

TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN BODI
PENGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI TIGA SILINDER SIRKULAR TERSUSUN
*STAGGER***

RIZQ YAFI ASYARI

NRP 02111840000077

Dosen Pembimbing

Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

NIP 197104051997021001

Program Studi Sarjana Teknik Mesin

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN BODI
PENGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI TIGA SILINDER SIRKULAR TERSUSUN
*STAGGER***

RIZQ YAFI ASYARI

NRP 02111840000077

Dosen Pembimbing

Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

NIP 197104051997021001

Program Studi Sarjana Teknik Mesin

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - TM184835

**EXPERIMENT STUDY OF THE EFFECT OF
DISTURBANCE BODY AGAINST FLOW
CHARACTERISTICS THROUGH THREE CIRCULAR
CYLINDERS IN STAGGER ARRANGEMENT**

RIZQ YAFI ASYARI

NRP 02111840000077

Advisor

Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

NIP 197104051997021001

Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN MELALUI TIGA SILINDER SIRKULAR TERSUSUN *STAGGER*

TUGAS AKHIR

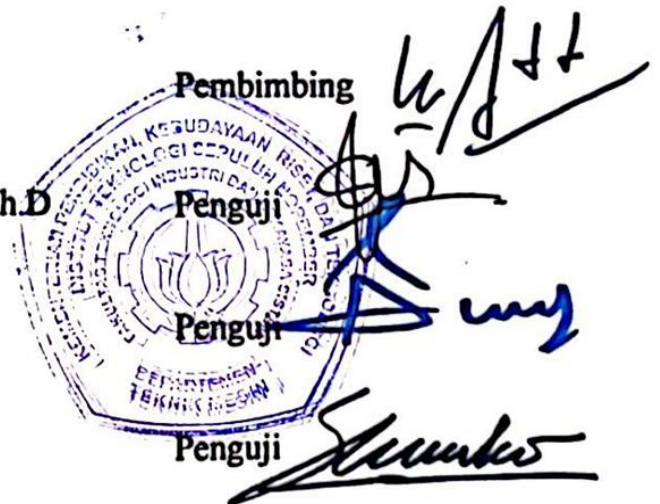
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : RIZQ YAFI ASYARI

NRP. 0211184000077

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
2. Vivien Suphandani Djanali, S.T., M.E., Ph.D
3. Nur Ikhwan, S.T., M.Eng.
4. Prof. Dr. Ing. Herman Sasongko



SURABAYA

Juli, 2022

APPROVAL SHEET

EXPERIMENT STUDY OF THE EFFECT OF DISTURBANCE BODY AGAINST FLOW CHARACTERISTICS THROUGH THREE CIRCULAR CYLINDERS IN STAGGER ARRANGEMENT

FINAL PROJECT

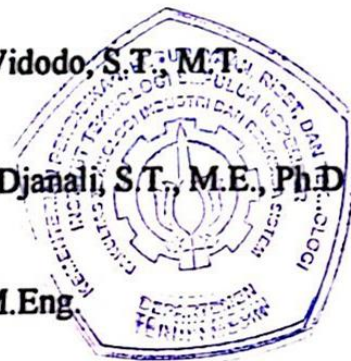
Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a bachelor's degree at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember





By: **RIZQ YAFI ASYARI**

NRP. 0211184000077

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
2. Vivien Suphandani Djaali, S.T., M.E., Ph.D
3. Nur Ikhwan, S.T., M.Eng.
4. Prof. Dr. Ing. Herman Sasongko



Advisor 
Examiner 
Examiner 
Examiner 

SURABAYA

July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Rizq Yafi Asyari / 0211184000077
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. / 197104051977021001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN MELALUI TIGA SILINDER SIRKULAR TERSUSUN *STAGGER*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bila mana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
NIP. 197104051997021001

Mahasiswa,

Rizq Yafi Asyari
NRP. 0211184000077

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

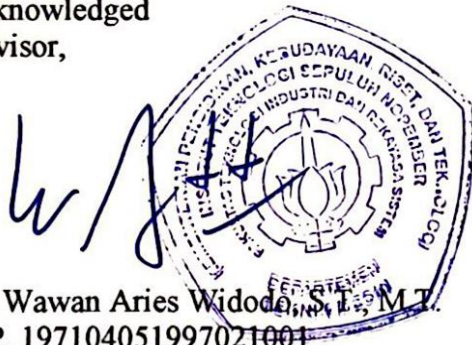
Name of student / NRP : Rizq Yafi Asyari / 0211184000077
Department : Mechanical Engineering INDSYS-ITS
Advisor / NIP : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. / 197104051977021001

Hereby declare that the Final Project with the title of "EXPERIMENT STUDY OF THE EFFECT OF DISTURBANCE BODY AGAINST FLOW CHARACTERISTICS THROUGH THREE CIRCULAR CYLINDERS IN STAGGER ARRANGEMENT" the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 July 2022

Acknowledged
Advisor,



Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
NIP. 197104051977021001

Student,



Rizq Yafi Asyari
NRP. 0211184000077

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN MELALUI TIGA SILINDER SIRKULAR TERSUSUN *STAGGER*

Nama Mahasiswa / NRP : Rizq Yafi Asyari / 0211184000077
Departemen : Teknik Mesin FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

Abstrak

Mekanika fluida merupakan salah satu ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan manusia. Salah satunya adalah karakteristik aliran fluida melewati sebuah silinder sirkular yang merupakan salah satu jenis dari *bluff body* dan memiliki banyak aplikasi di kehidupan sehari-hari. *Bluff body* dapat menghasilkan *wake* yang besar, dimana *wake* tersebut mampu membentuk gaya *drag* yang besar juga. Maka dari itu perlu adanya pengurangan gaya hambat yang terjadi dengan cara penambahan bodi pengganggu. Penelitian ini membahas tentang pengaruh penambahan bodi pengganggu pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger*.

Penelitian ini dilakukan pada *sub-sonic wind tunnel* berdimensi ($h = 300\text{mm}$, $z = 300\text{mm}$, dan $x = 600\text{mm}$) menggunakan bilangan Reynolds ($Re = 2,2 \times 10^4$) dengan variasi rasio jarak longitudinal ($L/D = 1,5; 2; 3; 4$), Dimensi diameter silinder sirkular utama ($D = 25\text{mm}$), diameter bodi pengganggu ($d = 4\text{mm}$), *gap* dengan silinder sirkular utama ($\delta = 4\text{ mm}$), sudut bodi pengganggu ($\alpha = 0^\circ, 90^\circ, 270^\circ$) dan Rasio jarak transversal ($T/D = 2$). Tekanan diukur menggunakan *pressure taps* yang dipasang pada permukaan tiga silinder sirkular. Profil kecepatan diukur menggunakan *pitot static tube* yang dipasang dibelakang silinder sirkular.

Hasil dari eksperimen yang telah dilakukan diperoleh pengaruh efek *bistable* pada silinder 2 dan silinder 3 untuk setiap variasi jarak longitudinal (L/D), dimana grafik (C_p) pada *upper side* dan *lower side* tidak simetris. Hal ini disebabkan silinder 2 dan silinder 3 memiliki jarak transversal (T/D) 2, dimana pada jarak tersebut memasuki daerah *bistable* dengan susunan *side by side*. Penambahan bodi pengganggu $0^\circ, 90^\circ, 270^\circ$ memberikan pengaruh terhadap nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}), dimana terjadi peningkatan pada silinder 1 hingga 67%, serta penurunan pada silinder 2 hingga 25% dan silinder 3 hingga 35%. Selain itu pada nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 1 stabil mendekati 0, sedangkan pada silinder 2 mengalami penurunan hingga 189% dan silinder 3 mengalami peningkatan hingga 3443%. Dan nilai koefisien *drag total* (C_{DT}) hanya mengalami penurunan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 sebesar 18% dan hasil ini merupakan reduksi nilai koefisien *drag total* (C_{DT}) yang paling efektif.

Kata kunci: *Bistable*, Bodi pengganggu, Koefisien *drag pressure*, Koefisien *drag total*

EXPERIMENT STUDY OF THE EFFECT OF DISTURBANCE BODY AGAINST FLOW CHARACTERISTICS THROUGH THREE CIRCULAR CYLINDERS IN STAGGER ARRANGEMENT

Student Name / NRP : Rizq Yafi Asyari / 0211184000077
Department : Mechanical Engineering INDSYS - ITS
Advisor : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

Abstract

Fluid mechanics is one of the sciences related to humans. One of them is the characteristic of fluid flow through a circular cylinder which is a type of bluff body and has many applications in everyday life. The bluff body can produce a large wake, where the wake is able to form a large drag force as well. Therefore it is necessary to reduce the drag that occurs by adding a nuisance body. This study discusses the effect of adding a nuisance body to three circular cylinders composed of a stagger.

This research was conducted on a sub-sonic wind tunnel with dimensions ($h = 300\text{mm}$, $z = 300\text{mm}$, and $x = 600\text{mm}$) using Reynolds number ($Re = 2,2 \times 10^4$) with variations in the longitudinal distance ratio ($L/D = 1,5; 2; 3; 4$), Dimensions of main circular cylinder diameter ($D = 25\text{mm}$), interfering body diameter ($d = 4\text{mm}$), gap with main circular cylinder ($\delta = 4\text{ mm}$), disturbance body angle ($\alpha = 0^\circ, 90^\circ, 270^\circ$) and Transverse distance ratio ($T/D = 2$). Pressure is measured using pressure taps mounted on the surface of three circular cylinders. The velocity profile was measured using a pitot-static tube mounted behind a circular cylinder.

The results of the experiments that have been carried out show the effect of the bistable effect on cylinder 2 and cylinder 3 for each variation of the longitudinal distance (L/D), where the graph (C_p) on the upper and lower sides is not symmetrical. This is because cylinder 2 and cylinder 3 have a transverse distance (T/D) 2, which at that distance enters the bistable region with a side by side arrangement. The addition of a disturbance body $0^\circ, 90^\circ, 270^\circ$ has an effect on the coefficient of drag pressure (C_{DP}), where there is an increase in cylinder 1 to 67%, and a decrease in cylinder 2 to 25% and cylinder 3 to 35%. In addition, the lift pressure coefficient (C_{LP}) in cylinder 1 tends to be stable near 0, while in cylinder 2 it decreases up to 189% and cylinder 3 has an increase of up to 3443%. And the total drag coefficient (C_{DT}) only decreased in the longitudinal distance variation (L/D) 1,5 by 18% and this result was the most effective reduction in the total drag coefficient (C_{DT}).

Keywords: Bistable, Disturbance body, Pressure drag coefficient, Total drag coefficient

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN MELALUI TIGA SILINDER SIRKULAR TERSUSUN STAGGER” dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membimbing, membantu, dan mendukung penulis dalam proses penyelesaian tugas akhir ini. Beberapa pihak tersebut antara lain:

1. Ibu dan Ayah selaku kedua orang tua serta keluarga penulis yang senantiasa mendoakan dan mendukung perjalanan hidup penulis.
2. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. selaku pembimbing Tugas Akhir yang memberikan motivasi dan bimbingan kepada penulis serta jalan keluar untuk permasalahan yang penulis temui dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ing. Herman Sasongko, Ibu Vivien Suphandani Djanali, S.T., M.E., Ph.D., dan Bapak Nur Ikhwan, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis yang sangat membangun penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Banta Cut yang telah memberikan waktu, ilmu, dan ruang diskusi sehingga penelitian bisa dilakukan dan diselesaikan tepat waktu.
5. Bapak Lutfi yang telah memberikan ruang diskusi yang sangat bermanfaat.
6. Teman-teman bimbingan Pak Wawan, Aceng, Denyta, Tata, dan Kanda yang saling mendukung, membantu, dan diskusi permasalahan tugas akhir.
7. Teman-teman anggota Laboratorium Mekanika dan Mesin-Mesin Fluida yang saling mendukung, membantu, berdiskusi, dan memberikan semangat untuk bersama-sama menuntaskan kewajiban akademik selama setahun terakhir.
8. Teman-teman M61 selaku teman satu angkatan yang bersama penulis semasa perkuliahan.
9. Semua pihak yang belum dapat disebutkan satu persatu dikarenakan keterbatasan penulis.

Perlu disadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari segi penulisan maupun analisis yang dilakukan penulis. Oleh karena itu, penulis membuka masukan dan saran dari semua pihak guna perbaikan kualitas Tugas Akhir serupa di kemudian hari. Penulis juga berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat, baik untuk pembaca maupun khalayak umum.

Surabaya, 25 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
STATEMENT OF ORIGINALITY	iv
Abstrak.....	v
Abstract.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Teori Lapis Batas	5
2.2 Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i>	5
2.3 Aliran Melintasi Silinder Sirkular	6
2.4 Tekanan Statis, Tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamis.....	7
2.5 Penelitian Terdahulu	8
2.5.1 Pengurangan Gaya Hambat pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Bodi Pengganggu.....	9
2.5.2 Penelitian Eksperimen Tiga Silinder Sirkular dalam Susunan Segitiga Sama Sisi pada Bilangan Reynold Tinggi	17
2.5.3 Penelitian Eksperimen Pengaruh <i>Inlet Disturbance Body</i> (IDB) pada 30° Terhadap Reduksi Gaya pada Tiga Silinder Sirkular dalam Susunan <i>Stagger</i>	19
2.5.4 Penelitian Studi Eksperimen Pengaruh Jarak antar Silinder Sirkular Terhadap Efek <i>Bistable</i>	20
BAB 3 METODOLOGI	23
3.1 Skema Penelitian	23
3.2 Parameter yang Diukur.....	23
3.3 Analisa Grup tak Berdimensi untuk Koefisien Tekanan pada Silinder.....	24
3.4 Peralatan	25

3.4.1 Peralatan Pendukung	25
3.4.2 Peralatan Utama.....	25
3.5 Prosedur Pengambilan Data	28
3.6 Pengolahan Data Hasil Eksperimen	28
3.7 Tahapan Eksperimen	31
3.8 Urutan Langkah Penelitian.....	33
BAB 4 Hasil dan Pembahasan.....	34
4.1 Analisa Validasi Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Silinder Sirkular Tunggal	34
4.2 Analisa Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i>	35
4.2.1 Analisa Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> tanpa Bodi Pengganggu.....	35
4.2.2 Analisa Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> dengan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270°	38
4.3 Analisa Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° Terhadap Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i>	41
4.3.1 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada Variasi Jarak Longitudinal (L/D) 1,5.....	41
4.3.2 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada Variasi Jarak Longitudinal (L/D) 4.....	44
4.4 Profil Kecepatan pada Belakang Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i>	46
4.5 Analisa Distribusi Koefisien <i>Drag Pressure</i> (C_{DP}), Koefisien <i>Lift Pressure</i> (C_{LP}), dan Distribusi Koefisien <i>Drag Total</i> (C_{DT}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> 50	
4.5.1 Distribusi Koefisien <i>Drag Pressure</i> (C_{DP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> tanpa Bodi Pengganggu.....	50
4.5.2 Distribusi Koefisien <i>Drag Pressure</i> (C_{DP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> dengan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270°	51
4.5.3 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> terhadap Distribusi Koefisien <i>Drag Pressure</i> (C_{DP}).52	
4.5.4 Distribusi Koefisien <i>Lift Pressure</i> (C_{LP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> tanpa Bodi Pengganggu.....	53
4.5.5 Distribusi Koefisien <i>Lift Pressure</i> (C_{LP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> dengan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270°	54
4.5.6 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> terhadap Distribusi Koefisien <i>Lift Pressure</i> (C_{LP})	55
4.5.7 Analisa Distribusi Koefisien <i>Drag Total</i> (C_{DT}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i>	56
4.6 Diskusi.....	57
4.7 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Penelitian Terdahulu	59

BAB 5 Kesimpulan dan Saran.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	64
BIODATA PENULIS.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Teori lapis batas (Prichard et al., 2017)	5
Gambar 2.2 Ilustrasi aliran (Prichard et al., 2017).....	6
Gambar 2.3 Lapis batas dengan <i>advers pressure gradient</i> (Prichard et al., 2017)	6
Gambar 2.4 Aliran melintasi silinder sirkular (Incropera et al., 2015).....	7
Gambar 2.5 Pengukuran tekanan statis dan stagnasi (Prichard et al., 2017)	7
Gambar 2.6 Skema penelitian (Tsutsui & Igarashi, 2002)	9
Gambar 2.7 Grafik distribusi tekanan (C_P) pada silinder sirkular utama (Tsutsui & Igarashi, 2002)	10
Gambar 2.8 <i>Drag coefficient</i> (Tsutsui & Igarashi, 2002).....	10
Gambar 2.9 <i>Total drag coefficient</i> (Tsutsui & Igarashi, 2002)	11
Gambar 2.10 Skema penelitian silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu (Alam et al., 2003)	11
Gambar 2.11 Efek rasio jarak δ/D pada koefisien gaya (Alam et al., 2003)	12
Gambar 2.12 Pengaruh sudut bodi pengganggu pada koefisien gaya (a) C_D , (b) C_{Df} , (c) C_{Lf} (Alam et al., 2003)	13
Gambar 2.13 Skema penelitian (Lee et al., 2004)	14
Gambar 2.14 Visualisasi aliran di antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama $d/D = 0,233$ (Lee et al., 2004)	14
Gambar 2.15 Visualisasi aliran pada belakang silinder sirkular utama $d/D = 0,233$ (a) tanpa bodi pengganggu, (b) $L/D = 2$, dan (c) $L/D = 3$ (Lee et al., 2004)	15
Gambar 2.16 Pengaruh diameter batang pengganggu pada distribusi tekanan pada silinder (a) $L/D = 1,5$; (b) $L/D = 2,17$ (Lee et al., 2004)	15
Gambar 2.17 Hubungan antara rasio <i>gap</i> dengan rasio diameter pada C_D (Lee et al., 2004)	16
Gambar 2.18 Hubungan antara rasio diameter dengan rasio <i>gap</i> pada C_D (Lee et al., 2004)	16
Gambar 2.19 Skema penelitian dengan tiga silinder sirkular tersusun segitiga sama sisi (Gu & Sun, 2001).....	17
Gambar 2.20 Distribusi tekanan silinder sirkular A, B, dan C pada $N/D = 1,7$; $Re = 5,5 \times 10^4$ (Gu & Sun, 2001).....	17
Gambar 2.21 Koefisien drag silinder A, B, dan C; a = 1,7; b = 2,2; c = 2,5; d = 4 (Gu & Sun, 2001)	18
Gambar 2.22 Koefisien drag silinder A, B, dan C; a = 1,7; b = 2,2; c = 2,5; d = 4 (Gu & Sun, 2001)	18
Gambar 2.23 Skema penelitian (Cut et al., 2019).....	19
Gambar 2.24 Distribusi koefisien tekanan drag pada susunan stagger (a) Tanpa IDB (b) IDB 30° (Cut et al., 2019).....	20
Gambar 2.25 Daerah interferensi pada struktur aliran (Zdravkovich, 1987)	20
Gambar 2.26 Pola interferensi aliran pada dua silinder sirkular: <i>side by side, tandem, staggered</i> (Zdravkovich, 1987).....	21
Gambar 2.27 Ilustrasi struktur <i>wake</i> asimetris susunan <i>side by side</i> (Alam et al., 2003)	21
Gambar 2.28 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder atas dan bawah susunan <i>side by side</i> tanpa bodi pengganggu (Alam et al., 2003)	22
Gambar 3.1 Skema Penelitian	23
Gambar 3.2 <i>Sub-sonic wind tunnel</i>	25
Gambar 3.3 Bagian <i>test section</i>	25
Gambar 3.4 Silinder sirkular	26
Gambar 3.5 Skema silinder sirkular.....	26
Gambar 3.6 Bodi pengganggu	26

Gambar 3.7 Skema bodi pengganggu	26
Gambar 3.8 <i>Inverter</i>	27
Gambar 3.9 <i>Pitot static tube</i>	27
Gambar 3.10 <i>Inclined manometer 15°</i>	28
Gambar 3.11 Instalasi untuk mengambil data tekanan statis dan stagnasi	29
Gambar 3.12 Gambaran profil kecepatan dari <i>velocity magnitude</i>	29
Gambar 3.13 Urutan langkah penelitian	33
Gambar 4.1 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) pada silinder sirkular tunggal sebagai validasi eksperimen.....	34
Gambar 4.2 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 1 (<i>upstream</i>) tanpa bodi pengganggu	35
Gambar 4.3 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 2 (<i>downstream</i> atas) tanpa bodi pengganggu.....	36
Gambar 4.4 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 3 (<i>downstream</i> bawah) tanpa bodi pengganggu	37
Gambar 4.5 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 1 (<i>upstream</i>) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	38
Gambar 4.6 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 2 (<i>downstream</i> atas) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	39
Gambar 4.7 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 3 (<i>downstream</i> bawah) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	40
Gambar 4.8 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 1,5	42
Gambar 4.9 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 1,5	42
Gambar 4.10 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 1,5.....	43
Gambar 4.11 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 4.....	44
Gambar 4.12 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 4.....	45
Gambar 4.13 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 4.....	45
Gambar 4.14 Grafik profil kecepatan pada belakang tiga silinder sirkular tersusun <i>stagger</i> tanpa bodi pengganggu pada variasi jarak longitudinal (L/D).....	47
Gambar 4.15 Grafik profil kecepatan pada belakang tiga silinder sirkular tersusun <i>stagger</i> dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada variasi jarak longitudinal (L/D)	48
Gambar 4.16 Grafik perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5	49
Gambar 4.17 Grafik perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4	49
Gambar 4.18 Grafik distribusi koefisien <i>drag pressure</i> (C_{DP}) tiga silinder sirkular tersusun <i>stagger</i> tanpa bodi pengganggu	51
Gambar 4.19 Grafik distribusi koefisien <i>drag pressure</i> (C_{DP}) tiga silinder sirkular tersusun <i>stagger</i> dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	51
Gambar 4.20 Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>drag pressure</i> (C_{DP}) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	52
Gambar 4.21 Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>drag pressure</i> (C_{DP}) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	52

Gambar 4.22	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>drag pressure</i> (C_{DP}) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	52
Gambar 4.23	Grafik distribusi koefisien <i>lift pressure</i> (C_{LP}) tiga silinder sirkular tersusun <i>stagger</i> tanpa bodi pengganggu	54
Gambar 4.24	Grafik distribusi koefisien <i>lift pressure</i> (C_{LP}) tiga silinder sirkular tersusun <i>stagger</i> dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	54
Gambar 4.25	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>lift pressure</i> (C_{LP}) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	55
Gambar 4.26	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>lift pressure</i> (C_{LP}) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	55
Gambar 4.27	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>lift pressure</i> (C_{LP}) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	55
Gambar 4.28	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>drag total</i> (C_{DT}) dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	57
Gambar 4.29	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>drag pressure</i> (C_{DP}) pada silinder <i>downstream</i> tanpa bodi pengganggu.....	57
Gambar 4.30	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>drag pressure</i> (C_{DP}) pada silinder <i>downstream</i> dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°	58
Gambar 4.31	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>drag pressure</i> tanpa bodi pengganggu	59
Gambar 4.32	Grafik perbandingan distribusi koefisien <i>lift pressure</i> tanpa bodi pengganggu.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Inverter</i>	27
Tabel 3.2 Tahapan eksperimen	31

DAFTAR SIMBOL

Simbol

A	: <i>Refrence area</i>
C_D	: Koefisien <i>drag</i>
C_{DP}	: Koefisien <i>drag pressure</i>
C_{DT}	: Koefisien <i>drag total</i>
C_{LP}	: koefisien <i>lift pressure</i>
C_P	: Koefisien tekanan pada kontur
d	: Diameter bodi pengganggu (mm)
D	: Diameter silinder sirkular utama (mm)
d/D	: rasio jarak pusat antar bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama
δ/D	: rasio jarak <i>gap</i> dengan silinder sirkular utama
g	: Gravitasi (m/s^2)
h	: tinggi <i>test section wind tunnel</i> (mm)
IDB	: <i>Inlet disturbance body</i>
IT	: Intensitas turbulensi
L	: Jarak longitudinal (mm)
L/D	: Rasio jarak longitudinal
N	: Jarak antar pusat silinder (mm)
N/D	: Rasio jarak pusat antar silinder
P	: Tekanan statis
P_∞	: Tekanan statis aliran bebas
P_C	: Tekanan statis kontur
P_0	: Tekanan stagnasi
Re	: Bilangan Reynold
T	: Jarak transversal (mm)
T/D	: Rasio jarak transversal
U	: Kecepatan aliran fluida (m/s)
U_0	: Kecepatan stagnasi (m/s)
ν	: viskositas kinematik fluida
x	: Panjang <i>test section wind tunnel</i> (mm)
y	: Tinggi saat pengambilan data untuk <i>velocity profile</i> (mm)
z	: Lebar <i>test section wind tunnel</i> (mm)

Simbol Yunani

α	: sudut bodi pengganggu (deg)
β	: Sudut rotasi silinder utama (deg)
δ	: gap antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama (mm)
θ	: Sudut kontur (deg)
μ	: viskositas dinamik fluida
ρ	: Massa jenis fluida (kg/m^3)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan yang pesat, memiliki peranan besar dalam kehidupan manusia. Pentingnya memberikan dorongan kepada manusia untuk mengembangkan banyak hal yang bertujuan untuk memudahkan kehidupan manusia. Dimana salah satu perkembangan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan kehidupan manusia adalah mekanika fluida. Dalam mekanika fluida terdapat banyak manfaat, salah satunya adalah mengenali karakteristik aliran fluida yang melewati saluran. Dimana dengan mengenali karakteristiknya dapat dianalisis dan dikembangkan, agar dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Karakteristik aliran fluida yang melewati sebuah silinder sirkular sering di temukan pada kehidupan sehari-hari. Dimana sebuah silinder sirkular adalah salah satu jenis dari *bluff body* yang menghasilkan *wake* sangat besar. Pada *wake* yang besar membentuk gaya hambat (*drag*) yang besar juga, dimana gaya *drag* juga dipengaruhi dari posisi titik separasi aliran fluida. Selain itu, juga timbulnya tegangan geser akibat pengaruh viskositas fluida yang melewati suatu *bluff body* dan tegangan normal akibat pengaruh dari tekanan fluida yang melewati suatu *bluff body*, dengan begitu perlu dilakukan pengurangan gaya *drag* terhadap aliran fluida yang melewati *bluff body* pada suatu saluran. Untuk mereduksi gaya *drag* dan mengendalikan aliran, maka dari itu ditambahkan bodi pengganggu untuk mengurangi gaya *drag* yang terjadi. Peneliti-peneliti terdahulu telah melakukan usaha dalam mengurangi gaya *drag* dengan melakukan penundaan separasi aliran.

Penelitian secara eksperimental telah dilakukan oleh (Tsutsui & Igarashi, 2002) mengenai pengaruh bodi pengganggu terhadap penurunan gaya hambat pada silinder sirkular. Penelitian ini menggunakan variasi diameter bodi pengganggu ($d = 1\text{mm}-10\text{mm}$), bilangan Reynolds berkisar antara ($Re = 1,5 \times 10^4 - 6,2 \times 10^4$), dan rasio jarak ($L = 50\text{mm}-120\text{mm}$). Didapatkan hasil kondisi optimum pengurangan koefisien *drag* dan koefisien *drag* total pada ($d/D = 0,25$; $L/D = 2$; $Re < 4,1 \times 10^4$) dan ($d/D = 0,25$; $L/D = 1,75$; $Re \geq 4,1 \times 10^4$). Nilai C_D dan C_{DT} berkurang sebesar 73% dan 63% dibandingkan dengan silinder sirkular tunggal tanpa bodi pengganggu.

(Alam et al., 2003) telah melakukan penelitian mengenai pengurangan gaya fluida yang bekerja pada silinder tunggal dan dua silinder sirkular dengan menggunakan bodi pengganggu. Penelitian ini menggunakan bilangan reynold $Re = 5,5 \times 10^4$ dan diameter silinder sirkular $D = 49\text{ mm}$ dengan variasi diameter bodi pengganggu $d/D = 4,5\text{ mm}$ hingga 6 mm . Didapatkan hasil optimal pada sudut 30° dimana terdapat pengurangan nilai C_D , C_{Df} , dan C_{Lf} dengan masing-masing sebesar 67%, 61%, dan 87%.

(Lee et al., 2004) juga melakukan penelitian secara experimental yang bertujuan untuk memvisualisasikan pola *wake* pada daerah belakang silinder sirkular. Penelitian ini menggunakan silinder sirkular utama tunggal dengan penambahan satu bodi pengganggu pada bagian depan menggunakan bilangan Reynold $Re = 2 \times 10^4$. Variasi yang digunakan adalah rasio diameter bodi pengganggu ($d/D = 0,133-0,267$) dan rasio *gap* antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama ($L/D = 1,5-4$). Didapatkan hasil reduksi koefisien *drag* optimal pada $d/D = 0,233$ dan $L/D = 2,083$, dengan nilai reduksi sebesar 29% dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa bodi pengganggu.

