



TUGAS AKHIR - TM091486

# STUDI NUMERIK PENGARUH PENAMBAHAN BODI PENGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA MELINTASI SILINDER UTAMA

"Studi Kasus: Pengaruh penambahan bodi pengganggu dengan sudut ( $\alpha$ ) :  $10^\circ$  ,  $20^\circ$  ,  $30^\circ$  , dan  $40^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ ) =  $2 \times 10^4$  and  $4 \times 10^4$ "

EDWIN FADILAH  
NRP. 2111 106 018

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

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



TUGAS AKHIR - TM091486

## STUDI NUMERIK PENGARUH PENAMBAHAN BODI PENGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA MELINTASI SILINDER UTAMA

"Studi Kasus: Pengaruh penambahan bodi pengganggu dengan sudut ( $\alpha$ ) :  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $40^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ ) =  $2 \times 10^4$  and  $4 \times 10^4$ "

EDWIN FADILAH  
NRP. 2111 106 018

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

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM091486

# NUMERICAL STUDY EFFECT OF THE ADDITION OF DISTURBANCE BODY ON THE CHARACTERISTIC OF FLUID FLOW ACROSS MAIN CYLINDER

"Case Study: Effect of The Addition of Disturbance Body at an Angle ( $\alpha$ ) :  $10^\circ$  ,  $20^\circ$  ,  
 $30^\circ$  and  $40^\circ$  with The *Reynolds Number* ( $Re$ ) =  $2 \times 10^4$  and  $4 \times 10^4$ "

EDWIN FADILAH  
NRP. 2111 106 018

Advisor  
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng, Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM091486

## NUMERICAL STUDY EFFECT OF THE ADDITION OF DISTURBANCE BODY ON THE CHARACTERISTIC OF FLUID FLOW ACROSS MAIN CYLINDER

"Case Study: Effect of The Addition of Disturbance Body at an Angle ( $\alpha$ ) :  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  and  $40^\circ$  with The *Reynolds Number* ( $Re$ ) =  $2 \times 10^4$  and  $4 \times 10^4$ "

EDWIN FADILAH  
NRP. 2111 106 018

Advisor  
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng, Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014



**STUDI NUMERIK PENGARUH PENAMBAHAN BODI  
PENGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN  
FLUIDA MELINTASI SILINDER UTAMA**

<sup>”</sup>Studi Kasus: Pengaruh penambahan bodi pengganggu dengan sudut ( $\alpha$ ) =  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $40^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ ) =  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$

**Nama Mahasiswa : Edwin Fadilah**  
**NRP : 2111 106 018**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI - ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.**

**Abstrak**

*Aliran fluida yang melewati suatu konstruksi bluff body berupa silinder, akan membentuk boundary layer pada sisi upper dan lower akibat pengaruh tegangan geser. Jika momentum aliran fluida tidak mampu untuk melawan efek gesekan dan adverse pressure gradient, maka boundary layer akan mengalami pemisahan dari kontur silinder sehingga terjadilah separasi aliran. Adanya separasi aliran akan menghasilkan area wake di belakang silinder yang mengakibatkan gaya drag. Semakin lebar wake maka gaya drag yang terjadi juga semakin besar. Penelitian tentang usaha untuk mereduksi gaya drag sudah banyak dilakukan. Usaha untuk mereduksi gaya hambat terdiri dari beberapa macam cara, seperti pemberian kekasaran permukaan, pemotongan silinder dengan sudut potong tertentu, dan dengan penambahan bodi pengganggu di depan silinder utama.*

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bodi pengganggu yang menempel pada silinder utama terhadap karakteristik aliran fluida. Bentuk dari bodi pengganggu adalah silinder sirkular yang tepat menempel pada silinder utama. Diameter bodi pengganggu ( $d$ ) sebesar 2 mm sedangkan posisi sudut bodi pengganggu adalah  $\alpha = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ . Diameter silinder utama dari penelitian ini adalah 32 mm. Bilangan Reynolds ( $Re_D$ ) yang digunakan adalah  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$  berdasarkan pada diameter silinder utama dan kecepatan*



*freestream. Studi akan dilakukan secara numerik steady dua dimensi (2D) dengan model turbulensi  $k-\omega$  Shear Stress Transport ( $k-\omega$  SST).*

*Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi fenomena separasi dan reattachment boundary layer pada silinder dengan penambahan bodi pengganggu. Fenomena tersebut dapat dilihat pada visualisasi velocity pathline yang ditandai dengan adanya separasi bubble. Namun secara keseluruhan separasi bubble yang terjadi masih belum efektif untuk menunda separasi, kecuali pada sudut  $\alpha = 10^\circ$  dengan  $Re\ 4 \times 10^4$  yang terjadi penundaan separasi. Selain itu nilai  $C_{Dt}$  secara keseluruhan dengan penambahan bodi pengganggu belum dapat menurunkan  $C_{Dt}$ . Pada  $Re\ 4 \times 10^4$  dengan sudut pengganggu  $\alpha = 10^\circ$  nilai  $C_{Dt}$  dapat menurun sedangkan pada konfigurasi yang lain mengakibatkan nilai  $C_{Dt}$  naik.*

***Kata kunci:*** ***Silinder sirkular, bodi pengganggu,  $k-\omega$  SST, koefisien drag ( $C_D$ ), koefisien tekanan ( $C_p$ ).***



## **NUMERICAL STUDY EFFECT OF THE ADDITION OF DISTURBANCE BODY ON THE CHARACTERISTIC OF FLUID FLOW ACROSS MAIN CYLINDER**

” Case Study: Effect of The Addition of Disturbance Body at an Angle ( $\alpha$ ):  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  and  $40^\circ$  with The Reynolds Number ( $Re$ ) =  $2 \times 10^4$  and  $4 \times 10^4$  “

**Student Name** : Edwin Fadilah  
**NRP** : 2111 106 018  
**Department** : Mechanical Engineering FTI - ITS  
**Advisor** : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

### ***Abstract***

*When fluid flow passes a bluff body such as a cylinder, it will make a boundary layer on the upper and lower sides due to the effect of shear stress. If the momentum of fluid flow is not able to overcome the effect of shear stress and adverse pressure gradient, the boundary layer will separate from the contour of the cylinder. The existence of flow separation results in a wake behind the cylinder that resulting drag force. Wider wake increases the drag force. Researches on efforts to reduce the drag force had been done. Efforts to reduce the drag force encompass several different ways, such as addition of surface roughness, cutting cylinder with a certain cut angle, and addition of disturbance body in front of the main cylinder.*

*The purpose of this study is to determine the effect of a disturbance body attached on the main cylinder on the characteristics of fluid flow. The shape of the disturbance body is circular. The diameter of disturbance body ( $d$ ) is 2 mm, while the position angles of the disturbance body are ( $\alpha$ ) =  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  and  $40^\circ$  respectively. The diameter of the main cylinder ( $D$ ) is 32 mm. Reynolds numbers ( $Re_D$ ) of this study are  $2 \times 10^4$  and  $4 \times 10^4$  based on the diameter and freestream velocity. Numerical study used 2D steady modelling using software Gambit 2.4.6 and Fluent 6.3.26. Gambit software is used to create the geometry, and Fluent software is used to simulate the flow. Turbulence*



model used in this study is  $k-\omega$  Shear Stress Transport ( $k-\omega$  SST).

*The results of this study indicate that there is separation and reattachment phenomena on the cylinder body with the addition of disturbance body. These phenomena can be seen in the velocity pathline visualization characterized by the bubble separation. Overall bubble separations are not effective to delay separation, except for the disturbance at angle  $\alpha = 10^\circ$  with  $Re\ 4 \times 10^4$ . Overall  $C_{D_t}$  with the addition of disturbance body cannot be decreased.*

**Keyword :** *Circular cylinder, disturbance body,  $k-\omega$  SST, drag coefficient ( $C_D$ ), pressure coefficient ( $C_p$ ).*

**STUDI NUMERIK PENGARUH PENAMBAHAN BODI  
PENGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN  
FLUIDA MELINTASI SILINDER UTAMA**

\*Studi Kasus: Pengaruh penambahan bodi pengganggu dengan sudut ( $\alpha$ ) =  $10^\circ$ ,  
 $20^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $40^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ ) =  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**EDWIN FADILAH**  
NRP. 2111 106 018

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :	
1. <u>Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, Ph.D.</u> (NIP. 196412281990031002)	.....(Pembimbing)
2. <u>Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT</u> (NIP.197104051997021001)	.....(Penguji I)
3. <u>Nur Ikhwan, ST, M.Eng.</u> (NIP.196709151995121001)	.....(Penguji II)
4. <u>Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, Ph.D.</u> (NIP.197512062005011002)	.....(Penguji III)

**SURABAYA  
JANUARI 2014**



---

## **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. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen wali penulis yang selalu mengarahkan dan memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
2. Orang tua tercinta beserta keluarga yang selama ini mendukung penulis dalam proses belajar baik dukungan moril, materil dan spiritual.
3. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST. MT, Nur Ikhwan ST. M.Eng, dan Dedy Zulhidayat Noor, ST. MT. Ph.D, selaku dosen penguji tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Kakak tercinta Agus Taufik Akbar dan Farah Latifah Nur Fauziah yang selalu memberikan inspirasi dan pengalaman yang luar biasa.
5. Alnis laksmi karissa, ibu umy, bapa adja dan de alfie yang telah memberikan motivasi dan doa.
6. Opik teman seperjuangan dari Bandung yang sering membantu penulis selama di Surabaya.
7. Kang shofa dan bang koko yang telah memberikan saran dan bantuan kepada penulis selama di Surabaya.
8. Rekan satu tim tugas akhir penulis yaitu bang Thomas, Adityas, Dio, Mega yang selalu memberikan dukungan dan kerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.



9. Teman satu kos pa suhud yaitu mas dika, dima, fadli, fikri, arie, dito, misbah yang senantiasa saling membantu selama penulis di Surabaya.
10. Teman-teman LJ 2011/2012 genap, terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini. Semoga kita semua tidak lupa satu sama lain setelah keluar dari jurusan kita tercinta.
11. Rekan-rekan Alumni SMAN 3 BANDUNG yang selalu memberikan dukungan dan semangat juang yang tinggi.
12. Kepada rekan-rekan alumni POLMAN, khususnya MEB dan MM yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penulisan karya tulis ini.
13. Bapak Nur Rochman dan Bapak Sutrisno selaku pembimbing di lab. Mekanika Fluida yang telah membimbing dan memberikan saran-saran selama tugas akhir ini
14. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS,
15. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
16. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir 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, Januari 2014

**Penulis**



---

DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Aliran Laminar dan Turbulen .....	7
2.2. Aliran <i>Viscous</i> dan Non <i>Viscous</i> .....	7
2.3. Angka <i>Reynolds</i> .....	9
2.4. Konsep <i>Boundary Layer</i> .....	10
2.5. Aliran Melintasi Silinder Sirkular .....	11
2.6. Koefisien Tekanan dan Koefisien Drag.....	13
2.6.1. Koefisien Tekanan .....	13
2.6.2. Koefisien Drag.....	13
2.7. Simulasi Numerik.....	15
2.7.1. Deskripsi tentang RANS Turbulensi Model.....	15
2.7.2. <i>Turbulence Model</i> .....	16
2.7.3. <i>Grid</i> Indenpendensi.....	19
2.8. Reduksi Gaya Drag Pada Aliran Fluida Melintasi .....	22
Silinder Sirkular	
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
3.1. Skema Geometri Penelitian .....	29
3.2. Langkah–Langkah Metode Numerik.....	30
3.2.1. Tahap <i>Pre-Processing</i> .....	30
3.2.2 Tahap <i>Processing</i> .....	31



3.2.3. Tahap <i>Post-Processing</i> .....	36
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1. Distribusi <i>Pressure Coefficient</i> ( $C_p$ ).....	39
4.1.1. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular Tanpa Penggangu.....	39
4.1.2. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Penggangu pada Posisi 10° .....	41
4.1.3. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Penggangu pada Posisi 20° .....	43
4.1.4. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Penggangu pada Posisi 30° .....	45
4.1.5. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Penggangu pada Posisi 40° .....	47
4.2. Perbandingan Distribusi $C_p$ pada Silinder Sirkular dengan Variasi Posisi Sudut Penggangu .....	49
4.3. Visualisasi Aliran.....	51
4.3.1. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular Tanpa Penggangu.....	52
4.3.2. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Bodi Penggangu .....	55
4.3.3. Karakteristik Turbulensi .....	65
4.4. <i>Wake Length</i> .....	67
4.5. Analisa <i>Drag Coefficient</i> ( $C_D$ ).....	69
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>73</b>
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran .....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>75</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>
<b>RIWAYAT PENULIS .....</b>	<b>81</b>



---

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Aliran fluida melalui silinder sirkular (Fox et al, 2011)..... 8

Gambar 2.2 Struktur *boundary layer* (Fox et al, 2011)..... 10

Gambar 2.3 Mekanisme terjadinya separasi aliran fluida melewati silinder (Milikan, 1941) ..... 12

Gambar 2.4 Gaya normal dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan bodi ..... 14

Gambar 2.5 Skema Penelitian Aliran Melewati Silinder Sirkular (Rahman, dkk, 2007)..... 17

Gambar 2.6 Nilai Strouhal Number Terhadap angka *Reynold* (Rahman, dkk, 2007)..... 17

Gambar 2.7 Grafik Ketidakpastian dalam Berbagai *Turbulence Viscous Model* (Freitas, 1999)..... 19

Gambar 2.8 *Typical grid layout* (Jagadesh dan Murali, 2005) ... 20

Gambar 2.9 Analisis *grid independensi pressure surface boundary layer normalized stream wise mean velocity profile* pada  $X/L = 0,934$  (Jagadesh dan Murali, 2005)..... 21

Gambar 2.10 Skema penelitian (Lee dkk, 2004) ..... 22

Gambar 2.11 Pengaruh rasio bodi pengganggu dengan silinder utama pada pengurangan gaya drag di silinder utama (Lee dkk, 2004) ..... 23



Gambar 2.12 Koefisien <i>drag</i> total (Tsutsui dan Igarashi 2002).....	24
Gambar 2.13 Koefisien <i>drag</i> , $o$ : silinder polos. $\Delta$ : silinder dengan kontur <i>V-grooved</i> (Lee dkk, 2005) .....	24
Gambar 2.14 Skema penelitian silinder teriris tipe-D dan tipe-I (Igarashi dan Shiba, 2006) .....	25
Gambar 2.15 Koefisien <i>drag</i> silinder teriris tipe-D dan tipe-I (Igarashi dan Shiba, 2006) .....	25
Gambar 2.16 <i>Geometry set-up</i> untuk silinder sirkular tunggal dengan bodi pengganggu berbentuk silinder sirkular, (Wijanarko dan Widodo, 2013) .....	26
Gambar 2.17 $C_D$ pada silinder sirkular dan silinder sirkular dengan bodi pengganggu ( $d/D = 0,16$ ) (Wijanarko dan Widodo, 2013).....	27
Gambar 3.1 Skema penelitian dengan penambahan bodi pengganggu .....	29
Gambar 3.2 Skema <i>meshing</i> pada <i>cylinder</i> dengan penambahan bodi pengganggu .....	30
Gambar 3.3 Langkah-langkah dalam menentukan <i>models</i> .....	31
Gambar 3.4 Langkah-langkah dalam menentukan <i>operation condition</i> .....	32
Gambar 3.5 Langkah-langkah dalam menentukan <i>boundary condition</i> .....	33
Gambar 3.6 Langkah-langkah dalam menentukan <i>initialize</i> .....	33



---

Gambar 3.7 Langkah-langkah dalam menentukan <i>monitor residual</i> .....	34
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> metode penelitian.....	37
Gambar 4.1 Distribusi tekanan pada tekanan $C_p$ silinder sirkular tanpa pengganggu .....	40
Gambar 4.2 Distribusi tekanan pada tekanan $C_p$ silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu $10^\circ$ .....	42
Gambar 4.3 Distribusi $C_p$ untuk silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu pada $20^\circ$ .....	44
Gambar 4.4 Distribusi $C_p$ untuk silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu sudut $30^\circ$ .....	46
Gambar 4.5 Distribusi $C_p$ silinder sirkular dengan penambahan pengganggu $40^\circ$ .....	48
Gambar 4.6 Distribusi $C_p$ silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu ( $Re_D = 2 \times 10^4$ ).....	50
Gambar 4.7 Distribusi $C_p$ pada silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu ( $Re_D = 4 \times 10^4$ ).....	51
Gambar 4.8 <i>Velocity pathline</i> silinder tanpa pengganggu (a) $Re_D = 2 \times 10^4$ dan (b) $Re_D = 4 \times 10^4$ (kecepatan dalam m/s) .....	53
Gambar 4.9 <i>Velocity vector</i> silinder sirkular tanpa pengganggu (a) $Re_D = 2 \times 10^4$ dan (b) $Re_D = 4 \times 10^4$ (kecepatan dalam m/s).....	54



- Gambar 4.10 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s)..... 56
- Gambar 4.11 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $20^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s)..... 57
- Gambar 4.12 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $30^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s)..... 58
- Gambar 4.13 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $40^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s)..... 59
- Gambar 4.14 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s) ..... 61
- Gambar 4.15 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $20^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s) ..... 62
- Gambar 4.16 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $30^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s) ..... 63
- Gambar 4.17 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $40^\circ$  (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam m/s) ..... 64
- Gambar 4.18 *Turbulent intensity* pada posisi  $90^\circ$  ( $y-D/2$ ) pada  $Re_D = 4 \times 10^4$ ..... 65



Gambar 4.19 Karakteristik turbulensi pada $Re_D = 4 \times 10^4$ (a) tanpa pengganggu dan (b) dengan pengganggu $\alpha = 40^\circ$ (mapping dalam %)	66
Gambar 4.20 Distribusi kecepatan aksial pada bidang tengah ( <i>midspan</i> ) untuk $Re = 2 \times 10^4$ dan $Re = 4 \times 10^4$	68
Gambar 4. 21 Perbandingan <i>wake length</i> silinder tanpa pengganggu dan silinder dengan penambahan bodi pengganggu	66
Gambar 4.22 Perbandingan nilai <i>total drag coefficient</i> ( $C_{Dt}$ )	69
Gambar 4.23 Perbandingan nilai <i>pressure drag coefficient</i> ( $C_{Dp}$ )	72
Gambar 4.24 Perbandingan nilai <i>friction drag coefficient</i> ( $C_{Df}$ )	72



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

DAFTAR SIMBOL

$D$	: diameter silinder utama, mm
$L$	: panjang silinder, mm
$d$	: diameter bodi pengganggu, mm
$C_p$	: koefisien tekanan, tak berdimensi
$C_{D_t}$	: koefisien <i>drag total</i> , tak berdimensi
$C_{D_p}$	: koefisien <i>drag pressure</i> , tak berdimensi
$C_{D_f}$	: koefisien <i>drag friction</i> , tak berdimensi
$p$	: tekanan <i>statis</i> lokal, Pa
$p_\infty$	: tekanan <i>statis</i> aliran bebas, Pa
$F_D$	: gaya <i>drag</i> pada silinder, N
$Re$	: angka <i>Reynolds</i> , tak berdimensi
$U_\infty$	: kecepatan <i>freestream</i> fluida, m/s
$\mu$	: <i>viskositas</i> fluida, Ns/m <sup>2</sup>
$\rho$	: massa jenis udara, kg/m <sup>3</sup>
$\alpha$	: sudut posisi bodi pengganggu, tak berdimensi
$x/d$	: posisi horizontal, tak berdimensi
$\tau_{yx}$	: tegangan geser ( <i>shear stress</i> ), N/m <sup>2</sup>
$\frac{\partial u}{\partial y}$	: gradien kecepatan, 1/s



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

**DAFTAR TABEL**

Table 2.1 Analisis grid independensi koefisien drag dan ukuran grid (Jagadesh dan Murali, 2005) .....	20
Tabel 3.1 Skema <i>Grid</i> Independensi pada silinder tunggal $D = 32\text{mm}$ dengan $Re = 5,5 \times 10^4$ .....	35
Tabel 3.2 Nilai $C_D$ silinder sirkular pada $Re = 5,5 \times 10^4$ .....	36
Tabel 4.1 Posisi titik stagnasi dan separasi silinder sirkular tanpa pengganggu .....	41
Tabel 4.2 Posisi titik stagnasi <i>discontinuity</i> , <i>reattachment</i> , kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu $10^\circ$ .....	43
Tabel 4.3 Posisi titik stagnasi <i>discontinuity</i> , <i>reattachment</i> , kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu $20^\circ$ .....	45
Tabel 4.4 Posisi titik stagnasi <i>discontinuity</i> , <i>reattachment</i> , kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu $30^\circ$ .....	47
Tabel 4.5 Posisi titik stagnasi <i>discontinuity</i> , <i>reattachment</i> , kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu $40^\circ$ .....	49
Tabel 4.6 Nilai <i>total drag coefficient</i> ( $C_{D_t}$ ).....	69
Tabel 4.7 Nilai <i>pressure drag coefficient</i> ( $C_{D_p}$ ).....	71
Tabel 4.8 Nilai <i>friction drag coefficient</i> ( $C_{D_f}$ ) .....	72



*halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini, perkembangan teknologi sangat pesat. Manusia menggunakan teknologi untuk membantu memudahkan pekerjaannya. Kehidupan yang dinamis menuntut perkembangan teknologi yang cepat, sehingga bisa berjalan memenuhi kebutuhan manusia yang terus bertambah. Ilmu Mekanika Fluida mempelajari karakteristik aliran fluida. Dengan mengetahui karakteristik aliran fluida, kita dapat mendesain suatu konstruksi yang dapat menghasilkan nilai tambah dan meningkatkan efisiensi kinerja.

