frac{R_i}{D_h}$; perbandingan *inner radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
5. $\Pi_5 = \frac{R_o}{D_h}$; perbandingan *outer radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
6. $\Pi_6 = \frac{R_g}{D_h}$; perbandingan *single guide vane radius* dengan diameter hidraulik
7. $\Pi_7 = \frac{l_i}{D_h}$; perbandingan panjang total inner searah *streamline elbow radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
8. $\Pi_8 = \frac{l_o}{D_h}$; perbandingan panjang total outer searah *streamline elbow radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
9. $\Pi_9 = \frac{L_i}{D_h}$; perbandingan panjang *upstrea duct* dengan diameter hidrolik
10. $\Pi_{10} = \frac{L_o}{D_h}$; perbandingan panjang *downstream duct* dengan diameter hidrolik
11. $\Pi_{11} = \frac{a}{D_h}$; perbandingan tinggi damper dengan diameter hidrolik
12. $\Pi_{12} = \frac{b}{D_h}$; perbandingan lebar damper dengan diameter hidrolik
13. $\Pi_{13} = \frac{x}{D_h}$; perbandingan jarak damper dari output *elbow 90°* dengan diameter hidrolik

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

- $\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}, \Pi_{11}, \Pi_{12}, \Pi_{13})$ (3.2)

- $\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_1\left(\frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}, \frac{R_m}{D_h}, \frac{R_i}{D_h}, \frac{R_o}{D_h}, \frac{R_g}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{x}{D_h}\right)$ (3.3)

Pada penelitian ini variabel berikut bernilai konstan, $\frac{R_m}{D_h}, \frac{R_i}{D_h}, \frac{R_o}{D_h}, \frac{R_g}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}$ dan $\frac{x}{D_h}$, sehingga

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_2 \left(\frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}, \theta \right) \quad (3.4)$$

Dan untuk koefisien pressure (C_p) pada *square duct* adalah sebagai berikut :

$$C_p = f_2 \left(\frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}, \theta \right) \quad (3.5)$$

3.3.2 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk kecepatan pada *Square Duct*

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 :

$$u = f(\rho, \mu, U_{ref}, a, b, R_i, R_o, R_g, l_i, l_o, L_i, L_o, D_h, x) \quad (3.6)$$

Dipilih *repeating parameter* ($m=r=3$) dari parameter berdimensi , yaitu ρ, U_{ref} dan D_h . Dari analisa dimensi akan diperoleh 14 grup tak berdimensi ($n-m = 14$) *dependent variable* u sebagai dengan menggunakan *Buckingham Pi-theorema*, maka diperoleh 14 grup tak dimensi yaitu : Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

1. $\Pi_1 = \frac{u}{U_{ref}}$; kecepatan tak berdimensi
2. $\Pi_2 = \frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}$; bilangan Reynolds
3. $\Pi_3 = \frac{R_m}{D_h}$; perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
4. $\Pi_4 = \frac{R_i}{D_h}$; perbandingan *inner radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
5. $\Pi_5 = \frac{R_o}{D_h}$; perbandingan *outer radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
6. $\Pi_6 = \frac{R_g}{D_h}$; perbandingan *single guide vane radius* dengan diameter hidraulik

7. $\Pi_7 = \frac{l_i}{D_h}$; perbandingan panjang total inner searah *streamline elbow radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
8. $\Pi_8 = \frac{l_o}{D_h}$; perbandingan panjang total outer searah *streamline elbow radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
9. $\Pi_9 = \frac{L_i}{D_h}$; perbandingan panjang *upstream duct* dengan diameter hidrolik
10. $\Pi_{10} = \frac{L_o}{D_h}$; perbandingan panjang *downstream duct* dengan diameter hidrolik
11. $\Pi_{11} = \frac{a}{D_h}$; perbandingan tinggi damper dengan diameter hidrolik
12. $\Pi_{12} = \frac{b}{D_h}$; perbandingan lebar damper dengan diameter hidrolik
13. $\Pi_{13} = \frac{x}{D_h}$; perbandingan jarak damper dari output *elbow 90°* dengan diameter hidrolik

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

- $\Pi_1 = f_1 (\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}, \Pi_{11}, \Pi_{12}, \Pi_{13})$ (3.7)

- $\frac{u}{U_{ref}} = f_3 \left(\frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}, \frac{R_m}{D_h}, \frac{R_i}{D_h}, \frac{R_o}{D_h}, \frac{R_g}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{x}{D_h} \right)$ (3.8)

Pada penelitian ini variabel berikut bernilai konstan, $\frac{R_m}{D_h}, \frac{R_i}{D_h}, \frac{R_o}{D_h}, \frac{R_g}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}$ dan $\frac{x}{D_h}$, sehingga

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_3 \left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \theta \right) \quad (3.9)$$

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

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_4 \left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \theta \right) \quad (3.10)$$

3.4 Langkah-Langkah Validasi

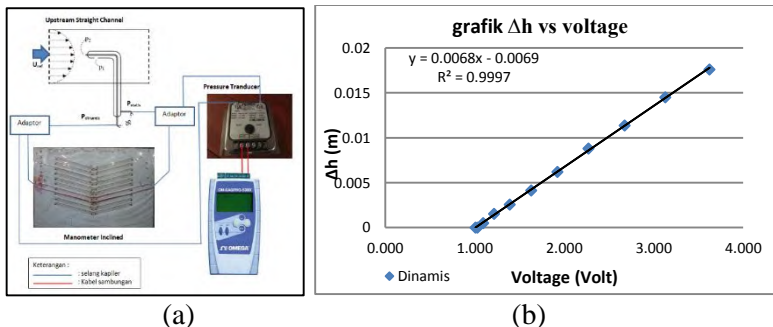
Ada beberapa langkah validasi yang perlu dilakukan sebelum pengambilan data, yaitu :

3.4.1 Alat yang digunakan

Dalam penelitian ini terdapat peralatan yang dipergunakan pada proses kalibrasi. Berikut peralatan yang digunakan:

- Manometer
- Pressure Transducer
- Data Aquisisi DAQ PRO 5300
- Pitot Tube

3.4.2 Validasi Tekanan Dinamis



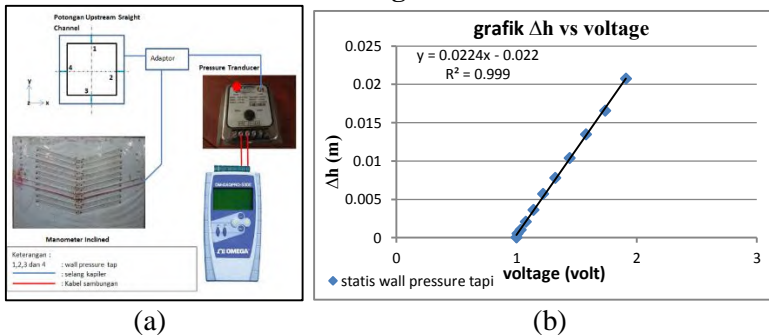
Gambar 3.11 (a) Skema validasi tekanan dinamis, (b) hasil validasi tekanan dinamis

Berikut adalah langkah validasi tekanan dinamis:

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* dengan pembukaan sudut damper 0° .
2. *Pitot static tube* dipasang pada dinding yang tersambung pada *manometer* dan *transducer* seperti gambar 3.11(a).
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.

4. Diambil data *manometer* dan *pressure transducer* untuk tekanan dinamik.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aquisisi didapatkan *Voltage (Volt)*
6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage (Volt)* sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula seperti gambar 3.11(b).

3.4.3 Validasi Tekanan Dinding



Gambar 3.12 (a) Skema validasi tekanan statis, (b) hasil validasi tekanan statis

Berikut adalah langkah validasi tekanan statis:

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* dengan pembukaan sudut damper 0° .
2. *Wall pressure tap* pada tiap sisi *test section* disatukan dan disambung pada *manometer* dan *transducer*. Data yang diperoleh merupakan tekanan rata-rata dari 4 sisi *test section* seperti pada gambar 3.12(a).
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data *manometer* dan *pressure transducer* untuk tekanan statis dinding.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aquisisi didapatkan *Voltage (Volt)*.

6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage (Volt)* sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula seperti pada gambar 4.12(b).

3.5 Prosedur Pengambilan Data

3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi tekanan stagnasi dan tekanan statis. Sebelum melakukan pengambilan data maka perlu dilakukan pengukuran suhu ruangan terlebih dahulu. Masing-masing pengukuran memiliki prosedur pengambilan data yang berbeda dan akan dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Prosedur pengukuran tekanan dinamis

Prosedur pengukuran tekanan dinamis adalah sebagai berikut:

 - a) Persiapan *test section*.
 - b) Pemasangan *pitot tube* pada posisi yang ingin diukur.
 - c) *Pitot tube* dihubungkan dengan *pressure transducer* dengan menggunakan selang kapiler.
 - d) Posisi *pitot tube* diatur pada titik awal pengukuran pada jarak $x_m/l_m = 0.31$ dan pada jarak $r_o/b_x \approx 1$ artinya ujung *pitot tube* sebisa mungkin di dekatkan pada *dinding outer inlet*.
 - e) Pengaturan bukaan *blower* sesuai kebutuhan.
 - f) *Voltage* dari *pressure transducer* pada tekanan stagnasi pada dicatat.
 - g) *Blower* dimatikan
 - h) *Pitot tube* digeser searah horisontal mendekati sisi inner duct.
 - i) Mengulangi langkah e sampai f hingga titik tekanan stagnasi terakhir yang telah ditentukan sebelumnya.
- 2) Prosedur pengukuran tekanan statis adalah sebagai berikut:
 - a) Persiapan *test section*.
 - b) Penghubungan *pressure tap* yang sudah terpasang di dinding ke *pressure transducer* dengan selang kapiler.
 - c) Pengaturan bukaan *blower* sesuai kecepatan *free stream* yang akan di-set.

- 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* selanjutnya.
- f) Langkah c). sampai f). diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir pada posisi $16D_h$ dari *inlet downstream duct*.

3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Beberapa data awal yang diperlukan untuk melakukan proses perhitungan adalah:

- Diameter hidrolis (D_h) : 125 mm
- Panjang *downstream duct* : 2125 mm
- Panjang *inlet upstream* sampai *downstream inner wall* (l_i) : 2973,1 mm
- *Outer wall* (l_o) : 3071,3 mm
- Sudut *inclined manometer* (θ) : 15°
- *Specific Gravity kerosene* ($SG_{kerosene}$) : 0,827
- Percepatan Gravitasi (g) : $9,81 \text{ m/s}^2$
- Temperatur ruangan dianggap konstan (T) : 28°C
- Massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{ud}) : $1,1726 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas kinematis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ν): $1,585 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Massa jenis air pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{H_2O}) : $996,4 \text{ kg/m}^3$

1) Perhitungan untuk *Reynolds Number*

Pada eksperimen ini digunakan nilai *Reynolds* yang didapat melalui persamaan 3.11 pada kecepatan *inlet upstream*.

$$Re_{DH} = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot D_h}{\nu} \quad (3.11)$$

Dimana:

- ρ_{ud} : massa jenis udara
- ν : viskositas kinematis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- μ : viskositas absolut udara pada $T = 28^\circ\text{C}$

- U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet upstream duct*
- D_h : diameter hidrolik ducting

Fan yang digunakan pada eksperimen ini adalah *induced draft fan*. Untuk mendapatkan kecepatan awal (U_{ref}) sebesar 10 m/s dilakukan pengaturan frekuensi pada inverter secara manual. Dengan kalibrasi validasi tekanan dinamik pada saluran upstream straight channel melalui inclined manometer untuk pengukuran nilai Δh . Nilai Δh diukur dari frekuensi 0 Hz sampai 50 Hz sehingga akan mendapatkan frekuensi dengan nilai Δh pada kecepatan udara masuk 10 m/s. Pengukuran kecepatan aliran masuk menggunakan persamaan 3.12 sebagai berikut:

$$P_{dinamis} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h \quad (3.12)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot (U_{ref})^2 = SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta h$$

$$U_{ref}^2 = \frac{2 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta h}{\rho_{udara}}$$

$$U_{ref} = \sqrt{\frac{2 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta h}{\rho_{udara}}} \quad (3.13)$$

2) Perhitungan kecepatan lokal

Profil kecepatan diukur pada 16 test section sepanjang *downstream duct* dengan variasi pembukaan sudut damper. Lokasi perhitungan profil kecepatan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.13 dan tabel 3.1.

Tabel 3.1 Lokasi perhitungan profil kecepatan

Section	x_m (mm)	x_m/l_m	Section	x_m (mm)	x_m/l_m
-2	897,2	0,29	7	2022,2	0,66
-1	1022,2	0,33	8	2147,2	0,70
1	1272,2	0,42	9	2272,2	0,75
2	1397,2	0,46	10	2397,2	0,79
3	1522,2	0,50	11	2522,2	0,83
4	1647,2	0,54	12	2647,2	0,87

5	1772,2	0,58		13	2772,2	0,91
6	1897,2	0,62		14	2897,2	0,95



Gambar 3.13 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan

Perhitungan profil kecepatan pada setiap *section* sepanjang *downstream duct* ditulis sesuai persamaan 3.14 sebagai berikut:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_o - p_s)}{\rho_{udara}}} \quad (3.14)$$

dimana:

- p_o : tekanan stagnasi yang diukur dengan *pressure tube*
- p_s : tekanan statis sejajar dengan *pressure tube*
- ρ_{ud} : massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- $p_o - p_s$: tekanan dinamis

3) Perhitungan *Pressure Drop* (Δp) dan *Coeffisient Pressure* (C_p)

Pressure drop adalah selisih tekanan *inlet* pada *upstream duct* (dengan jarak $x/D_h=2$ dari *inlet upstream duct*) dan *outlet* pada *downstream duct* (*section 16*). Sisi *inner* dan *outer* mempunyai tekanan *inlet* dan *outlet* yang hampir sama. Perhitungan P_{inlet} dan P_{outlet} adalah sebagai berikut:

$$\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet} \quad (3.15)$$

Pressure drop kemudian dirubah kedalam *Coeffisient Pressure* (C_p) yang dimana dapat dicari dalam perhitungan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho \bar{V}^2} \quad (3.16)$$

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi Reynolds number pada masing-masing variasi sudut damper.