Penelitian untuk pola aliran pada tiga silinder sirkular tersusun segitiga sama sisi, pernah dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001). Penelitian ini dilakukan pada *wind tunnel closed system* pada $Re = 5,5 \times 10^4$ dan diameter silinder sirkular $D = 48\text{mm}$, dengan variasi jarak

antar silinder sirkular ($N/D = 1,7-4,0$). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh distribusi tekanan (C_P) dan koefisien *drag* (C_D) pada tiga silinder sirkular. Didapatkan hasil distribusi tekanan yang simetris pada bagian depan dan belakang silinder A, sedangkan pada silinder B dan silinder C memiliki distribusi tekanan yang berfluktuatif. Hal tersebut terjadi dikarenakan aliran *freestream* yang melintasi silinder A terseparasi dan mengenai silinder B dan C, sehingga terjadi perbedaan distribusi tekanan pada bagian depan dan belakang dari silinder B dan C. Dalam mencari koefisien *drag* pada tiga silinder sirkular dilakukan pengujian pada sudut 0° dengan variasi N/D . Didapatkan hasil pada $N/D = 1,7$ dan $2,2$ memiliki koefisien *drag* terkecil, sedangkan pada $N/D = 2,5$ dan $4,0$ memiliki koefisien *drag* yang cenderung lebih besar.

(Cut et al., 2019) juga melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan *inlet disturbance body* (IDB) pada sudut 30° terhadap pengurangan kekuatan inhibitor pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*. Penelitian ini menggunakan diameter silinder sirkular $D = 25$ mm, rasio jarak longitudinal $L/D = 2$, dan bilangan Reynolds $Re = 2,2 \times 10^4$ dengan variasi rasio jarak transversal ($T/D = 1,5; 2; 3; \text{ dan } 4$). Susunan *inlet disturbance body* ditempatkan bagian *upper* dan *lower* dari silinder *upstream*. Didapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan C_P yang signifikan antar silinder pada jarak $T/D = 1,5$ dimana kondisi tersebut terjadi karena efek *bistable*. Pada jarak $T/D = 3$ dan 4 didapatkan hasil distribusi C_P yang lebih stabil. Hasil dari penambahan IDB pada sudut 30° dapat mereduksi *coefficient drag pressure* (C_{DP}) sebesar 36-53% untuk silinder tunggal pada semua variasi T/D .

Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk menganalisis karakteristik aliran pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan penambahan tiga bodi pengganggu di depan silinder sirkular utama dalam sebuah *wind tunnel*.

1.2 Rumusan Masalah

Silinder sirkular merupakan salah satu jenis dari *bluff body* yang sering ditemui dalam kehidupan sehari – hari, dimana silinder sirkular saat dilintasi oleh aliran akan memiliki *shear layer*. *Shear layer* merupakan lapis batas dibawah dari *boundary layer* yang berada pada *viscous region*. Selama *shear layer* mengalir dan melintasi diantara *solid surface* dengan *boundary layer*, maka momentum aliran melawan 2 hal, yaitu *shear stress* dan *adverse pressure*. Apabila *shear stress* bernilai 0 maka *adverse pressure* bernilai besar, sehingga *streamline* membentuk *diffuser* dan aliran menjadi *backflow*. Ketika *shear layer* tidak mampu melawan *adverse pressure* maka aliran akan terseparasi atau pemisahan dari kontur.

Penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder 1 (*upstream*) akan memberikan dampak pada pola aliran yang terjadi saat melintasi silinder, dimana terdapatnya interaksi antara silinder 1 (*upstream*) dengan silinder 2 (*downstream* atas) dan silinder 3 (*downstream* bawah). Sehingga pada saat aliran dari silinder 1 terseparasi dapat memberikan efek pada saat *re-attach* pada silinder *downstream* yang mana mempercepat transisi aliran dari laminar menuju turbulen, dimana aliran turbulen memiliki momentum yang lebih besar, sehingga mampu melawan dari *shear stress* dan *adverse pressure* yang menyebabkan penundaan titik separasi. Hingga didapatkan *wake* menjadi sempit sehingga dihasilkan reduksi *drag* yang rendah pada silinder *downstream*.

Pada penempatan silinder sirkular dengan variasi jarak longitudinal (L/D) dan jarak transversal (T/D) 2 memberikan efek *bistable* pada pola aliran dibelakang silinder *downstream*, dimana pada jarak transversal (T/D) 2 memasuki daerah *bistable* dengan susunan *side by side*. Dengan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder

1 (*upstream*) akan memberikan pola efek *bistable* yang berbeda pada belakang silinder *downstream* dibandingkan dengan tanpa bodi pengganggu.

Studi eksperimen ini dilakukan pada *sub-sonic wind tunnel* dengan tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan diameter (D) = 25 mm dan bodi pengganggu pada silinder 1 (*upstream*) dengan sudut (α) = 0° , 90° , dan 270° . Diuji pada bilangan Reynolds sebesar $2,2 \times 10^4$ dengan variasi jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini bertujuan untuk fokus dalam mendapatkan hasil yang akurat dan sesuai dengan tujuan awal penelitian. Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Fluida yang mengalir didalam terowongan angin adalah *steady*, *incompressible*, dan *uniform* pada sisi *upstream*.
2. Kecepatan pada terowongan angin diasumsikan konstan dengan bilangan Reynolds ($Re = 2,2 \times 10^4$).
3. Benda kerja berupa tiga silinder sirkular dengan tiga bodi pengganggu berupa silinder sirkular berpermukaan polos.
4. Studi eksperimen dilakukan pada tiga silinder sirkular yang disusun *stagger* dengan bodi pengganggu didepan silinder utama dalam *sub-sonic wind tunnel* berukuran ($h = 300$ mm, $z = 300$ mm, dan $x = 600$ mm). Dengan sudut ($\alpha = 0^\circ$, 90° , dan 270°), diameter silinder sirkular ($D = 25$ mm), diameter bodi pengganggu ($d = 4$ mm), rasio diameter ($d/D = 0,16$), rasio jarak transversal ($T/D = 2D$), yang diuji dengan variasi rasio jarak longitudinal ($L/D = 1,5; 2; 3; 4$).
5. Terdapat kemungkinan perpindahan panas diantara aliran udara dengan benda uji diabaikan.
6. Kekasaran permukaan silinder sirkular dan bodi pengganggu diabaikan.

1.4 Tujuan

Tujuan umum dari penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh bodi pengganggu berbentuk silinder sirkular terhadap karakteristik aliran fluida yang melintasi tiga silinder sirkular yang disusun secara *stagger* dengan variasi jarak longitudinal ($L/D = 1,5; 2; 3; 4$). Dengan Tujuan khusus pada penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis distribusi koefisien tekanan (C_P) pada silinder sirkular *upstream* dan silinder sirkular *downstream* atas dan bawah, untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi.
2. Untuk mendapatkan reduksi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang optimal dengan variasi rasio jarak longitudinal (L/D) yang berbeda dan menganalisis koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang terjadi pada jarak *bistable*, serta menghitung koefisien *lift pressure* (C_{LP}).
3. Untuk menganalisis distribusi kecepatan pada daerah *wake* di belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dan menghitung koefisien *drag total* (C_{DT}).

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian studi eksperimen ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan secara kuantitatif dan kualitatif mengenai pengaruh rasio jarak longitudinal L/D terhadap karakteristik aliran fluida yang melintasi tiga silinder

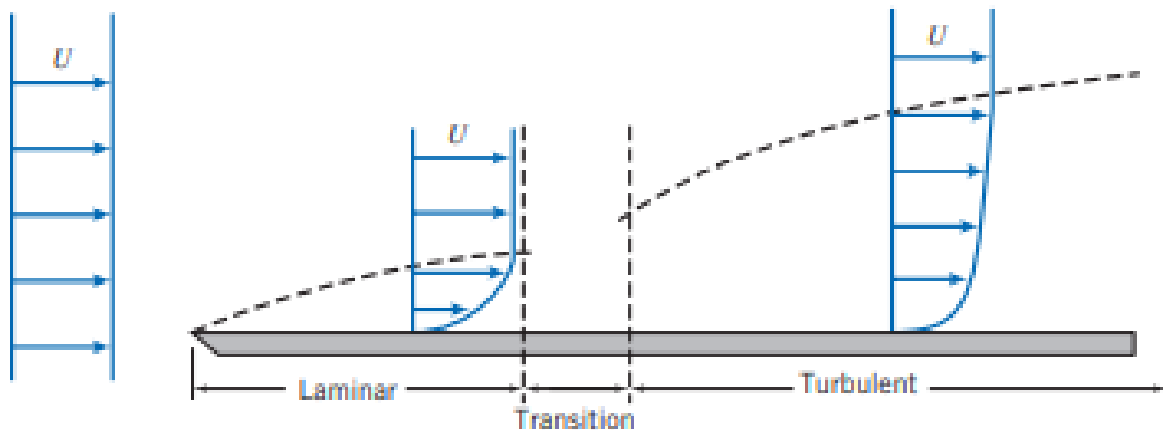
sirkular yang disusun *stagger* dengan adanya pengaruh 3 bodi pengganggu yang diletakkan pada depan silinder sirkular utama di dalam *wind tunnel*.

2. Memberikan informasi tentang adanya pengaruh penempatan sudut bodi pengganggu terhadap penurunan koefisien *drag pressure* pada *wind tunnel*.
3. Memberikan pengetahuan tentang efek *bistable* yang terjadi dan pengaruhnya, serta pengaruh penambahan bodi pengganggu terhadap efek *bistable*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Lapis Batas

Lapis batas akan terbentuk ketika terdapat gesekan fluida melintasi suatu kontur permukaan padat. Dimana gesekan terbesar terjadi ketika dekat dengan permukaan benda yang menyebabkan kecepatan fluida sesaat menjadi nol. Semakin menjauh dari permukaan benda padat pengaruh gaya gesek ini juga akan semakin berkurang hingga pengaruh dari gaya gesek sudah tidak ada. Daerah yang sudah tidak dipengaruhi gaya gesek disebut daerah *freestream*. Antara daerah *freestream* dengan permukaan benda akan terbentuk profil kecepatan akibat terdapat gaya gesek. Batas yang memisahkan antara daerah *freestream* dengan daerah yang masih dipengaruhi gaya gesek dinamakan *boundary layer edge*. Dimana hal ini diilustrasikan pada gambar 2.1.

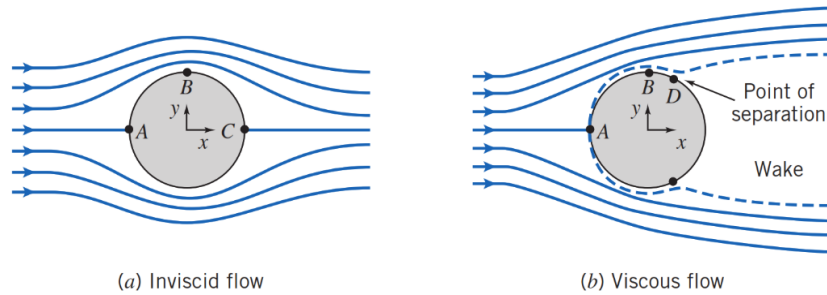


Gambar 2.1 Teori lapis batas (Prichard et al., 2017)

2.2 Aliran *Inviscid* dan *Viscous*

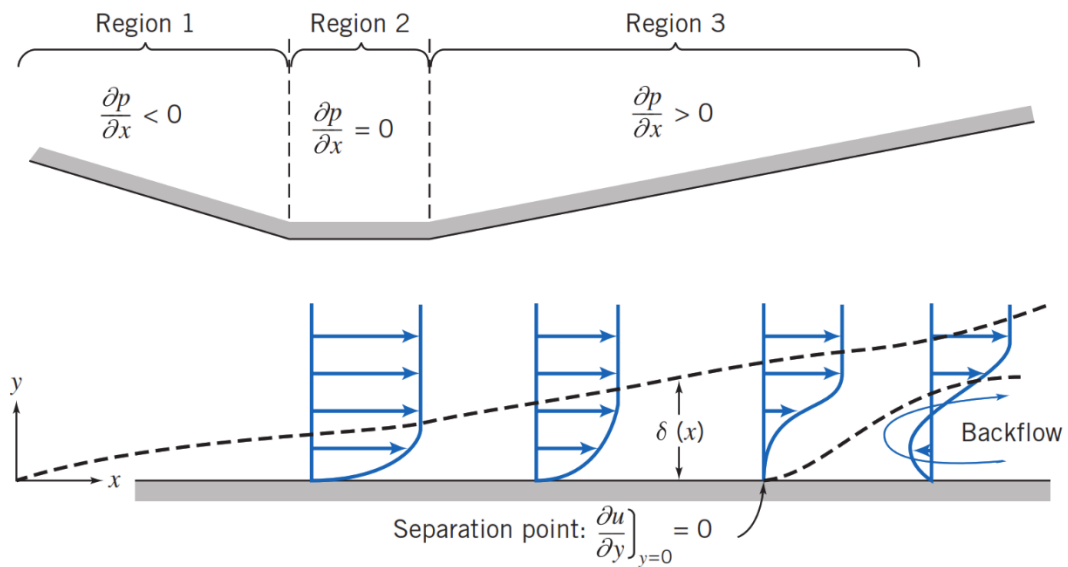
Aliran *inviscid* diilustrasikan aliran fluida tanpa dipengaruhi gesekan terhadap dinding permukaan silinder sirkular, atau pengaruh viskositas fluida tidak mempengaruhi aliran fluida. Meskipun pada kenyataannya semua fluida memiliki viskositas akan tetapi pada kondisi tertentu viskositas tidak mempengaruhi sifat fluida sehingga dapat diabaikan.

Aliran *viscous* merupakan aliran yang dipengaruhi oleh viskositas fluida. Viskositas fluida mempengaruhi aliran fluida karena fluida mengalir akan bergesekan dengan dinding. Pada gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi aliran fluida yang mengalir melintasi permukaan silinder sirkular. Titik A merupakan titik stagnasi, dimana kecepatan pada titik tersebut bernilai 0, dan tekanan terbesar didapatkan pada titik tersebut. Pada titik B *streamline* mengalami pengecilan penampang sehingga kecepatan terbesar terjadi pada titik tersebut, dan didapati tekanan pada titik tersebut bernilai paling kecil. Pada titik D terjadi separasi dimana momentum aliran tidak mampu untuk melawan gaya gesek dari permukaan silinder sirkular dan *adverse pressure gradient* akibat terjadinya perluasan penampang *streamline*. Dari timbulnya separasi ini menyebabkan terjadinya *wake* pada daerah dibelakang silinder sirkular. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk menunda terjadinya titik separasi sehingga daerah *wake* yang terbentuk akan semakin kecil yang juga akan mengurangi gaya *drag* yang akan timbul.



Gambar 2.2 Ilustrasi aliran (Prichard et al., 2017)

Dari gambar 2.3 menunjukkan adanya perubahan luasan aliran mempengaruhi profil kecepatan aliran. Ditunjukkan pada *region 1* ($\frac{\partial p}{\partial x} < 0$) terjadi percepatan aliran karena bidang alir menyerupai *nozzle* atau disebut daerah *favorable pressure gradient*. Pada *region 2* ($\frac{\partial p}{\partial x} = 0$) merupakan kecepatan aliran konstan atau disebut *zero pressure gradient*. Pada *region 3* ($\frac{\partial p}{\partial x} > 0$) terjadi perlambatan aliran karena bidang alir menyerupai *diffuser* atau disebut daerah *adverse pressure gradient*, dimana pada daerah ini terjadi separasi aliran yang diakibatkan momentum aliran tidak mampu melawan gaya gesek permukaan benda dan tekanan akibat pelebaran penampang. Akibat separasi ini maka akan terjadi *backflow* atau aliran yang berbalik arah dari aliran utama.



Gambar 2.3 Lapis batas dengan *advers pressure gradient* (Prichard et al., 2017)

2.3 Aliran Melintasi Silinder Sirkular

Aliran eksternal yang melintasi silinder sirkular tunggal bergerak pada arah tegak lurus terhadap sumbu silinder yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Peristiwa transisi dan separasi yang terjadi pada aliran dapat diketahui karakteristiknya melalui nilai bilangan Reynolds pada silinder sirkular, yang dituliskan dalam persamaan berikut:

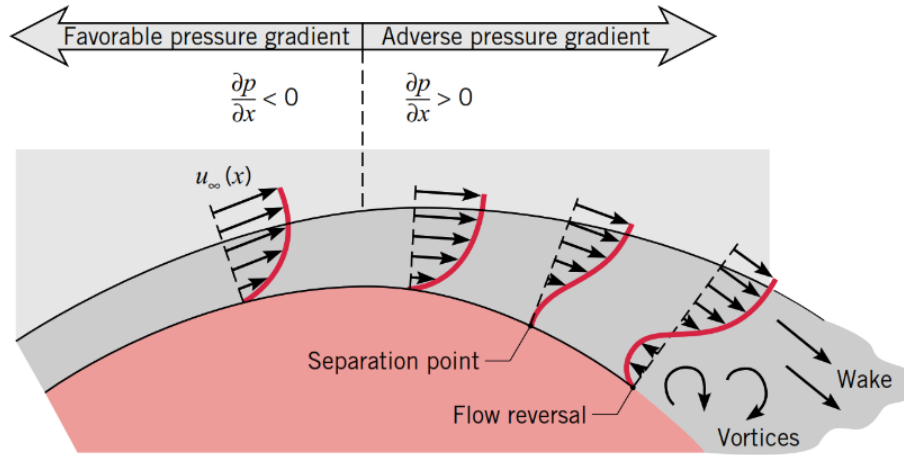
$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{UD}{\nu} \quad (2.1)$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynolds diametrikal

ρ = Massa jenis fluida

- U = Kecepatan aliran fluida
- D = Diameter silinder
- μ = Viskositas dinamik fluida
- ν = Viskositas kinematik fluida

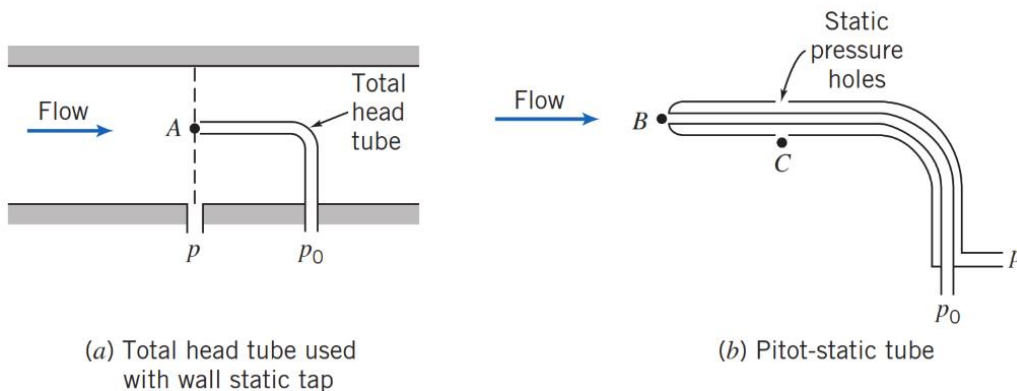


Gambar 2.4 Aliran melintasi silinder sirkular (Incropera et al., 2015)

Apabila aliran yang melintasi silinder sirkular tidak terjadi transisi, maka dapat terlihat perbedaan titik separasi yang terjadi. Pada aliran turbulen memiliki titik separasi yang lebih tertunda karena memiliki momentum yang lebih besar, sehingga dapat mengatasi *adverse pressure gradient* yang menghambat aliran. Seiring meningkatnya bilangan Reynolds aliran yang melintasi silinder sirkular akan memperkecil daerah *wake* yang terbentuk karena separasi dan menurunkan *pressure drop* pada sisi *downstream*.

2.4 Tekanan Statis, Tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamis

Tekanan statis merupakan tekanan yang diukur menggunakan suatu alat, yang bergerak bersama partikel fluida dengan kecepatan relatif alat ukur terhadap aliran. Pengukuran tekanan statis umumnya menggunakan *wall pressure tap*, dimana kecepatan aliran fluida pada permukaan dinding akan bernilai nol karena tidak terdapat fluida yang ideal (*non viscous*). Pengukuran tekanan statis dan stagnasi di visualisasikan melalui gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pengukuran tekanan statis dan stagnasi (Prichard et al., 2017)

Tekanan stagnasi merupakan tekanan yang diukur pada titik stagnasi, dimana kecepatan tersebut bernilai nol. Persamaan Bernoulli diterapkan pada aliran kompresibel untuk sepanjang suatu *streamline*, yang dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{U^2}{2} + gz = \text{konstan} \quad (2.2)$$

Pengukuran tekanan stagnasi (P_o) dimana kecepatan bernilai nol dan $z_o = z$ maka persamaan Bernoulli di atas dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_o = P + \frac{U^2}{2} \rho \quad (2.3)$$

Tekanan dinamis merupakan selisih antara tekanan stagnasi dengan tekanan statis.

$$P_o - P = \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (2.4)$$

Dimana:

P = Tekanan statis

P_o = Tekanan stagnasi

g = Percepatan gravitasi bumi

z = Ketinggian

ρ = Densitas fluida

U = Kecepatan aliran fluida

U_o = Kecepatan stagnasi

2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian, terdapat beberapa referensi dari berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dan menunjang penelitian yang akan dilakukan. Berikut merupakan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan akan dijelaskan sebagai berikut:

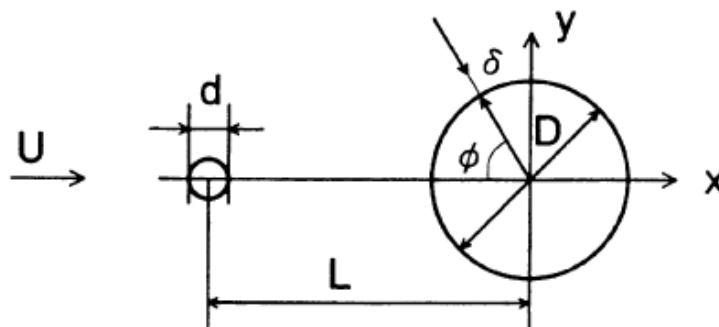
Tabel 2.1 Perbandingan penelitian terdahulu

Penelitian	Metode Penelitian	Variasi	Dimensi
Tsutsui & Igarashi (2002)	Eksperimental	L=50mm-120mm d=1mm-10mm Re=1,5x10 ⁴ - 6,2x10 ⁴	Silinder tunggal, 1 bodi pengganggu, D=40mm
Alam et al. (2003)	Eksperimental	$\alpha=20^\circ-60^\circ$ d=4mm-6mm	Silinder tunggal, 2 bodi pengganggu, Re=5,5x10 ⁴ , D=49mm, $\delta=0,4$ mm
Lee et al. (2004)	Eksperimental	d/D=0,133-0,267 L/D=1,5-4,0	Silinder tunggal, 1 bodi pengganggu, Re=2x10 ⁴

Gu & Sun (2001)	Eksperimental	$N/D = 1,7-4$ $\beta = 0^\circ-60^\circ$	3 Silinder tersusun segitiga sama sisi, Tanpa bodi pengganggu, $Re=5,5 \times 10^4$, $D=48\text{mm}$
Cut et al. (2019)	Eksperimental	$T/D=1,5-4$	3 Silinder tersusun stagger, 2 bodi pengganggu $\alpha=30^\circ \& 60^\circ$, $Re=2,2 \times 10^4$, $d/D=0,16$, $\delta=0,4\text{mm}$, $L/D=2$

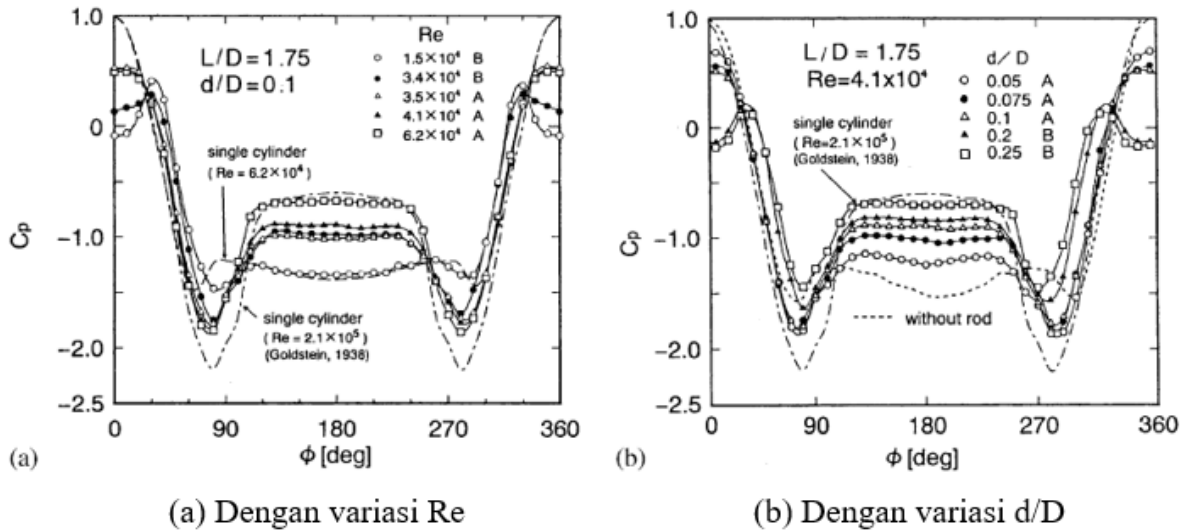
2.5.1 Pengurangan Gaya Hambat pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Bodi Pengganggu

Penelitian ini dilakukan oleh (Tsutsui & Igarashi, 2002) dimana penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bodi pengganggu berbentuk silinder yang diletakkan didepan sebuah silinder sirkular. Penelitian ini menggunakan variasi bilangan Reynolds ($Re = 1,5 \times 10^4 - 6,2 \times 10^4$), diameter silinder pengganggu ($d = 1\text{mm} - 10\text{mm}$), dan jarak longitudinal ($L = 50\text{mm} - 120\text{mm}$) yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Dalam melakukan penelitian ini menggunakan geometri silinder sirkular utama dengan diameter sebesar 40mm.



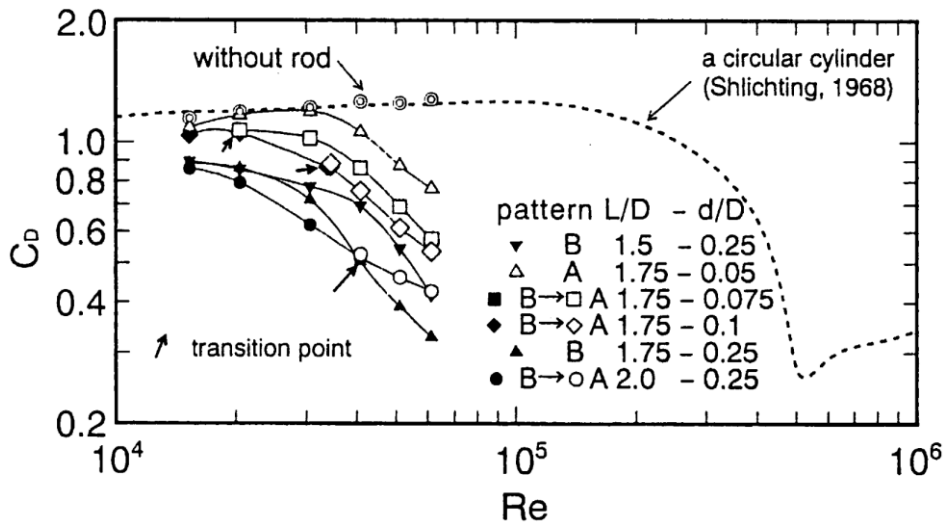
Gambar 2.6 Skema penelitian (Tsutsui & Igarashi, 2002)

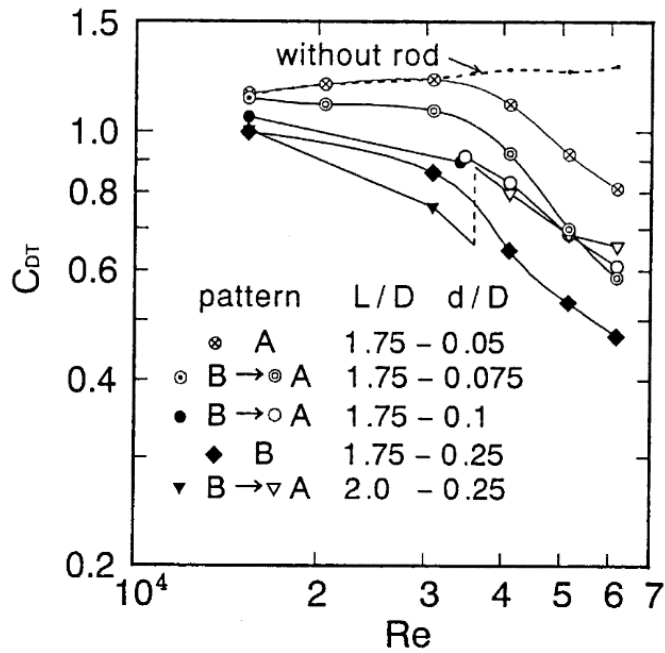
Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa terjadi penurunan nilai koefisien *drag* yang disebabkan oleh meningkatnya nilai bilangan Reynolds dan peningkatan nilai d/D serta penurunan L/D . Pada saat bilangan Reynolds mencapai nilai diatas 3×10^4 , maka titik separasi akan bergeser semakin cepat dan daerah *wake* menyempit karena menurunnya koefisien *drag*.