Aliran fluida yang melingkupi sebuah benda akan menghasilkan gaya yang bekerja pada benda tersebut. Untuk aliran dua dimensi gaya-gaya yang sejajar dengan aliran fluida disebut gaya *drag*, sedangkan gaya yang tegak lurus terhadap arah aliran dinamakan gaya *lift*. Pengetahuan mengenai *lift* dan *drag* sangat diperlukan untuk mendesain konstruksi yang berguna untuk meningkatkan efisiensi.

Benda yang berbentuk silinder sirkular, gaya *drag* yang diekspresikan dengan bilangan tak berdimensi, yaitu koefisien *drag* ( $C_D$ ). Koefisien *drag* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya angka *Reynolds* ( $Re$ ). Koefisien *drag* ini mengalami penurunan yang sangat drastis di daerah subkritis ( $Re \approx 10^3$ ) dan koefisien *drag* terkecil terjadi pada angka *Reynolds* kritis ( $Re \approx 3 \times 10^5$ ). Kemudian koefisien *drag* mengalami kenaikan (Roshko, 1961).

Penelitian tentang usaha untuk mereduksi gaya *drag* telah dilakukan oleh Tsutsui dan Igarashi (2002), Lee, dkk (2004, 2005), Igarashi dan Shiba (2006) dan Wijanarko dan Widodo (2013). Usaha untuk mereduksi gaya *drag* terdiri dari beberapa



macam cara, seperti pemberian kekasaran permukaan, pemotongan silinder dengan sudut potong tertentu, dan dengan penambahan bodi pengganggu di depan silinder utama. Lee menyatakan bahwa adanya bodi pengganggu di depan silinder utama dapat menurunkan koefisien *drag* ( $C_D$ ) dari silinder utama maupun keseluruhan sistem (silinder utama dan bodi pengganggu). Dari hasil visualisasi didapatkan bahwa silinder utama terletak didalam area *shear layer* yang terseparasi dari bodi pengganggu dan terdapat dua macam struktur aliran yang berdampak pada pengurangan *drag*. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa pengurangan *drag* maksimum terjadi pada jarak kritis tertentu ( $L_c$ ). Hasil penelitian Tsutsui dan Igarashi menunjukkan bahwa penurunan harga koefisien *drag* disebabkan oleh peningkatan angka *Reynolds*,  $d/D$  dan penurunan harga  $L/D$ . Sedangkan pengurangan *pressure drag* didominasi oleh perubahan angka *Reynolds*.

Penelitian mengenai bentuk kekasaran permukaan untuk mereduksi gaya hambat dengan memberikan profil *V-grooved* dilakukan oleh Lee, dkk (2005). Hasil yang didapatkan memberikan kesimpulan bahwa pengaruh penambahan kekasaran permukaan silinder mengakibatkan koefisien *drag* yang berlainan pada  $Re$  rendah dan tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Igarashi dan Shiba (2006) lebih difokuskan pada silinder teriris tipe D dan tipe I dengan diameter 50 mm, sudut iris  $50^\circ$ - $53^\circ$ , dan angka *Reynolds* ( $Re$ ) lebih besar dari  $2,3 \times 10^4$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada rentang pemotongan  $50^\circ$ - $53^\circ$  terjadi separasi *turbulent* sehingga koefisien *drag* berkurang sampai setengah kali koefisien *drag* dari silinder sirkular.

Penelitian menggunakan studi numerik tentang karakteristik aliran melintasi silinder sirkular tunggal dengan bodi pengganggu berbentuk silinder sirkular pada saluran sempit

---



berpenampang bujur sangkar telah dilakukan oleh Wijanarko dan Widodo (2013). Hasil dari pemodelan numerik ini didapatkan bahwa dengan penambahan bodi pengganggu berupa silinder sirkular dapat menyebabkan perubahan nilai koefisien *drag* ( $C_D$ ), separasi aliran, dan koefisien tekanan ( $C_p$ ). Penempatan bodi pengganggu dengan  $\alpha = 30^\circ$  berhasil mereduksi gaya hambat dan menunda letak titik separasi masif paling signifikan.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Aliran fluida yang melewati suatu konstruksi *bluff body* berupa silinder, akan membentuk *boundary layer* pada sisi *upper* dan *lower* akibat pengaruh tegangan geser. Jika momentum aliran fluida tidak mampu untuk melawan efek gesekan dan *adverse pressure gradient*, maka *boundary layer* akan mengalami pemisahan dari kontur silinder sehingga terjadilah separasi aliran. Adanya separasi aliran akan menghasilkan area *wake* di belakang silinder yang mengakibatkan gaya *drag*. Semakin lebar *wake* maka gaya *drag* yang terjadi juga semakin besar.

Penelitian yang terdahulu menjelaskan bahwa salah satu cara untuk mengurangi gaya *drag* adalah dengan menempatkan bodi pengganggu di depan silinder utama. Penempatan pengganggu di depan silinder utama ini dimungkinkan akan dapat mempengaruhi aliran di belakang silinder. Akibat gangguan tersebut, transisi *boundary layer* laminar menjadi turbulen akan lebih cepat terjadi dan aliran akan mampu melawan *adverse pressure gradient* dan gesekan yang terjadi sehingga titik separasi akan bergeser ke belakang dan *wake* yang terbentuk semakin sempit, gaya *drag* yang timbul juga akan mengecil.

Penelitian Wijanarko dan Widodo (2013) menunjukkan bahwa penambahan bodi pengganggu pada bagian upstream dapat mereduksi nilai koefisien *drag* pada silinder utama paling

---



signifikan untuk sudut  $\alpha = 30^\circ$ , yaitu sebesar 46%. Penambahan pengganggu dengan  $\alpha = 20^\circ$ , mereduksi koefisien *drag* sebesar 29% sedangkan pada pengganggu  $\alpha = 40^\circ$  mereduksi nilai koefisien *drag* sebesar 14%.

Berdasarkan evaluasi dari studi-studi diatas memunculkan suatu pemikiran untuk mengembangkan penelitian mengenai pengurangan gaya *drag* dengan penambahan bodi pengganggu. Pada penelitian Wijanarko dan Widodo (2013) bentuk dari bodi pengganggu adalah silinder sirkular sebagai *upstream* dengan celah antara silinder utama ( $\delta$ ) sebesar 0,4 mm. Untuk penelitian kali ini bentuk dari bodi pengganggu adalah silinder sirkular yang tepat menempel pada silinder utama. Pengaruh adanya bodi pengganggu yang menempel pada bodi utama diduga terjadi pengolakan gerakan partikel fluida di sekitar bodi pengganggu. Sehingga antara partikel fluida yang satu dengan yang lain saling bertukar energi. Aliran fluida di dalam *boundary layer* saat itu dikatakan mengalami turbulen, sehingga disebut *turbulent boundary layer*. Dengan adanya aliran *turbulent boundary layer* ini separasi yang terjadi dapat ditunda dan *wake* yang terbentuk lebih sempit.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bodi pengganggu yang menempel pada silinder utama terhadap karakteristik aliran fluida pada angka *Reynolds* (*Re*)  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$  dengan cara:

1. Melakukan analisis terhadap koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada kontur silinder dengan bodi pengganggu.
2. Melakukan analisis terhadap profil kecepatan (*wake*) di belakang silinder dengan bodi pengganggu.



3. Melakukan analisis terhadap koefisien *drag* ( $C_D$ ) silinder dengan bodi pengganggu.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Pada penelitian ini ada beberapa batasan masalah yang ditetapkan sehingga bahasan yang dilakukan tidak menyimpang dari tujuan utama. Batasan masalah tersebut meliputi:

1. Fluida kerja adalah udara dengan kondisi aliran *free stream* yang bersifat *steady, incompressible*, dan *uniform* pada sisi *inlet*.
2. Kemungkinan terjadinya perpindahan panas diabaikan.
3. Analisa aliran dua dimensi.



*halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Aliran Laminar dan Turbulen**

Aliran laminar dan turbulen dibedakan berdasarkan karakteristik internal aliran. Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dapat dialami suatu aliran yang mempengaruhi gerak partikel-partikel fluida tersebut. Apabila aliran mempunyai kecepatan relatif rendah atau fluidanya sangat *viscous*, gangguan yang mungkin dialami medan aliran akibat getaran, ketidakteraturan permukaan batas dan sebagainya, relatif lebih cepat terendam oleh viskositas fluida dan aliran fluida tersebut disebut aliran laminar. Gangguan yang timbul semakin besar hingga tercapai kondisi peralihan (*transition state*) pada kecepatan aliran yang bertambah besar atau efek viskositas yang berkurang. Terlampauinya kondisi peralihan menyebabkan sebagian gangguan tersebut menjadi semakin kuat, dimana partikel bergerak fluktuatif atau acak dan terjadi percampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatasan. Kondisi aliran yang demikian disebut aliran turbulen.

Perbedaan mendasar antara aliran laminar dan turbulen adalah bahwa gerak olakan/acak pada aliran turbulen jauh lebih efektif dalam pengangkutan massa serta momentum fluidanya daripada gerak molekulernya. Kondisi aliran yang laminar dan turbulen ini dapat dinyatakan dengan angka *Reynolds* (*Reynolds Number*).

#### **2.2. Aliran *Viscous* dan *Non Viscous***

Aliran fluida jika dilihat dan dikaji dari pengaruh viskositasnya, dapat dibedakan menjadi dua aliran yaitu aliran *viscous* (*viscous flow*) dan aliran non *viscous* (*inviscid flow*). Aliran fluida bisa digolongkan sebagai aliran *viscous* yang terbentuk *boundary layer* jika efek viskositasnya tidak diabaikan dan jika efek viskositasnya diabaikan maka aliran fluida tersebut



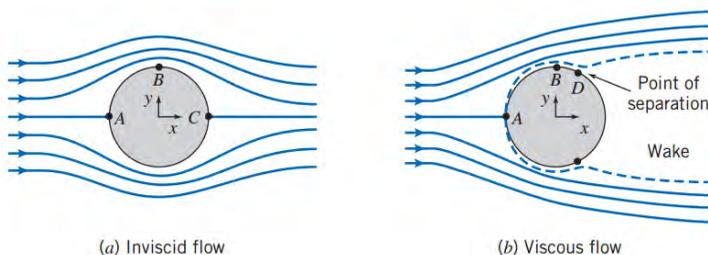
merupakan aliran non *viscous* yang tidak terbentuk *boundary layer*.

Fluida yang kontak langsung dengan suatu batasan pada aliran *viscous* akan mempunyai kecepatan yang sama dengan batasan padat itu sendiri atau tidak terjadi *slip* pada batasan padat tersebut. *Shear stress* pada aliran *viscous* laminar dipengaruhi secara langsung oleh viskositas fluida dan gradien kecepatan yang ada di dalam aliran fluida tersebut. Hal ini dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy}, \quad (2.1)$$

dimana  $\tau_{yx}$  : tegangan geser (*shear stress*)  
 $\mu$  : viskositas absolut fluida  
 $\frac{du}{dy}$  : gradien kecepatan

Gaya yang berpengaruh pada aliran fluida ideal (*non viscous*), hanya *pressure force* karena dalam aliran fluida tersebut tidak ada tegangan geser yang berpengaruh dimana viskositas dari fluidanya dianggap tidak ada, dan aliran tersebut dapat juga kita sebut sebagai aliran *inviscid*. Perbedaan antara kedua aliran tersebut dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Aliran fluida melalui silinder sirkular  
**(Fox et al, 2011)**



### 2.3. Angka Reynolds

Kondisi aliran laminar atau turbulen dapat dibedakan dengan angka *Reynolds*. Angka *Reynolds* adalah suatu bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara gaya inersia body terhadap gaya geser yang ditimbulkan aliran fluida.

$$Re = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Geser}}$$

dimana: Gaya Inersia =  $\rho A = \rho U^2 L^2$

$$\text{Gaya Geser} = \tau A = \left(\frac{\mu U_{\infty}}{L}\right) L^2$$

Sehingga,

$$Re = \frac{\rho U_{\infty}^2 L^2}{\left(\frac{\mu U_{\infty}}{L}\right) L^2} = \frac{\rho U_{\infty} L}{\mu}, \quad (2.2)$$

dimana :

- $\rho$  : densitas fluida
- $U$  : kecepatan aliran *free stream* fluida
- $L$  : panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, Dalam kasus ini panjang karakteristik benda uji adalah diameter silinder utama, yaitu  $D$
- $\mu$  : viskositas dinamis fluida

Sehingga,

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} D}{\mu}. \quad (2.3)$$



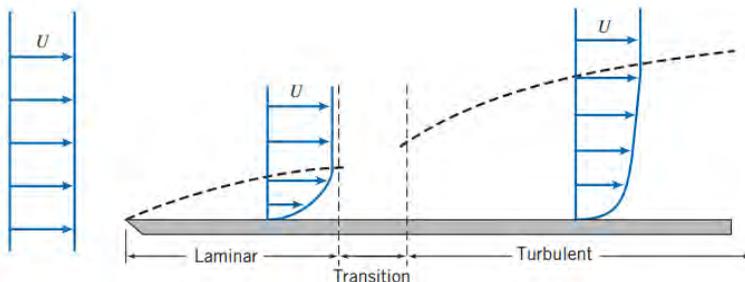
## 2.4 Konsep *Boundary Layer*

*Boundary layer* adalah lapisan tipis pada *solid surface* yang terbatas daerah yang sangat sempit dekat permukaan kontur dimana kecepatan fluida tidak *uniform* sebagai pengaruh dari tegangan geser yang muncul akibat adanya viskositas.

Prandtl pada tahun 1904 mengklasifikasikan aliran yang melintasi suatu kontur menjadi dua daerah yaitu:

1. Daerah di dalam *boundary layer* (dekat permukaan kontur) dimana efek viskositas sangat berpengaruh (*viscous flow*).
2. Daerah di luar *boundary layer* dimana efek viskositas diabaikan (*non viscous flow*).

Gambar 2.2 memperlihatkan suatu fluida itu mengalir dengan distribusi kecepatan yang sama atau *uniform* ( $U$ ) dimana ketika melewati suatu *solid surface* aliran tersebut mengalami distribusi kecepatan yang berbeda yang dipengaruhi oleh adanya permukaan padat. Distribusi kecepatan ini dimulai dari titik dipermukaan padat tersebut, dimana aliran fluida tersebut mempunyai kecepatan nol kemudian semakin besar ketika menjauhi permukaan dari bodi tersebut. Pengaruh tegangan geser akan hilang pada posisi tertentu dan kecepatan fluida mencapai harga kecepatan fluida *non viscous* ( $u = 0,99 U$ ) dan posisi tersebut merupakan batas daerah *viscous* (lapisan batas) dengan bagian *non viscous*. Jarak yang diukur dari permukaan padat arah normal hingga posisi tersebut disebut dengan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness,  $\delta$* ).



Gambar 2.2 Struktur *boundary layer* (Fox et al, 2011)



*Boundary layer* pada permukaan padat akan berkembang dari ujung plat (*leading edge*). Tebal *boundary layer* pada daerah *leading edge* masih tipis, dimana partikel - partikel bergerak secara berlapis-lapis dan lapisan batas yang terjadi disebut *laminar boundary layer*. Semakin jauh fluida bergerak dari ujung plat, lapisan batas akan semakin berkembang dan aliran akan berubah mendekati turbulen meskipun belum sepenuhnya turbulen dimana pada saat itu aliran berada pada daerah transisi dan lapisan batasnya disebut lapisan batas transisi. Semakin jauh dari ujung plat, aliran fluida tidak stabil dan terjadi pengolakan gerakan partikel sehingga terjadi pertukaran energi antara partikel. Aliran ini adalah aliran turbulen dan *boundary layer* ini disebut *boundary layer* turbulen.

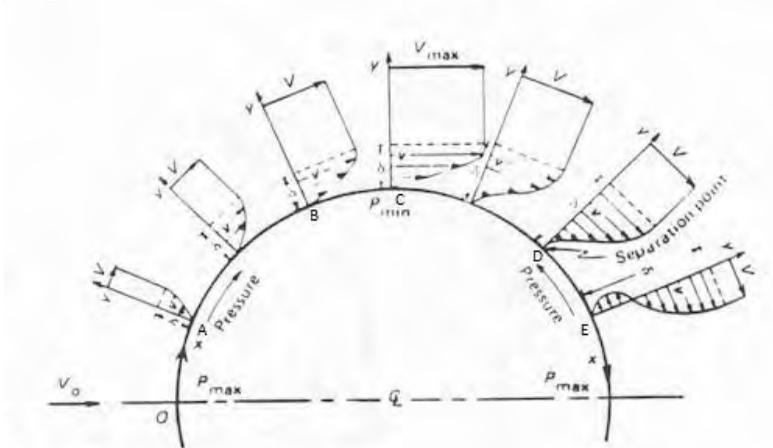
### **2.5. Aliran Melintasi Silinder Sirkular**

Aliran fluida yang melalui suatu permukaan padat dan tekanan di luar lapisan batas tetap konstan maka tidak ada pengaruh yang timbul pada lapisan batas tersebut, tetapi bila tekanan berubah dengan bertambahnya jarak maka akan mempengaruhi kondisi lapisan batas.

Aliran fluida yang melintasi sebuah silinder dapat terlihat pada Gambar 2.3, bahwa aliran fluida akan dipercepat hingga kecepatan maksimum dan tekanan minimum terjadi pada titik C. Gambar tersebut juga menjelaskan tentang proses terjadinya separasi dan *wake* pada silinder. Fluida dari titik A sampai C mengalami percepatan tetapi gradien tekanannya negatif ( $\frac{\partial p}{\partial \theta} < 0$ ). Daerah A sampai C sering disebut sebagai daerah *favorable pressure gradient*. Setelah melewati titik C, fluida mengalami peningkatan tekanan atau gradien tekanannya bernilai positif ( $\frac{\partial p}{\partial \theta} > 0$ ) yang disebut *adverse pressure gradient* dan hal ini menyebabkan partikel fluida di dalam *boundary layer* mengalami perlambatan. Gaya tekan dan gaya geser pada elemen bawah melawan arah aliran. Perbedaan tekanan dan gaya geser ini mengakibatkan momentum pada aliran di atasnya lebih besar



dan sangat berpengaruh terhadap fluida yang terletak dekat dengan permukaan. Momentum partikel fluida berkurang terus oleh gaya tekan dan gaya geser dan aliran fluida di permukaan diperlambat hingga diam sehingga sampai pada titik D, gradien kecepatan menjadi nol ( $\frac{\partial u}{\partial y}|_{y=0} = 0$ ). Secara umum, pengaruh *adverse pressure gradient* adalah bersamaan dengan pengurangan kecepatan.



Gambar 2.3 Mekanisme terjadinya separasi aliran fluida melewati silinder (Milikan, 1941)

Lebih jauh lagi yaitu di titik E terjadi *adverse pressure gradient* yang cukup besar sehingga aliran di dekat permukaan telah benar-benar berbalik dan fluida sudah tidak mampu mengikuti kontur dari permukaan dan menjauhinya. Titik dimana terjadi peristiwa pemisahan aliran dari permukaan kontur ( $\frac{\partial u}{\partial y}|_{y=0} = 0$ ) disebut titik separasi. Hal ini terjadi karena momentum aliran tidak mampu mengatasi *adverse pressure gradient* dan tegangan geser.

Angka *Reynolds* dan *adverse pressure gradient* menentukan proses terjadinya proses terjadinya separasi. Semakin besar angka *Reynolds* maka momentum yang dimiliki fluida juga makin besar dan aliran semakin cepat menjadi turbulen, dan lebih



mampu untuk bertahan terhadap *adverse pressure*, sehingga terjadinya titik separasi bisa tertunda. Parameter lain yang mempengaruhi separasi diantaranya kekasaran permukaan dan stabilitas *freestream*.

Jika separasi terjadi, maka akan terbentuk *adverse pressure* daerah bertekanan dan berenergi rendah dibelakang *body* yang dinamakan *wake*. Adanya energi yang tidak teratur dari gerakan turbulen yang tinggi dan tekanan rendah di dalam *wake* akan menyebabkan *pressure drag* pada *body*. Lebar dari *wake* sangat tergantung pada posisi titik separasi. Pada aliran yang turbulen, *boundary layer* lebih mampu untuk bertahan terhadap *adverse pressure*, sehingga titik separasi tertunda, dan *wake* yang terbentuk lebih sempit.

## 2.6. Koefisien Tekanan dan Koefisien Drag

### 2.6.1. Koefisien Tekanan

Distribusi tekanan yang terjadi pada kontur benda bisa dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut koefisien tekanan. Koefisien tekanan ( $C_p$ ) adalah selisih antara tekanan statis lokal dan tekanan statis *freestream* dibagi dengan tekanan dinamis.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2}, \quad (2.4)$$

dimana:

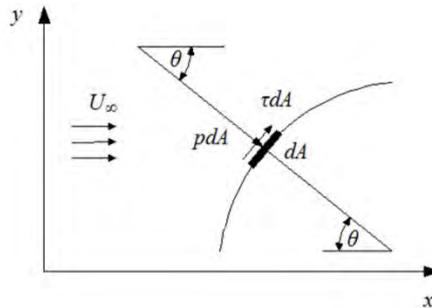
$$\begin{aligned} p &= \text{tekanan statis lokal} \\ p_\infty &= \text{tekanan statis } \textit{freestream} \\ \frac{1}{2}\rho U_\infty^2 &= \text{tekanan dinamis } \textit{freestream} \end{aligned}$$

### 2.6.2. Koefisien Drag

Aliran fluida yang mengalir melalui permukaan datar akan mendapat hambatan. Gaya hambat yang terjadi berupa skin *friction force*,  $F_f$ , yaitu gaya yang menyinggung permukaan



secara tangensial sebagai akibat adanya viskositas (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda). Gaya hambat yang kedua adalah *pressure force*,  $F_p$ , yaitu gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul karena adanya tekanan fluida. Gambar 2.4 menunjukkan resultan antara *friction* dan *pressure force*. Resultan gaya ini disebut sebagai gaya tekan dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan bodi (gaya total).



