



TESIS - TM142501

**STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN 3D DIDALAM
SQUARE 90° ELBOW DENGAN *INLET DISTURBANCE BODY*
BERBENTUK *DIAMOND***

**YOGI EKA FERNANDES
NRP 02111650020001**

**DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TESIS - TM142501

**STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN 3D DIDALAM
SQUARE 90° ELBOW DENGAN *INLET DISTURBANCE BODY*
BERBENTUK *DIAMOND***

**YOGI EKA FERNANDES
NRP 02111650020001**

**DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TESIS - TM142501

**NUMERICAL STUDY OF 3D FLOW CHARACTERISTICS IN
SQUARE 90° ELBOW WITH INLET DISTURBANCE BODY
FORM FOR DIAMOND**

**YOGI EKA FERNANDES
NRP 02111650020001**

**ADVISOR :
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
DEPARTMENT OF ENGINEERING MECHANICS
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Yogi Eka Fernandes
NRP. 02111650020001

Tanggal Ujian
Periode Wisuda

: 09 Juli 2018

: September 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, Ph.D
NIP. 196412281990031002

(Pembimbing)

2. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT
NIP. 197104051997021001

(Penguji)

3. Vivien Suphandani, ST, M.Eng.Sc, Ph.D
NIP. 198105292003122001

(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Industri

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT
NIP. 19690507 199512 1001

STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN 3D DIDALAM *SQUARE DUCT 90° ELBOW* DENGAN *INLET DISTURBANCE BODY* BERBENTUK *DIAMOND*

Nama Mahasiswa : Yogi Eka Fernandes
NRP : 02111650020001
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., PhD

ABSTRAK

Saluran udara merupakan komponen penting untuk mengkondisikan udara yang dibutuhkan dari suatu bangunan. Konstruksi saluran udara terdapat berbagai komponen yang menunjang fungsi saluran tersebut. *Elbow 90°* berfungsi untuk membelokkan arah aliran udara. Aliran fluida yang melintasi *elbow 90°* akan mengalami *pressure drop* lebih besar dari pada melintasi saluran udara lurus dengan kecepatan *free stream* yang sama, sehingga akan terjadi kerugian energy yang lebih besar.

Penelitian secara numerik ini berupa *ducting* dengan penampang *square* yang terdiri dari: *upstream straight channel*, *rectangular elbow 90°*, *downstream straight channel*, serta dilengkapi aksesoris berupa *Inlet Disturbance Body (IDB)* yang diletakkan di *10° elbow*. Fluida kerja yang digunakan dalam simulasi berupa udara dengan variasi *reynolds number 15500, 47700, 95500*. Pengujian dilakukan dengan variasi diameter dari *IDB*. Penelitian ini dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak simulasi CFD.

Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa nilai *pressure drop* pada bagian *inlet* dan *outlet* pada *elbow 90°* sangat dipengaruhi oleh adanya *IDB*. Penambahan *IDB* tidak lebih baik dalam menurunkan *pressure drop* pada *rectangular elbow 90°*. Hal ini disebabkan karena adanya *IDB* membentuk *shear layer* yang cukup kuat melawan *adverse pressure* pada sisi *inner* dan *outer wall* *elbow*. Namun pada *ducting* secara perbagian, penambahan *IDB* efektif mengurangi *pressure drop* terutama pada bagian *elbow* dengan penambahan *IDB d/Dh=0.064*.

Kata kunci: *Square ducting, elbow 90°, pressure drop, profil kecepatan.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

NUMERICAL STUDY OF 3D FLOW CHARACTERISTICS IN SQUARE 90° ELBOW WITH INLET DISTURBANCE BODY FORM DIAMOND

Student Name : Yogi Eka Fernandes
NRP : 02111650020001
Departement : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., PhD

ABSTRACT

The air duct is an essential component for conditioning the required air from a building. Construction of the air duct there are various components that support the function of the channel. Among them are valves (valve), guide vane, elbow 90°, and so forth. Elbow 90° serves to deflect the direction of air flow. The fluid flow across the 90° elbow will experience a greater pressure drop than crossing a straight air duct with the same free stream speed, resulting in greater energy losses.

This numerical study is a square-sectional duct consisting of: upstream straight channel, rectangular elbow 90°, downstream straight channel, and equipped with Inlet Disturbance Body (IDB) accessories placed inside the elbow at position 10°. Working fluid used in the air simulation with variations in Reynolds numbers 15500, 47700, 95500. The test is done with the diameter variation on IDB. This research is done numerically using CFD simulation software.

The results obtained from the research indicate that the pressure drop value of the inlet and outlet on the elbow 90° is strongly influenced by the IDB. Addition of IDB $d / Dh=0.064$ most effectively lowers the pressure drop on the 90° rectangular elbow. This is because the IDB forms a fairly strong shear layer against adverse pressure on the inner side and outer wall elbow. However in overall duct, the addition of IDB is not effective against reducing pressure drop. The existence of IDB such as adding minor losses on the channel that causes pressure drop up.

Keywords: *Square ducting, 90° elbow, pressure drop, speed profile.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Kedua orang tua tercinta (Bapak Siryon dan Ibu Andes Maria) yang senantiasa memberi semangat, dukungan dan doa hingga penulis bisa menyelesaikan tesis ini.
2. Keluarga besar H. Hermanto yang senantiasa memberi semangat, dukungan dan doa hingga penulis bisa menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D, selaku dosen pembimbing tesis yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
4. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng. Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng selaku Kepala Program Studi Pasca Sarjana Departemen Teknik Mesin memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
6. Bapak Dr. Ir. Wawan Aries Widodo, MT, Ibu Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen penguji tesis penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
7. Rekan satu tim penulis tesis, Riska Nur Faila yang selalu memberikan dukungan, semangat dan kerja sama dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Pak Randi sebagai dosen pembimbing bayangan. Terima kasih atas ilmu, saran, dan motivasi yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

9. Teman-teman Pasca Sarjana ITS RKE 2015, mas Royan, Pak Thomi, mas Ibnu, mas Hernawan, mas Ghafur, mas fendi, terima kasih atas bantuan dan dukungannya.
10. Pak Arif teman kerja lembur di lab Pasca.
11. Teman-teman Pasca Sarjana Teknik Mesin ITS 2016, teman-teman bapak – bapak S3 semuanya terima kasih atas bantuan dan dukungannya.
12. Seluruh Dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin ITS,
13. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Persamaan Euler Dalam Koordinat Streamline.....	7
2.2 Aliran Internal.....	8
2.2.1 Fenomena Aliran Internal.....	8
2.2.2 Separasi Aliran.....	9
2.2.3 Aliran Sekunder.....	10
2.3 Konsep Boundary Layer.....	11
2.4 Bilangan Reynolds.....	12
2.5 Coefficient Pressure.....	12
2.6 Intensitas Turbulen.....	13
2.7 Penelitian Terdahulu.....	14

BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Geometri <i>elbow</i>	27
3.2 Metode Numerik.....	29
3.2.1 Tahap Pre-processing.....	29
3.2.2 Tahap Post-processing Menggunakan Piranti Lunak Simulasi CFD Komersial.....	30
 BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	 35
4.1 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang <i>Ducting</i> dengan Kontur Kecepatan tanpa <i>IDB</i> dan dengan <i>IDB</i> = 0.064.....	35
4.2 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang <i>Ducting</i> dengan Kontur Kecepatan tanpa <i>IDB</i> dan dengan <i>IDB</i> = 0.08.....	40
4.3 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang <i>Ducting</i> dengan Kontur Kecepatan tanpa <i>IDB</i> dan dengan <i>IDB</i> = 0.01.....	44
4.4 Perbandingan Vektor Kecepatan dan Kontur <i>Pathline</i> setiap <i>Surface cross-section</i> tanpa <i>IDB</i> dan Dengan <i>IDB</i> Pada $Re =$ 1.57×10^4	48
4.4.1 Visualisasi Vektor Kecepatan dan Kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-Section</i> Tanpa <i>IDB</i>	48
4.4.2 Visualisasi Vektor Kecepatan dan Kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-Section</i> dengan <i>IDB</i> $L/Dh = 0.064$	51
4.4.3 Visualisasi Vektor Kecepatan dan Kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-Section</i> dengan <i>IDB</i> $L/Dh = 0.08$	54
4.4.4 Visualisasi Vektor Kecepatan dan Kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-Section</i> dengan <i>IDB</i> $L/Dh = 0.1$	57
4.5 Perbandingan Data Setiap Variasi Model <i>Ducting</i> Pada Setiap Variasi Kecepatan.....	60
4.5.1 <i>Pressure Drop</i>	60

4.5.2 <i>Coeffisient of Pressure</i>	65
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	73
RIWAYAT PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gerakan partikel fluida di sepanjang <i>streamline</i>	6
Gambar 2.2. <i>Internal flow</i> pada pipa.....	8
Gambar 2.3. Separasi aliran pada <i>curved pipe</i>	9
Gambar 2.4 Aliran ideal pada lengkung.....	9
Gambar 2.5 Aliran sekunder	10
Gambar 2.6 Sekma pengambilan data pada <i>test section</i> b) Mesh pada <i>Volume</i>	13
Gambar 2.7 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$	14
Gambar 2.8 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi <i>inner</i> dan <i>outer wall elbow</i> hasil simulasi dan eksperimen.....	14
Gambar 2.12 Geometri pipa melengkung dan permodelan komputasinya.....	15
Gambar 2.13 <i>Velocity profile</i> pada sudut 0° , 30° , 60° , dan 90° dengan variasi <i>curvature ratio</i> ($R_c/D = 1 - 5$).....	16
Gambar 2.12 Sekema pengambilan data dan definisi parameter untuk <i>square cylinder</i>	17
Gambar 2.13 (a) <i>Streamwise velocity</i> dan <i>Spectrum</i> analisis pada <i>Reynolds</i> $= 3400$ (b) <i>Vorticity</i> ω^* OSC case A ($Re = 500$) & case B (Re $= 3400$).....	18
Gambar 2.14 <i>Geometry</i> silinder sirkular	19
Gambar 2.15 <i>Mean streamwise velocity profile at X = 100, 150 and 200</i> <i>mm</i>	19
Gambar 2.11 <i>Streamwise turbulence intensity profiles at X = 100, 150 and</i> <i>200 mm</i>	20
Gambar 2.16 Geometri penelitian dan pemodelan komputasinya.....	20
Gambar 2.17 Pengaruh jarak <i>gap</i> terhadap formasi <i>vortex</i> pada $Re = 250$...	21

Gambar 2.18 <i>Pressure drop</i> antara <i>upstream</i> dan <i>downstream duct</i> variasi letak <i>IDB</i> $5^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan tanpa <i>IDB</i> pada <i>Reynolds Number</i> $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 9,54 \times 10^4$	22
Gambar 2.19 <i>Pressure drop upstream duct</i> (\square), <i>elbow</i> 90° (\times), <i>downstream duct</i> (Δ). (a) tanpa <i>IDB</i> , dengan variasi (b) <i>IDB</i> 5° , (c) 10° , dan (d) 15° pada <i>Reynolds Number</i> $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 9,54 \times 10^4$	23
Gambar 3.1 Geometri Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Detail posisi penempatan <i>diamond inlet disturbance body</i>	27
Gambar 3.3 <i>Meshing</i> pada saluran dengan <i>elbow</i> 90° tanpa pengganggu tipe <i>hexahedral-map</i> pada GAMBIT.....	28
Gambar 3.4 <i>Boundary condition elbow</i> 90° pada GAMBIT.....	30
Gambar 3.5 Posisi pengambilan data.....	32
Gambar 4.1 Kontur kecepatan (a). aliran tanpa <i>IDB</i> (b). aliran dengan <i>IDB</i> $L/Dh=0.064$	34
Gambar 4.2 Profil kecepatan tanpa dan dengan <i>IDB</i> $L/Dh 0.064$ (a) Sudut 0° (b) sudut 30° (c) sudut 60° (d) sudut 90° (e) $x/D_h = 1$ (f) $x/D_h = 3$ (g) $x/D_h = 10$	37
Gambar 4.3 Kontur kecepatan (a).aliran tanpa <i>IDB</i> (b). aliran dengan <i>IDB</i> $L/Dh=0.08$	39
Gambar 4.4 Profil kecepatan tanpa dan dengan <i>IDB</i> = 0.08 (a) Sudut 0° (b) sudut 30° (c) sudut 60° (d) sudut 90° (e) $x/D_h = 1$ (f) $x/D_h = 3$ (g) $x/D_h = 10$	41
Gambar 4.5 Kontur kecepatan (a).aliran tanpa <i>IDB</i> (b). aliran dengan <i>IDB</i> $L/Dh=0.1$	43

Gambar 4.6 Profil kecepatan tanpa dan dengan $IDB=0.08$ (a) Sudut 0° (b) sudut 30° (c) sudut 60° (d) sudut 90° (e) $x/D_h = 1$ (f) $x/D_h = 3$ (g) $x/D_h = 10$	45
Gambar 4.7. Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> tanpa IDB (1) $4 D_h$ upstream (2) Sudut 0° (3) sudut 30° (4) sudut 60° (5) sudut 90° (6) $x/D_h = 1$ (7) $x/D_h = 3$ (8) $x/D_h = 10$	47
Gambar 4.8. Vektor kecepatan sepanjang <i>ducting</i> tanpa IDB	50
Gambar 4.9. Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> $IDB L/D_h = 0.064$ (1) $4 D_h$ upstream (2) Sudut 0° (3) sudut 30° (4) sudut 60° (5) sudut 90° (6) $x/D_h = 1$ (7) $x/D_h = 3$ (8) $x/D_h = 10$	52
Gambar 4.10. Vektor kecepatan sepanjang <i>ducting</i> dengan $IDB L/D_h=0.064$	53
Gambar 4.11. Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> $IDB L/D_h = 0.08$ (1) $4 D_h$ upstream (2) Sudut 0° (3) sudut 30° (4) sudut 60° (5) sudut 90° (6) $x/D_h = 1$ (7) $x/D_h = 3$ (8) $x/D_h = 10$	55
Gambar 4.12. Vektor kecepatan sepanjang <i>ducting</i> dengan $IDB L/D_h=0.08$	56
Gambar 4.13. Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> $IDB L/D_h = 0.1$ (1) $4 D_h$ upstream (2) Sudut 0° (3) sudut 30° (4) sudut 60° (5) sudut 90° (6) $x/D_h = 1$ (7) $x/D_h = 3$ (8) $x/D_h = 10$	58
Gambar 4.14. Vektor kecepatan sepanjang <i>ducting</i> dengan $IDB L/D_h=0.1$	59
Gambar 4.15. <i>Pressure Drop Square Duct</i> dengan <i>elbow</i> 90° sebagai fungsi dari <i>Reynolds Number</i>	61
Gambar 4.16. <i>Pressure Drop Upstream Duct</i> sebagai fungsi dari <i>Reynolds Number</i>	62

Gambar 4.17. <i>Pressure Drop</i> pada <i>Elbow</i> dengan variasi <i>Reynolds</i> <i>Number</i>	63
Gambar 4.18. <i>Pressure Drop Downstream</i> sebagai fungsi dari <i>Reynolds</i> <i>Number</i>	64
Gambar 4.19. <i>Coefficient of Pressure Square Duct</i> pada <i>elbow 90°</i> dengan variasi <i>Reynolds Number</i>	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan.....	24
Tabel 3.1 <i>Grid Independency</i>	31
Tabel 4.1. Nilai ΔC_p pada sudut 45°	66

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era globalisasi saat ini dengan perkembangan perekonomian yang sangat pesat saat ini telah membuat semua orang berlomba-lomba dalam mencukupi kebutuhan primernya, sebagai contoh adalah tempat tinggal dan pangan. Kondisi tersebut dimanfaatkan oleh sebagian besar pengusaha properti untuk membangun gedung-gedung apartemen, swalayan, dan mall untuk memenuhi kebutuhan dari masyarakat. Dengan kondisi suhu bumi saat ini yang cukup tinggi mengakibatkan suhu ruangan menjadi lebih cepat meningkat, hal ini mengakibatkan kenyamanan yang dirasakan menjadi rendah, sehingga sistem pendinginan dari sebuah bangunan yang didirikan menjadi kunci penting. Proses sistem pendinginan sebuah gedung bertingkat seperti swalayan tidak memungkinkan jika hanya menggunakan blower ataupun system pengkondisian udara. Proses pendinginan tersebut membutuhkan penggunaan AC sentral untuk mensirkulasikan antara udara panas dan udara dingin. Penyaluran udara harus mengikuti tata letak setiap ruangan, sehingga membutuhkan instalasi perpipaan yang sesuai dengan bentuk bangunan.

Sistem saluran udara merupakan komponen penting untuk men-sirkulasikan udara dari suatu bangunan. Konstruksi sistem saluran udara terdiri dari berbagai komponen penunjang yang sesuai dengan kebutuhan, diantaranya yaitu, katup (*valve*) yang digunakan untuk mengatur debit aliran udara sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan dan *guide vane* digunakan untuk mengarahkan aliran. Selain itu *elbow 90°* merupakan komponen saluran udara yang melengkung membentuk sudut 90° dan berfungsi untuk membelokkan arah aliran udara. Suatu sistem saluran udara dimana terdapat aliran fluida yang melintasi *elbow 90°* akan mengakibatkan *pressure drop* lebih besar dari pada melintasi saluran udara lurus dengan kecepatan *free stream* yang sama, sehingga akan terjadi kerugian energi yang lebih besar. Konstruksi saluran udara yang optimal diharapkan mampu mengurangi *pressure drop* pada sistem saluran udara suatu bangunan.

Aliran fluida didalam *elbow* 90° mengalami separasi pada sisi *inner* dan *outer wall*. Terjadinya separasi disebabkan oleh ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure gradient*, sehingga sebagian aliran akan terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya dan akan membentuk *vortex* sehingga mengurangi energi aliran. Disisi lainnya, terbentuknya aliran sekunder (*secondary flow*) di dalam *rectangular elbow* 90° merupakan sebab dari adanya gerakan pemisahan aliran dari *outer wall* menuju *inner wall*. Pada *elbow* 90° , distribusi tekanan pada sisi *outer wall* lebih besar daripada sisi *inner wall*, hal ini memungkinkan partikel fluida bergerak dari *outer wall* menuju *inner wall*. Efek yang ditimbulkan oleh adanya aliran sekunder ini adalah terjadinya penyumbatan aliran (*blockage effect*).

Rup dan Sarna (2010) membandingkan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi yang digunakan 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. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing*, dengan jumlah mesh $V_k = 553\ 052$, $V_k = 1766\ 079$, and $V_k = 1034\ 775$. Hasil yang didapatkan bahwa hasil simulasi mendekati hasil eksperimen untuk profil kecepatan sepanjang *elbow* pada lokasi $\phi = 30^\circ$ dan 60° serta perbedaan profil kecepatan yang cukup signifikan pada lokasi $x/D_h = 1.0$ dan $z/D_h = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada variasi *mesh* III ($V_k = 1034\ 775$). Selain itu, didapatkan koefisien tekanan maksimum di dinding *elbow* terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut $\phi = 45^\circ$ ($Z = 0.00$).

Wawan dkk (2014) mengkaji tentang penurunan *pressure drop* pada penempatan *circular disturbance body* di depan *circular cylinder* dalam saluran berbentuk *rectangular*. Penelitian dilakukan pada diameter *circular cylinder* (D) 25mm dan 37.5mm. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan *circular disturbance body* dapat menurunkan gaya *drag* dan *pressure drop* tetapi hanya efektif pada sudut 20° dan 30° untuk $D=25$ mm, dan 20° , 30° , dan 40° untuk $D=37.5$ mm.

Sutardi dkk (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *guide vane* terhadap *pressure drop* pada instalasi yang menggunakan *elbow*. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk bilangan Reynolds (Re) $2,1 \times 10^4$, penambahan *guide vane* dapat dikatakan menguntungkan karena dapat mengurangi *pressure drop* yang terjadi, tetapi pada saat Re dinaikkan pada $8,4 \times 10^4$ dan 12×10^4 , penambahan *guide vane* justru merugikan karena meningkatkan *pressure drop* dibandingkan tidak menggunakan *guide vane*.

Ozgoren (2006) melakukan penelitian secara eksperimen untuk mengetahui struktur aliran pada *downstream channel* berbentuk *rectangular* dengan variasi *disturbance body* berupa *diamond* dan *circular cylinder*. Penelitian dilakukan pada dimensi *diamond disturbance* 20 mm x 20 mm dan diameter *circular cylinder* (D) 20 mm. Hasil dari eksperimen tersebut menunjukkan bahwa *diamond disturbance* menghasilkan intensitas turbulensi lebih tinggi daripada *circular cylinder*.

Sonny (2017) melakukan penelitian eksperimen untuk mengetahui pengaruh aliran dengan variasi *Inlet Disturbance Body* (*IDB*) didalam *elbow* 90° . Eksperimen dilakukan pada $Rc/Dh=3$ dengan variasi letak *IDB* pada 5° sampai 20° dengan $Re = 1.59 \times 10^4 - 9.54 \times 10^4$. Variasi letak *IDB* 10° merupakan posisi terbaik dalam menurunkan *pressure drop* pada bilangan Re $1,59 \times 10^4$ sampai $9,54 \times 10^4$. Dimana untuk saluran tanpa bodi pengganggu (*IDB*) kontribusi *pressure drop* terbesar terjadi pada *downstream duct*. Sedangkan kontribusi *pressure drop* dengan variasi letak *IDB* masing – masing terbesar antara *elbow* 90° . Hal ini terjadi karena penambahan *IDB* menimbulkan kerugian gaya *drag* antara permukaan *IDB* dengan fluida searah aliran yang melewatinya. Adanya gaya *drag* tersebut ternyata masih cukup menguntungkan untuk memperbaiki aliran yang terseparasi pada *inner wall elbow* dan dapat mengurangi *blockage area* pada *outlet elbow*, terbukti pada letak variasi *IDB* 10° dapat mengurangi *pressure drop* dibandingkan dengan tanpa menggunakan *IDB*.

1.2.Rumusan Masalah

Pada latar belakang di atas, telah dijelaskan beberapa penyebab terjadinya *pressure drop* aliran di dalam *elbow* 90° yang disebabkan karena adanya *friction*

loss, separation loss, dan secondary flow. Adanya intensitas turbulensi yang cukup kuat dari *shear layer* pada *Inlet Disturbance Body (IDB)* diharapkan mampu memberikan agitasi pada *boundary layer* aliran yang melintasi dinding saluran yang memiliki kelengkungan, yaitu dengan melawan *adverse pressure* dan *wall shear stress*.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk menganalisis karakteristik aliran udara yang melewati *square duct* dengan elbow 90° yang diberi bodi pengganggu pada 10° didalam *elbow 90°* yaitu *inlet disturbance body (IDB)* dengan bentuk *square cylinder* yang divariasikan pada diameter IDB. Penambahan IDB diharapkan menghasilkan *shear layer* yang mempunyai intensitas turbulensi yang lebih tinggi sehingga berakibat penurunan *pressure drop*.

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan yang berisi tentang variable yang akan diteliti maupun variable yang akan diasumsikan sehingga bahasan tidak melebar dari tujuan utama. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perangkat lunak yang digunakan dalam pemodelan *geometry* benda uji serta / tahapan *pre-processing* ialah *software gambit 2.4.6* serta untuk tahapan *post processing* menggunakan *fluent 6.3.26*
2. Fluida kerja adalah udara dengan profil kecepatan udara *uniform* pada sisi *inlet upstream*. Aliran fluida bersifat *incompressible flow, viscous* dan *steady flow*.
3. Temperatur fluida didalam udara diasumsikan konstan yaitu $T = 28^\circ$.
4. Aliran yang melintasi *square duct* memiliki region aliran turbulen.
5. Studi numerik dilakukan pada kecepatan 2,6 dan 12 m/s.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida dengan penambahan *Inlet Disturbance Body (IDB)* berbentuk *oriented square cylinder* didalam *elbow 90°* dengan $R_e/D_h=3$. Parameter-parameter aliran fluida yang ditentukan meliputi:

1. Mengetahui fenomena aliran yaitu *profile* kecepatan pada daerah *square elbow 90°* dan *downstream duct*.
2. Mengetahui *pressure drop* pada bagian *upstream duct, elbow 90°*, dan *downstream duct* serta *coefficient of pressure* pada *elbow 90°*.
3. Mengetahui fenomena aliran yaitu vektor kecepatan pada daerah *square elbow 90°* dan *downstream duct*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat setelah melakukan penelitian studi numerik ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran tentang fenomena aliran yang melewati suatu saluran *square cylinder* saat melintasi bodi pengganggu berbentuk *diamond*.

Memberikan penjelasan tentang pengaruh adanya *inlet disturbance body* pada sisi *inner wall upstream duct* dengan variasi diameter IDB terhadap karakteristik aliran sepanjang *square elbow 90°* serta *downstream straight duct*.

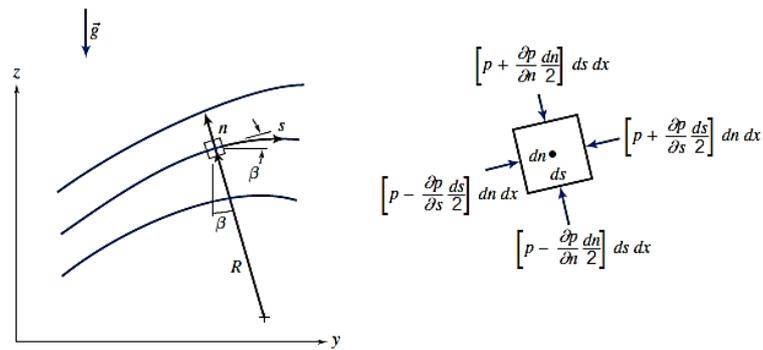
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Persamaan Euler Dalam Koordinat *Streamline*

Streamline adalah garis sembarang yang dilukiskan dalam medan aliran, dimana garis singgung pada setiap titik dalam garis tersebut menyatakan arah kecepatan aliran. Karena setiap kecepatan aliran hanya menyinggung streamlines, maka ini berarti tidak ada aliran yang memotong maupun melintasi streamline. Persamaan gerakannya dinyatakan dalam koordinat streamline yang dibangun dari persamaan Euler, untuk *inviscid flow*. Gerakan partikel fluida sepanjang aliran *streamline* diilustrasikan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gerakan partikel fluida di sepanjang *streamline* (Fox dan Mc. Donald, 2011)

Pada gambar 2.1 diatas partikel fluida pada bidang koordinat y-z dimana *s* sebagai jarak sepanjang *streamline*, *n* sebagai jarak normal terhadap *streamline* sedangkan *p* adalah pusat tekanan dari suatu elemen. Persamaan *Euler* pada aliran *inviscid* dapat dibentuk dari persamaan gerak partikel pada suatu aliran dalam koordinat *streamline*, sehingga dirumuskan pada persamaan 2.1.

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

Dengan asumsi kondisi aliran *steady*, *body force* diabaikan serta aliran dianggap sebagai aliran *incompressible* sehingga persamaan *Euler* sepanjang *streamline* kearah *s* dapat dirumuskan pada persamaan 2.2.

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

Sedangkan pada kondisi *steady flow* dimana R adalah radius lengkungan *streamline*. Sehingga menyebabkan persamaan *Euler* berubah dimana persamaan *Euler* normalnya dinyatakan pada persamaan 2.3.

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

Untuk aliran *steady* pada bidang horizontal/arah n , maka persamaan *Euler* dinyatakan dengan persamaan 2.4.

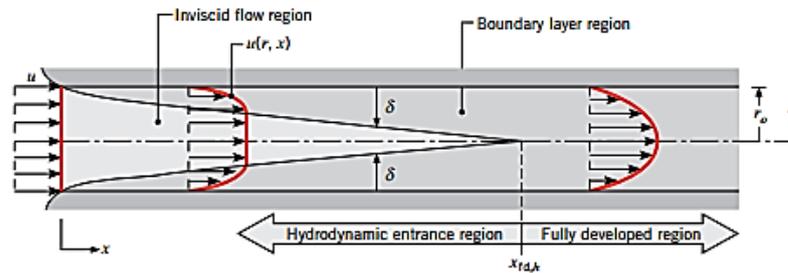
$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{\bar{v}^2}{R} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.4 di atas menunjukkan adanya peningkatan tekanan ke arah keluar dari pusat radius kelengkungan *streamline*, disebabkan karena gaya yang bekerja pada partikel hanya berupa tekanan sehingga menyebabkan adanya percepatan *sentripetal*. Di daerah-daerah *streamline* dimana pada *streamline* lurus maupun *streamline* dengan jari-jari kelengkungan R yang tak terhingga menyebabkan tidak adanya perbedaan antara tekanan normal terhadap *streamline*.

2.2. Aliran *Internal*

2.2.1. Fenomena Aliran *Internal*

Aliran *Internal* adalah aliran dimana fluida mengalir dibatasi oleh suatu batasan benda padat, sebagai contoh aliran fluida dalam pipa, *ducting*, dan lain-lain. Pada gambar 2.5, aliran fluida yang masuk pada pipa adalah aliran *uniform*. Karena aliran tersebut *viscous* maka terjadi tegangan geser pada dinding-dinding pipa, maka terjadilah lapisan batas atau *boundary layer*. *Boundary layer* memisahkan 2 jenis aliran yaitu aliran *inviscid* dan *viscous*, dimana pada U_{max} masih dalam keadaan aliran *inviscid* sedangkan pada aliran dekat dinding dalam keadaan aliran jenis *viscous*. Aliran *viscous* yang ada di dalam *boundary layer* memiliki pengaruh viskositas yang relatif besar, sehingga profil kecepatannya yang ada pada sekitar dinding tidak lagi *uniform*.



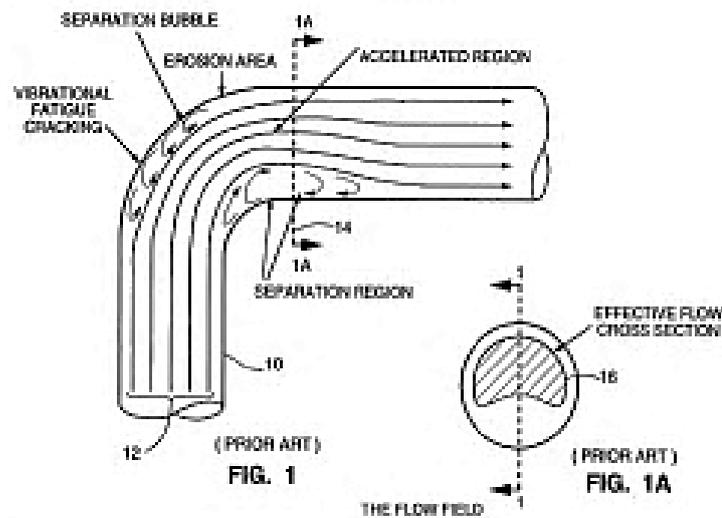
Gambar 2.2. *Internal flow* pada pipa (Incopera, 2011)

Perubahan profil kecepatan dalam aliran ini memiliki batas tertentu. Apabila *boundary layer* tersebut bertemu pada satu titik, maka profil kecepatannya akan tetap. Aliran yang telah berkembang penuh ini dinamakan aliran *fully developed*.