Gambar 2.7 Grafik distribusi tekanan (C_p) pada silinder sirkular utama (Tsutsui & Igarashi, 2002)

Dari gambar 2.7 dapat diketahui pengaruh variasi bilangan Reynolds, diameter silinder pengganggu, dan jarak longitudinal terhadap koefisien *drag*. Pada gambar 2.7 (a) percobaan dilakukan dengan $L/D = 1,75$ dan $d/D = 0,1$ dengan variasi bilangan Reynolds. Didapatkan hasil nilai koefisien tekanan (C_p) pada bagian depan silinder sirkular utama mengalami penurunan ketika diberikan penambahan bodi pengganggu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya penambahan bodi pengganggu dengan variasi bilangan Reynolds yang meningkat dapat menyebabkan lebar *wake* pada bagian belakang silinder sirkular utama semakin menyempit. Sedangkan pada gambar 2.7 (b) percobaan dilakukan dengan $L/D = 1,75$ dan $Re = 4,1 \times 10^4$ dengan variasi d/D . Didapatkan hasil bahwa nilai C_p pada bagian depan silinder sirkular utama mengalami penurunan seiring meningkatnya variasi diameter bodi pengganggu. Dapat dilihat bahwa adanya penambahan bodi pengganggu dengan variasi diameter yang meningkat, maka lebar *wake* dibelakang silinder sirkular utama semakin menyempit.

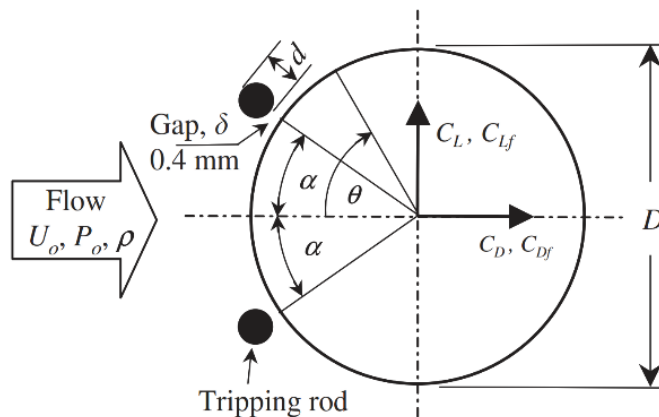




Gambar 2.9 Total drag coefficient (Tsutsui & Igarashi, 2002)

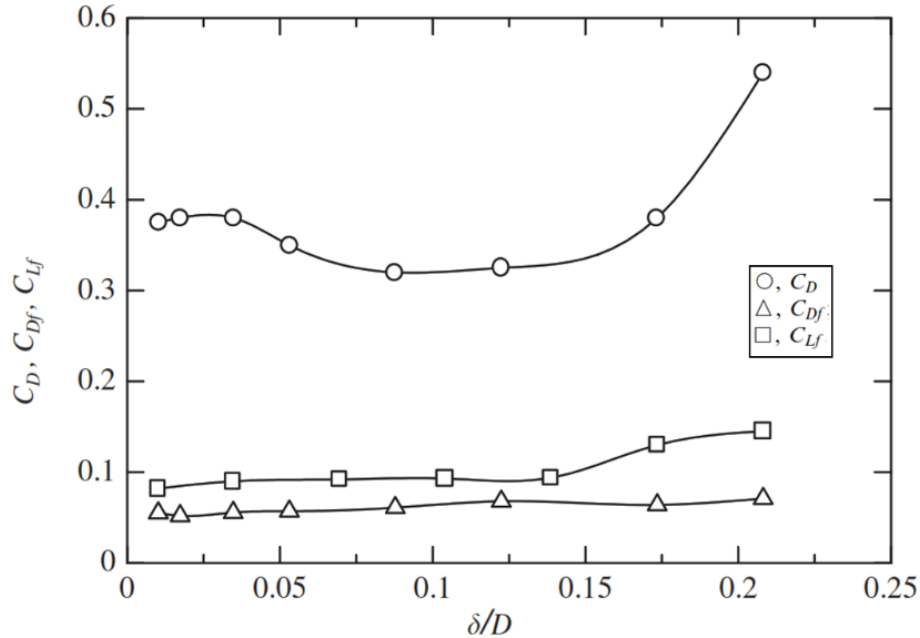
Berkurangnya *pressure drag* dikarenakan terdapat penurunan tekanan pada bagian depan silinder sirkular dan nilai C_{DT} menurun seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds dan d/D . Pada gambar 2.8 dan 2.9 dapat dilihat bahwa kondisi optimum pengurangan koefisien *drag* dan koefisien *drag* total pada $d/D = 0,25$; $L/D = 2$; $Re < 4,1 \times 10^4$; dan $d/D = 0,25$; $L/D = 1,75$; $Re \geq 4,1 \times 10^4$. Nilai C_D dan C_{DT} berkurang sebesar 73% dan 63% dibandingkan dengan silinder sirkular tunggal tanpa bodi pengganggu.

Penelitian ini dilakukan oleh (Alam et al., 2003) yang membahas mengenai nilai koefisien gaya hambat (C_{Df}) dan gaya angkat (C_{Lf}) yang terjadi pada silinder sirkular dengan penambahan dua bodi pengganggu berbentuk silinder sirkular yang disusun dengan sudut α tertentu. Penelitian dilakukan menggunakan *low speed, closed circuit wind tunnel* berdimensi panjang 2,5m, lebar 0,3m, dan tinggi 1,2m, diameter silinder sirkular utama ($D = 49\text{mm}$), variasi diameter bodi pengganggu ($d = 4\text{mm}$, 5mm , dan 6mm), variasi sudut ($\alpha = 20^\circ - 60^\circ$) dengan penambahan 10° pada setiap variasi. Menggunakan bilangan Reynolds sebesar $5,5 \times 10^5$ dengan ukuran *gap* (δ) berkisar antara $0,4\text{mm} - 12\text{mm}$. Pengaturan letak bodi pengganggu terhadap silinder sirkular utama dijelaskan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Skema penelitian silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu (Alam et al., 2003)

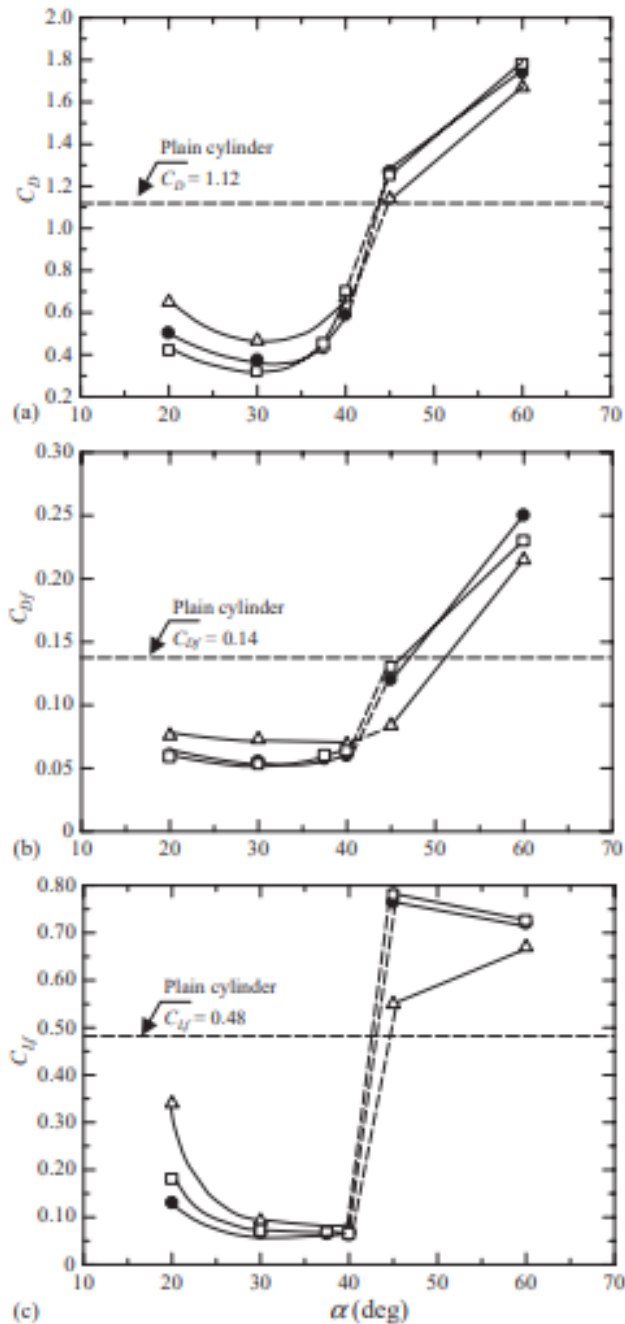
Pertama dilakukan penelitian untuk menginvestigasi efek dari *gap* terhadap *fluid forces* dengan menggunakan *gap* sebesar 0,4mm diameter bodi pengganggu 5mm dan $\alpha=30^\circ$. Dari gambar 2.11 didapatkan nilai C_D , C_{Df} , dan C_{Lf} tidak berpengaruh signifikan yang dipengaruhi oleh rasio jarak $\delta/D < 0,15$.



Gambar 2.11 Efek rasio jarak δ/D pada koefisien gaya (Alam et al., 2003)

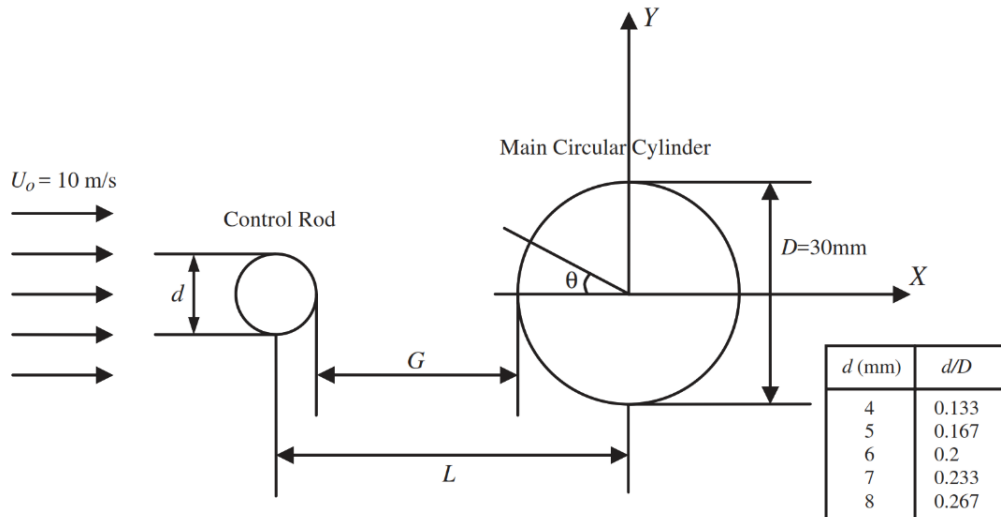
Selanjutnya dilakukan penelitian mengenai pengaruh sudut bodi pengganggu terhadap koefisien gaya aliran yang melintasi silinder sirkular. Dengan jarak *gap* $\delta = 0,4\text{mm}$, dan variasi diameter bodi pengganggu ($d = 4\text{mm}, 5\text{mm}, 6\text{mm}$).

Dari gambar 2.12 menunjukkan bahwa nilai C_D minimum terjadi saat sudut bodi pengganggu $\alpha = 30^\circ$ dan $d = 5\text{mm}$, serta nilai C_D tereduksi sebesar 67%. Dimana nilai C_D untuk rentang sudut bodi pengganggu $\alpha = 45^\circ-60^\circ$ melebihi nilai silinder sirkular tanpa bodi pengganggu. Dapat disimpulkan bahwa posisi sudut bodi pengganggu $\alpha = 30^\circ$ dan $d = 5\text{mm}$ merupakan posisi yang optimum dengan C_{Lf} dan C_{Df} tereduksi sebesar 61% dan 87%. Sedangkan pada $\alpha = 60^\circ$ didapati nilai C_{Lf} dan C_{Df} lebih besar dari silinder sirkular tanpa bodi pengganggu.

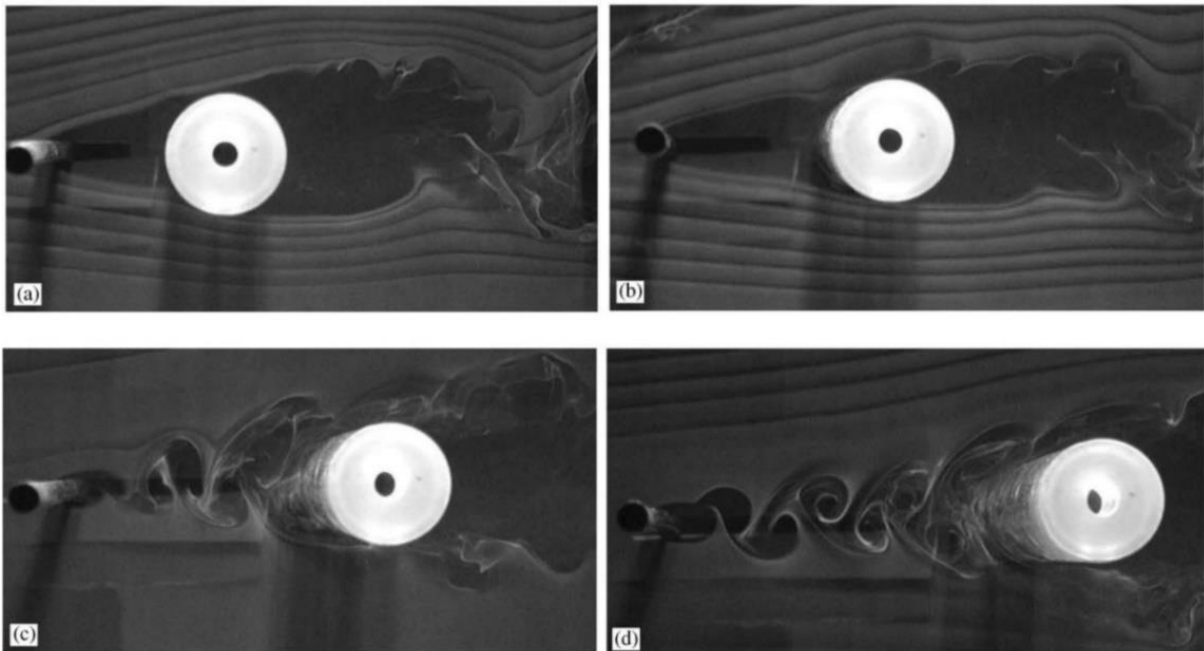


Gambar 2.12 Pengaruh sudut bodi pengganggu pada koefisien gaya (a) C_D , (b) C_{Df} , (c) C_{Lf} (Alam et al., 2003)

(Lee et al., 2004) Melakukan penelitian secara eksperimen yang bertujuan untuk memvisualisasikan pola *wake* yang terbentuk pada studi eksperimen silinder sirkular yang diberi bodi pengganggu dengan bilangan Reynolds sebesar 2×10^4 . Variasi yang digunakan adalah rasio ($d/D = 0,133-0,267$) dengan memvariasikan *gap* antara silinder sirkular utama dengan bodi pengganggu ($\delta = 2\text{mm}; 2,08\text{mm}; 2,5\text{mm};$ dan 3mm) dan ($L/D = 1,5 - 4$). Penelitian dilakukan menggunakan *sub-sonic wind tunnel* dengan dimensi $6000\text{mm} \times 720\text{mm} \times 600\text{mm}$. Gambar 2.13 menggambarkan skema penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 2.13 Skema penelitian (Lee et al., 2004)

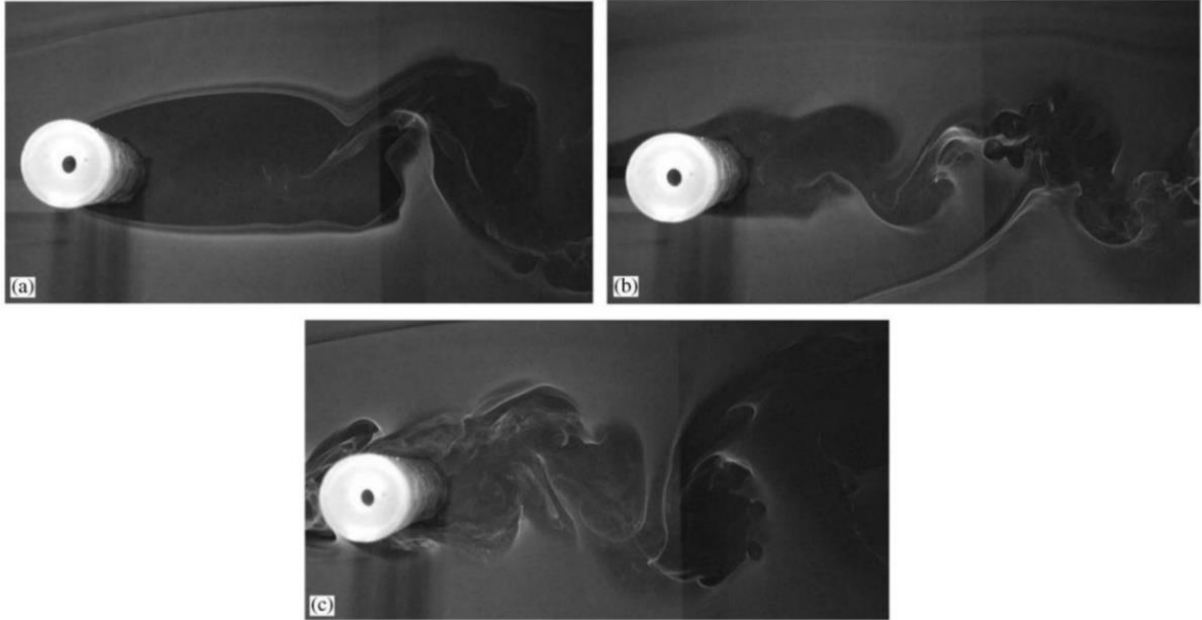


Gambar 2.14 Visualisasi aliran di antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama $d/D = 0,233$ (Lee et al., 2004)

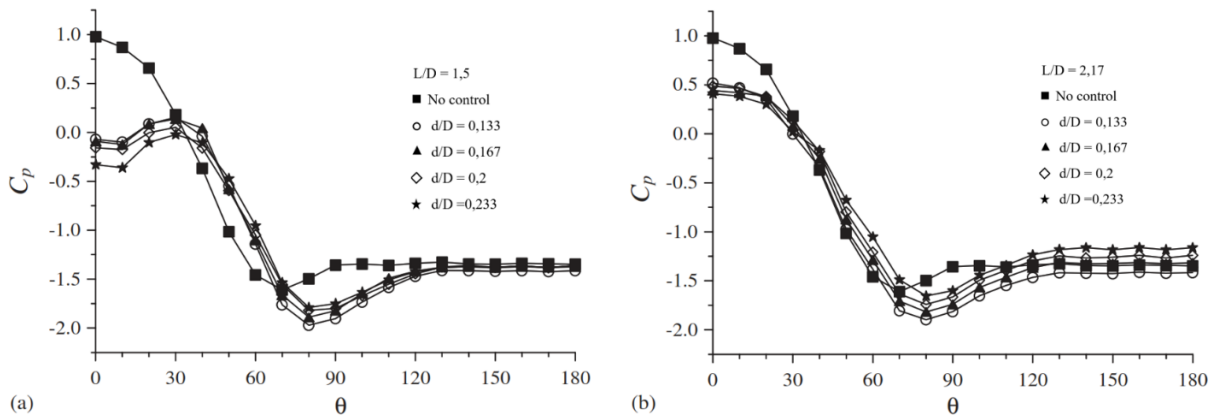
Pada gambar 2.14 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tidak terdapat perlepasan *vortex* antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular, dikarenakan posisi dari keduanya yang saling berdekatan. Lapisan geser dari bodi pengganggu secara perlahan menggapai bagian *upper* dan *lower* dari silinder sirkular dengan sudut $\theta = \pm 40^\circ$. Pola aliran seperti ini dinamakan *cavity mode*. Pada gambar 2.14 (c) dan (d) dapat dilihat bahwa terdapat perlepasan *vortex* antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama. Pola aliran seperti ini dinamakan *wake impingement mode*. *Vortex* yang ditimbulkan dapat menarik aliran yang berada didepan dari silinder sirkular utama, sehingga kecepatan aliran yang datang pada depan silinder sirkular utama lebih besar dibandingkan dengan *cavity mode*.

Pada gambar 2.15 dapat dilihat pola aliran *wake* yang terbentuk dibelakang silinder sirkular utama tanpa dan dengan tanpa bodi pengganggu. Gambar 2.15 (a) menunjukkan pola aliran pada bagian belakang silinder sirkular utama tanpa bodi pengganggu, titik

separasi terjadi pada *upstream* silinder sirkular utama, sehingga memperbesar daerah *wake* yang berada di belakangnya. Gambar 2.15 (b) dan (c) menunjukkan pola aliran pada bagian belakang silinder sirkular utama dengan bodi pengganggu didepannya. Pada saat penambahan bodi pengganggu menyebabkan terjadinya separasi aliran pada silinder sirkular utama. Hal ini mempengaruhi penundaan titik separasi ke bagian belakang silinder sirkular utama. Terjadinya penundaan titik separasi menyebabkan daerah *wake* yang terbentuk semakin sempit sehingga gaya hambat yang timbul semakin kecil.



Gambar 2.15 Visualisasi aliran pada belakang silinder sirkular utama $d/D = 0,233$ (a) tanpa bodi pengganggu, (b) $L/D = 2$, dan (c) $L/D = 3$ (Lee et al., 2004)

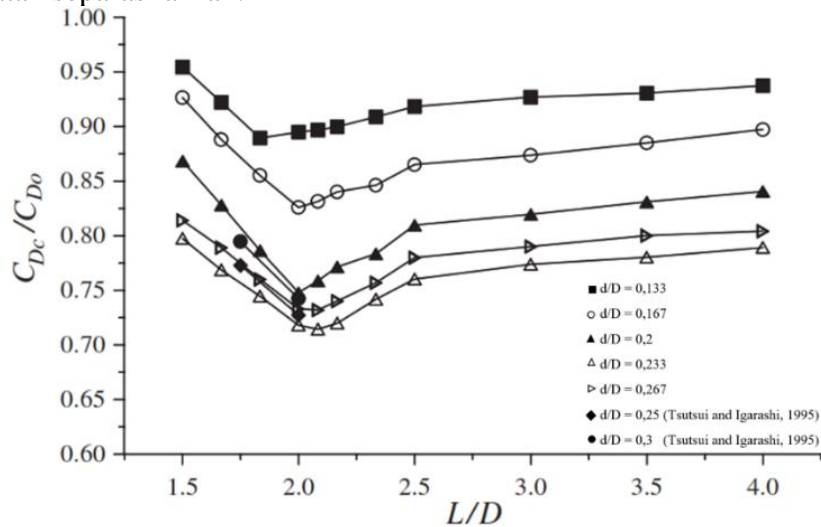


Gambar 2.16 Pengaruh diameter batang pengganggu pada distribusi tekanan pada silinder (a) $L/D = 1,5$; (b) $L/D = 2,17$ (Lee et al., 2004)

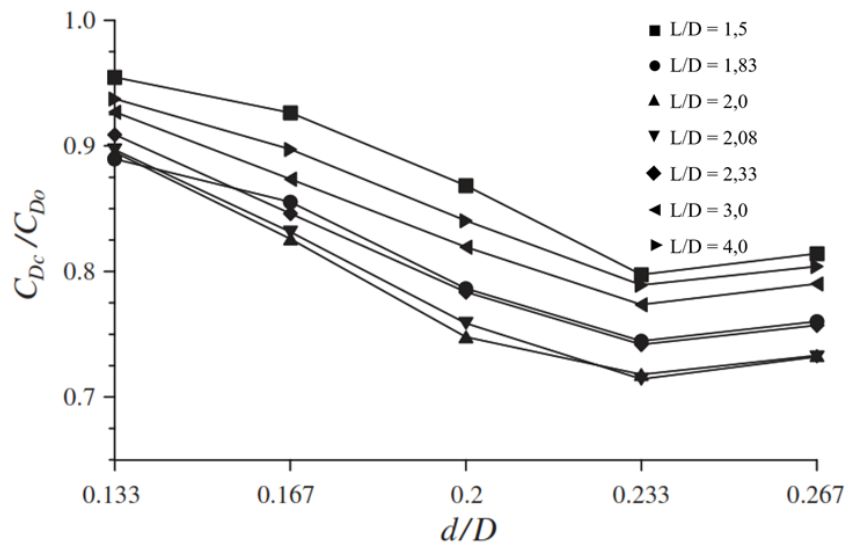
Pada gambar 2.16 (a) dapat dilihat bahwa tekanan rata-rata pada daerah stagnasi silinder sirkular utama berkurang dan bernilai negatif. Tekanan terlihat sama dengan tekanan dasar bodi pengganggu. Didapatkan hasil reduksi yang besar pada tekanan yang dilintasi aliran pada depan permukaan silinder dan terbentuknya *drag* akan berkurang. Pada rentang sudut ($10^\circ < \theta < 30^\circ$), tekanan rata-rata meningkat dengan tekanan maksimum pada $\theta = 30^\circ$. Tekanan didapati menurun pada $\theta \leq 40^\circ$ dan meningkat lagi pada permukaan samping dan belakang dari silinder sirkular utama. Titik separasi fluida

didapati bergeser ke $\theta = 70^\circ\text{-}80^\circ$ dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa bodi pengganggu, dimana fluida mengalami *adverse pressure gradient*.

Gambar 2.16 (b) menunjukkan bahwa distribusi rata-rata tekanan pada silinder sirkular memiliki bentuk yang sama dengan *cavity mode* dan mendekati distribusi tekanan pada silinder sirkular tanpa bodi pengganggu. Tekanan stagnasi untuk *impingement mode* pada $\theta = 0^\circ$ memiliki *wake* yang lebih besar dibandingkan dengan *cavity mode*, dikarenakan kecepatan arus yang datang dapat menutupi tidak adanya *cavity*. Untuk rasio diameter ($d/D = 0,2$ dan $0,233$) menghasilkan tekanan rata-rata dibawah permukaan silinder yang lebih besar dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa bodi pengganggu, sehingga muncul pusaran *impingement* dari bodi pengganggu yang menghasilkan perlambatan separasi aliran.



Gambar 2.17 Hubungan antara rasio *gap* dengan rasio diameter pada C_D (Lee et al., 2004)

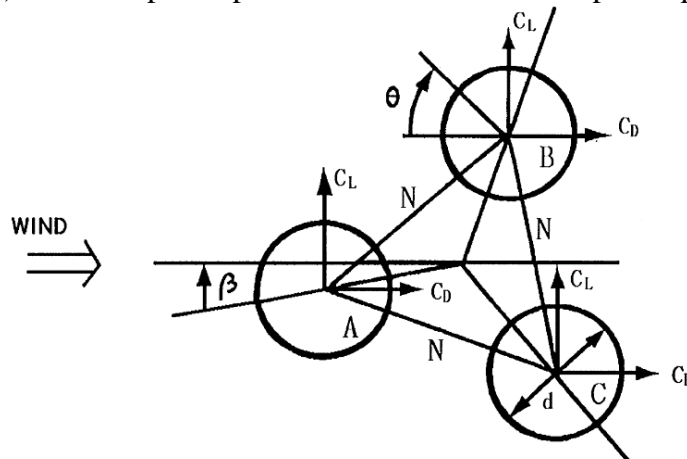


Gambar 2.18 Hubungan antara rasio diameter dengan rasio *gap* pada C_D (Lee et al., 2004)

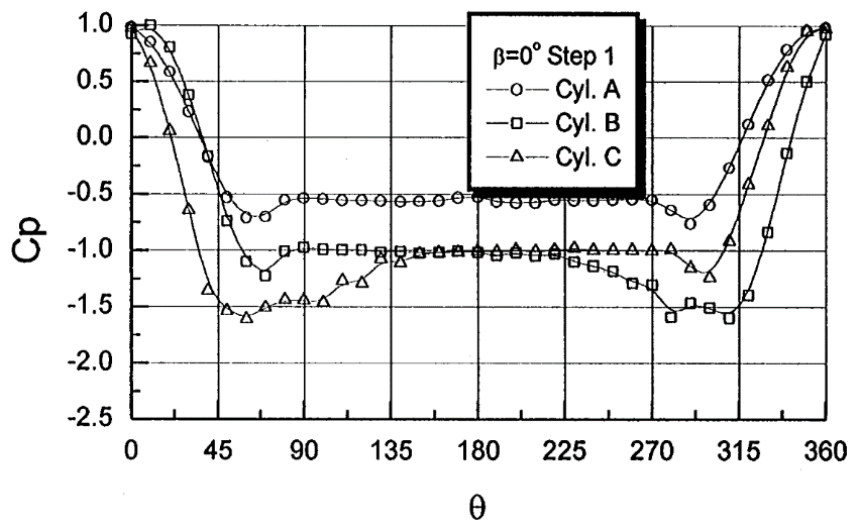
Nilai C_D turun karena dipengaruhi oleh bodi pengganggu yang menghasilkan profil aliran melingkupi silinder. Pada profil aliran ini mengakibatkan turunnya nilai C_P dan nilai C_D dari silinder dan sistem secara keseluruhan. Untuk rasio diameter dan jarak *gap* paling optimal didapatkan pada $d/D = 0,233$ dan $L/D = 2,083$, dengan nilai reduksi 29% dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa bodi pengganggu.