Gambar 2.4 Gaya normal dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan bodi

Resultan dari tegangan geser dan distribusi tekanan akan menghasilkan komponen gaya-gaya sebagai berikut:

$$dF_x = (pdA) \cos \theta + (\tau dA) \sin \theta, \quad (2.5)$$

$$dF_y = -(pdA) \sin \theta + (\tau dA) \cos \theta, \quad (2.6)$$

komponen gaya ke arah sumbu-x adalah gaya hambat, sedangkan komponen gaya ke arah sumbu-y adalah gaya *lift*. Gaya hambat yang terbentuk dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$F_D = F_{Dp} + F_{Df}. \quad (2.7)$$

$$F_D = \int \cos \theta (pdA) + \int \sin \theta (\tau dA). \quad (2.8)$$

Gaya hambat sering diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi yaitu koefisien drag ( $C_D$ ) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A}. \quad (2.9)$$



## 2.7. Simulasi Numerik

Simulasi numerik biasa dilakukan menggunakan perangkat lunak (*software*) *Fluent*. *Fluent* adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. *Fluent* menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah.

### 2.7.1. Deskripsi tentang RANS Turbulensi Model

*Spalart-Allmaras*: *Spalart-Allmaras* model merupakan model turbulensi dengan satu persamaan yang menyelesaikan model persamaan *transport* untuk *viskositas* turbulen. Model ini didesain serta khusus untuk aplikasi *aerospace* yang melibatkan *wall-bounded flows* dan telah menunjukkan hasil yang baik untuk lapisan batas yang dipengaruhi *adverse pressure gradient*. Bentuk dasar model *spalart – allmaras* hanya efektif pada model dengan bilangan Reynolds yang kecil. Model ini dapat digunakan untuk simulasi yang relatif kasar dengan ukuran *mesh* yang besar, dimana perhitungan aliran turbulen yang akurat bukan merupakan hal yang kritis.

Standart *k-ε*: Standart *k-ε* pemodelan menggunakan persamaan *transport* untuk menyelesaikan model *k-ε*. Model ini juga dapat menyelesaikan untuk *heating*, *bouyancy* dan *compressibility* yang dapat diselesaikan dalam *k-ε* model yang lainnya. Model ini tidak cocok untuk aliran kompleks yang meliputi *strong stream curvature* dan *separation*.

RNG *k-ε*: RNG *k-ε* merupakan variasi pemodelan dari standard *k-ε* model. Model ini sangat signifikan untuk mengubah dalam persamaan  $\varepsilon$ , sehingga dapat memperbaiki model yang mempunyai *highly strained flows*. Dalam model ini juga dapat digunakan untuk aliran yang mempunyai *Re* yang rendah dan untuk memprediksi aliran yang mempunyai efek *swirling*.

Realizable *k-ε*: model ini merupakan variasi pemodelan dari standard *k-ε model*. Istilah *realizable* mempunyai arti bahwa model tersebut memenuhi batasan matematis pada angka



Reynolds, konsisten dengan bentuk fisik aliran turbulen. Kelebihan dari model ini adalah lebih akurat untuk memprediksi laju penyebaran fluida dari pancaran jet atau nosel. Model ini juga memberikan performa yang bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang mempunyai gradien tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi.

**Standard  $k-\omega$ :** Standard  $k-\omega$  merupakan pemodelan yang menggunakan dua persamaan transport model untuk memecahkan  $k-\omega$ . Pemodelan ini dapat digunakan untuk aliran yang memiliki  $Re$  yang rendah. Pemodelan ini juga dapat menampilkan transisi aliran dari aliran laminar menuju aliran turbulen. Keuntungan lainnya adalah dapat menghitung *free shear* dan aliran *compressible*.

**SST  $k-\omega$ :** SST  $k-\omega$  merupakan variasi dari pemodelan standard  $k-\omega$ . Model ini memadukan formulasi  $k-\omega$  standar yang stabil dan akurat pada daerah di dekat dinding dengan model  $k-\epsilon$  yang mempunyai kelebihan pada aliran *freestream*.

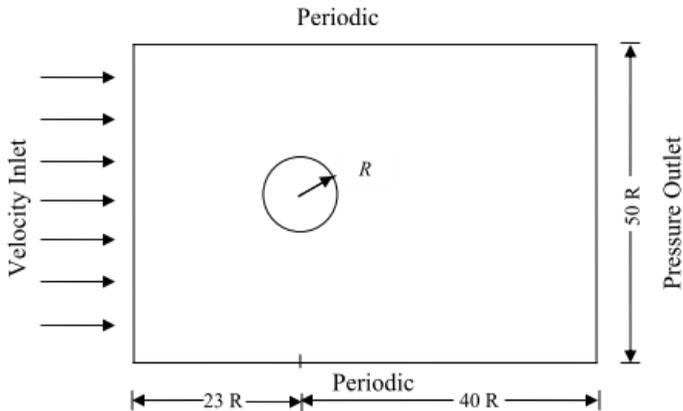
**RSM:** Model tegangan Reynolds (*Reynolds Stress Model*, *RSM*) merupakan model turbulensi yang paling teliti pada fluent. Model RSM mendekati persamaan *Navier-Stokes (Reynolds-averaged)* dengan menyelesaikan persamaan transport untuk tegangan *Reynolds* bersama-sama dengan persamaan laju dissipasi. Model ini menggunakan 5 persamaan transport, lebih banyak dibanding model turbulensi yang lain. Model RSM menghitung efek dari kurva *streamline*, pusaran (*swirl*), putaran, dan perubahan tiba-tiba pada aliran dengan lebih teliti dari pada model turbulensi yang lain, sehingga dapat memberikan prediksi yang lebih akurat untuk aliran yang lebih kompleks.

### 2.7.2. Turbulence Model

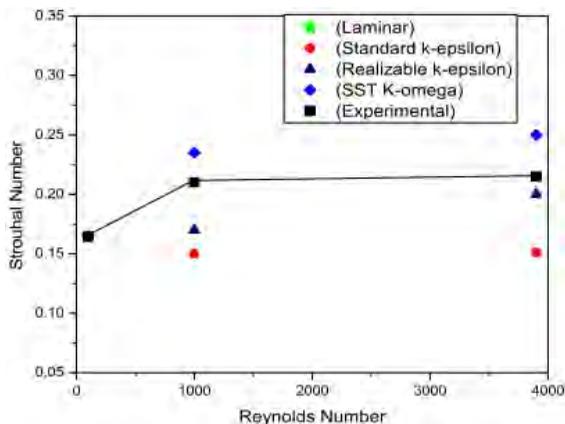
Rahman, dkk (2007) membandingkan berbagai *turbulence* model secara unsteady dua dimensi (2D) dengan menggunakan *finite volume method* pada angka *Reynolds* laminar dan turbulen. Model turbulen yang digunakan adalah *k- $\epsilon$  standard*, *k- $\epsilon$  Realizable* dan *k- $\omega$  SST*, sedangkan angka *Reynolds*



yang digunakan adalah 100, 1000 dan 3900. Hasil dari simulasi numerik ini akan dibandingkan dengan hasil eksperimen. Skema dari penelitian ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Penelitian Aliran Melewati Silinder Sirkular (Rahman, dkk, 2007)



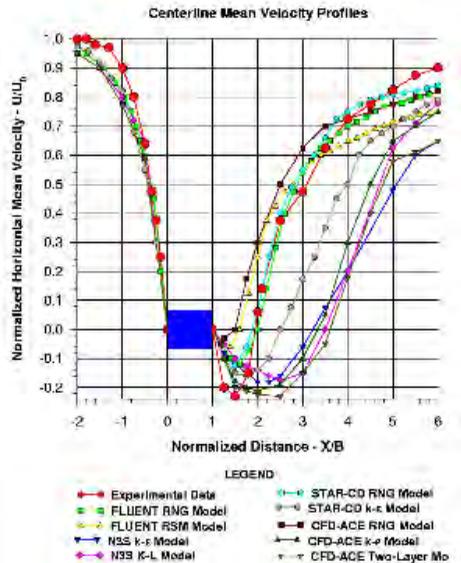
Gambar 2.6 Nilai Strouhal Number Terhadap angka Reynold (Rahman, dkk, 2007)



Pada gambar 2.6 menjelaskan tentang grafik nilai *Strouhal Number* terhadap angka *Reynolds* dan juga membandingkan hasil eksperimen dan numerik. Pada gambar 2.6 terlihat bahwa nilai yang paling mendekati hasil eksperimen adalah model *SST k-omega*. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian Rahman adalah model turbulensi *k-epsilon* dapat memprediksi nilai koefisien drag paling akurat, *k-epsilon realizable* lebih efektif dalam memvisualisasikan *vortex shedding*, dan *SST k-omega* memberikan kesesuaian yang baik pada angka *Reynolds* tinggi.

Freitas (1999) meneliti ketidakpastian dalam simulasi numerik. Ketidakakuratan pemodelan numerik disebabkan oleh pengaproksimasian sebuah *continuous system* dengan menggunakan *finite length* dan *discreate approximation*. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibutuhkan sebuah verifikasi dan validasi. Beberapa hal yang penting agar mendapatkan tingkat keakurasian yang baik dalam melakukan pemodelan numerik dijabarkan sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan harus dijabarkan.
2. Metode yang digunakan paling tidak dalam bentuk *second-order*.
3. *Grid independence* dan konvergensi harus ditetapkan.
4. Akurasi pemodelan ditentukan oleh *boundary* dan *initial condition*.
5. Validasi dengan penelitian terdahulu harus dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik.
6. Bentuk dan kerapatan grid harus dipertimbangkan.



Gambar 2.7 Grafik Ketidakpastian dalam Berbagai Turbulence Viscous Model (Freitas, 1999)

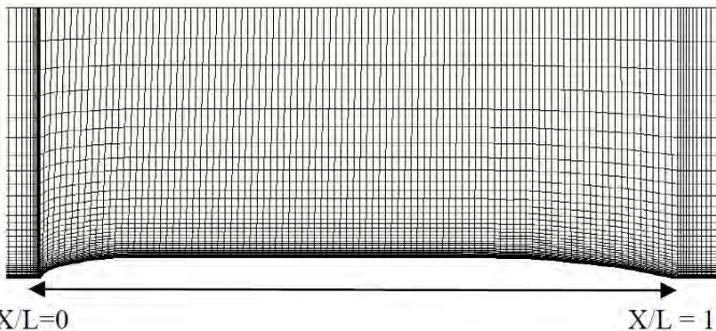
Disamping hal diatas, model numerik yang digunakan juga dapat mempengaruhi ketidakpastian dalam pemodelan numerik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Gambar diatas menganalisa tentang aliran turbulen melewati sebuah silinder pada penampang segi empat yang telah dilakukan oleh Freitas. *Axial velocity profile* sepanjang *centerline* dari silinder ditunjukkan pada kotak warna biru. Kesimpulan yang didapatkan dari gambar tersebut adalah walaupun setiap model menggunakan formula yang sama, nilai yang didapatkan dari berbagai model memiliki perbedaan. Oleh karena itu pemilihan model turbulensi menjadi pertimbangan yang penting dalam melakukan pemodelan numerik.

### 2.7.3. Grid Independensi

Pada suatu simulasi harus dilakukan grid independensi, untuk memastikan grid yang digunakan telah independen



terhadap kasus yang akan disimulasikan. Salah satu cara agar dapat menguji grid independensi adalah dengan melakukan *adapt. Grid* independensi sendiri adalah solusi yang konvergen yang ditentukan dari perhitungan CFD yang tidak dipengaruhi oleh besar kecilnya *grid*. Apabila dengan meningkatkan jumlah dari sel maka kemungkinan tidak akan mengubah *flow-field solution* dan *integrated quantities*. Di dalam prakteknya *grid* independensi dilakukan dengan cara menghaluskan mesh sehingga hal tersebut dapat mengubah solusi numerik. Oleh karena itu dengan *adapt* dapat kita ketahui bagian-bagian mana saja yang harus lebih dihaluskan mesh agar tidak mengubah solusi numerik. Pada pembahasan selanjutnya akan diambil contoh tentang kasus low-Re turbulence models untuk simulasi aliran melewati underwater vehicle hull forms (Jagadesh dan Murali, 2005). *Typical grid layout* penelitian dapat dilihat pada gambar 2.8.



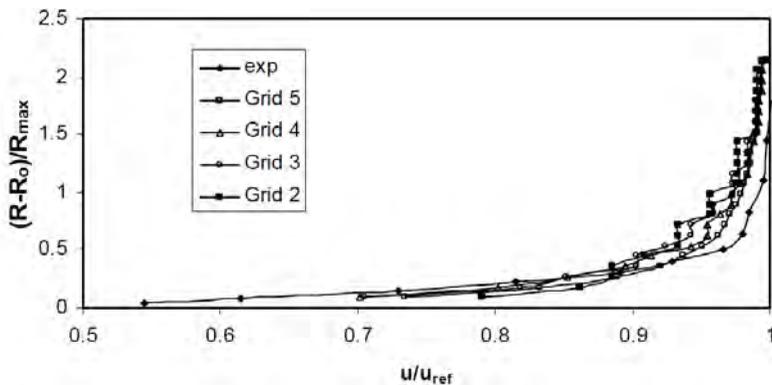
Gambar 2.8 Typical grid layout (Jagadesh dan Murali, 2005)

Table 2.1 Analisis grid independensi koefisien drag dan ukuran grid (Jagadesh dan Murali, 2005)

Grid type	Grid size	$C_{dv}$	Experimental drag coefficient	% Deviation
Grid 1	342 x 96	0.0284	0.0276	2.90
Grid 2	242 x 68	0.0284		2.90
Grid 3	171 x 48	0.0290		5.07
Grid 4	121 x 34	0.0307		11.23
Grid 5	86 x 24	0.0329		16.11



Pada grid independensi ini dilakukan pembagian jumlah meshing ke dalam 4 jenis, kemudian dari jenis meshing ini akan dibandingkan dengan hasil jenis meshing 1 dengan hasil jenis meshing yang lainnya, seperti yang ditunjukkan pada table 2.1. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan model *Abe Kondoh Nagano* ( $k-\epsilon$  AKN) pada kecepatan *freestream* sebesar 5 m/s. Gambar 2.9 menampilkan *pressure surface boundary layer* dengan profil kecepatan rata-rata pada  $X/L = 0,934$  menggunakan setiap *mesh*. Profil kecepatan diprediksi menggunakan *grid 2* dan *grid 3* yang serupa dan menunjukkan perbedaan koefisien drag yang jelas dibandingkan dengan *grid 4* dan *grid 5*, juga menunjukkan *grid independensi* dengan dua *mesh* terbaik.



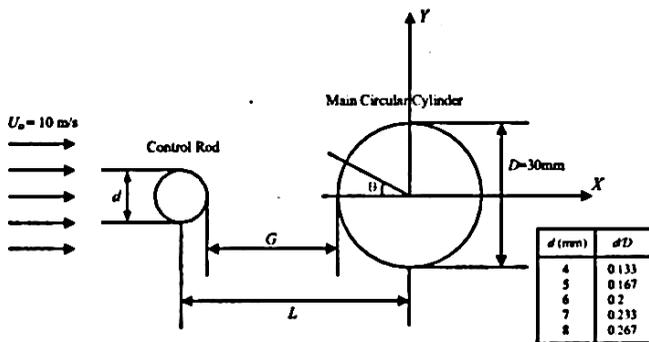
Gambar 2.9 Analisis grid independensi pressure surface boundary layer normalized stream wise mean velocity profile pada  $X/L = 0,934$  (Jagadesh dan Murali, 2005)

Dengan *grid 2* dan *grid 3* memiliki hasil yang hampir identik, sehingga dapat disimpulkan bahwa *grid 3* menunjukkan tingkat *grid independensi* yang cocok. Pada umumnya keakuratan dari metode solusi numerik yang baik diiringi dengan meningkatnya jumlah dari *cell*. Namun penggunaan dari jumlah *cell* yang banyak akan dibatasi dengan proses dari *hardware* computer dan waktu proses dari computer tersebut. Maka semua solusi numerik diolah dengan menggunakan *grid 3*.



## 2.8. Reduksi Gaya Drag Pada Aliran Fluida Melintasi Silinder Sirkular

Timbulnya gaya drag pada aliran fluida tentu menimbulkan rugi-rugi. Untuk menurunkan gaya drag yang timbul ada beberapa penelitian yang patut untuk dibahas, antara lain Tsutsui dan Igarashi (2002), Lee, dkk (2004, 2005), Igarashi dan Shiba (2006) dan Wijanarko dan Widodo (2013). Pada penelitian yang dilakukan oleh Lee, dkk (2004) dan Tsutsui & Igarashi (2002) adalah usaha untuk menurunkan gaya drag pada silinder tunggal dengan menggunakan silinder pengganggu yang memiliki dimensi yang lebih kecil dan diletakkan di depan silinder utama dengan susunan tandem. Skema penelitian ditunjukkan pada gambar 2.10.

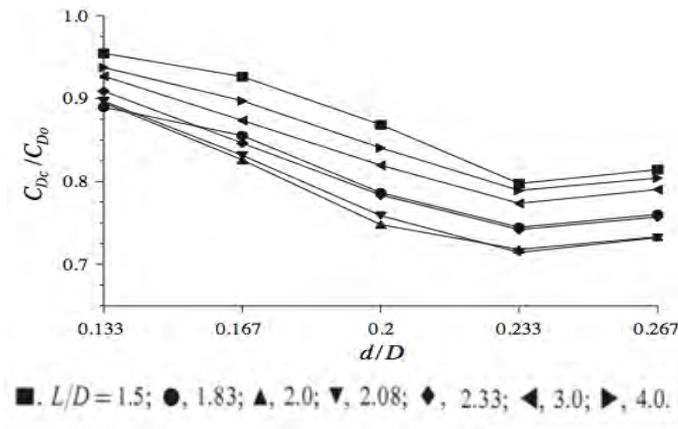


Gambar 2.10 Skema penelitian (Lee dkk, 2004)

Penelitian Lee dkk (2004) yang memvariasikan nilai  $L/D$  dan  $d/D$  mendapatkan hasil yang berupa turunya *coefficient of drag* total dari sistem. Turunnya nilai  $C_D$  dipengaruhi oleh adanya silinder pengganggu yang menghasilkan profil aliran yang melingkupi silinder utama. Profil aliran ini mengakibatkan turunya nilai  $C_p$  sehingga juga turun menurunkan nilai  $C_D$  dari silinder utama dan sistem secara total. Adapun hal lain yang bisa kita dapatkan dari penelitian ini adalah rasio diameter batang pengganggu yang ideal sebagai *small control rod* ada pada  $d/D =$

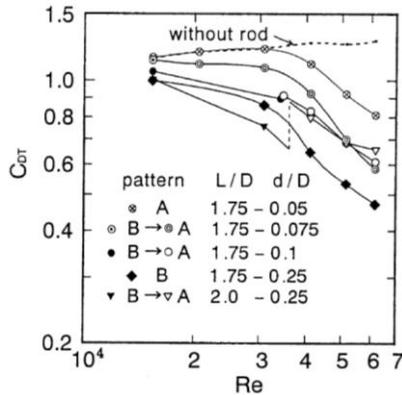


0,233 serta peletakkan *small control rod* ini pada jarak  $L/D = 2,0 - 2,08$ . Percobaan ini juga membuktikan timbulnya jarak kritis dengan adanya penambahan batang pengganggu ini. Jarak kritis ini berada pada  $L_c/D = 1,5 + 0,083d$  ( $0,133 \leq d/D \leq 0,233$ ). Pengaruh rasio bodi pengganggu dengan silinder utama pada pengurangan gaya drag di silinder utama ditunjukkan pada gambar 2.11.



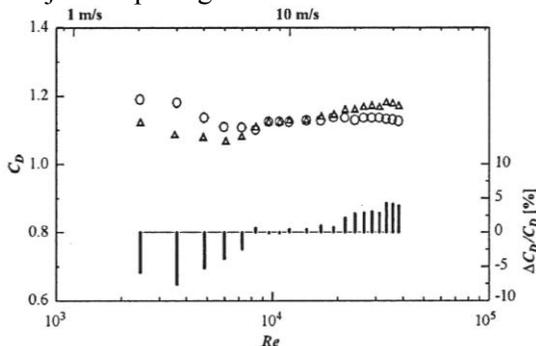
Gambar 2.11 Pengaruh rasio bodi pengganggu dengan silinder utama pada pengurangan gaya drag di silinder utama (Lee dkk, 2004)

Sedangkan pada penelitian Tsutsui dan Igarashi (2002), mereka turut melihat adanya pengaruh nilai angka Reynolds terhadap turunnya gaya *drag*. Tampak bahwa pengaruh  $Re$  signifikan terhadap turunnya *pressure drop* dan kondisi optimum yang diperoleh untuk reduksi koefisien drag dan total koefisien drag dengan menggunakan batang pengganggu yang memiliki rasio diameter  $d/D = 0,25$ , rasio jarak  $L/D = 2,0$  untuk  $Re < 41000$  serta rasio jarak  $L/D = 1,75$  untuk  $Re > 41000$ . Penurunan nilai  $C_D$  dan  $C_{DT}$  adalah 73 % dan 63 %. Koefisien drag total ditunjukkan pada gambar 2.12.