2.2.2 Separasi Aliran

Separasi aliran terjadi akibat momentum dari aliran fluida tidak mampu untuk melawan tegangan geser, sehingga akan terbentuk tekanan balik pada fluida yang menyebabkan aliran fluida berbalik arah dari arah utamanya (*backflow*). Karena momentum dari aliran yang rendah menyebabkan aliran akan terjebak dan terbentuklah *vortex flow* pada sisi *corner elbow*. *Vortex* merupakan aliran yang terjebak dan berpusar-pusar diantara aliran utama dan dapat mengurangi energi aliran sehingga memberikan pengaruh terhadap timbulnya *pressure drop*.

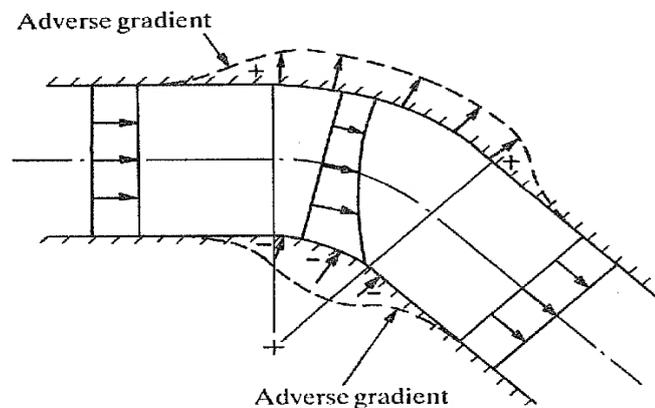
Cheng (1994) melakukan penelitian tentang aliran separasi pada *curved pipe*, dengan menginjeksikan cairan berwarna pada pipa transparan untuk memperoleh ilustrasi *streamline* di dalam *elbow*. Hasil visualisasi diilustrasikan pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Separasi aliran pada *curved pipe* (Cheng, 1994)

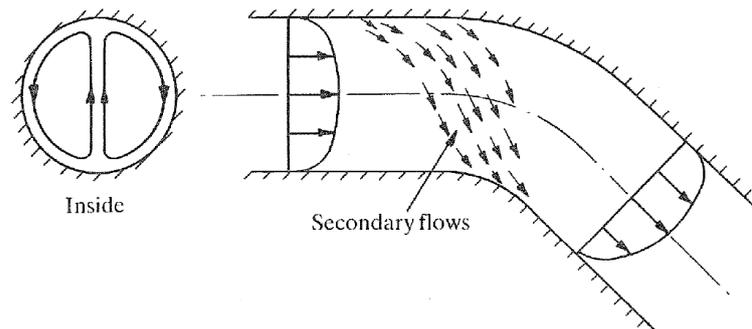
2.2.3 Aliran Sekunder (*Secondary Flow*)

Aliran sekunder terjadi karena perbedaan distribusi energi pada sisi *outer wall* dan *inner wall* pada *elbow*. Pada sisi *outer* tekanan statisnya semakin besar ini terjadi karena aliran fluida langsung mengarah pada dinding *outer* yang menyebabkan kecepatan aliran berkurang secara tiba-tiba kemudian aliran fluida bergerak menuju *inner wall*, sehingga tekanan pada sisi *outer wall* lebih besar dari *inner wall*. Aliran yang melintasi suatu *fitting* seperti *elbow* akan terjadi perubahan arah aliran dimana akan mempengaruhi perubahan tekanan statis dan distribusi kecepatan aliran, sehingga menimbulkan dua tekanan balik *adverse pressure* seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Aliran ideal pada lengkung (Miller, 1999)

Aliran sekunder pada *elbow* terjadi ketika aliran mulai memasuki *elbow*. Ini terjadi karena energi pada sisi *outer wall* lebih besar pada sisi *inner wall* sehingga arah aliran tidak hanya mengikuti arah aliran utama, namun juga bergerak secara tangensial menuju *inner wall*. Pada gambar 2.5 terlihat jelas fenomena aliran sekunder yang terjadi pada *elbow*.



Gambar 2.5 Aliran sekunder (Miller, 1999)

2.3. Konsep *Boundary Layer*

Boundary layer merupakan lapisan tipis pada suatu *solid surface* yang terbentuk akibat fluida mengalir dibawah pengaruh tegangan geser karena viskositas yang dimiliki fluida tersebut sehingga menyebabkan profil kecepatan menjadi tidak *uniform*. Konsep *boundary layer* pertama kali dikemukakan oleh *Ludwig Prandtl* pada tahun 1904, dengan mengklasifikasikan aliran yang melintasi *solid surface* menjadi dua daerah yaitu daerah di dalam *boundary layer* dimana efek viskositas sangat berpengaruh (*viscous flow*) dan daerah di luar *boundary layer* dimana efek viskositas diabaikan (*nonviscous flow*).

Pada awalnya aliran fluida memiliki profil kecepatan yang *uniform* (U_{∞}) namun profil kecepatan tersebut berubah ketika fluida mengalir di atas *solid surface*. Hal ini dikarenakan fluida harus melawan tegangan geser pada dinding plat. Semakin dekat posisi partikel fluida pada plat maka tegangan geser yang dilawan semakin besar. Pada titik A, kecepatan fluida sebesar nol. Pada titik C besar pengaruh tegangan geser semakin kecil hingga pada titik B kecepatan fluida sama dengan kecepatan udara bebas (U_{∞}).

2.4. BILANGAN REYNOLDS

Bilangan Reynolds merupakan salah satu faktor dalam proses terbentuknya suatu aliran. Semakin besar bilangan Reynolds, maka aliran yang terbentuk akan semakin turbulen. Aliran turbulen memiliki bentuk lebih *blunt* dibandingkan dengan aliran laminar, sehingga momentum aliran turbulen di dekat dinding lebih besar. Hal ini mengakibatkan aliran lebih tahan terhadap tegangan geser dan *adverse pressure gradient*. Persamaan bilangan Reynolds dapat dituliskan sebagai:

$$Re = \rho \frac{VD}{\mu} \quad (2.5)$$

dimana:

- Re : Bilangan Reynolds
- ρ : Massa jenis fluida (kg/m^3)
- V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- D : Diameter pipa (m)
- μ : Viskositas fluida (kg/ms)

Saluran udara yang mempunyai penampang *noncircular* menggunakan diameter hidrolis (D_h). Diameter hidrolis dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.6)$$

dimana:

- D_h : Diameter hidrolis (m)
- A : Luas penampang (m^2)
- P : Keliling penampang (m)

Jika :

- $Re \leq 2300$, aliran bersifat *laminar*
- $2300 \leq Re \leq 4000$, aliran bersifat *transisi*
- $Re \geq 4000$, aliran bersifat *turbulen*

2.5. COEFFICIENT PRESSURE (C_p)

Koefisien tekanan (C_p) adalah koefisien yang menyatakan distribusi tekanan pada kontur permukaan suatu *elbow*. Koefisien tekanan diperoleh dari selisih antara tekanan statis lokal disatu titik dengan tekanan statis referensi pada *inlet elbow* yang kemudian dibandingkan dengan tekanan dinamis yang juga diukur pada *inlet elbow*. C_p didefinisikan sebagai:

$$C_p = \frac{p_{s,i} - p_{s,o}}{\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2}, \quad (2.7)$$

dimana: $p_{s,i}$: tekanan statis dinding pada $x/L_1 = i$
 $p_{s,o}$: tekanan statis referensi pada *elbow inlet*
 ρ : massa jenis fluida pada kondisi kerja
 U_{ref} : kecepatan *freestream*

Harga C_p sebagai selisih antara *inlet* dengan *outlet elbow* tidak dapat menjelaskan besarnya *pressure drop* secara di sepanjang aliran. Semakin besar selisih harga C_p antara *inlet* dengan *outlet* maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar.

2.6. INTENSITAS TURBULENSI

Turbulensi dianggap sebagai aliran fluida yang berfluktuasi dan merupakan sifat fluida yang sangat penting. Turbulensi juga dapat dinyatakan dengan intensitas turbulensi yang didefinisikan sebagai perbandingan root mean square dari fluktuasi kecepatan (u') terhadap kecepatan rata-rata (u_{avg}). Intensitas turbulensi adalah suatu skala yang mengkarakteristikan turbulen dalam persen.

Adapun persamaan dari intensitas turbulensi adalah (Munson, 2002):

$$IT = \frac{u'}{u_{avg}} \times 100\% \quad (2.8)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} \quad (2.9)$$

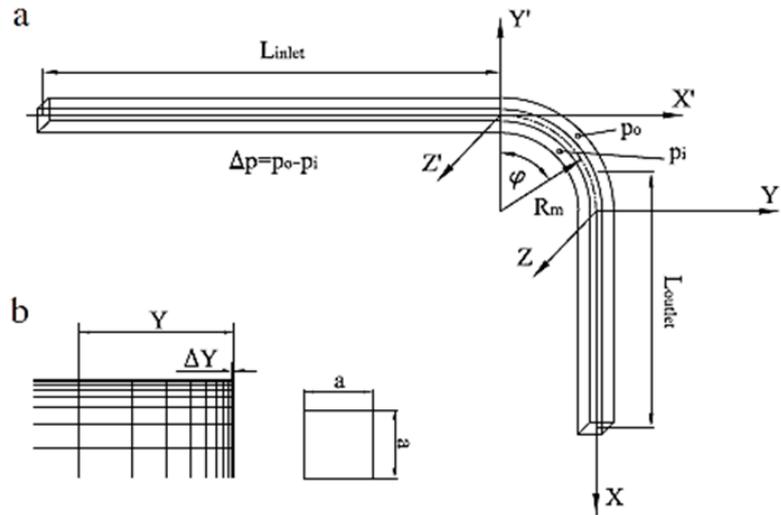
dimana IT : Intensitas turbulensi
: Kecepatan pada waktu tertentu (kecepatan lokal)
 U_n (m/s)
 \bar{U} : Kecepatan rata-rata (m/s)
 u' : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

2.7. Penelitian Terdahulu

a. Karakteristik Aliran Melalui Elbow dengan Penambahan Aksesoris

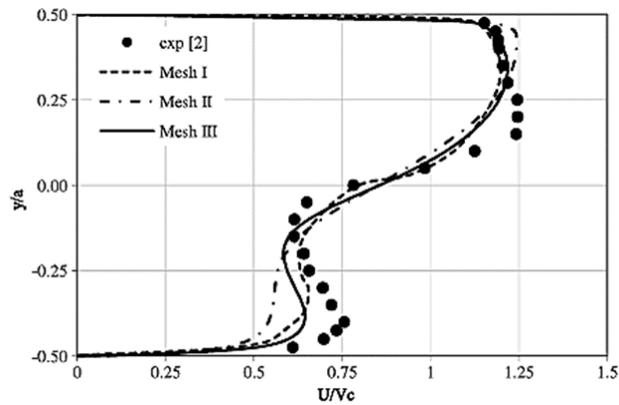
Rup dan Sarna (2010) melakukan perbandingan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi ini menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*) dilakukan pada $Re = 40000$ yang memiliki ukuran geometri $a \times a = 80 \times 80$ mm, $Dh = 80$ mm dan $L_{inlet} = L_{outlet} = 20, Dh = 1600$ mm. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing*, dengan jumlah mesh $V_k = 553\ 052, 1766\ 079, \text{ and } 1034\ 775$. Hasil yang diharapkan yaitu membandingkan hasil eksperimen dan simulasi profil kecepatan pada jarak tertentu dan koefisien tekanan pada aliran sepanjang *elbow*. Kemudian didapatkan bahwa hasil simulasi mendekati hasil eksperimen untuk profil kecepatan sepanjang *elbow* pada lokasi $\phi = 30^\circ$ dan 60° serta perbedaan profil kecepatan yang cukup signifikan pada lokasi $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada variasi *mesh* III ($V_k = 1034\ 775$).

Selain itu, didapatkan koefisien tekanan maksimum di dinding elbow terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut $\phi = 45^\circ$ ($Z = 0.00$).

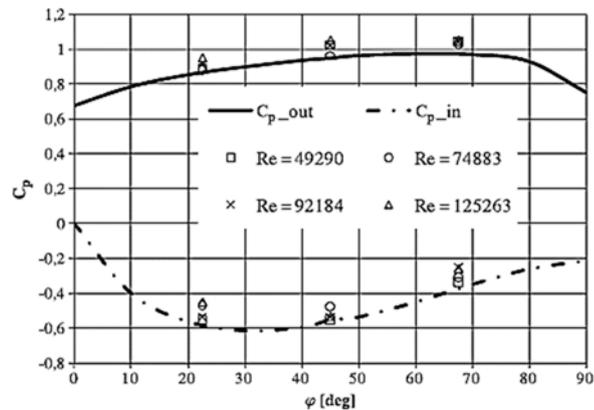


Gambar 2.6 a) Sekma pengambilan data pada *test section* b) Mesh pada *Volume*.
(Rup dan Sarna, 2010)

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



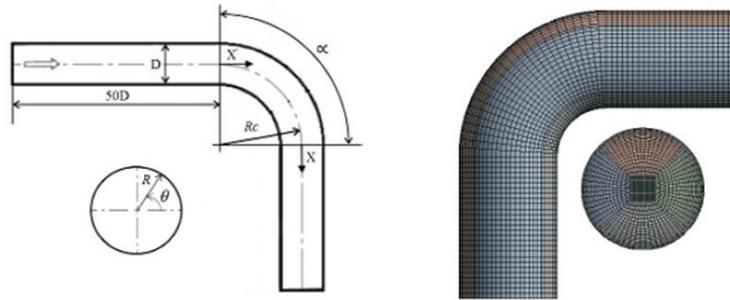
Gambar 2.7 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$. (Rup dan Sarna, 2010)



Gambar 2.8 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi *inner* dan *outer wall elbow* hasil simulasi dan eksperimen. (Rup dan Sarna, 2010)

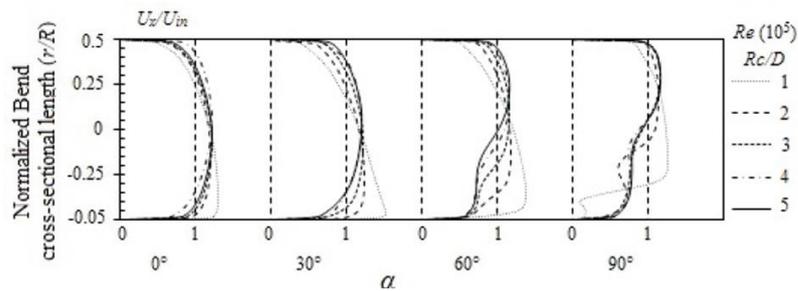
Terdapat perbedaan yang jelas terlihat pada gambar 2.7 yang menunjukkan profil kecepatan pada dengan lokasi $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada variasi *mesh* III ($Vk = 1034\ 775$). Terjadi perbedaan kecepatan pada sisi *inner* dan sisi *outer* pada saluran setelah melewati *elbow*, hal itu dikarenakan adanya defisit momentum aliran pada sisi *inner* maupun *outer*, namun defisit momentum pada sisi *inner* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sisi *outer*. Gambar 2.8 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.

Dutta dan Nandi (2015) melakukan studi eksperimen dan numerik tentang pengaruh *Reynolds Number* dan *Curvature Ratio* pada aliran turbulen dalam pipa melengkung. Pada penelitian ini, aliran turbulen mengalir melalui saluran sirkular dengan pipa melengkung 90° (*elbow* 90°) menggunakan *curvature ratio* ($Rc/D = 1$ sampai 5) dengan memiliki diameter inner yang sama yaitu 0,01 m serta menggunakan panjang *inlet* 50D dan panjang *outlet* 20D, dimana Rc adalah radius kelengkungan dan D adalah diameter pipa serta menggunakan bilangan Re dari 1×10^5 sampai 10×10^5 .



Gambar 2.9 Geometri pipa melengkung dan permodelan komputasinya. (Dutta dan Nandi, 2015)

Dari penelitian ini didapatkan bahwa untuk nilai Re yang semakin tinggi, maka pengaruh kelengkungan akan menurun. Kecenderungan separasi aliran akan meningkat untuk lengkung dengan *curvature ratio* yang rendah serta kemampuan melawan *unsteady* dan *complex flow* akan meningkat untuk lengkung dengan *curvature ratio* yang tinggi.

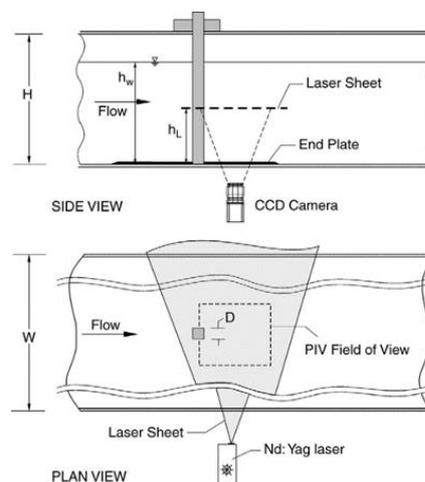


Gambar 2.10 Velocity profile pada sudut 0° , 30° , 60° , dan 90° dengan variasi *curvature ratio* ($R_c/D = 1 - 5$). (Dutta dan Nandi, 2015)

Gambar 2.10 adalah *velocity profile* untuk variasi 5 jenis *curvature ratio* ($R_c/D = 1 - 5$) dengan menggunakan $Re = 1 \times 10^5$. Pada outlet *elbow* ($\alpha = 90^\circ$), terdapat aliran balik sebagai akibat dari *adverse pressure gradient* pada outlet *elbow* dimana memiliki momentum aliran yang lebih rendah daripada momentum pada *freestream*, yang mana menurunkan kecepatan pada dekat dinding dan *boundary layer thickness*. Selain itu juga didapati bahwa percepatan yang lebih tinggi terjadi pada *curvature ratio* yang rendah.

b. Pengaruh Variasi bentuk Aksesoris terhadap Karakteristik Aliran

Ozgoren (2005) melakukan penelitian secara eksperimen dengan metode *Digital Particle Image Velocimetry* (DPIV) untuk mengetahui karakteristik aliran yang melewati *body circular cylinder* (CC), *square cylinder* (SC), dan 45° orientated *square cylinders* (OSC) dalam aliran seragam (*uniform flow*), observasi dilakukan pada daerah *wake* (*wake region*) secara *close-loop* pada saluran air, dengan lebar $W = 1000$ mm, panjang $L = 8000$ mm dan tinggi $H = 750$ mm. *body* SC berukuran $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ dan CC dengan diameter 20 mm.

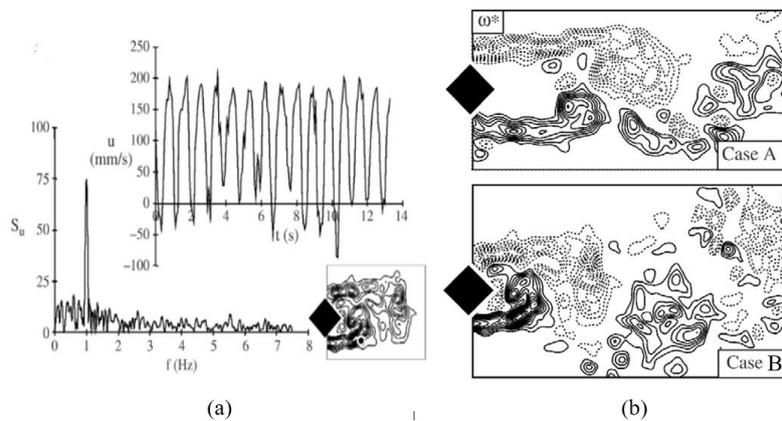


Gambar 2.11 Sekema pengambilan data dan definisi parameter untuk *square cylinder*.

(Ozgoren, 2005)

Pada gambar 2.11 laser Nd: yang digunakan untuk menghasilkan lapisan (*laser sheet*) dimana letaknya tegak lurus dengan sumbu *body cylinder*, dengan tebal sekitar 1,5 mm. *Laser sheet* terbentuk pada bidang horizontal setinggi $h_L = 330$ mm dari *end plate*. Dan sebuah camera CCD dengan resolusi 1024×1024 *pixels* digunakan untuk merekam profil kecepatan. Parameter karakteristik aliran ditentukan oleh besarnya *strouhal number*, yaitu bilangan tanpa dimensi yang menggambarkan mekanisme osilasi aliran pada daerah dekat wake bodi CC, SC dan OSC, dengan *Reynolds* 550 sampai 3400, semakin besar *strouhal number* maka aliran semakin berosilasi.

Dari penelitian ini didapatkan nilai frekuensi *vortex shedding* (f_s) yang terekam oleh DPIV didaerah dekat *wake bluff body*. *Strouhal number* untuk OSC adalah 0.165 pada *Reynolds* = 3400. Nilai puncak *vortex shedding frequency* untuk OSC adalah 1.05 pada *upper* dan *lower* daerah *wake* yang sama pada gambar 2.12 a. *Spectrum* (S_u) menghitung nilai puncak frekuensi *vortex shedding* OSC lebih besar dibandingkan dengan CC, yang diakibatkan dari tingkat fluktuasi alirannya.



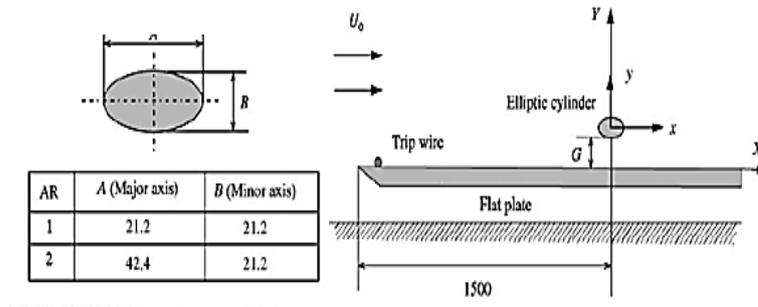
Gambar 2.12 (a) *Streamwise velocity* dan *Spectrum* analisis pada *Reynolds* = 3400 (b) *Vorticity* ω^* OSC case A (*Re* = 500) & case B (*Re* = 3400) (Ozgoren, 2005)

Gambar 2.12 (b) menunjukkan persilangan dan keacakan arah *vortex* yang terbentuk dari sisi atas dan bawah bodi silinder. Sisi atas adalah *vortex* negatif (*dashed lines*) berputar searah jarum jam dan sisi bawah adalah *vortex* positif (*solid lines*) berputar berlawanan dengan arah jarum jam melawan arah aliran dari sisi atas dan bawah bodi silinder. Pada OSC titik separasi aliran tertunda hingga ujung sisi atas dan bawah, separasi aliran tersebut membentuk *vortex* dan menutup luasan daerah *wake*. Karena silinder OSC memiliki frekuensi *vortex shedding* yang cukup besar maka panjang *vortex* nya juga semakin jauh.

c. Pengaruh Variasi *Gap* serta Jarak Terhadap Karakteristik Aliran Choi & Lee (2000)

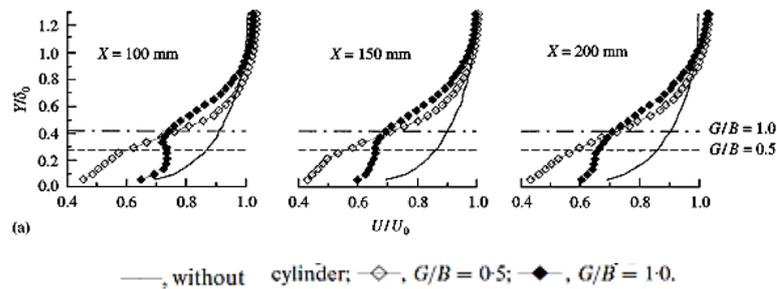
Penelitian secara eksperimen mengenai karakteristik aliran yang melewati silinder *elips* serta silinder sirkular. peletakkan *axis ratio* $AR = 2$ dengan *Re* = 14000. Eksperimen dilakukan di *closed return wind tunnel* dengan tinggi 0,6 m,

lebar 0,72 m dan panjang 6 m. *Turbulent Intensity* yang digunakan yaitu 0,08 % pada kecepatan 10 m/s. $AR = A/B$ dimana A adalah sumbu *major* dan B adalah sumbu *minor* dari silinder *elips*. Sedangkan untuk silinder sirkular pada $AR = 1$, $D = 21,2$ mm dan $L/D = 28,3$. $AR = 1$ silinder sirkular diilustrasikan pada gambar 2.13.



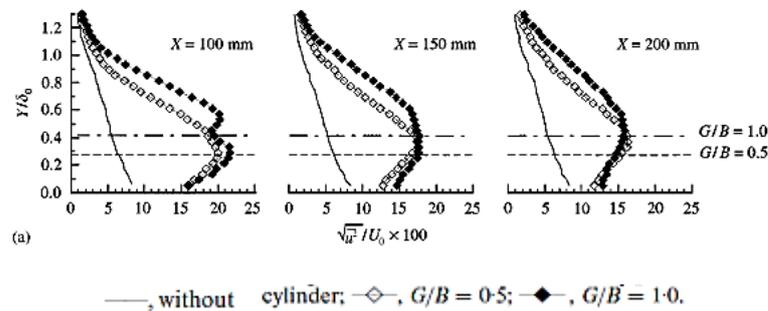
Gambar 2.13 *Geometry* silinder sirkular (Choi & Lee, 2000)

Selain itu terdapat U/U_0 atau rata rata dari *streamwise velocity* dengan beberapa variasi jarak secara *vertical* dimana pada $G/B = 0,5$ rata rata *streamwisena* memiliki profil yang sama dengan *downstreamnya* aliran yang melewati *gap* ini akan terhalang karena semakin dekatnya dengan dinding maka aliran akan melalui saluran sempit (gambar 2.14).



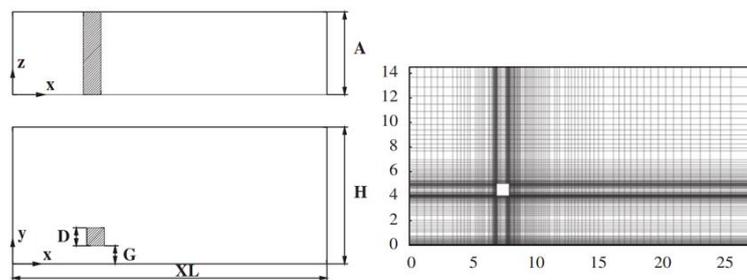
Gambar 2.14 *Mean streamwise velocity profile* at $X = 100, 150$ and 200 mm (Choi & Lee, 2000)

Sedangkan perbandingan *turbulen intensity* pada jarak $X = 100, 150$ dan 200 mm dimana pada silinder sirkular $X = 100$ mm terdapat 2 harga maksimum *turbulen intensity* yang terlihat dengan $G/B = 1$ dimana harga maksimum pada *upper* lebih kecil dari *lower*. Sedangkan pada gap $G/B = 0,5$ puncak dari *power spectral density* pada area *lower* lebih kecil dari area *upper* (gambar 2.15)



Gambar 2.15 Streamwise turbulence intensity profiles at $X = 100, 150$ and 200 mm
(Choi & Lee, 2000)

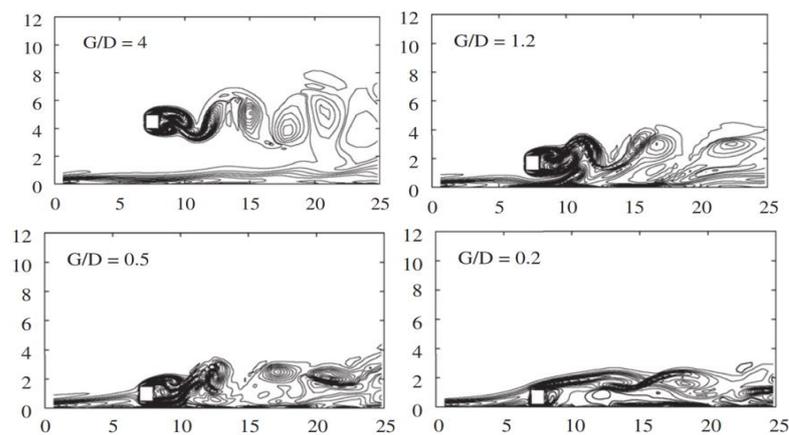
Mahir (2009) penelitian simulasi numerik untuk mengetahui efek dari struktur aliran pada daerah *wake* (*wake region*) dari sebuah silinder kotak (*square cylinder*) yang diletakkan dekat sebuah *plane wall* dengan mengaplikasikan metode *fully implicit finite-difference* pada persamaan *Navier-Stokes*. Gambar 2.16 menunjukkan rasio jarak antara silinder dengan dinding (*gap*) dan diameter silinder (G/D) divariasikan dari 0,2 sampai 4. Reynolds yang digunakan adalah 175, 185, dan 250. Jarak lateral *inflow* sepanjang $8D$ dan *outflow* $20D$. Variasi *gap* ini digunakan untuk memeriksa letak boundary dimana terdapat *vortex* dan *non-vortex* pada *downstream* silinder.



Gambar 2.16 Geometri penelitian dan pemodelan komputasinya. (Mahir, 2009)

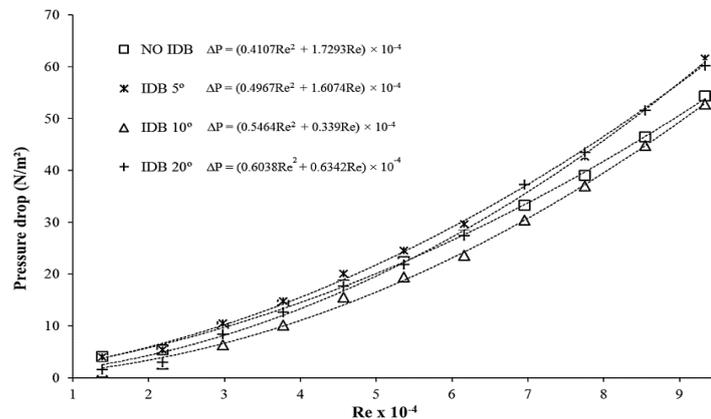
Dari penelitian ini didapatkan *vortex shedding* yang terbentuk didaerah *wake downstream* silinder pada $Re = 250$, dimana panjang dari *vortex shedding* berkurang seiring berkurangnya rasio G/D . Gambar 2.16 menunjukkan untuk rasio $G/D = 4$ *vortex shedding* yang terbentuk tidak berinteraksi dengan *boundary layer* dari *plane wall*. Sedangkan pada rasio $G/D = 1,2$ tiga *shear layer* berinteraksi pada

downstream dari silinder. *Vortex* negatif dan positif terpisah dari sisi atas dan bawah silinder, berinteraksi dengan *vortex* negatif dari dinding. Hasil dari interaksi ini menjadikan *vortex* negatif semakin kuat dan *vortex* positif menjadi melemah pada sisi *downstream* silinder. Pada $G/D = 0,5$ terdapat *shear layer* negatif yang bergulung secara periodik dari atas silinder dan pada waktu yang sama terdapat *shear layer* lemah positif dari sisi bawah silinder terseparasi dengan *shear layer* negatif dari dinding. *Shear layer* tersebut tidak menghasilkan *vortex street* yang mana digambarkan pada rasio besar ($G/D = 4$). Untuk rasio $G/D = 0,2$ negatif *shear layer* terseparasi dari sisi atas silinder hampir secara horizontal pada *wake region*, *shear layer* positif dan negatif masing – masing terseparasi pada sisi bawah silinder dan dinding, *vortex shedding* yang terbentuk lebih sedikit karena merapat pada dinding.