4) Perhitungan Koefisien Losses elbow 90° ($K_{elbow 90^\circ}$)

Eksperimen ini menggunakan *duct elbow 90°* berpenampang *square* yang dilengkapi *single guide vane* dengan dipasang sebuah *damper* pada jarak $2D_h$ dari *outlet elbow 90°*. Pemasangan *elbow 90°* akan mengakibatkan koefisien losses elbow 90° pada saluran. Koefisien losses elbow 90° adalah nilai konstanta yang yang menentukan besar kecil *head loss minor* akibat pemasangan sebuah *elbow 90°* pada sebuah saluran udara. Pada eksperimen ini, koefisien losses elbow 90° didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90° (section -2)*

$$P_{outlet elbow 90^\circ} - P_{inlet elbow 90^\circ} = K_{elbow 90^\circ} \frac{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}}{2} \quad (3.17)$$

$$K_{elbow 90^\circ} = \frac{(P_{outlet elbow 90^\circ} - P_{inlet elbow 90^\circ}) \times 2}{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}} \quad (3.18)$$

dimana :

- $P_{outlet elbow 90^\circ}$: Tekanan pada *outlet elbow 90° (section -2)* (N/m²)
- $P_{inlet elbow 90^\circ}$: Tekanan pada *inlet elbow 90°* (N/m²)
- \bar{V}^2 : Kecepatan udara masuk pada upstream (m/s)
- ρ_{udara} : massa jenis udara pada 28°C (kg/m³)
- $K_{elbow 90^\circ}$: koefisien losses elbow 90°

Koefisien losses elbow 90° pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi sudut bukaan damper $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° .

5) Perhitungan *Koefisien Losses Damper* (K_{damper})

Eksperimen ini menggunakan *duct elbow 90°* berpenampang *square* dengan dipasang sebuah *damper* pada jarak $2D_h$ dari *outlet elbow 90°*. Pemasangan damper akan mengakibatkan *koefisien losses damper* pada saluran. *Koefisien losses damper* adalah nilai konstanta yang yang menentukan besar kecil *head loss minor* akibat pemasangan sebuah damper. Pada eksperimen ini, *koefisien losses damper* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet* sebelum damper (*section -1*) dan sesudah damper (*section 1*).

$$P_1 - P_{-1} = K_{damper} \frac{\bar{v}^2 \times \rho_{udara}}{2} \quad (3.19)$$

$$K_{damper} = \frac{(P_1 - P_{-1}) \times 2}{\bar{v}^2 \times \rho_{udara}} \quad (3.20)$$

dimana :

P_{-1} : Tekanan pada *downstream* (*section -1*)
(N/m^2)

P_1 : Tekanan pada *downstream* (*section 1*)
(N/m^2)

\bar{v}^2 : Kecepatan udara masuk pada upstream
(m/s)

ρ_{udara} : massa jenis udara pada $28^\circ C$ (kg/m^3)

K_{damper} : *koefisien losses damper*

Koefisien losses damper pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan

kecepatan 1 m/s) dengan variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30°.

6). Intensitas Turbulensi

Pada studi eksperimen ini akan diberikan informasi tentang intensitas turbulensi yang terjadi pada aliran yang diambil pada sisi inlet upstream. *Turbulensi* dapat didefinisikan sebagai perubahan kecepatan yang sering terjadi dalam waktu singkat berskala kecil dan terjadi secara acak. Dengan kata lain, ketika kecepatan aliran udara dan atau arah pergerakannya berubah dengan cepat, maka pada saat itu dapat dikatakan telah terjadi turbulensi udara (Wagtendonk, 2003). Pengambilan data *Intensitas turbulensi* menggunakan *pitot static tube* yang dipasang tepat di *centerline* pada sisi *upstream*. Analisa *intensitas turbulensi* ini berdasarkan sinyal kecepatan yang diambil oleh *pitot tube*. Sehingga didapatkan fluktuatif kecepatan disetiap detiknya. *Intensitas turbulensi (IT)* dirumuskan sebagai berikut:

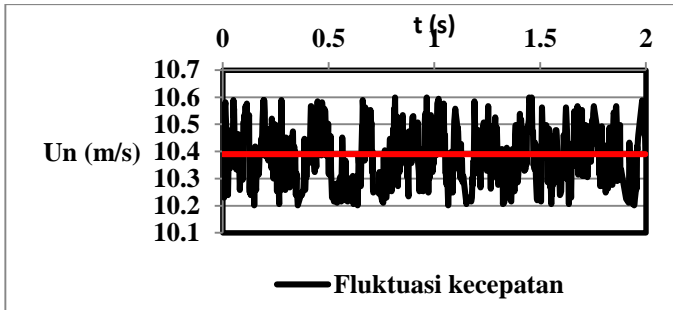
$$IT = \frac{u'}{\bar{U}} \times 100\%$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}}$$

dimana :

- IT : Intensitas turbulensi
- U_n : Kecepatan pada waktu tertentu (kecepatan lokal) (m/s)
- \bar{U} : Kecepatan rata-rata (m/s)
- u' : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

Pada studi eksperimen telah dilakukan pengambilan *intensitas turbulensi* pada sisi *upstream* dimana pengambilan dilakukan pada jarak $x/Dh = 1$ dari sisi *inlet* pada *centerline* dengan variasi tanpa *damper* ganda. Pengambilan *intensitas turbulensi* menggunakan kecepatan 10 m/s atau pada *Reynolds number* 7.88×10^4 dan didapatkan 1001 *sample* dimana akan ditunjukkan pada lampiran. Dari 1001 *sample* yang didapat diperoleh hasil :



Gambar 3.14 Fluktuasi kecepatan pada *inlet upstream*

Pada gambar diatas merupakan sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara pada ducting dengan variasi tanpa guide vane dan tanpa dipasang damper ganda yang diambil pada $Re = 7.88 \times 10^4$ dan memiliki rata – rata kecepatan (\bar{U}) sebesar 10.3762. Dengan 1001 data yang diambil tiap detiknya, dari perhitungan diperoleh standard deviasi 0.134917

$$\begin{aligned}\bar{U} &= 10.38 \text{ m/s} \\ u' &= 0.088 \text{ m/s} \\ IT &= \frac{0.088}{10.38} \times 100\% = 0.847 \%\end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas didapat bahwa pada centerline sisi upstream dengan jarak $x/D_h = 1$ mempunyai *intensitas turbulensi* sebesar 0.847 % pada *Reynolds number* 7.88×10^4 atau pada kecepatan 10 m/s

3.6 Urutan Langkah Penelitian

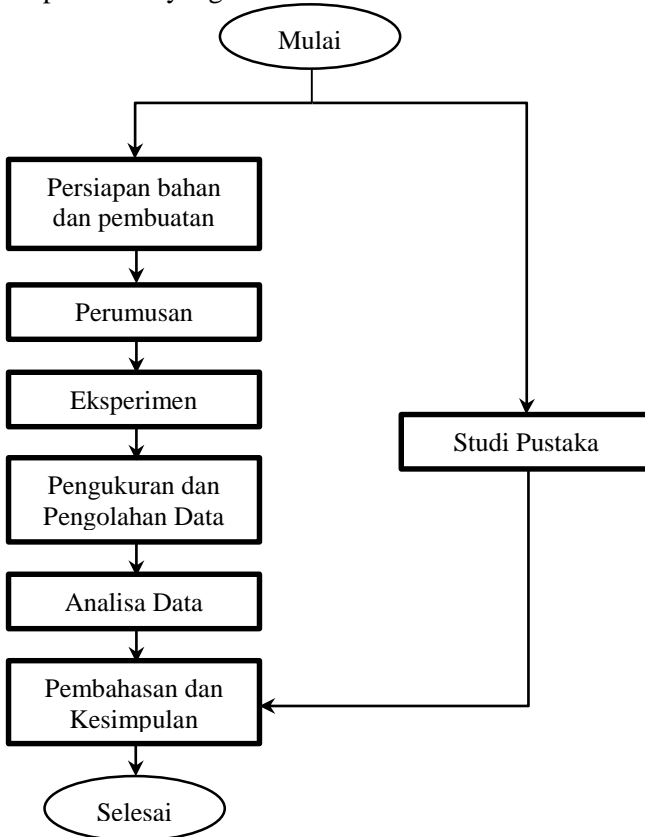
Pada tabel 3.2 dijelaskan urutan langkah penelitian yang akan dilakukan. Urutan langkah penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Urutan langkah penelitian

	Profil Kecepatan	<i>Pressure Drop, Koefisien Losses Damper, Koefisien Losses elbow 90°</i>
1.	Memepersiapkan peralatan sesuai dengan instalasi penelitian	Memepersiapkan peralatan sesuai dengan instalasi penelitian
2.	Damper dipasang dengan sudut $\theta_i = 0^\circ$ (<i>fully open</i>)	Damper dipasang dengan sudut $\theta_i = 0^\circ$ (<i>fully open</i>)
3.	Menghidupkan <i>induced draft fan</i>	Menghidupkan <i>induced draft fan</i>
4.	Kecepatan pada inlet 10 m/s dengan <i>Reynolds Number</i> (Re_{Dh}) $7,88 \times 10^4$	Kecepatan inlet 5-12 m/s dengan interval 1 m/s yang memiliki variasi <i>Reynolds Number</i> (Re_{Dh}) $3,94 \times 10^4$, $4,73 \times 10^4$, $5,52 \times 10^4$, $6,3 \times 10^4$, $7,09 \times 10^4$, $7,88 \times 10^4$, $8,67 \times 10^4$, $9,46 \times 10^4$
5.	Menghitung profil kecepatan dari pengukuran tekanan dinamis dengan pitot tube pada 16 <i>sections</i> sepanjang <i>downstream</i> dengan setiap <i>section</i> terdapat 17 titik pengambilan data	Menghitung <i>pressure coefficient</i> , <i>Koefisien Losses Damper</i> , dan <i>Koefisien Losses elbow 90°</i> dari pengukuran tekanan statis dengan <i>wall pressure tap</i> .
6.	Pengolahan data hingga didapatkan grafik profil kecepatan pada setiap <i>section</i>	Pengolahan data hingga didapatkan grafik <i>pressure coefficient</i> (C_p) fungsi Re_{Dh} , <i>Koefisien Losses Damper</i> fungsi bukaan sudut <i>damper</i> , <i>Koefisien Losses elbow 90°</i> fungsi bukaan sudut <i>damper</i> .
7.	Ulangi langkah 2-6 dengan variasi sudut bukaan damper 10° , 20° , hingga 30°	Ulangi langkah 2-6 dengan variasi sudut bukaan damper 10° , 20° , hingga 30°

3.7 Flowchart Penelitian

Gambar 3.13 merupakan *flowchart* dari urutan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.15 Flowchart penelitian

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

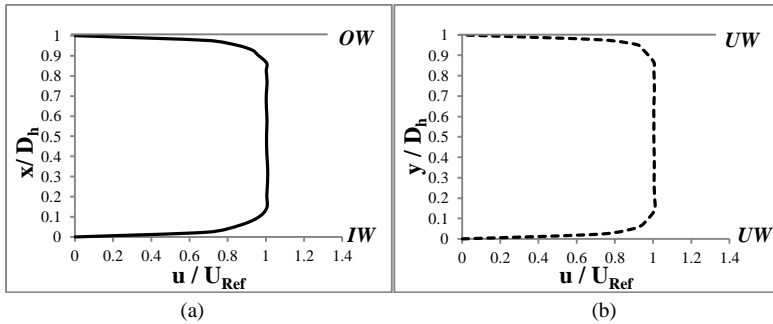
Pada bab ini berisi analisa data dan pembahasan dari hasil studi eksperimen. Data yang diperoleh dari penelitian ini berupa data kuantitatif yang dipresentasikan dalam bentuk grafik. Hasil eksperimen yang dianalisa meliputi profil kecepatan bidang horizontal dan vertikal pada sisi *inlet upstream duct* dan profil kecepatan bidang horizontal dan vertikal sepanjang *downstream duct*, *pressure drop* antara *downstream duct* (inlet) dan *upstream duct* (outlet), *koefisien losses elbow 90° single guide vane* dan *koefisien losses damper* dengan variasi *Reynolds number*.

Secara garis besar pembahasan dan analisa hasil eksperimen profil kecepatan pada bidang horizontal dan vertikal dengan sudut bukaan *damper* 0°, 10°, 20° dan 30° dengan profil kecepatan tanpa *damper* pada *Reynolds number* $7,88 \times 10^4$ (kecepatan inlet 10 m/s). *Pressure drop* antara *downstream duct* (inlet) dan *upstream duct* (outlet) dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan inlet 5 m/s sampai 12 m/s dengan interval 1 m/s) pada variasi sudut bukaan *damper* 0°, 10°, 20° dan 30° dengan tanpa *damper*. Koefisien *losses damper* dan koefisien *losses elbow 90° single guide vane* dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan inlet 5 m/s sampai 12 m/s dengan interval 1 m/s) pada variasi sudut bukaan *damper* 0°, 10°, 20° dan 30°.