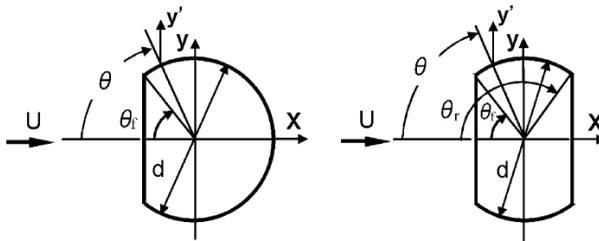
Gambar 2.12 Koefisien drag total (Tsutsui dan Igarashi 2002)

Untuk pengaruh kekasaran permukaan (profil) silinder, Lee dkk (2005) menggunakan penambahan alur *V-grooved* pada silinder. Hasil yang diperoleh antara lain pada  $Re = 3,6 \times 10^3$ , koefisien drag pada silinder *V-grooved* tereduksi sebesar 7,6% dibandingkan dengan silinder polos dan pada  $Re$  maksimal ( $Re = 3,6 \times 10^4$ ) akan meningkatkan koefisien drag sebesar 4,2%. Jadi penerapan silinder berkontur *V-grooved* hendaknya melihat nilai  $Re$  yang akan digunakan. Koefisien drag dengan kontur *V-grooved* ditunjukkan pada gambar 2.13.

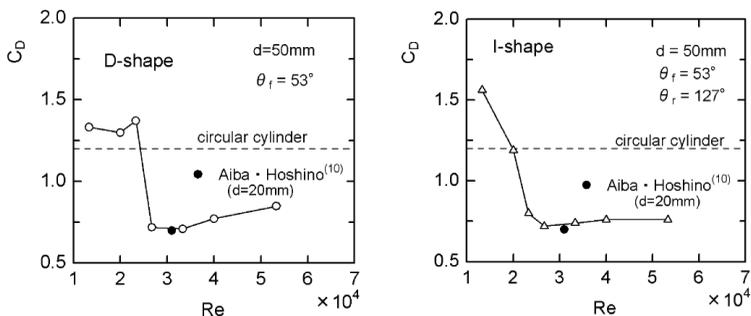
Gambar 2.13 Koefisien drag, ○: silinder polos. △: silinder dengan kontur *V-grooved* (Lee dkk, 2005)



Reduksi gaya drag dengan pemotongan silinder dengan sudut potong tertentu dilakukan oleh Igarashi dan Shiba (2006) dengan menyebut sebagai silinder teriris tipe-D dan tipe-I. Diameter silinder sebesar 50 mm, sudut iris  $50^\circ$ - $53^\circ$ , dan  $Re > 2,3 \times 10^4$ . Gambar 2.14 menunjukkan bahwa koefisien drag ( $C_D$ ) pada silinder teriris tipe-D dan tipe-I menurun drastis dari 1,3 sampai 0,7 pada  $Re = 2,6 \times 10^4$ . *Shear layer* terseparasi dari sudut iris kemudian *attach* pada sisi lengkung sirkular silinder. Kemudian lebar *wake* kedua tipe silinder tersebut akan semakin sempit dan posisi *vortex* bergeser ke arah *downstream* dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa teriris. Koefisien drag silinder teriris tipe-D dan tipe-I ditunjukkan pada gambar 2.15.



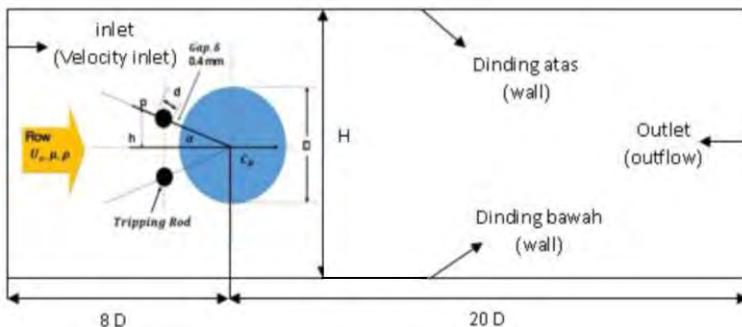
Gambar 2.14 Skema penelitian silinder teriris tipe-D dan tipe-I (Igarashi dan Shiba, 2006)



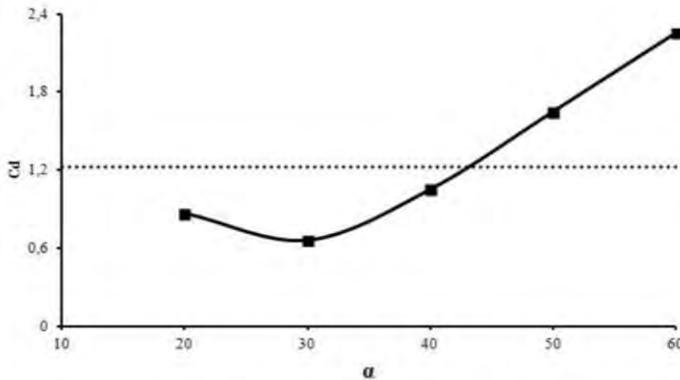
Gambar 2.15 Koefisien drag silinder teriris tipe-D dan tipe-I (Igarashi dan Shiba, 2006)



Penelitian menggunakan studi numerik tentang karakteristik aliran melintasi silinder sirkular tunggal dengan bodi pengganggu berbentuk silinder sirkular pada saluran sempit berpenampang bujur sangkar telah dilakukan oleh Wijanarko dan Widodo (2013). Gambar 2.16 menunjukkan bahwa bentuk dari bodi pengganggu adalah silinder sirkular sebagai *upstream* dengan celah antara silinder utama ( $\delta$ ) sebesar 0,4 mm. Diameter bodi pengganggu ( $d$ ) sebesar 4 mm sedangkan variasi dari posisi sudut bodi pengganggu adalah  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ , sedangkan diameter silinder sirkular utama ( $D$ ) adalah 25 mm. Pada gambar 2.17 dapat dilihat pengaruh penempatan sudut ( $\alpha$ ) bodi pengganggu terhadap nilai koefisien drag silinder sirkular utama. Penambahan bodi pengganggu dengan efektif dapat mereduksi gaya drag pada sudut  $\alpha \leq 40^\circ$ . Gambar 2.17 menunjukkan bahwa reduksi  $C_D$  paling maksimum didapatkan pada pengganggu  $\alpha = 30^\circ$ , yaitu sebesar  $\approx 46\%$ . Penambahan pengganggu dengan  $\alpha = 20^\circ$  dapat mereduksi koefisien *drag* sebesar  $\approx 29\%$  sedangkan pada pengganggu  $\alpha = 40^\circ$  dapat mereduksi nilai koefisien drag sebesar  $\approx 14\%$ . Grafik tersebut menunjukkan pada  $\alpha > 30^\circ$  nilai  $C_D$  terus mengalami peningkatan.



Gambar 2.16 Geometry set-up untuk silinder sirkular tunggal dengan bodi pengganggu berbentuk silinder sirkular (Wijanarko dan Widodo, 2013)



Gambar 2.17  $C_D$  pada silinder sirkular dan silinder sirkular dengan bodi pengganggu ( $d/D = 0,16$ ) (Wijanarko dan Widodo, 2013)

Dari studi-studi yang telah diuraikan diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan pemberian kekasaran permukaan, pemotongan silinder dengan sudut potong tertentu, dan dengan penambahan bodi pengganggu di depan silinder utama dapat mereduksi gaya drag dan menunda letak titik separasi. Penelitian yang akan dilakukan ini menggunakan metode numerik untuk mengetahui pengaruh bodi pengganggu yang menempel pada silinder utama terhadap karakteristik aliran fluida. Metode numerik ini akan menggunakan analisa 2 dimensi (2D) yang diharapkan dapat menggambarkan separasi aliran yang terjadi.



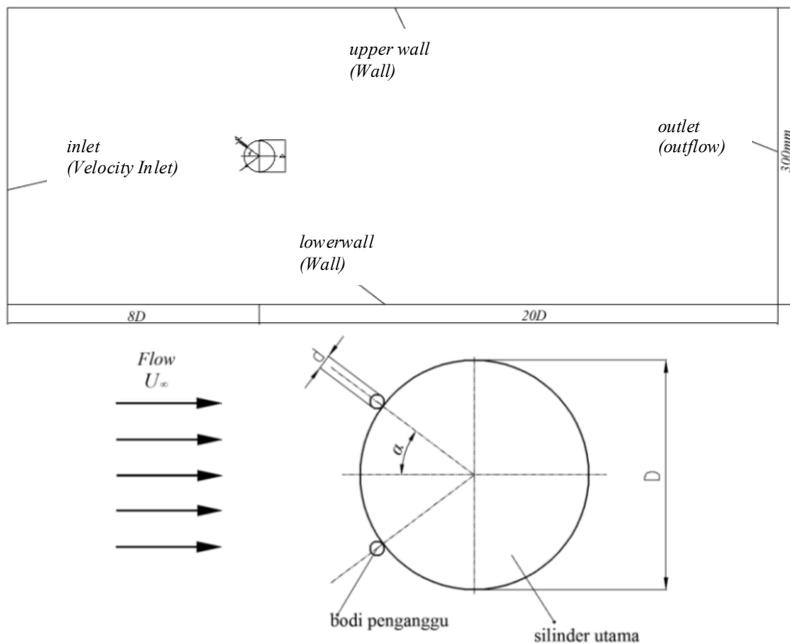
*halaman ini sengaja dikosongkan*



### **BAB III METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Skema Geometri Penelitian**

Skema geometri dari penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1. Posisi bodi pengganggu tepat menempel pada silinder utama.



Gambar 3.1 Skema penelitian dengan penambahan bodi pengganggu

Keterangan:

1. Geometri silinder sirkular dan bodi pengganggu
  - a. Diameter silinder utama ( $D$ ) : 32 mm.
  - b. Diameter bodi pengganggu ( $d$ ) : 2 mm.



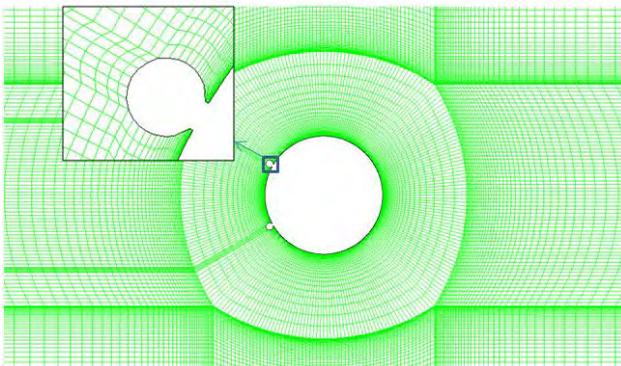
2. Angka *Reynolds* yang digunakan adalah  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ .
3. Tidak ada gap antara bodi pengganggu dengan silinder utama.
4. Sudut batang pengganggu dari *centerline* ( $\alpha$ ) =  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ .

### 3.2. Langkah-Langkah Metode Numerik

Pada penelitian ini menggunakan metode numerik 2D (dimensi) dengan bantuan *software* fluent 6.3.26. Dalam melakukan penelitian ini terdapat tiga tahapan, yaitu tahapan *pre-processing* dengan menggunakan *software* Gambit 2.4.6, tahapan *processing* dan tahapan *post-processing* menggunakan *software* Fluent 6.3.26.

#### 3.2.1. Tahap *Pre-processing*

Tahap *pre-processing* ini merupakan tahapan awal dalam sebuah penelitian secara numerik yang dilakukan dengan memasukan data awal. Data awal yang dimaksud adalah skema *geometry*, *meshing* dan *boundary type* untuk benda uji. Setelah melakukan pembuatan *geometry*, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *meshing* dan menentukan *boundary type*. Pada langkah pembuatan *geometry*, *meshing* dan *boundary type* ini dilakukan pada gambit Bentuk *geometry*, *meshing*, dan *boundary type* ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema *meshing* pada *cylinder* dengan penambahan bodi pengganggu



### 3.2.2. Tahap Processing

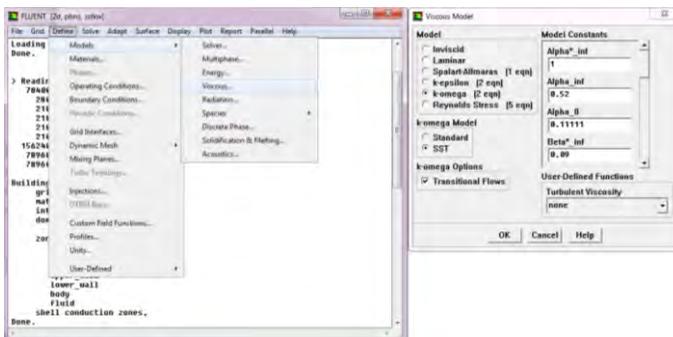
Setelah melakukan tahap *pre-processing* dengan menggunakan software Gambit 2.4.6, tahap selanjutnya adalah tahapan *processing* untuk melakukan iterasi. *Software* yang digunakan pada tahap ini adalah Fluent 6.3.26. Proses pada fluent ini merupakan proses lanjutan setelah data diekspor oleh gambit berupa data “.msh”. berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan pada tahapan *processing*:

#### 1. Grid

Langkah awal setelah masuk pada *software* fluent dilakukan read untuk data hasil ekspor gambit berupa data “.msh”, kemudian dilakukan pengecekan grid. Setelah itu ditentukan skala. Pada penelitian ini menggunakan skala dalam mm.

#### 2. Models

Pada langkah ini dilakukan pemodelan karakteristik aliran meliputi pemilihan model *solver* dan penentuan *turbulence model* yang digunakan. *Turbulence model* yang digunakan untuk penelitian ini adalah *k- $\omega$  SST*. Pemilihan ini didasarkan pada penelitian terdahulu oleh Wijanarko dan Widodo (2013) dan menurut penelitian Mulvany, dkk (2004) pemodelan *k- $\omega$  SST* lebih akurat untuk menganalisa aliran didekat dinding maupun aliran yang jauh dari dinding dan juga kasus *adverse pressure gradient*. Penentuan *models* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Langkah-langkah dalam menentukan *models*

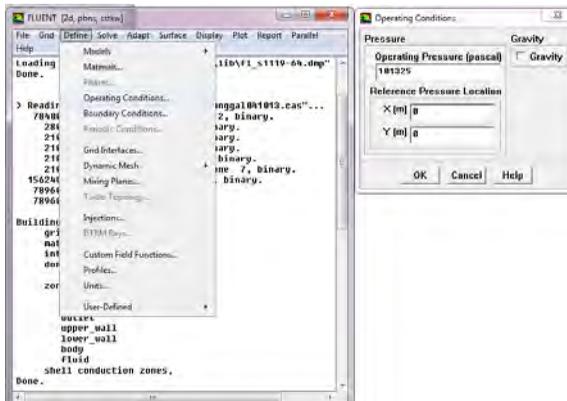


### 3. Materials

Langkah ini merupakan penetapan jenis material yang akan digunakan yaitu udara pada temperature  $30^{\circ}$  dengan nilai density ( $\rho$ ) sebesar  $1,17 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas ( $\mu$ ) sebesar  $1,86 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$ .

### 4. Operation condition

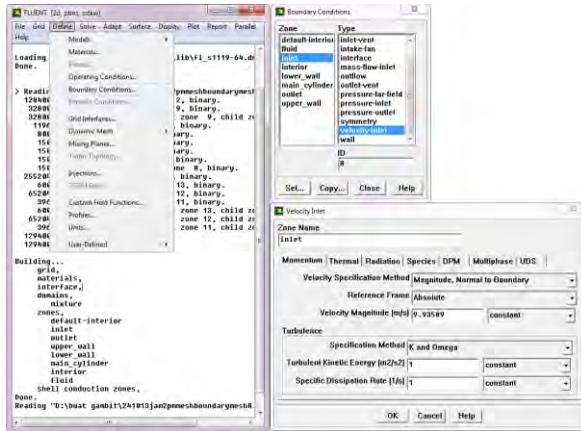
*Operation condition* menentukan kondisi daerah dimana operasi dan lingkungan di sekitar benda uji. *Operation conditions* menggunakan *operation pressure* sebesar 101325 pascal. Penentuan *operation condition* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Langkah-langkah dalam menentukan *operation condition*

### 5. Boundary condition

*Boundary condition* digunakan untuk menentukan parameter-parameter dan batasan yang terjadi pada aliran, yakni dengan pemberian kecepatan, tekanan maupun kondisi batas turbulensi pada *inlet*, *outlet*, *main body*, *disturbance body* dan dinding. Pada daerah *inlet* diasumsikan sebagai *velocity inlet* dengan nilai kecepatan ditentukan dari kondisi angka Reynolds, sedangkan pada *outlet* adalah *outflow*, *wall* merupakan batasan semua dinding, *main body* dan *disturbance body*. Penentuan *boundary condition* dapat dilihat pada gambar 3.5.



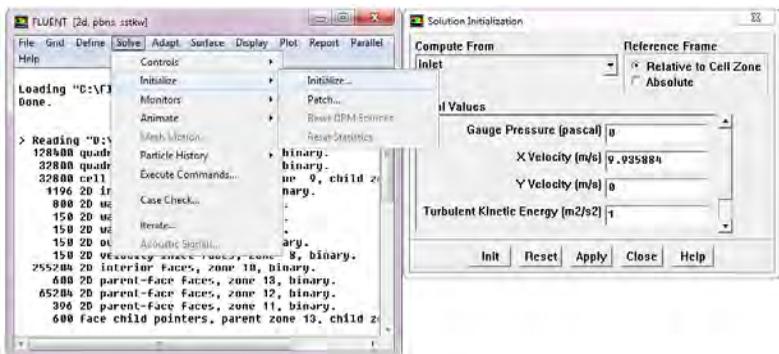
Gambar 3.5 Langkah-langkah dalam menentukan *boundary condition*

## 6. Solution

*Solution* adalah penentuan *discretization* untuk *pressure*, *momentum*, *turbulent kinetic energy*, dan *specific dissipation rate*.

## 7. Initialize

*Initialize* merupakan langkah perhitungan awal untuk memudahkan dalam mendapatkan hasil yang konvergen pada tahap iterasi. *Initialize* dihitung dari *inlet*. Penentuan *initialize* dapat dilihat pada gambar 3.6.

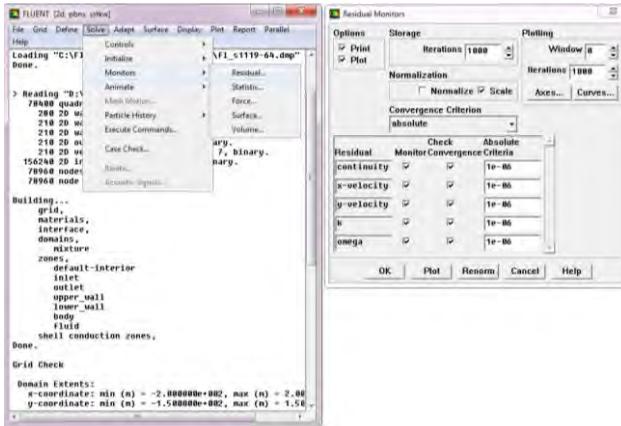


Gambar 3.6 Langkah-langkah dalam menentukan *initialize*



## 8. Monitor residual

*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 dari  $10^{-6}$ . Penentuan *monitor residual* dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Langkah-langkah dalam menentukan *monitor residual*

## 9. iterate

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

## 10. Grid independency dan validasi

*Grid independency* dilakukan untuk memastikan grid yang telah independen terhadap kasus yang akan disimulasikan. Pada grid independensi ini, dilakukan pembagian jumlah meshing ke dalam 4 jenis, kemudian dari jenis meshing ini akan dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Menurut Jagadesh dan Murali (2005), keakuratan



dari metode solusi numerik yang baik diiringi dengan meningkatnya jumlah dari *cell*. Namun penggunaan dari jumlah *cell* yang banyak akan dibatasi dengan proses dari *hardware* computer dan waktu proses dari computer tersebut. Pada penelitian ini akan digunakan analisa *grid independency* koefisien drag. Nilai  $C_D$  dari grid independensi akan ditampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Skema Grid Independensi pada silinder tunggal  
 $D = 32\text{mm}$  dengan  $Re = 5,5 \times 10^4$

Jenis Meshing	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$	$C_D$ (Alam, dkk 2003) Eksperimen	Error (%)
Meshing A	49200	1.175	1.12	4.91%
Meshing B	79200	1.166	1.12	4.10%
Meshing C	103800	1.161	1.12	3.66%
Meshing D	109200	1.161	1.12	3.66%

Berdasarkan table 3.1 nilai  $C_D$  yang cenderung konstan terjadi pada meshing C dan meshing D. Salah satu pertimbangan dalam melakukan simulasi numerik adalah optimasi waktu dan memori yang digunakan, maka meshing yang digunakan adalah meshing C.

Langkah selanjutnya adalah validasi yang bertujuan untuk memastikan apakah metode penelitian telah sesuai dengan acuan yang digunakan, hal ini juga berlaku pada penelitian ini. Untuk memvalidasi metode numerik yang digunakan, data hasil numerik akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Alam, dkk (2003) dan hasil numerik yang dilakukan oleh Wijanarko dan Widodo (2013) pada  $Re = 5,5 \times 10^4$ . Hasil dari validasi akan ditampilkan pada tabel 3.2.