Gambar 2.17 Pengaruh jarak *gap* terhadap formasi *vortex* pada $Re = 250$. (Mahir, 2009)

Sonny (2017) melakukan penelitian eksperimen untuk mengetahui pengaruh aliran dengan variasi *Inlet Disturbance Body* (IDB) didalam *elbow* 90° . Eksperimen dilakukan pada $Rc/Dh=3$ dengan variasi letak IDB pada 5° sampai 20° dengan $Re = 1.59 \times 10^4 - 9.54 \times 10^4$.

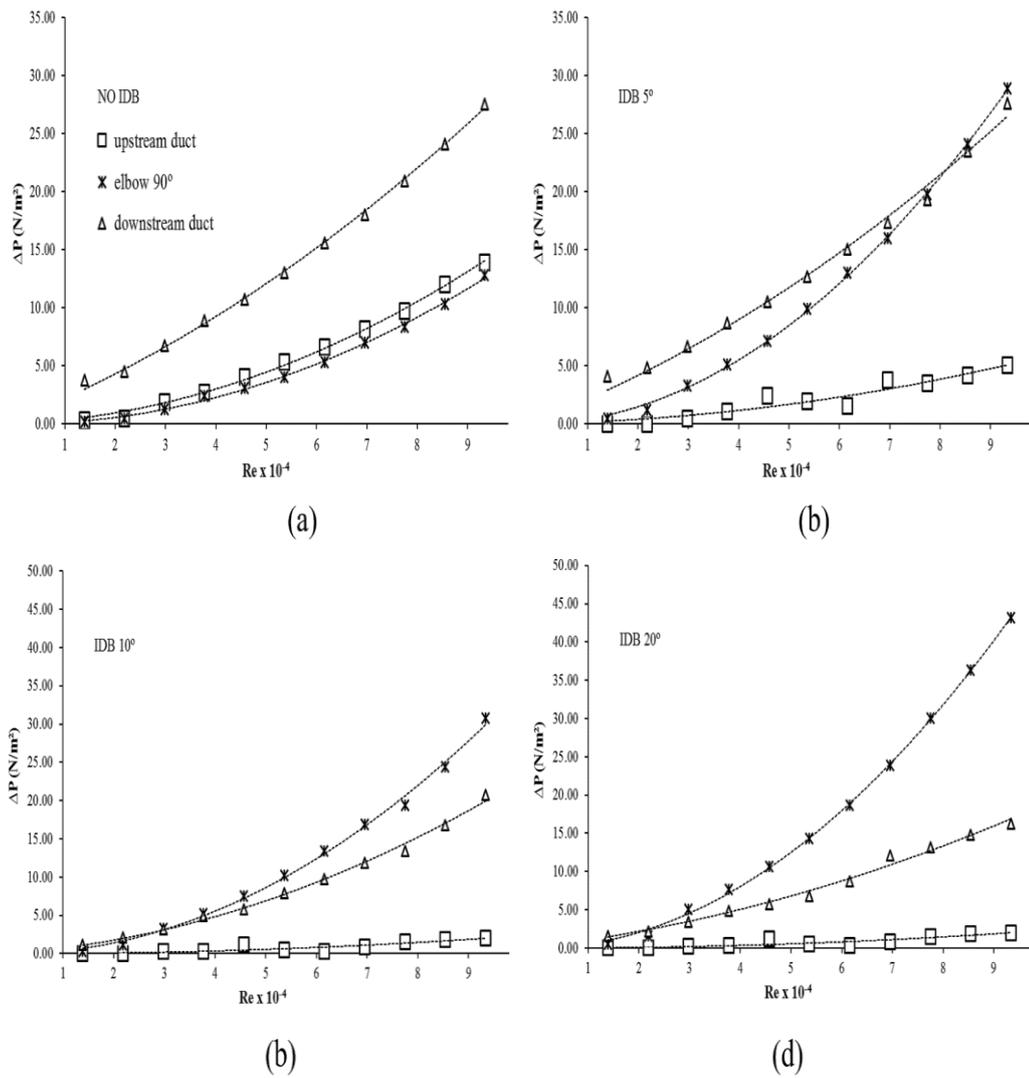


Gambar 2.18 Pressure drop antara upstream dan downstream duct variasi letak IDB 5°, 10°, 20° dan tanpa IDB pada Reynolds Number $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 9,54 \times 10^4$ (Sonny, 2017)

Grafik gambar 2.18 menunjukkan adanya IDB sebagai bodi pengganggu menghasilkan nilai *pressure drop* yang lebih rendah dan lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan IDB, dimana nilai *pressure drop* akan meningkat secara signifikan seiring dengan meningkatnya Reynolds Number. Variasi letak IDB 10° merupakan posisi terbaik dalam menurunkan *pressure drop* pada bilangan Re $1,59 \times 10^4$ sampai $9,54 \times 10^4$. Untuk variasi letak IDB 15° dan 20° penurunan *pressure drop* optimal pada bilangan $Re = 5,5 \times 10^4$, setelah melewati bilangan Re tersebut *trendline* IDB mulai memotong *trendline* tanpa IDB. Hal ini terjadi karena *shear layer* pada letak variasi IDB tersebut sudah tidak optimal untuk melawan *adverse pressure* pada sisi *inner elbow*, sehingga *blockage area* pada *outlet elbow* tidak berkurang.

Pada gambar 2.19 nilai *pressure drop* pada masing – masing bagian dari *test section* yaitu pada antara *upstream duct*, *elbow*, dan *downstream duct*. Dari data ini dapat dilihat kontribusi terbesar dan terkecil terjadinya *pressure drop* sepanjang saluran (*test section*). Dimana untuk saluran tanpa bodi pengganggu (IDB) kontribusi *pressure drop* terbesar terjadi pada *downstream duct*. Sedangkan kontribusi *pressure drop* dengan variasi letak IDB masing – masing terbesar antara *elbow 90°*. Hal ini terjadi karena penambahan IDB menimbulkan kerugian gaya *drag* antara permukaan IDB dengan fluida searah aliran yang melewatinya. Adanya gaya *drag* tersebut ternyata masih cukup menguntungkan untuk memperbaiki aliran yang

terseparasi pada *inner wall elbow* dan dapat mengurangi *blockage area* pada *outlet elbow*, terbukti pada letak variasi *IDB* 10° dapat mengurangi *pressure drop* dibandingkan dengan tanpa menggunakan *IDB*.



Gambar 2.19 Pressure drop upstream duct (\square), elbow 90° (\times), downstream duct (Δ). (a) tanpa *IDB*, dengan variasi (b) *IDB* 5° , (c) 10° , dan (d) 15° pada Reynolds Number $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 9,54 \times 10^4$ (Sonny, 2017)

Tabel 2.1 Data perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan

No	Penelitian Terdahulu	
1	Rup & Sarna (2010)	Numerik dan eksperimen <i>Rectangular duct elbow 90°</i> $Re = 4.0 \times 10^4$
2	Duta & Nandi (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Eksperimen dan numerik • Variasi pada <i>Reynold Number</i> dan <i>Curvature Ratio</i> □ <i>Pipe elbow 90°</i> • $Re = 1 \times 10^5$ sampai $Re = 10 \times 10^5$
3	Ozgoren (2005)	Numerik secara <i>Digital Particle Image Velocity</i> (DPIV) Variasi pada bodi pengganggu <i>Circular Cylinder (CC)</i> , <i>Square Cylinder (SC)</i> , <i>45° Oriented Square Cylinder (OSC)</i> $Re=550$ sampai 3400.
4	Mahir (2009)	Simulasi Numerik struktur aliran pada <i>wake area</i> dengan aplikasikan metode <i>fully implicit finite-difference</i> pada persamaan <i>Navier Stokes</i> pada <i>square cylinder</i> $G/D=0.2-4$ dan l/d inlet = 8D, outlet = 20 D $Re=175,185$ dan 250
5	Hardian (2017)	Eksperimen pada <i>square duck</i> dan <i>square elbow 90°</i> dengan IDB <i>circular cylinder</i> . $Rc/Dh=1.5$, $l/Dh=0.1-0.5$ $Re= 3.97 \times 10^4$ sampai 13.4×10^4
6	Sonny (2017)	Eksperimen pada <i>square duck</i> dan <i>square elbow 90°</i> dengan IDB <i>45° oriented square cylinder</i> . $Rc/Dh= 3$ Variasi posisi IDB $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ $Re=1.59 \times 10^4$ sampai 9.54×10^4
Penelitian yang akan dilakukan		
<ul style="list-style-type: none"> • Metode yang digunakan adalah Numerik 3D pada <i>square duck</i> dan <i>square elbow 90°</i> dengan IDB berbentuk <i>diamond</i> pada posisi 10° • Variasi diameter IDB = $0.064 Dh$, $0.08 Dh$, $0.1 Dh$ • $Re=1.59 \times 10^4$; $Re=4.77 \times 10^4$; $Re=9.54 \times 10^4$ 		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas metode penelitian yang digunakan, metode penelitian yang digunakan yaitu secara numerik, menggunakan piranti lunak *CFD* komersial untuk menganalisis karakteristik aliran fluida tiga dimensi dalam *square duct* dan *square elbow 90⁰*, dimana pada daerah *inner upstream* diletakkan *inlet disturbance body* dengan jarak g/D_h 0.2 dengan variasi jarak $l/D_h = 0.1, 0.3, \text{ dan } 0.5$.

Berikut metodologi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari serta mempelajari beberapa literatur yang terkait dengan tema penelitian, seperti mengumpulkan informasi berupa artikel ilmiah, jurnal, *text book*, serta hasil penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

2. Simulasi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui adanya fenomena aliran tiga dimensi (*3D*) sesudah melewati *square elbow 90⁰* dengan adanya penambahan *square disturbance body* pada sisi *inner wall upstream duct* dengan variasi $l/D_h = 0.1, 0.3, \text{ dan } 0.5$ dan $gap\ g/d = 0.2$. Pada tahap ini langkah-langkah yang dilakukan yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

3. Penyusunan Laporan

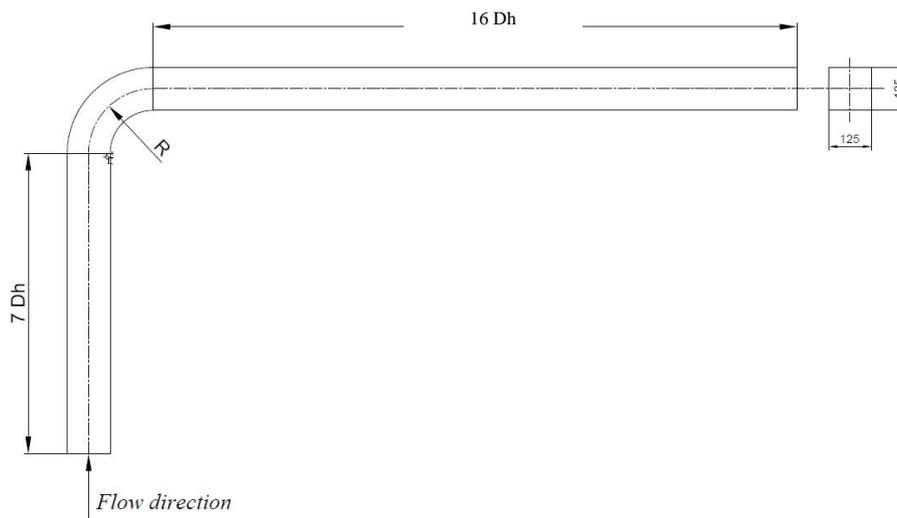
Laporan ini tersusun atas pendahuluan, tinjauan pustaka, dan metodologi penelitian.

3.1 GEOMETRI *ELBOW*

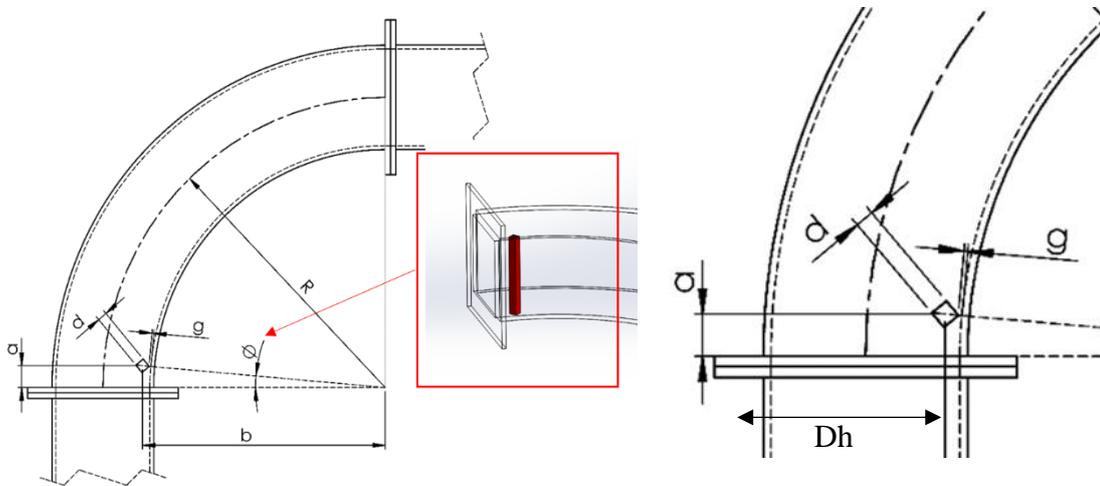
Geometri *elbow* pada penelitian ini berupa *square duct elbow 90⁰* dengan dengan penambahan *diamond inlet disturbance body*. Geometri penelitian ditunjukkan seperti gambar 3.1. Gambar detail posisi penempatan *diamond inlet disturbance body* dapat ditunjukkan seperti gambar 3.2.

Spesifikasi dari *test section* penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- Panjang *upstream duct* (L_1) : 875 mm
- Panjang *downstream duct* (L_2) : 2000 mm
- Sisi *square duct* : 125 x 125 mm
- R_c (Radius *Centerline elbow* 90°) : 375 mm
- R_i (Radius *inner elbow*) : 312 mm
- R_o (Radius *outter ekbow*) : 437 mm
- *Hydraulic diameter* (D_h) : 125 mm
- Gap (g) : 2.5 mm
- Posisi IDB didalam *elbow* : 10°
- Ukuran sisi IDB (d) : $0.064 D_h$, $0.08 D_h$, $0.1 D_h$



Gambar 3.1 Geometri Penelitian



Gambar 3.2 Detail posisi penempatan *diamond inlet disturbance body*

Penelitian ini menggunakan bilangan *Reynolds* (Re) berdasarkan pada tinggi *diffuser* inlet dengan *velocity inlet* 2 m/s, 6 m/s, 12 m/s sebesar $Re=1.59 \times 10^4$; $Re=4.77 \times 10^4$; $Re=9.54 \times 10^4$ dengan *density* (ρ) 1,1726 kg/m³ dan *viskositas* (μ) 1,84 x 10⁻⁵ kg/m.s.

3.2 METODE NUMERIK

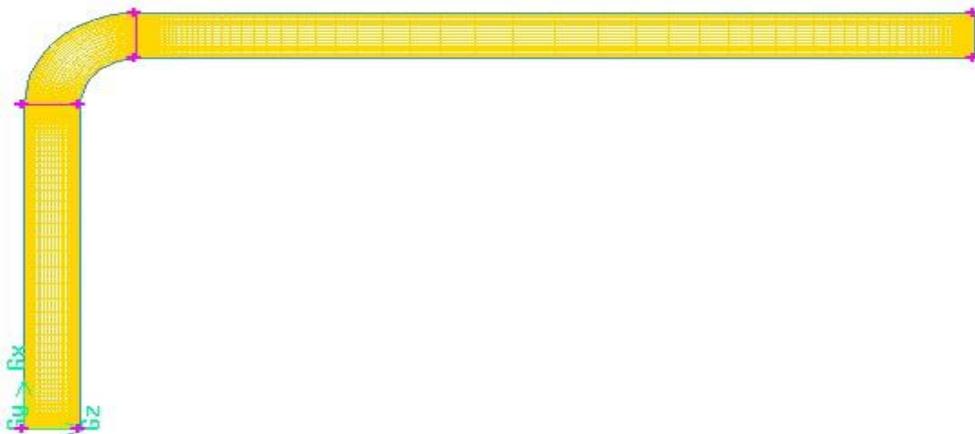
Penelitian numerik dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan *software* Fluent 6.3.26 dan *software* GAMBIT 2.4.6 untuk membuat model awal dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model. Prosedur yang dilakukan pada penelitian numerik adalah tahap *pre-processing* menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6 dan dilanjutkan dengan tahap *post-processing* menggunakan *software* Fluent 6.3.26.

3.2.1 TAHAP *PRE-PROCESSING* MENGGUNAKAN *SOFTWARE* GAMBIT 2.4.6

- a) Membuat model berupa *elbow* 90° yang mengacu terhadap ukuran *test* gambar 3.1 dan gambar 3.2 dengan bentuk 3D.
- b) Membuat *meshing* untuk saluran dengan *elbow* 90° tanpa pengganggu seperti gambar 3.3, untuk saluran dengan *elbow* 90° penambahan *inlet*

disturbance body berupa *diamond*. *Meshing* dilakukan dengan membagi volume menjadi 3 bagian, yaitu *upstream channel inlet*, *elbow*, dan *downstream channel outlet*. *Meshing* volume yang digunakan dengan tipe *hexahedral-map*. Sesuai dengan penelitian Rup dan Sarna (2011), *meshing* yang digunakan adalah dengan *grading* pada arah vertikal dengan distribusi *mesh* yang semakin rapat pada semua dinding, baik *diverging wall* maupun *straight wall*. Hal ini dilakukan sebagai efek adanya *wall function*.

- c) Mendefinisikan kondisi batas yaitu penentuan parameter-parameter dan batasan yang mungkin terjadi pada aliran. Kondisi batas *inlet* adalah *velocity inlet* dan kondisi batas *outlet* adalah *outflow*.



Gambar 3.3 *Meshing* pada saluran dengan *elbow* 90° tanpa pengganggu tipe *hexahedral-map* pada GAMBIT

3.2.2 Tahap *post-processing* menggunakan *software Fluent 6.3.26*

- a) *Grid*

Langkah awal setelah masuk pada *software* *Fluent* dilakukan *read* untuk data hasil *ekspor* GAMBIT. Kemudian dilakukan pengecekan *grid*. Setelah itu ditentukan skala. Pada penelitian ini menggunakan skala dalam mm.

b) *Models*

Pada langkah ini dilakukan pemodelan karakteristik aliran, meliputi pemilihan model *solver* dan penentuan *turbulence model* yang digunakan. *Turbulence model* yang digunakan untuk *symmetric diffuser* ini adalah *k-ε standar*.

c) *Materials*

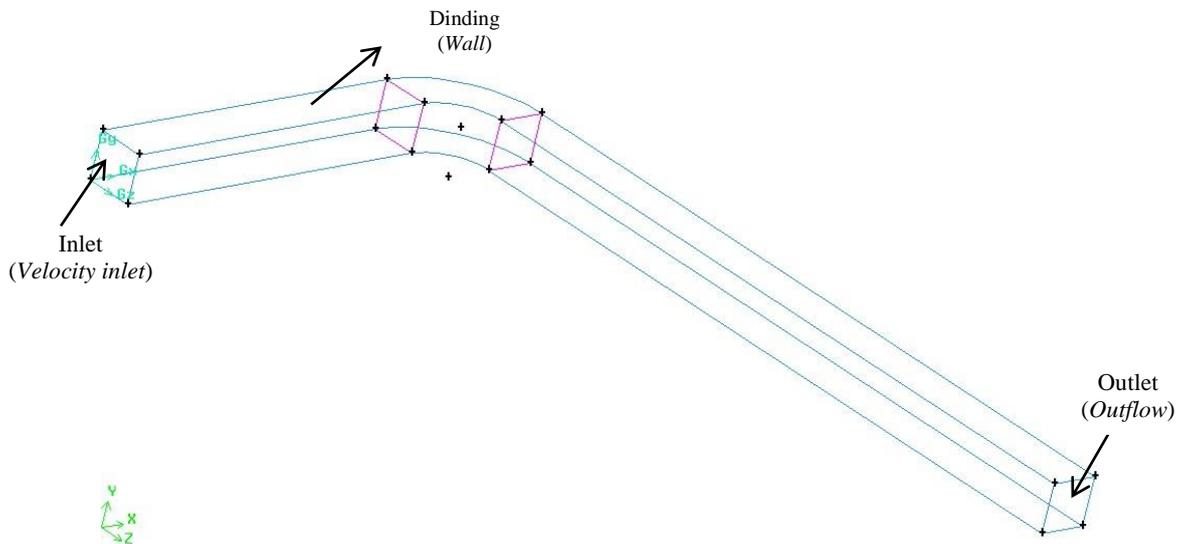
Merupakan penetapan jenis material yang akan digunakan yaitu udara dengan *density* (ρ)=1,1726 kg/m³ dan *viskositas* (μ)=1,84 x 10⁻⁵ N.s/m².

d) *Operating Conditions*

Menentukan kondisi daerah operasi dan lingkungan di sekitar benda uji. *Operating conditions* menggunakan *operating pressure* sebesar 101325 pascal.

e) *Boundary Conditions*

Menentukan parameter-parameter dan batasan yang terjadi pada aliran yang melewati benda uji pada *inlet*, *outlet* serta *wall*. Daerah *inlet* didefinisikan sebagai *velocity inlet* dalam (m/s) dimana *velocity* yang *diinputkan* yaitu variasi 2, 6 dan 12 m/s serta *turbulence intensity* yang sudah dihitung sebelumnya yaitu 0.37 % dan diameter hidraulik 8.75 mm, kondisi batas *upstream straight duct*, *downstream straight duct*, *inlet disturbance body*, *square elbow 90⁰* didefinisikan sebagai *wall* dengan faktor kekasaran dibuat *default* dan *no slip*, sedangkan pada daerah *outlet* didefinisikan sebagai *pressure outlet*. Domain permodelan dapat digambarkan pada gambar 3.4 Berikut :



Gambar 3.4 Boundary condition *elbow* 90° pada GAMBIT

f) *Solution*

Solution pada penelitian ini akan menggunakan *discretization second order* untuk *pressure*, *second-order upwind* untuk *momentum*, *turbulence kinetic energy* dan *turbulence dissipation rate*.

g) *Initialize*

Merupakan langkah perhitungan awal untuk memudahkan dalam mendapatkan hasil yang konvergen pada tahap iterasi. *Initialize* dihitung dari *velocity inlet*.

h) *Monitor Residual*

Merupakan tahapan untuk penyelesaian masalah, berupa proses iterasi sampai mencapai harga kriteria konvergensi yang diinginkan. Kriteria konvergensi ditetapkan sebesar 10^{-6} , artinya proses iterasi dinyatakan telah konvergen setelah residualnya mencapai harga lebih kecil dari 10^{-6} .

i) *Iterate*

Merupakan langkah kelanjutan dari *monitor residual* yang merupakan langkah perhitungan pada Fluent 6.3.26. Pada tahap ini dilakukan iterasi sampai *convergence criterion* sebesar 10^{-6} .

j) *Grid independency*

Grid independency diperlukan untuk mendapatkan ketepatan data pada langkah *post processing*. Tujuan dilakukannya *grid independency* yaitu untuk menentukan tingkat serta struktur grid terbaik dan paling efisien agar hasil pemodelan mendekati data eksperimen.

Analisa *grid independency* menggunakan model turbulen *kε-stabdart* dengan menggunakan *pressure drop* pada eksperimen sebagai data acuan, sehingga dapat dilihat pada tabel 3.1.

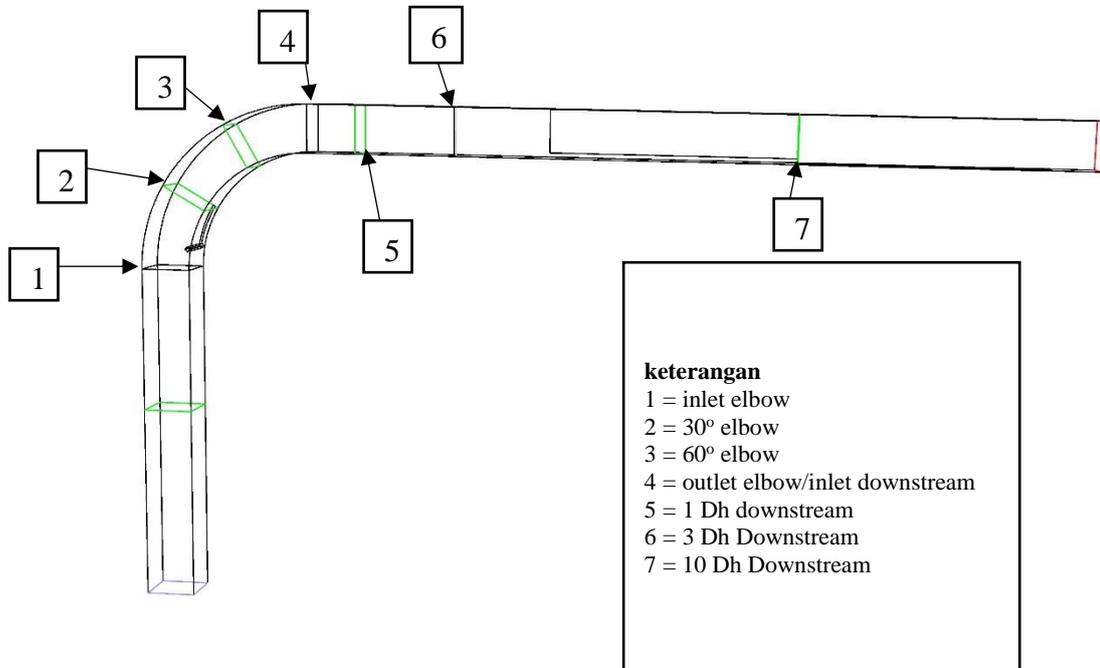
Tabel 3.1 *Grid independency* ditinjau dari *Pressure drop* pada *ducting* tanpa *IDB*
Data numerik

Model turbulensi (kε-STANDARD)				
Variasi Mesh	Jumlah Mesh (Nodes)	y+	Pressure Drop (Pa)	error (%)
Mesh A	1023372	10,2	3,2886	-
mesh B	1078056	10,2	3,2891	0,015
Mesh C	1251936	9,56	3,3750	2.545
mesh D	1319976	9,56	3,3768	0.053
Mesh E	1410696	9,56	3,3817	0,145

Dari hasil *grid indenpendency* yang telah dilakukan, didapatkan data dari ke- lima variasi kerapatan *mesh* yaitu *pressure drop*, dan jumlah *mesh cells*. Maka dari data tabel di atas model yang akan dipakai adalah model *mesh D*.

k) *Post Processing*

Merupakan penampilan hasil yang telah diperoleh. Dapat divisualisasikan melalui tampilan *grid display*, plot kontur (tekanan, kecepatan), plot *vector* dll, sesuai dengan yang ingin digunakan pada analisa. Secara singkat prosedur penelitian numerik pada *elbow 90°* dengan penambahan *inlet disturbance body* berupa *diamond* ini dapat dijelaskan pada gambar 3.5.



BAB IV

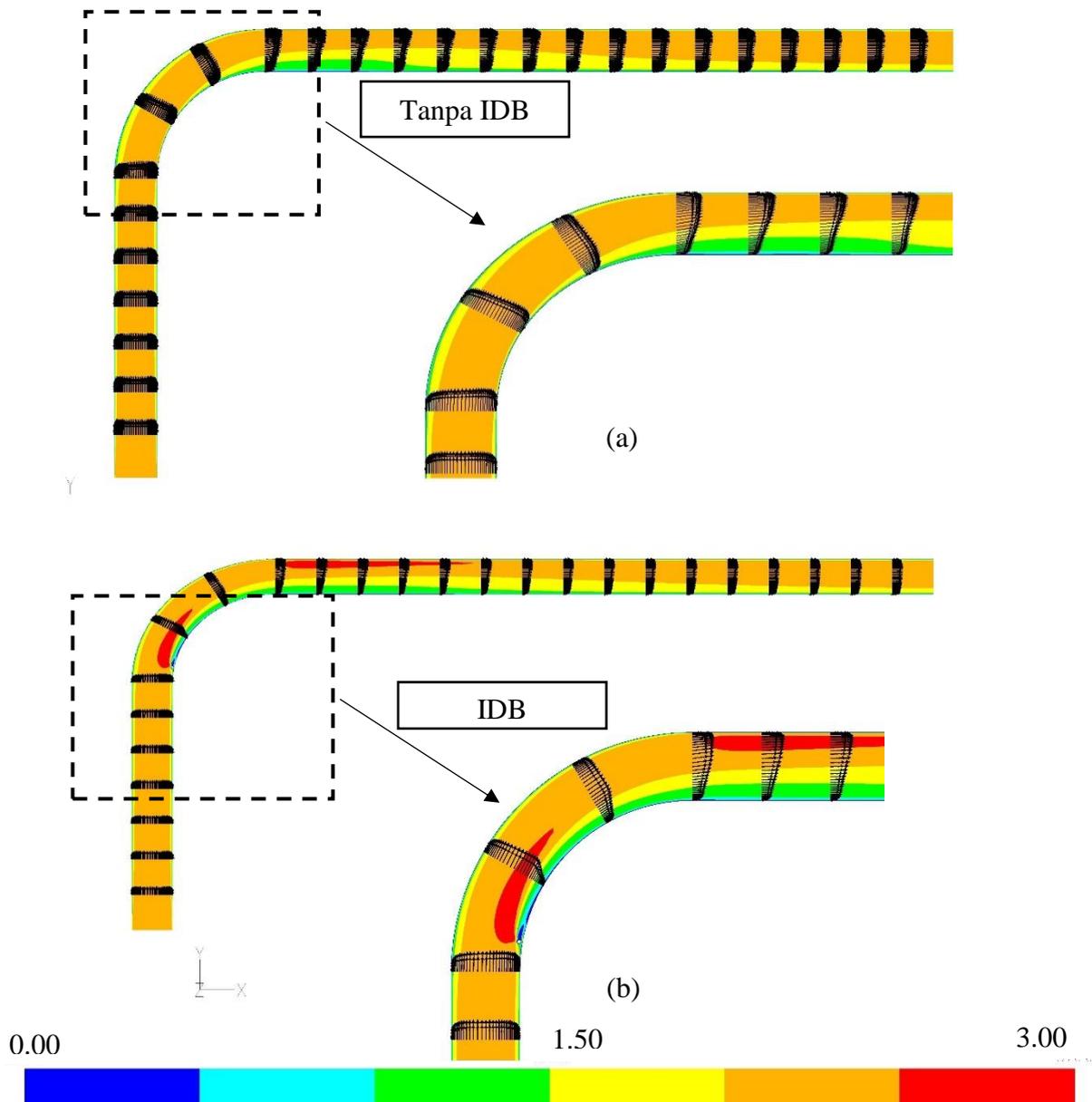
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan hasil studi numerik secara kuantitatif dan kualitatif. Data secara kuantitatif ditampilkan berupa grafik *velocity profile*, grafik *coefficient of pressure elbow 90⁰*, dan data *pressure drop*. Data secara kualitatif ditampilkan berupa visualisasi kontur kecepatan sepanjang *ducting*, vektor kecepatan pada *cross section* tertentu untuk menunjukkan *secondary flow*.