2.5.2 Penelitian Eksperimen Tiga Silinder Sirkular dalam Susunan Segitiga Sama Sisi pada Bilangan Reynold Tinggi

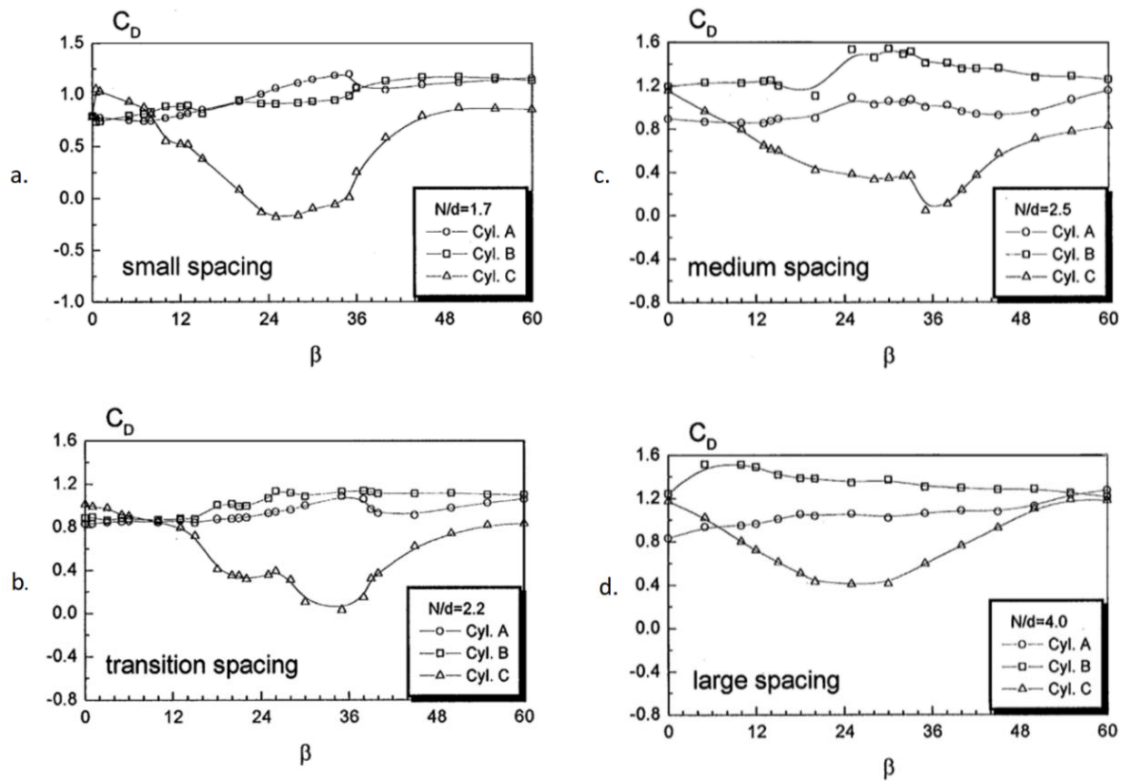
Penelitian ini dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) secara eksperimental pada tiga silinder sirkular dalam susunan segitiga sama sisi. Penelitian ini dilakukan pada *closed system wind tunnel* dengan bilangan Reynolds sebesar $5,5 \times 10^4$ dan variasi sudut ($\beta = 0^\circ - 60^\circ$). Sedangkan untuk visualisasi aliran dilakukan pada *wind tunnel* terbuka pada bilangan Reynolds sebesar $1,4 \times 10^4$, diameter silinder sirkular ($D = 48\text{mm}$), dan panjang silinder sirkular sebesar 640mm dengan variasi jarak antar pusat dari silinder ($N/D = 1,7; 2,2; 2,5; \text{ dan } 4$). Susunan penempatan silinder sirkular ditampilkan pada gambar 2.19.



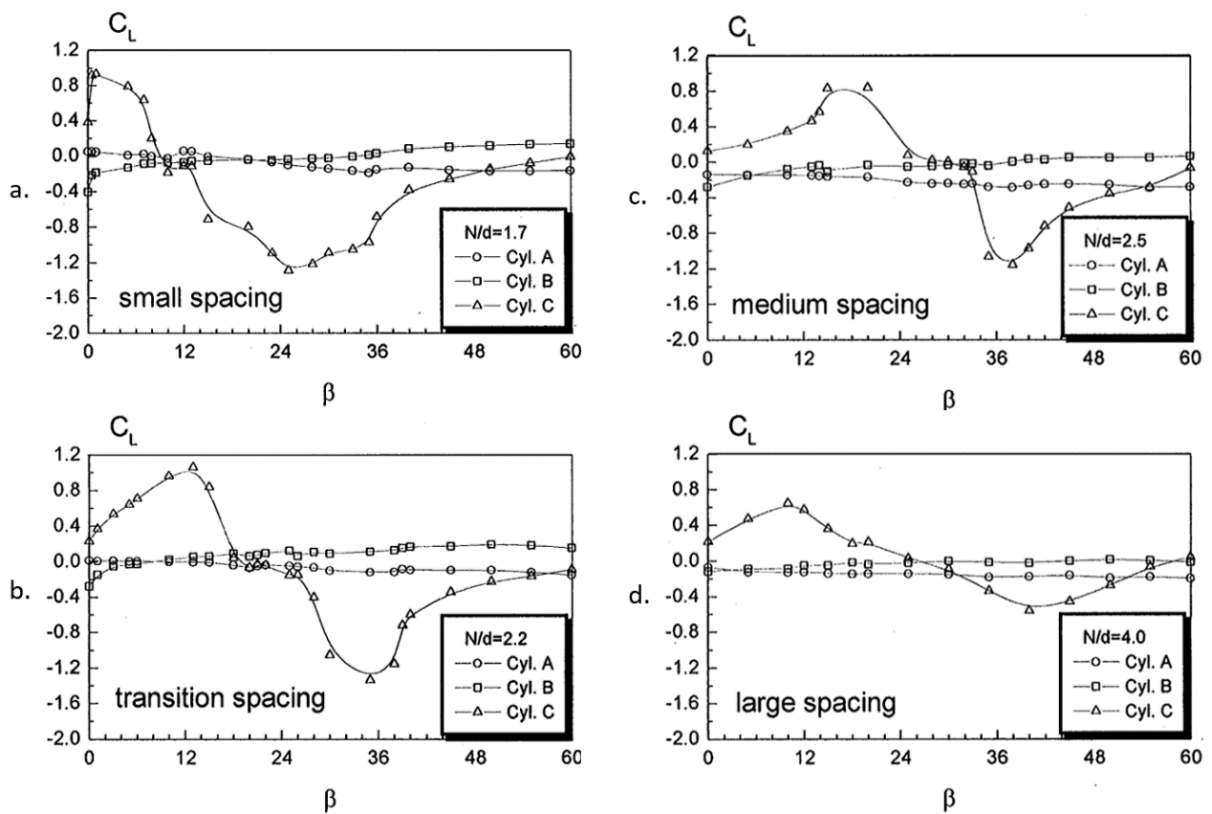
Gambar 2.19 Skema penelitian dengan tiga silinder sirkular tersusun segitiga sama sisi (Gu & Sun, 2001)



Gambar 2.20 Distribusi tekanan silinder sirkular A, B, dan C pada $N/D = 1,7; Re = 5,5 \times 10^4$ (Gu & Sun, 2001)



Gambar 2.21 Koefisien drag silinder A, B, dan C; a = 1,7; b = 2,2; c = 2,5; d = 4 (Gu & Sun, 2001)

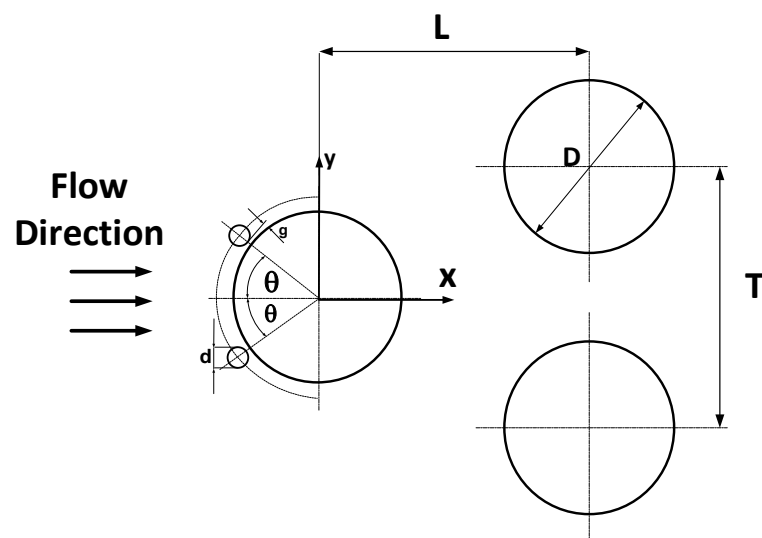


Gambar 2.22 Koefisien drag silinder A, B, dan C; a = 1,7; b = 2,2; c = 2,5; d = 4 (Gu & Sun, 2001)

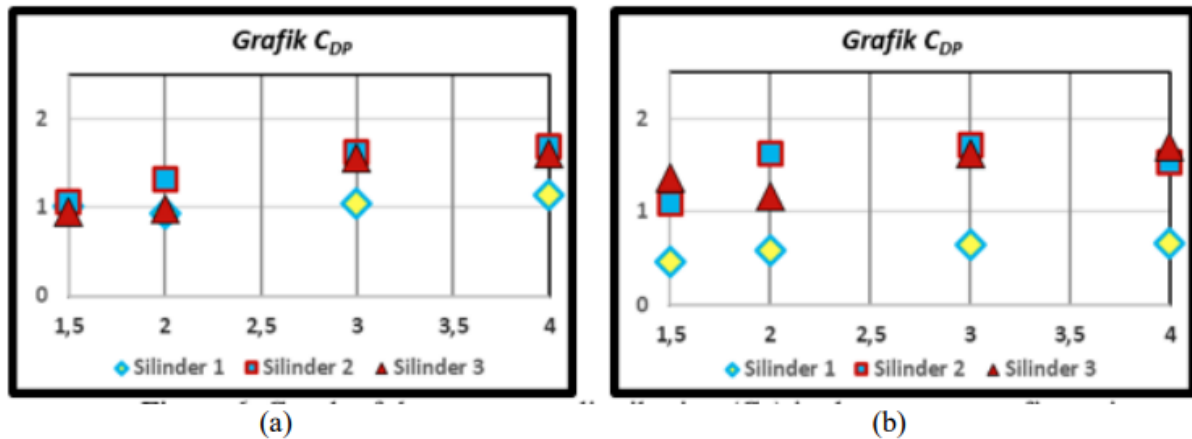
Dari gambar 2.20 didapatkan hasil distribusi tekanan yang simetris pada bagian depan dan belakang silinder A, sedangkan pada silinder B dan silinder C memiliki distribusi tekanan yang berfluktuatif. Hal tersebut terjadi dikarenakan aliran *freestream* yang melintasi silinder A terseparasi dan mengenai silinder B dan C, sehingga terjadi perbedaan distribusi tekanan pada bagian depan dan belakang dari silinder B dan C. Dalam mencari koefisien *drag* pada tiga silinder sirkular dilakukan pengujian pada sudut 0° dengan variasi N/D . Dari gambar 2.21 didapatkan hasil pada $N/D = 1,7$ dan $2,2$ memiliki koefisien *drag* terkecil, sedangkan pada $N/D = 2,5$ dan $4,0$ memiliki koefisien *drag* yang cenderung lebih besar. Pada gambar 2.22 didapatkan hasil distribusi koefisien *lift*. Pada grafik tersebut terlihat hasil untuk silinder 1 dan silinder 2 memiliki tren nilai yang cukup stabil dibandingkan dengan tren nilai pada silinder 3 yang berfluktuasi signifikan.

2.5.3 Penelitian Eksperimen Pengaruh *Inlet Disturbance Body* (IDB) pada 30° Terhadap Reduksi Gaya pada Tiga Silinder Sirkular dalam Susunan *Stagger*

Penelitian ini telah dilakukan oleh (Cut et al., 2019) dengan cara eksperimen untuk mengetahui pengaruh penggunaan *inlet disturbance body*. Penelitian ini menggunakan bilangan Reynolds $Re = 2,2 \times 10^4$ dengan intensitas turbulensi pada *center line test section open circuit wind tunnel* sebesar $IT = 1,56\%$ dan kecepatan rata-rata sebesar $15,13$ m/s, diameter silinder sirkular $D = 25$ mm, rasio jarak longitudinal $L/D = 2$, dengan variasi rasio jarak transversal ($T/D = 1,5; 2; 3; \text{ dan } 4$). Susunan *inlet disturbance body* berdiameter ($d = 4$ mm) ditempatkan bagian *upper* dan *lower* dari silinder *upstream* pada IDB 30° seperti pada gambar 2.22. Penelitian ini diuji pada terowongan angin berpenampang bujur sangkar berdimensi $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 600\text{mm}$ dan *blockage ratio* sebesar 24% . Skema penelitian yang akan dilakukan terdapat pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 Skema penelitian (Cut et al., 2019)

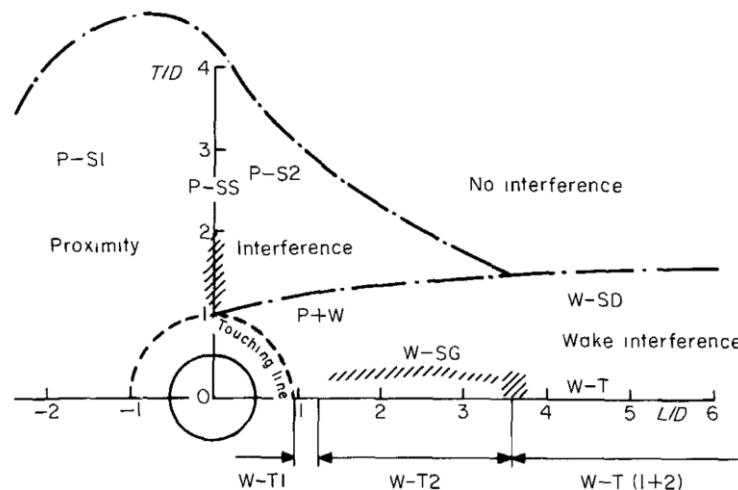


Gambar 2.24 Distribusi koefisien tekanan drag pada susunan stagger (a) Tanpa IDB (b) IDB 30° (Cut et al., 2019)

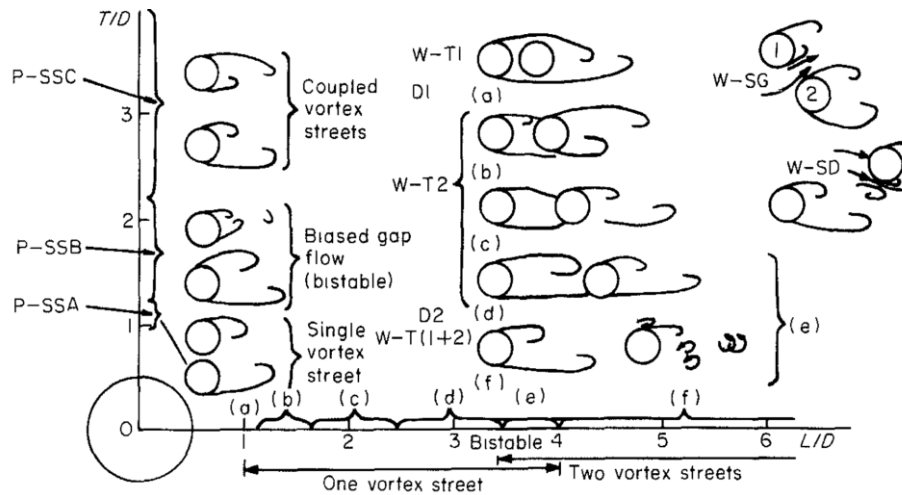
Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil pada gambar 2.24 bahwa terdapat perbedaan C_P yang signifikan antar silinder pada jarak $T/D = 1,5$ dimana kondisi tersebut terjadi karena efek *bistable*. Pada jarak $T/D = 3$ dan 4 didapatkan hasil distribusi C_P yang lebih stabil. Hasil dari penambahan IDB pada sudut 30° dapat mereduksi *coefficient drag pressure* (C_{DP}) sebesar 36-53% untuk silinder tunggal pada semua variasi T/D . Pada silinder dengan transisi aliran lapis batas *inlet disturbance body* yang diposisikan pada sudut 30° terjadi lebih cepat. Sementara untuk kedua silinder memiliki nilai *drag* yang lebih tinggi pada $T/D = 1,5; 2; \text{ dan } 3$ yaitu 3,2%-22% dan pada $T/D = 4$ gaya drag tereduksi 91%.

2.5.4 Penelitian Studi Eksperimen Pengaruh Jarak antar Silinder Sirkular Terhadap Efek *Bistable*

Penelitian studi eksperimen tentang pengaruh jarak antar silinder sirkular pada *cross-flow* telah dilakukan oleh (Zdravkovich, 1987). Pada gambar 2.25 digambarkan untuk zona interaksi pada susunan jarak transversal dan longitudinal. Terdapat tiga zona interaksi pada dua silinder sirkular, yaitu daerah *proximity*, *interference*, dan *wake interference*. Dari hal tersebut divisualisasikan pada gambar 2.26 yang mana pola interferensi aliran pada dua silinder sirkular yang tersusun *tandem*, *side by side*, dan *staggered*. Dimana akan muncul efek *bistable* pada jarak transversal sebesar 2 dan pada jarak longitudinal sebesar 4.

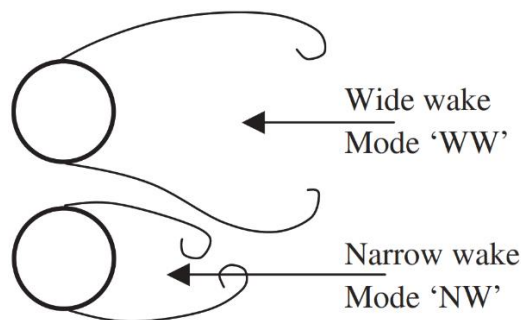


Gambar 2.25 Daerah interferensi pada struktur aliran (Zdravkovich, 1987)



Gambar 2.26 Pola interferensi aliran pada dua silinder sirkular: *side by side, tandem, staggered* (Zdravkovich, 1987)

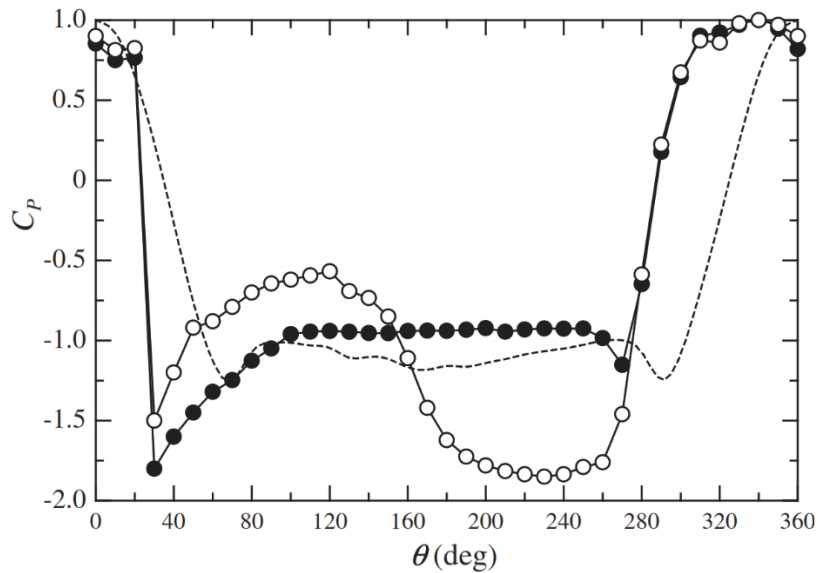
Selain itu, (Alam et al., 2003) juga melakukan penelitian yang dilakukan secara eksperimen untuk melihat efek *bistable*. Penelitian ini juga memberikan ilustrasi dari *wake* pada belakang dua silinder tersusun *side by side*, dimana saat terjadi efek *bistable* terdapat dua jenis *wake* yang tercipta dibelakang silinder, yaitu *wide wake* atau yang disebut dengan mode ‘WW’ dan *narrow wake* atau yang disebut dengan mode ‘NW’. *Wide wake* yang dimaksud adalah *wake* yang tercipta lebih besar dibandingkan dengan *narrow wake*, sehingga *wide wake* memberikan pengaruh terhadap distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder yang memiliki *narrow wake*. Ilustrasi *wide wake* dan *narrow wake* dapat dilihat pada gambar 2.27 dibawah ini.



Gambar 2.27 Ilustrasi struktur *wake* asimetris susunan *side by side* (Alam et al., 2003)

Efek *bistable* ini juga dapat dilihat melalui grafik distribusi koefisien tekanan (C_p). Pada susunan *side by side*, efek *bistable* dapat dirasakan pengaruhnya pada jarak transversal (T/D) 2D (jika di jurnal 1D, karena pengukuran dari *surface to surface*). Dari gambar 2.27, pada belakang silinder atas memiliki *wide wake* dan belakang silinder bawah memiliki *narrow wake*. Pada gambar 2.28 akan melihat grafik distribusi koefisien tekanan (C_p), dimana kondisi diambil saat silinder atas memiliki *wide wake* dan silinder bawah memiliki *narrow wake*. Pada permulaan memiliki titik stagnasi yang sama pada sudut 320° , kemudian dilanjutkan dengan percepatan untuk silinder atas hingga sudut 30° (*upper side*) dan 270° (*lower side*), didapati perlambatan yang diindikasikan dengan kenaikan tekanan hingga mengalami separasi dengan tekanan yang mulai stabil pada 100° (*upper side*) dan 250° (*lower side*). Hal ini membuktikan untuk silinder atas yang memiliki *wide wake* tidak terpengaruh dengan *narrow wake* pada silinder bawah, sebaliknya pada silinder bawah mengalami pengaruh terhadap koefisien tekanan (C_p)

ditiap kontur bagian *upper* dan *lower*. Pada sisi *upper* dari silinder bawah mengalami percepatan hingga 30° yang kemudian mengalami perlambatan hingga 120° (*upper side*), didapati percepatan kembali akibat dorongan dari *wide wake* silinder atas sehingga menyebabkan tekanan yang menurun cukup signifikan dibandingkan dengan koefisien *base pressure* (C_{BP}) dari silinder atas. Hal tersebut mengindikasikan pengaruh efek *bistable* yang menyebabkan pada silinder bawah mengalami percepatan hingga sisi *lower*.



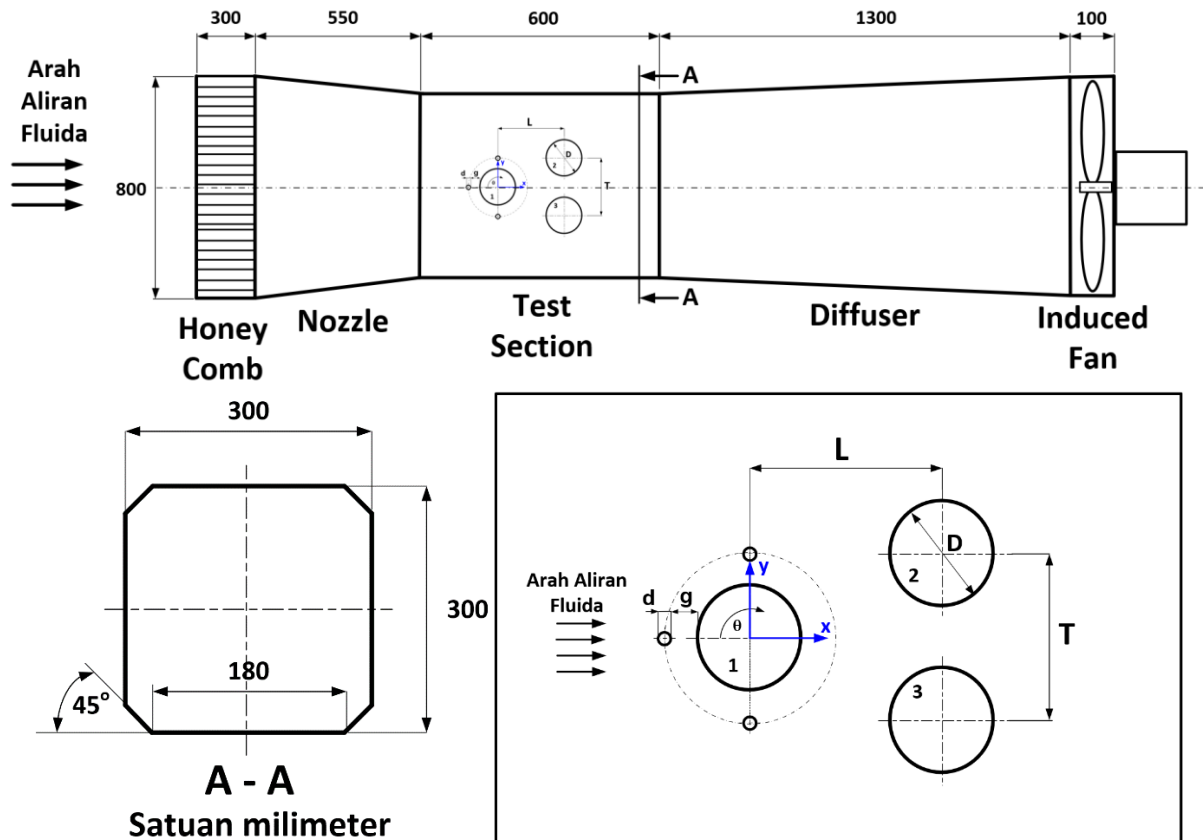
Gambar 2.28 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder atas dan bawah susunan *side by side* tanpa bodi pengganggu (Alam et al., 2003)

BAB 3 METODOLOGI

Pada bab ini membahas metode penelitian yang akan digunakan, yaitu dengan menggunakan penelitian secara eksperimen. Dimana bertujuan untuk menganalisis karakteristik aliran pada *wind tunnel*. Dengan rasio diameter ($d/D = 0,16$), diameter silinder utama ($D = 25 \text{ mm}$), diameter bodi pengganggu ($d = 4 \text{ mm}$), rasio jarak transversal ($T/D = 2$) yang divariasikan pada rasio jarak longitudinal ($L/D = 1,5; 2; 3; 4$). Bodi pengganggu ditempatkan pada bagian depan, atas, dan bawah silinder sirkular utama dengan sudut ($\alpha = 0^\circ, 90^\circ, \text{ dan } 270^\circ$) yang diuji pada bilangan Reynolds ($Re = 2,2 \times 10^4$).

3.1 Skema Penelitian

Skema dari penelitian yang akan dilakukan menggunakan *sub-sonic wind tunnel* dengan gambar pandangan tampak dari samping. Dari gambar 3.1 menunjukkan instalasi benda uji berupa tiga silinder sirkular yang disusun secara *stagger* dengan bodi pengganggu diletakkan pada bagian depan silinder utama.



Gambar 3.1 Skema Penelitian

3.2 Parameter yang Diukur

Adapun parameter – parameter yang mempengaruhi karakteristik dari aliran fluida yang diuji adalah massa jenis fluida (ρ), viskositas fluida (μ), kecepatan fluida (U), diameter silinder (D), jarak *gap* antara silinder dengan bodi pengganggu (δ), dan diameter bodi pengganggu (d).