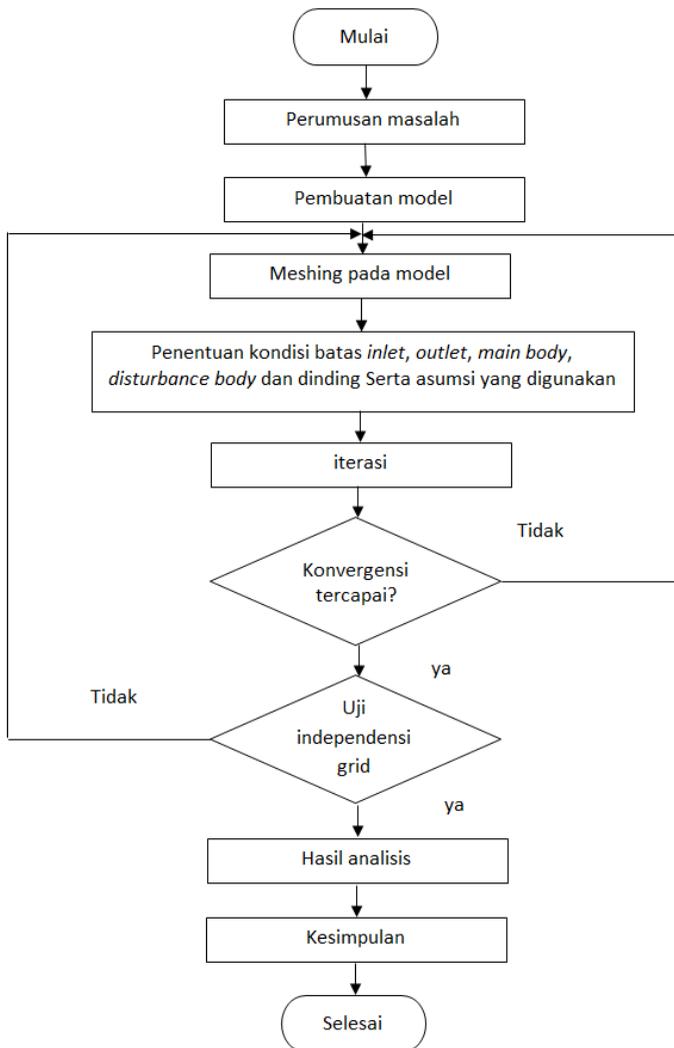
Tabel 3.2 Nilai  $C_D$  silinder sirkular pada  $Re = 5,5 \times 10^4$ 

	metode	Nilai $C_D$
Numerik ( <i>present</i> )	numerik	1.16
Alam, dkk (2003)	eksperimen	1,12
Wijanarko dan Widodo (2013)	numerik	1,08

Table 3.2 menunjukkan perbandingan nilai  $C_D$  antara hasil numerik dan eksperimen. Hasil dari perbandingan tersebut menunjukkan bahwa nilai  $C_D$  pada penelitian numerik ini memberikan kesesuaian antara penelitian eksperimen Alam, dkk (2003) dan penelitian numerik Wijanarko dan Widodo (2013).

### 3.2.3. Tahap *Post-processing*

Pada tahapan ini merupakan tampilan hasil yang telah diperoleh. Hasil ini dapat divisualisasikan melalui tampilan *grid display*, plot kontur (tekanan, kecepatan, dan sebagainya), dan hasil yang lainnya sesuai dengan apa yang ingin digunakan untuk analisa. Langkah-langkah metode penelitian dapat dilihat pada *flowchart* gambar 3.8.

Gambar 3.8 *Flowchart* metode penelitian



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisa dan pembahasan data dari hasil numerik. Data yang diperoleh dari penelitian ini berupa data kuantitatif dan kualitatif. Adapun permasalahan yang akan dibahas dan ditampilkan antara lain analisa koefisien tekanan, koefisien drag sebagai data kuantitatif. Sedangkan visualisasi aliran berupa *velocity pathline* dan *velocity vector* sebagai data kualitatif untuk memperkuat data yang diolah sebelumnya.

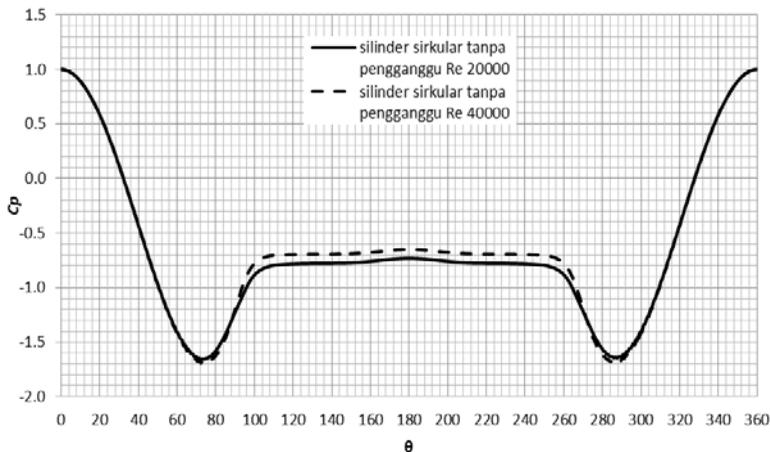
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua bilangan *Reynolds* yang didasarkan pada diameter silinder sirkular utama ( $D$ ) dan kecepatan maksimum pada inlet *test section* sebesar  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan  $Re_D = 4 \times 10^4$ . Fokus penelitian ini untuk mengetahui karakteristik aliran yang terjadi pada silinder sirkular utama. Pemodelan numerik yang digunakan untuk menganalisa karakteristik aliran pada studi ini adalah 2D *steady turbulence model k- $\omega$  Shear Stress Transport (k- $\omega$  SST)*.

#### 4.1. Distribusi *Pressure Coefficient* ( $C_p$ )

Pada bagian ini dijelaskan distribusi *pressure coefficient* ( $C_p$ ) hasil pemodelan numerik dengan pemodelan 2D *steady turbulence model k- $\omega$  SST*. Distribusi *pressure coefficient* ( $C_p$ ) yang akan dijelaskan yaitu diantaranya silinder sirkular tanpa pengganggu, silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  dengan  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan  $Re_D = 4 \times 10^4$ .

##### 4.1.1. Distribusi Perubahan Kecepatan Maksimum

Pada bagian ini ditampilkan grafik distribusi *pressure coefficient* ( $C_p$ ) hasil simulasi numerik pada silinder sirkular tanpa pengganggu. Diameter silinder sirkular tanpa pengganggu yaitu 32 mm. Konfigurasi yang ditampilkan yaitu dengan angka *Reynolds*  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ .



Gambar 4.1. Distribusi tekanan pada tekanan  $C_p$  silinder sirkular tanpa pengganggu

Pada simulasi numerik, nilai distribusi tekanan diperoleh pada sudut  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$ . Gambar 4.1 menunjukkan grafik distribusi tekanan pada diameter 32mm dengan angka *Reynolds*  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ . Titik stagnasi terjadi pada sudut  $0^\circ$  pada gambar tersebut, dimana titik stagnasi ditunjukkan pada nilai  $C_p$  sebesar 1. Setelah titik stagnasi nilai aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan grafik  $C_p$  yang menurun hingga mencapai harga  $C_p$  yang terendah,  $C_p$  yang paling rendah mengindikasikan terjadinya kecepatan maksimum. Kecepatan maksimum terjadi pada sudut  $\theta = \pm 72^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 287^\circ$  di sisi *lower* dengan angka *Reynolds* sebesar  $2 \times 10^4$  untuk angka *Reynolds*  $4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 74^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 285^\circ$  di sisi *lower*. Setelah itu tekanan cenderung meningkat karena harus melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser seperti yang terlihat pada grafik  $C_p$ , hingga aliran tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser yang menyebabkan terjadinya separasi. Titik separasi pada  $Re 2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 89^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 270^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut



$\theta = \pm 92^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 268^\circ$  di sisi *lower* seperti ditunjukkan pada gambar diatas. Secara keseluruhan, posisi titik stagnasi dan separasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Posisi titik stagnasi dan separasi silinder sirkular tanpa pengganggu

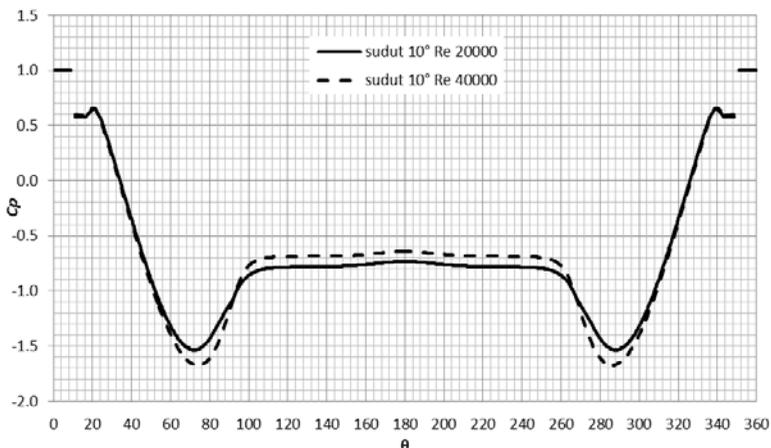
posisi	Sudut $\theta$	
	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Stagnasi	$0^\circ$	$0^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>upper</i> )	$\pm 72^\circ$	$\pm 74^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>lower</i> )	$\pm 287^\circ$	$\pm 285^\circ$
Separasi ( <i>upper</i> )	$\pm 89^\circ$	$\pm 92^\circ$
Separasi ( <i>lower</i> )	$\pm 270^\circ$	$\pm 268^\circ$

#### 4.1.2. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Bodi Pengganggu pada Posisi $10^\circ$

Gambar 4.2 menunjukkan grafik distribusi tekanan pada diameter silinder dengan 32 mm dengan penambahan bodi pengganggu pada posisi  $10^\circ$  sebesar 2 mm pada angka *Reynolds*  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ . Titik stagnasi terjadi pada sudut  $0^\circ$  dengan  $C_p$  sebesar 1. Setelah titik stagnasi aliran mengalami *discontinuity* dikarenakan bodi pengganggu yang tepat menempel pada silinder sirkular utama. *Discontinuity* terjadi pada sudut  $\theta = 10^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = 350^\circ$  di sisi *lower* dengan *Re* sebesar  $2 \times 10^4$  untuk *Re*  $4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = 10^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = 350^\circ$  di sisi *lower*. Kemudian karena adanya *mixing shear layer* antara body pengganggu dengan kecepatan *freestream* menyebabkan aliran *attach* ke silinder sirkular utama, hingga aliran memiliki energi kembali untuk melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser, fenomena ini disebut *reattachment* yang ditandai dengan adanya *peak* (puncak) tekanan. Letak *peak* (puncak) tekanan pada *Re*  $2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 21^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 339^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk



$Re 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 20^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 340^\circ$  di sisi *lower*. Kemudian koefisien tekanan cenderung turun hingga pada titik minimum, hal ini menandakan daerah kecepatan maksimum. Letak kecepatan maksimum pada pada angka *Reynolds*  $2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 71^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 289^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk angka *Reynolds*  $4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 73^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 287^\circ$  di sisi *lower*. Setelah itu tekanan cenderung meningkat karena harus melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser seperti yang terlihat pada grafik  $C_p$ , hingga aliran tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser yang menyebabkan terjadinya separasi. Titik separasi pada  $Re 2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 86^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 274^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 93^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 267^\circ$  di sisi *lower* seperti ditunjukkan pada gambar tersebut. Secara keseluruhan, posisi titik stagnasi, *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi dapat dilihat pada tabel 4.2.



Gambar 4.2 Distribusi tekanan pada tekanan  $C_p$  silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$



Tabel 4.2 Posisi titik stagnasi *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$

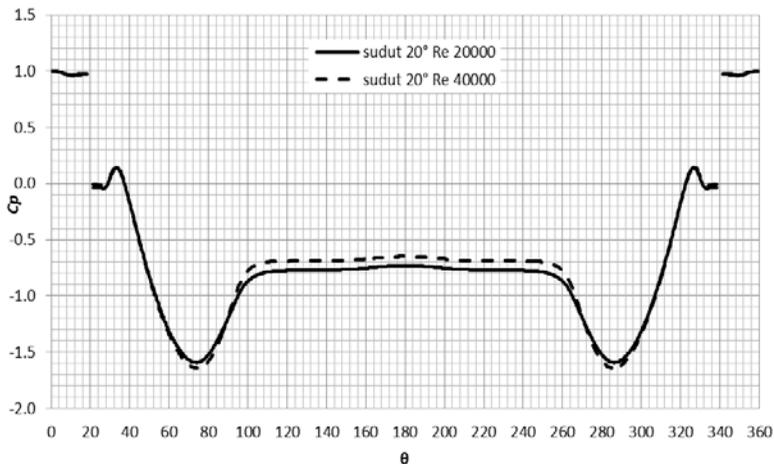
posisi	Sudut $\theta$	
	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Stagnasi	$0^\circ$	$0^\circ$
<i>Discontinuity (upper)</i>	$10^\circ$	$10^\circ$
<i>Discontinuity (lower)</i>	$350^\circ$	$350^\circ$
<i>Reattachment (upper)</i>	$\pm 21^\circ$	$\pm 20^\circ$
<i>Reattachment (lower)</i>	$\pm 339^\circ$	$\pm 340^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>upper</i> )	$\pm 71^\circ$	$\pm 73^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>lower</i> )	$\pm 289^\circ$	$\pm 287^\circ$
Separasi ( <i>upper</i> )	$\pm 86^\circ$	$\pm 93^\circ$
Separasi ( <i>lower</i> )	$\pm 274^\circ$	$\pm 267^\circ$

#### 4.1.3. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Pegganggu pada Posisi $20^\circ$

Gambar 4.3 menunjukkan grafik  $C_p$  pada permukaan silinder utama dengan penambahan pegganggu pada posisi  $20^\circ$  sebesar 2 mm pada angka *Reynolds*  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ . Titik stagnasi terjadi pada sudut  $0^\circ$  dengan  $C_p$  sebesar 1. Terjadi *discontinuity* pada sudut  $\theta = 20^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = 340^\circ$  di sisi *lower* dikarenakan pegganggu yang tepat menempel pada silinder utama. *Discontinuity* terjadi baik pada  $Re$  sebesar  $2 \times 10^4$  ataupun  $Re$  sebesar  $4 \times 10^4$ . Setelah terjadi *discontinuity* aliran mengalami *mixing shear layer* antara body pegganggu dengan kecepatan *freestream* yang menyebabkan aliran *attach* ke silinder sirkular utama, hingga aliran memiliki energi kembali untuk melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser, fenomena ini disebut *reattachment* yang ditandai dengan adanya *peak* (puncak) tekanan. Letak *peak* (puncak) tekanan pada  $Re$



sebesar  $2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 33^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 326^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re\ 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 33^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 326^\circ$  di sisi *lower*. Kemudian koefisien tekanan cenderung turun hingga pada titik minimum, hal ini menandakan daerah kecepatan maksimum. Kecepatan maksimum terletak sudut  $\theta = \pm 73^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 286^\circ$  di sisi *lower* untuk  $Re$  sebesar  $2 \times 10^4$  sedangkan untuk  $Re$  sebesar  $4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 73^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 286^\circ$  di sisi *lower*. Setelah itu tekanan cenderung meningkat karena harus melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser seperti yang terlihat pada grafik  $C_p$ , hingga aliran tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser yang menyebabkan terjadinya separasi. Titik separasi pada  $Re\ 2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 88^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 272^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re\ 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 92^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 268^\circ$  di sisi *lower* seperti ditunjukkan pada gambar 4.3. Secara keseluruhan, posisi titik stagnasi, *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi dapat dilihat pada tabel 4.3.



Gambar 4.3 Distribusi  $C_p$  untuk silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu pada  $20^\circ$



Tabel 4.3 Posisi titik stagnasi *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $20^\circ$

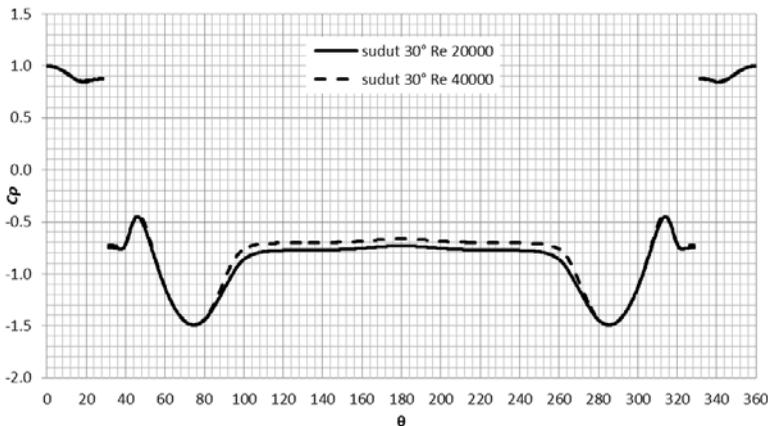
posisi	Sudut $\theta$	
	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Stagnasi	$0^\circ$	$0^\circ$
<i>Discontinuity (upper)</i>	$20^\circ$	$20^\circ$
<i>Discontinuity (lower)</i>	$340^\circ$	$340^\circ$
<i>Reattachment (upper)</i>	$\pm 33^\circ$	$\pm 33^\circ$
<i>Reattachment (lower)</i>	$\pm 326^\circ$	$\pm 326^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>upper</i> )	$\pm 73^\circ$	$\pm 73^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>lower</i> )	$\pm 286^\circ$	$\pm 286^\circ$
Separasi ( <i>upper</i> )	$\pm 88^\circ$	$\pm 92^\circ$
Separasi ( <i>lower</i> )	$\pm 272^\circ$	$\pm 268^\circ$

#### 4.1.4. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Penggangu pada Posisi $30^\circ$

Gambar 4.4 menunjukkan grafik  $C_p$  pada diameter 32 mm dengan penambahan bodi pengganggu pada posisi  $30^\circ$  sebesar 2 mm pada  $Re$  sebesar  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ . Titik stagnasi terjadi pada sudut  $0^\circ$  dengan  $C_p$  sebesar 1. Setelah titik stagnasi aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan grafik  $C_p$  yang menurun dan perlambatan yang ditandai dengan grafik  $C_p$  yang cenderung naik, kemudian terjadi *discontinuity* dikarenakan bodi pengganggu yang tepat menempel pada silinder sirkular utama. Baik  $Re$  sebesar  $2 \times 10^4$  ataupun  $Re$  sebesar  $4 \times 10^4$  *discontinuity* terjadi pada sudut  $\theta = 30^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = 330^\circ$  di sisi *lower*. Kemudian karena adanya *mixing shear layer* antara body pengganggu dengan kecepatan *freestream* menyebabkan aliran *attach* ke silinder sirkular utama, hingga aliran memiliki energi kembali untuk melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser, fenomena ini disebut *reattachment* yang ditandai dengan



adanya *peak* (puncak) tekanan. Letak *peak* (puncak) tekanan pada  $Re$  sebesar  $2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 45^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 314^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re$  sebesar  $4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 46^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 313^\circ$  di sisi *lower*. Kemudian  $C_p$  cenderung turun hingga pada titik minimum, hal ini menandakan daerah kecepatan maksimum. Letak kecepatan maksimum pada  $Re$   $2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 76^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 286^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re$   $4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 75^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 285^\circ$  di sisi *lower*. Setelah itu  $C_p$  cenderung meningkat karena harus melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser seperti yang terlihat pada grafik  $C_p$ . Kemudian terjadi separasi dikarenakan aliran tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser. Pada  $Re$  sebesar  $2 \times 10^4$  titik separasi terjadi pada sudut  $\theta = \pm 88^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 272^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re$   $4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 91^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 269^\circ$  di sisi *lower* seperti ditunjukkan pada gambar tersebut. Secara keseluruhan, posisi titik stagnasi, *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi dapat dilihat pada tabel 4.4.