Analisa dan pembahasan dilakukan pada *ducting tanpa IDB* dan *ducting dengan variasi IDB ($l/D_h = 0.064; 0.08; 0.1$)* dengan *Reynolds number* sebesar 1.59×10^4 , 4.77×10^4 dan 9.55×10^4 pada setiap variasi *ducting*. Hasil yang dibahas dalam penelitian ini diambil pada kecepatan 2 m/s atau pada $Re = 1.59 \times 10^4$, pembahasan tersebut meliputi pengambilan data secara kualitatif dan kuantitatif seperti profil kecepatan pada setiap *cross-section*, kontur kecepatan dengan masing-masing variasi *IDB*, sedangkan untuk *data pressure drop* yang ditampilkan dalam tabel dan grafik diambil pada semua variasi $Re = 1.59 \times 10^4$, 6.37×10^4 dan 9.55×10^4 atau pada kecepatan 2, 6, dan 12 m/s, untuk *coefficient of pressure* diambil pada variasi $Re = 1.59 \times 10^4$. Untuk lebih jelasnya pembahasan akan dibahas dalam beberapa bab dan sub bab berikut.

4.1 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang *Ducting* dengan Kontur Kecepatan (tanpa *IDB* dan dengan *IDB* $l/D_h = 0.064$)

Radius kelengkungan *elbow 90⁰* pada *ducting* mempengaruhi Profil kecepatan fluida serta variasi penempatan posisi *IDB*, kedua faktor tersebut membuat profil kecepatan pada setiap *cross section*-nya berubah kemudian akan diamati bagaimana perkembangan aliran di dalam *ducting* tersebut. Berikut perkembangan profil kecepatan serta kontur kecepatan yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran, pada bidang horizontal pada setiap *cross section* ditampilkan pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Kontur kecepatan (a).aliran tanpa *IDB* (b). aliran dengan *IDB* $L/D_h=0.064$.

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa aliran udara saat memasuki *ducting* mulai berkembang sampai dengan $7D_h$ pada bagian *upstream duct* tanpa *IDB* dan pakai *IDB*, kemudian profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati *IDB* didalam *elbow*. Pada *ducting* tanpa *IDB* aliran udara pada bagian *elbow* 90° terlihat aliran memiliki kecepatan tertinggi pada bagian *inner wall* sampai pada kelengkungan 30° setelah itu kecepatan aliran mulai berpindah dari sisi

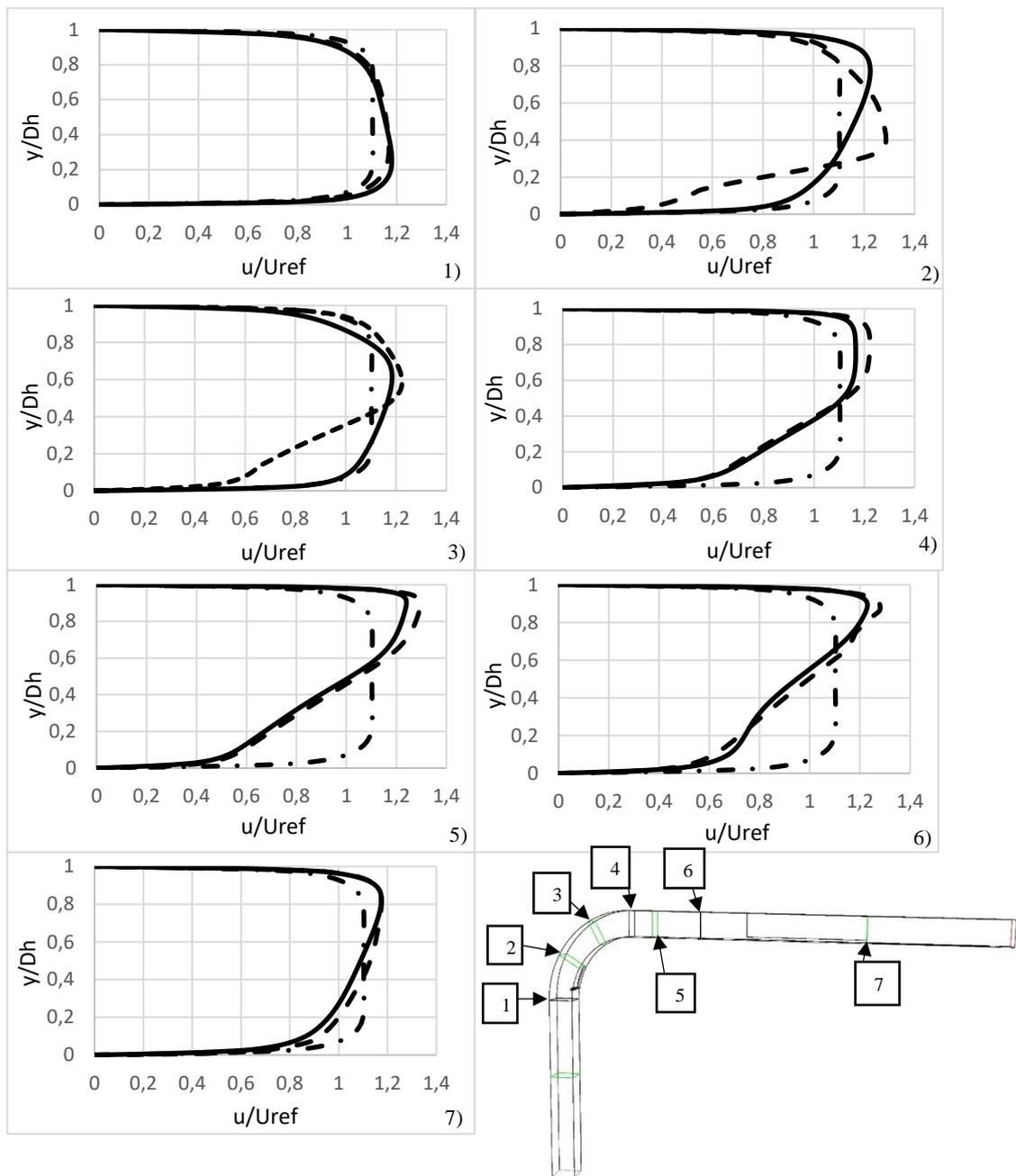
inner menuju *outer*, hal ini terjadi karena efek dari kelengkungan *elbow* 90° dan adanya separasi.

Pada bagian *downstream duct* pada posisi $x/D_h = 1$ terlihat aliran mengalami defisit pada sisi *inner wall* ini terjadi karena adanya *secondary flow* yang terjadi sehingga aliran utama terhambat dengan aliran yang berpusar pada sisi *upper* dan *lower wall*. Pada *ducting* yang ditambahkan *IDB* pada bagian *elbow* 10° dengan $l/D_h = 0.064$ dan *gap* 2.5 mm dari *inner wall*, terlihat kecepatan tertinggi terdapat pada sisi atas setelah melalui *IDB* dan sisi *outer wall* setelah keluar dari *elbow*, hal ini terjadi karena efek kelengkungan serta penambahan *IDB*. Pada $x/D_h = 1$ aliran mengalami defisit aliran pada sisi *inner* yang diakibatkan oleh *secondary flow* hanya saja dengan penambahan *IDB* defisit yang dihasilkan lebih besar dari pada tanpa *IDB*.

Pada *ducting* tanpa *IDB* terlihat bahwa hasil kontur menunjukkan pada daerah *elbow* kecepatan yang kuat ada pada sisi *inner* hal ini dibuktikan dengan warna kuning, selain itu pada $x/D_h = 0$ terlihat pada sisi *inner* kecepatan mulai berkurang ditandai dengan warna hijau dan biru hal ini dikarenakan adanya *energy kinetic losses* yaitu aliran yang kecepataannya berkurang akibat adanya *secondary flow*. Selain itu pada daerah diletaknya *IDB* terdapat kontur kecepatan yang tinggi pula ditunjukkan dengan warna merah pada *upper IDB*.

Untuk memperjelas profil kecepatan pada *ducting* yang diberi penambahan *IDB* maupun tanpa *IDB*, dilakukan pengambilan data dalam bentuk grafik pada gambar 4.2. Koordinat ditunjukkan dengan nilai u/U_{ref} , dimana u adalah kecepatan pada setiap bagian atau titik yang diambil datanya dan U_{ref} adalah nilai kecepatan yang diinputkan pada *inlet duct*. Untuk melihat proses *recovery* aliran maka diperlukan *section* acuan yaitu *section upstream* $4D_h$. Aliran yang melewati *ducting* tanpa *IDB* pada 10° pada *elbow*, mengalami perubahan distribusi profil kecepatan yaitu kecepatan pada *posisi inner wall* lebih besar dari sisi *outer wall* bentuk profil ini akan sama sampai sudut 90° atau *outlet elbow*, seperti yang terlihat pada gambar 4.2 (a dan b) sedangkan pada *ducting* dengan penambahan *IDB* aliran mengalami perubahan profil kecepatan saat aliran mengenai *IDB* aliran akan terpecah menjadi 2 bagian, yaitu aliran yang menuju sisi *outer wall* dan menuju sisi dari *inner wall*.

Pada aliran yang menuju sisi *outter wall* kecepatan aliran lebih tinggi serta lebih banyak sedangkan aliran pada *inner wall* lebih sedikit hal ini dikarenakan efek dari gap antara *IDB* dan *wall ducting* selain itu adanya *IDB* membuat adanya aliran *backflow* disebabkan oleh *IDB* yang berbentuk *diamond*. Ketika aliran telah melewati *elbow* 90^0 yaitu pada gambar 4.2 c dan d dengan dan tanpa *IDB*, profil kecepatan yang lebih besar ada pada sisi *outter wall* dan sisi *inner wall* terjadi defisit aliran namun dengan adanya *IDB* defisit aliran yang terjadi semakin lebar. Defisit aliran mulai berpindah dari sisi *outter wall* menuju ke arah tengah hal ini diilustrasikan pada gambar 4.2 (d dan e) sampai pada $x/D_h = 10$ aliran sudah mulai *recovery* , akan tetapi dibutuhkan *downstream* yang lebih panjang untuk melihat aliran tersebut untuk *recovery* kembali sama dengan *section upstream* $4D_h$.



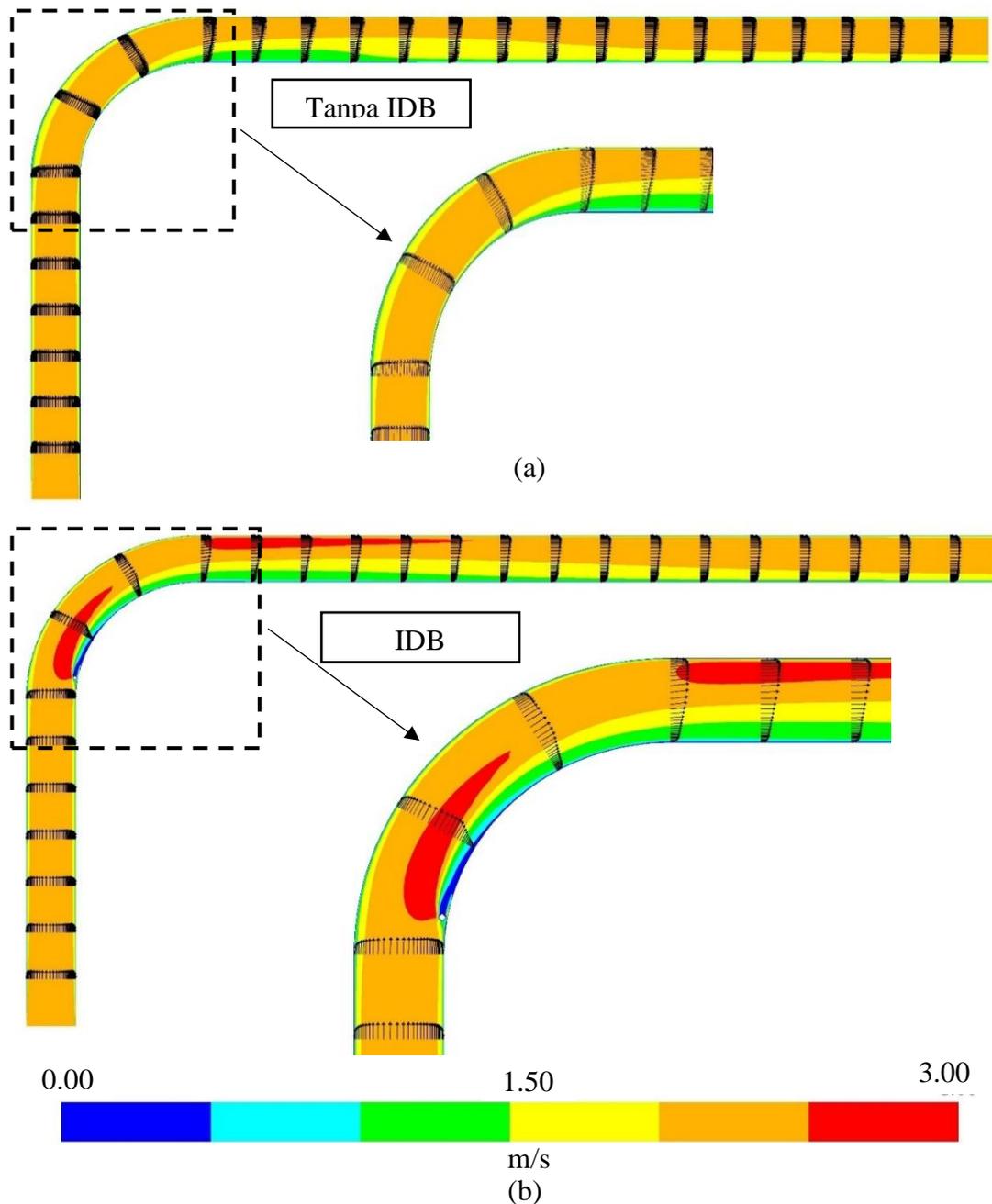
Gambar 4.2. Profil kecepatan tanpa dan dengan IDB l/Dh 0.064

4.2 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang *Ducting* dengan Kontur Kecepatan (tanpa *IDB* dan dengan *IDB* $l/D_h = 0.08$)

Radius kelengkungan *elbow* 90° pada *ducting* mempengaruhi Profil kecepatan fluida serta variasi penempatan posisi *IDB*, ke-dua factor tersebut membuat profil kecepatan pada setiap cross-section-nya berubah kemudian akan diamati bagaimana perkembangan aliran di dalam *ducting* tersebut. Koordinat ditunjukkan dengan nilai u/U_{ref} , dimana u adalah kecepatan pada setiap bagian atau titik yang diambil datanya dan U_{ref} adalah nilai kecepatan pada *inlet duct*. Berikut perkembangan profil kecepatan serta kontur kecepatan yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran, baik secara horizontal dan vertikal pada setiap *cross section* ditampilkan pada gambar 4.3 dan 4.4.

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa aliran udara saat memasuki *ducting* mulai berkembang sampai dengan $7D_h$ pada bagian *upstream duct* tanpa *IDB* dan pakai *IDB*, kemudian profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati *IDB* didalam *elbow*. Pada *ducting* tanpa *IDB* aliran udara pada bagian *elbow* 90° terlihat aliran memiliki kecepatan tertinggi pada bagian *inner wall* sampai pada kelengkungan 30° setelah itu kecepatan aliran mulai berpindah dari sisi *inner* menuju *outer*, hal ini terjadi karena efek dari kelengkungan *elbow* 90° .

Pada *ducting* yang ditambahkan *IDB* pada bagian *elbow* 10° dengan $l/D_h = 0.08$ dan *gap* 2.5 mm dari *inner wall*, terlihat kecepatan tertinggi terdapat pada sisi atas setelah melalui *IDB* dan sisi *outer wall* setelah keluar dari *elbow*, hal ini terjadi karena efek kelengkungan serta penambahan *IDB*. Pada $x/D_h = 1$ aliran mengalami defisit aliran pada sisi *inner* yang diakibatkan oleh *secondary flow* hanya saja dengan penambahan *IDB* defisit yang dihasilkan lebih besar dari pada tanpa *IDB*.



Gambar 4.3 Kontur kecepatan (a).aliran tanpa *IDB* (b). aliran dengan *IDB* $L/D_h=0.08$.

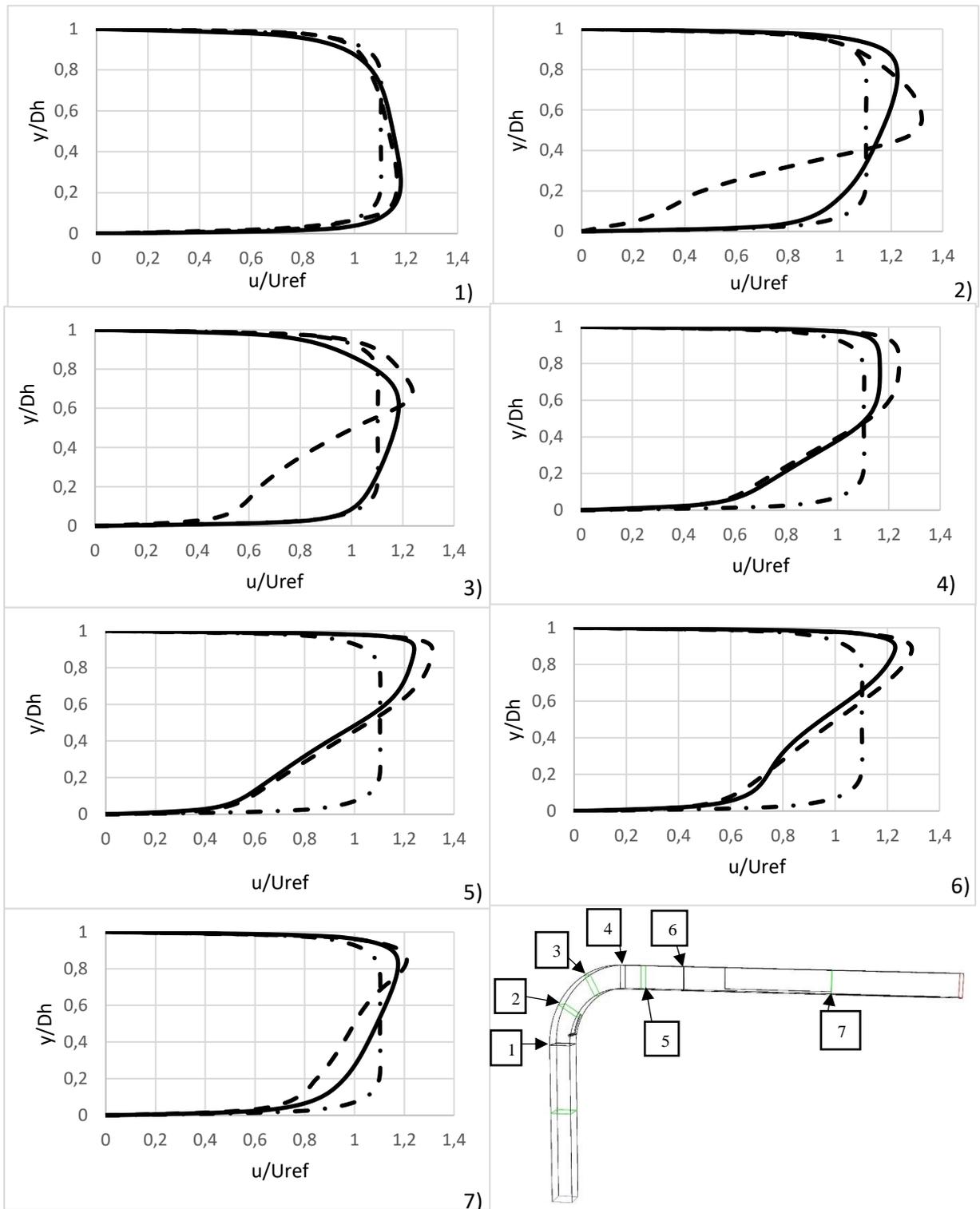
Hasil dari kontur kecepatan dengan *IDB* 0,08 dan tanpa *IDB* hampir sama $L/D_h = 0.064$ yaitu terjadi perbedaan yang cukup signifikan yaitu bila dilihat dari *range* kecepatan yang disajikan dalam skala warna. Pada *ducting* tanpa *IDB* terlihat bahwa hasil kontur menunjukkan pada daerah *elbow* kecepatan yang kuat ada pada sisi *inner* hal ini dibuktikan dengan warna kuning sampai merah, selain itu pada $x/D_h = 0$ terlihat pada sisi *inner* kecepatan

mulai berkurang ditandai dengan warna hijau dan biru hal ini dikarenakan adanya *energy kinetic losses* yaitu aliran yang kecepatannya berkurang akibat adanya *secondary flow*. Selain itu pada daerah diletaknya *IDB* terdapat kontur kecepatan yang tinggi pula ditunjukkan dengan warna merah pada *upper IDB*.

Profil kecepatan pada ducting yang diberi penambahan *IDB* maupun tanpa *IDB*, dilakukan pengambilan data dalam bentuk grafik pada gambar 4.4. Pada absis dari grafik diambil pada posisi $y/D_h = 0$ (posisi inner wall) sampai $y/D_h = 1$ (posisi outer wall). Koordinat ditunjukkan dengan nilai u/U_{ref} , dimana u adalah kecepatan pada setiap bagian atau titik yang diambil datanya dan U_{ref} adalah nilai kecepatan pada inlet duct. Untuk melihat proses *recovery* aliran maka diperlukan *section* acuan yaitu *section upstream $4D_h$* .

Hasil dari profile kecepatan yang diamati hampir sama dengan variasi jarak $l/D_h = 0.08$ yaitu aliran pada *inlet elbow* yang melewati *ducting* tanpa *IDB* mengalami perubahan distribusi profil kecepatan, dimana kecepatan pada *posisi inner wall* lebih besar dari sisi *outer wall* sampai sudut 30, seperti yang terlihat pada gambar 4.4 (a dan b) sedangkan pada *ducting* dengan penambahan *IDB* aliran mengalami perubahan profil kecepatan saat aliran mengenai *IDB* aliran akan lebih banyak ke sisi *outer wall*.

Pada aliran yang menuju sisi *outer wall* kecepatan aliran lebih tinggi serta lebih banyak sedangkan aliran pada *inner wall* lebih sedikit hal ini dikarenakan efek dari gap antara *IDB* dan *wall ducting* selain itu adanya *IDB* membuat adanya aliran *backflow* disebabkan oleh *IDB* yang berbentuk *diamond*. Ketika aliran telah melewati *elbow* 90^0 yaitu pada gambar 4.4 c dan d dengan dan tanpa *IDB*, profil kecepatan yang lebih besar ada pada sisi *outer wall* dan sisi *inner wall* terjadi defisit aliran namun dengan adanya *IDB* defisit aliran yang terjadi semakin lebar. Defisit aliran mulai berpindah dari sisi *outer wall* menuju ke arah tengah hal ini diilustrasikan pada gambar 4.4 (d dan e) sampai pada $x/D_h = 10$ aliran sudah mulai *recovery*, akan tetapi dibutuhkan *downstream* yang lebih panjang untuk melihat aliran tersebut untuk *recovery* kembali sama dengan *section upstream $4D_h$* .



———— Tanpa IDB - - - - - IDB $L/Dh=0.08$ - · - · - · Upstream $4Dh$

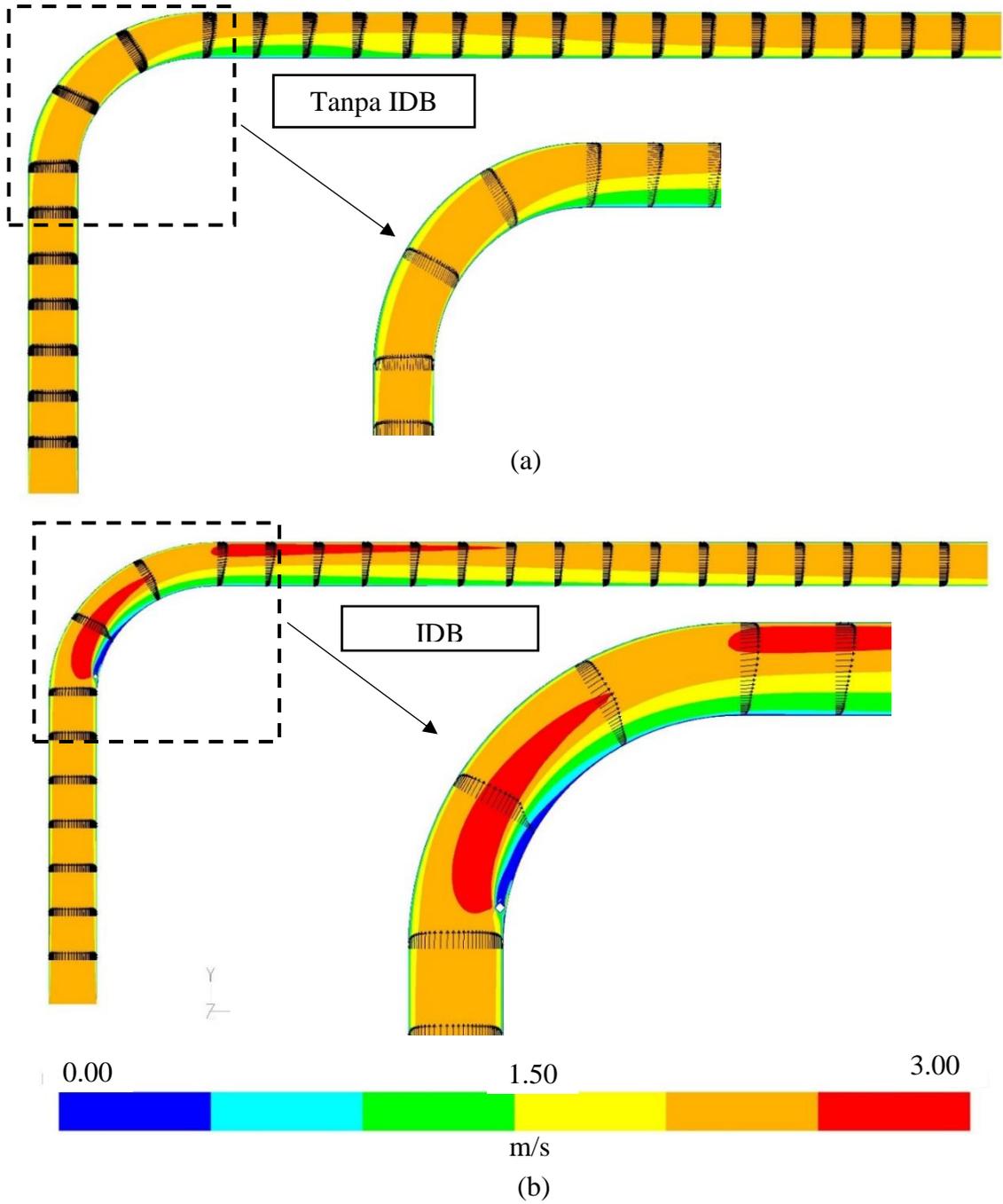
Gambar 4.4. Profil kecepatan tanpa dan dengan $IDB=0.08$

4.3 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang *Ducting* dengan Kontur Kecepatan (tanpa *IDB* dan dengan *IDB* $l/D_h = 0,1$)

Profil kecepatan fluida pada *ducting* dipengaruhi oleh radius kelengkungan *elbow* 90^0 serta variasi penempatan posisi *IDB*, ke-dua factor tersebut membuat profil kecepatan pada setiap *cross-section*nya berubah kemudian akan diamati bagaimana perkembangan aliran didalam *ducting* tersebut. Koordinat ditunjukkan dengan nilai u/U_{ref} , dimana u adalah kecepatan pada setiap bagian atau titik yang diambil datanya dan U_{ref} adalah nilai kecepatan pada *inlet duct*. Berikut perkembangan profil kecepatan serta kontur kecepatan yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran, baik secara horizontal dan vertikal pada setiap *cross section* ditampilkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa aliran udara saat memasuki *ducting* mulai berkembang sampai dengan $7D_h$ pada bagian *upstream duct* tanpa *IDB* dan pakai *IDB*, kemudian profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati *IDB* didalam *elbow*. Pada *ducting* tanpa *IDB* aliran udara pada bagian *elbow* 90^0 terlihat aliran memiliki kecepatan tertinggi pada bagian *inner wall* sampai pada kelengkungan 30^0 setelah itu kecepatan aliran mulai berpindah dari sisi *inner* menuju *outter*, hal ini terjadi karena efek dari kelengkungan *elbow* 90^0 .