4.1. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal pada Sisi Inlet Upstream Duct $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Profil kecepatan pada sisi *upstream duct* digunakan sebagai acuan untuk menentukan proses *recovery* profil kecepatan sepanjang daerah *downstream duct* pada *section* yang telah ditentukan. Profil kecepatan diambil pada bidang horizontal maupun bidang vertikal. Profil kecepatan sisi *upstream duct* pada bidang horizontal dan vertikal ditunjukkan pada gambar 4.1. Besarnya nilai profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat.

Pada gambar 4.1.(a) menunjukkan profil kecepatan sisi *upstream duct* pada bidang horisontal. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $x/D_h = 0$ adalah posisi *inner upstream wall* dan $x/D_h = -1$ adalah posisi *outer upstream wall*. Pada grafik terlihat pada posisi *inner wall* dan *outer wall* memiliki nilai $\frac{u}{U_{ref}}$ sebesar nol, kemudian grafik setelah posisi *inner wall* nilai $\frac{u}{U_{ref}}$ berangsur-angsur menjadi 1 dan stabil pada nilai 1, hal ini menunjukkan u dan U_{ref} memiliki nilai yang hampir sama. Namun grafik mulai berangsur-angsur mendekati nol pada posisi mendekati *outer wall*.



OW : Outer Wall IW : Outer Wall UW : Upper Wall LW : Lower Wall

Gambar 4.1 Grafik profil kecepatan (a) bidang horisontal sisi *upstream duct* (b) bidang vertikal sisi *upstream duct*

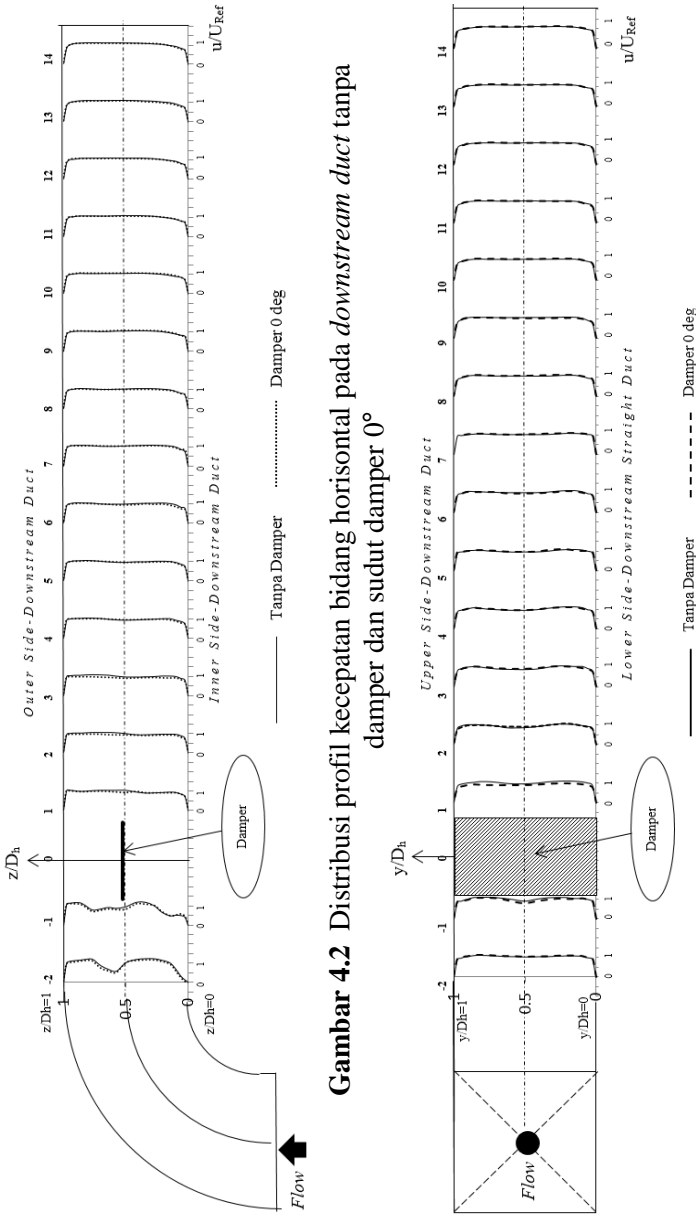
Pada gambar 4.1.(b) menunjukkan profil kecepatan sisi *upstream duct* pada bidang horisontal. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi *lower upstream wall* dan $y/D_h = -1$ adalah posisi *upper upstream wall*. Pada grafik terlihat pada posisi *lower wall* dan *upper wall* memiliki nilai $\frac{u}{U_{ref}}$ yaitu nol, kemudian grafik setelah posisi *lower wall* nilai $\frac{u}{U_{ref}}$ berangsur-angsur menjadi 1 dan stabil pada nilai 1, hal ini

menunjukkan u dan U_{ref} memiliki nilai yang hampir sama. Namun grafik mulai berangsur-angsur mendekati nol pada posisi mendekati *upper wall*.

4.2. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa Damper dengan Sudut Bukan Damper $0^\circ \text{Re}_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Profil kecepatan ditunjukkan dalam bentuk grafik kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}), dimana u merupakan kecepatan lokal pada setiap titik *section* yang didapatkan dari hasil pengolahan data yang didapat dari pengukuran menggunakan pitot dan U_{ref} merupakan kecepatan masuk pada *upstream duct* (inlet) yang telah ditentukan, yaitu 10 m/s. Berikut ini merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang horizontal terlihat pada gambar 4.2, sedangkan gambar 4.3 merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang vertikal.

Gambar 4.2 merupakan grafik profil kecepatan bidang horizontal sepanjang *downstream duct* dengan *damper* pada bukaan 0° dan tanpa damper. Absis pada grafik profil kecepatan adalah z/D_h , dimana $z/D_h=0$ merupakan sisi *inner* dari *downstream duct* dan $z/D_h=1$ merupakan sisi *outer* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Pada gambar terlihat, grafik profil kecepatan pada bidang horizontal tanpa *damper* dengan sudut bukaan *damper* 0° berhimpitan atau terlihat sama, hal ini menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan dengan adanya *damper* saat sudut bukaan 0° . Pada *section -2* terlihat profil kecepatan setelah melalui *elbow* 90° tidak ada aliran balik (*backflow*), hal ini menunjukkan dengan penambahan *single guide vane* dapat mengurangi separasi aliran pada daerah *inner wall*. Profil kecepatan tanpa *damper* dan dengan sudut *damper* 0° berangsur-angsur mengalami perkembangan dari *section 1* hingga akhir dan pada *section 9* hampir hampir mengalami *recovery* aliran hingga akhir.



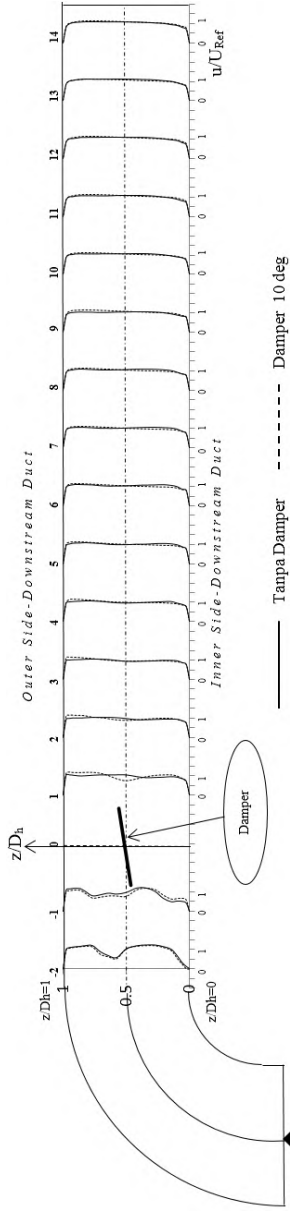
Gambar 4.2 Distribusi profil kecepatan bidang horisontal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 0°

Gambar 4.3 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 0°

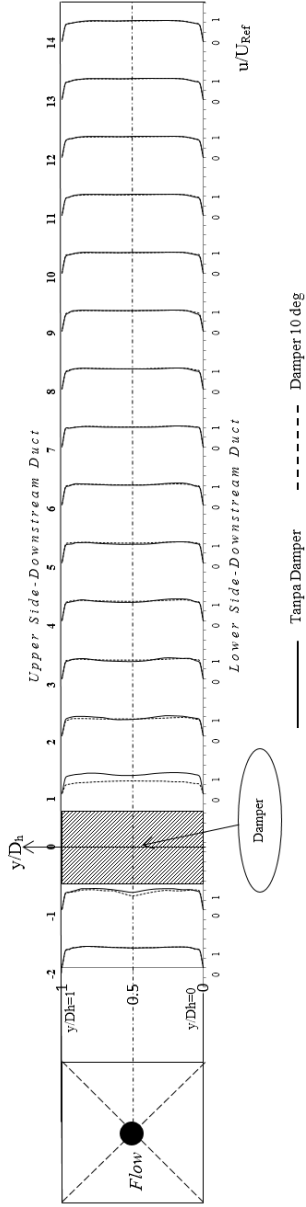
Gambar 4.3 merupakan grafik profil kecepatan bidang vertikal sepanjang *downstream duct* dengan *damper* pada bukaan 0° dan tanpa *damper*. Absis pada grafik profil kecepatan adalah y/D_h , dimana $y/D_h=0$ merupakan sisi *lower* dari *downstream duct* dan $y/D_h=1$ merupakan sisi *upper* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Secara keseluruhan grafik profil kecepatan pada bidang vertical dari section -2 hingga section 14 tanpa *damper* dengan sudut bukaan *damper* 0° terlihat sama dan berhimpitan. Perbedaan hanya pada section 1, dimana profil kecepatan dengan sudut bukaan *damper* 0° terlihat lebih rendah dibandingkan tanpa *damper*, hal ini dikarenakan tidak mempunyai aliran untuk mengikuti kontur bodi *damper* sehingga terjadi separasi aliran setelah meninggalkan *damper* dan pada *section* tersebut terjadi sedikit keterlambatan aliran. Profil kecepatan pada bidang vertical tanpa *damper* maupun dengan sudut bukaan *damper* 0° juga hampir mengalami *recovery* aliran pada section 9 hingga akhir.

4.3. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa *Damper* dengan Sudut Bukaan *Damper* 10° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Profil kecepatan ditunjukkan dalam bentuk grafik kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}), dimana u merupakan kecepatan lokal pada setiap titik *section* yang didapatkan dari hasil pengolahan data yang didapat dari pengukuran menggunakan pitot dan U_{ref} merupakan kecepatan masuk pada *upstream duct* (inlet) yang telah ditentukan, yaitu 10 m/s. Berikut ini merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang horizontal terlihat pada gambar 4.4 dan gambar 4.5 merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang vertikal.



Gambar 4.4 Distribusi profil kecepatan bidang horisontal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 10°



Gambar 4.5 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 10°

Gambar 4.4 merupakan grafik profil kecepatan bidang horizontal sepanjang *downstream duct* dengan *damper* pada bukaan 10° dan tanpa *damper*. Absis pada grafik profil kecepatan adalah z/D_h , dimana $z/D_h=0$ merupakan sisi *inner* dari *downstream duct* dan $z/D_h=1$ merupakan sisi *outer* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Pada *section -2* terlihat grafik profil kecepatan setelah melalui *elbow* 90° tidak ada aliran balik, hal ini menunjukkan dengan penambahan *single guide vane* dapat mengurangi separasi aliran pada daerah *inner wall*. Pada *section 1* grafik profil kecepatan dengan sudut bukaan *damper* 10° pada daerah $z/D_h=0,5$ atau *centerline*, yakni lebih rendah dibandingkan dengan grafik profil kecepatan tanpa *damper*, sedangkan sisi *inner* dan *outer* sedikit lebih besar. Dengan sudut bukaan *damper* 10° , sisi *outer* setelah melalui *damper* yaitu *section 1* hingga *section 10* memiliki grafik profil kecepatan sedikit lebih besar dibandingkan dengan tanpa *damper*, hal ini dikarenakan bentuk penampang pada sisi *outer* yang dibentuk oleh *damper* dengan sudut bukaan 10° . Setelah itu yaitu pada *section 11* hingga akhir grafik keduanya terlihat sama dan hampir mengalami *recovery* aliran.