3.3 Analisa Grup tak Berdimensi untuk Koefisien Tekanan pada Silinder

Distribusi tekanan pada silinder dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga perbedaan tekanan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter – parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta P = f(\rho, \mu, U, D, d, L, T, \delta, h, s) \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan Buckingham π -theorem dengan parameter berulang, ρ , V , dan D , diperoleh 8 grup tak berdimensi yaitu:

1. $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U^2}$ (koefisien tekanan)
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U D}$ (bilangan Reynolds)
3. $\pi_3 = \frac{d}{D}$ (perbandingan diameter pengganggu dengan diameter silinder sirkular)
4. $\pi_4 = \frac{L}{D}$ (perbandingan jarak antara silinder *upstream* dengan silinder *downstream*)
5. $\pi_5 = \frac{T}{D}$ (perbandingan tinggi antara silinder *downstream* atas dengan silinder *downstream* bawah)
6. $\pi_6 = \frac{s}{D}$ (perbandingan jarak bodi pengganggu dengan pusat silinder sirkular)
7. $\pi_7 = \frac{h}{D}$ (perbandingan tinggi bodi pengganggu dengan pusat silinder sirkular)
8. $\pi_8 = \frac{\pi_6}{\pi_7} = \left(\frac{\frac{s}{D}}{\frac{h}{D}}\right) = \left(\frac{s}{h}\right) = \theta$ (perbandingan jarak bodi pengganggu dengan tinggi bodi pengganggu)

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut:

$$\pi_1 = f_1(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8) \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho U^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{d}{D}, \frac{L}{D}, \frac{T}{D}, \frac{s}{D}, \frac{h}{D}, \left(\frac{s}{h}\right)\right) \quad (3.3)$$

Pada penelitian ini, sudut posisi dari bodi pengganggu $\frac{d}{D}$ & $\frac{T}{D}$ ditentukan konstan, sedangkan jarak antar silinder *downstream* dengan silinder *upstream* divariasikan, untuk melihat perbandingan reduksi gaya hambat yang terjadi diantara variasi tersebut, sehingga:

$$\frac{\Delta P}{\rho U} = f_2\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \left(\frac{L}{D}\right), (\theta)\right) \quad (3.4)$$

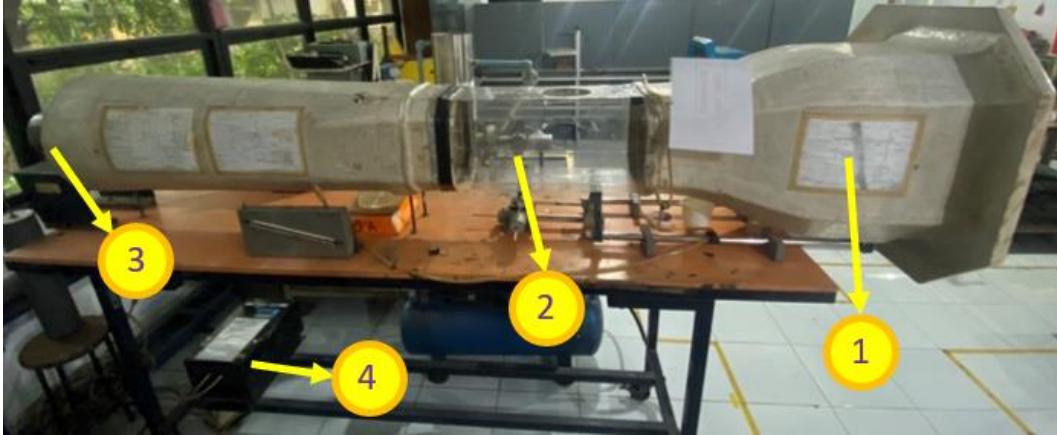
Dan untuk koefisien tekanan (C_P) pada silinder sirkular utama adalah sebagai berikut:

$$C_P = f_2\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \left(\frac{L}{D}\right), (\theta)\right) \quad (3.5)$$

3.4 Peralatan

3.4.1 Peralatan Pendukung

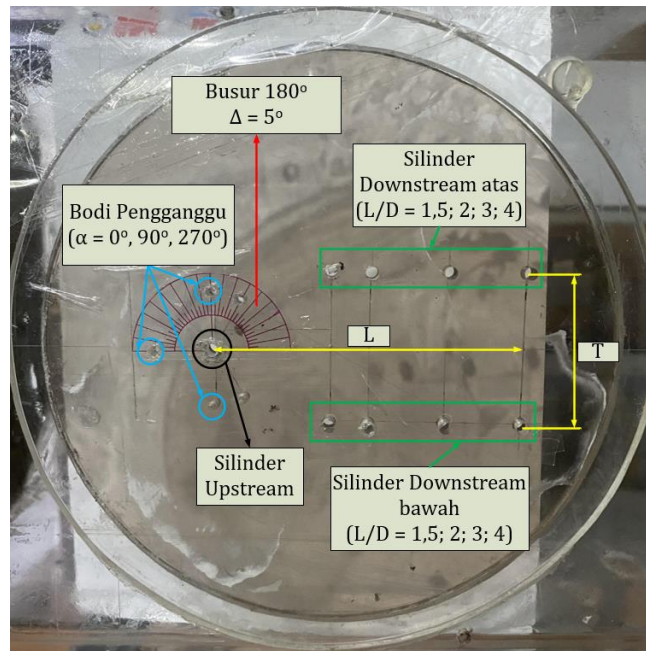
Dalam melakukan studi eksperimen ini menggunakan beberapa peralatan pendukung, yaitu *honey comb*, *nozzle*, *duct*, *induced fan*, dan *Inverter*.



Gambar 3.2 *Sub-sonic wind tunnel*

Keterangan:

1. *Honey comb, Nozzle*
2. *Duct*
3. *Induced Fan*
4. *Inverter*



Gambar 3.3 Bagian *test section*

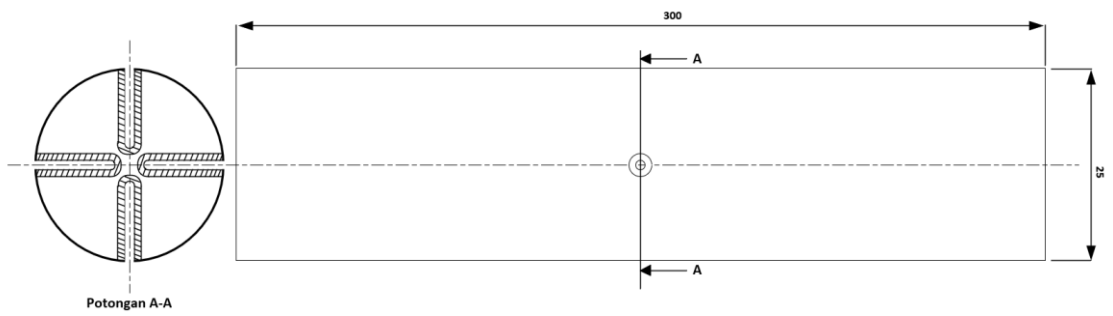
3.4.2 Peralatan Utama

a. Silinder sirkular

- Diameter = 25 mm
- Panjang = 300 mm
- Pressure tap* = 4 lubang
- Bahan = Pipa PVC



Gambar 3.4 Silinder sirkular

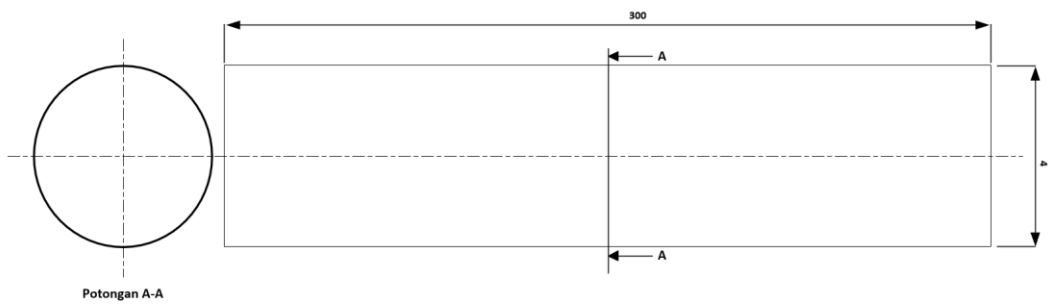


Gambar 3.5 Skema silinder sirkular

- b. Bodi pengganggu
 - Diameter = 4 mm
 - Panjang = 300 mm
 - Tipe = Polos (*matrice M4*)



Gambar 3.6 Bodi pengganggu



Gambar 3.7 Skema bodi pengganggu

c. *Inverter*

Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan putaran dari *fan*. Dengan spesifikasi *Inverter* yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi *Inverter*

Jenis Atribut	Nilai Atribut
<i>Current Rating</i>	4,8 A
<i>Series</i>	FVR-G5
<i>Type</i>	<i>Inverter Auto-Drive</i>
<i>Voltage</i>	220 – 240 V AC
<i>Power Rating</i>	1,5kW/2 HP
<i>Dimensions H x W x D</i>	390 x 235 x 235 mm
<i>Number of Phases</i>	1



Gambar 3.8 *Inverter*

d. *Pitot static tube*

Pitot static tube merupakan sebuah alat ukur yang digunakan untuk mengukur tekanan statis serta stagnasi aliran udara.

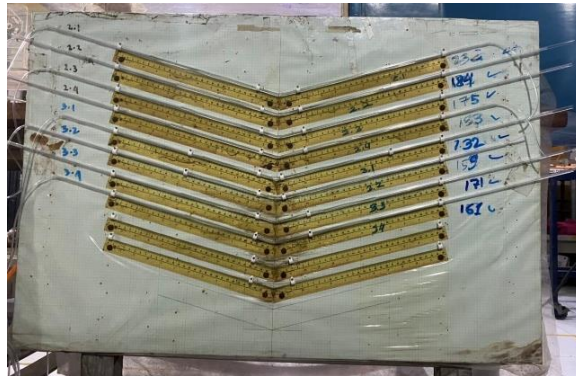


Gambar 3.9 *Pitot static tube*

e. *Inclined manometer* kemiringan 15°

Inclined Manometer digunakan untuk membaca besar tekanan (Δh) yang diukur dengan *pressure tap* dan *pitot static tube*. Dengan spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

Skala	= 1 mm
Fluida kerja	= <i>Gear oil</i>
Toleransi	= $\pm 0,5$ mm
<i>Specific gravity gear oil</i>	= 0,804



Gambar 3.10 *Inclined manometer* 15°

3.5 Prosedur Pengambilan Data

Untuk mendapatkan hasil yang baik dan tepat, dilakukannya prosedur dalam mengambil data dari awal hingga akhir. Prosedur tersebut dijabarkan sebagai berikut:

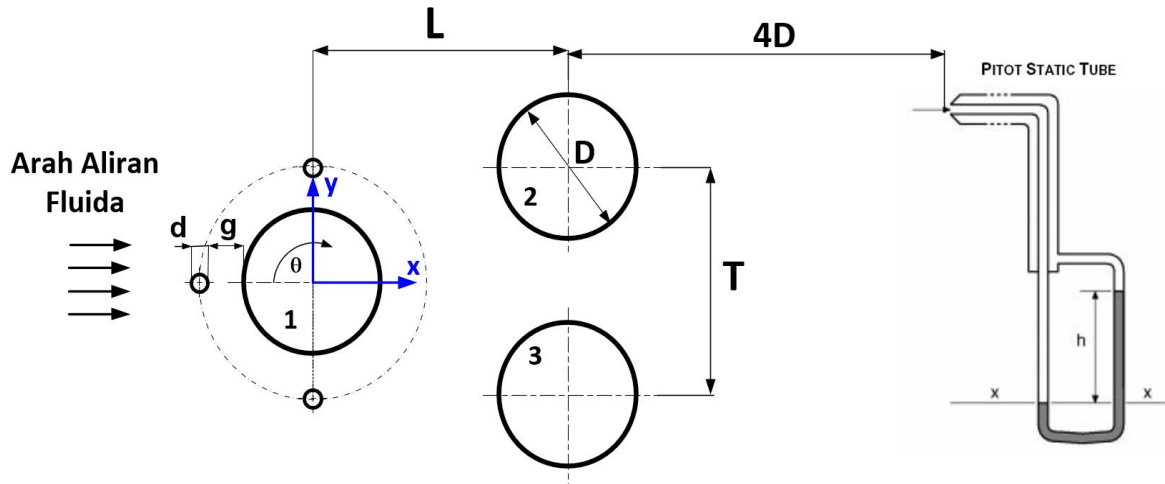
1. Perencanaan peralatan yang akan digunakan untuk eksperimen.
2. Pemasangan benda uji pada saluran, dengan tiga silinder sirkular disusun secara *stagger* $D = 25$ mm yang diletakkan pada jarak transversal $T/D = 2D$ dan jarak longitudinal $L/D = 1,5; 2; 3; 4$ dengan tiga bodi pengganggu $d = 4$ mm diletakkan didepan silinder sirkular utama pada sudut $\alpha = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$.
3. Mengukur kesejajaran silinder dan dinding dengan *water pass*.
4. Menghidupkan *wind tunnel* dan mengatur kecepatan secara perlahan hingga *steady*.
5. Pengukuran tekanan pada *pressure tap* yang terdapat di permukaan silinder dan pengukuran *velocity magnitude* di belakang susunan silinder dengan menggunakan *pitot static tube* yang dihubungkan dengan *inclined manometer*.

3.6 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

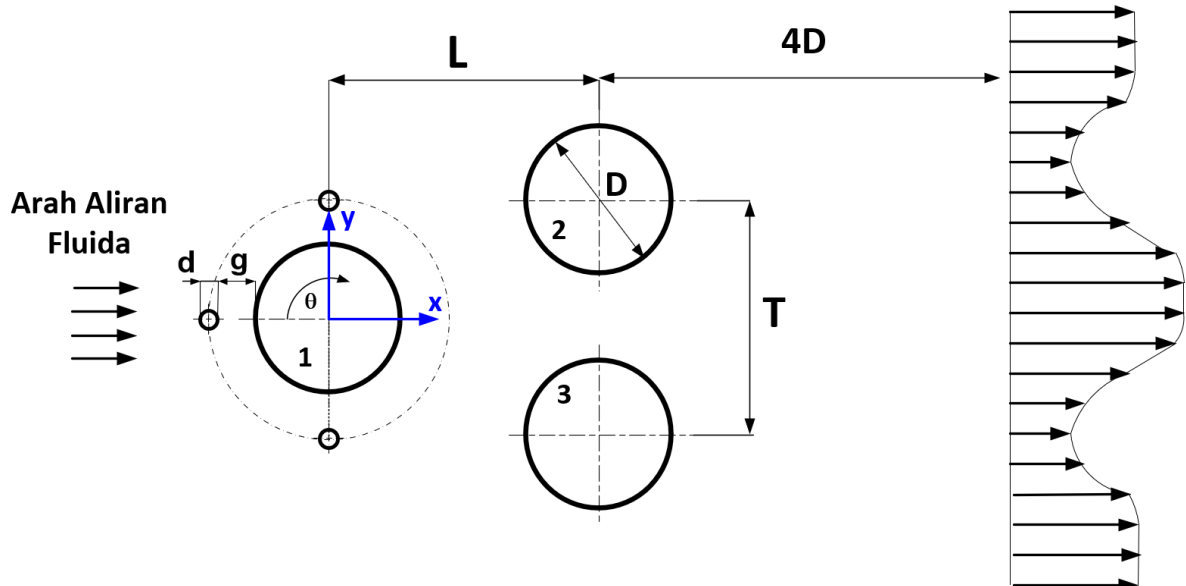
Pengujian secara eksperimen akan mendapatkan hasil pengukuran yang dibantu oleh alat ukur. Dari hasil pengukuran juga akan diolah menjadi hasil perhitungan. Pengolahan data hasil eksperimen dijabarkan sebagai berikut:

1. Data hasil pengukuran
 - a. Distribusi tekanan pada silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah). Data diambil menggunakan *pressure taps* pada masing-masing silinder yang dihubungkan ke *inclined manometer* 15° . Data yang diambil merupakan tekanan statis.
 - b. Profil kecepatan dari *velocity magnitude* pada belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* (y/h dan U/U_{\max}) pada jarak yang sama. Pada gambar 3.11 dan 3.12 merupakan instalasi untuk mengambil data tekanan statis dan stagnasi dan

gambaran profil kecepatan dari *velocity magnitude*. Data yang diambil merupakan tekanan statis dan stagnasi, yang akan diolah menjadi tekanan dinamis.



Gambar 3.11 Instalasi untuk mengambil data tekanan statis dan stagnasi



Gambar 3.12 Gambaran profil kecepatan dari *velocity magnitude*

2. Data hasil perhitungan

a. Koefisien distribusi tekanan (C_p)

Koefisien distribusi tekanan (C_p) pada tiap permukaan silinder sirkular diambil tekanan statisnya pada tiap 5° , dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (3.6)$$

Dimana:

C_p = Koefisien tekanan pada kontur

P_c = Tekanan statis kontur

P_∞ = Tekanan statis *freestream*

$\frac{1}{2} \rho U^2$ = Tekanan dinamis *freestream*

b. Koefisien *drag pressure* (C_{DP})

Koefisien *drag pressure* (C_{DP}) dihitung untuk masing – masing silinder sirkular, dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$C_{DP} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta \quad (3.7)$$

$$C_{DP} = \frac{1}{2} I \quad (3.8)$$

Dari persamaan 3.8 dapat diselesaikan dengan metode numerik aturan Simpson 1/3 segmen berganda yang dirumuskan dalam persamaan 3.9 sebagai berikut:

$$I = (b - a) \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n} \quad (3.9)$$

Dimana:

$$a = 0$$

$$b = 2\pi$$

$$f(x_0) = C_p(0) \cdot \cos(0)$$

$$f(x_n) = C_p(2\pi) \cdot \cos(2\pi)$$

$$n = \text{Jumlah data}$$

$$f(x_i) = \text{Perkalian dari fungsi data gasal dimana } i = 1,3,5 \dots n-1$$

$$f(x_j) = \text{Perkalian dari fungsi data genap dimana } j = 2,4,6 \dots n-2$$

c. Koefisien *lift pressure* (C_{LP})

Koefisien *lift pressure* (C_{LP}) dihitung untuk masing – masing silinder sirkular, dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$C_{LP} = -\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \sin(\theta) d\theta \quad (3.10)$$

$$C_{LP} = -\frac{1}{2} I \quad (3.11)$$

Dari persamaan 3.11 dapat diselesaikan dengan metode numerik aturan Simpson 1/3 segmen berganda yang dirumuskan dalam persamaan 3.12 sebagai berikut:

$$I = (b - a) \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n} \quad (3.12)$$

Dimana:

$$a = 0$$

$$b = 2\pi$$

$$f(x_0) = C_p(0) \cdot \sin(0)$$

$$f(x_n) = C_p(2\pi) \cdot \sin(2\pi)$$

$$n = \text{Jumlah data}$$

$$f(x_i) = \text{Perkalian dari fungsi data gasal dimana } i = 1,3,5 \dots n-1$$

$$f(x_j) = \text{Perkalian dari fungsi data genap dimana } j = 2,4,6 \dots n-2$$

d. Koefisien *drag* total (C_{DT})

Koefisien *drag* total (C_{DT}) dihitung untuk keseluruhan silinder sirkular pada tiap variasi, dan diperoleh dari integrasi selisih momentum aliran yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$C_{DT} = \frac{4}{D_{Silinder}} \int_0^h \left(1 - \left[\frac{u(y)}{U} \right]^2 \right) dy \quad (3.13)$$

$$C_{DT} = \frac{4}{D_{Silinder}} I \quad (3.13)$$

Dimana:

$D_{Silinder}$ = Luasan dari *bluff body*

$u(y)$ = Kecepatan aliran pada sisi *downstream* terhadap sumbu y tertentu

U = Kecepatan aliran *freestream*

Dari persamaan 3.13 dapat diselesaikan dengan metode numerik aturan Simpson 1/3 segmen berganda yang dirumuskan dalam persamaan 3.14 sebagai berikut:

$$I = (b - a) \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n} \quad (3.14)$$

a = h_{\min}

b = h_{\max}

$f(x_0) = u(y_0)$

$f(x_n) = u(y_n)$

n = Jumlah data

$f(x_i)$ = Perkalian dari fungsi data gasal dimana $i = 1,3,5 \dots n-1$

$f(x_j)$ = Perkalian dari fungsi data genap dimana $j = 2,4,6 \dots n-2$

3.7 Tahapan Eksperimen

Pada tabel 3.2 menjabarkan tahapan eksperimen dari awal hingga akhir. Dimana tahapannya dimulai dari kalibrasi saluran uji hingga pengolahan data. Dalam tahapan eksperimen juga diberikan proses yang berisi instalasi alat ukur, unit untuk banyaknya variasi yang akan dilakukan pengambilan data, dan keterangan untuk alat yang membantu dalam pembacaan data dari alat ukur.

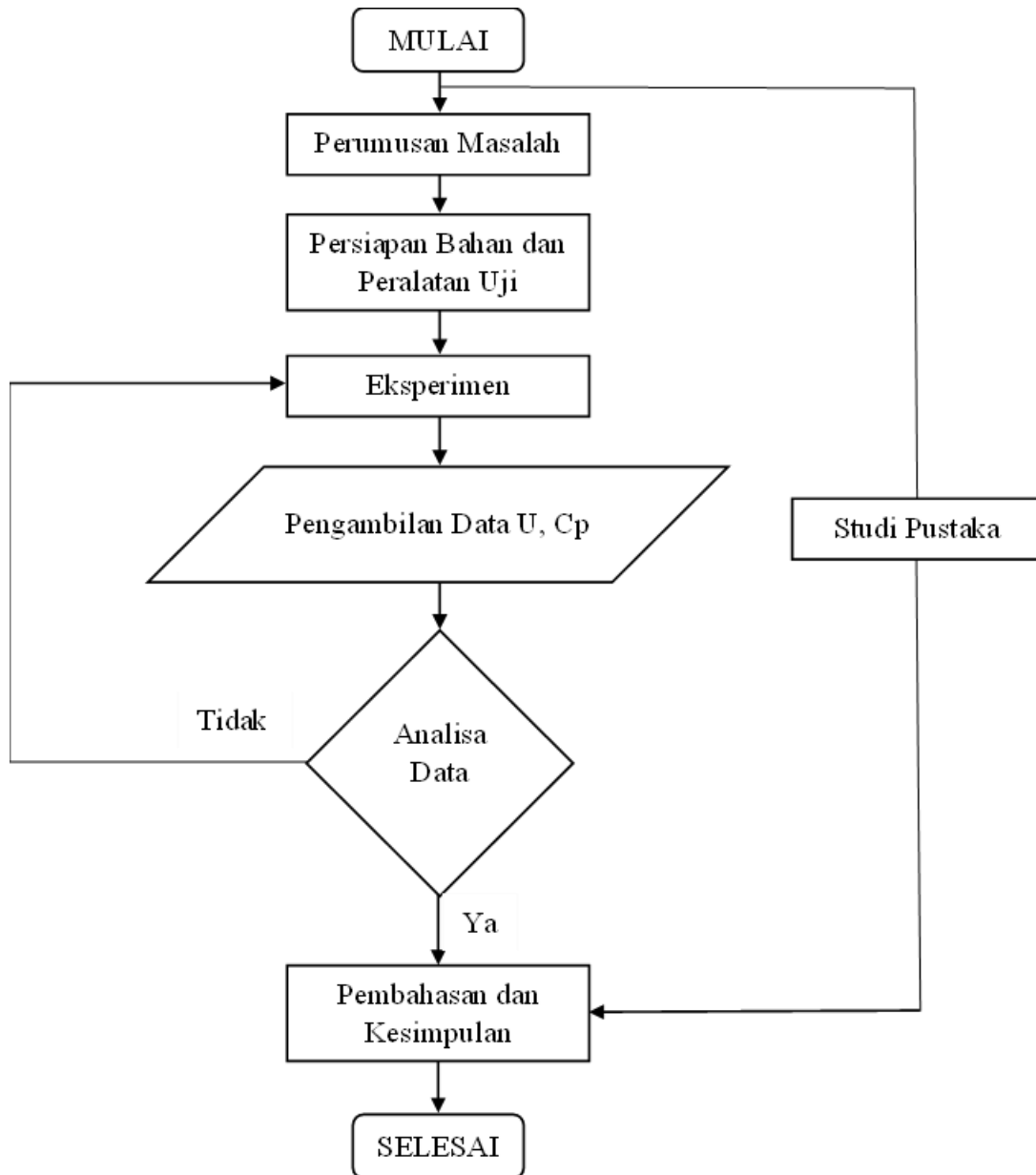
Tabel 3.2 Tahapan eksperimen

No.	Tahapan Pengujian	Proses	Unit	Ket
1	Kalibrasi Saluran Uji (dalam kondisi kosong) pada Kecepatan Putaran = 18-48 Hz, Δ Hz = 6	Pemasangan <i>Pitot Static Tube</i> pada <i>center test section</i> , dilanjutkan pengambilan data statis dan stagnasi	1	menggunakan <i>Inclined Manometer</i> (untuk menentukan Re)
2	Pengambilan Data CP pada silinder tunggal dalam bentuk Δ H	Menggunakan <i>Wall Pressure Tab</i>	1	<i>Inclined Manometer</i>

3	Pengambilan Data <i>Velocity Magnitude</i> dibelakang silinder tunggal pada jarak 4D	Menggunakan <i>Pitot Static Tube</i> (posisi paling atas sampai bawah) dengan $\Delta H = 5 \text{ mm}$	1	<i>Inclined Manometer</i>
4	Pengambilan Data CP pada 3 silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> tanpa BP (dalam bentuk ΔH)	Menggunakan <i>Wall Pressure Tab</i>	4 x Jarak L/D= (1.5; 2.0; 3.0; 4.0)	<i>Inclined Manometer</i>
5	Pengambilan Data <i>Velocity Magnitude</i> dibelakang 3 Silinder Sirkular tersusun <i>stagger</i> tanpa BP pada jarak 4D	Menggunakan <i>Pitot Static Tube</i> (posisi paling atas sampai bawah) dengan $\Delta H = 5 \text{ mm}$	4 x Jarak L/D= (1.5; 2.0; 3.0; 4.0)	<i>Inclined Manometer</i>
6	Pengambilan Data CP pada 3 silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> dengan BP pada sudut $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ dan 270° (dalam bentuk ΔH)	Menggunakan <i>Wall Pressure Tab</i>	4 x Jarak L/D= (1.5; 2.0; 3.0; 4.0)	<i>Inclined Manometer</i>
7	Pengambilan Data <i>Velocity Magnitude</i> dibelakang 3 silinder Sirkular Tersusun <i>Stagger</i> dengan BP pada sudut $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ dan 270° (pada jarak 4D)	Menggunakan <i>Pitot Static Tube</i> pada Posisi <i>Center-line</i>	4 x Jarak L/D= (1.5; 2.0; 3.0; 4.0)	<i>Inclined Manometer</i>
8	Pengolahan Data Menggunakan Excel dan Pembuatan Grafik CP			

3.8 Urutan Langkah Penelitian

Pada gambar 3.13 menunjukkan urutan langkah penelitian dalam diagram alir dari mulai hingga selesai.



Gambar 3.13 Urutan langkah penelitian

BAB 4

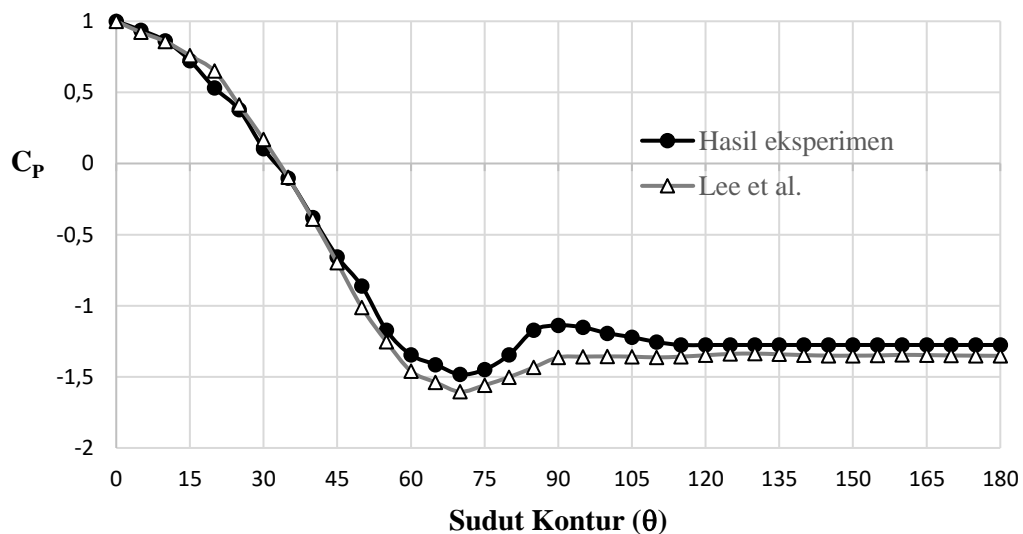
Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisi hasil analisa dan diskusi dari data hasil eksperimen untuk variasi yang telah disebutkan pada bab sebelumnya. Hasil yang akan ditunjukkan pada bab ini diperoleh dari pengujian eksperimen berupa pengukuran tekanan statis pada kontur permukaan 3 silinder sirkular tersusun *stagger* dengan konfigurasi silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah). Dari hasil tersebut diolah hingga diperoleh distribusi koefisien tekanan (C_P) pada tiap – tiap silinder, distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}), distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}), dan profil kecepatan dibelakang susunan tiga silinder sirkular dengan distribusi koefisien *drag* total (C_{DT}).

Struktur penulisan pada bab ini dimulai dari pembahasan validasi studi eksperimen silinder sirkular tunggal, dilanjutkan dengan pembahasan distribusi koefisien tekanan (C_P) pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu dan bodi pengganggu kontur 0° , 90° , dan 270° . Selanjutnya ditampilkan koefisien *drag pressure* (C_{DP}) dan koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada tiap – tiap silinder, serta profil kecepatan dan koefisien *drag* total (C_{DT}). Sebagian hasil yang ditampilkan untuk perbandingan variasi rasio jarak transversal (T/D) = 1,5 dan 4, sedangkan sebagiannya terdapat pada bagian lampiran.