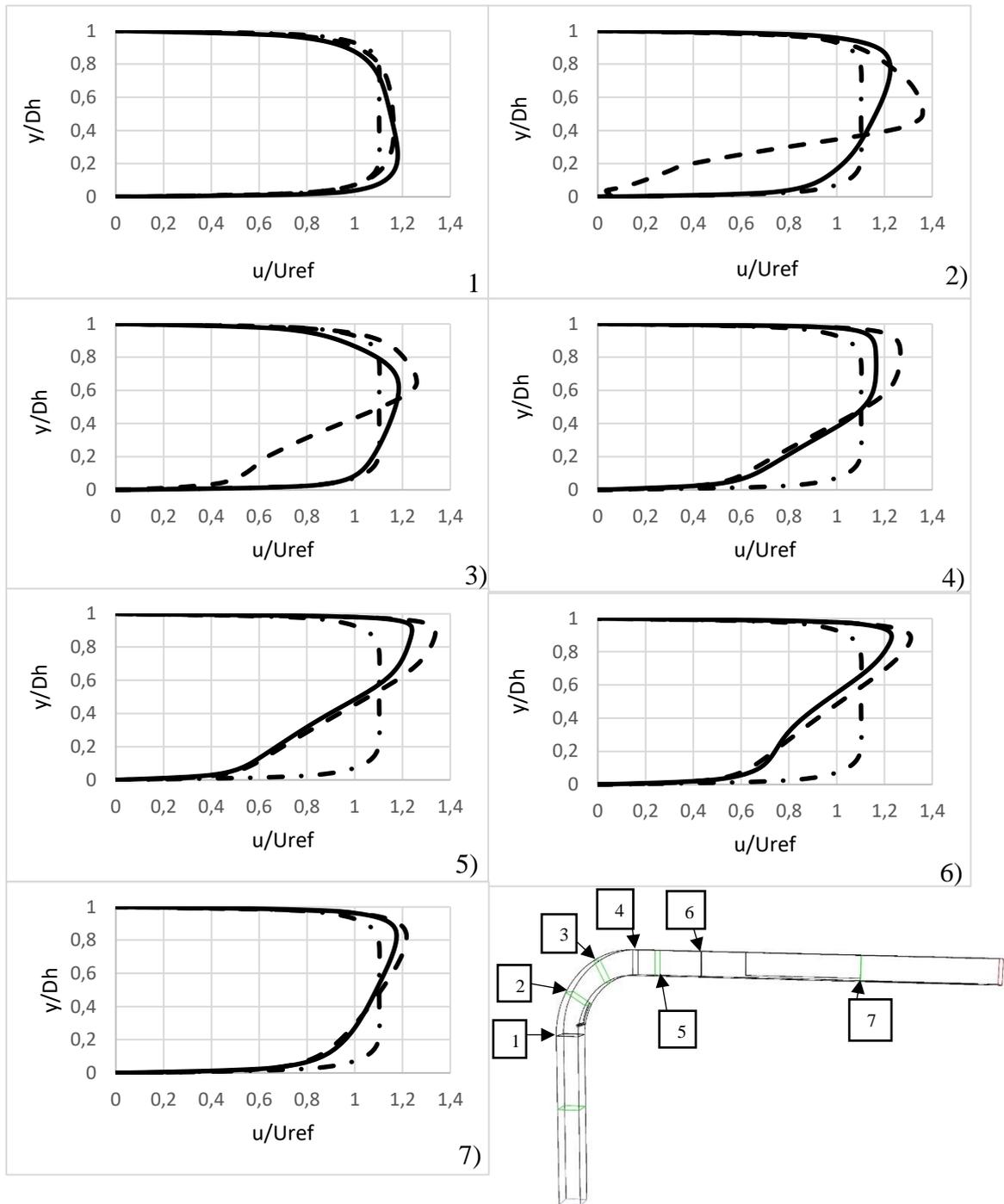
Pada *ducting* yang ditambahkan *IDB* pada bagian *upstream duct* dengan $L/D_h = 0.1$ dan *gap* 2.5 mm dari *inner wall*, terlihat kecepatan tertinggi terdapat pada sisi tengah *elbow* 90^0 dan sisi *outer wall* hal ini terjadi karena efek kelengkungan dari *elbow* 90^0 serta penambahan *IDB*, selain itu pada $x/D_h = 1$ aliran mengalami defisit aliran pada sisi *inner* yang diakibatkan oleh *secondary flow* hanya saja dengan penambahan *IDB* defisit yang terjadi semakin besar.



Gambar 4.5 Kontur kecepatan (a).aliran tanpa IDB (b). aliran dengan IDB $L/Dh=0.1$.

Hasil dari kontur kecepatan dengan dan tanpa *IDB* hampir sama dengan variasi jarak $L/D_h = 0.08$ dan 0.1 yaitu terjadi perbedaan yang cukup signifikan yaitu bila dilihat dari *range* kecepatan yang disajikan dalam skala warna. Pada *ducting* tanpa *IDB* terlihat bahwa hasil kontur menunjukkan pada daerah *elbow* kecepatan yang kuat ada pada sisi *inner* hal ini dibuktikan dengan warna kuning sampai merah, selain itu pada $x/D_h = 0$ terlihat pada sisi *inner* kecepatan mulai berkurang ditandai dengan warna hijau dan biru hal ini dikarenakan adanya *energy kinetic losses* yaitu aliran yang kecepataannya berkurang akibat adanya *secondary flow*. Selain itu pada daerah diletaknya *IDB* terdapat kontur kecepatan yang tinggi pula ditunjukkan dengan warna merah pada *upper IDB*.

Pada aliran yang menuju sisi *outter wall* kecepatan aliran lebih tinggi serta lebih banyak sedangkan aliran pada *inner wall* lebih sedikit hal ini dikarenakan efek dari gap antara *IDB* dan *wall ducting* selain itu adanya *IDB* membuat adanya aliran *backflow* disebabkan oleh *IDB* yang berbentuk *diamond*. Ketika aliran telah melewati *elbow* 90° yaitu pada gambar 4.6 c dan d dengan dan tanpa *IDB*, profil kecepatan yang lebih besar ada pada sisi *outter wall* dan sisi *inner wall* terjadi defisit aliran namun dengan adanya *IDB* defisit aliran yang terjadi semakin lebar. Defisit aliran mulai berpindah dari sisi *outter wall* menuju ke arah tengah hal ini diilustrasikan pada gambar 4.6 (d dan e) sampai pada $x/D_h = 10$ aliran sudah mulai *recovery*, akan tetapi dibutuhkan *downstream* yang lebih panjang untuk melihat aliran tersebut untuk *recovery* kembali sama dengan *section upstream* $4D_h$.



— Tanpa IDB - - - - - IDB $L/Dh=0.08$ - · - · - · - Upstream $4Dh$

Gambar 4.6. Profil kecepatan tanpa dan dengan $IDB=0.1$

4.4 Perbandingan Vektor Kecepatan dan Kontur *Pathline* Setiap *Surface*

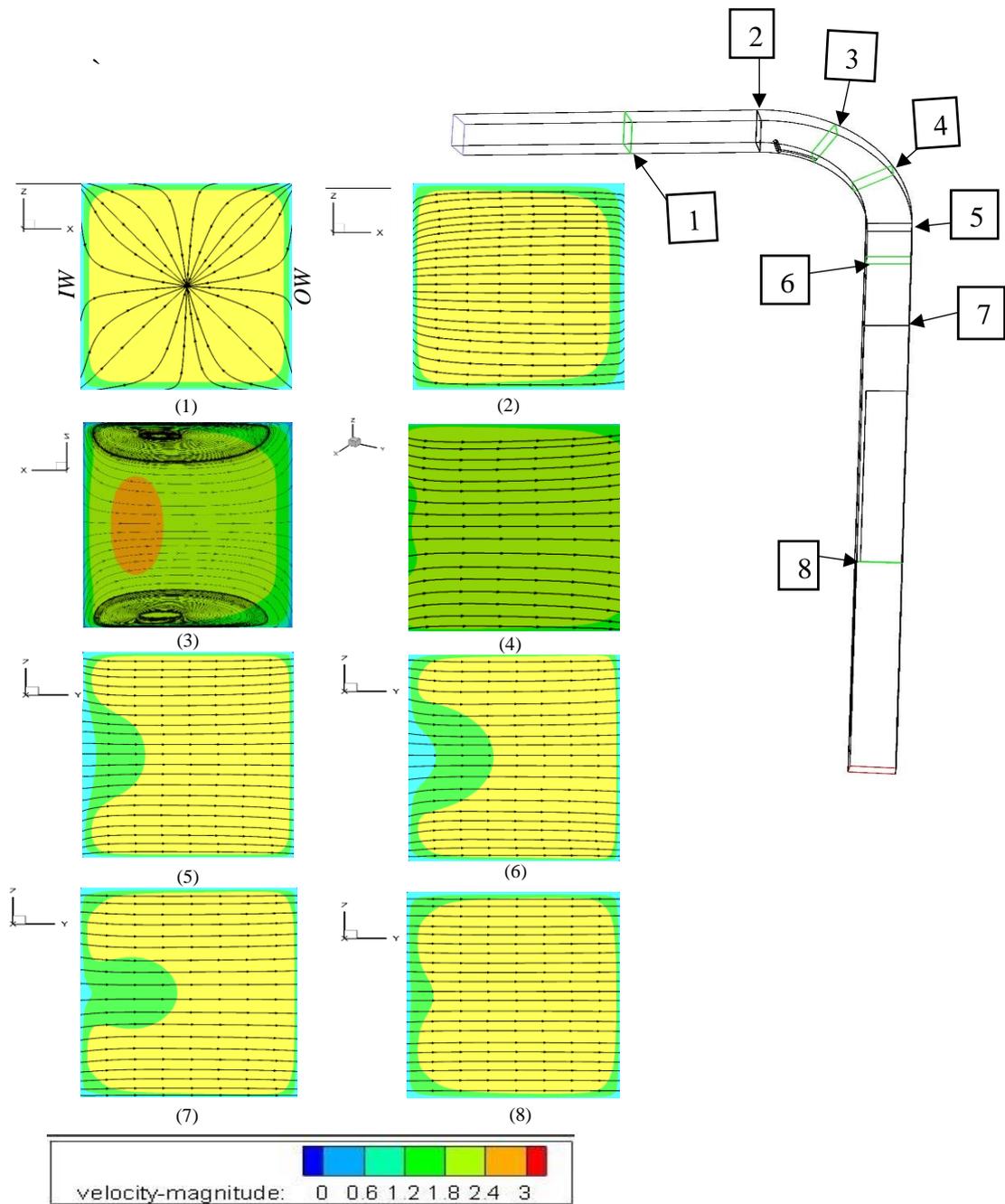
Cross-section dengan dan Tanpa *IDB* pada $Re = 1.59 \times 10^4$

Pada bab ini akan ditampilkan data kualitatif berupa tampilan atau visualisasi aliran dengan vektor kecepatan dan kontur *pathline* pada masing-masing *surface* disetiap *cross-section* yang diambil dari perangkat lunak ANSYS fluent dan *tecplot*. Visualisasi ini akan mempermudah pengamatan perilaku dari aliran yang terjadi pada *ducting* secara 3D. Hasil dari masing-masing *surface cross section* akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

4.4.1 Visualisasi Vektor Kecepatan dan Kontur *Pathline* Setiap *surface Cross-section* Tanpa *IDB*

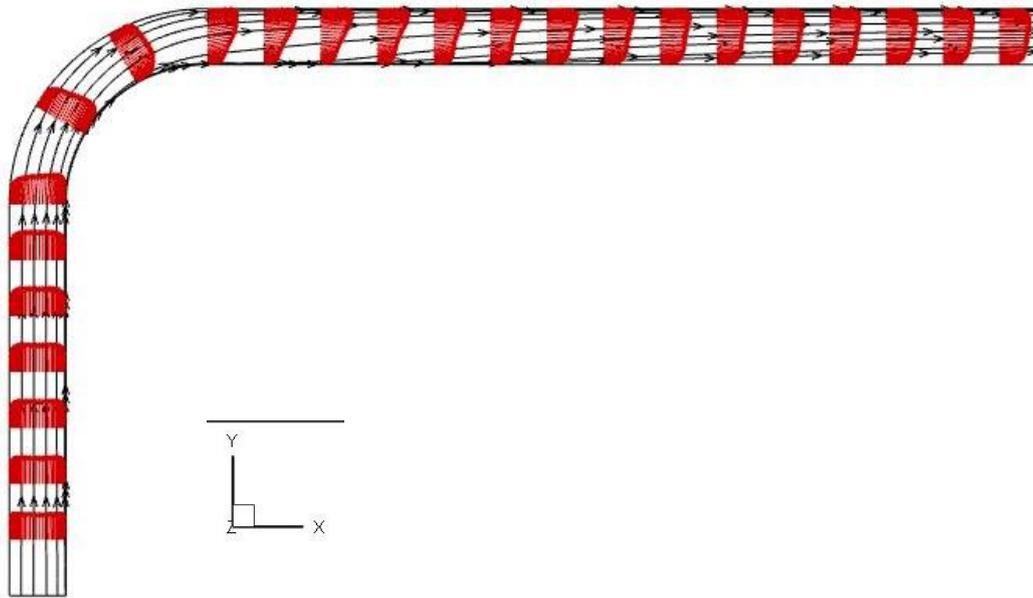
Visualisasi vektor kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* tanpa *IDB*. Arah aliran akan terlihat pada masing-masing *surface cross-section*, *surface* yang diambil untuk menampilkan kontur *pathline* yaitu pada *section* dari $y/D_h=4$, *inlet elbow*, 30° *elbow*, 60° *elbow*, *outlet elbow*, $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ untuk dan keseluruhan *surface cross-section* untuk vektor kecepatan. Gambar 4.7 menjelaskan tentang aliran udara yang memasuki *ducting system*.

Aliran udara mula-mula masuk pada *4upstream duct*, sepanjang bagian ini aliran tidak mengalami *secondary flow* dikarenakan masih melalui saluran yang lurus, kemudian aliran mulai memasuki *elbow* 90° aliran mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*, pada bagian ini aliran mulai terbentuk *secondary flow* pada posisi *elbow* 30° hal ini terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow*. Pada posisi *elbow* 60° dan 90° tidak terjadi *secondary flow* hal ini terjadi karena nilai Re yang rendah, arah aliran berpindah dari *inner wall* menuju *outter wall*. kemudian melalui bagian *downstream duct*, dibagian ini pada mulai *section* $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ arah aliran dari sisi *inner wall* menuju *outter wall*.



Gambar 4.7. Vektor kecepatan dan kontur pathline pada ducting tanpa IDB

Selain kontur *pathline* terdapat juga kontur kecepatan tiap *surface cross-section* dimana pada *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada pada sisi *inner wall* yaitu ditandai dengan kontur berwarna kuning yang memiliki kecepatan tertinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna biru muda. Sedangkan pada *outlet elbow* sisi *inner wall* terdapat kecepatan rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga pada bagian tertentu ada aliran yang mengalami *backflow*. Selain itu pada $x/D_h = 1$ sampai dengan $x/D_h = 10$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*.



Gambar 4.8. Vektor dan kontur kecepatan sepanjang ducting tanpa *IDB*

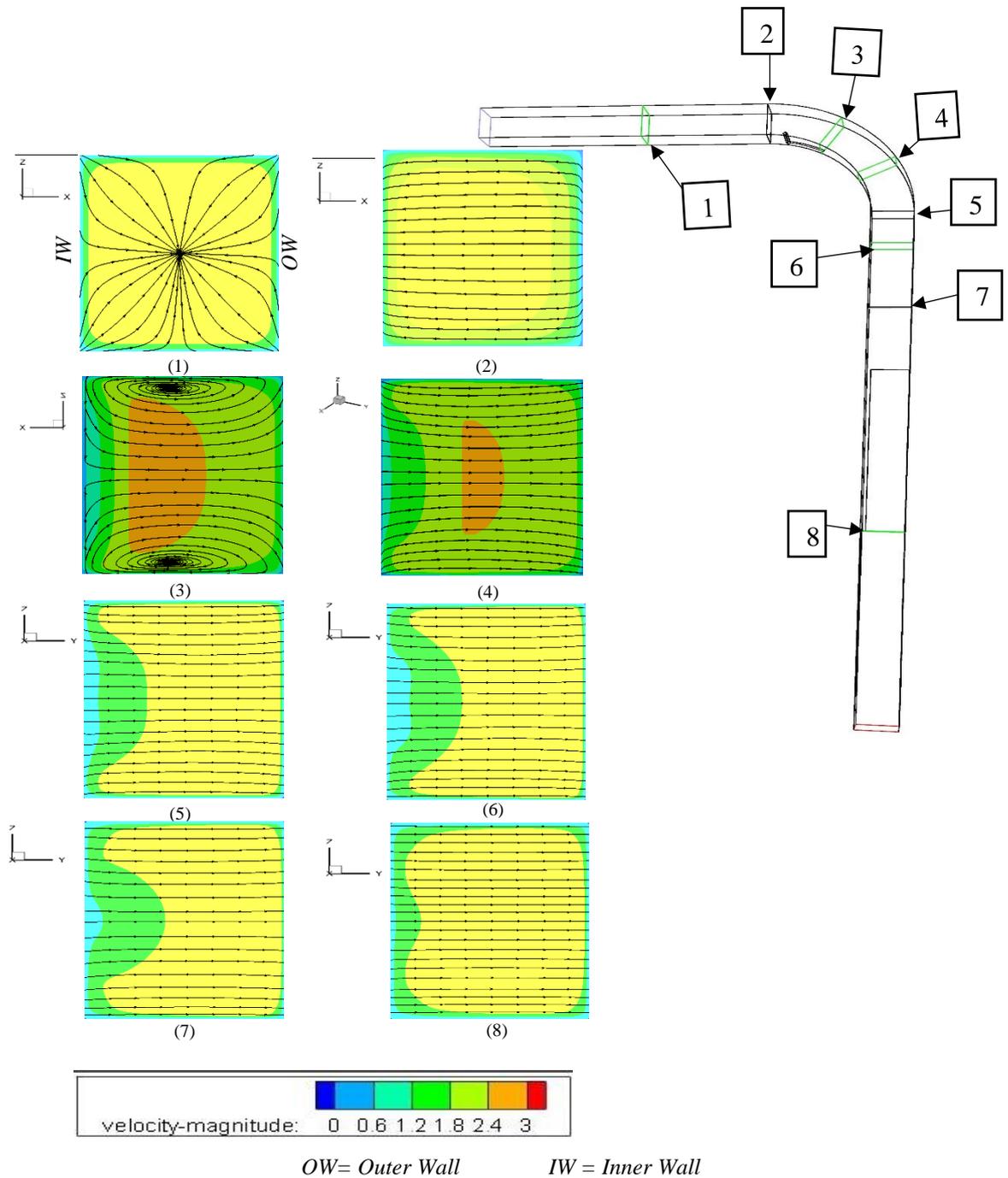
Pada gambar 4.8 vector aliran sepanjang *ducting* tanpa *IDB*. Vector dan kontur kecepatan pada sisi *upstream* merata pada seluruh bagian *ducting*. Pada *inlet* dari *elbow* vector dan kontur kecepatan tertinggi mulai pindah kesisi *inner wall*. Pada *inlet elbow* sampai pada sudut 40° *elbow* aliran pada sisi *inner wall* aliran masih melekat setelah itu sebagian besar vektor aliran lepas dari *inner wall* mengikuti *streamline* menuju sisi *outer wall*. Pada

$x/D_h=1$ *downstream* vector dan kontur kecepatan tertinggi berada pada *outer wall*. Pada $x/D_h=3$ *downstream* vektor kecepatan pada sisi *inner wall* mulai lepas pada *inner wall* menuju ke tengah *ducting*, sedangkan kontur kecepatan tertinggi masih pada sisi *outer wall* sampai $x/D_h=5$ setelah itu kontur kecepatan tertinggi berada bagian tengah saluran, akan tetapi *recovery* aliran masih belum terjadi secara sempurna seperti pada *section upstream*.

4.4.2 Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur *Pathline* Setiap *Surface Cross section* dengan $IDB l/D_h = 0.064$

Visualisasi vector kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* dengan penambahan *IDB*. Arah aliran akan terlihat pada masing-masing *surface cross-section*, *surface* yang diambil untuk menampilkan kontur *pathline* yaitu pada *section* dari $y/D_h=4$, *inlet elbow*, 30° *elbow*, 60° *elbow*, *outlet elbow*, $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ untuk dan keseluruhan *surface cross-section* untuk vektor kecepatan. Gambar 4.9 menjelaskan tentang aliran udara yang memasuki *ducting system*.

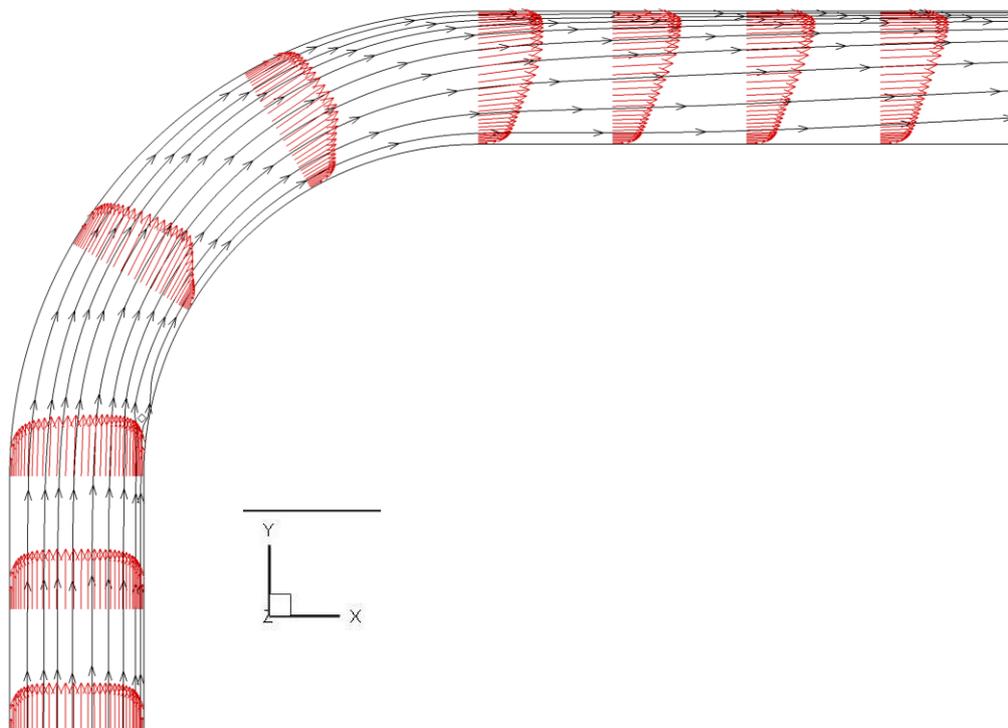
Aliran udara mula-mula masuk pada 4 *upstream duct*, sepanjang bagian ini aliran tidak mengalami *secondary flow* dikarenakan masih melalui saluran yang lurus, kemudian aliran mulai memasuki *elbow* 90° aliran mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*, pada bagian ini aliran mulai terbentuk *secondary flow* pada posisi *elbow* 30° hal ini terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow* dan penempatan *IDB* pada posisi 10° pada *elbow*. Pada posisi *elbow* 60° dan 90° tidak terjadi *secondary flow* hal ini terjadi karena nilai *Re* yang rendah, arah aliran berpindah dari *inner wall* menuju *outer wall*. kemudian melalui bagian *downstream duct*, dibagian ini pada mulai *section* $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ arah aliran dari sisi *inner wall* menuju *outer wall*.



Gambar 4.9 Vektor kecepatan dan kontur pathline pada $IDB/D_h=0.064$

Pada kontur *pathline* terdapat juga kontur kecepatan tiap *surface cross-section* dimana pada *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada pada sisi *inner wall* yaitu ditandai dengan kontur berwarna kuning yang memiliki kecepatan tertinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki

kecepatan rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna biru muda. Sedangkan pada *outlet elbow* sisi *inner wall* terdapat kecepatan rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* di sisi *outer wall* sebelum sudut 30° pada *elbow* sehingga mempercepat terjadinya *secondary flow*. Pada $x/D_h = 1$ sampai dengan $x/D_h = 10$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*.



Gambar 4.10. Vektor kecepatan sepanjang ducting dengan $IDB L/D_h=0.064$

Pada gambar 4.10 vector aliran sepanjang *ducting* dengan $IDB L/D_h=0.064$. Pada posisi letak IDB di *elbow* aliran terbagi menjadi 2 arah ke sisi *inner wall* dan *outer wall*. Penambahan IDB mengakibatkan adanya *blocked area* pada belakang IDB . Kontur dan vektor kecepatan tertinggi berada pada sisi *outer wall* sepanjang *elbow*. Pada $x/D_h=1$ *downstream* vector dan kontur kecepatan tertinggi berada pada *outer wall*. Pada $x/D_h=1$ sampai $x/D_h=5$ *downstream* vektor kecepatan kontur kecepatan tertinggi masih pada sisi *outer wall* setelah itu kontur kecepatan tertinggi berada bagian

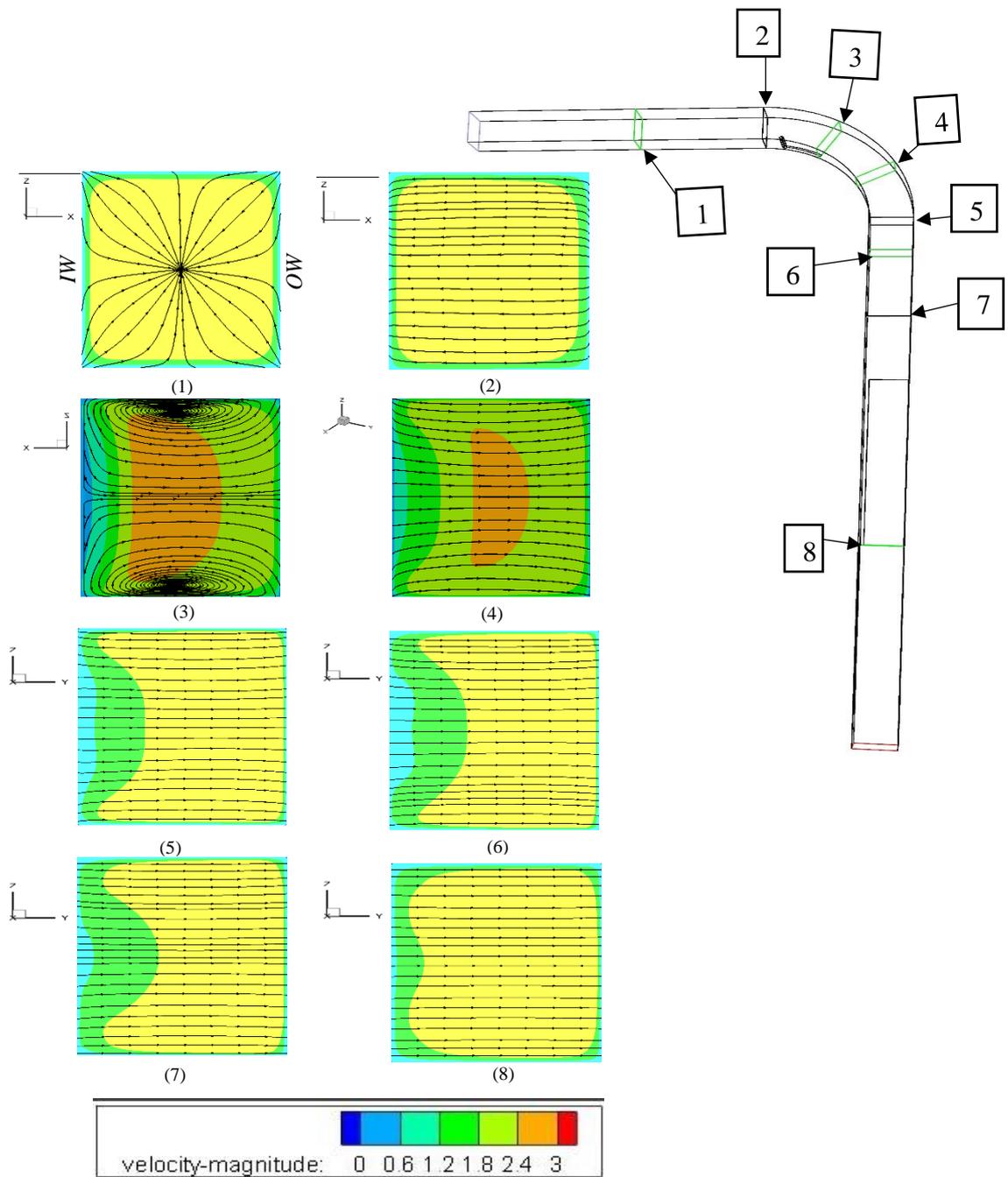
tengah saluran, akan tetapi *recovery* aliran masih belum terjadi secara sempurna seperti pada *section upstream*.

4.4.3 Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur *Pathline* Setiap *Surface Cross-section* dengan $IDB l/D_h = 0.08$

Visualisasi vector kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* dengan penambahan *IDB*. Arah aliran akan terlihat pada masing-masing *surface cross-section*, *surface* yang diambil untuk menampilkan kontur *pathline* yaitu pada *section* dari $y/D_h=4$, *inlet elbow*, 30° *elbow*, 60° *elbow*, *outlet elbow*, $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ untuk dan keseluruhan *surface cross-section* untuk vektor kecepatan. Gambar diatas menjelaskan tentang aliran udara yang memasuki *ducting system*.

Aliran *udara* mula-mula masuk pada *4upstream duct*, sepanjang bagian ini aliran tidak mengalami *secondary flow* dikarenakan masih melalui saluran yang lurus, kemudian aliran mulai memasuki *elbow* 90° aliran mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*, pada bagian ini aliran mulai terbentuk *secondary flow* pada posisi *elbow* 30° hal ini terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow* dan penempatan *IDB* pada posisi 10° pada *elbow*.

Pada posisi *elbow* 60° dan 90° tidak terjadi *secondary flow* hal ini terjadi karena nilai *Re* yang rendah, arah aliran berpindah dari *inner wall* menuju *outter wall*. kemudian melalui bagian *downstream duct*, dibagian ini pada mulai section $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ arah aliran dari sisi *inner wall* menuju *outter wall*.

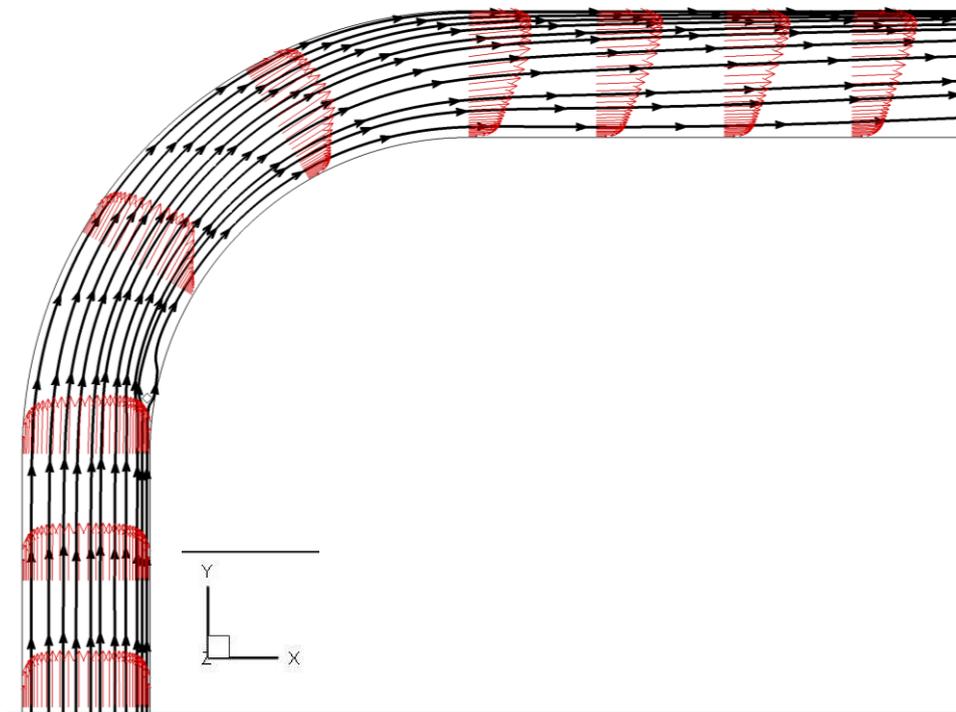


OW = Outer Wall *IW* = Inner Wall

Gambar 4.11 Vektor kecepatan dan kontur pathline pada ducting tanpa $IDB / D_h = 0.08$

Pada kontur *pathline* terdapat juga kontur kecepatan tiap *surface cross-section* dimana pada *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada pada sisi *inner wall* yaitu ditandai dengan kontur berwarna kuning yang memiliki kecepatan tertinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna biru muda.