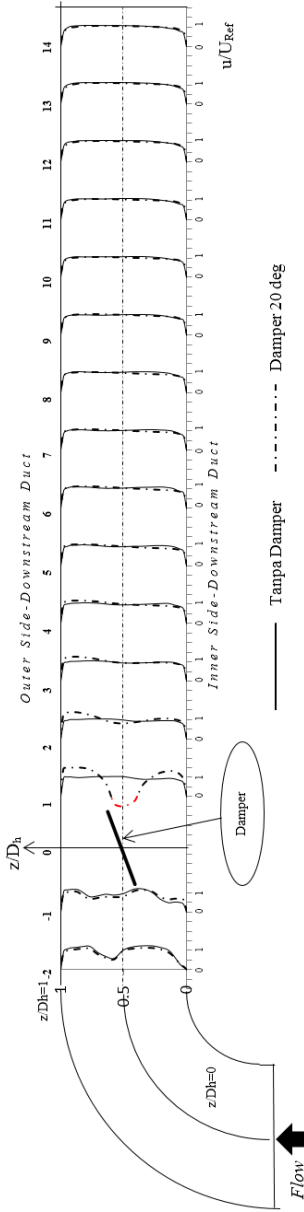
Gambar 4.5 merupakan grafik profil kecepatan bidang vertikal sepanjang *downstream duct* dengan *damper* pada bukaan 10° dan tanpa *damper*. Absis pada grafik profil kecepatan adalah y/D_h , dimana $y/D_h=0$ merupakan sisi *lower* dari *downstream duct* dan $y/D_h=1$ merupakan sisi *upper* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Pada *section -2* grafik profil kecepatan antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut 10° terlihat sama, namun pada *section -1* grafik kecepatan dengan *damper* sudut 10° lebih rendah dibandingkan tanpa *damper*. Setelah melewati *damper* dengan sudut bukaan 10° yakni pada *section 1*, grafik profil kecepatannya mengalami penurunan akibat mengalami keterlambatan aliran akibat adanya *damper* sebagai bodi pengganggu sehingga kecepatan aliran terhambat karena ketidakmampuan aliran untuk

mengikuti kontur bodi *dampers* sehingga terjadi separasi aliran setelah meninggalkan *dampers* dan pada *section* tersebut terjadi keterlambatan aliran. Setelah itu grafik kecepatan dengan *dampers* sudut 10° berangsur-angsur berkembang dan grafik antara tanpa *dampers* dengan *dampers* sudut 10° saling berhimpitan dan hampir mengalami *recovery* aliran pada *section* 11 hingga akhir.

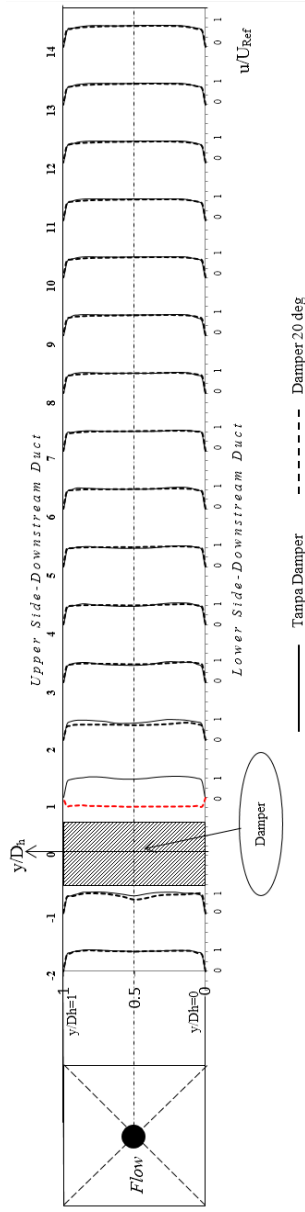
4.4. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa *Dampers* dengan Sudut Bukaannya *Dampers* 20° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Profil kecepatan ditunjukkan dalam bentuk grafik kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}), dimana u merupakan kecepatan lokal pada setiap titik *section* yang didapatkan dari hasil pengolahan data yang didapat dari pengukuran menggunakan pitot dan U_{ref} merupakan kecepatan masuk pada *upstream duct* (inlet) yang telah ditentukan, yaitu 10 m/s. Berikut ini merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang horizontal terlihat pada gambar 4.6, sedangkan gambar 4.7 merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang vertikal.

Gambar 4.6 merupakan grafik profil kecepatan bidang horizontal sepanjang *downstream duct* dengan *dampers* pada bukaan 20° dan tanpa *dampers*. Absis pada grafik profil kecepatan adalah z/D_h , dimana $z/D_h=0$ merupakan sisi *inner* dari *downstream duct* dan $z/D_h=1$ merupakan sisi *outer* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Pada *section* -2 terlihat grafik profil kecepatan setelah melalui *elbow* 90° tidak ada aliran balik, hal ini menunjukkan dengan penambahan *single guide vane* dapat mengurangi separasi aliran pada daerah *inner wall*. Namun pada *section* -2 grafik profil kecepatan dengan *dampers* 20° , daerah *outer* dan *inner* sedikit lebih rendah dibandingkan grafik profil kecepatan tanpa *dampers*, namun



Gambar 4.6 Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 20°



Gambar 4.7 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 20°

berhimpitan pada daerah $z/D_h=0,5$ atau *centerline*. Pada section -1 untuk grafik dengan *damper* bukaan 20° , sisi outer hingga daerah *centerline* lebih rendah dibanding grafik kecepatan tanpa *damper*, namun pada sisi *inner* grafik kecepataannya sedikit lebih besar dibandingkan tanpa *damper*. Setelah melewati *damper* dengan sudut bukaan 20° yakni pada section 1, profil kecepataannya menjadi lebih besar pada daerah *inner* maupun *outer* karena bentuk penampang pada sisi *outer* dan *inner* yang dibentuk oleh *damper* dengan sudut bukaan 20° namun lebih besar pada daerah *outer*. Sedangkan pada daerah *centerline* terjadi penurunan grafik profil kecepatan dan kemungkinan terjadi aliran balik atau *backflow* akibat adanya daerah *wake* yang terjadi setelah aliran melewati *damper* seperti yang ditunjukkan dengan grafik profil kecepatan berwarna merah pada gambar 4.6 yang merupakan estimasi profil kecepatan yang bernilai negatif atau adanya aliran balik. Pada section 2 hingga section 9, grafik profil kecepatan dengan *damper* bukaan 20° pada daerah *outer wall* lebih besar dibanding daerah *inner wall*, hal ini disebabkan karena bentuk penampang pada sisi *outer* lebih kecil dibanding sisi *inner wall*. Kemudian pada section 10 grafik profil kecepatan antara dengan *damper* sudut 20° dan tanpa *damper* sudah terlihat sama dan hampir mengalami *recovery* aliran hingga akhir.

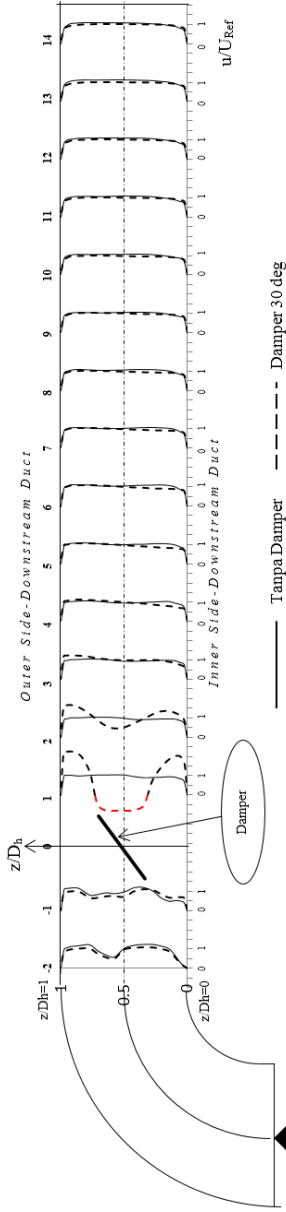
Gambar 4.7 merupakan grafik profil kecepatan bidang vertikal sepanjang *downstream duct* dengan *damper* pada bukaan 20° dan tanpa *damper*. Absis pada grafik profil kecepatan adalah y/D_h , dimana $y/D_h=0$ merupakan sisi *lower* dari *downstream duct* dan $y/D_h=1$ merupakan sisi *upper* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Pada section -2 yaitu setelah melewati *elbow* 90° *single guide vane* grafik profil kecepatan dengan bukaan sudut *damper* 20° berhimpitan dengan grafik tanpa *damper*. Namun sebelum melewati *damper* sudut 20° yaitu pada section -1 grafik profil kecepataannya lebih rendah dibanding tanpa *damper* pada sisi *upper*, *lower*, maupun *centerline*. Pada section 1 yaitu setelah melewati *damper* dengan sudut 20° grafik

profil kecepatannya mengalami penurunan dan kemungkinan terjadi aliran balik akibat adanya *wake* yang terjadi setelah aliran melewati *damper* seperti yang ditunjukkan dengan grafik profil kecepatan berwarna merah pada gambar 4.7 yang merupakan estimasi profil kecepatan yang bernilai negatif atau adanya aliran balik. Pada section 2 grafik profil kecepatan *damper* dengan sudut 20° mulai berkembang, namun grafiknya masih lebih rendah dibandingkan grafik kecepatan dari tanpa *damper*. Daerah *centerline* pada section 3 hingga section 6 dari grafik profil kecepatan *damper* sudut 20° sedikit lebih besar dibandingkan grafik tanpa *damper*. Grafik keduanya tampak berhimpitan kembali pada section 7. Sedangkan pada section 8 hingga section 14 grafik dari *damper* dengan sudut 20° terlihat sedikit lebih rendah dibandingkan grafik profil kecepatan tanpa *damper*.

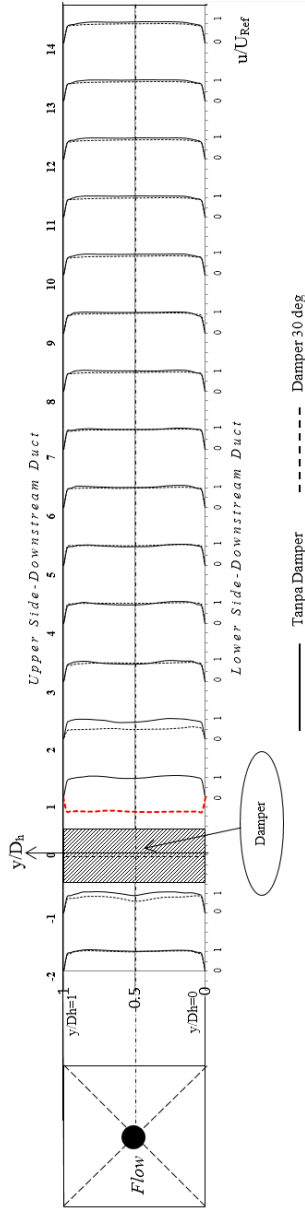
4.5. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa *Damper* dengan Sudut Buka *Damper* 30° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Profil kecepatan ditunjukkan dalam bentuk grafik kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}), dimana u merupakan kecepatan lokal pada setiap titik *section* yang didapatkan dari hasil pengolahan data yang didapat dari pengukuran menggunakan pitot dan U_{ref} merupakan kecepatan masuk pada *upstream duct* (inlet) yang telah ditentukan, yaitu 10 m/s. Berikut ini merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang horizontal terlihat pada gambar 4.8, sedangkan gambar 4.9 merupakan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* pada bidang vertikal.

Gambar 4.8 merupakan grafik profil kecepatan bidang horizontal sepanjang *downstream duct* dengan *damper* pada bukaan 30° dan tanpa *damper*. Absis pada grafik profil kecepatan adalah z/D_h , dimana $z/D_h=0$ merupakan sisi *inner* dari *downstream duct* dan $z/D_h=1$ merupakan sisi *outer* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Pada section -2 grafik profil kecepatan dengan *damper* 30° , daerah *outer* dan *inner* lebih



Gambar 4.8 Distribusi profil kecepatan bidang horisontal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 30°



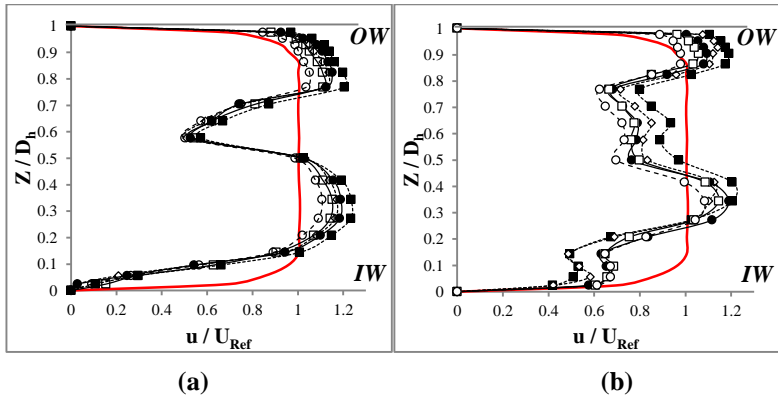
Gambar 4.9 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada *downstream duct* tanpa damper dan sudut damper 30°