Gambar 4.4 Distribusi  $C_p$  pada silinder sirkular dengan penambahan pengganggu sudut  $30^\circ$



Tabel 4.4 Posisi titik stagnasi *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu 30°

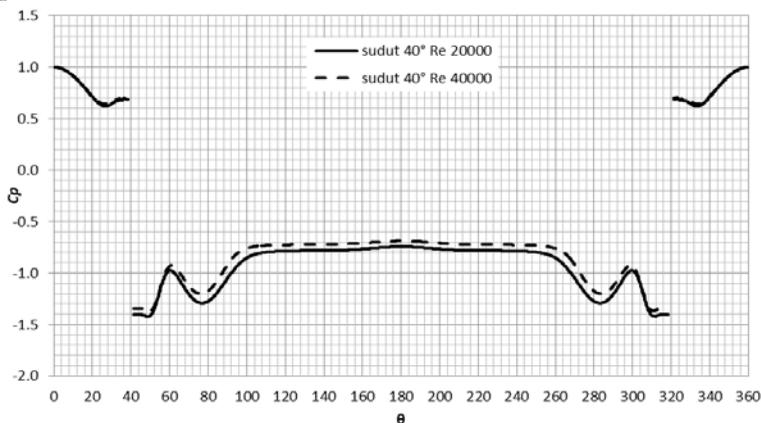
posisi	Sudut $\theta$	
	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Stagnasi	0°	0°
<i>Discontinuity (upper)</i>	30°	30°
<i>Discontinuity (lower)</i>	330°	330°
<i>Reattachment (upper)</i>	±45°	±46°
<i>Reattachment (lower)</i>	±314°	±313°
Kecepatan maksimum ( <i>upper</i> )	±76°	±75°
Kecepatan maksimum ( <i>lower</i> )	±286°	±285°
Separasi ( <i>upper</i> )	±88°	±91°
Separasi ( <i>lower</i> )	±272°	±269°

#### 4.1.5. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Pegganggu pada Posisi 40°

Gambar 4.5 menunjukkan grafik  $C_p$  pada diameter 32 mm dengan penambahan bodi pengganggu pada posisi 40° sebesar 2 mm pada  $Re = 2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ . Titik stagnasi terjadi pada sudut 0° dengan  $C_p$  sebesar 1. Setelah titik stagnasi aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan grafik  $C_p$  yang menurun kemudian dikarenakan efek dari menempelnya bodi pengganggu pada silinder sirkular utama kecepatan menurun yang ditandai dengan grafik  $C_p$  yang cenderung naik hingga terjadi *discontinuity*. *Discontinuity* terjadi pada sudut  $\theta = 40^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = 320^\circ$  di sisi *lower* baik pada  $Re$  sebesar  $2 \times 10^4$  maupun  $4 \times 10^4$ . Setelah itu dikarenakan adanya *mixing shear layer* antara body pengganggu dengan kecepatan *freestream* menyebabkan aliran *attach* ke silinder sirkular utama, hingga aliran memiliki energi kembali untuk melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser, fenomena ini disebut



*reattachment* yang ditandai dengan adanya *peak* (puncak) tekanan. Letak *peak* (puncak) tekanan pada  $Re\ 2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 60^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 299^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re\ 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 61^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 298^\circ$  di sisi *lower*. Kemudian  $C_p$  cenderung turun hingga pada titik minimum, hal ini menandakan daerah kecepatan cenderung naik. Letak  $C_p$  minimum pada  $Re\ 2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 76^\circ$  pada sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 283^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re\ 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 76^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 283^\circ$  di sisi *lower*. Setelah itu tekanan cenderung meningkat karena harus melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser seperti yang terlihat pada grafik  $C_p$ , hingga aliran tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser yang menyebabkan terjadinya separasi. Titik separasi pada  $Re\ 2 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 89^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 271^\circ$  di sisi *lower* sedangkan untuk  $Re\ 4 \times 10^4$  terjadi pada sudut  $\theta = \pm 88^\circ$  di sisi *upper* dan sudut  $\theta = \pm 272^\circ$  di sisi *lower* seperti ditunjukkan pada gambar tersebut. Secara keseluruhan, posisi titik stagnasi, *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi dapat dilihat pada tabel 4.5.



Gambar 4.5 Distribusi  $C_p$  pada silinder sirkular dengan penambahan pengganggu sudut  $40^\circ$



Tabel 4.5 Posisi titik stagnasi *discontinuity*, *reattachment*, kecepatan maksimum, dan separasi silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $40^\circ$

posisi	sudut	
	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Stagnasi	$0^\circ$	$0^\circ$
<i>Discontinuity (upper)</i>	$40^\circ$	$40^\circ$
<i>Discontinuity (lower)</i>	$320^\circ$	$320^\circ$
<i>Reattachment (upper)</i>	$\pm 60^\circ$	$\pm 61^\circ$
<i>Reattachment (lower)</i>	$\pm 278^\circ$	$\pm 298^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>upper</i> )	$\pm 76^\circ$	$\pm 76^\circ$
Kecepatan maksimum ( <i>lower</i> )	$\pm 283^\circ$	$\pm 283^\circ$
Separasi ( <i>upper</i> )	$\pm 89^\circ$	$\pm 88^\circ$
Separasi ( <i>lower</i> )	$\pm 271^\circ$	$\pm 272^\circ$

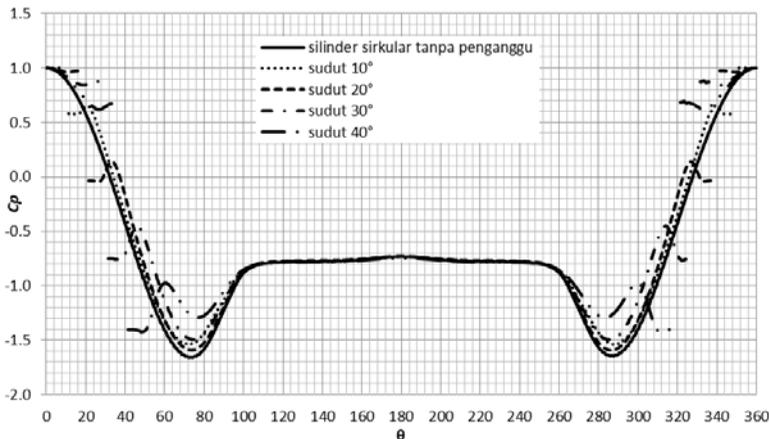
#### 4.2. Perbandingan Distribusi $C_p$ pada Silinder Sirkular dengan Variasi Posisi Sudut Pegganggu

Pada subbab 4.1 telah dijelaskan fenomena yang terjadi pada silinder sirkular tanpa bodi pengganggu dan fenomena yang terjadi pada tiap silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu. Pada bagian ini dibandingkan silinder tanpa pengganggu dengan silinder dengan penambahan bodi pengganggu. Proses perbandingan dengan cara menampilkan grafik distribusi *pressure coefficient* ( $C_p$ ). Konfigurasi yang ditampilkan yaitu dengan  $Re$   $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ .

Gambar 4.6 merupakan distribusi  $C_p$  pada silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu ( $Re_D = 2 \times 10^4$ ). Terlihat bahwa terdapat perbedaan distribusi  $C_p$  antara silinder sirkular tanpa pengganggu dengan silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ . Kecepatan aliran terbesar terdapat pada



silinder sirkular tunggal, kemudian berturut-turut hingga paling kecil adalah silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ . Pada gambar diatas terjadi fenomena yang menarik pada silinder sirkular dengan penambahan pengganggu terjadi fenomena *reattachment*. Namun fenomena *reattachment* ini belum mampu menunda separasi aliran dibandingkan silinder sirkular tanpa pengganggu.

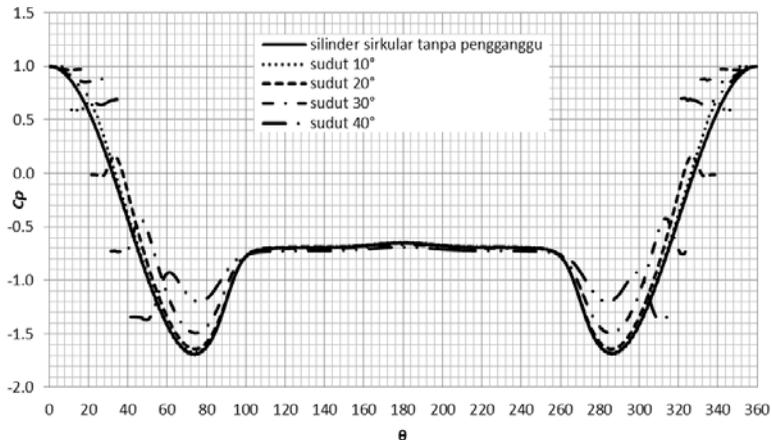


Gambar 4.6 Distribusi  $C_p$  pada silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu ( $Re_D = 2 \times 10^4$ )

Gambar 4.7 memperlihatkan perbandingan distribusi  $C_p$  di sepanjang kontur permukaan tiap-tiap model uji pada  $Re$  sebesar  $4 \times 10^4$ . Terlihat bahwa terdapat perbedaan distribusi  $C_p$  antara silinder sirkular tanpa pengganggu dengan silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ . Sama halnya dengan  $Re_D = 2 \times 10^4$ . Kecepatan aliran terbesar terdapat pada silinder sirkular tanpa pengganggu, kemudian berturut-turut hingga paling kecil adalah silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ . Pada gambar tersebut terjadi fenomena yang menarik pada



silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu terjadi fenomena *reattachment*. Pada sudut  $10^\circ$  fenomena *reattachment* ini mampu menunda separasi aliran dibandingkan silinder sirkular tunggal tetapi sudut  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  belum mampu menunda separasi.



Gambar 4.7 Distribusi  $C_p$  pada silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu ( $Re_D = 4 \times 10^4$ )

### 4.3. Visualisasi Aliran

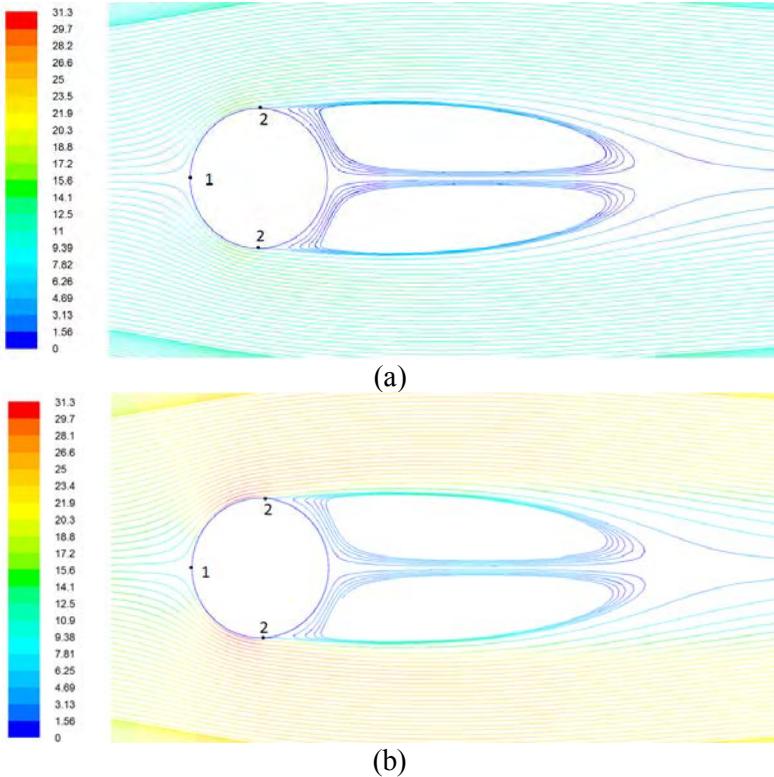
Pada bagian ini ditampilkan beberapa hasil visualisasi aliran dari hasil *post processing* pemodelan numerik dengan pemodelan 2D steady *turbulence model k- $\omega$  SST*. Visualisasi aliran yang akan dijelaskan diantaranya silinder sirkular, silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  dengan  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan  $Re_D = 4 \times 10^4$ . Hasil *post processing* tersebut meliputi karakteristik aliran berupa *velocity pathline* dan *velocity vector* yang berguna untuk melengkapi informasi mengenai hasil pemodelan numerik dengan pemodelan 2D steady *turbulence model k- $\omega$  SST*.



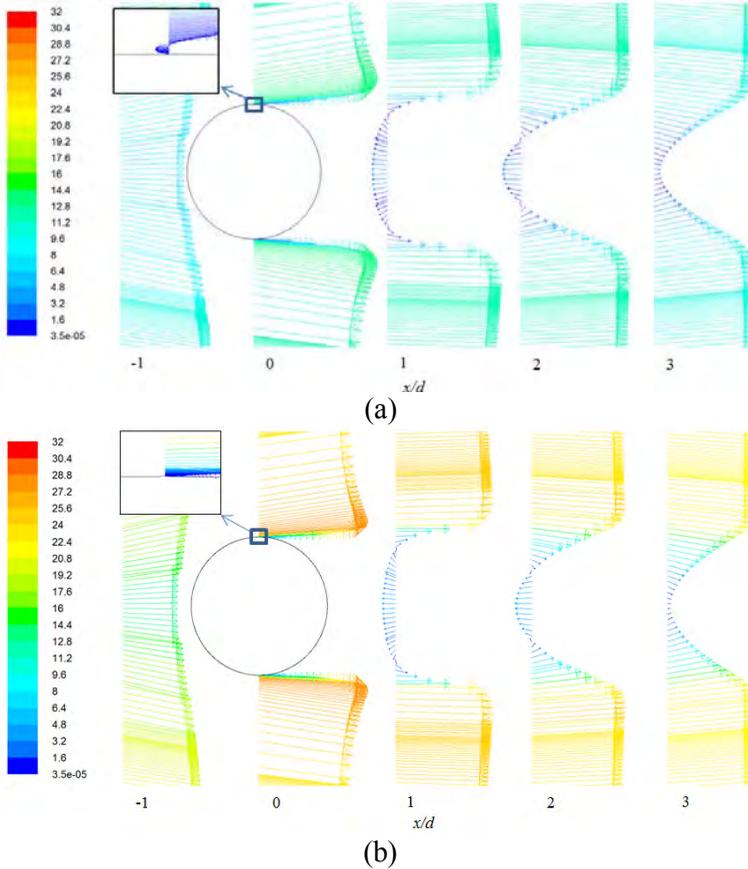
### 4.3.1. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular Tanpa Pengganggu

Gambar 4.8 menunjukkan *velocity pathline* pada silinder sirkular tunggal. Pada gambar 4.8 (a) dan (b) titik stagnasi terjadi pada sudut  $0^\circ$ . Letak titik stagnasi ditunjukkan dengan angka 1. Setelah itu momentum yang besar menyebabkan aliran mengikuti kontur bodi silinder, hingga aliran terseparasi akibat tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser. Letak separasi ditunjukkan dengan angka 2. Terlihat pada gambar diatas titik separasi pada  $Re_D = 4 \times 10^4$  lebih tertunda daripada titik separasi pada  $Re_D = 2 \times 10^4$ .

Gambar 4.9 merupakan *velocity vector* silinder tanpa pengganggu. Terlihat gambar tersebut pada  $Re_D = 2 \times 10^4$  separasi sudah terjadi sebelum sudut  $90^\circ$  sedangkan pada  $Re_D = 4 \times 10^4$  pada sudut  $90^\circ$  aliran masih mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser. Pada  $Re_D = 4 \times 10^4$  memiliki lebar *wake* yang lebih kecil dari pada  $Re_D = 2 \times 10^4$ . Hal ini terjadi karena kecepatan *freestream* aliran bertambah, maka momentum yang dimiliki oleh aliran juga bertambah. Pada kecepatan ini momentum alirannya lebih besar sehingga lebih mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser.



Gambar 4.8 *Velocity pathline* silinder tanpa pengganggu  
(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )

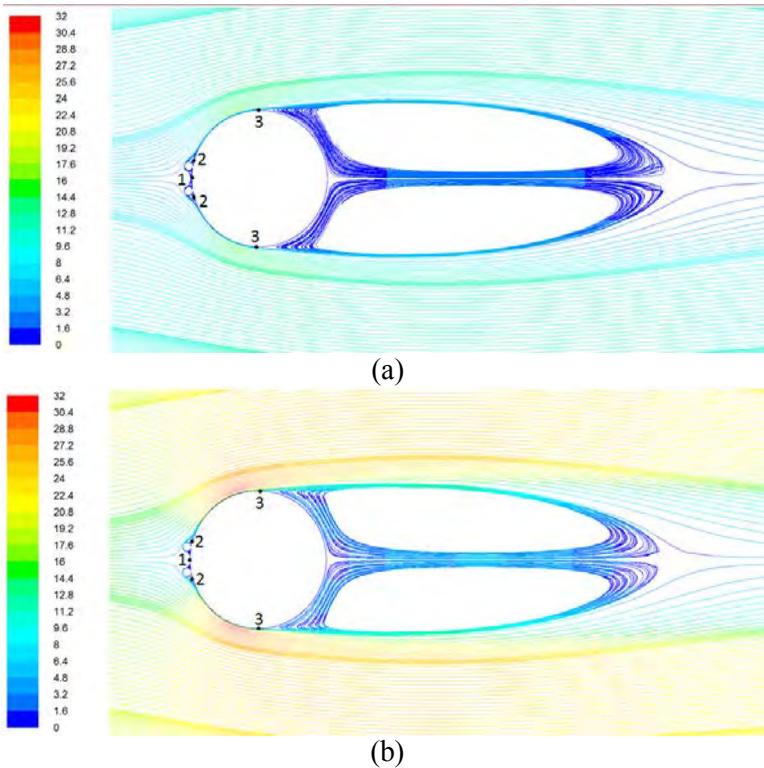


Gambar 4.9 *Velocity vector* silinder sirkular tanpa pengganggu  
(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )

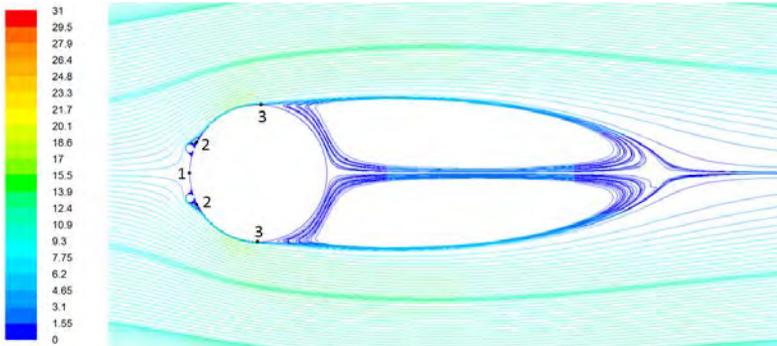


#### **4.3.2. Karakteristik Aliran pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Bodi Pengganggu**

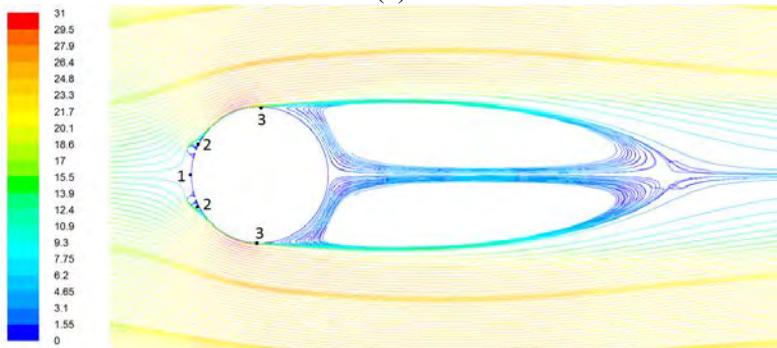
Gambar 4.10, gambar 4.11, gambar 4.12, dan gambar 4.13 menunjukkan *velocity pathline* pada silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $40^\circ$ . Pada gambar 4.10, gambar 4.11, gambar 4.12, gambar 4.13 (a) dan (b) titik stagnasi terjadi pada sudut  $0^\circ$ . Letak titik stagnasi ditunjukkan dengan angka 1. Terlihat pada gambar tersebut bahwa fenomena separasi *bubble* pada sudut dimana aliran setelah melewati bodi pengganggu. Fenomena separasi *bubble* inilah yang menyebabkan distribusi koefisien tekanan terdapat *reattachment*. Letak separasi *bubble* ditunjukkan dengan angka 2. Separasi *bubble* ini terjadi karena adanya *mixing shear layer* dari bodi pengganggu dengan *freestream flow* menyebabkan aliran *reattach* ke silinder sirkular utama. Setelah itu momentum yang besar menyebabkan aliran mengikuti kontur bodi silinder, hingga aliran terseparasi akibat tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser. Letak separasi di tunjukkan dengan angka 3. Terlihat pada gambar dibawah bahwa titik separasi pada  $Re_D = 4 \times 10^4$  lebih tertunda daripada titik separasi pada  $Re_D = 2 \times 10^4$ .