Sedangkan pada *outlet elbow* sisi *inner wall* terdapat kecepatan rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga pada bagian tertentu ada aliran yang mengalami *backflow*. Selain itu pada $x/D_h = 1$ sampai dengan $x/D_h = 10$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*.



Gambar 4.12. Vektor kecepatan sepanjang ducting dengan *IDB* $L/D_h=0.08$

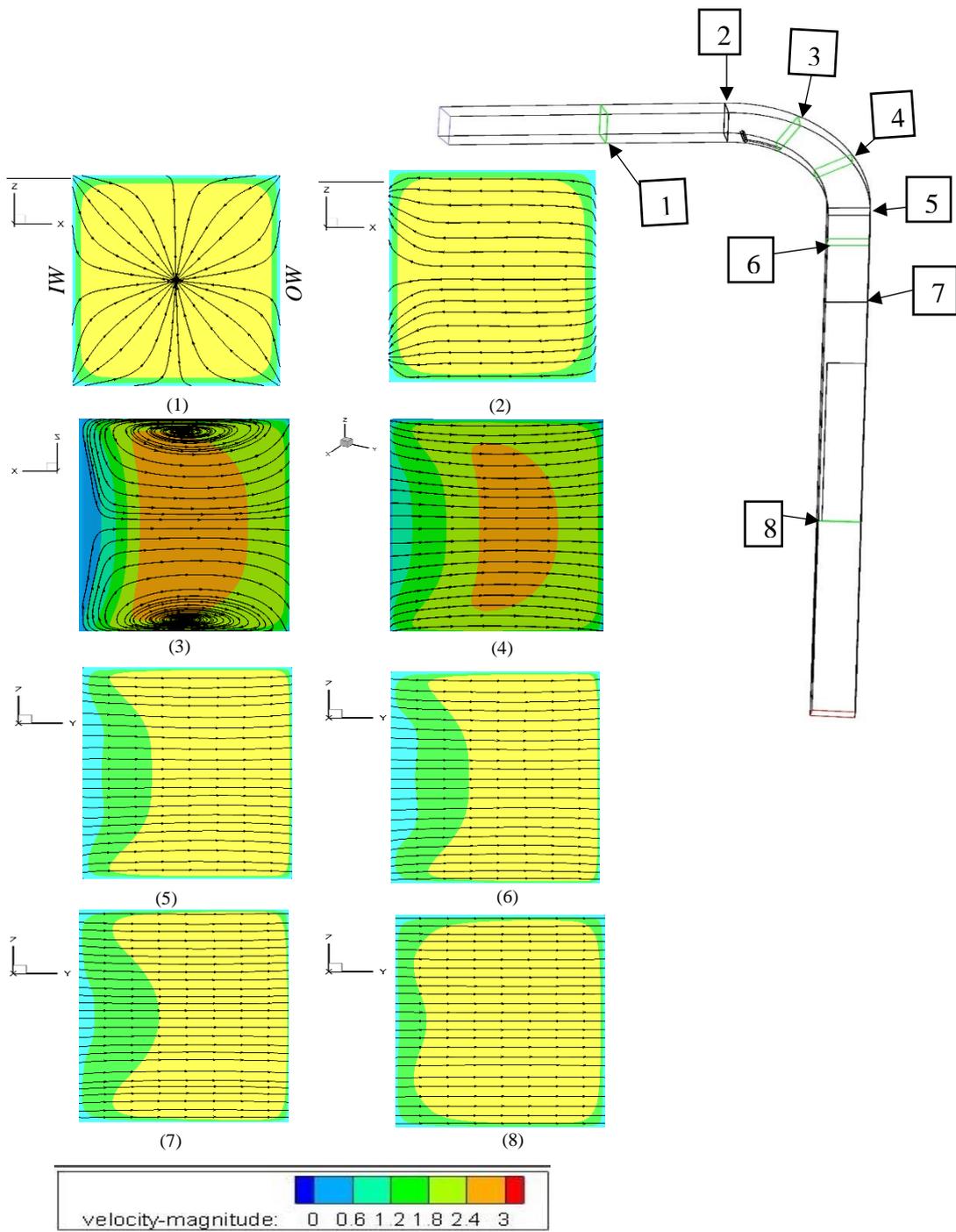
Pada gambar 4.12 vector aliran sepanjang *ducting* dengan *IDB* $L/D_h=0.08$. Pada posisi letak *IDB* di *elbow* aliran terbagi menjadi 2 arah ke sisi *inner wall* dan *outer wall*. Penambahan *IDB* mengakibatkan adanya *back flow* pada belakang *IDB*. Kontur dan vektor kecepatan tertinggi berada pada sisi *outer wall* sepanjang *elbow*. Pada $x/D_h=1$ sampai $x/D_h=5$ *downstream* vektor kecepatan kontur kecepatan tertinggi masih pada sisi *outer wall* setelah itu kontur kecepatan tertinggi berada bagian tengah saluran, akan tetapi *recovery* aliran masih belum terjadi secara sempurna seperti pada *section upstream*.

4.4.4 Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur *Pathline* Setiap *Surface*

Cross-section dengan $IDB l/D_h = 0.1$

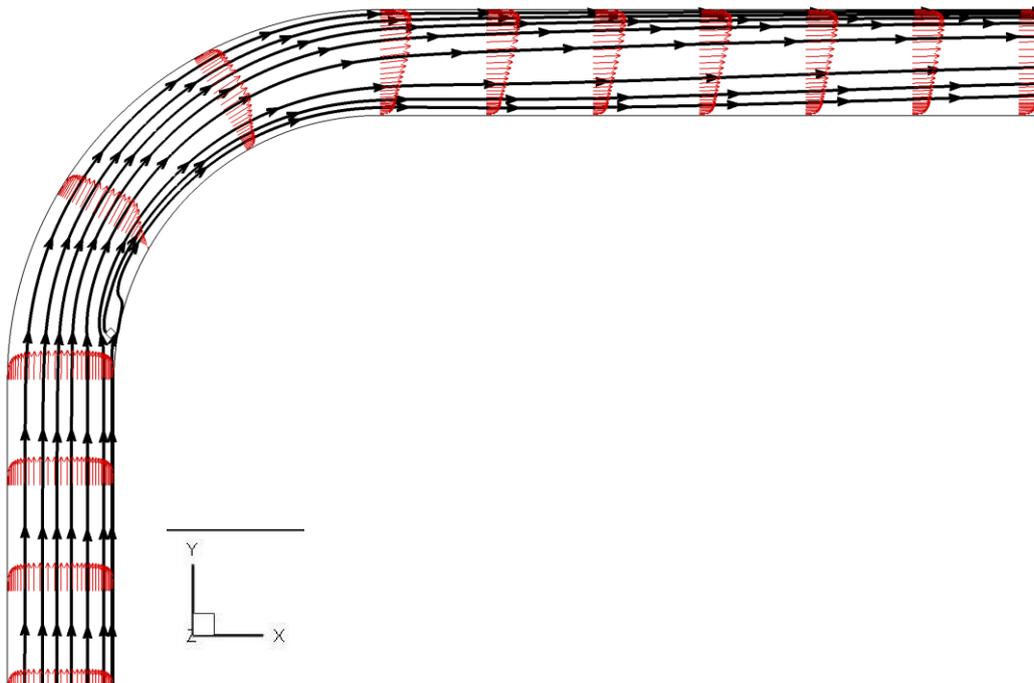
Visualisasi vektor kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* dengan penambahan *IDB*. Arah aliran akan terlihat pada masing-masing *surface cross-section*, *surface* yang diambil untuk menampilkan kontur *pathline* yaitu pada *section* dari $y/D_h=4$, *inlet elbow*, 30° *elbow*, 60° *elbow*, *outlet elbow*, $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ untuk dan keseluruhan *surface cross-section* untuk vektor kecepatan.

Aliran *udara* mula-mula masuk pada *Upstream duct*, sepanjang bagian ini aliran tidak mengalami *secondary flow* dikarenakan masih melalui saluran yang lurus, kemudian aliran mulai memasuki *elbow* 90° aliran mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*, pada bagian ini aliran mulai terbentuk *secondary flow* pada posisi *elbow* 30° hal ini terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow* dan penempatan *IDB* pada posisi 10° pada *elbow*. Pada posisi *elbow* 60° dan 90° tidak terjadi *secondary flow* hal ini terjadi karena nilai *Re* yang rendah, arah aliran berpindah dari *inner wall* menuju *outer wall*. kemudian melalui bagian *downstream duct*, dibagian ini pada mulai *section* $x/D_h = 1$, $x/D_h = 3$, $x/D_h = 10$ arah aliran dari sisi *inner wall* menuju *outer wall*.



Gambar 4.13 Vektor kecepatan dan kontur pathline pada ducting $IDB \ l/D_h=0.1$

Pada kontur *pathline* terdapat juga kontur kecepatan tiap *surface cross-section* dimana pada *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada pada sisi *inner wall* yaitu ditandai dengan kontur berwarna kuning yang memiliki kecepatan tertinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna biru muda. Sedangkan pada *outlet elbow* sisi *inner wall* terdapat kecepatan rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga pada bagian tertentu ada aliran yang mengalami *backflow*. Selain itu pada $x/D_h = 1$ sampai dengan $x/D_h = 10$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*.



Gambar 4.14. Vektor kecepatan sepanjang ducting dengan *IDB* $L/D_h=0.1$

Pada gambar 4.14 vector aliran sepanjang *ducting* dengan *IDB* $L/D_h=0.1$. Pada posisi letak *IDB* di *elbow* aliran terbagi menjadi 2 arah ke sisi *inner wall* dan *outer wall*. Penambahan *IDB* mengakibatkan adanya *back flow* yang cukup besar dari pada dengan *IDB* $L/D_h=0.08$ pada belakang *IDB*.

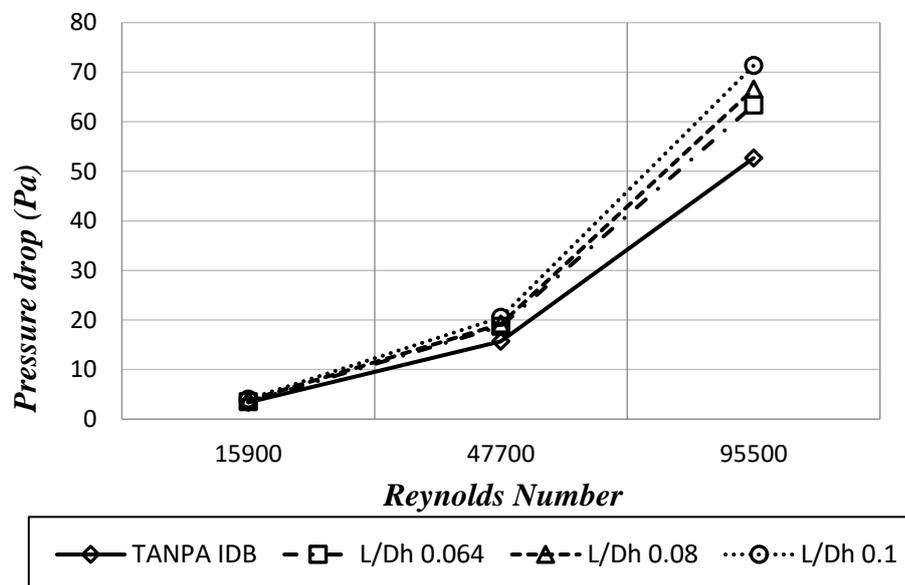
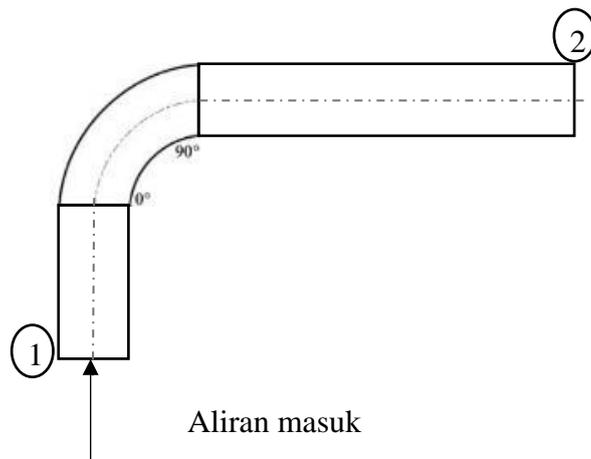
Kontur dan vektor kecepatan tertinggi berada pada sisi *outer wall* sepanjang *elbow*. Pada $x/Dh=1$ sampai $x/Dh=5$ *downstream* vektor kecepatan kontur kecepatan tertinggi masih pada sisi *outer wall* setelah itu kontur kecepatan tertinggi berada bagian tengah saluran, akan tetapi *recovery* aliran masih belum terjadi secara sempurna seperti pada *section upstream*.

4.5 Perbandingan Data Setiap Variasi Model *Ducting* pada Setiap Variasi Kecepatan

Pada sub bab ini akan ditampilkan data nilai dari *pressure drop* dan *coefficient of pressure* secara keseluruhan dari masing-masing variasi *IDB*, data akan ditampilkan dalam bentuk tabel serta grafik.

4.5.1 *Pressure Drop*

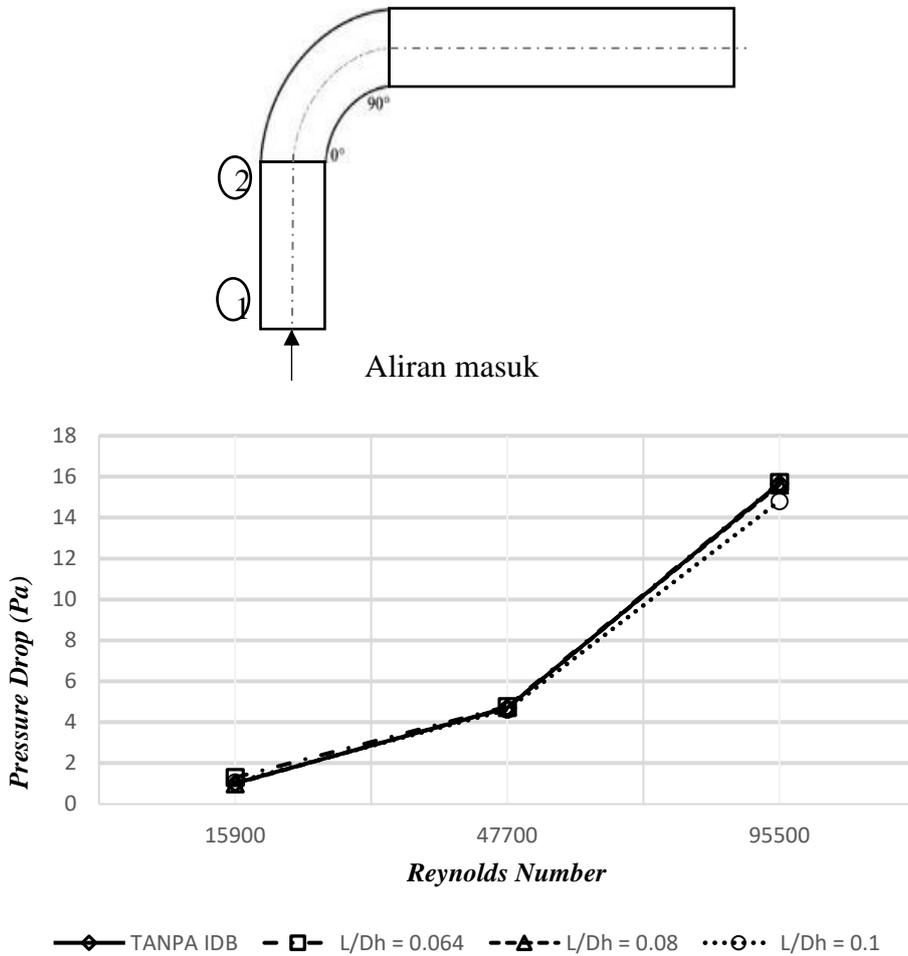
Data kuantitatif dari *pressure drop* di bagi atas empat bagian yaitu *pressure drop* pada *upstream duct*, *elbow 90⁰*, *downstream duct* serta *ducting* secara keseluruhan. Data akan ditampilkan dalam gambar 4.15, 4.16, 4.17, dan 4.18 dengan hasil dari olahan perangkat lunak *fluent* menggunakan *facet average static pressure*. Gambar 4.11 menampilkan hasil dari *pressure drop* pada *section inlet* dan *outlet ducting*. Nilai *pressure drop* tanpa *IDB* hasilnya lebih kecil daripada dengan *IDB* $l/Dh = 0,064; 0,08; 0,1$.



Gambar 4.15 *Pressure Drop Square Duct* dengan *elbow 90°* sebagai fungsi dari *Reynolds Number*

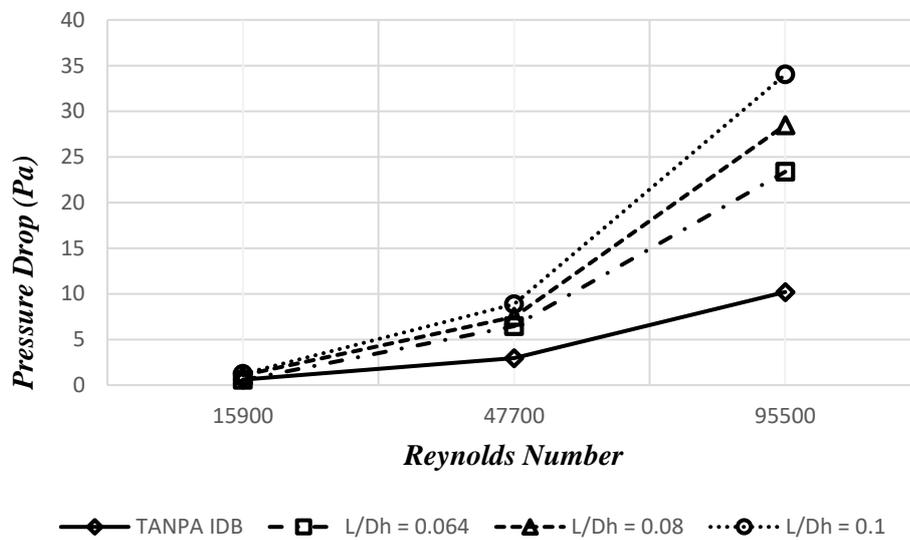
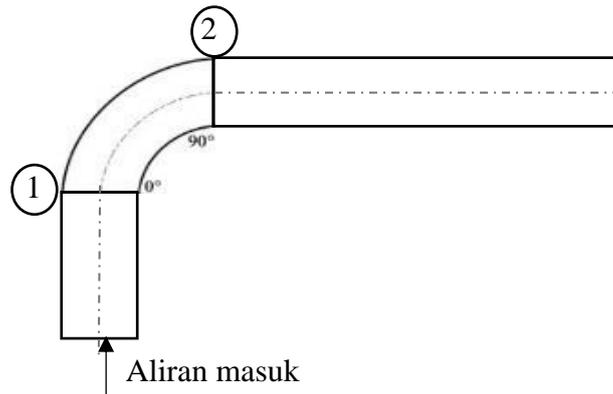
berdasarkan pengamatan data dari grafik pada gambar 4.15 dimana dengan adanya *IDB pressure drop* tidak memberikan hasil yang bagus, hal ini terjadi karena akibat dari penambahan *IDB pressure drop* semakin meningkat, hal ini terjadi karena akibat dari penambahan *IDB* yang membuat aliran udara tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* pada kelengkungan *elbow* sehingga pada *outlet elbow secondary flow* yang terjadi semakin besar berbeda halnya dengan tanpa *IDB pressure drop* sendiri dipengaruhi oleh kelengkungan *elbow* serta penambahan *IDB*.

Nilai *pressure drop* tanpa *IDB* hasilnya lebih kecil daripada yang menggunakan *IDB*, *pressure drop* tertinggi terjadi pada variasi $L/D_h = 0.1$ dan akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya nilai *Reynolds number*.



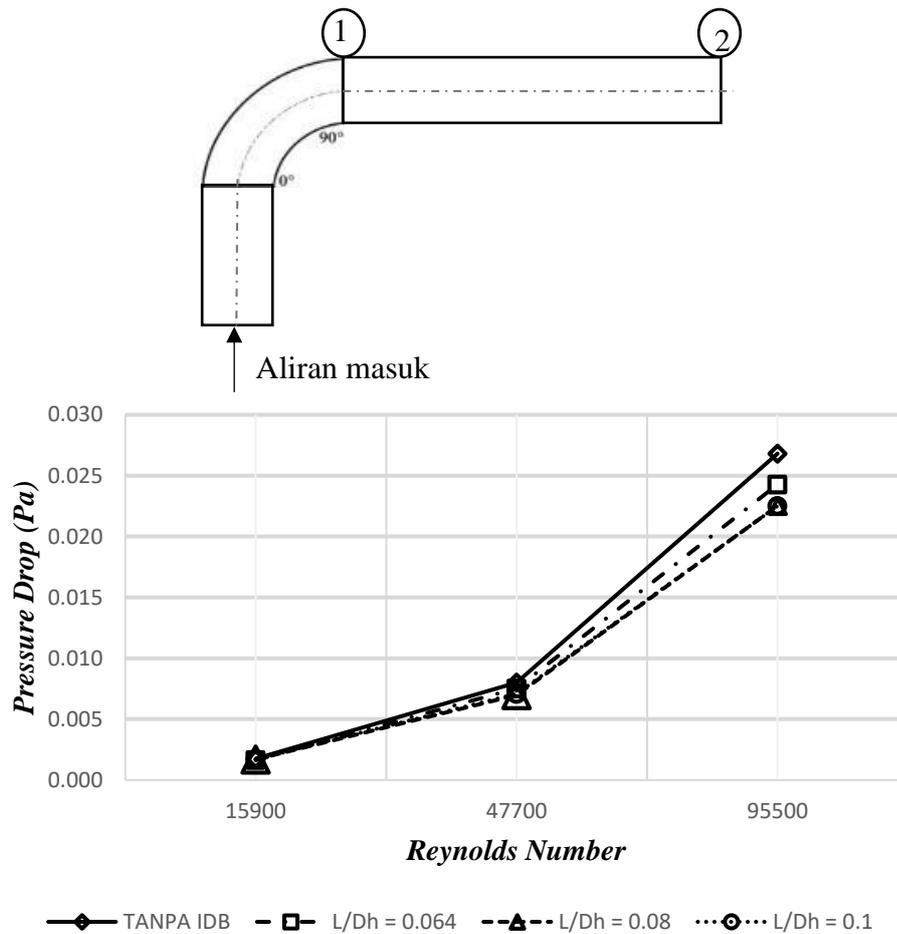
Gambar 4.16 *Pressure Drop Upstream Duct* sebagai fungsi dari *Reynolds Number*

Perbandingan hasil *pressure drop* pada section *inlet* dan *outlet upstream duct* ditunjukkan pada Gambar 4.16 Nilai *pressure drop* tanpa *IDB* hasilnya lebih kecil daripada menggunakan tiga variasi *IDB* dan variasi *Reynolds Number*. Secara umum *pressure drop* pada *upstream* tidak berbeda jauh pada masing-masing variasi *IDB* dan masing-masing nilai *Re*, hal ini terjadi pada *upstream* merupakan saluran kosong.



Gambar 4.17 *Pressure Drop* pada *Elbow* dengan variasi *Reynolds Number*

Perbandingan hasil *pressure drop* pada section *inlet* dan *outlet elbow* 90° ditunjukkan pada Gambar 4.17 Nilai *pressure drop* lebih kecil didapatkan memakai pengganggu $L/Dh=0.064$ pada nilai Re yang rendah dibandingkan tanpa *IDB* maupun *IDB* $L/Dh=0.08$; 0.1 dengan variasi nilai Re yang lain. Adanya pengganggu membuat nilai *pressure drop* menjadi turun, ini terjadi karena dengan adanya pengganggu kecepatan aliran pada *elbow* semakin meningkat dan momentum pada aliran pun semakin meningkat yang membuat separasi aliran mengecil sehingga *pressure drop* tereduksi.



Gambar 4.18 *Pressure Drop Downstream* sebagai fungsi dari *Reynolds Number*

Perbandingan hasil *pressure drop* pada section *inlet* dan *outlet downstream duct* ditunjukkan pada Gambar 4.18 Nilai *pressure drop* tanpa *IDB* hasilnya lebih besar daripada yang menggunakan 3 variasi *IDB* pada ketiga nilai *Reynolds Number*. Adanya pengganggu membuat nilai *pressure drop* menjadi turun, ini terjadi karena dengan adanya pengganggu kecepatan aliran pada *elbow* semakin meningkat dan momentum pada aliran pun semakin meningkat yang membuat separasi aliran mengecil yang membuat *pressure drop* pada *downstream duct* turun.

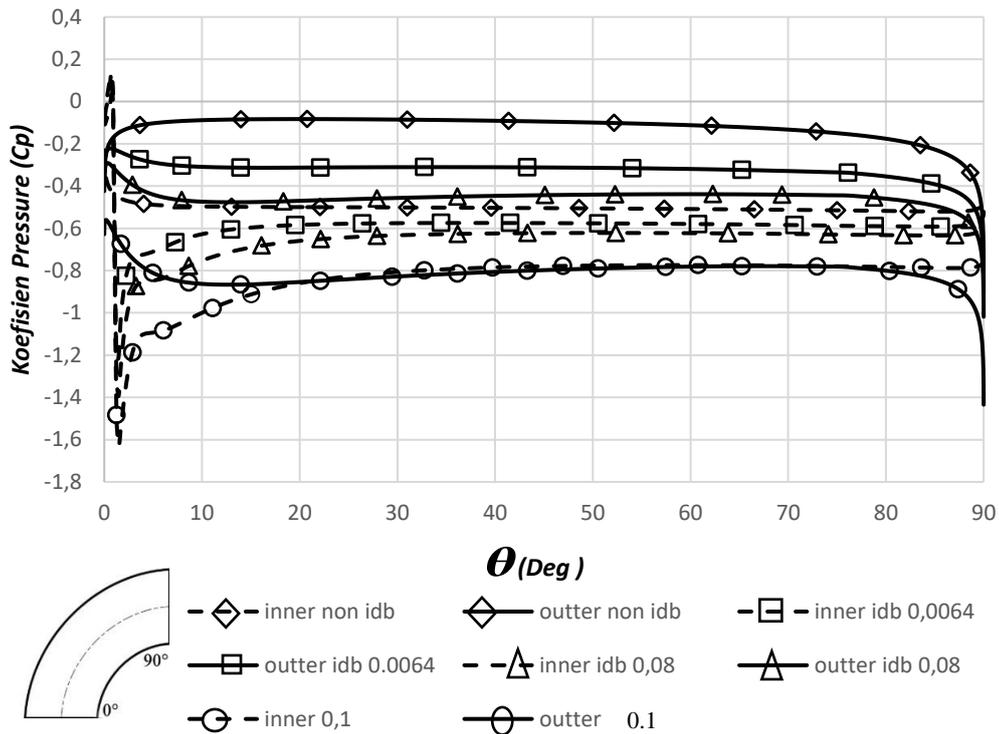
Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *IDB* berbentuk *Diamond* pada 10° di *elbow* secara keseluruhan tidak dapat menurunkan nilai *Pressure drop* sepanjang saluran. Apabila dilihat dari masing-masing *section* maka dengan penambahan *IDB* dapat menurunkan *pressure drop*. Pada *section elbow* penambahan *IDB*

$L/D_h=0.064$ dapat menurunkan nilai *pressure drop* dibandingkan tanpa *IDB* pada nilai *Re* yang kecil. Penurunan nilai *pressure drop* dipengaruhi oleh beberapa faktor nilai *Re* yang kecil, Panjang-pendeknya saluran, *curvated ratio elbow* yang digunakan tidak terlalu berpengaruh dalam memberikan pengaruh separasi pada aliran.

4.5.2 *Coefficient of Pressure*

Pada gambar 4.19 ditampilkan grafik dari *coefficient of pressure* pada *elbow* 90° data yang ditampilkan mulai dari sudut 0° sampai dengan sudut 90° dan diambil pada posisi $z/D_h = 0.5$. C_p dihitung secara manual pada menu *ansys fluent* dengan *custom field function*, dengan mengambil data kecepatan dan tekanan referensi pada sisi *inlet ducting*. Pada sisi *inner wall ducting* tanpa *IDB* terlihat *trendline* grafik menurun sampai sudut sekitar 5° ini menunjukkan aliran fluida mengalami kestabilan nilai sampai sudut 90° , lalu pada sisi *outter wall* terlihat *trendline* meningkat dari sudut 0° sampai sudut 5° yang menunjukkan aliran fluida mengalami akselerasi, kemudian aliran mengalami kestabilan nilai sampai sudut sekitar 73° setelah itu mengalami penurunan nilai sampai sudut 90° .

Pada *ducting* dengan penambahan *IDB* dengan $L/D_h = 0.064$ pada sisi *inner wall* terlihat aliran mengalami deselerasi pada sudut 0° sampai sudut 3° kemudian aliran mengalami akselerasi pada sudut 4° sampai sudut 90° . Sedangkan pada sisi *outter wall* mengalami penurunan nilai sampai pada sudut 5° setelah itu nilai stabil sampai sudut 88° mengalami penurunan. Sedikit berbeda pada *ducting* dengan penambahan *IDB* $L/D_h = 0.064$, pada *ducting* dengan Penambahan *IDB* $L/D_h = 0.08$ pada sisi *inner wall* terlihat aliran mengalami deselerasi pada sudut 0° sampai sudut 3° kemudian aliran mengalami akselerasi pada sudut 3° , setelah itu nilai menunjukkan kestabilan sampai sudut 90° , sedangkan pada sisi sisi *outter wall* mengalami penurunan nilai sampai pada sudut 3° setelah itu nilai stabil sampai sudut 80° kemudian mengalami penurunan.