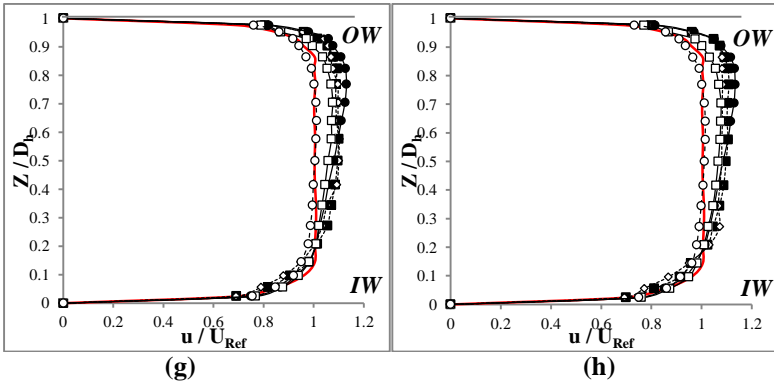
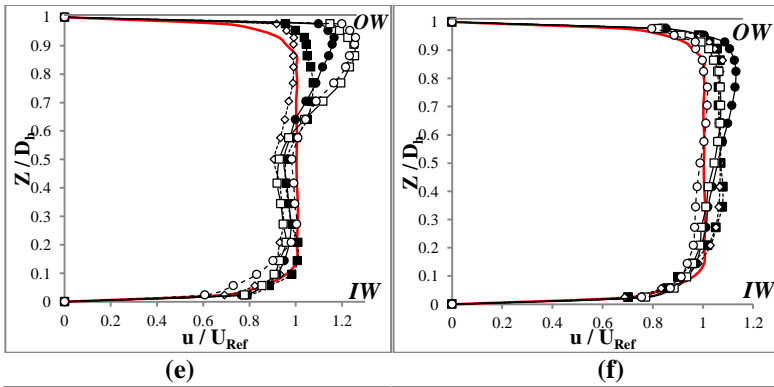
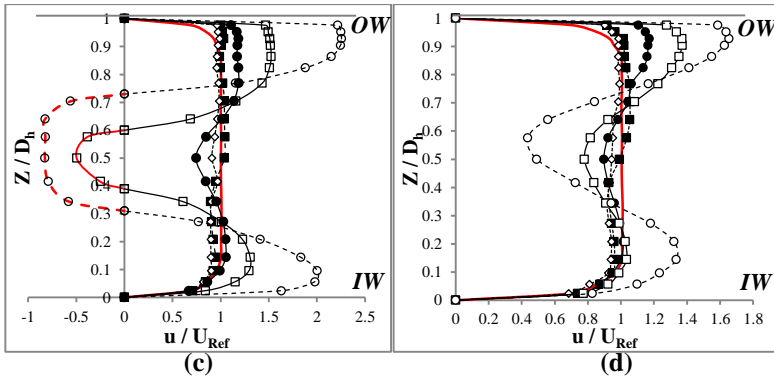
rendah dibandingkan grafik profil kecepatan tanpa *damper*, namun berhimpitan pada daerah $z/D_h=0,5$ atau *centerline*. Namun pada section -2 terlihat grafik profil kecepatan setelah melalui *elbow* 90° tidak ada aliran balik, hal ini menunjukkan dengan penambahan *single guide vane* dapat mengurangi separasi aliran pada daerah *inner wall*. Namun. Pada section -1 untuk grafik dengan *damper* bukaan 30° , sisi outer hingga daerah *centerline* lebih rendah dibanding grafik kecepatan tanpa *damper*, namun pada sisi *inner* grafiknya sedikit lebih besar dibandingkan tanpa *damper*. Pada section 1 yaitu setelah melewati *damper* dengan sudut 30° grafik profil kecepatannya mengalami penurunan dan kemungkinan terjadi aliran balik yang besar akibat adanya *wake* yang terjadi setelah aliran melewati *damper* seperti yang ditunjukkan dengan grafik profil kecepatan berwarna merah pada gambar 4.8 yang merupakan estimasi profil kecepatan yang bernilai negatif atau adanya aliran balik. Setelah melewati *damper* dengan sudut bukaan 30° yakni pada section 1, profil kecepatannya menjadi lebih besar pada daerah *inner* maupun *outer*, karena bentuk penampang pada sisi *outer* dan *inner* yang dibentuk oleh *damper* dengan sudut bukaan 30° namun lebih besar pada daerah *outer*. Kemudian pada section 2 yakni daerah *centerline* grafik profil kecepatan *damper* sudut 30° sudah berkembang, namun masih mengalami keterlambatan aliran akibat bodi pengganggu berupa *damper* dengan sudut 30° sehing profil kecepatan masih rendah dibanding grafik kecepatan tanpa *damper*. Sedangkan pada section 2 sisi *inner* maupun *outer* masih lebih besar, namun sudah mengalami penurunan dari section 1. Pada section 3 hingga section 9, grafik profil kecepatan dengan *damper* bukaan 30° pada daerah *outer wall* lebih besar dibanding daerah *inner wall*, hal ini disebabkan karena bentuk penampang pada sisi *outer* lebih kecil dibanding sisi *inner wall*. Kemudian pada section 10 hingga section 14 grafik profil kecepatan *damper* sudut 30° terlihat lebih rendah dibanding grafik kecepatan tanpa, namun keduanya sudah terlihat hampir mengalami *recovery* aliran hingga akhir.

Gambar 4.9 merupakan grafik profil kecepatan bidang vertikal sepanjang *downstream duct* dengan *damper* pada bukaan 30° dan tanpa *damper*. Absis pada grafik profil kecepatan adalah y/D_h , dimana $y/D_h=0$ merupakan sisi *lower* dari *downstream duct* dan $y/D_h=1$ merupakan sisi *upper* dari *downstream duct*, sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Pada section -2 yaitu setelah melewati *elbow* 90° *single guide vane* grafik profil kecepatan dengan bukaan sudut *damper* 30° berhimpitan dengan grafik tanpa *damper*. Namun sebelum melewati *damper* sudut 30° yaitu pada section -1 grafik profil kecepatannya lebih rendah dibanding tanpa *damper* pada sisi *upper*, *lower*, maupun *centerline*. Pada section 1 yaitu setelah melewati *damper* dengan sudut 30° grafik profil kecepatannya mengalami penurunan dan kemungkinan terjadi aliran balik akibat adanya *wake* yang terjadi setelah aliran melewati *damper*, karena ketidakmampuan aliran untuk mengikuti kontur bodi *damper* sehingga terjadi separasi aliran setelah meninggalkan *damper* seperti yang ditunjukkan dengan grafik profil kecepatan berwarna merah pada gambar 4.9 yang merupakan estimasi profil kecepatan yang bernilai negatif atau adanya aliran balik. Pada section 2 grafik profil kecepatan *damper* dengan sudut 30° mulai berkembang, namun grafiknya masih lebih rendah dibandingkan grafik kecepatan dari tanpa *damper*. Daerah *centerline* pada section 3 dan section 4 dari grafik profil kecepatan *damper* sudut 30° sedikit lebih besar dibandingkan grafik tanpa *damper* dan pada section 3 pula sisi *upper* maupun *lower* grafik kecepatan *damper* sudut 30° sedikit lebih rendah dibandingkan grafik tanpa *damper*. Grafik keduanya terlihat berhimpitan kembali pada section 5. Sedangkan pada section 6 hingga section 14 grafik dari *damper* dengan sudut 30° terlihat sedikit lebih rendah dibandingkan grafik profil kecepatan tanpa *damper*.

4.6. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Bidang Vertikal dan Bidang Horizontal Tanpa *Damper* dengan Sudut Buka *Damper* $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

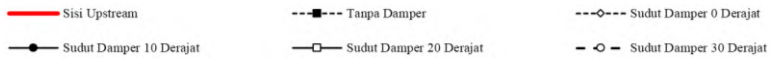
Pada gambar 4.10 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream duct* berupa grafik profil kecepatan pada bidang horizontal. Profil kecepatan dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream duct* dan $z/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream duct*. Untuk lebih detail, maka dijelaskan dalam grafik perbandingan antara tanpa *damper* dengan sudut bukaan *damper* $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° seperti pada gambar 4.10.





IW : Inner Wall

OW : Outer Wall



Gambar 4.10 Grafik profil kecepatan bidang horizontal pada masing-masing posisi *cross-section* berdasarkan *test section* : a) - 2; b) -1; c) 1; d) 2; e) 3; f) 10 ;g) 13; h) 14

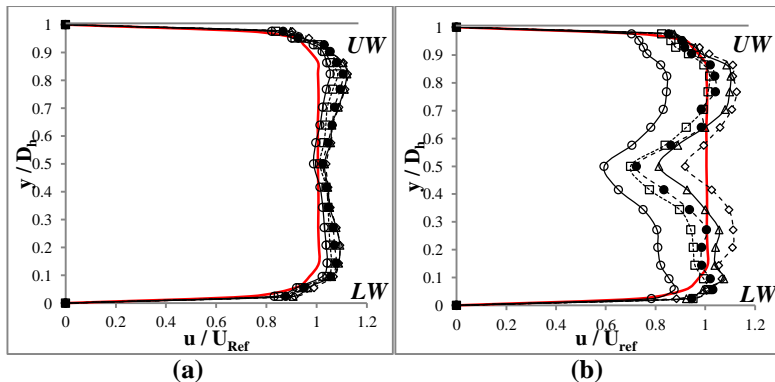
Pada gambar 4.10 merupakan grafik profil kecepatan pada bidang horizontal di sepanjang *downstream duct*. Pada gambar 4.10(a) yakni section-2 setelah meninggalkan *outlet elbow 90°* yang telah dilengkapi *single guide vane* terlihat kecepatan yang besar pada sisi *outer* kemudian mengalami penurunan hingga pada $z/D_h=0,6$ akibat penambahan *single guide vane*, namun pada $z/D_h=0,5$ kecepatan mengalami peningkatan yang hampir sama pada sisi *outer*, dan mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga sisi *inner*. Namun pada sisi *inner* sudah tidak terjadi *backflow* akibat penambahan *single guide vane* yang dapat mengurangi separasi aliran pada daerah *inner wall*. Saluran tanpa *damper* mempunyai kecepatan yang lebih tinggi sedangkan saluran dengan sudut bukaan *damper* 30° memiliki kecepatan yang paling rendah. Pada daerah sebelum melewati *damper* yakni pada section -1 terlihat sama seperti section -2, namun terjadi pengembangan profil kecepatan pada sisi *inner*. Profil kecepatan paling tinggi yaitu saluran tanpa *damper* sedangkan profil kecepatan paling rendah yaitu pada *damper* dengan sudut bukaan 30° yang ditunjukkan pada gambar 4.10(b), hal ini disebabkan karena besarnya penghalang akibat bukaan sudut *damper*. Ketika aliran terganggu oleh *damper* seperti pada gambar 4.10(c), terdapat perbedaan profil kecepatan yang signifikan pada saluran tanpa *damper* dengan semua variasi sudut *damper*. Semakin besar sudut bukaan *damper* terjadi peningkatan profil kecepatan pada sisi *outer* maupun *inner*, terlihat pada sudut bukaan 30° memiliki profil kecepatan pada sisi *outer* dan *inner* kemudian diikuti sudut bukaan 20° lalu sudut bukaan 10° , hal ini disebabkan karena adanya penyempitan luas penampang pada sisi *outer* dan *inner*. Namun semakin besar sudut bukaan *damper* terjadi semakin besar penurunan profil kecepatan

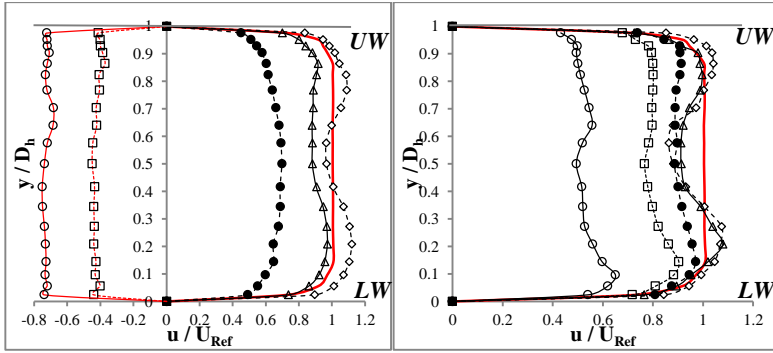
pada daerah *centerline*. Pada gambar 4.10(c) terlihat grafik berwarna merah pada *damper* dengan sudut bukaan 20° dan 30° merupakan estimasi kecepatan yang memiliki nilai negatif atau kemungkinan terjadi *backflow* pada daerah *centerline*, namun pada sudut bukaan *damper* 30° memiliki estimasi *backflow* paling besar, hal ini akibat adanya *wake* yang terjadi setelah aliran melewati *damper*. Pengaruh adanya *wake* juga terjadi pada *damper* sudut bukaan 10° tetapi tidak sampai terjadi *backflow*. Sedangkan pada *damper* sudut bukaan 0° memiliki penurunan profil kecepatan pada daerah *centerline* yang kecil dan secara keseluruhan memiliki bentuk profil kecepatan yang sama dengan saluran tanpa. Kemudian pada jarak $4D_h$ dari *outlet elbow* 90° yakni pada daerah *centerline* grafik profil kecepatan dengan *damper* sudut 10° , 20° , dan 30° sudah mengalami pengembangan. Terlihat pada gambar 4.10(d) terjadi perubahan profil kecepatan pada saluran dengan sudut bukaan 20° dan 30° yakni sudah tidak terjadi *backflow* pada daerah *centerline* namun profil kecepataannya masih rendah, sedangkan pada daerah *outer* profil kecepataannya mengalami penurunan namun masih besar dibandingkan saluran tanpa *damper*. Dan pada *damper* dengan sudut bukaan 30° , masih memiliki profil kecepatan yang besar pada daerah *inner* namun mengalami penurunan dibanding section sebelumnya.

Pada jarak $5D_h$ pada sisi *outer* dengan sudut bukaan *damper* 20° dan 30° mempunyai profil kecepatan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan tanpa *damper* dan variasi sudut bukaan *damper* lainnya terlihat pada gambar 4.10(e). Pada daerah *inner* sudut bukaan *damper* 30° mempunyai profil kecepatan yang paling rendah jika dibandingkan dengan tanpa *damper* dan variasi sudut bukaan *damper* lainnya. Setelah melalui *damper* sejauh $9D_h$ terlihat pada gambar 4.10. (f) sudut bukaan *damper* 30° hampir mengalami *recovery* profil kecepatan pada sisi *outer* dan *centerline*, sedangkan profil kecepatan pada sisi *inner* masih lebih rendah dibandingkan profil kecepatan pada sisi *upstream*. Sedangkan tanpa *damper* dan variasi sudut bukaan *damper* lainnya profil kecepataannya pada daerah *outer* masih besar dan sudut bukaan 10° memiliki profil

kecepatan terbesar pada daerah *outer*. Pada gambar 4.10(g) dan 4.10(h), yakni $x/D_h=15$ dan $x/D_h=16$ saluran dengan *damper* sudut bukaan 30° aliran sudah mengalami *recovery* profil kecepatan seperti profil kecepatan bidang horizontal sisi *inlet upstream*, sedangkan saluran tanpa *damper* dan variasi sudut bukaan *damper* lainnya profil kecepantannya sudah melebihi profil kecepatan pada sisi *upstream* dan terlihat pada daerah *outer* profil kecepantannya masih besar.