4.1 Analisa Validasi Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Silinder Sirkular Tunggal

Pada bagian ini akan menganalisa validasi studi eksperimen yang dilakukan. Perbandingan yang digunakan dengan cara membandingkan nilai distribusi koefisien tekanan pada silinder tunggal studi eksperimen pada bilangan Reynolds sebesar $2,2 \times 10^4$ berdiameter 25 mm, dan dibandingkan dengan nilai distribusi koefisien tekanan pada silinder tunggal studi eksperimen pada bilangan Reynolds sebesar 2×10^4 yang dilakukan oleh (Lee et al., 2004). Nilai distribusi koefisien tekanan studi eksperimen yang dilakukan, didapatkan dari pembacaan tekanan statis pada 4 *pressure tap* silinder sirkular yang diletakkan pada sudut kontur 0° , 90° , 180° , 270° , dan data diambil setiap perubahan sudut θ sebesar 5° menggunakan manometer dengan kemiringan 15° . Data tersebut diolah menggunakan persamaan 3.6, sehingga didapatkan grafik seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) pada silinder sirkular tunggal sebagai validasi eksperimen

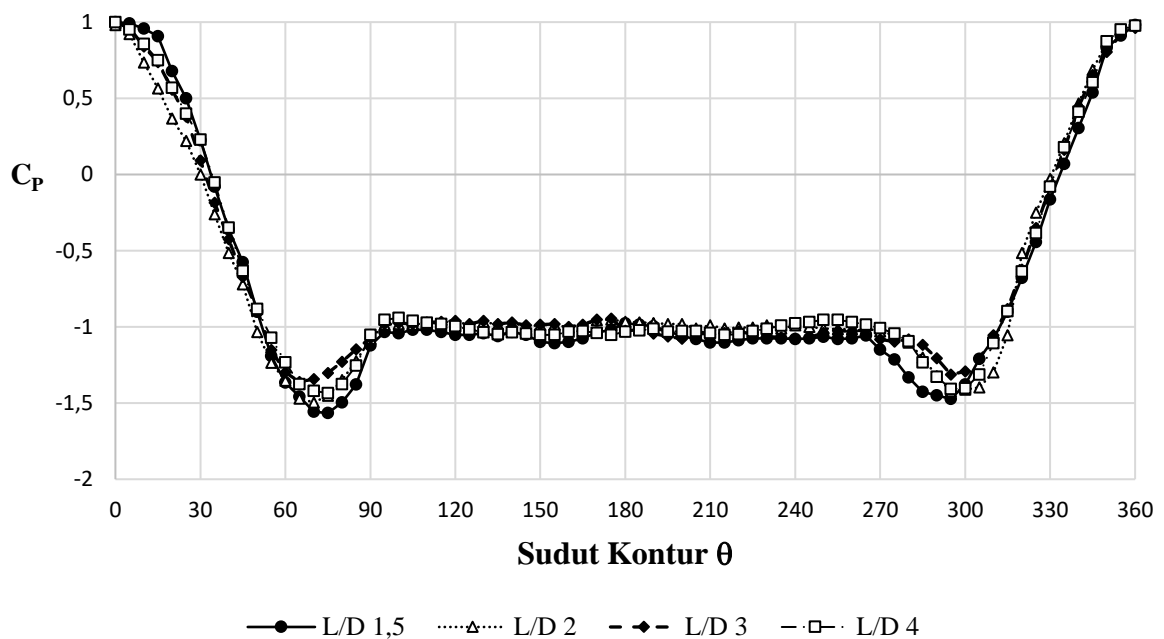
Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua data. Pada hasil eksperimen dan (Lee et al., 2004) sama – sama memiliki titik stagnasi pada 0° . Hasil eksperimen aliran fluida mengalami peningkatan kecepatan yang signifikan pada 10° hingga didapati kecepatan maksimum pada 70° , sedangkan pada (Lee et al., 2004) didapati peningkatan kecepatan aliran fluida yang signifikan pada 20° hingga didapati kecepatan maksimum pada 70° . Kemudian aliran sama – sama mengalami perlambatan aliran fluida akibat terdapat *adverse pressure* dengan meningkatnya nilai distribusi koefisien tekanan sampai aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi dengan nilai distribusi koefisien tekanan mulai *steady* pada 90° untuk eksperimen yang dilakukan dan (Lee et al., 2004). Nilai distribusi koefisien tekanan dipengaruhi oleh bilangan Reynolds dan kecepatan *free-stream* aliran yang melalui silinder sirkular tunggal.

4.2 Analisa Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger*

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai analisa distribusi koefisien tekanan (C_P) pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4. Penjelasan akan dibagi menjadi 2 yaitu tanpa bodi pengganggu dan dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° .

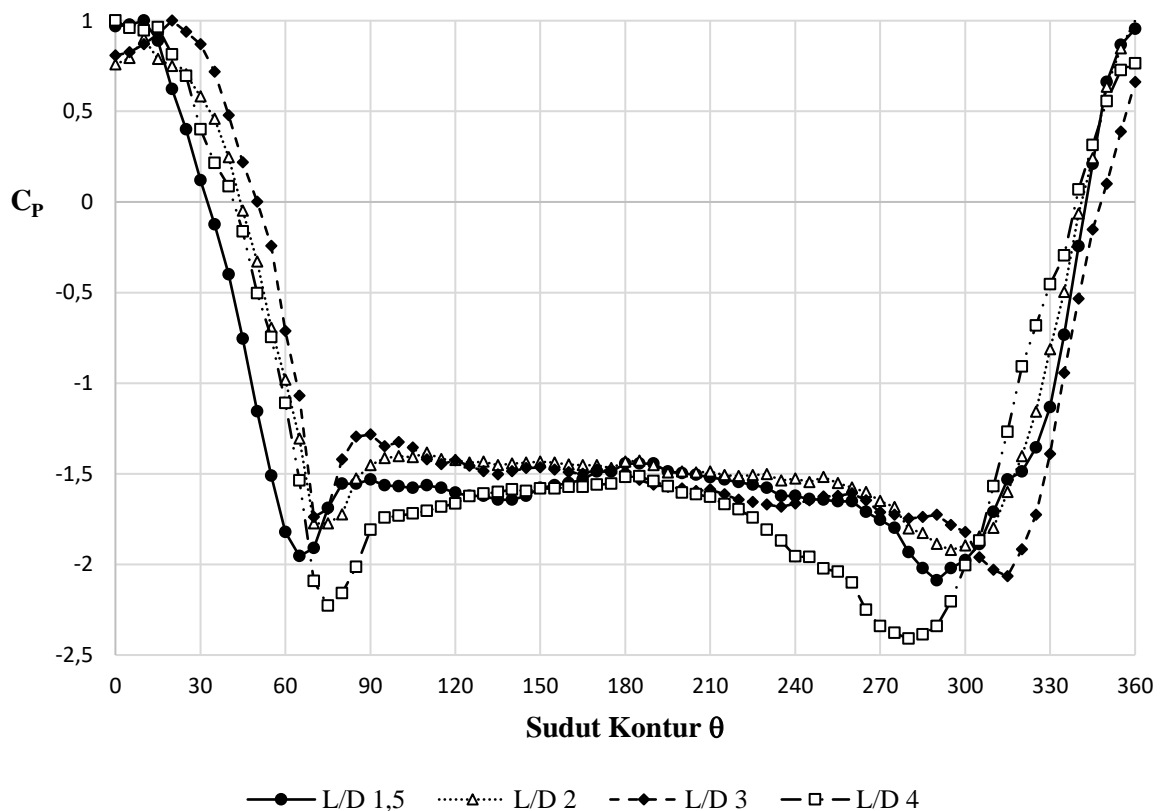
4.2.1 Analisa Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* tanpa Bodi Pengganggu

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai analisa distribusi koefisien tekanan (C_P) pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4. Seluruh hasil ditampilkan untuk susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu dalam bentuk grafik yang terbagi menjadi 3, yaitu silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah). Hasil yang telah diolah menjadi grafik ditampilkan pada gambar 4.2, 4.3, dan 4.4.



Gambar 4.2 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 1 (*upstream*) tanpa bodi pengganggu

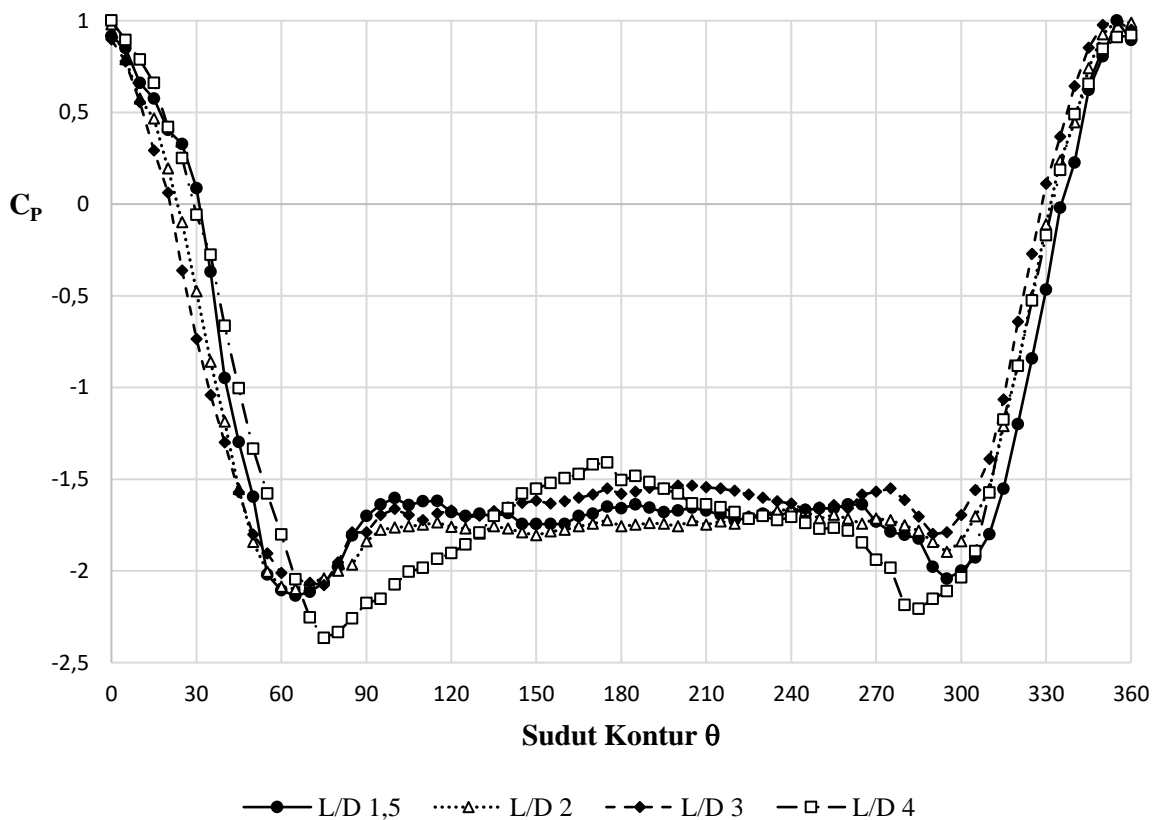
Gambar 4.2 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 1 tanpa bodi pengganggu. Titik stagnasi pada pada silinder 1 berada pada 0° dimana memiliki nilai distribusi koefisien tekanan sebesar 1. Kemudian aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_p). Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 percepatan terjadi hingga sudut 70° (*upper side*) dan 300° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 percepatan terjadi hingga sudut 65° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 300° (*lower side*). Percepatan yang terjadi karena aliran melalui daerah *favorable* yang kemudian nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) mengalami kenaikan kembali dikarenakan aliran melalui daerah *adverse pressure*. Pada salah satu titik, aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi yang ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan yang mulai stabil. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dimulai pada sudut 95° (*upper side*) dan 265° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dimulai pada sudut 95° (*upper side*) dan 270° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dimulai pada sudut 95° (*upper side*) dan 275° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dimulai pada sudut 95° (*upper side*) dan 270° (*lower side*).



Gambar 4.3 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (*downstream* atas) tanpa bodi pengganggu

Pada gambar 4.3 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 2 tanpa bodi pengganggu. Silinder 2 memiliki tidak memiliki titik stagnasi melainkan terdapatnya semacam *angle of attach* pada sekitar *upper side* dikarenakan adanya pengaruh *shear layer* dan *wake* yang terlepas dari silinder 1 dan mengenai silinder 2. Aliran mengalami perlambatan dari *free-stream* yang mengenai silinder 2 hingga tekanan maksimum. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 terjadi pada sudut 10° (*upper side*),

untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 terjadi pada sudut 360° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 terjadi pada 20° (*upper side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 terjadi pada sudut 0° (*upper side*). Silinder 2 mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_p), dikarenakan aliran melalui celah antara silinder 2 dan 3 sehingga menyebabkan *blockage effect*. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 percepatan terjadi hingga sudut 65° (*upper side*) dan 290° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 percepatan terjadi hingga sudut 70° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 percepatan terjadi hingga sudut 70° (*upper side*) dan 315° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 280° (*lower side*). Kemudian aliran pada silinder 2 mengalami perlambatan karena adanya *adverse pressure* hingga pada salah satu titik, aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi yang ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan yang mulai stabil. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dimulai pada sudut 80° (*upper side*) dan 275° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dimulai pada sudut 85° (*upper side*) dan 275° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dimulai pada 85° (*upper side*) dan 280° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dimulai pada sudut 90° (*upper side*) dan 260° (*lower side*).



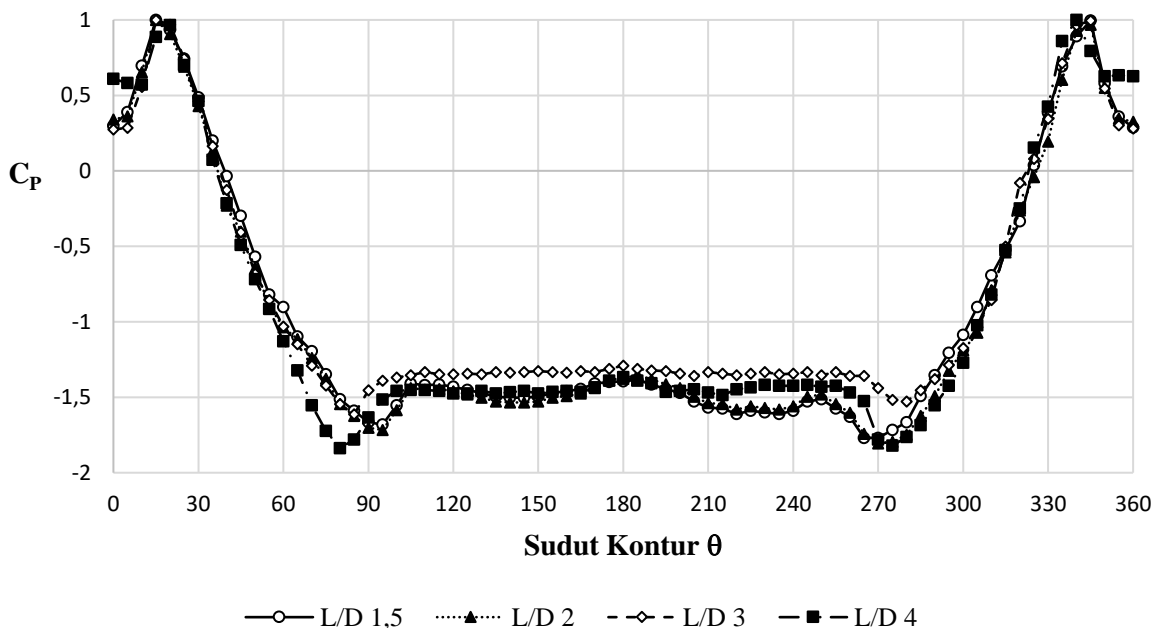
Gambar 4.4 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (*downstream* bawah) tanpa bodi pengganggu

Pada gambar 4.4 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 3 tanpa bodi pengganggu. Silinder 3 memiliki tidak memiliki titik stagnasi melainkan terdapatnya semacam *angle of attach* pada sekitar *lower side* dikarenakan adanya pengaruh *shear layer* dan *wake* yang terlepas dari silinder 1 dan mengenai silinder 3. Aliran mengalami perlambatan dari *free-stream* yang mengenai silinder 3 hingga tekanan

maksimum. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 terjadi pada sudut 355° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 terjadi pada sudut 355° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 terjadi pada 355° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 terjadi pada sudut 0° (*upper side*). Silinder 3 mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_p), dikarenakan aliran melalui celah antara silinder 2 dan 3 sehingga menyebabkan *blockage effect*. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 percepatan terjadi hingga sudut 65° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 percepatan terjadi hingga sudut 70° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 285° (*lower side*). Kemudian aliran pada silinder 3 mengalami perlambatan karena adanya *adverse pressure* hingga pada salah satu titik, aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi yang ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan yang mulai stabil. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dimulai pada sudut 90° (*upper side*) dan 265° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dimulai pada sudut 90° (*upper side*) dan 270° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dimulai pada sudut 85° (*upper side*) dan 275° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dimulai pada sudut 95° (*upper side*) dan 270° (*lower side*).

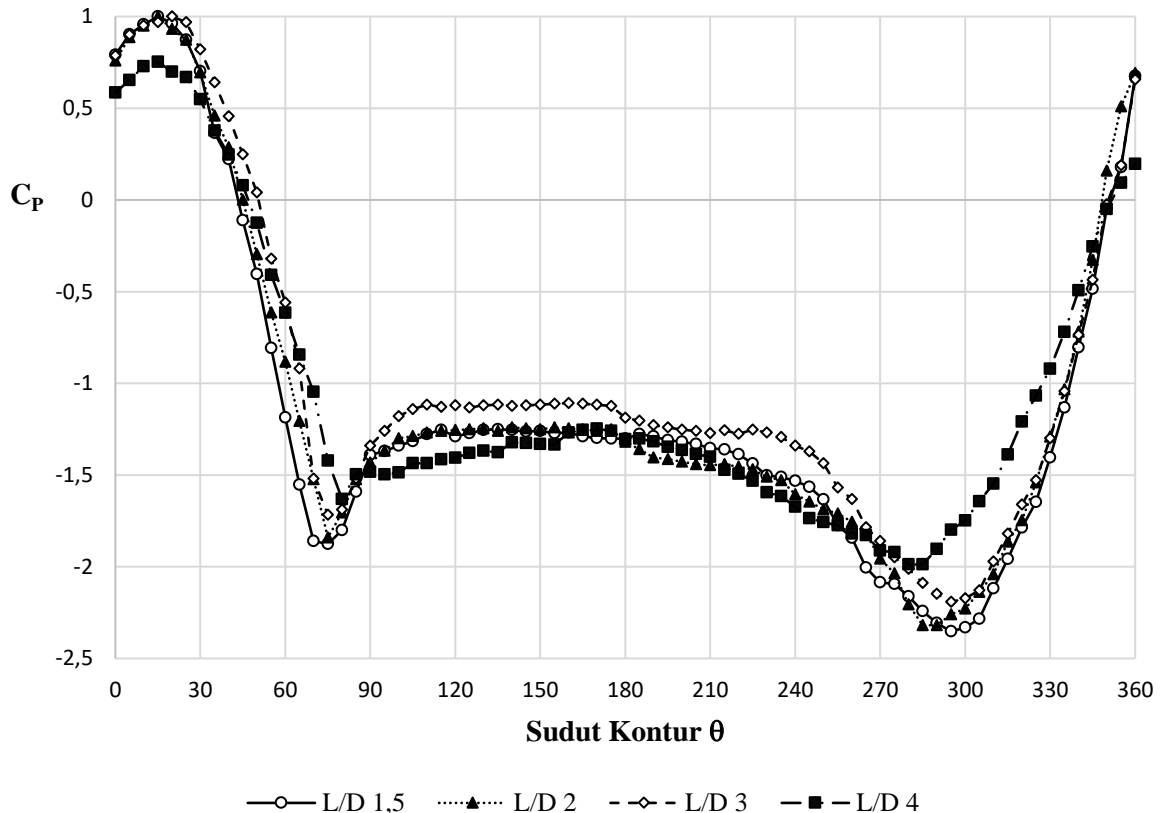
4.2.2 Analisa Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* dengan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270°

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai analisa distribusi koefisien tekanan pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4. Penempatan bodi pengganggu berada di sekitaran silinder 1 (*upstream*) pada sudut 0° , 90° , dan 270° . Seluruh hasil ditampilkan untuk susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu dalam bentuk grafik yang terbagi menjadi 3, yaitu silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah). Hasil yang telah diolah menjadi grafik ditampilkan pada gambar 4.5, 4.6, dan 4.7.



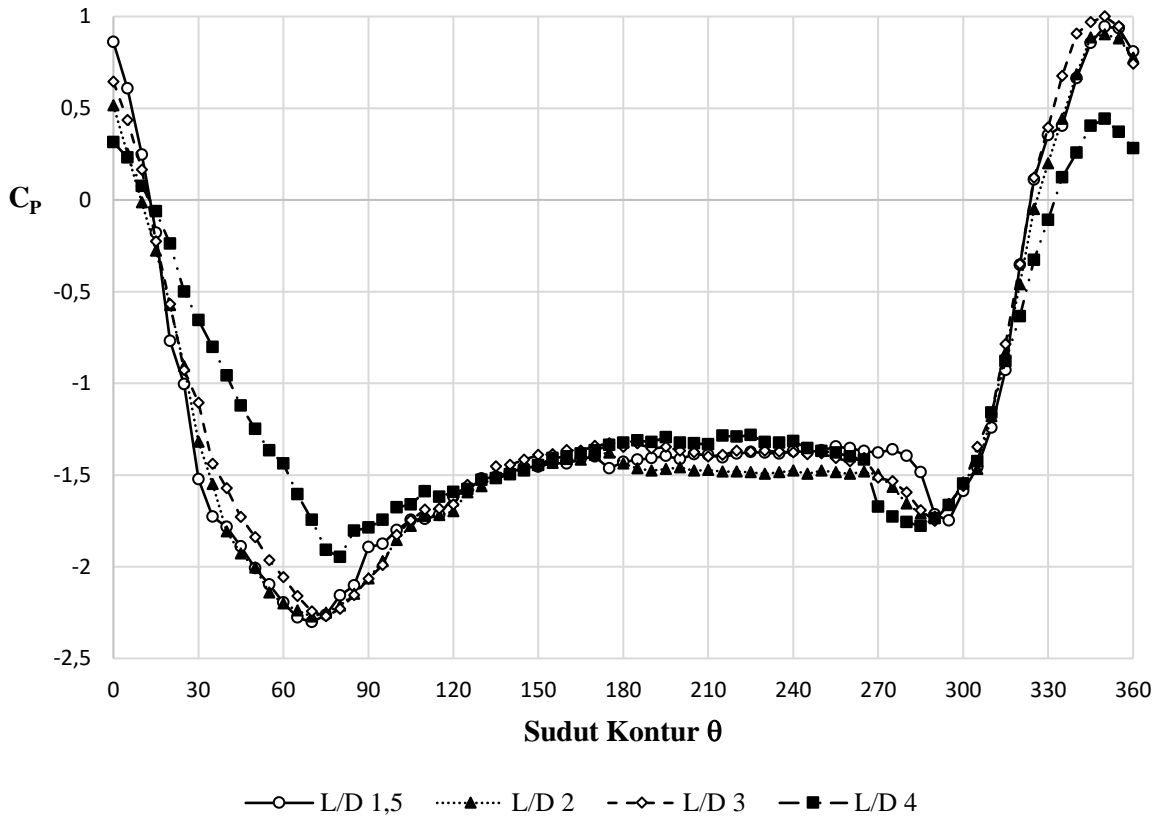
Gambar 4.5 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 1 (*upstream*) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°

Gambar 4.5 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) pada silinder 1 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Silinder 1 tidak terdapatnya titik stagnasi kembali dikarenakan terdapatnya bodi pengganggu pada 0° dimana terjadinya *re-attachment*. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dimulai pada sudut 15° (*upper side*) dan 345° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dimulai pada sudut 15° (*upper side*) dan 345° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dimulai pada 15° (*upper side*) dan 345° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dimulai pada sudut 20° (*upper side*) dan 340° (*lower side*). Kemudian aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_P). Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 percepatan terjadi hingga sudut 95° (*upper side*) dan 265° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 percepatan terjadi hingga sudut 95° (*upper side*) dan 270° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 percepatan terjadi hingga sudut 85° (*upper side*) dan 280° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 percepatan terjadi hingga sudut 80° (*upper side*) dan 275° (*lower side*). Percepatan yang terjadi karena aliran melalui daerah *favorable* yang kemudian nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) mengalami kenaikan kembali dikarenakan aliran melalui daerah *adverse pressure*. Pada salah satu titik, aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi yang ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan yang mulai stabil. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dimulai pada sudut 105° (*upper side*) dan 255° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dimulai pada sudut 105° (*upper side*) dan 255° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dimulai pada 95° (*upper side*) dan 265° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dimulai pada sudut 100° (*upper side*) dan 260° (*lower side*).



Gambar 4.6 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 2 (*downstream* atas) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°

Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) pada silinder 2 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Silinder 2 memiliki tidak memiliki titik stagnasi melainkan *re-attachment* pada sekitar *upper side* dikarenakan adanya pengaruh *shear layer* dan *wake* yang terlepas dari silinder 1 dan bodi pengganggu 90° hingga aliran mengenai silinder 2. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 terjadi pada sudut 15° (*upper side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 terjadi pada sudut 15° (*upper side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 terjadi pada 20° (*upper side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 terjadi pada sudut 15° (*upper side*). Silinder 2 mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_P), dikarenakan aliran melalui celah antara silinder 2 dan 3 sehingga menyebabkan *blockage effect*. Dan kecepatan maksimum berada pada *lower side* dari silinder 2. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 285° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 percepatan terjadi hingga sudut 80° (*upper side*) dan 280° (*lower side*). Kemudian aliran pada silinder 2 mengalami perlambatan karena adanya *adverse pressure* hingga pada salah satu titik, aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi yang ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan yang mulai stabil. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dimulai pada sudut 90° (*upper side*) dan 275° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dimulai pada sudut 95° (*upper side*) dan 265° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dimulai pada 90° (*upper side*) dan 260° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dimulai pada sudut 105° (*upper side*) dan 265° (*lower side*).



Gambar 4.7 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_P) untuk silinder 3 (*downstream* bawah) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°

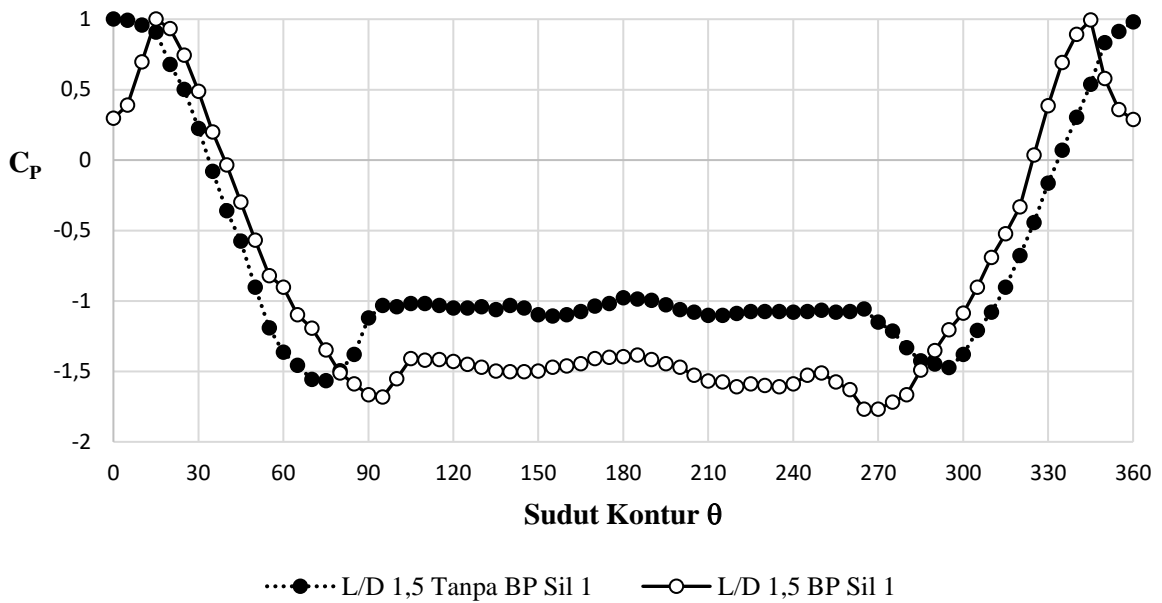
Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 3 dengan bodi pengganggu. Silinder 3 memiliki tidak memiliki titik stagnasi melainkan *re-attachment* pada sekitar *lower side* dikarenakan adanya pengaruh *shear layer* dan *wake* yang terlepas dari silinder 1 dan bodi pengganggu 270° hingga aliran mengenai silinder 3. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 terjadi pada sudut 350° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 terjadi pada sudut 350° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 terjadi pada 350° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 terjadi pada sudut 350° (*lower side*). Silinder 3 mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_p), dikarenakan aliran melalui celah antara silinder 2 dan 3 sehingga menyebabkan *blockage effect*. Dan kecepatan maksimum berada pada *upper side* dari silinder 3. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 percepatan terjadi hingga sudut 70° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 percepatan terjadi hingga sudut 70° (*upper side*) dan 290° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 percepatan terjadi hingga sudut 75° (*upper side*) dan 295° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 percepatan terjadi hingga sudut 80° (*upper side*) dan 285° (*lower side*). Kemudian aliran pada silinder 3 mengalami perlambatan karena adanya *adverse pressure* hingga pada salah satu titik, aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi yang ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan yang mulai stabil. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dimulai pada sudut 90° (*upper side*) dan 280° (*lower side*), untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dimulai pada sudut 100° (*upper side*) dan 270° (*lower side*), selanjutnya variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dimulai pada 100° (*upper side*) dan 275° (*lower side*), dan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dimulai pada sudut 105° (*upper side*) dan 265° (*lower side*).