Gambar 4.19 Coefficient of Pressure Square Duct pada elbow 90° dengan variasi Reynolds Number

Tabel 4.1. Nilai ΔC_p pada sudut 45°

	Inner	Outer	ΔC_p
No IDB	-0,505	-0,096	0,409
IDB 0.064	-0,576	-0,313	0,263
IDB 0.08	-0,623	-0,443	0,180
IDB 0.1	-0,779	-0,797	0,018

Trandline hampir sama juga terjadi pada variasi $IDB / D_h = 0.1$ aliran fluida mengalami deselerasi pada sudut 0° sampai sudut sekitar 2° kemudian aliran mengalami akselerasi pada sudut 3° sampai sudut 25° lalu aliran mengalami kestabilan sampai pada sudut 90° . Pada sisi *outer wall* menunjukkan aliran fluida mengalami deselerasi sampai sudut 9° , kemudian aliran mengalami kestabilan sampai sudut 88° , kemudian mengalami penurunan sampai sudut 90° . Akselerasi pada grafik ini menunjukkan bahwa aliran mengalami penurunan kecepatan, sedangkan deselerasi pada grafik ini menunjukkan peningkatan kecepatan. Tekanan dan kecepatan

mempunyai hubungan terbalik. Apabila kecepatan tinggi maka tekanan rendah, sebaliknya apabila kecepatan rendah berarti tekanan tinggi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dibahas pada bab analisa dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan setiap variasi model uji tidak begitu signifikan baik dari *ducting* tanpa maupun dengan *IDB*. Dengan adanya penambahan *IDB* aliran lebih kuat mengarah ke sisi *outer wall* sehingga aliran utama tidak bisa mengatasi *adverse pressure* yang diakibatkan oleh kelengkungan *elbow*.
2. Kontur *pathline* yang terbentuk pada setiap variasi berbeda dimana dengan efek penambahan *IDB* dan semakin besarnya nilai *Re* ternyata membuat aliran *sekunder* yang terbentuk semakin kuat sehingga *pressure drop* yang terjadi semakin besar.
3. Nilai *pressure drop* yang terjadi sepanjang aliran yang melewati *ducting* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan variasi *IDB* dan makin meningkatnya nilai *Re* yang diberikan. Hal ini disebabkan makin meningkatnya *Head losse total* yang dihasilkan dari penambahan *IDB*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil studi numerik yang dilakukan, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki sehingga diperoleh hasil yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya. Beberapa saran yang diajukan penulis diantaranya:

- 1) Memperpanjang saluran *upstream* hingga mencapai 25 sampai dengan 40 D_h , agar dapat terlihat sejauh mana aliran mencapai *fully developed*.
- 2) Meletakkan *IDB* pada *elbow* dengan sedikit lebih dijauhkan dari sisi *inner wall* seperti 5 sampai 10 mm, diharapkan dengan menjauhkan letak *IDB IDB* dapat menunda terjadinya separasi aliran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- A.W. Wawan & P. P. Randi. 2014. Reduction of Drag Force on a Circular Cylinder and Pressure Drop Using a Square Cylinder as Disturbance Body in a Narrow Channel. Mechanical Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology.
- Cheng, D.Y., 1994. "Laminar Flow Elbow System and Method", U.s. Patent Documents, No. 5,323,661.
- Choi, J. H & Lee, S. J., 2000 "Flow Characteristic Around an Inclined Elliptic Cylinder in a Turbulent Boundary Layer", Journal of Fluids and Structures (2001) 15, 1123-1135
- Danbon, F., Sollicc, C., June 2000. "Aerodynamic Torque of a Butterfly Valve-Influence of an Elbow on the Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque.", ASME Journal of Fluids Engineering, Vol.122, pp.337-344.
- Dutta, Prasun & Nandi, Nityananda., 2016. "Effect of Reynolds Number and Curvature Ratio On Single Phase Turbulent Flow in Pipe Bends" Mechanic and Mechanical Engineering 2015; vol.19, no. 1: 5-16
- D.S Miller., 1990. "Internal Flow System" BHRA (Information Service): 2nd - edition.
- Fox, R.W., Mc Donald, A.T. dan Pritchard, P.J. 2011. Introduction to Fluid Mechanics, 8th Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Hardian, Aqfha., 2017. Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Jarak Inlet Disturbance Body terhadap Aliran melalui Square Duct dengan Elbow 90°.Jurnal, Teknik Mesin ITS Surabaya.
- Mahir, Necati., 2009. "Three – dimensional Flow Around A Square Cylinder Near A Wall" Ocean Engineering 2009; 36: 357-367
- Moujaes S.F., S. Aekula. 2009. CFD Predictions and Experimental Comparisons of Pressure Drop Effect of Turning Vanes in 90° Duct Elbows. JOURNAL OF ENERGY ENGINEERING © ASCE.
- Nakayama Y., dan Boucher R.F., 1998. Introduction to Fluid Mechanics. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Ozgoren, Muammer., 2006. "Flow Structure in the downstream of Square and Circular Cylinders", Flow Measurement and Instrumentation 2006; 17: 225-235.

- Rup, K., sarna, P., 2011. Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow, Flow Measurement and Instrumentation 2011; 22: 383-391
- Sonny A.L.H. & wawan. 2017. Study Eksperimen Karakteristik Aliran Melalui Square Duct Dengan Oriented Square Cylinder Sebagai Inlet Disturbance Body Di Dalam Elbow 90°. Jurnal, Teknik Mesin ITS Surabaya.
- Sutardi, A. W. Wawan, Affan.ibnu, Iswati, dan M. D. Sutrisno. (2010). Experimental study of the effect of Guide Vane Insertion and Reynolds Numbers on the Flow Pressure Drop in a 90° Rectangular Elbow. Journal, Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

Lampiran 1

Tabel 1. *Pressure Drop section inlet dan outlet ducting*

1,59 x 10 ⁴			
Variasi IDB	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP(Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-0,201	-3,574	3,373
<i>L/DH = 0.064</i>	-0,269	-3,756	3,488
<i>L/DH = 0.08</i>	-0,275	-4,046	3,771
<i>L/DH = 0.1</i>	-0,200	-4,235	4,035
4,77 x 10 ⁴			
Variasi IDB	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP(Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-0,694	-16,370	15,676
<i>L/DH = 0.064</i>	-0,709	-19,442	18,733
<i>L/DH = 0.08</i>	-0,702	-19,886	19,184
<i>L/DH = 0.1</i>	-0,689	-21,238	20,549
9,55 x 10 ⁴			
Variasi IDB	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP(Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-1,838	-54,515	52,678
<i>L/DH = 0.064</i>	-1,890	-65,248	63,358
<i>L/DH = 0.08</i>	-1,878	-68,472	66,596
<i>L/DH = 0.1</i>	-1,829	-73,167	71,338

Tabel 2. Pressure Drop section inlet dan outlet Upstream

1,59 x 10 ⁴			
<i>Upstream</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-0,201	-1,216	1,015
<i>L/Dh = 0.064</i>	-0,269	-1,567	1,298
<i>L/Dh = 0.08</i>	-0,275	-1,269	0,994
<i>L/Dh = 0.1</i>	-0,200	-1,264	1,065

4,77 x 10 ⁴			
<i>Upstream</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-0,694	-5,406	4,712
<i>L/Dh = 0.064</i>	-0,709	-5,479	4,769
<i>L/Dh = 0.08</i>	-0,702	-5,428	4,726
<i>L/Dh = 0.1</i>	-0,689	-5,301	4,612

9,55 x 10 ⁴			
<i>upstream</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-1,838	-17,503	15,665
<i>L/Dh = 0.064</i>	-1,890	-17,606	15,716
<i>L/Dh = 0.08</i>	-1,878	-17,472	15,593
<i>L/Dh = 0.1</i>	-1,829	-16,634	14,805

Tabel 3. Pressure Drop section inlet dan outlet elbow 90°

1,59 x 10 ⁴			
<i>Elbow</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-1,216	-1,817	0,602
<i>L/Dh = 0.064</i>	-1,567	-2,116	0,550
<i>L/Dh = 0.08</i>	-1,269	-2,352	1,083
<i>L/Dh = 0.1</i>	-1,264	-2,494	1,229

4,77 x 10 ⁴			
<i>Elbow</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-5,406	-8,362	2,956
<i>L/Dh = 0.064</i>	-5,479	-11,919	6,440
<i>L/Dh = 0.08</i>	-5,428	-12,905	7,477
<i>L/Dh = 0.1</i>	-5,301	-14,154	8,853

9,55 x 10 ⁴			
<i>Elbow</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-17,503	-27,699	10,197
<i>L/Dh = 0.064</i>	-17,606	-40,972	23,365
<i>L/Dh = 0.08</i>	-17,472	-45,948	28,477
<i>L/Dh = 0.1</i>	-16,634	-50,651	34,017

Tabel 4. Pressure Drop section inlet dan outlet Downstream

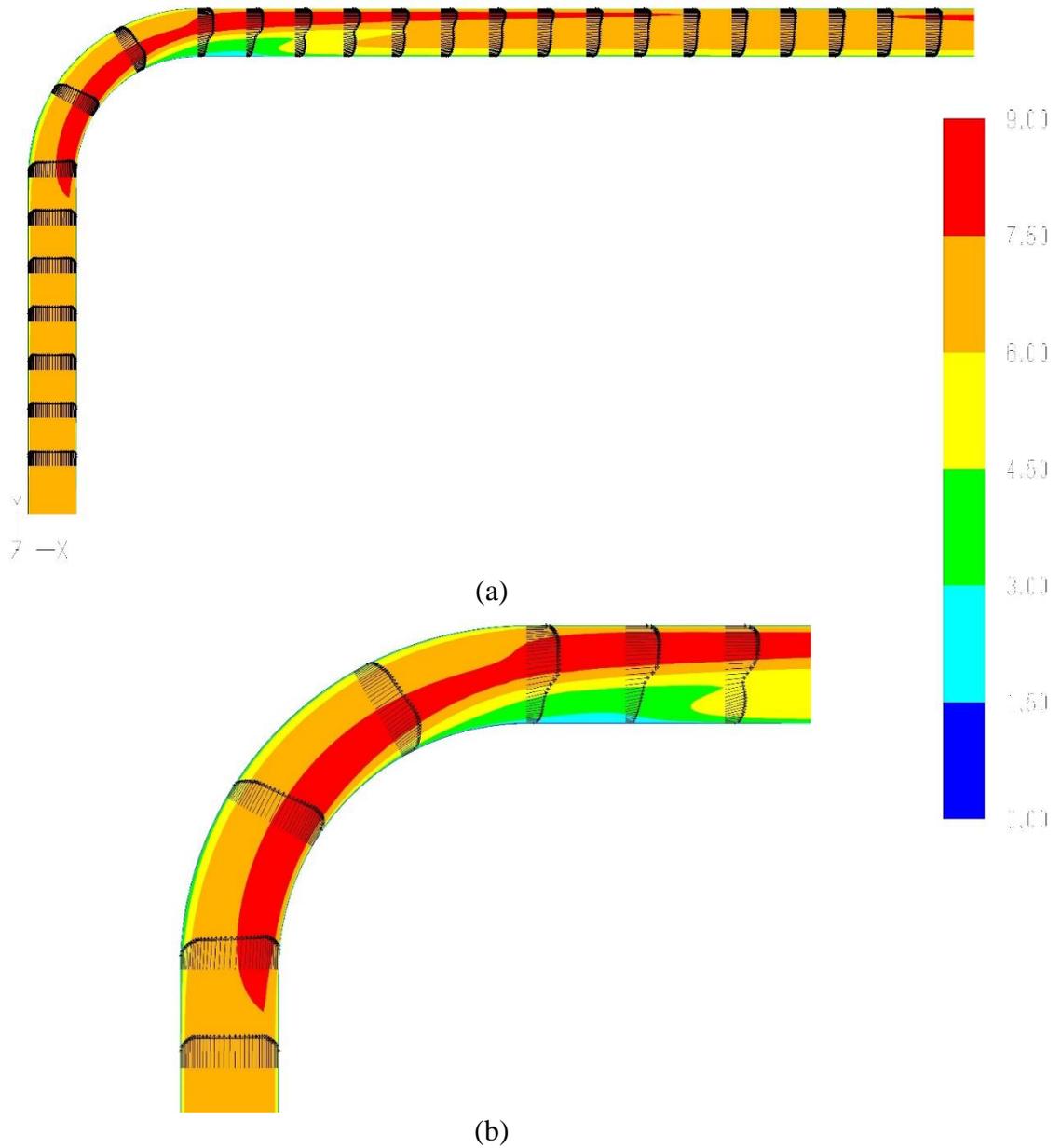
1,59 x 10 ⁴			
<i>Downstream</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-1,817	-3,574	1,757
<i>L/Dh = 0.064</i>	-2,116	-3,756	1,640
<i>L/Dh = 0.08</i>	-2,352	-4,046	1,694
<i>L/Dh = 0.1</i>	-2,494	-4,235	1,741

4,77 x 10 ⁴			
<i>Downstream</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-8,362	-16,370	8,007
<i>L/Dh = 0.064</i>	-11,919	-19,442	7,524
<i>L/Dh = 0.08</i>	-12,905	-19,886	6,981
<i>L/Dh = 0.1</i>	-14,154	-21,238	7,083

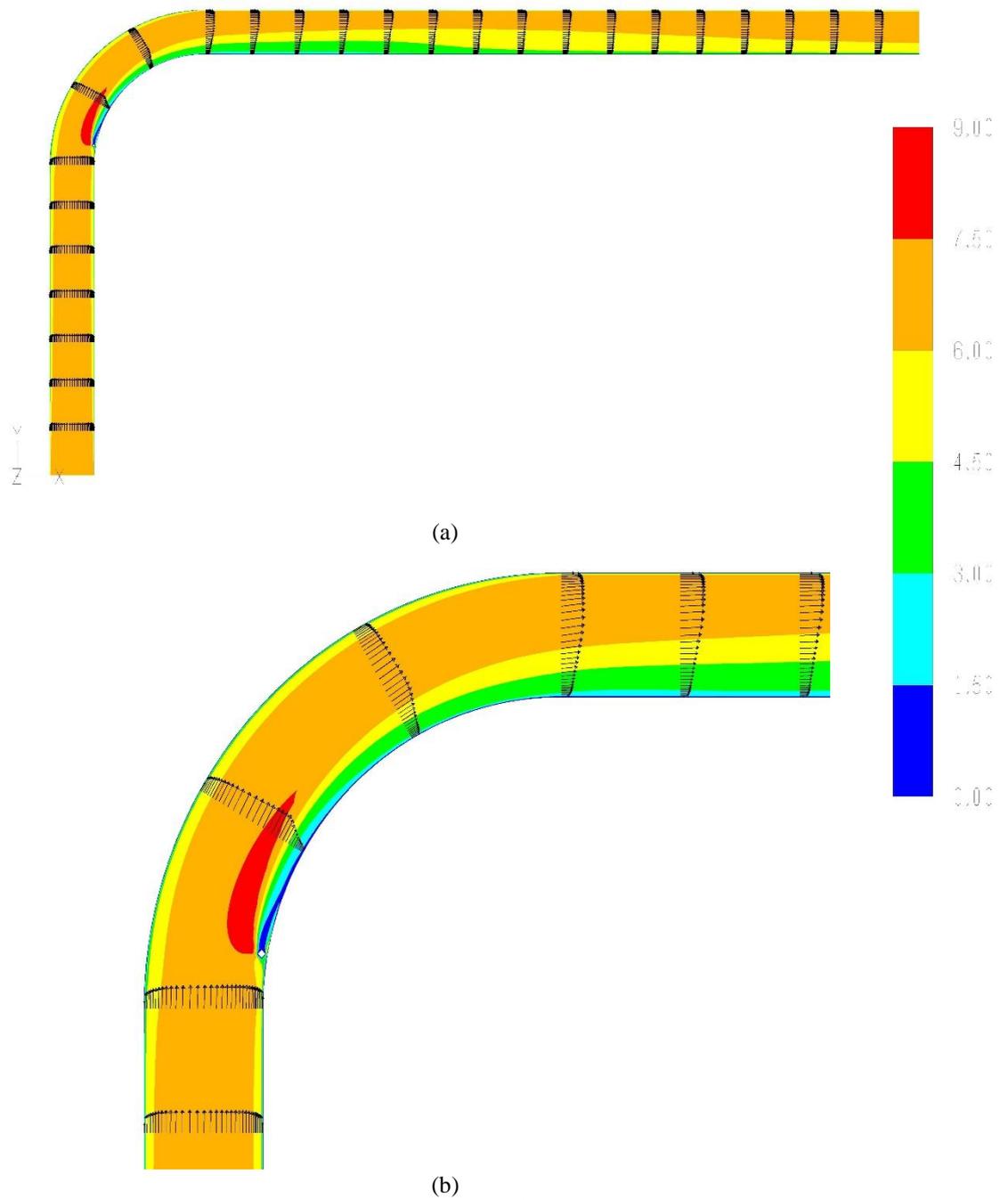
9,55 x 10 ⁴			
<i>Downstream</i>	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
<i>TANPA IDB</i>	-27,699	-54,515	26,816
<i>L/Dh = 0.064</i>	-40,972	-65,248	24,277
<i>L/Dh = 0.08</i>	-45,948	-68,472	22,524
<i>L/Dh = 0.1</i>	-50,651	-73,167	22,516

LAMPIRAN 2

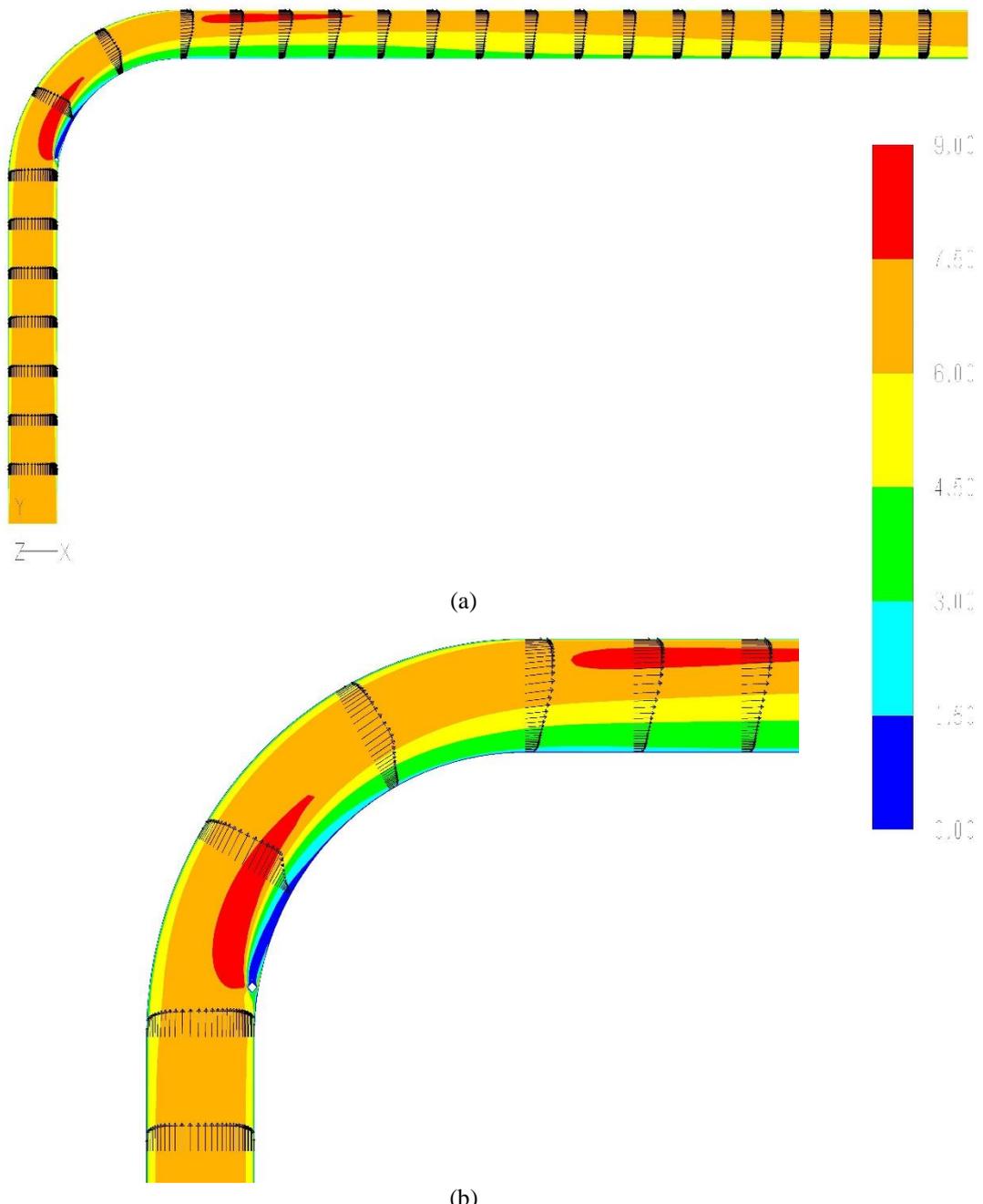
Kontur dan Profil Kecepatan Pada $Re=4.77 \times 10^4$



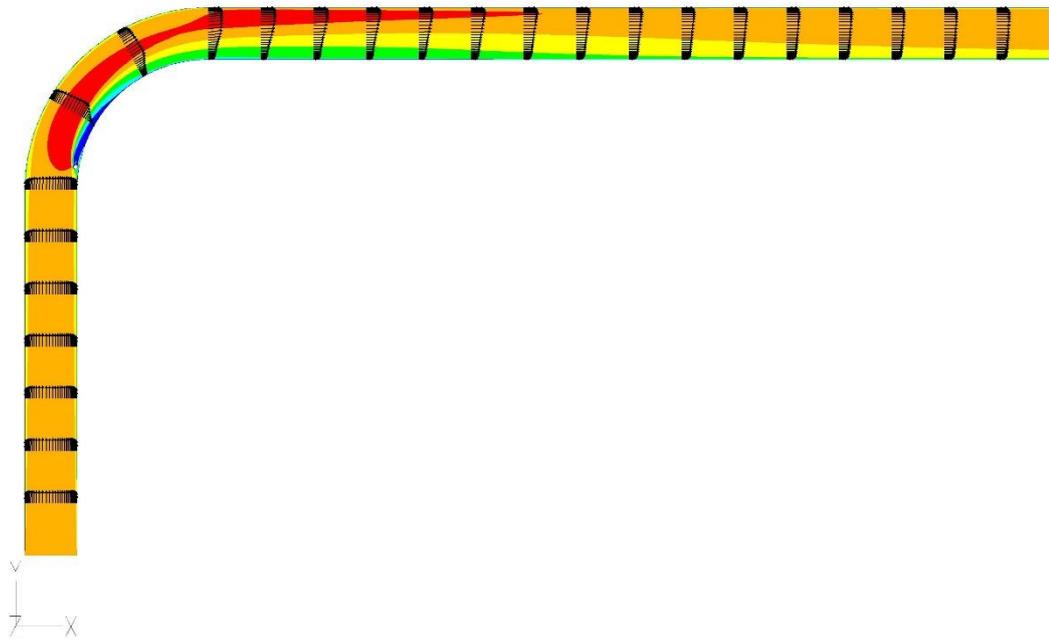
Gambar L2.1. Kontur kecepatan pada $Re=4.77 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* tanpa IDB
(b). aliran pada *elbow* tanpa IDB



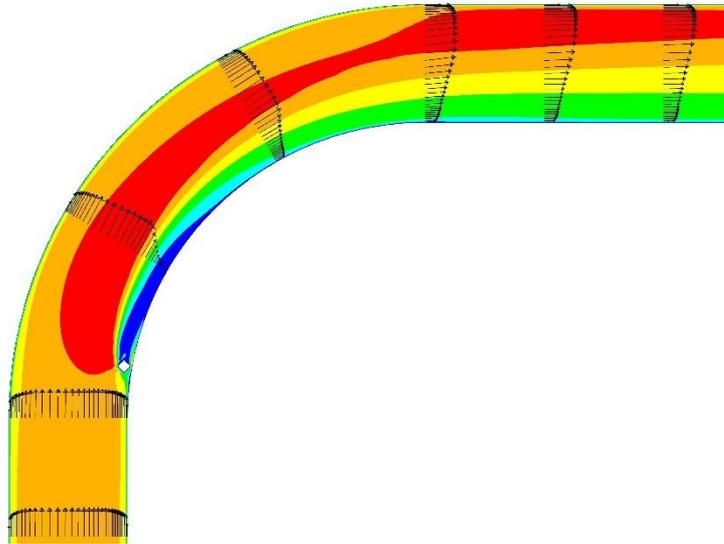
Gambar L2.2. Kontur kecepatan pada $Re=4.77 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* dengan IDB $L/Dh=0.064$
 (b). aliran pada *elbow* dengan IDB $L/Dh=0.064$



(a)
 (b)
Gambar L2.3. Kontur kecepatan pada $Re=4.77 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* dengan IDB $L/Dh=0.08$
 (b). aliran pada *elbow* dengan IDB $L/Dh=0.08$

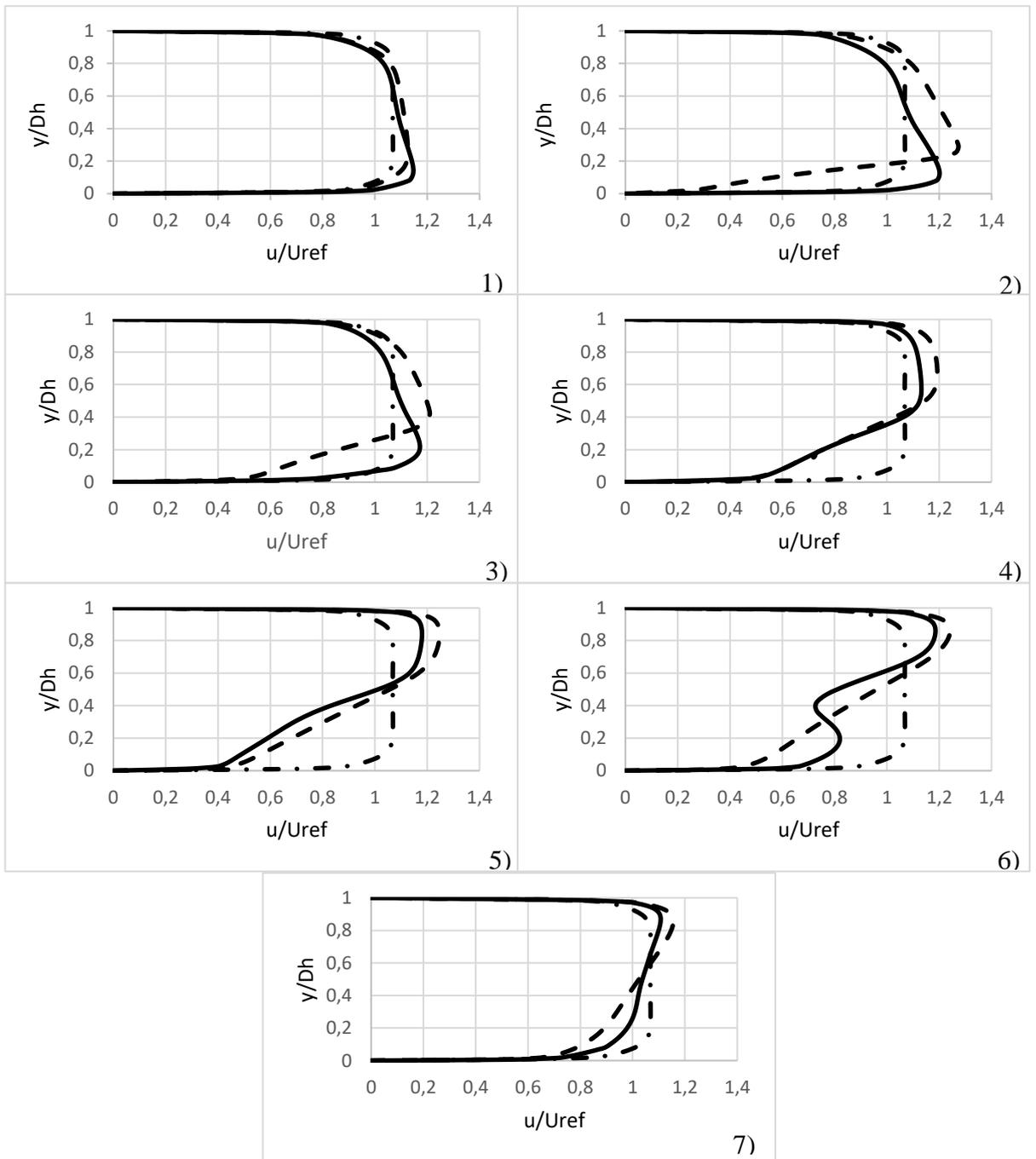


(a)



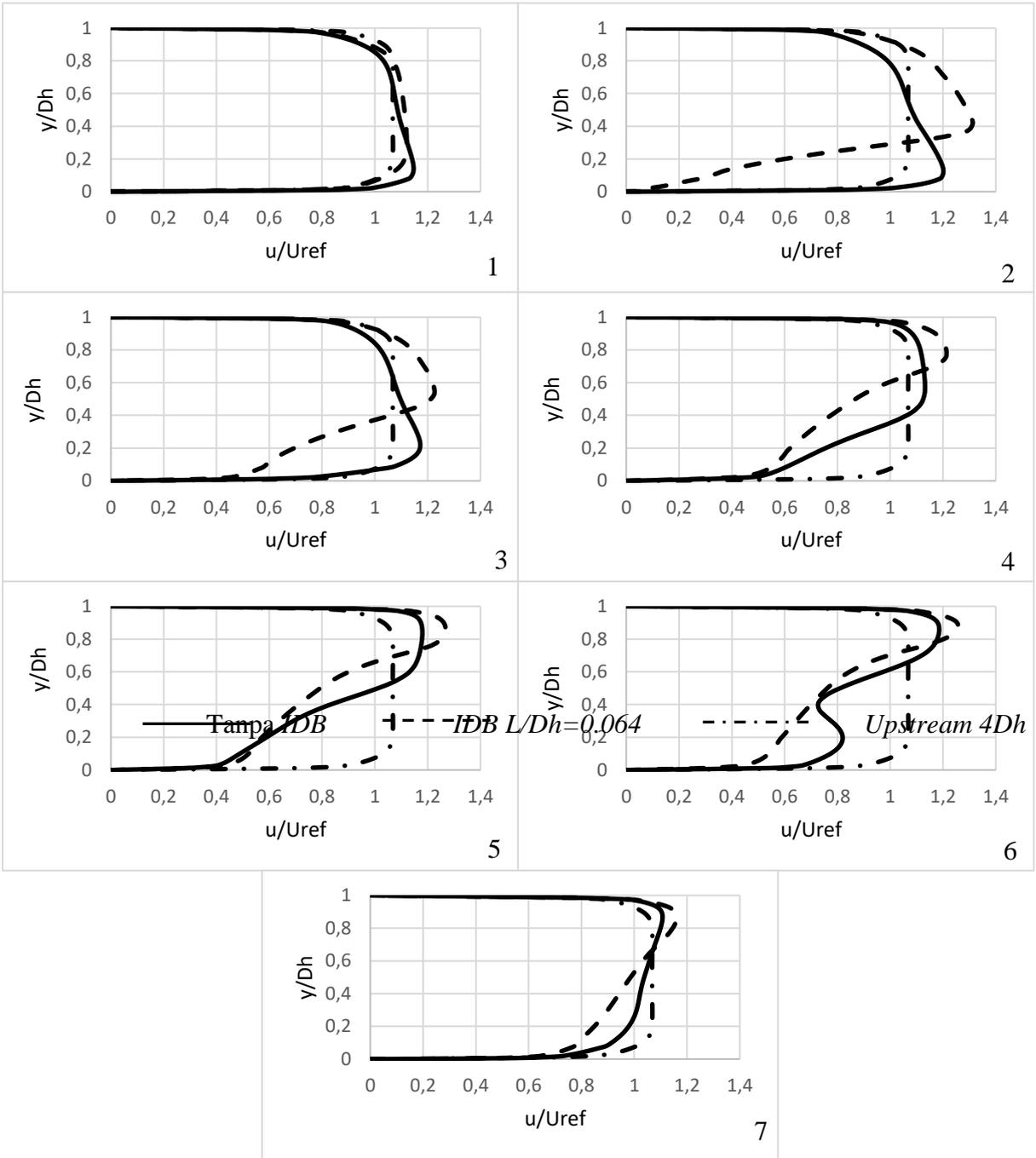
(b)