Gambar 4.10 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$   
(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )

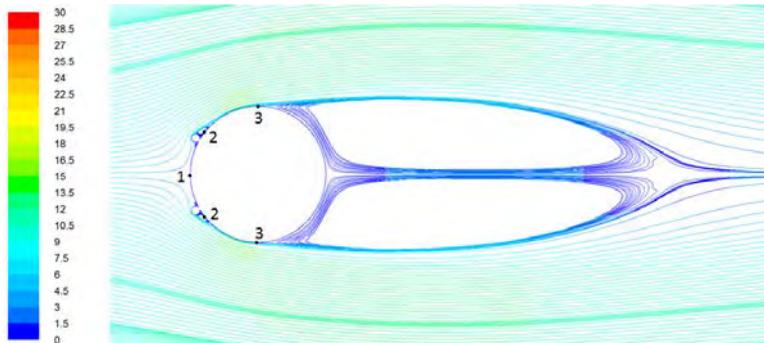


(a)

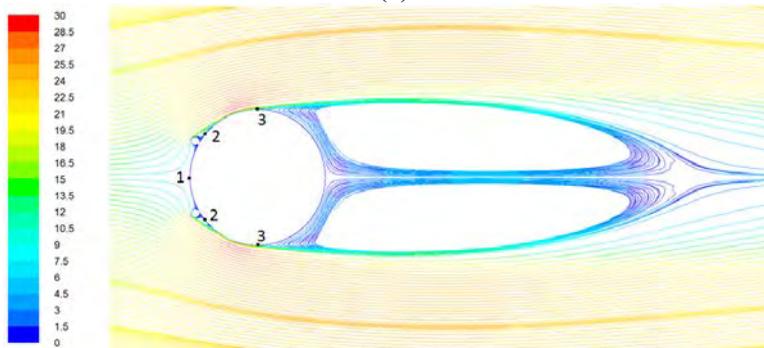


(b)

Gambar 4.11 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $20^\circ$   
(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )

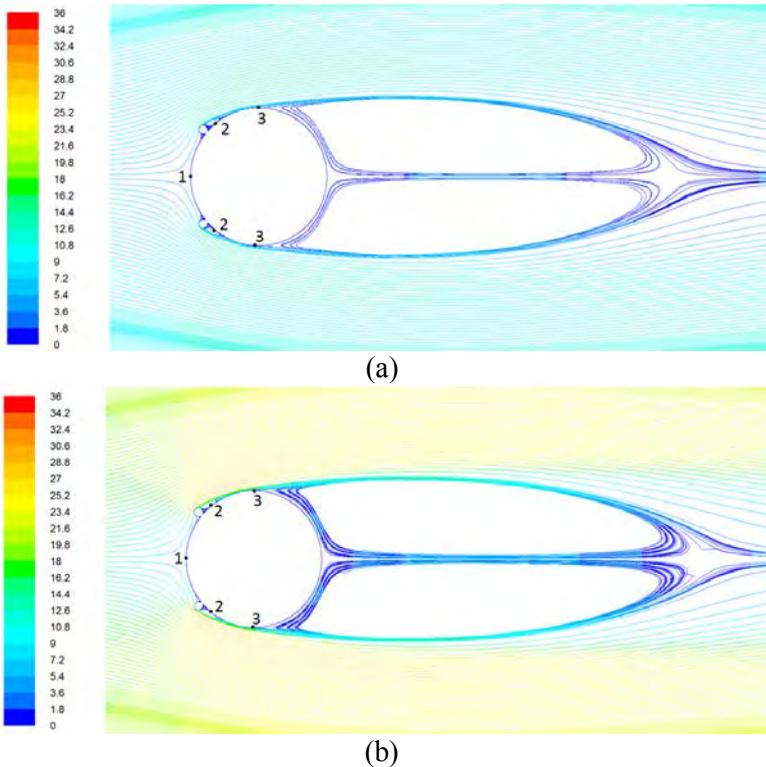


(a)



(b)

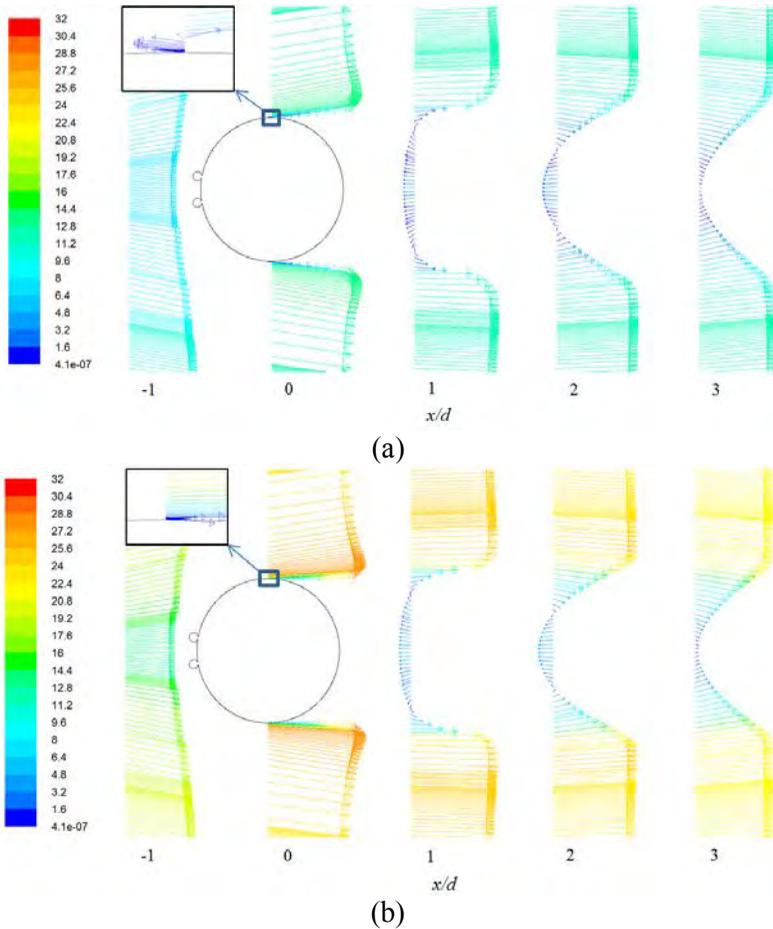
Gambar 4.12 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu 30°  
(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )



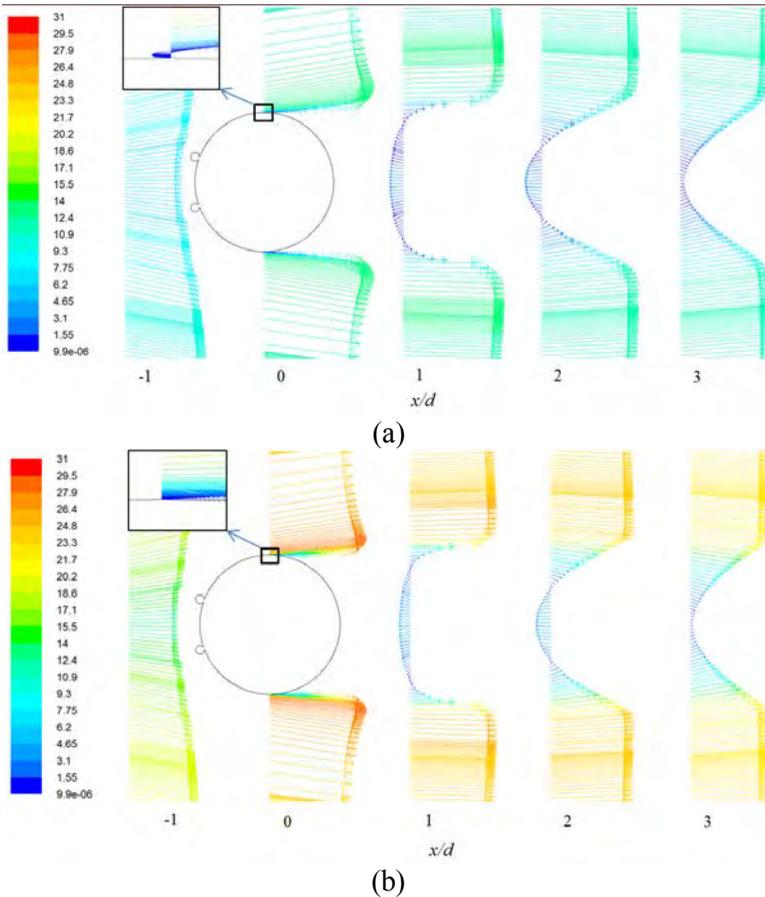
Gambar 4.13 *Velocity pathline* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $40^\circ$   
(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )



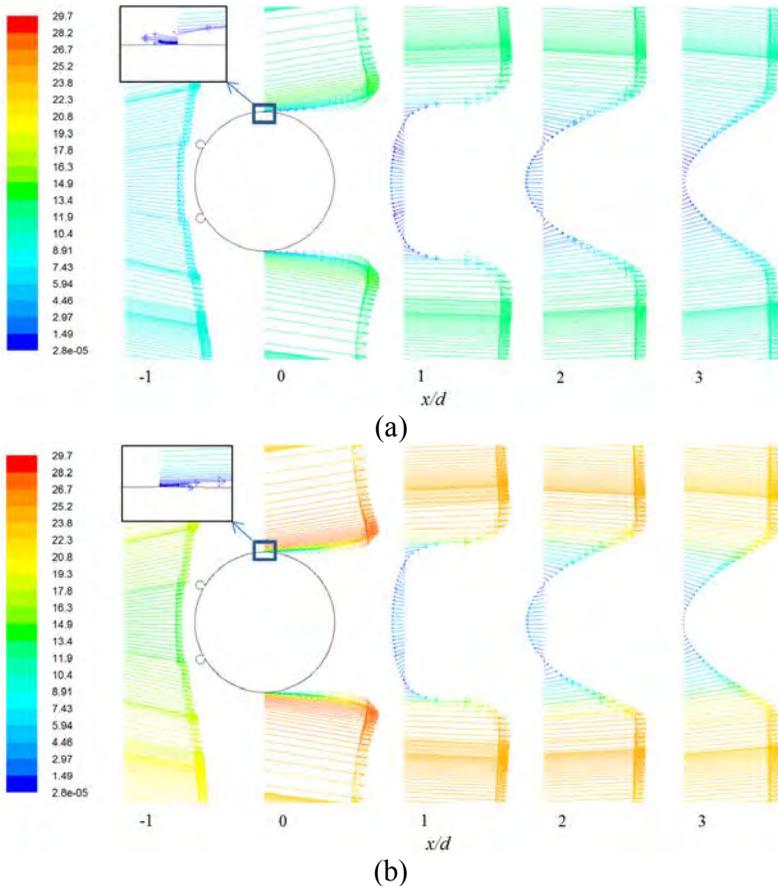
Gambar 4.14, gambar 4.15, gambar 4.16, dan gambar 4.17 merupakan hasil visualisasi aliran melalui benda uji profil silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  berupa *velocity vector*. Terlihat pada gambar 4.14, gambar 4.15, dan gambar 4.16 pada  $Re_D = 4 \times 10^4$  separasi yang terjadi terletak dibelakang profil setengah silinder, terlihat pada sudut  $90^\circ$  aliran masih mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser. Namun pada  $Re_D = 2 \times 10^4$  terlihat pada sudut  $90^\circ$  sudah tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser. Pada Gambar 4.17 separasi pada silinder yang terjadi terletak sedikit didepan profil setengah silinder pada sudut kontur ( $\theta$ ) kurang dari  $90^\circ$ , ini terlihat pada sudut  $90^\circ$  aliran sudah tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser baik pada  $Re_D = 2 \times 10^4$  ataupun  $Re_D = 4 \times 10^4$ . Dari gambar tersebut juga terlihat *wake* yang terbentuk pada  $Re_D = 4 \times 10^4$  memiliki lebar *wake* yang lebih kecil dari pada  $Re_D = 2 \times 10^4$ . Hal ini terjadi karena kecepatan *freestream* aliran bertambah, maka momentum yang dimiliki oleh aliran juga bertambah. Pada kecepatan ini momentum alirannya lebih besar sehingga lebih mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser.



Gambar 4.14 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $10^\circ$   
(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )

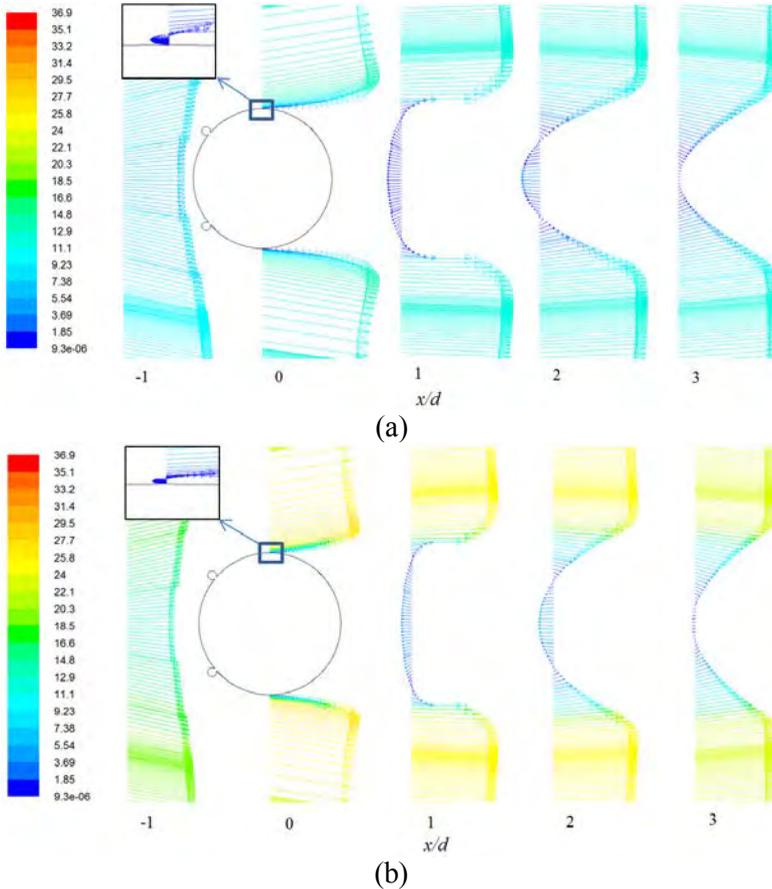


Gambar 4.15 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $20^\circ$   
 (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )



Gambar 4.16 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu 30°

(a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )

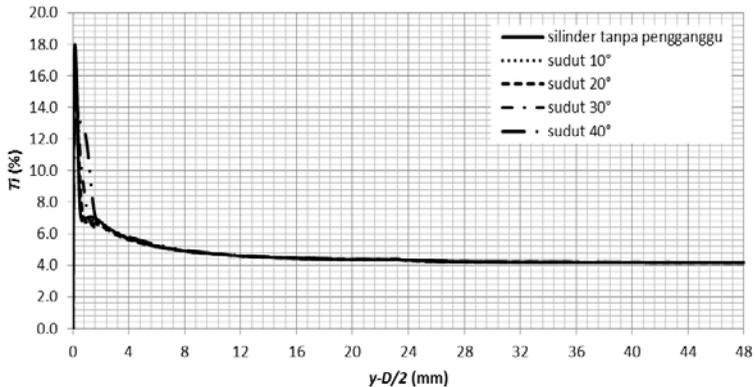


Gambar 4.17 *Velocity vector* silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu  $40^\circ$   
 (a)  $Re_D = 2 \times 10^4$  dan (b)  $Re_D = 4 \times 10^4$  (kecepatan dalam  $m/s$ )



### 4.3.3. Karakteristik Turbulensi

Pada bagian ini dibandingkan karakteristik turbulensi silinder sirkular tanpa pengganggu dengan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu. Proses perbandingan dengan cara menampilkan visualisasi aliran berupa *turbulent intensity*. Konfigurasi yang ditampilkan yaitu dengan  $Re = 4 \times 10^4$ .

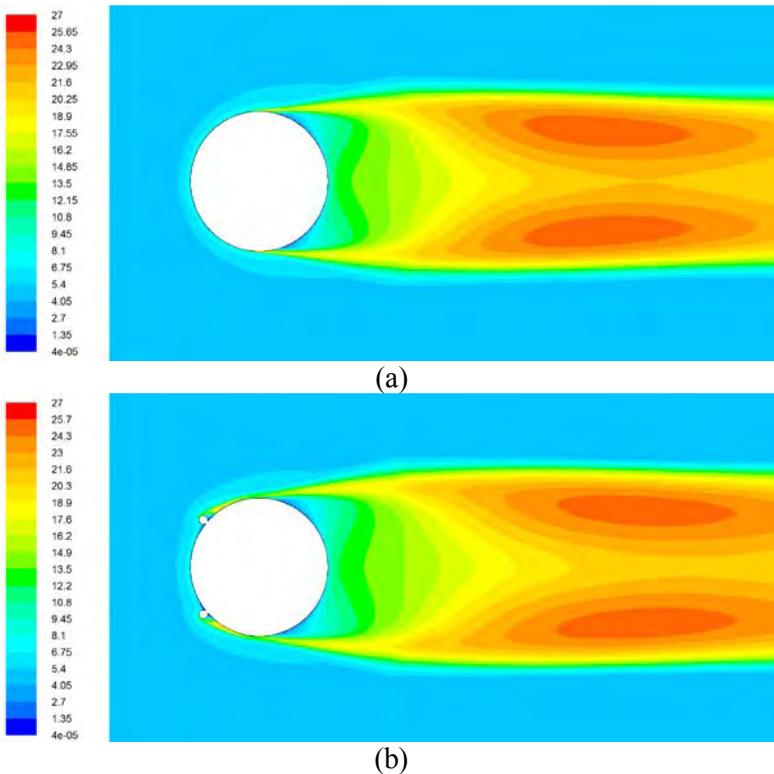


Gambar 4.18 *Turbulent intensity* pada posisi  $90^\circ$  ( $y-D/2$ ) pada  $Re_D = 4 \times 10^4$

Gambar 4.18 merupakan perbandingan *turbulent intensity* pada posisi  $90^\circ$  ( $y-D/2$ ) antara silinder sirkular tanpa pengganggu dengan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu pada  $Re = 4 \times 10^4$ . Terlihat bahwa terdapat perbedaan *turbulent intensity* silinder sirkular tanpa pengganggu dengan silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ . Pada silinder sirkular dengan penambahan pengganggu intensitas turbulensinya lebih besar daripada silinder sirkular tanpa pengganggu. Gambar 4.19 (a) dan (b) merupakan visualisasi pada silinder tanpa pengganggu dan silinder dengan penambahan pengganggu pada posisi  $40^\circ$ . Terlihat pada gambar 2 terdapat perbedaan karakteristik turbulensi antara silinder sirkular tunggal dengan silinder sirkular dengan penambahan pengganggu



pada posisi sudut  $40^\circ$ . Pada silinder sirkular dengan penambahan pengganggu intensitas turbulensinya lebih besar daripada silinder sirkular tanpa pengganggu. Terlihat juga dibelakang body pengganggu intensitas turbulennya lebih besar yang diharapkan mampu untuk menunda separasi. Namun hal tersebut belum mampu menunda separasi aliran dibandingkan silinder sirkular tanpa pengganggu.



Gambar 4.19 Karakteristik turbulensi pada  $Re_D = 4 \times 10^4$   
 (a) tanpa pengganggu dan (b) dengan pengganggu  $\alpha = 40^\circ$   
 (mapping dalam %)



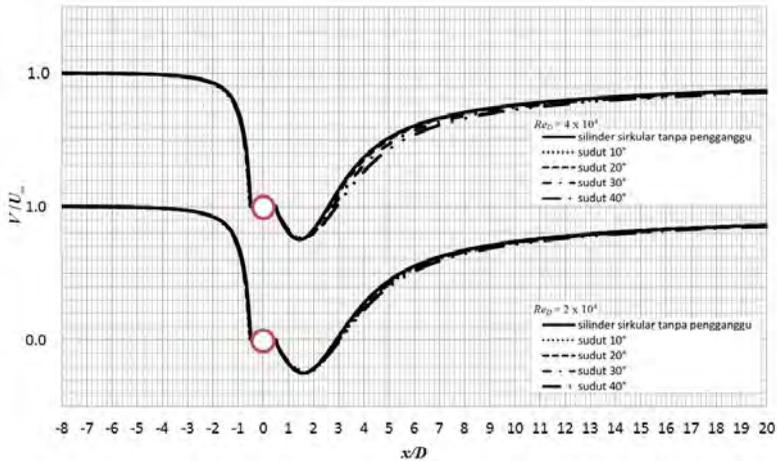
#### 4.4. Wake Length

Pada bagian ini dibandingkan *wake length* silinder sirkular tanpa pengganggu dengan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu. Proses perbandingan dengan cara menampilkan grafik nilai kecepatan pada sumbu horizontal. Kemudian dievaluasi kecepatan pada daerah *downstream* yang bernilai negatif hingga kembali menjadi kecepatan nol atau disebut juga *wake length*. Konfigurasi yang ditampilkan yaitu dengan  $Re = 2 \times 10^4$  dan  $Re = 4 \times 10^4$ .

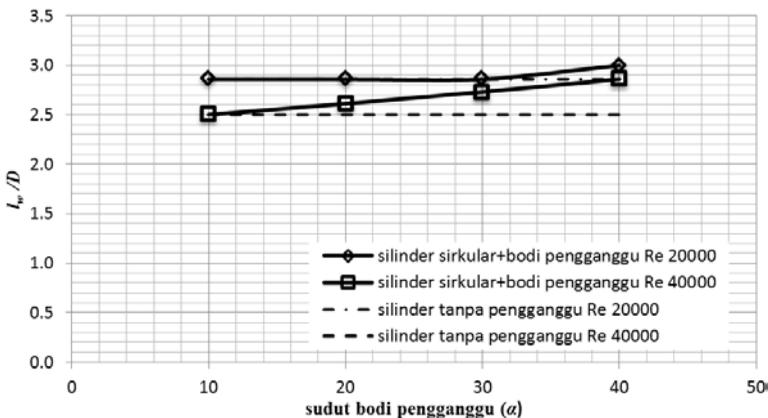
Gambar 4.20 merupakan distribusi rasio kecepatan aksial ( $V$ ) terhadap kecepatan *freestream* ( $U_\infty$ ) pada bidang tengah (*midspan*) untuk  $Re = 2 \times 10^4$  dan  $Re = 4 \times 10^4$ . Terlihat bahwa terdapat perbedaan distribusi kecepatan aksial antara silinder sirkular tunggal dengan silinder sirkular dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  baik  $Re = 2 \times 10^4$  ataupun  $Re = 4 \times 10^4$ . Terlihat pada gambar tersebut terjadi *backflow* pada daerah *downstream* dengan ditandai dengan kecepatan yang bernilai negatif ( $V/U_\infty < 0$ ). Jarak dari sisi silinder *downstream* ke lokasi dimana  $V/U_\infty$  kembali ke nilai nol disebut dengan *Wake length*. Terlihat pada gambar 4.21 pada  $Re = 2 \times 10^4$  *wake length* terbesar terdapat pada sudut  $40^\circ$ , yaitu  $\approx 2,99 x/D$ . Kemudian nilai *wake length* berturut-turut hingga paling kecil adalah silinder dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $30^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan silinder tanpa pengganggu. Pada  $Re = 2 \times 10^4$  nilai *wake length* paling kecil terjadi pada silinder tanpa pengganggu yaitu  $\approx 2,85 x/D$ . Pada  $Re = 4 \times 10^4$  *wake length* terbesar terjadi untuk silinder dengan posisi pengganggu sudut  $40^\circ$ , yaitu  $\approx 2,85 x/D$ . Kemudian berturut-turut hingga paling kecil adalah silinder dengan penambahan pengganggu pada posisi sudut  $30^\circ$ ,  $20^\circ$ , silinder tanpa pengganggu dan silinder dengan penambahan pengganggu pada posisi  $10^\circ$ . Pada silinder dengan pengganggu sudut  $10^\circ$  nilai *wake length* yaitu  $\approx 2,50 x/D$ . Pada  $Re = 2 \times 10^4$  terlihat bahwa penambahan bodi pengganggu belum mampu mereduksi separasi dan gaya drag. Sedangkan pada  $Re 4 \times 10^4$  terlihat bahwa hanya bodi pengganggu pada posisi  $10^\circ$  yang



mampu mereduksi separasi dan gaya *drag* walaupun tidak signifikan yaitu sebesar 3,6%.