4.3 Analisa Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° Terhadap Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger*

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai analisa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° terhadap distribusi nilai koefisien tekanan (C_p) pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 4. Sebagian hasil pada variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dan 3, terdapat pada bagian lampiran. Bagian ini juga terlihat pengaruh efek *bistable*, menurut (Zdravkovich, 1987) efek *bistable* terdapat pada jarak tertentu dan susunan tertentu, dan jika menurut (Alam et al., 2003) efek *bistable* ditandai dengan lebar *wake* pada distribusi koefisien tekanan yang berbeda antara *upper side* dan *lower side*. Hal tersebut menandakan *wake* di belakang silinder sirkular terdapat *narrow wake* dan *wide wake*. *Narrow wake* memiliki gaya *drag* yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan *wide wake*, sehingga terdapat perbedaan titik *angle of attach/re-attachment*. Disamping itu, pada bab ini akan dijelaskan mengenai hubungan antara nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) dan nilai koefisien *base pressure* (C_{BP}) terhadap nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}).

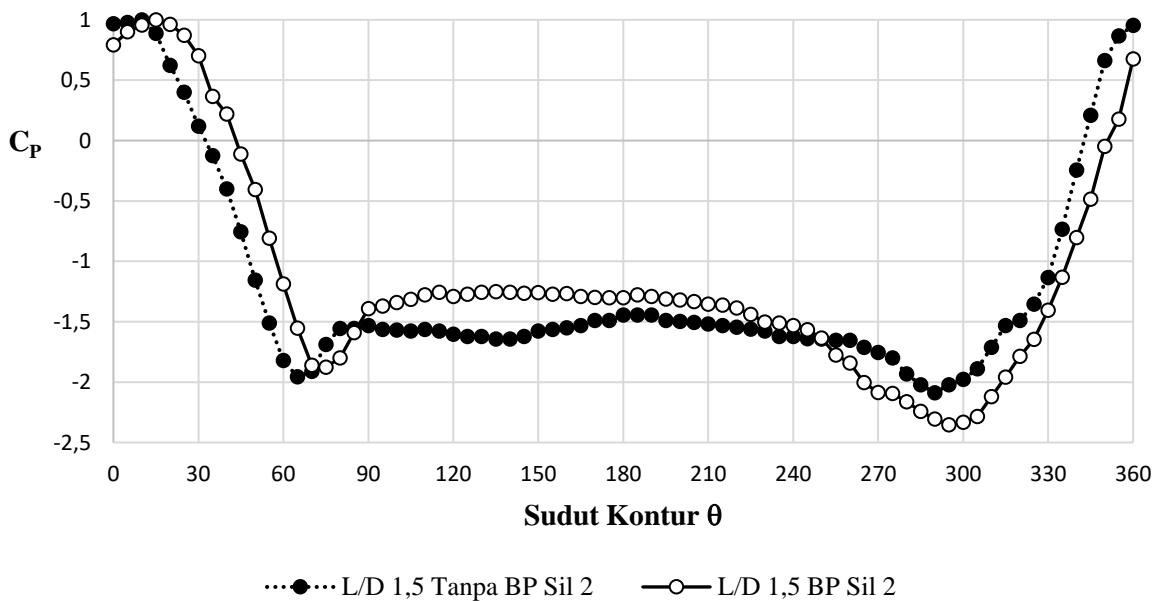
4.3.1 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada Variasi Jarak Longitudinal (L/D) 1,5

Pada bagian ini akan ditampilkan pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° terhadap nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5. Hasil yang akan dibandingkan akan dibagi menjadi 3, yaitu silinder 1, silinder 2, dan silinder 3. Berikut merupakan hasil perbandingan yang telah dibuat pada gambar 4.8, 4.9, dan 4.10.



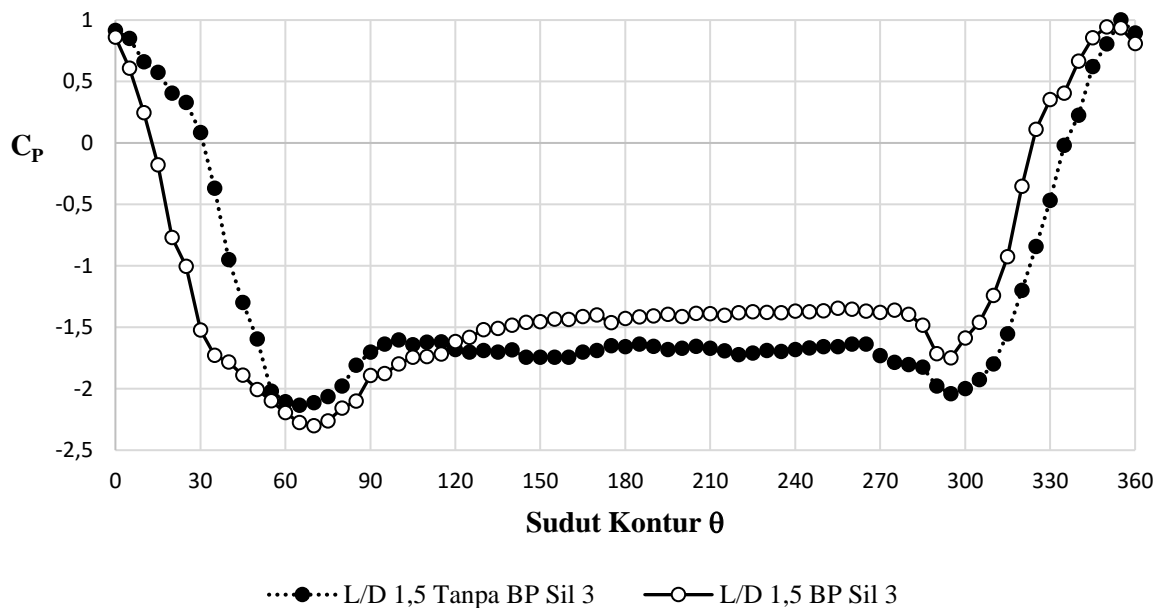
Gambar 4.8 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 1,5

Pada gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 1. Silinder 1 tanpa bodi pengganggu terdapat titik stagnasi pada 0° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 75° (*upper side*) dan 295° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 95° (*upper side*) dan 265° (*lower side*). Dibandingkan dengan silinder 1 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° tidak terdapat titik stagnasi dan aliran mengalami *re-attachment* pada sudut 15° (*upper side*) dan 345° (*lower side*) dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 95° (*upper side*) dan 265° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 105° (*upper side*) dan 255° (*lower side*). Dari perbandingan yang dilakukan didapatkan penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) yang lebih rendah dikarenakan penambahan bodi pengganggu.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 1,5

Dari gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 2. Silinder 2 tanpa bodi pengganggu terdapat *angle of attach* sekitar *upper side* pada 10° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 65° (*upper side*) dan 290° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 80° (*upper side*) dan 275° (*lower side*). Dibandingkan dengan silinder 2 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° aliran mengalami *re-attachment* karena pengaruh bodi pengganggu 90° pada sudut 15° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 75° (*upper side*) dan 295° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 90° (*upper side*) dan 275° (*lower side*). Dari perbandingan yang dilakukan didapatkan penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) yang lebih tinggi pada sekitar *upper side* dan lebih rendah pada sekitar *lower side* dikarenakan penambahan bodi pengganggu.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 1,5

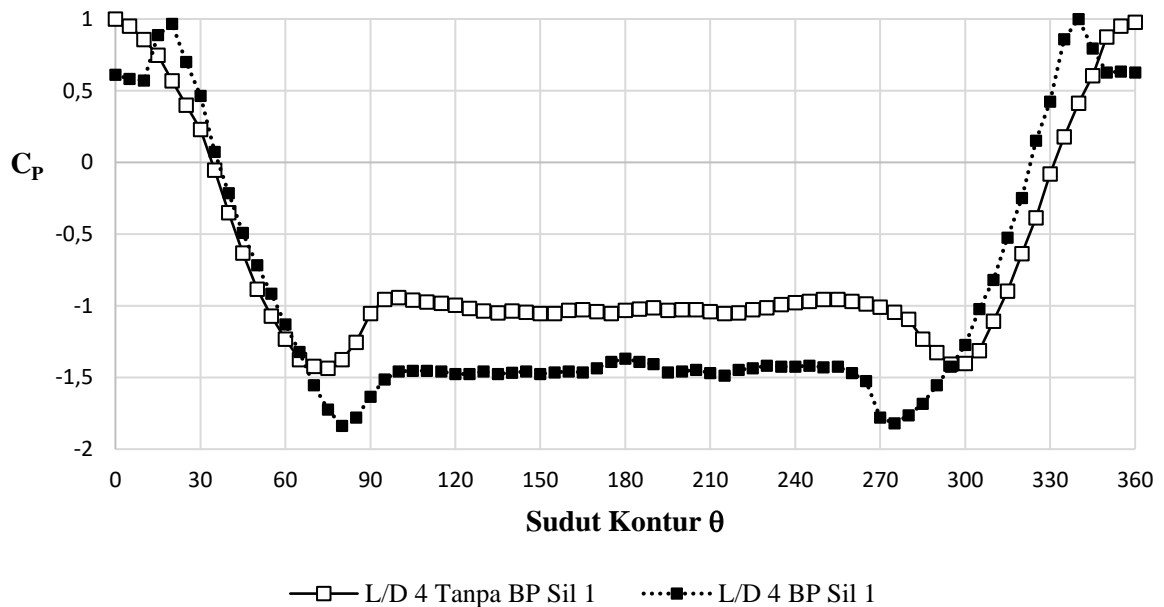
Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 3. Silinder 3 tanpa bodi pengganggu terdapat *angle of attach* sekitar *lower side* pada 355° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 65° (*upper side*) dan 295° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 90° (*upper side*) dan 265° (*lower side*). Dibandingkan dengan silinder 3 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° aliran mengalami *re-attachment* karena pengaruh bodi pengganggu 270° pada sudut 350° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 70° (*upper side*) dan 295° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 90° (*upper side*) dan 280° (*lower side*). Dari perbandingan yang dilakukan didapatkan penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) yang lebih tinggi pada sekitar *lower side* dan lebih rendah pada sekitar *upper side* dikarenakan penambahan bodi pengganggu.

Dari gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 menunjukkan nilai koefisien *base pressure* (C_{BP}) pada silinder 1 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° berada dibawah silinder 1 tanpa bodi pengganggu, dimana mengindikasikan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang meningkat akibat pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Sebaliknya, pada silinder 2 dan silinder 3 dengan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° menunjukkan nilai koefisien *base pressure* (C_{BP}) berada diatas silinder 2 dan silinder 3 tanpa bodi pengganggu, dimana mengindikasikan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP})

yang menurun akibat pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Dalam hal ini, penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder 1 di variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 memberikan reduksi nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 dan silinder 3, dimana bodi pengganggu pada silinder *upstream* mampu mempengaruhi aliran yang akan melintasi dari silinder *downstream*.

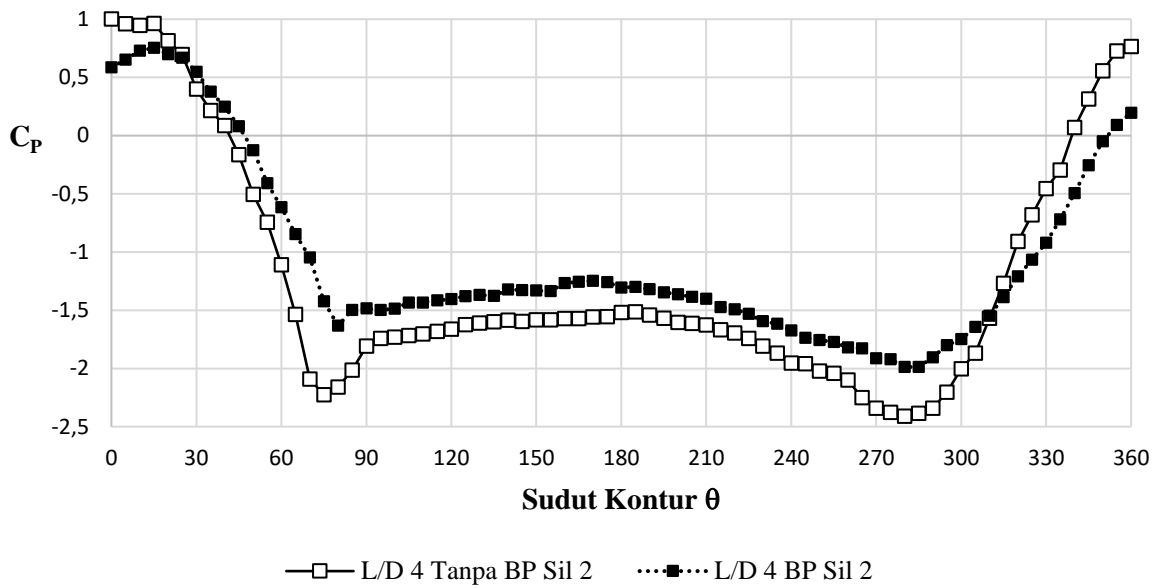
4.3.2 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada Variasi Jarak Longitudinal (L/D) 4

Pada bagian ini akan ditampilkan pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° terhadap nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 4. Hasil yang akan dibandingkan akan dibagi menjadi 3, yaitu silinder 1, silinder 2, dan silinder 3. Berikut merupakan hasil perbandingan yang telah dibuat pada gambar 4.11, 4.12, dan 4.13.



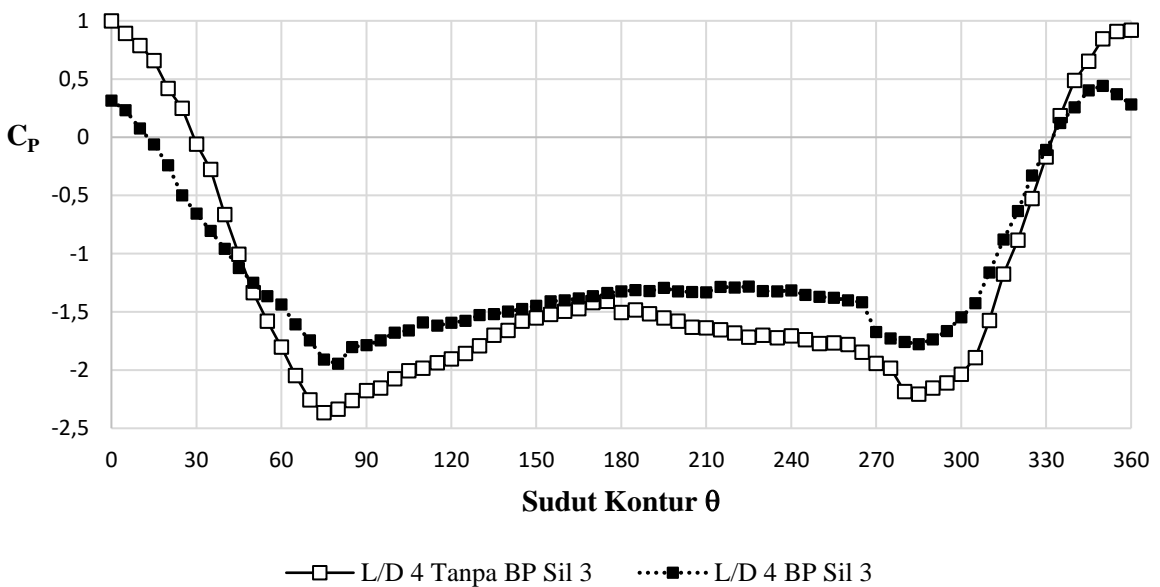
Gambar 4.11 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 4

Pada gambar 4.11 menunjukkan grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 1. Silinder 1 tanpa bodi pengganggu terdapat titik stagnasi pada 0° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 75° (*upper side*) dan 300° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 95° (*upper side*) dan 270° (*lower side*). Dibandingkan dengan silinder 1 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° tidak terdapat titik stagnasi dan aliran mengalami *re-attachment* pada sudut 20° (*upper side*) dan 340° (*lower side*) dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 80° (*upper side*) dan 275° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 100° (*upper side*) dan 260° (*lower side*). Dari perbandingan yang dilakukan didapatkan penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) yang lebih rendah dikarenakan penambahan bodi pengganggu.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 4

Dari gambar 4.12 menunjukkan grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 2. Silinder 2 tanpa bodi pengganggu terdapat *angle of attach* sekitar *upper side* pada 0° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 75° (*upper side*) dan 280° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 90° (*upper side*) dan 260° (*lower side*). Dibandingkan dengan silinder 2 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° aliran mengalami *re-attachment* karena pengaruh bodi pengganggu 90° pada sudut 15° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 80° (*upper side*) dan 280° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 105° (*upper side*) dan 265° (*lower side*). Dari perbandingan yang dilakukan didapatkan penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang lebih tinggi namun pada saat aliran mulai melewati silinder 2 lebih rendah dikarenakan penambahan bodi pengganggu.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 4

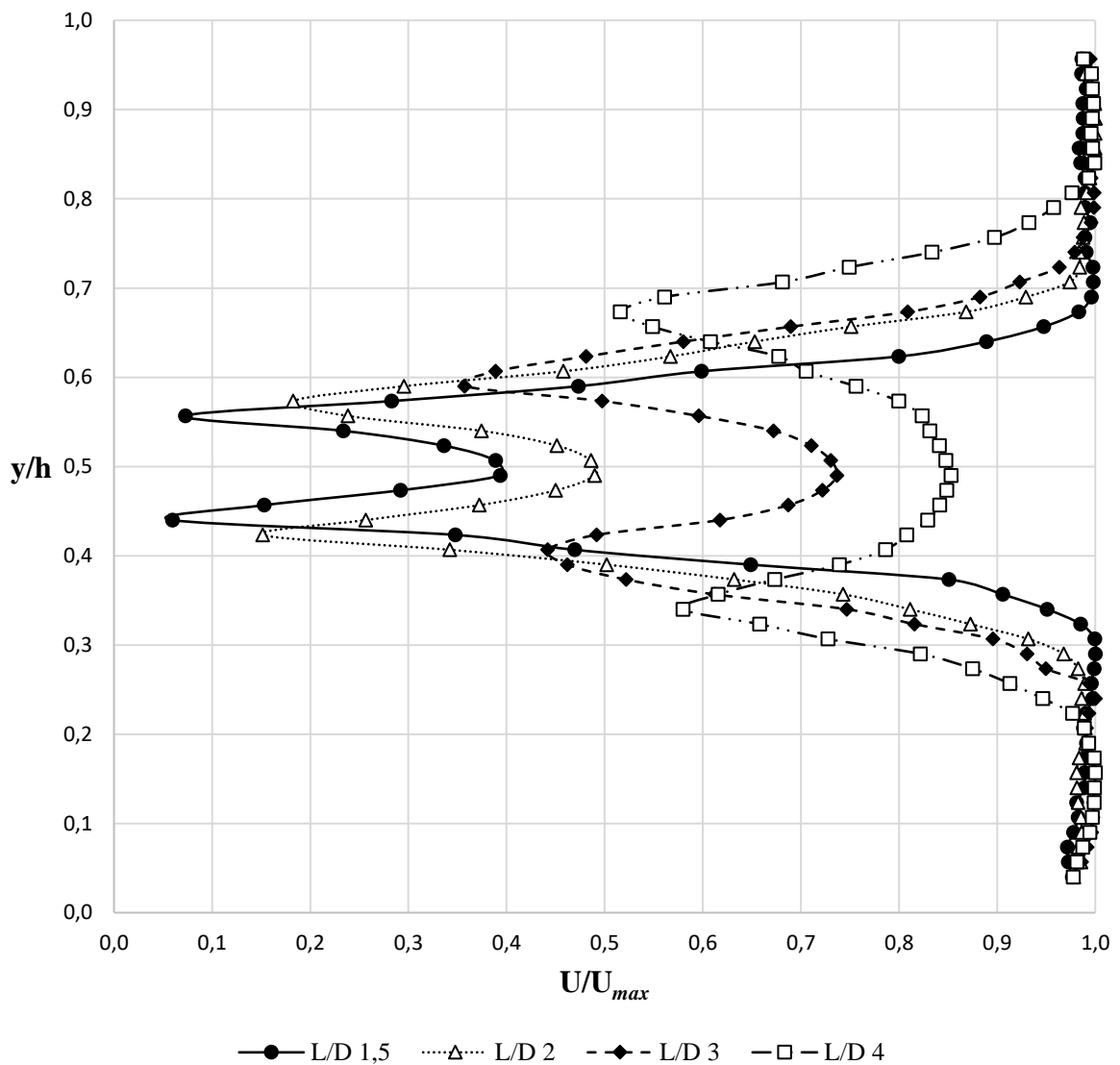
Pada gambar 4.13 menunjukkan grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_P) silinder 3. Silinder 3 tanpa bodi pengganggu terdapat *angle of attach* sekitar *upper side* pada 0° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 75° (*upper side*) dan 285° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 90° (*upper side*) dan 265° (*lower side*). Dibandingkan dengan silinder 3 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° aliran mengalami *re-attachment* karena pengaruh bodi pengganggu 270° pada sudut 350° yang dilanjutkan dengan mengalami percepatan hingga 80° (*upper side*) dan 285° (*lower side*) dan mengalami separasi yang dimulai pada 105° (*upper side*) dan 265° (*lower side*). Dari perbandingan yang dilakukan didapatkan penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) yang lebih tinggi namun pada saat aliran mulai melewati silinder 2 lebih rendah dikarenakan penambahan bodi pengganggu.

Dari gambar 4.11, 4.12, dan 4.13 menunjukkan nilai koefisien *base pressure* (C_{BP}) pada silinder 1 dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° berada dibawah silinder 1 tanpa bodi pengganggu, dimana mengindikasikan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang meningkat akibat pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Sebaliknya, pada silinder 2 dan silinder 3 dengan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° menunjukkan nilai koefisien *base pressure* (C_{BP}) berada diatas silinder 2 dan silinder 3 tanpa bodi pengganggu, dimana mengindikasikan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang menurun akibat pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Dalam hal ini, penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder 1 di variasi jarak longitudinal (L/D) 4 memberikan reduksi nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 dan silinder 3, dimana bodi pengganggu pada silinder *upstream* mampu mempengaruhi aliran yang akan melintasi dari silinder *downstream*.

4.4 Profil Kecepatan pada Belakang Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger*

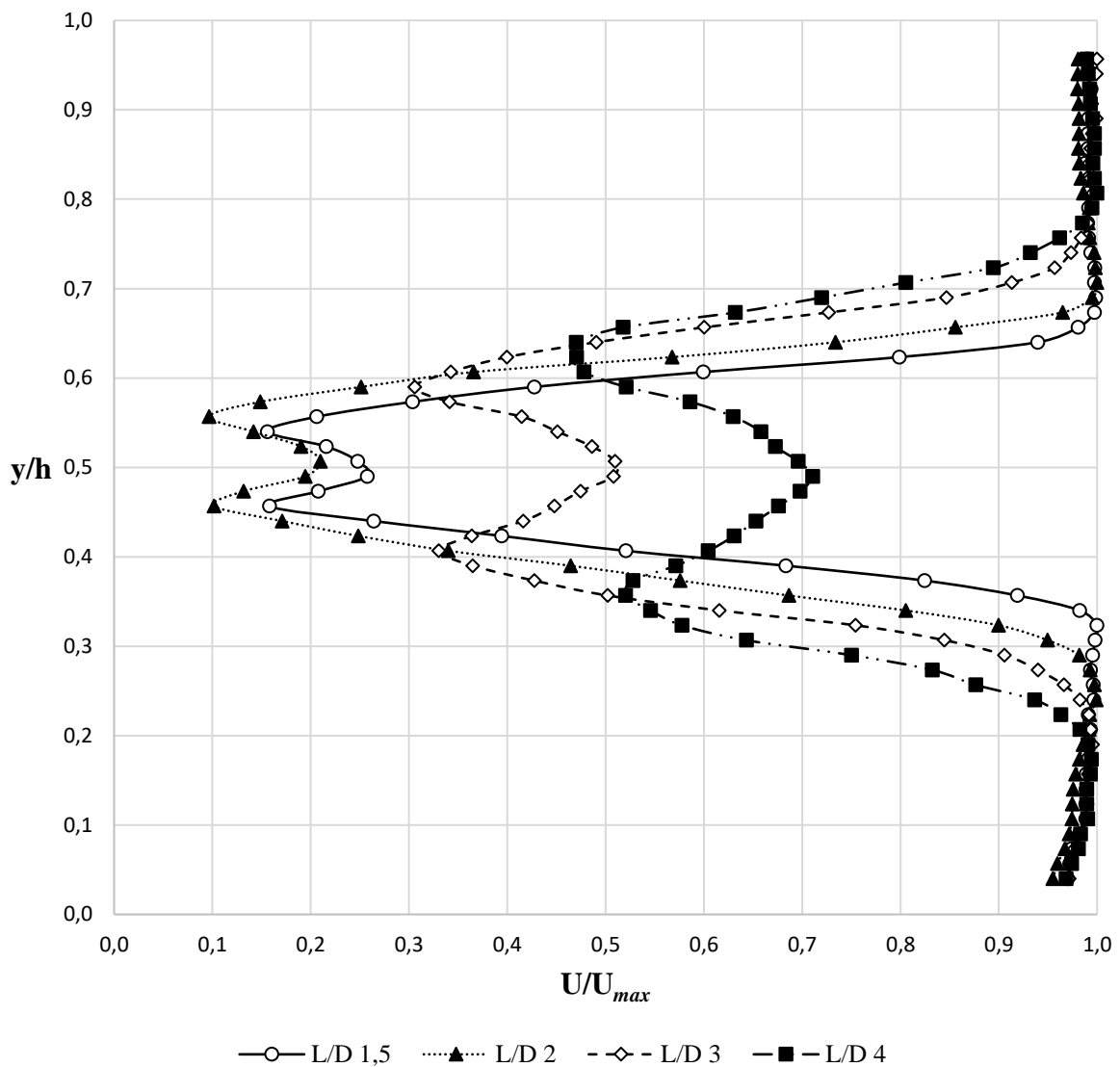
Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai analisa distribusi kecepatan di belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° untuk semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4. Distribusi kecepatan diambil menggunakan *pitot static tube* di belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* pada jarak $4D$ dari silinder *downstream*. Data diambil pada garis tengah secara vertikal setiap ketinggian 5 mm dari sisi atas hingga bawah *wind tunnel*. Gambar 4.14 dan 4.15 merupakan grafik yang menggambarkan distribusi kecepatan dari data *velocity magnitude* yang telah diolah.

Dalam bagian ini, juga akan dibahas mengenai efek *bistable* dan defisit momentum yang terjadi. Hal ini dapat dianalisa melalui grafik distribusi kecepatan yang dibandingkan dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Dengan demikian, dapat dianalisa hubungan grafik profil kecepatan dengan nilai distribusi koefisien *drag total* (C_{DT}). Grafik tersebut ditunjukkan pada gambar 4.16 dan 4.17 yang merupakan grafik perbandingan distribusi kecepatan untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 4 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° .



Gambar 4.14 Grafik profil kecepatan pada belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu pada variasi jarak longitudinal (L/D)

Dari gambar 4.14 menunjukkan grafik profil kecepatan pada belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu pada variasi jarak longitudinal (L/D). Dapat dilihat pada grafik bahwa distribusi profil tekanan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 2 dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dan 4. Dalam grafik menunjukkan adanya defisit momentum yang tinggi ditandai dengan nilai U/U_{max} yang semakin rendah. Pada susunan tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu, aliran melalui dari silinder 1 dan mengenai silinder 2 dan silinder 3, dimana *wake* dari silinder 1 memberikan pengaruh pada silinder 2 dan silinder 3. Dan defisit momentum terbesar terjadi pada silinder 2 dan 3, dimana silinder 1 memiliki defisit momentum yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa defisit momentum pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 2 lebih besar dibandingkan dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dan 4, dimana aliran yang terseparasi dan *wake* dari silinder 1 tidak mempengaruhi secara signifikan pada silinder 2 dan silinder 3. Perbandingan nilai U/U_{max} cukup signifikan dimana pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 sebesar 0,39 dan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 sebesar 0,85.