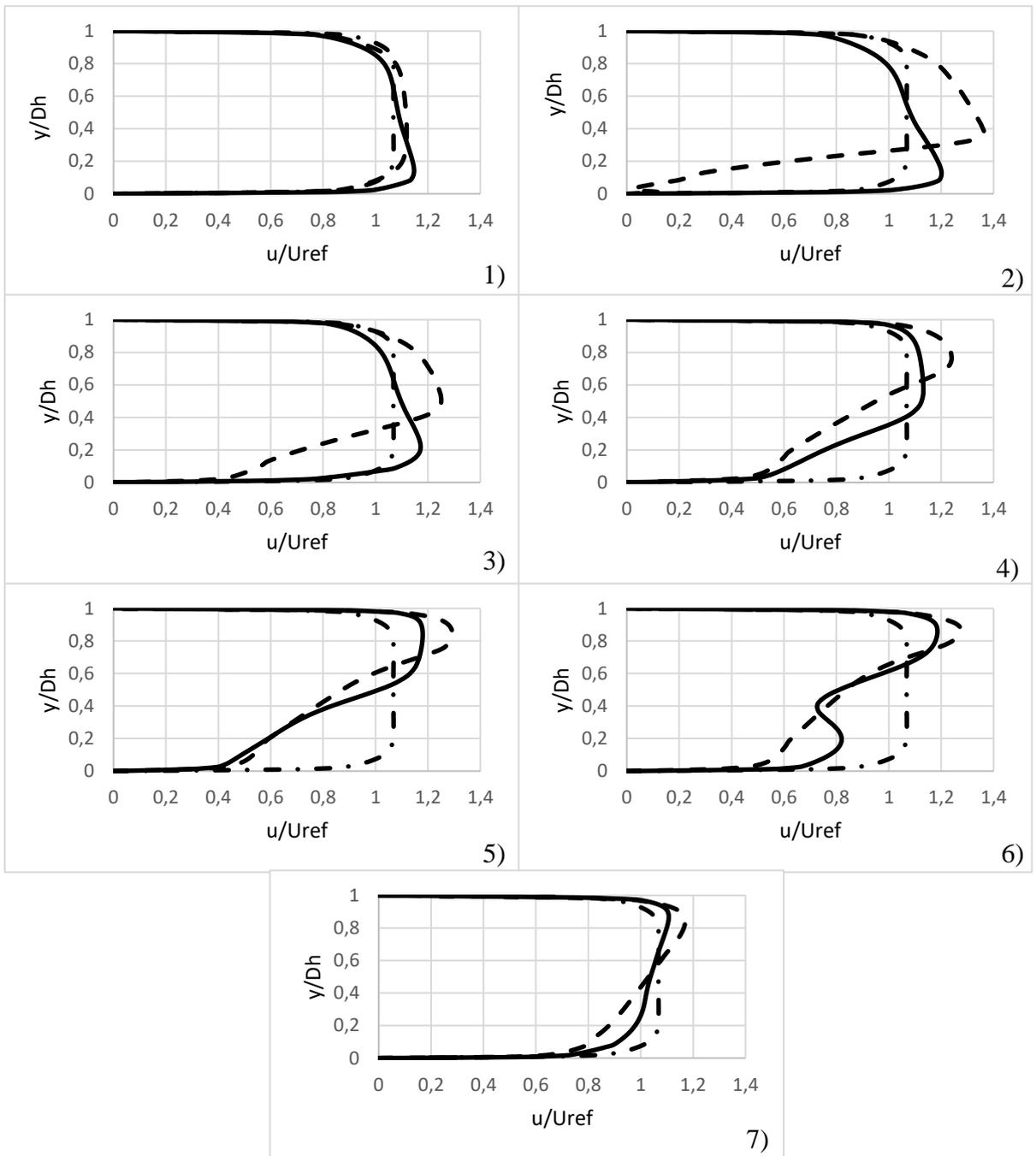
Gambar L2.4. Kontur kecepatan pada $Re=4.77 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* dengan $IDB L/Dh=0.1$
 (b). aliran pada *elbow* dengan $IDB L/Dh=0.1$



— Tanpa IDB - - - IDB $L/D_h=0.064$ - · - · - · Upstream $4D_h$

Gambar L2.5. Profil kecepatan tanpa dan dengan IDB L/D_h 0.064 pada $Re=4.77 \times 10^4$
 1) Sudut 0° 2) sudut 30° 3) sudut 60° 4) sudut 90° 5) $x/D_h = 1$ 6) $x/D_h = 3$ 7) $x/D_h = 10$
 (posisi pengambilan data bias dilihat pada gambar 3.5)





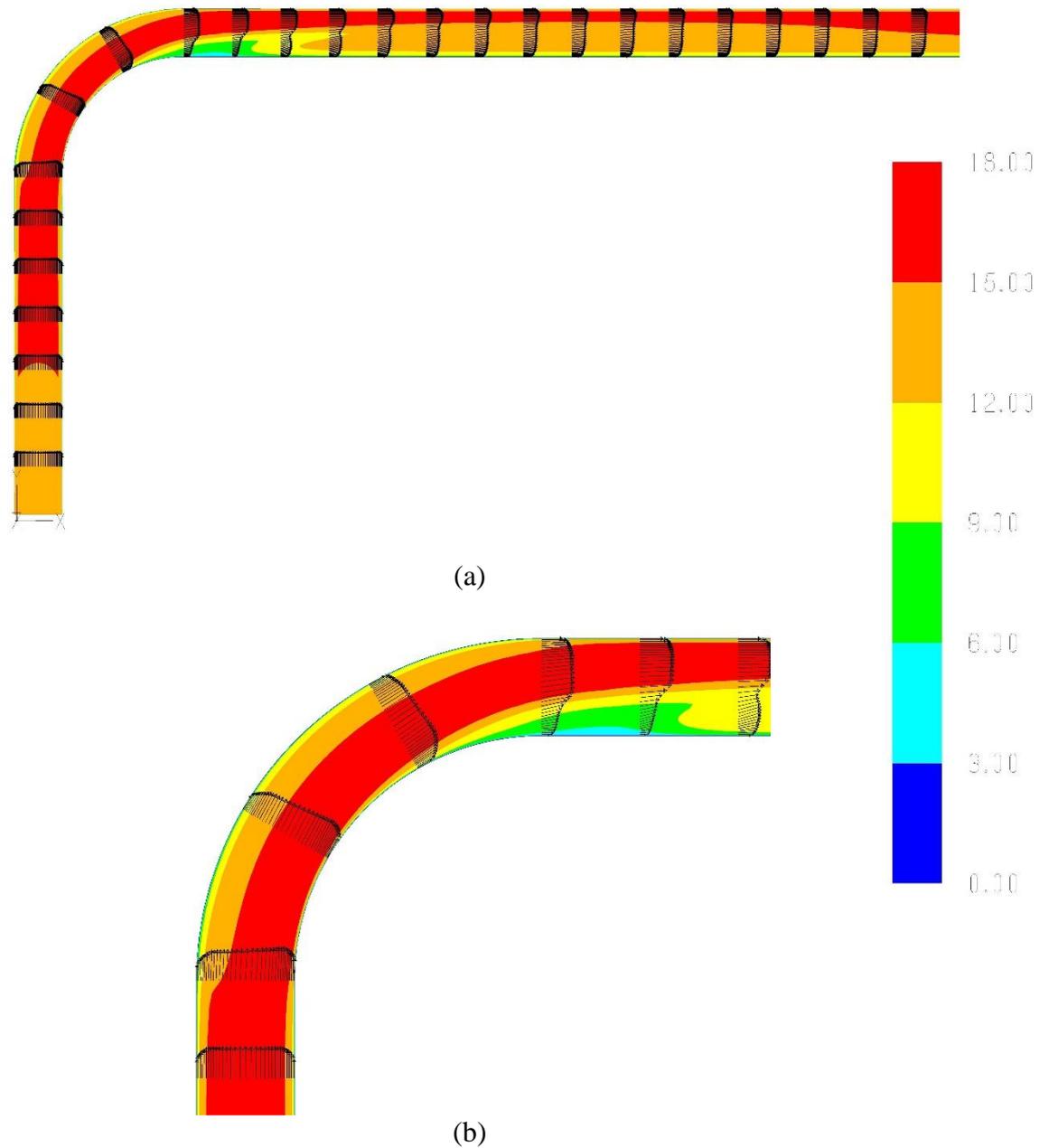
— Tanpa IDB - - - IDB $L/D_h = 0.064$ - · - · - Upstream $4D_h$

Gambar L2.7. Profil kecepatan tanpa dan dengan IDB $l/D_h 0.1$ pada $Re = 4.77 \times 10^4$
 1) Sudut 0° 2) sudut 30° 3) sudut 60° 4) sudut 90° 5) $x/D_h = 1$ 6) $x/D_h = 3$ 7) $x/D_h = 10$
 (posisi pengambilan data bias dilihat pada gambar 3.5)

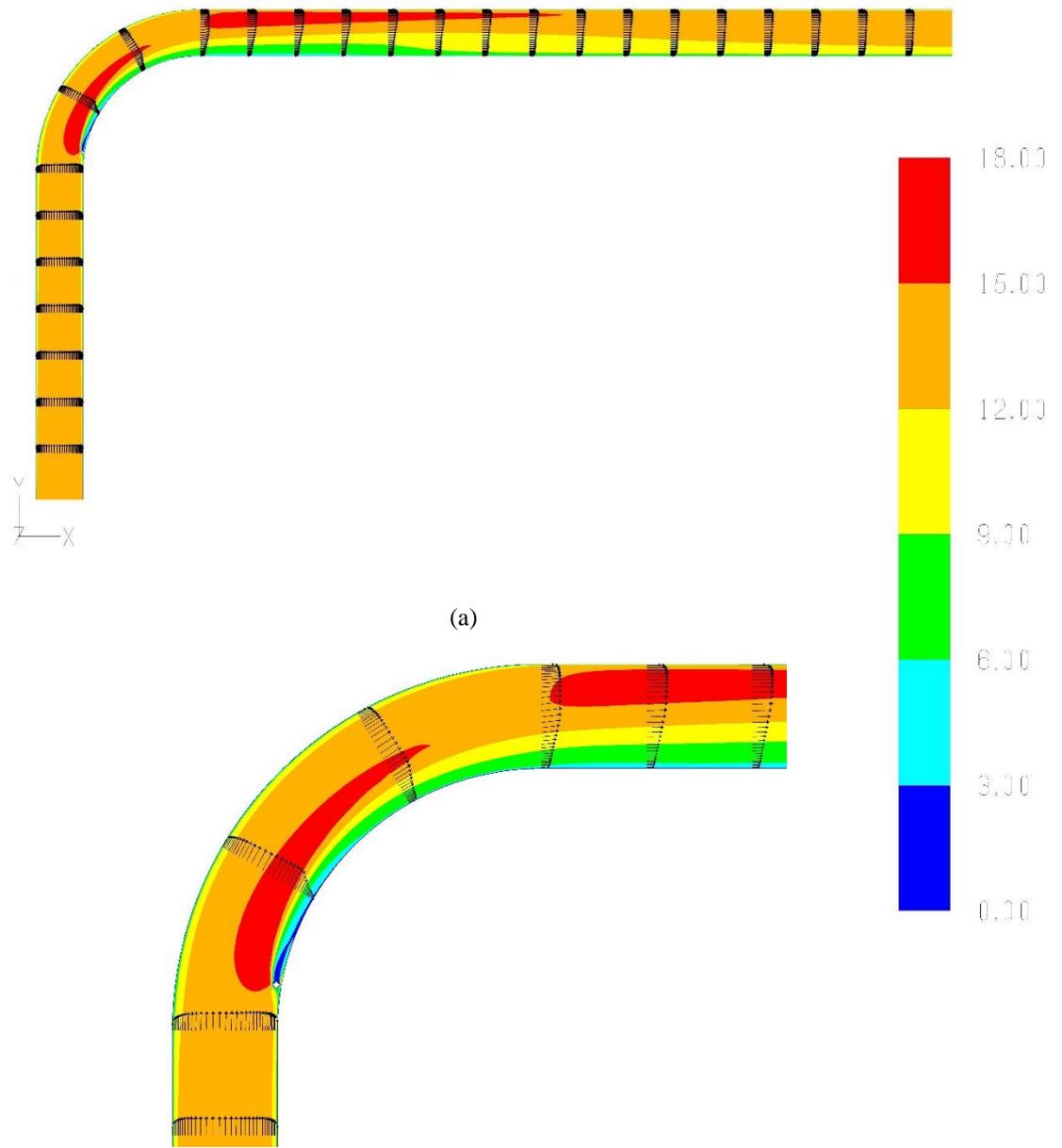
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3

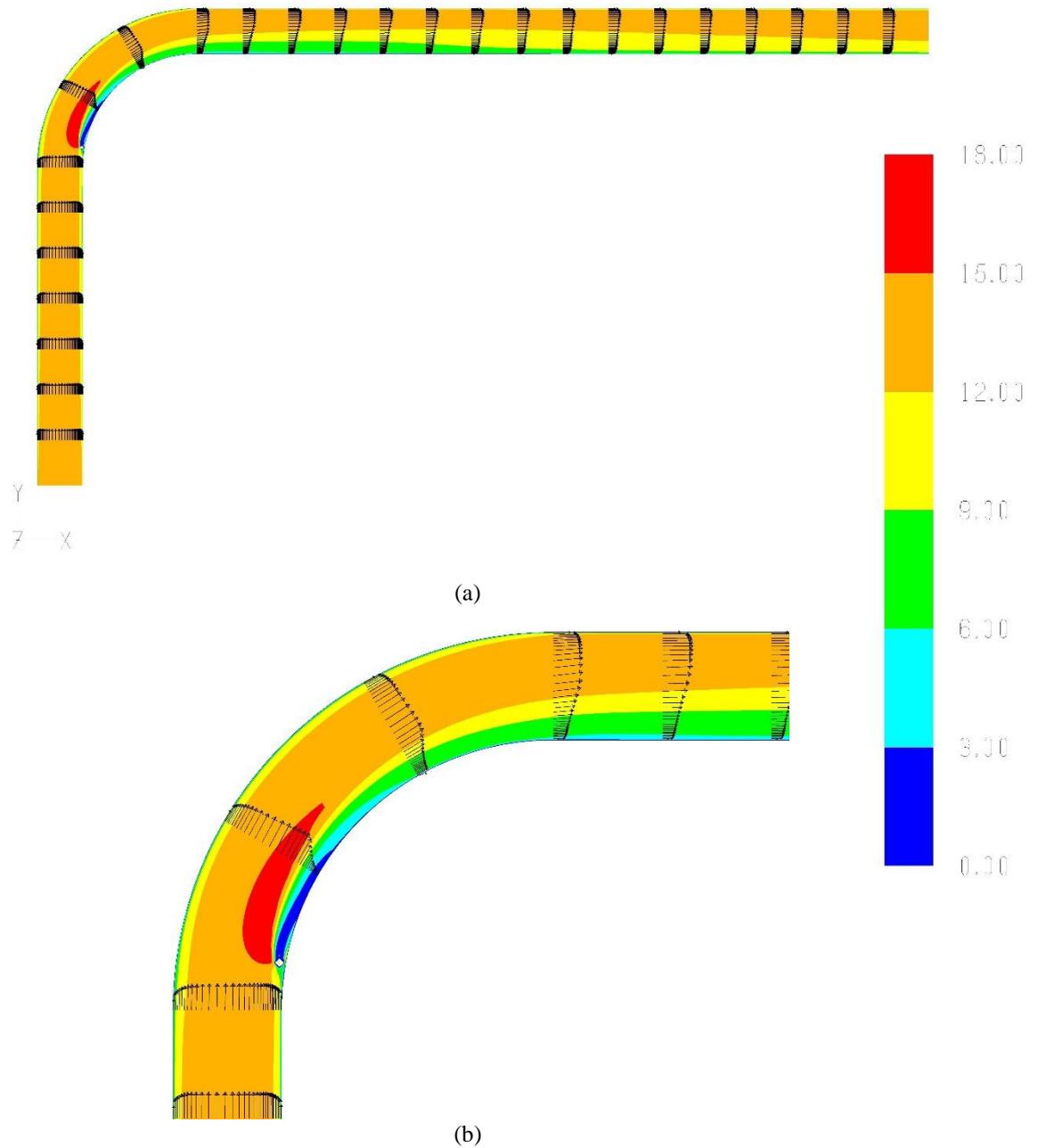
Kontur dan Profil kecepatan pada $Re=9.55 \times 10^4$



Gambar L3.1. Kontur kecepatan pada $Re=9.55 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* tanpa IDB
(b). aliran pada *elbow* tanpa IDB

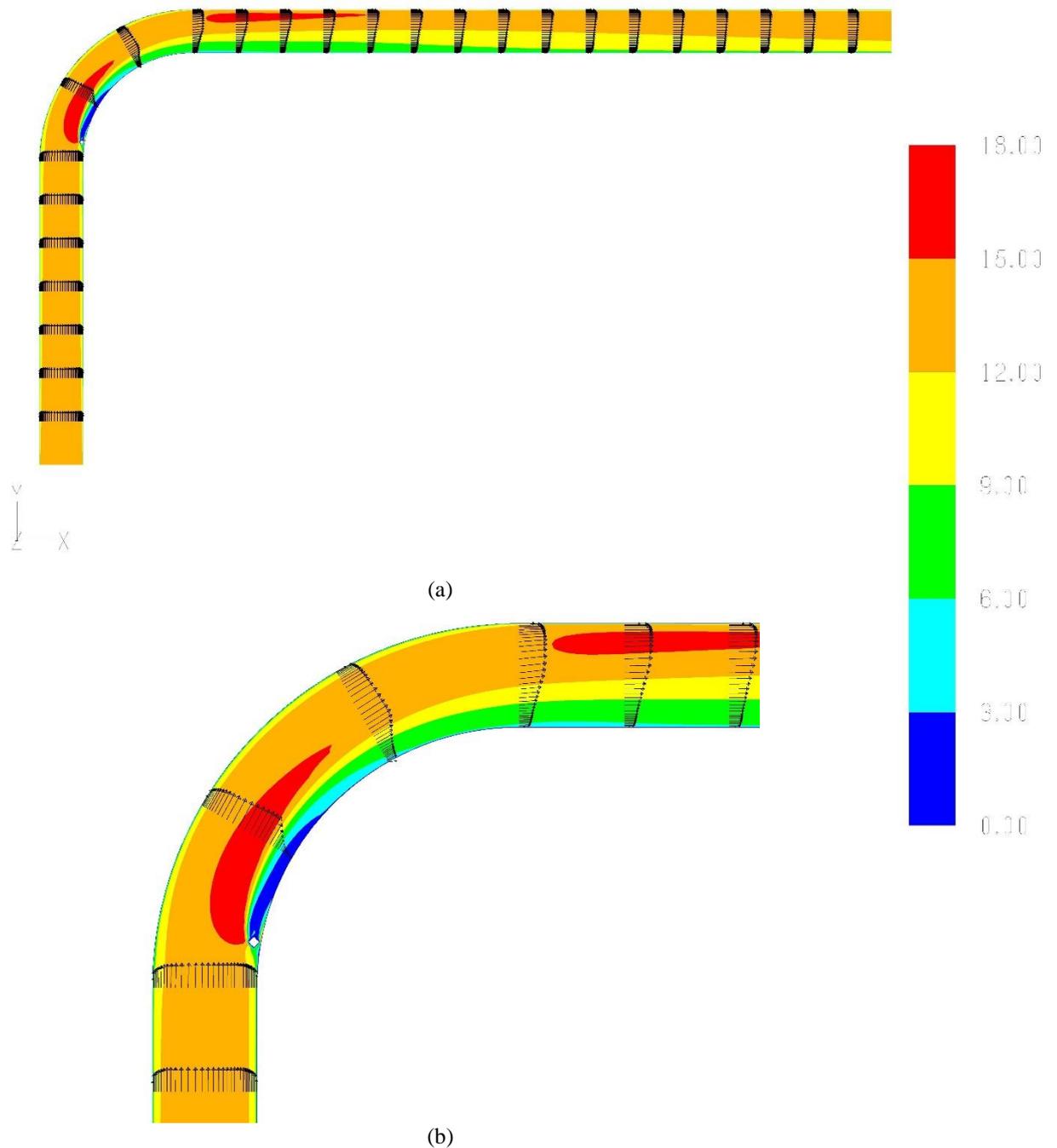


(a)
Gambar L3.2. Kontur kecepatan pada $Re=9.55 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* dengan IDB $L/Dh=0.064$
 (b). aliran pada *elbow* dengan IDB $L/Dh=0.064$

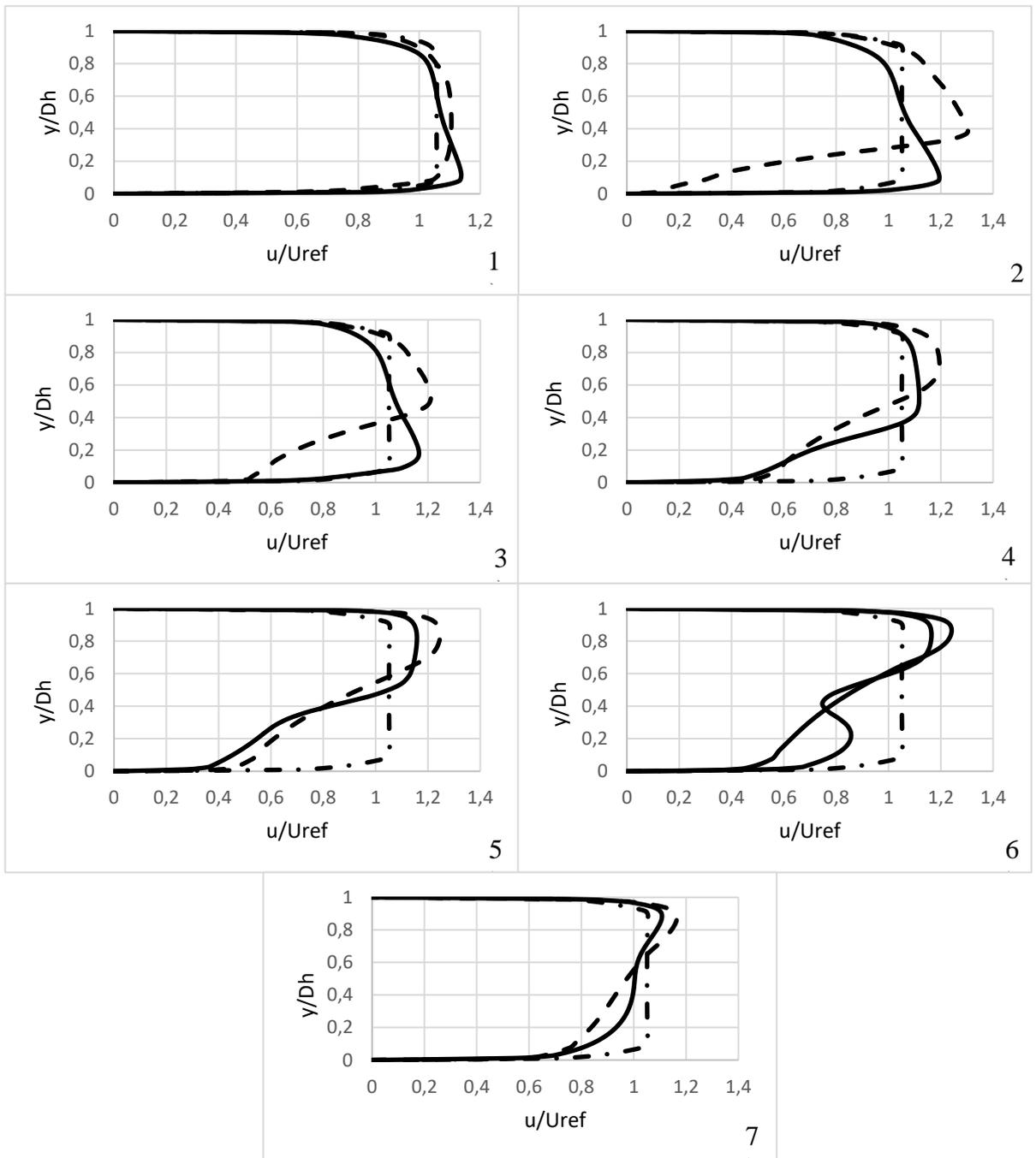


(a)
 (b)

Gambar L3.3. Kontur kecepatan pada $Re=9.55 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* dengan *IDB* $L/Dh=0.08$
 (b). aliran pada *elbow* dengan *IDB* $L/Dh=0.08$

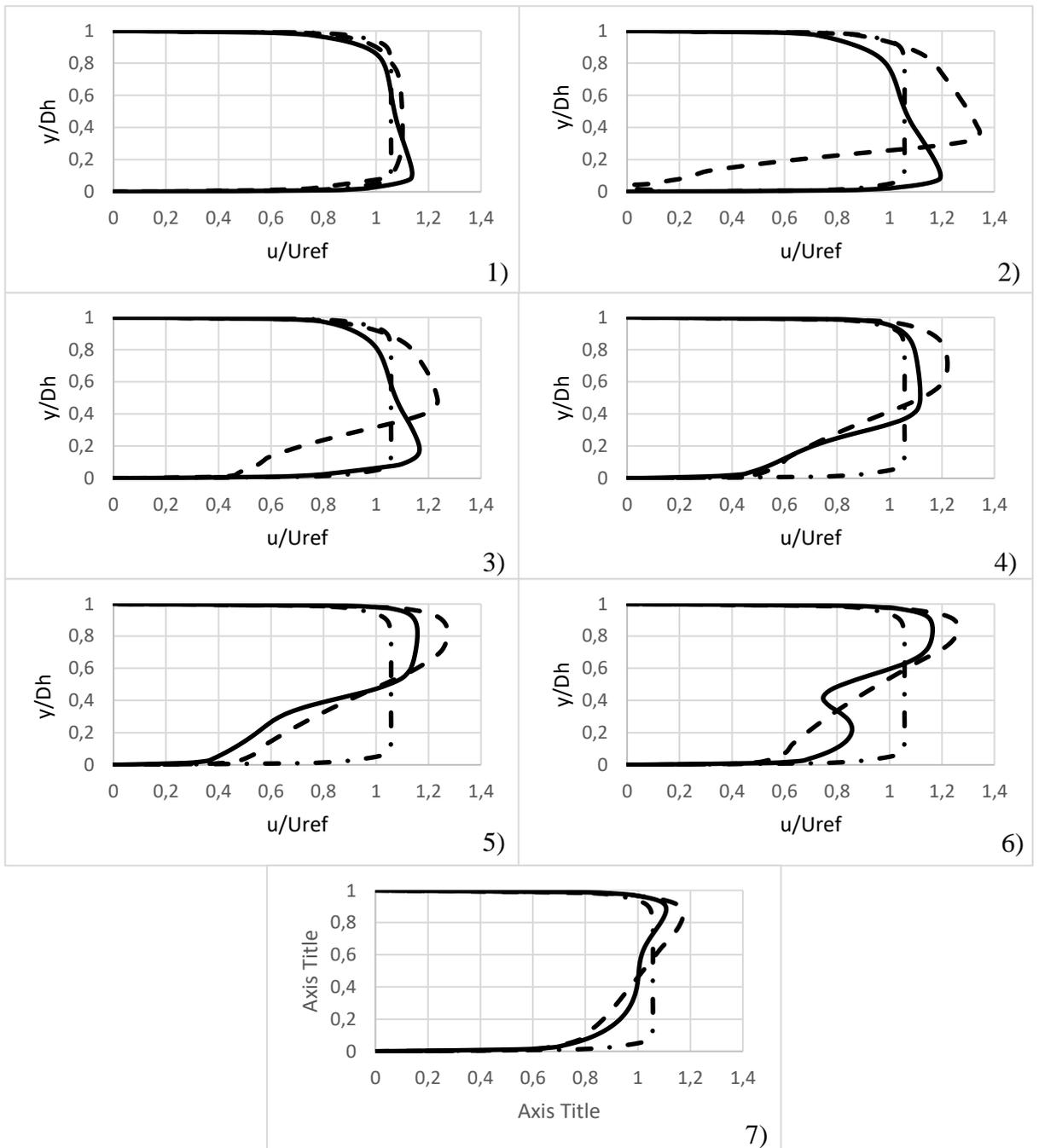


Gambar L3.4. Kontur kecepatan pada $Re=9.55 \times 10^4$ (a). aliran pada *ducting* dengan $IDB L/Dh=0.1$
 (b). aliran pada *elbow* dengan $IDB L/Dh=0.1$



———— Tanpa IDB - - - - - IDB $L/D_h=0.08$ - · - · - · - · Upstream $4D_h$

Gambar L3.6. Profil kecepatan tanpa dan dengan IDB $L/D_h 0.08$ pada $Re=9.55 \times 10^4$
 2) Sudut 0° 3) sudut 30° 4) sudut 60° 5) sudut 90° 6) $x/D_h = 1$ 7) $x/D_h = 3$ 7) $x/D_h = 10$
 (posisi pengambilan data bias dilihat pada gambar 3.5)



———— Tanpa IDB - - - - - IDB $L/D_h=0.08$ - · - · - · - · - Upstream $4D_h$

Gambar L3.7. Profil kecepatan tanpa dan dengan IDB $l/D_h 0.1$ pada $Re=9.55 \times 10^4$
 2) Sudut 0° 2) sudut 30° 3) sudut 60° 4) sudut 90° 5) $x/D_h = 1$ 6) $x/D_h = 3$ 7) $x/D_h = 10$
 (posisi pengambilan data bias dilihat pada gambar 3.5)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT PENULIS



Yogi Eka Fernandes merupakan nama lengkap dari penulis tesis ini. Penulis yang terlahir di Sekayu pada 28 Juni 1993 ini merupakan anak pertama dari 2 saudara dari pasangan Bapak Siryon dan Ibu Andes Maria. Penulis memulai pendidikan formalnya mulai tahun 1999 di SDN 2 Sekayu. Setelah lulus tahun 2005 penulis melanjutkan ke SMP Negeri 6 Unggul Sekayu dan kemudian melanjutkan ke SMA Negeri 2 Sekayu pada tahun 2008. Setelah menyelesaikan studi tingkat menengah atas, penulis menempuh pendidikan di Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif FT UNP pada tahun 2011. Penulis melanjutkan Pendidikan-nya tahun 2016 pada Program Studi Magister.

Harapan besar penulis adalah bisa memanfaatkan usia yang masih muda ini untuk terus belajar dan berkarya. Belajar sampai akhir menutup mata, berkarya hingga dikenang sepanjang masa, dan beribadah hingga nyawa tidak lagi ada. Akhir kata bila ada kritik dan saran bisa disampaikan melalui surat elektronik pada yogiekaf@gmail.com.