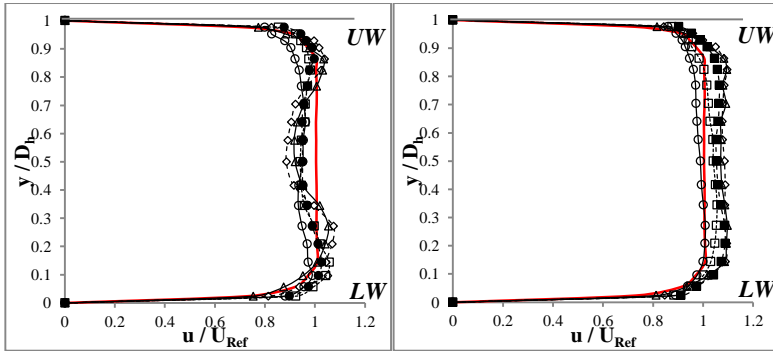
Dari gambar 4.11 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran secara dua dimensi pada bidang vertikal sepanjang *downstream duct* berupa grafik profil kecepatan. Grafik profil kecepatan dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower*, sedangkan $y/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper*, agar lebih jelas ditunjukkan grafik perbandingan antara tanpa *damper* dengan sudut bukaan *damper* $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° seperti pada gambar 4.11.





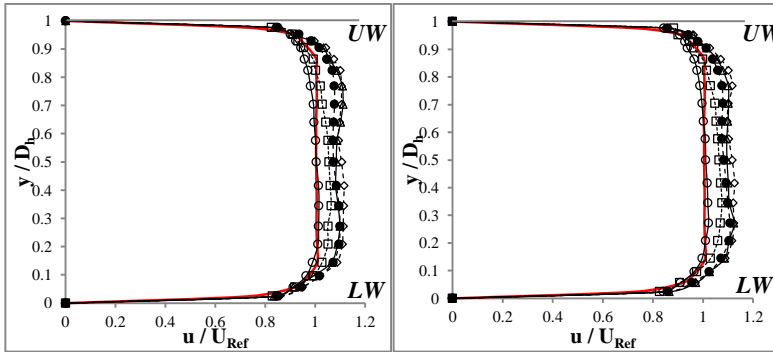
(c)

(d)



(e)

(f)

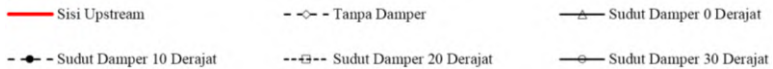


(g)

(h)

LW : Lower Wall

UW : Upper Wall



Gambar 4.11 Grafik profil kecepatan bidang vertikal pada masing-masing posisi *cross-section* berdasarkan *test section* : a) - 2; b) -1; c) 1; d) 2; e) 3; f) 10 ;g) 13; h) 14

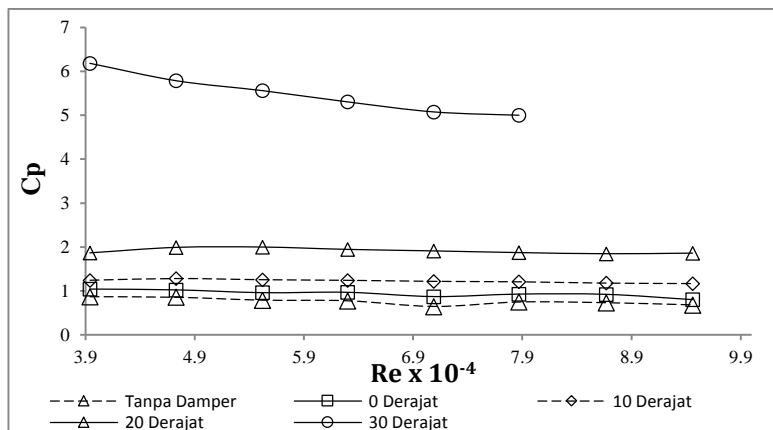
Pada gambar 4.11 merupakan grafik profil kecepatan pada bidang vertikal di sepanjang *downstream duct*. Pada gambar 4.11(a) yakni *outlet elbow 90°* yang telah dilengkapi *single guide vane* terlihat profil kecepatan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper 0°* memiliki besar yang sama dan lebih besar daripada sudut bukaan *damper 10°, 20°, 30°*. Hal ini disebabkan pada sudut bukaan *damper 10°, 20° dan 30°* terdapat *damper* sebagai bodi pengganggu yang memperlambat kecepatan aliran sampai daerah *section -1* seperti pada gambar 4.11(b). Pada gambar 4.11(c) yakni jarak $x/D_h=3$ dari *outlet elbow 90°*, terlihat grafik berwarna merah pada *damper* dengan sudut bukaan $20°$ dan $30°$ merupakan estimasi kecepatan yang memiliki nilai negatif atau kemungkinan terjadi *backflow* pada daerah *centerline*, namun pada sudut bukaan *damper 30°* memiliki estimasi *backflow* paling besar, hal ini akibat adanya *wake* yang terjadi setelah aliran melewati *damper*. Sedangkan pada *damper* sudut bukaan $0°$ dan $10°$ tidak terjadi *backflow* namun terjadi penurunan profil kecepatan karena ketidakmampuan aliran untuk mengikuti kontur bodi *damper* sehingga terjadi separasi aliran dan terjadi keterlambatan aliran setelah meninggalkan *damper*, dan terlihat profil kecepatan tanpa *damper* lebih besar seperti yang ditunjukkan gambar 4.11(c). Pada *section* $x/D_h=4$ kecepatan aliran pada saluran tanpa *damper* dan sudut *damper 0°* masih lebih besar daripada kecepatan aliran pada sudut bukaan *damper 10°, 20° dan 30°*. Profil kecepatan pada sudut $20°$ dan $30°$ sudah tidak ada *backflow*, namun mengalami keterlambatan aliran akibat adanya *damper* sebagai bodi pengganggu pada sudut bukaan $20°$ dan $30°$ sehingga kecepatan aliran terhambat seperti yang ditunjukkan gambar 4.11(d).

Setelah melalui *damper* sejauh $5D_h$ profil kecepatan saluran tanpa *damper* dan sudut *damper* 0° pada sisi *upper* dan *lower* lebih besar dibandingkan daerah *centerline* dikarenakan masih adanya pengaruh *elbow* 90° sehingga masih ada aliran sekunder yang menyebabkan aliran pada daerah *centerline* mengalami keterlambatan. Sedangkan pada saluran dengan sudut *damper* 10° , 20° , 30° mengalami keterlambatan aliran akibat adanya *damper* sebagai bodi pengganggu sehingga kecepatan aliran terhambat seperti yang ditunjukkan gambar 4.11(e). Selanjutnya pada jarak $x/D_h=11$ profil kecepatan pada sudut bukaan *damper* 30° tersebut sudah normal kembali dan hampir mengalami *recovery* aliran terhadap profil kecepatan pada sisi *inlet upstream* bidang vertikal, sedangkan pada kecepatan aliran pada tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 0° , 10° dan 20° pada jarak $x/D_h = 11$ profil kecepataannya lebih besar dibandingkan profil kecepatan pada sisi *inlet upstream* bidang vertikal seperti yang ditunjukkan gambar 4.11(f). Profil kecepatan sudut bukaan *damper* 30° pada jarak $x/D_h=15$ sampai $x/D_h=16$ sudah mengalami *recovery* aliran terhadap profil kecepatan pada sisi *inlet upstream* bidang vertikal, sedangkan pada kecepatan aliran pada tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 0° , 10° dan 20° pada jarak $x/D_h = 15$ sampai $x/D_h=16$ profil kecepataannya lebih besar dibandingkan profil kecepatan pada sisi *inlet upstream* bidang vertikal seperti yang ditunjukkan gambar 4.11(g) dan 4.11(h).

4.7. Pressure Drop pada Square Duct Fungsi Reynolds Number dengan Variasi Tanpa Damper dan Sudut Bukaan Damper 0° , 10° , 20° , 30°

Pada sub bab ini akan menganalisa karakteristik *pressure drop* pada *square duct* dengan *square elbow* 90° yang dilengkapi dengan *single guide vane*. *Pressure drop* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *inlet upstream duct* dan *downstream duct* dengan jarak $16D_h$ dari *oulet elbow* 90° . Kemudian *pressure drop* dirubah kedalam *pressure coefficient* (C_p) untuk dianalisa. Grafik dari nilai *pressure coefficient* (C_p) dengan variasi bilangan

Reynolds $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) pada variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° dan 30° ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik *pressure coefficient* fungsi *Reynolds* number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ dan variasi sudut bukaan *damper* $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30°

Pada gambar 4.12 dapat dilihat untuk grafik *damper* 0° , 10° , 20° , dan tanpa *damper* bahwa semakin meningkatnya *Reynolds number* maka grafik cenderung landai atau bisa disebut nilai *pressure coefficient* (C_p) hampir konstan. Namun grafik *damper* 30° , grafiknya cenderung turun seiring meningkatnya *Reynolds number* atau *pressure coefficient* (C_p) cenderung turun. Secara keseluruhan grafik menunjukkan, semakin besar bukaan *damper* maka semakin besar nilai *pressure coefficient* (C_p), terlihat pada saluran dengan sudut bukaan *damper* 30° memiliki nilai *pressure coefficient* (C_p) paling besar, kemudian diikuti saluran dengan bukaan 20° , 10° , 0° secara berurutan dan saluran tanpa *damper* memiliki nilai *pressure coefficient* (C_p) paling kecil.

Pressure coefficient (C_p) dipengaruhi oleh penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi pada suatu instalasi dan juga

pengaruh dari kecepatan aliran. Hal ini dapat ditulis dalam persamaan 4.1 seperti berikut:

$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho \bar{V}^2} \quad (4.1)$$

Sedangkan *pressure drop* pada instalasi ini dipengaruhi oleh kerugian akibat gesekan dan separasi aliran dari kontur bodi. Secara teori, jika mengabaikan dapat ditulis pada persamaan 4.2 seperti berikut:

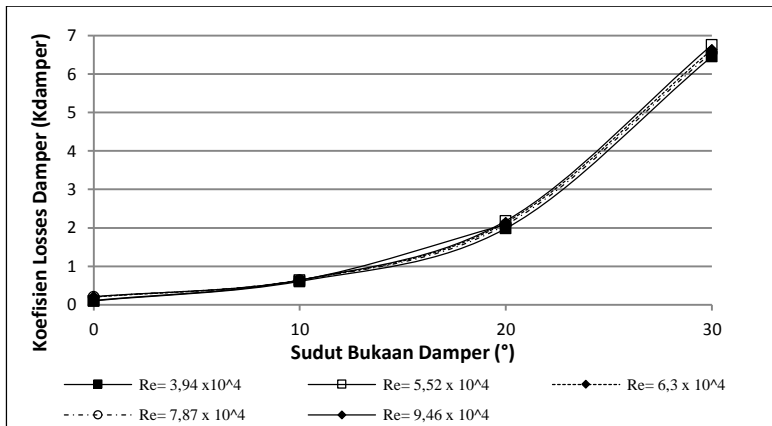
$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 \left(f \frac{L}{D_h} + k_{elbow} + k_{damper} \right) \quad (4.2)$$

Sehingga dari persamaan 4.2 dapat dikatakan jika kecepatan dari suatu fluida meningkat dan adanya *fitting* dalam instalasi, maka *pressure drop* akan meningkat.

Studi eksperimen pada *square duct* terdapat *fitting* berupa *elbow* 90° dan *damper* yang divariasikan sudut bukaanannya 0°, 10°, 20° dan 30°, maka sesuai persamaan 4.2 *pressure drop* akan meningkat sehingga nilai *pressure coefficient* (C_p) akan bertambah seiring bertambah besarnya sudut bukaan *damper* yang sesuai dengan persamaan 4.1. Bertambahnya *Reynolds numbers* maka kecepatan aliran juga semakin meningkat, sehingga *pressure drop* juga akan meningkat sesuai dengan persamaan 4.2. Pada persamaan 4.1 *pressure coefficient* berbanding lurus dengan *pressure drop* tapi berbanding terbalik dengan kecepatan. Sehingga pada gambar 4.12 bahwa grafik *damper* 0°, 10°, 20°, dan tanpa *damper* terlihat landai karena meningkatnya *pressure drop* sebanding dengan meningkatnya kecepatan aliran sehingga nilai *pressure coefficient* (C_p) hampir konstan. Pada saluran tanpa *damper* memiliki nilai *pressure coefficient* (C_p) terkecil, karena tidak ada kerugian aliran yang diakibatkan oleh *damper* sehingga memiliki nilai *pressure drop* yang rendah dibandingkan saluran dengan *damper*. Pada grafik *damper* 30° cenderung turun karena kenaikan *pressure drop* tidak sebanding dengan kenaikan kecepatan aliran atau bisa dikatakan kenaikan nilai kecepatan aliran yang dikuadratkan lebih besar dibandingkan kenaikan nilai *pressure drop*, sehingga nilai *pressure coefficient* (C_p) cenderung turun.