Gambar 4.20 Distribusi kecepatan aksial pada bidang tengah (*midspan*) untuk  $Re = 2 \times 10^4$  dan  $Re = 4 \times 10^4$



Gambar 4.21 Perbandingan *wake length* silinder tanpa pengganggu dan silinder dengan penambahan bodi pengganggu

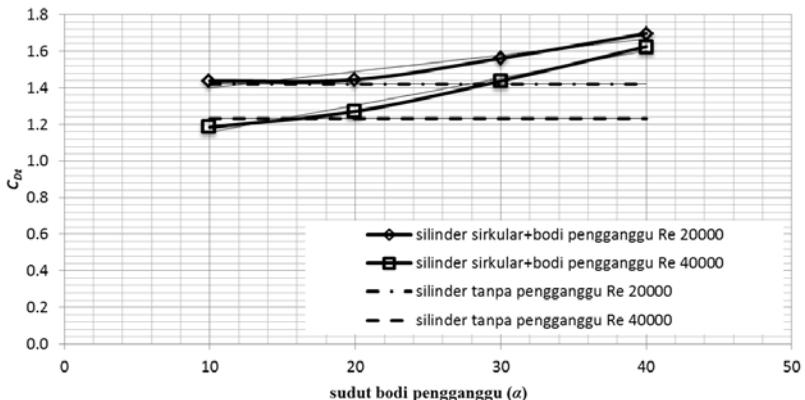


#### 4.5. Analisa Drag Coefficient ( $C_D$ )

Informasi lainnya tentang pengaruh penambahan bodi pengganggu pada silinder sirkular utama adalah *total drag coefficient* ( $C_{Dt}$ ). *Total drag coefficient* ( $C_{Dt}$ ) merupakan hasil total dari *pressure drag* ( $C_{Dp}$ ) dan *friction drag* ( $C_{Df}$ ). Pada bagian ini didiskusikan tentang *drag coefficient* ( $C_{Dt}$ ) hasil simulasi numerik pada silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan pengganggu. Diameter silinder sirkular tunggal sebesar 32 mm dan diameter pengganggu sebesar 2 mm. konfigurasi yang ditampilkan yaitu dengan angka *Reynolds*  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ .

Tabel 4.6 Nilai *total drag coefficient* ( $C_{Dt}$ )

Konfigurasi	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Silinder sirkular tanpa pengganggu	1,421	1,230
Pengganggu $\alpha = 10^\circ$	1,438	1,185
Pengganggu $\alpha = 20^\circ$	1,445	1,272
Pengganggu $\alpha = 30^\circ$	1,562	1,438
Pengganggu $\alpha = 40^\circ$	1,697	1,626



Gambar 4.22 Perbandingan nilai *total drag coefficient* ( $C_{Dt}$ )



Tabel 4.6 menunjukkan nilai *total drag coefficient* ( $C_{Dt}$ ) silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu. Hasil yang didapatkan berdasarkan nilai  $C_{Dt}$  adalah pada silinder dengan  $Re\ 2 \times 10^4$  lebih tinggi dibandingkan dengan  $Re\ 4 \times 10^4$ . Hal ini terjadi karena kecepatan *freestream* aliran bertambah, maka momentum yang dimiliki oleh aliran juga bertambah. Pada kecepatan ini momentum alirannya lebih besar sehingga lebih mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser.

Gambar 4.22 menunjukkan perbandingan nilai  $C_{Dt}$  silinder sirkular tunggal dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu. Berdasarkan gambar tersebut secara keseluruhan terlihat bahwa penambahan bodi pengganggu belum bisa efektif menurunkan  $C_{Dt}$ . Untuk  $Re\ 2 \times 10^4$  kenaikan  $C_{Dt}$  paling tinggi apabila dibandingkan dengan  $C_{Dt}$  silinder sirkular tanpa pengganggu terjadi pada sudut  $\alpha = 40^\circ$ , yaitu sebesar  $\pm 19,3\%$ . Dan paling kecil pada pengganggu dengan  $\alpha = 10^\circ$ , menaikkan nilai  $C_{Dt}$  sebesar  $\pm 1,1\%$ . Untuk  $Re\ 4 \times 10^4$  kenaikan  $C_{Dt}$  paling tinggi apabila dibandingkan dengan  $C_{Dt}$  silinder sirkular tanpa pengganggu terjadi pada sudut  $\alpha = 40^\circ$ , yaitu sebesar  $\pm 32,2\%$ . Sedangkan pada pengganggu  $\alpha = 10^\circ$  mampu menurunkan nilai  $C_{Dt}$  sebesar  $\pm 3,6\%$ . Dan hanya pada  $Re\ 4 \times 10^4$  dengan sudut pengganggu  $\alpha = 10^\circ$  nilai  $C_{Dt}$  ini dapat menurun sedangkan pada konfigurasi yang lain mengakibatkan nilai  $C_{Dt}$  naik. Nilai  $C_D$  ditinjau dari persamaan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 A} \quad (4.1)$$

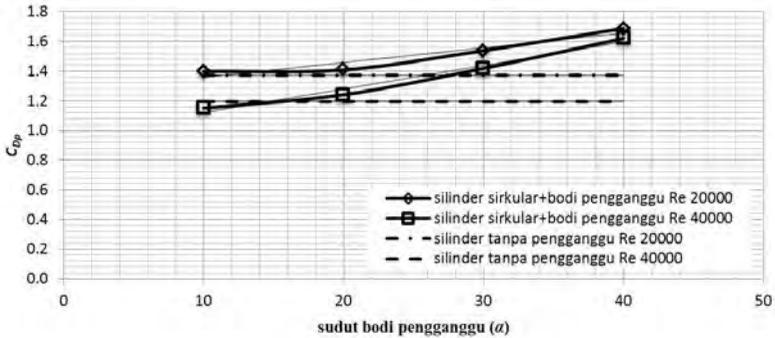
Dimana gaya drag ( $F_D$ ) dibagi dengan gaya dinamis ( $\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 A$ ). Apabila ditinjau pada  $Re$  yang sama maka kecepatan maksimum pada inlet nilainya sama sehingga nilai gaya dinamis akan sama. Dikarenakan nilai gaya dinamis yang sama maka nilai  $F_D$  akan turun seiring dengan penurunan nilai sudut ( $\alpha$ ) pengganggu. Apabila  $Re$  meningkat maka kecepatan maksimum pada inlet juga akan meningkat sehingga nilai pembagi dari  $F_D$  akan lebih besar dan itu berpengaruh pada besarnya nilai  $C_D$ .



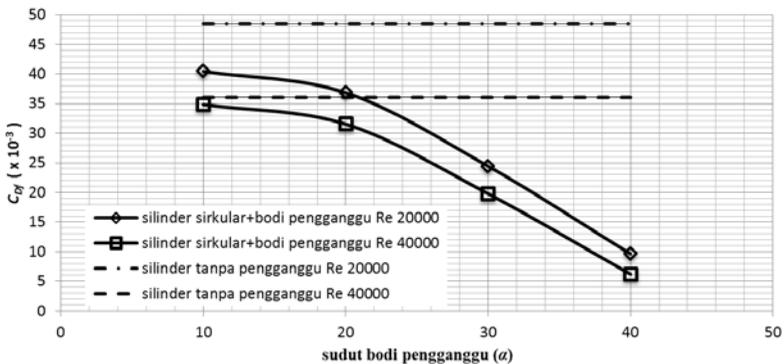
Tabel 4.7 dan tabel 4.8 menunjukkan nilai *pressure drag coefficient* ( $C_{Dp}$ ) dan *friction drag coefficient* ( $C_{Df}$ ) silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu. Hasil yang didapatkan berdasarkan nilai  $C_{Dp}$  dan  $C_{Df}$  adalah pada silinder dengan  $Re\ 2 \times 10^4$  lebih tinggi dibandingkan dengan  $Re\ 4 \times 10^4$ . Hal ini terjadi karena kecepatan *freestream* aliran bertambah, maka momentum yang dimiliki oleh aliran juga bertambah. Pada kecepatan ini momentum alirannya lebih besar sehingga lebih mampu melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser. Gambar 4.23 menunjukkan perbandingan nilai  $C_{Dp}$  silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu. Terlihat pada gambar tersebut trend grafiknya sama dengan trend grafik  $C_{Df}$  dimana semakin tinggi sudut ( $\alpha$ ) pengganggu nilai koefisien dragnya semakin tinggi. Namun pada gambar 4.24 yang menunjukkan perbandingan nilai ( $C_{Df}$ ) silinder sirkular tanpa pengganggu dan silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu, terlihat bahwa semakin tinggi sudut ( $\alpha$ ) pengganggu nilai koefisien dragnya semakin menurun. Tetapi dengan menurunnya  $C_{Df}$  tidak mempengaruhi secara signifikan pada nilai  $C_{Df}$  karena nilai  $C_{Dp}$  yang terus meningkat seiring bertambahnya nilai sudut. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan geser memiliki kontribusi yang kecil bila dibandingkan dengan *adverse pressure gradient*.

Tabel 4.7 Nilai *pressure drag coefficient* ( $C_{Dp}$ )

Konfigurasi	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Silinder sirkular tanpa pengganggu	1,373	1,194
Pengganggu $\alpha = 10^\circ$	1,397	1,150
Pengganggu $\alpha = 20^\circ$	1,408	1,240
Pengganggu $\alpha = 30^\circ$	1,538	1,418
Pengganggu $\alpha = 40^\circ$	1,687	1,620

Gambar 4.23 Perbandingan nilai *pressure drag coefficient* ( $C_{Dp}$ )Tabel 4.8 Nilai *friction drag coefficient* ( $C_{Df}$ )

Konfigurasi	$Re_D = 2 \times 10^4$	$Re_D = 4 \times 10^4$
Silinder sirkular tanpa pengganggu	0,0484	0,0360
Pengganggu $\alpha = 10^\circ$	0,0404	0,0348
Pengganggu $\alpha = 20^\circ$	0,0368	0,0315
Pengganggu $\alpha = 30^\circ$	0,0244	0,0197
Pengganggu $\alpha = 40^\circ$	0,0096	0,0062

Gambar 4.24 Perbandingan nilai *friction drag coefficient* ( $C_{Df}$ )



## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang disampaikan pada hasil dan pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan mengenai pengaruh penambahan bodi pengganggu terhadap karakteristik aliran fluida melintasi silinder utama untuk studi kasus pengaruh penambahan bodi pengganggu dengan sudut ( $\alpha$ ) :  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $40^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $2 \times 10^4$  dan  $4 \times 10^4$ , diantaranya:

1. Berdasarkan karakteristik aliran berupa grafik  $C_p$ , didapatkan bahwa terjadi fenomena *reattachment* pada silinder dengan penambahan bodi pengganggu. Fenomena tersebut dapat dilihat pada visualisasi *velocity pathline* yang ditandai dengan adanya separasi bubble. Namun secara keseluruhan separasi bubble yang terjadi masih belum efektif untuk menunda separasi, kecuali pada sudut  $\alpha = 10^\circ$  dengan  $Re$   $4 \times 10^4$  saja yang terjadi penundaan separasi.
2. Berdasarkan karakteristik aliran berupa grafik  $C_{D_t}$  secara keseluruhan terlihat bahwa penambahan bodi pengganggu belum bisa efektif menurunkan  $C_{D_t}$ . Pada  $Re$  yang berbeda terjadi perbedaan pada pengganggu dengan  $\alpha = 10^\circ$ . Pada  $Re$   $2 \times 10^4$  terjadi kenaikan  $C_{D_t}$  sebesar  $\pm 3,4\%$  apabila dibandingkan dengan  $C_{D_t}$  silinder sirkular tanpa pengganggu, sedangkan untuk  $Re$   $4 \times 10^4$  mampu menurunkan nilai  $C_{D_t}$  sebesar  $\pm 3,6\%$ .
3. Nilai *friction drag coefficient* ( $C_{D_f}$ ) memiliki kontribusi yang sangat kecil pada nilai *total drag coefficient* ( $C_{D_t}$ ) meskipun terjadi penurunan nilainya karena nilai *pressure drag coefficient* ( $C_{D_p}$ ) yang terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai sudut ( $\alpha$ ) pengganggu. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan geser memiliki kontribusi yang kecil bila dibandingkan dengan *adverse pressure gradient*.



4. Nilai *total drag coefficient* ( $C_{Di}$ ) akan turun sejalan dengan peningkatan nilai angka *Reynolds* dan penurunan nilai sudut ( $\alpha$ ) pengganggu.

## 5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah penelitian dan diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai pertimbangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada studi secara numerik diharapkan memperhatikan kualitas dalam pemodelan *gambit* agar didapatkan karakteristik aliran yang baik selain itu waktu iterasi yang lebih cepat dan *memory file* yang lebih sedikit.
2. Pada saat iterasi tidak mencapai konvergensi, sebaiknya dilakukan pembenahan pada bentuk dan kerapatan *grid* terutama disekitar *solid surface* agar mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Dalam simulasi numerik sebaiknya digunakan *turbulent intensity* sebesar 0.5% dan *turbulent length scale* sebesar setengah dari lebar *testsection*. Hal ini dilakukan agar hasil numerik dapat mendekati hasil dari eksperimen dengan lebih baik dan akurat.
4. Berdasarkan fenomena yang terjadi pada silinder sirkular dengan penambahan pengganggu, menarik untuk dikembangkan dengan menambahkan konfigurasi *blockage ratio* yang bermacam-macam dan angka *Reynolds* yang lebih besar.



---

**DAFTAR PUSTAKA**

- Alam, Md. Mahbub., Sakamoto, H., and Moriya M., 2003, "Reduction of Fluid Forces Acting On A Single Circular Cylinder and Two Circular Cylinders by Using Tripping Rods". **Journal of Fluids and Structures**, Vol. 18.
- Fox, R.W., Mc Donald A.T., and Pritchard P.J. 2011. **Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition**. Purdue University.
- Freitas, J.C. 1999, "The Issue of Numerical Uncertainty", **2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industry**, Melbourne, Australia, 6-8 December.
- Igarashi, T. and Shiba, Y., 2006. "Drag Reduction for D-shape and I-shape Cylinder". **JSME International Journal**, Series B, Vol 49, No. 4.
- Milikan, C.B., 1941. **Aerodynamics of the Airplane**, <URL:[http://people.rit.edu/pnveme/MECE356/drag/boundary\\_layer.html](http://people.rit.edu/pnveme/MECE356/drag/boundary_layer.html)>.
- Mulvani, N.J., Chen, Li., Tu, J.Y., and Anderson, B., 2004. "Steady-State Evaluation of „Two-Equation“ RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) Turbulence Models for High-Reynolds Number Hydrodynamic Flow Simulations". **Defense Science and Technology Organisation**, DSTO-TR-1564.
- Jagadeesh, P. and Murali, K., 2005. "Application of Low-Re Turbulence Models for Flow Simulations Past Underwater Vehicle Hull Forms". **Journal of Naval Architecture and Marine Engineering**.



- Lee, S.J., Lee, S.I., and Park, C.W., 2004. "Reducing The Drag on a Circular Cylinder by Upstream Installation of a Small Control Rod". **Fluid Dynamic Research**, Vol.34, 233-250.
- Lee, S.J., Lim, H.C., Han, M., and Lee, S.S., 2005. "Flow Control of Circular Cylinder with a V-grooved Micro-riblet Film". **Fluid Dynamic Research**, Vol.37, 246-266.
- Rahman, Md. Mahbubar, Karim, Md. Mashud, & Alim, Abdul., 2007, "Numerical Investigation of Unsteady Flow Past a Circular Cylinder Using 2-D Finite Volume Method", **Journal of Naval Architecture and Marine Engineering**, Vol. 4, 27-42.
- Roshko, A. 1961. "Experiments On The Flow Past a Circular Cylinder At Very High Reynolds Number". **J. Fluid Mech.** Vol 10, pp. 345-356.
- Tsutsui, T. and Igarashi, T., 2002. "Drag Reduction of a Circular Cylinder in an Air-Stream". **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Vol.90, 527-541.
- Wijanarko, D.V., dan Widodo, W.A., 2013. "Studi Numerik Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular Tunggal dengan Bodi Pengganggu Berbentuk Silinder Sirkular Pada Saluran Sempit Berpenampang Bujur Sangkar". **Peningkatan Kualitas Penelitian untuk Mencapai Sumber Daya Manusia yang Kompeten di Bidang Teknik Mesin**. Seminar Nasional Teknik Mesin 8.



---

## RIWAYAT PENULIS



Penulis dilahirkan di Sumedang, 12 Juni 1991, merupakan anak ke-2 dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Al-Ghifari (1995-1996), SDN Guruminda (1996 - 2002), SMPN 2 Bandung (2002 - 2005), SMAN 3 Bandung (2005 - 2008) dan POLMAN Bandung (2008 - 2011). Setelah lulus studi politeknik yaitu tahun 2011, penulis melanjutkan studi ke tahap sarjana melalui program Lintas Jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dan diterima pada bulan

Januari tahun 2012 dengan NRP 2111106018 dan menyelesaikan pada bulan Januari 2014. Penulis memiliki hobi futsal, berenang dan menonton film. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul “Studi Numerik Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu Terhadap Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder Utama”. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini.

[fadilahedwin@yahoo.com](mailto:fadilahedwin@yahoo.com)

[fadilahedwin@gmail.com](mailto:fadilahedwin@gmail.com)



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

LAMPIRAN

- ❖ *Grid independency*
- Silinder sirkular tanpa pengganggu pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $2 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$
<i>Meshing A</i>	33000	1.498
<i>Meshing B</i>	53400	1.467
<i>Meshing C</i>	64200	1.462
<b><i>Meshing D</i></b>	<b>82200</b>	<b>1.421</b>

- Silinder sirkular tanpa pengganggu pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $4 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$
<i>Meshing A</i>	47400	1.243
<i>Meshing B</i>	77400	1.233
<b><i>Meshing C</i></b>	<b>92400</b>	<b>1.230</b>
<i>Meshing D</i>	108600	1.237

- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 10^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $2 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$
<i>Meshing A</i>	37648	1.473
<i>Meshing B</i>	70048	1.445
<b><i>Meshing C</i></b>	<b>91648</b>	<b>1.438</b>
<i>Meshing D</i>	102448	1.449



- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 10^\circ$  pada angka Reynolds ( $Re$ )  $4 \times 10^4$

Jenis Meshing	Jumlah elemen (cells)	Nilai $C_D$
Meshing A	37648	1.192
<b>Meshing B</b>	<b>72928</b>	<b>1.185</b>
Meshing C	87328	1.186
Meshing D	102448	1.188

- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 20^\circ$  pada angka Reynolds ( $Re$ )  $2 \times 10^4$

Jenis Meshing	Jumlah elemen (cells)	Nilai $C_D$
Meshing A	42192	1.487
Meshing B	79680	1.463
<b>Meshing C</b>	<b>107796</b>	<b>1.445</b>
Meshing D	119724	1.446

- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 20^\circ$  pada angka Reynolds ( $Re$ )  $4 \times 10^4$

Jenis Meshing	Jumlah elemen (cells)	Nilai $C_D$
Meshing A	42192	1.275
Meshing B	79680	1.274
<b>Meshing C</b>	<b>98424</b>	<b>1.272</b>
Meshing D	107796	1.273



- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 30^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $2 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$
<i>Meshing A</i>	38888	1.574
<b><i>Meshing B</i></b>	<b>56276</b>	<b>1.562</b>
<i>Meshing C</i>	83492	1.565
<i>Meshing D</i>	104660	1.564

- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 30^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $4 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$
<i>Meshing A</i>	38888	1.439
<i>Meshing B</i>	83492	1.437
<b><i>Meshing C</i></b>	<b>98612</b>	<b>1.438</b>
<i>Meshing D</i>	104660	1.437

- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 40^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $2 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$
<i>Meshing A</i>	49284	1.700
<i>Meshing B</i>	62934	1.698
<b><i>Meshing C</i></b>	<b>97584</b>	<b>1.697</b>
<i>Meshing D</i>	113334	1.696



- Silinder sirkular dengan pengganggu  $\alpha = 40^\circ$  pada angka *Reynolds* ( $Re$ )  $4 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah elemen ( <i>cells</i> )	Nilai $C_D$
<i>Meshing A</i>	49284	1.628
<i>Meshing B</i>	62934	1.627
<b><i>Meshing C</i></b>	<b>97584</b>	<b>1.626</b>
<i>Meshing D</i>	123834	1.625