4.8. Koefisien Losses Damper pada Square Duct Fungsi Reynolds Number dan Variasi Sudut Bukaannya 0° , 10° , 20° dan 30°

Pada sub bab ini akan ditampilkan dan dijelaskan karakteristik koefisien losses damper pada square duct dengan square elbow 90° yang dilengkapi single guide vane. Grafik dari nilai koefisien losses damper fungsi variasi sudut bukaannya 0° , 10° , 20° dan 30° dengan variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Koefisien losses damper fungsi variasi sudut bukaannya $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° dengan variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$

Pada gambar 4.13 dapat dilihat bahwa grafik cenderung naik seiring besarnya sudut bukaannya damper. Pada gambar juga terlihat setiap grafik Reynolds number $3,94 \times 10^4$ hingga $9,46 \times 10^4$ berhimpitan atau tidak memiliki perbedaan yang besar. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa semakin besar sudut bukaannya damper maka semakin besar nilai Koefisien losses damper, yakni damper dengan sudut 0° memiliki nilai Koefisien losses damper paling kecil

kemudian diikuti *damper* dengan sudut 10° , 20° , dan *damper* dengan sudut 30° memiliki nilai *Koefisien losses damper* paling besar. Pada bukaan sudut *damper* 0° nilai *Koefisien losses damper* berkisar 0,1 hingga 0,2. Untuk bukaan sudut *damper* 10° nilai *Koefisien losses damper* yakni 0,6 hingga 0,64. Saat bukaan sudut *damper* 20° nilai *Koefisien losses damper* 1,98 yakni hingga 2,18. Sedangkan sudut bukaan *damper* 30° nilai *Koefisien losses damper* adalah 6,51 hingga 6,75.

Koefisien losses damper dipengaruhi perbedaan tekanan antara sisi setelah *damper* dan sebelum *damper*. Hal ini dapat ditulis dalam persamaan 4.3 seperti berikut:

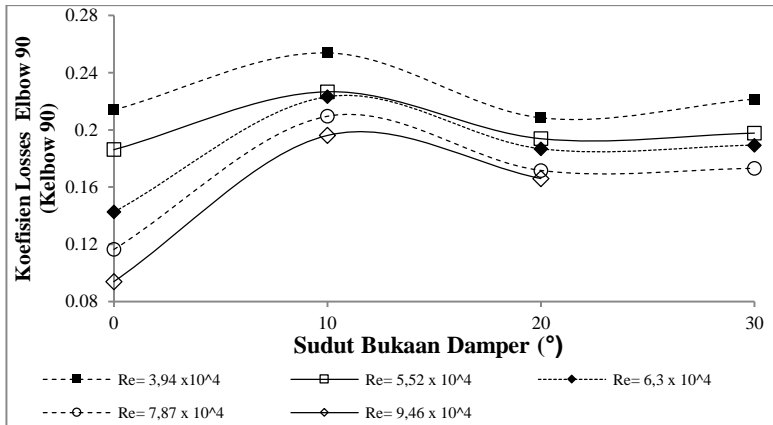
$$k_{\text{damper}} = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot \bar{v}^2} \quad (4.3)$$

Dimana ΔP merupakan perbedaan tekanan (*pressure drop*) antara sisi setelah *damper* dan sebelum *damper*. Sedangkan *pressure drop* dipengaruhi oleh kerugian akibat gesekan dan separasi aliran dari kontur bodi.

Pada gambar 4.13 dapat dilihat bawah nilai *Koefisien losses damper* semakin bertambah besar ketika bukaan sudut *damper* bertambah besar. Semakin bertambahnya bukaan sudut *damper* maka kerugian tekanan setelah melewati gangguan berupa *damper* semakin besar. Sehingga sesuai dengan persamaan 4.3 bahwa nilai *Koefisien losses damper* semakin besar apanila bukaan sudut *damper* semakin besar pula.

4.9. Koefisien Losses Elbow 90° pada Square Duct Fungsi Reynolds Number dan Variasi Sudut Bukaan Damper 0° , 10° , 20° dan 30°

Pada sub bab ini akan ditampilkan dan dijelaskan karakteristik *koefisien losses elbow 90°* pada *square duct* dengan *square elbow 90°* yang ditambahkan *single guide vane*. Grafik dari nilai *koefisien losses elbow 90°* fungsi variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° dan 30° ditunjukkan pada gambar 4.14.

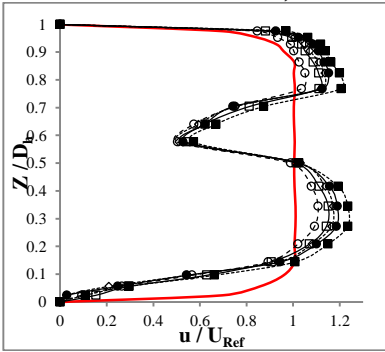


Gambar 4.14 Grafik *Koefisien losses elbow 90°* dengan *single guide vane* fungsi variasi sudut bukaan *damper* 0°, 10°, 20° dan 30° dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$

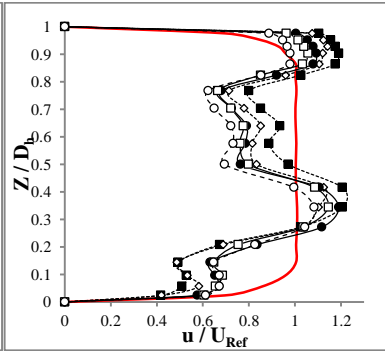
Pada gambar 4.14 terlihat bahwa grafik berfluktuatif seiring bertambahnya sudut dari bukaan *damper*. Grafik *Koefisien losses elbow 90°* cenderung meningkat dari bukaan sudut *damper* 0° menuju ke bukaan sudut *damper* 10°, grafik mengalami penurunan pada bukaan sudut *damper* 20°, dan kembali sedikit mengalami kenaikan pada sudut bukaan *damper* 30°. Nilai *Koefisien losses elbow 90°* paling besar adalah saat sudut bukaan *damper* 10° pada *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ dan nilai *Koefisien losses elbow 90°* terendah adalah saat sudut bukaan *damper* 0° pada *Reynolds number* $9,46 \times 10^4$. Dilihat dari *Reynolds number* pada grafik, semakin tinggi *Reynolds number* maka semakin rendah nilai *Koefisien losses elbow 90°* pada setiap bukaan sudut *damper*. Dapat dilihat pada gambar 4.14, sudut bukaan *damper* 0°, 10°, 20° nilai *Koefisien losses elbow 90°* terendah saat *Reynolds number* $9,46 \times 10^4$ dan tertinggi saat *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$. Sedangkan untuk bukaan sudut *damper* 30°, nilai *Koefisien losses elbow 90°* terendah saat *Reynolds number* $7,87 \times 10^4$ dan tertinggi saat *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$.

Halaman ini sengaja dikosongkan

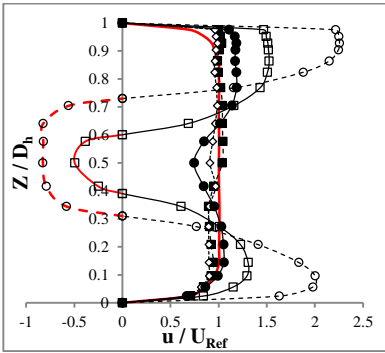
LAMPIRAN I. Profil Kecepatan Bidang Horizontal pada
 $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$



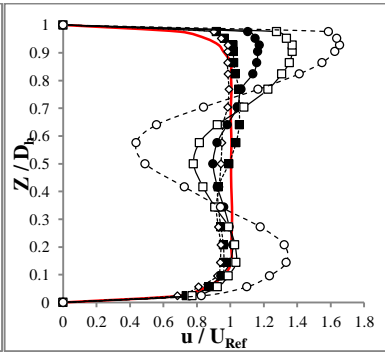
Section -2



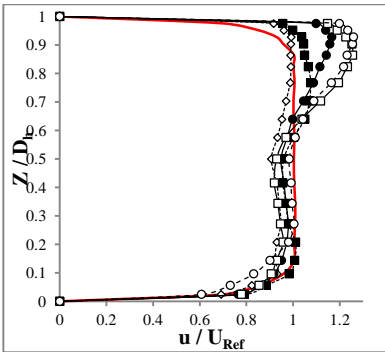
section -1



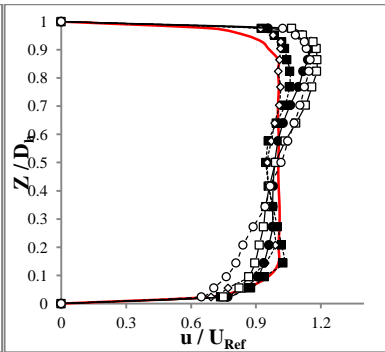
Section 1



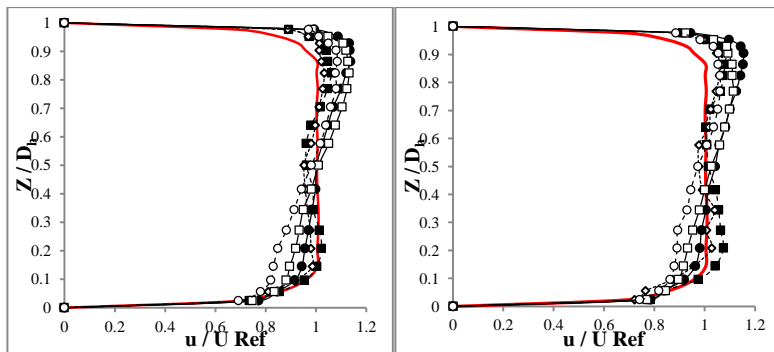
section 2



Section 3

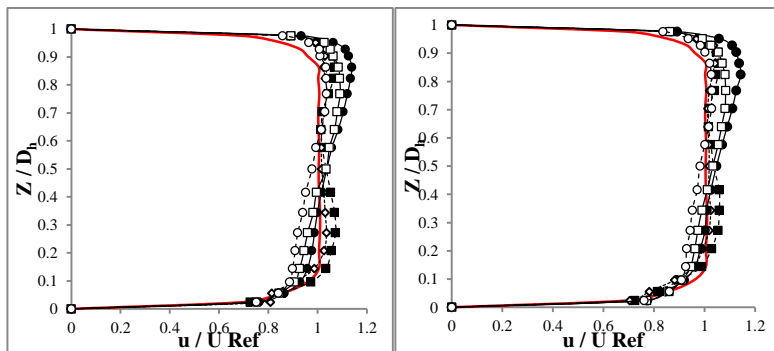


section 4



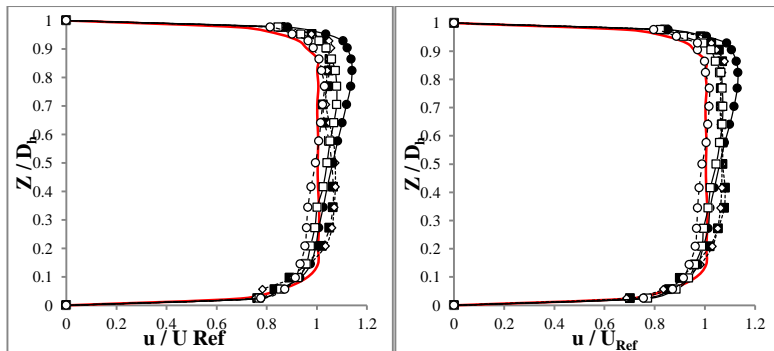
Section 5

section 6



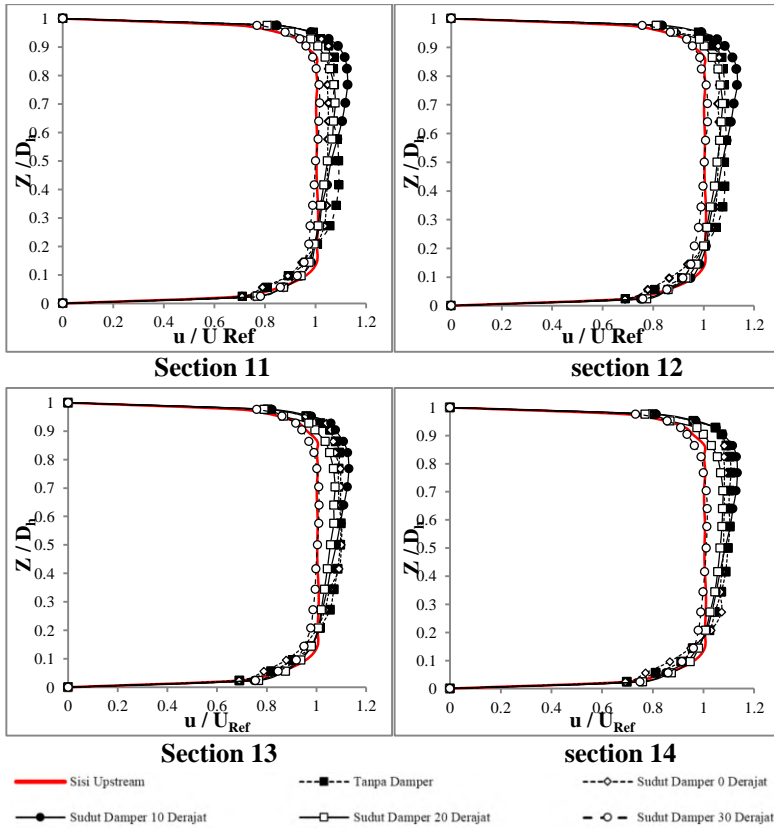
Section 7

section 8

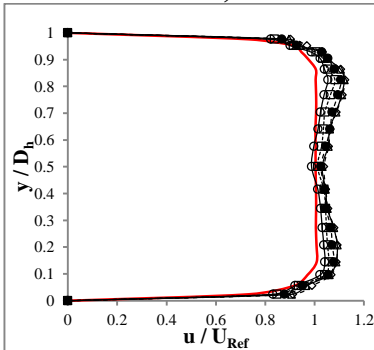


Section 9

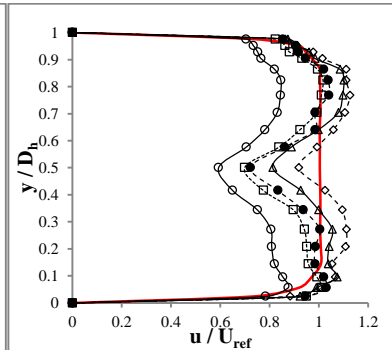
section 10



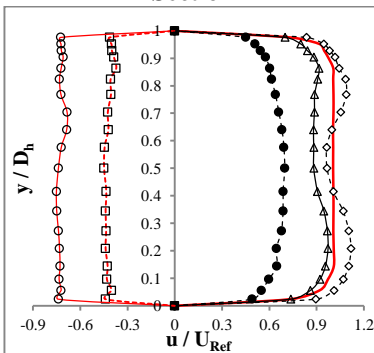
LAMPIRAN II. *Profil Kecepatan Bidang Vertikal pada $Re_{Dh}=7,88 \times 10^4$*



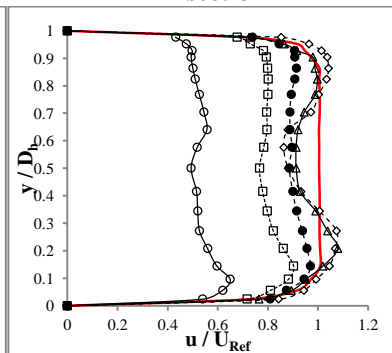
Section -2



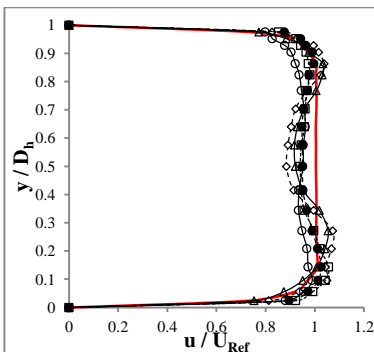
section -1



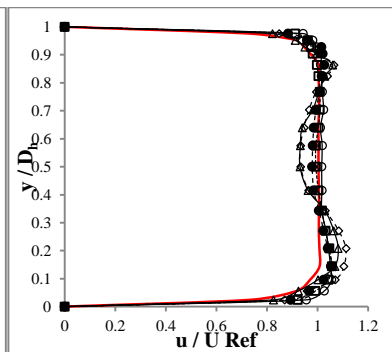
Section 1



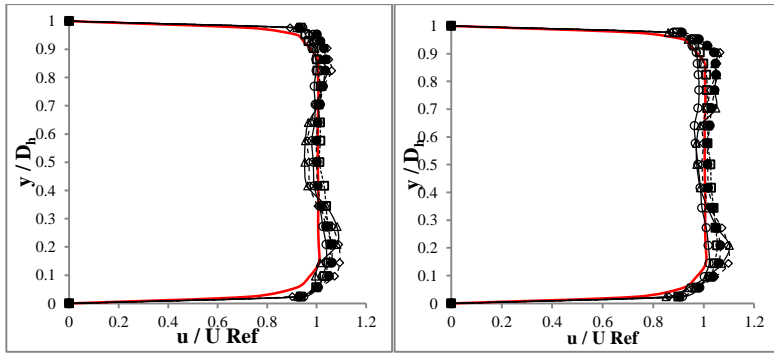
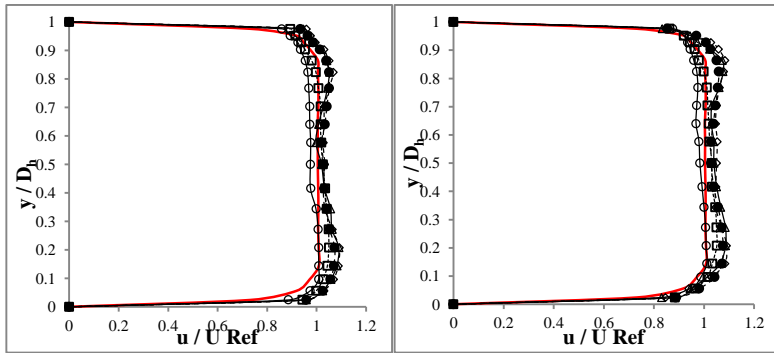
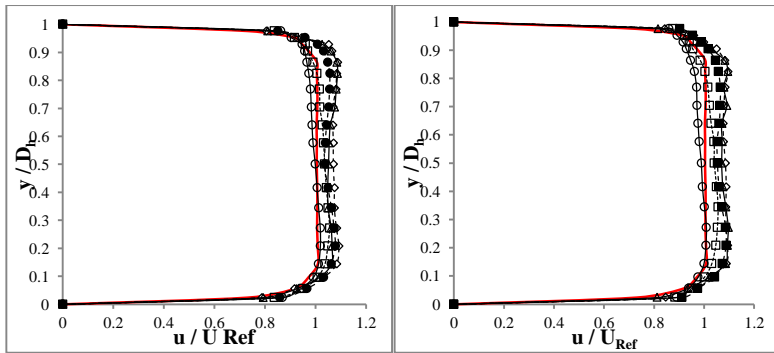
section 2

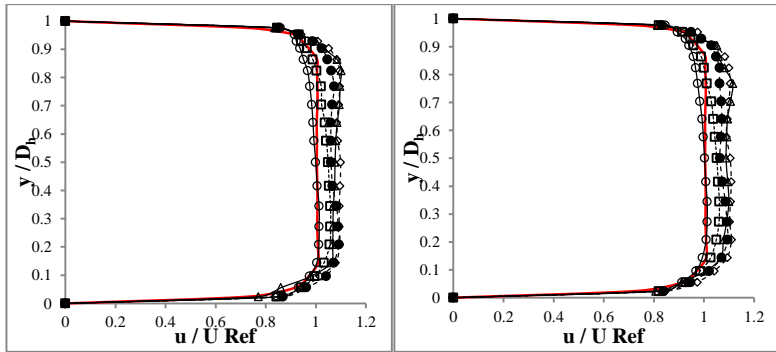


Section 3



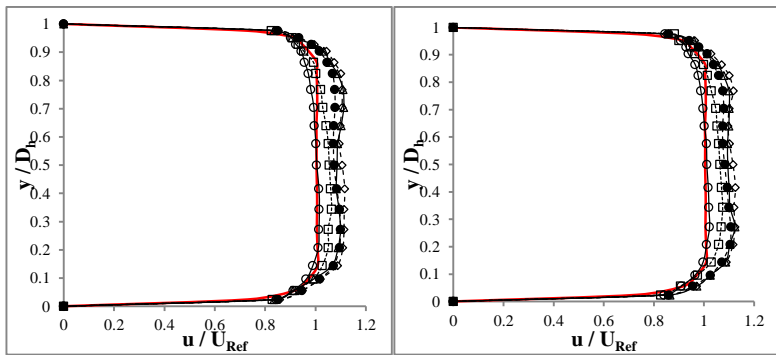
section 4

**Section 5****section 6****Section 7****section 8****Section 9****section 10**



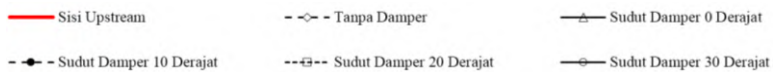
Section 11

section 12



Section 13

section 14



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian eksperimen yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambah satu buah *guide vane* pada *square elbow* 90° mampu menghilangkan aliran balik (*backflow*) pada *inner outlet elbow* 90°. Hal ini membuktikan bahwa penambahan satu *guide vane* mampu mengatasi kerugian akibat *separation loss* pada *inner outlet elbow* 90°.
2. Sudut bukaan *damper* 30° merupakan sudut yang paling efektif untuk proses *recovery* aliran dibanding variasi tanpa *damper*, sudut bukaan *damper* 0°, 10°, dan 20° yang terjadi setelah jarak 16D_h dari *outlet elbow* 90°.
3. Nilai *pressure coefficient* (C_p) hampir konstan seiring bertambahnya nilai *reynolds number* pada saluran tanpa *damper*, dengan sudut bukaan *damper* 0°, 10°, dan 20°. Sedangkan pada saluran dengan sudut bukaan *damper* 30° nilai *pressure coefficient* (C_p) turun seiring bertambahnya nilai *reynolds number*. Nilai *pressure coefficient* (C_p) semakin besar seiring bertambah besarnya sudut bukaan *damper*, yakni pada sudut bukaan *damper* 30° memiliki nilai *pressure coefficient* (C_p) paling besar lalu sudut bukaan *damper* 20°, 10°, dan 0° secara berurutan dan saluran tanpa *damper* memiliki nilai *pressure coefficient* (C_p) paling kecil.
4. Nilai *Koefisien losses damper* semakin besar seiring bertambahnya sudut bukaan *damper* yakni *damper* dengan sudut bukaan 30° memiliki nilai *Koefisien losses damper* paling besar dan *damper* dengan sudut bukaan 0° memiliki nilai *Koefisien losses damper* paling kecil. Nilai *Koefisien losses damper* hampir sama seiring bertambahnya nilai *Reynolds number*.
5. Nilai *Koefisien losses elbow* 90° semakin rendah seiring bertambahnya nilai *Reynolds number* pada setiap bukaan

sudut *damper*. Pada sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° nilai *Koefisien losses elbow* 90° terendah saat *Reynolds number* $9,46 \times 10^4$ dan tertinggi saat *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$. Sedangkan untuk bukaan sudut *damper* 30° , nilai *Koefisien losses elbow* 90° terendah saat *Reynolds number* $7,87 \times 10^4$ dan tertinggi saat *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan baik dari hasil eksperimen, terdapat beberapa hal yang masih perlu diperbaiki untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik pada penelitian selanjutnya. Beberapa saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan antara lain:

1. Untuk mendapatkan keakuratan data kuantitatif dan kualitatif yang baik dan akurat pada saat pengambilan data diperlukan peralatan yang berkualitas baik dan akurat. Sehingga pembaruan dan perawatan peralatan harus dilakukan.
2. Memperpanjang saluran instalasi menjadi sekitar $25D_h$ hingga $40D_h$ agar dapat melihat aliran hingga *fully developed*.
3. Membuat *single guide vane* berpenampang *rounded* agar meminimalkan kerugian aliran pada permukaan *guide vane* yang tegak lurus arah aliran.
4. Diperlukan adanya kajian eksperimen dengan variasi penempatan *damper* pada jarak D_h dari *outlet elbow* 90° , variasi radius *elbow* 90° , jumlah *guide vane*, dan jumlah *damper* agar dapat dibandingkan hasil eksperimen fenomena aliran yang terjadi dengan pengaruh dari variasi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cheng, D.Y. 1994, Laminar Flow Elbow System and Method, U.S. Patent Documents, No. 5,323,661.
2. Danbon, F. dan Sollicc, C, 2000, Aerodynamic Torque of a Butterfly Valve-Influence of an Elbow on the Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque, Nantes: Ecole des Mines de Nantes, Département Systèmes.
3. Edo, Edgar S.P, 2016, Simulasi Numerik Aliran Tiga Dimensi Melalui Rectangular Duct dengan Variasi Buka-an Damper, Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS Surabaya.
4. Fox, R.W., Mc Donald, A.T., dan Pritchard, P.J, 1998, Introduction to Fluid Mechanics, 5th edition, New York: John Wiley and Sons.
5. Idel'chick, I.E., 1960, Handbook of Hydraulic Resistance, Gosudarstvennoe Energeticheskoe Izdatel'stvo : Moskva-Leningrad.
6. Kimura, T., Tanaka, T., Fujimoto, K., Ogawa, K., 1995, Hydrodynamic characteristics of a butterfly valve - Prediction of pressure loss characteristics, *Kobe University, Faculty of Engineering, Rokko, Nada, Kobe, Japan*.
7. Rup, K., dan Sarna, P., 2011, Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow, Cracow: Elsevier.
8. Sutardi, A.W.Wawan, Affan.ibnu, Iswati, dan M.D.Sutrisno, 2010, Experimental Study on The Effect of Guide Vane Insertion and Reynolds Numbers on The Flow Pressure Drop in a 90 Rectangular Elbow, Journal, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik, 26 September 1992, merupakan anak terakhir dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN Pongangan 2 Gresik, SMPN 1 Gresik, dan SMAN 1 Gresik. Pada tahun 2011 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2111 030 037. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan untuk menunjang softskill. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Pelatihan LKMM Pra TD, Pelatihan Motor Bakar, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah, dan menjadi pelatih futsal D3 Teknik Mesin pada periode 2014-2015. Penulis juga pernah melaksanakan kerja Praktek di Petrokimia Gresik selama satu bulan pada 01 Juli s/d 31 Juli 2013 di bidang *Rancang Bangun dan Maintenance* pada Pabrik 1 Petrokimia Gresik.