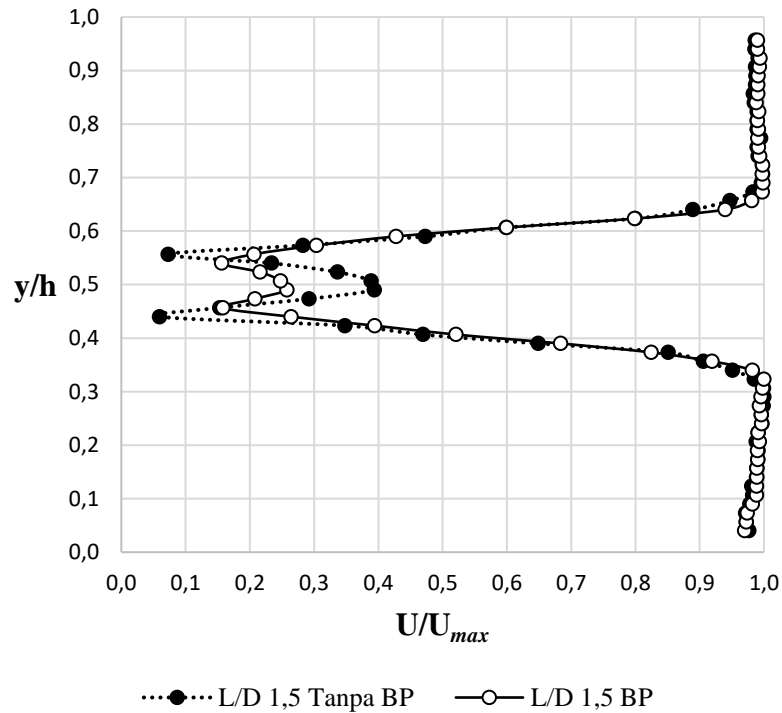


Gambar 4.15 Grafik profil kecepatan pada belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada variasi jarak longitudinal (L/D)

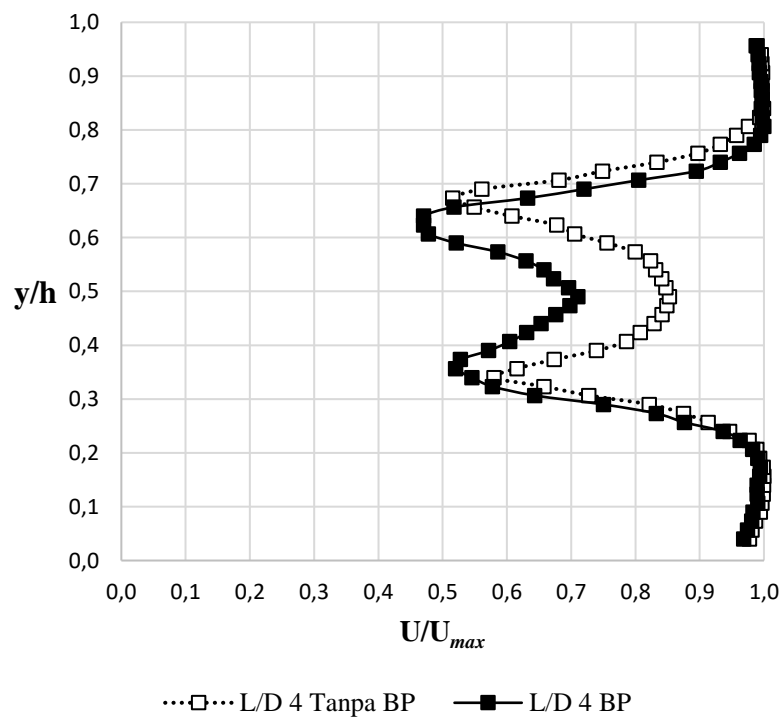
Dari gambar 4.15 menunjukkan grafik profil kecepatan di belakang tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada variasi jarak longitudinal (L/D). Dapat dilihat pada grafik bahwa distribusi profil tekanan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 2 dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dan 4. Dalam grafik menunjukkan adanya defisit momentum yang tinggi ditandai dengan nilai U/U_{max} yang semakin rendah. Pada susunan tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° , aliran melalui dari silinder 1 yang dikelilingi tiga bodi pengganggu dan mengenai silinder 2 dan silinder 3, dimana *wake* dari silinder 1 dan bodi pengganggu 90° dan 270° memberikan pengaruh pada silinder 2 dan silinder 3. Dari grafik menunjukkan bahwa nilai U/U_{max} dari variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dengan nilai 0,26 dimana lebih besar dari variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dengan nilai 0,21. Nilai maksimum U/U_{max} dari variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dengan nilai 0,71.

Pada gambar 4.14 dan 4.15 menunjukkan *wake* pada belakang silinder *downstream* memiliki nilai U/U_{max} yang berbeda antara silinder 2 dengan silinder 3 tanpa bodi pengganggu. Hal ini menunjukkan adanya indikasi mengenai efek *bistable*, dimana terdapat

narrow wake dan *wide wake*. Dengan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° memberikan pengaruh terhadap *wake* pada belakang silinder *downstream* memiliki nilai U/U_{max} yang bernilai stabil dimana mengindikasikan mengurangi efek *bistable*, dimana lebar *wake* dibelakang silinder 2 dan 3 memiliki lebar yang sama pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 2, namun pada variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dan 4 masih terdapat pengaruh dari efek *bistable*.



Gambar 4.16 Grafik perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5



Gambar 4.17 Grafik perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4

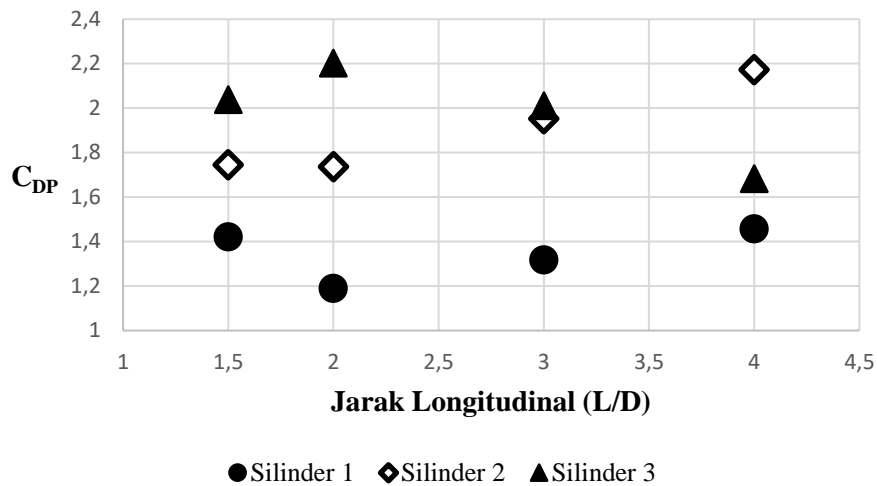
Dari gambar 4.16 dapat dilihat perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Pada grafik menunjukkan defisit momentum yang terbesar terjadi pada susunan tanpa bodi pengganggu. Selain itu, *wake* pada belakang silinder *downstream* memiliki nilai U/U_{max} sejajar yang mengindikasikan bahwa besar *wake* pada belakang silinder *downstream* tidak membentuk sebuah *narrow wake* dan *wide wake*, dimana hal ini menunjukkan bahwa sudah tidak terdapatnya efek *bistable*. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dengan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° efektif dalam mereduksi nilai distribusi koefisien *drag* total (C_{DT}). Di sisi lain, pada gambar 4.17 dapat dilihat perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Pada grafik menunjukkan defisit momentum yang terbesar terjadi pada susunan dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° , sehingga pada susunan ini penambahan bodi pengganggu tidak efektif karena sudah tidak terdapat pengaruhnya. Selain itu, masih terdapatnya efek *bistable* yang ditunjukkan dengan adanya perbedaan besar *wake* antar silinder *downstream*.

4.5 Analisa Distribusi Koefisien *Drag Pressure* (C_{DP}), Koefisien *Lift Pressure* (C_{LP}), dan Distribusi Koefisien *Drag Total* (C_{DT}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger*

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger*, untuk semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4 terhadap distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}), dan distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}). Nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) dan distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) untuk silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah) didapatkan dari persamaan 3.8 dan 3.11. Nilai distribusi koefisien *drag total* (C_{DT}) untuk semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4 didapatkan dari persamaan 3.13. Digunakan penjumlahan antara momentum aliran *free-stream* dengan momentum aliran pada belakang susunan silinder sirkular menggunakan aturan Simson 1/3 segmen berganda. Penjelasan nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}), distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}), distribusi koefisien *drag total* (C_{DT}), dan efek *bistable* juga akan dibahas pada bagian dibawah ini.

4.5.1 Distribusi Koefisien *Drag Pressure* (C_{DP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* tanpa Bodi Pengganggu

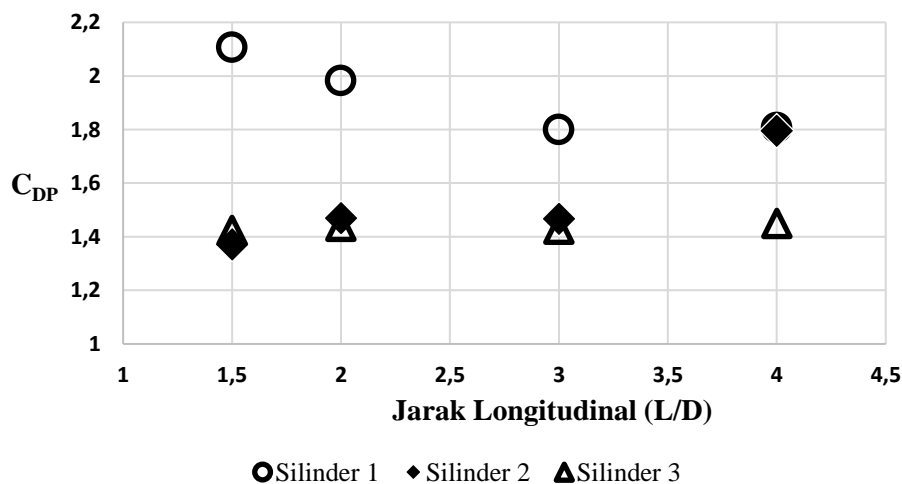
Distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 1 memiliki nilai terendah untuk setiap variasi jarak longitudinal (L/D) tanpa bodi pengganggu dibandingkan dengan silinder 2 dan silinder 3. Nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) tertinggi berada pada silinder 2 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 yang bernilai 2,20, sedangkan nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) terendah berada pada silinder 1 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2 yang bernilai 1,19. Nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) silinder 2 diatas silinder 3 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 4, sedangkan untuk nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) silinder 3 diatas silinder 2 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; dan 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa aliran yang melalui tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu pada silinder 1 dan 2 mengalami penurunan dan silinder 3 mengalami kenaikan saat variasi jarak longitudinal (L/D) 2, Sedangkan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dan 4 mengalami kenaikan untuk silinder 3 dan 4 dibandingkan dengan silinder 3 yang mengalami penurunan. Semua hasil distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu telah dibuat grafik seperti pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu

4.5.2 Distribusi Koefisien *Drag Pressure* (C_{DP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* dengan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270°

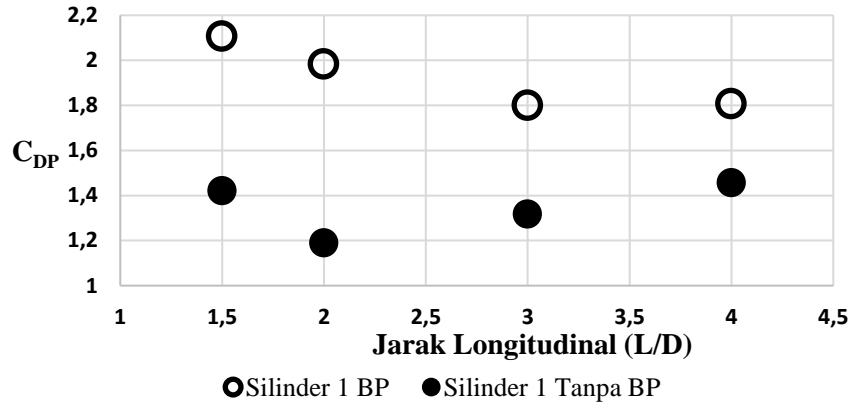
Distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 1 memiliki nilai tertinggi untuk setiap variasi jarak longitudinal (L/D) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° dibandingkan dengan silinder 2 dan silinder 3. Nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) terendah berada pada silinder 2 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 yang bernilai 1,37. Dan nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) silinder 2 diatas silinder 3 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 2, 3, dan 4. Hal tersebut menunjukkan bahwa aliran yang melalui tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder 1 mengalami penurunan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dan 3, sedangkan distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 dan 3 cenderung stabil di semua variasi jarak longitudinal (L/D), kecuali pada silinder 2 dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 mengalami kenaikan. Semua hasil distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° telah dibuat grafik seperti pada gambar 4.19.



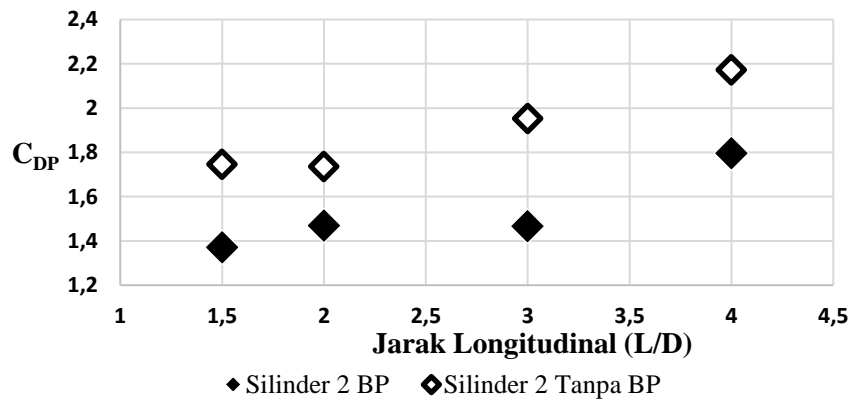
Gambar 4.19 Grafik distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°

4.5.3 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0°, 90°, dan 270° pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* terhadap Distribusi Koefisien *Drag Pressure* (C_{DP})

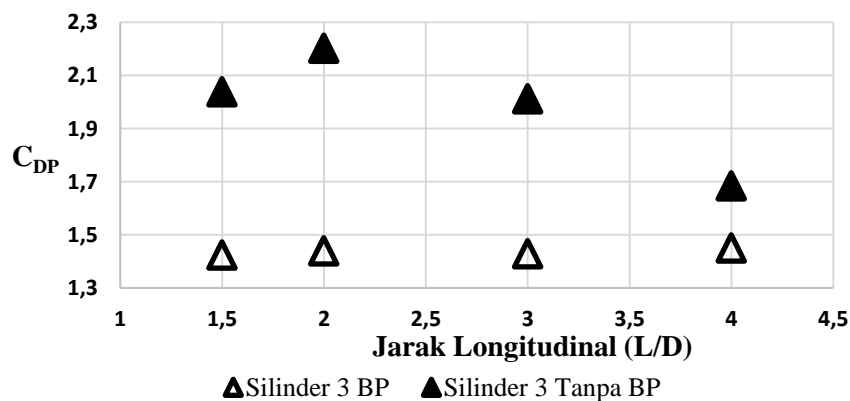
Pada bagian ini akan ditampilkan pengaruh penambahan bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270° terhadap nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger*. Hasil yang akan dibandingkan akan dibagi menjadi 3, yaitu silinder 1, silinder 2, dan silinder 3. Berikut merupakan hasil perbandingan yang telah dibuat pada gambar 4.20, 4.21, dan 4.22.



Gambar 4.20 Grafik perbandingan distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270°



Gambar 4.21 Grafik perbandingan distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270°



Gambar 4.22 Grafik perbandingan distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270°

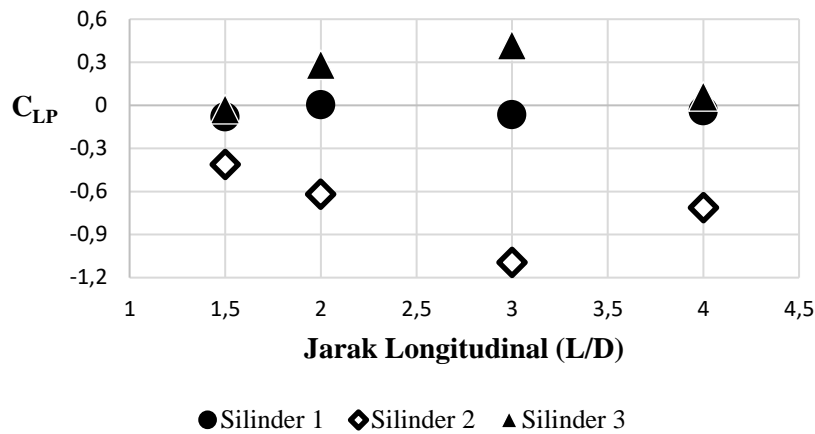
Pada gambar 4.20 dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° menyebabkan peningkatan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 1. Pengaruh tersebut terjadi pada semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4, dengan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 1 meningkat sebesar 48%, 67%, 37%, dan 24%. Dari gambar 4.21 dan 4.22 dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° menyebabkan penurunan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 dan 3. Pengaruh tersebut terjadi pada semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4, dengan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 menurun sebesar 21%, 15%, 25%, dan 17%, sedangkan untuk nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 3 menurun sebesar 30%, 35%, 29%, dan 14%.

Dari hasil nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang telah di analisa didapatkan kesimpulan bahwa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° memberikan dampak pada setiap silinder. Pada silinder 1 mengalami peningkatan hingga 67% pada variasi jarak longitudinal (L/D) 2, sedangkan pada silinder 2 dan 3 mengalami penurunan hingga 25% pada variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dan 35% pada variasi jarak longitudinal (L/D) 2. Hasil ini juga dipengaruhi oleh distribusi koefisien tekanan (C_P) dan koefisien *base pressure* (C_{BP}), dimana pada nilai koefisien *base pressure* (C_{BP}) yang lebih tinggi memiliki nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang lebih rendah, begitu pula sebaliknya.

Bagian ini juga dapat melihat pengaruh efek *bistable* yang terjadi dari nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada setiap variasi jarak longitudinal (L/D) tanpa bodi pengganggu untuk silinder 2 dan silinder 3, dimana menampilkan hasil yang menunjukkan gradien naik untuk silinder 2 dan gradien turun untuk silinder 3. Disamping itu, penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° memberikan pengaruh terhadap pengurangan efek *bistable* yang terjadi pada setiap variasi jarak longitudinal (L/D), dimana hasil yang menunjukkan gradien stabil pada silinder 2 dan silinder 3 yang mengindikasikan pengurangan pengaruh dari efek *bistable*, kecuali pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4. Hal ini dikarenakan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 masih berada pada daerah *bistable* dengan susunan tandem, dimana bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° sudah tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap silinder *downstream* yaitu, silinder 2 dan silinder 3.

4.5.4 Distribusi Koefisien *Lift Pressure* (C_{LP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* tanpa Bodi Pengganggu

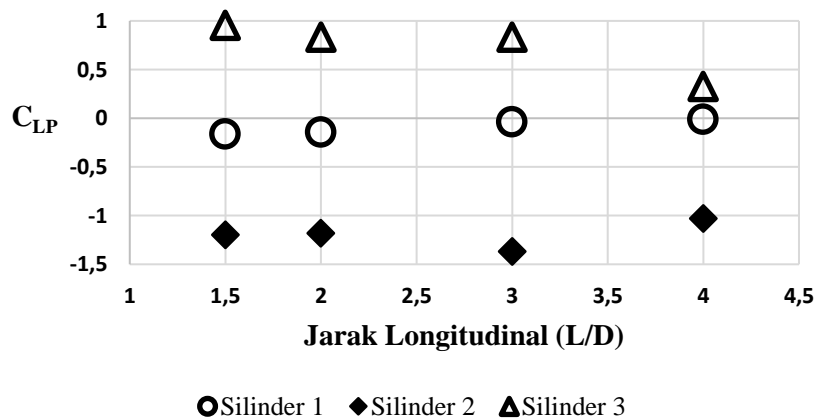
Distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 1 memiliki nilai mendekati 0 untuk setiap variasi jarak longitudinal (L/D) tanpa bodi pengganggu. Nilai distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) tertinggi berada pada silinder 3 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 3 yang bernilai 0,42, sedangkan nilai distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) terendah berada pada silinder 2 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 3 yang bernilai -1,09. Nilai distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) silinder 3 diatas silinder 1 dan silinder 2 untuk semua variasi jarak longitudinal (L/D). Hal tersebut menunjukkan bahwa aliran yang melalui tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu pada silinder 2 mengalami penurunan dan silinder 3 mengalami kenaikan saat variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 hingga 3, Sedangkan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 mengalami kenaikan untuk silinder 2 dibandingkan dengan silinder 3 yang mengalami penurunan. Semua hasil distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu telah dibuat grafik seperti pada gambar 4.23.



Gambar 4.23 Grafik distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu

4.5.5 Distribusi Koefisien *Lift Pressure* (C_{LP}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* dengan Bodi Pengganggu 0° , 90° , dan 270°

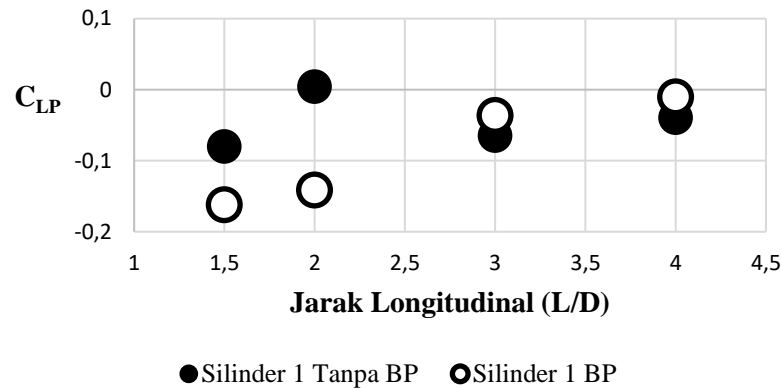
Distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 1 memiliki nilai mendekati 0 untuk setiap variasi jarak longitudinal (L/D) dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Nilai distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) tertinggi berada pada silinder 3 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 yang bernilai 0,95, sedangkan nilai distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) terendah berada pada silinder 2 untuk variasi jarak longitudinal (L/D) 3 yang bernilai -1,37. Dan nilai distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) silinder 3 di atas silinder 1 dan silinder 2 untuk semua variasi jarak longitudinal (L/D). Hal tersebut menunjukkan bahwa aliran yang melalui tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder 2 cenderung stabil dengan perubahan yang tidak signifikan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 2, sedangkan distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 3 cenderung stabil dengan perubahan yang tidak signifikan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 2 dan 3. Pada silinder 2 dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 3 dan 4 mengalami penurunan disusul dengan kenaikan yang cukup signifikan, sedangkan pada silinder 3 dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 4 mengalami penurunan yang cukup signifikan. Semua hasil distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° telah dibuat grafik seperti pada gambar 4.24.



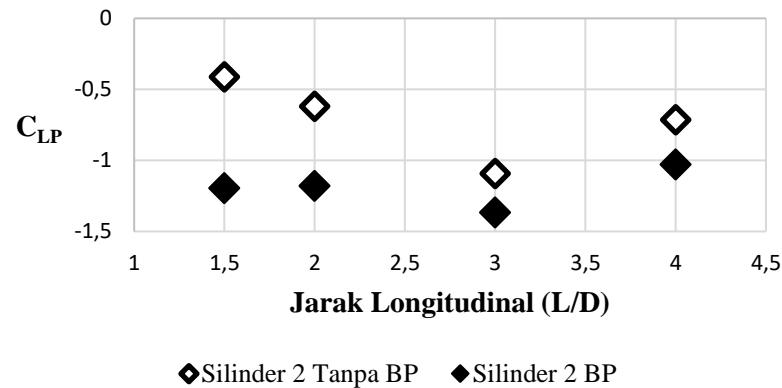
Gambar 4.24 Grafik distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°

4.5.6 Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0°, 90°, dan 270° pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger* terhadap Distribusi Koefisien *Lift Pressure* (C_{LP})

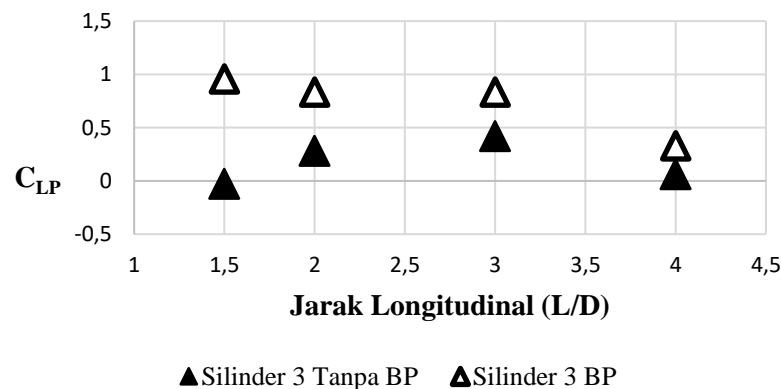
Pada bagian ini akan ditampilkan pengaruh penambahan bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270° terhadap nilai distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger*. Hasil yang akan dibandingkan adalah silinder 2 dan silinder 3, sedangkan pada silinder 1 cenderung bernilai stabil mendekati 0 karena tidak terdapat perbedaan lintasan dari aliran *free-stream*. Berikut merupakan hasil perbandingan yang telah dibuat pada gambar 4.25, 4.26, dan 4.27.



Gambar 4.25 Grafik perbandingan distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270°



Gambar 4.26 Grafik perbandingan distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270°



Gambar 4.27 Grafik perbandingan distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270°

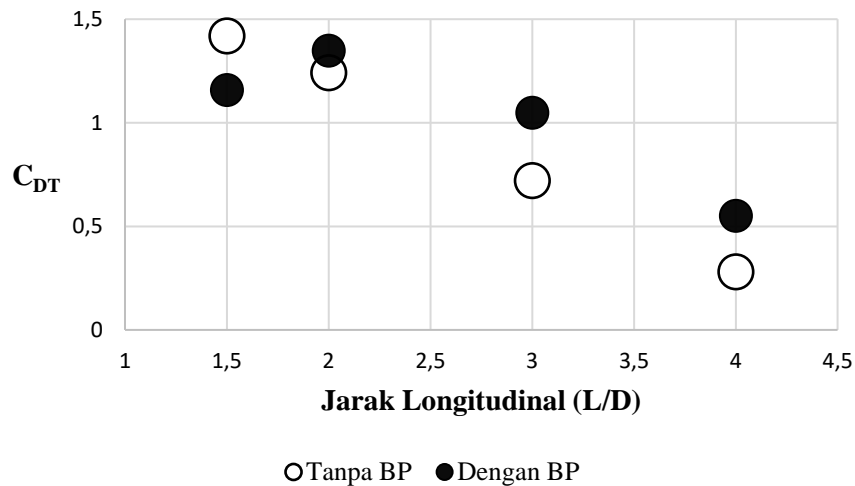
Dari gambar 4.25 dapat dilihat pengaruh dari penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° terhadap nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 1. Pengaruh tersebut terjadi pada semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4, dengan nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada (L/D) 1,5 dan 2 menurun sebesar 103% dan 3388%, sedangkan pada (L/D) 3 dan 4 meningkat sebesar 44% dan 73%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 1 cenderung stabil mendekati angka 0. Pada gambar 4.26 dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° menyebabkan penurunan nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 2. Pengaruh tersebut terjadi pada semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4, dengan nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) menurun sebesar 189%, 91%, 25%, dan 44%. Dari gambar 4.27 dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° menyebabkan peningkatan nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 3. Pengaruh tersebut terjadi pada semua variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; 3; dan 4, dengan nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) meningkat sebesar 3443%, 196%, 99%, dan 434%.

Dari hasil nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) yang telah di analisa didapatkan kesimpulan bahwa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° memberikan dampak pada silinder 1, silinder 2, dan silinder 3. Pada silinder 2 mengalami penurunan hingga 189% pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5, sedangkan pada silinder 3 mengalami peningkatan hingga 3443% pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5.

Bagian ini juga dapat melihat pengaruh efek *bistable* yang terjadi dari nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada setiap variasi jarak longitudinal (L/D) tanpa bodi pengganggu untuk silinder 2 dan silinder 3, dimana menampilkan hasil yang menunjukkan gradien turun untuk silinder 2 hingga mengalami kenaikan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 dan gradien naik untuk silinder 3 hingga mengalami penurunan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4. Disamping itu, penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° memberikan pengaruh terhadap pengurangan efek *bistable* yang terjadi pada setiap variasi jarak longitudinal (L/D), dimana hasil yang menunjukkan gradien stabil pada silinder 2 dan silinder 3 yang mengindikasikan pengurangan pengaruh dari efek *bistable*, kecuali pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4. Hal ini dikarenakan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 masih berada pada daerah *bistable* dengan susunan tandem, dimana bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° sudah tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap silinder *downstream* yaitu, silinder 2 dan silinder 3.

4.5.7 Analisa Distribusi Koefisien *Drag Total* (C_{DT}) pada Tiga Silinder Sirkular Tersusun *Stagger*

Analisa pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* maupun pengaruh variasi jarak longitudinal (L/D) terhadap distribusi koefisien *drag total* (C_{DT}) dari tiga silinder sirkular tersusun *stagger* ditunjukkan pada gambar 4.28. Nilai koefisien *drag total* didapatkan dari persamaan 3.13 untuk setiap variasinya. Dengan grafik dibawah dapat membantu melihat efektifitas pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° terhadap susunan yang divariasikan pada jarak longitudinal (L/D).

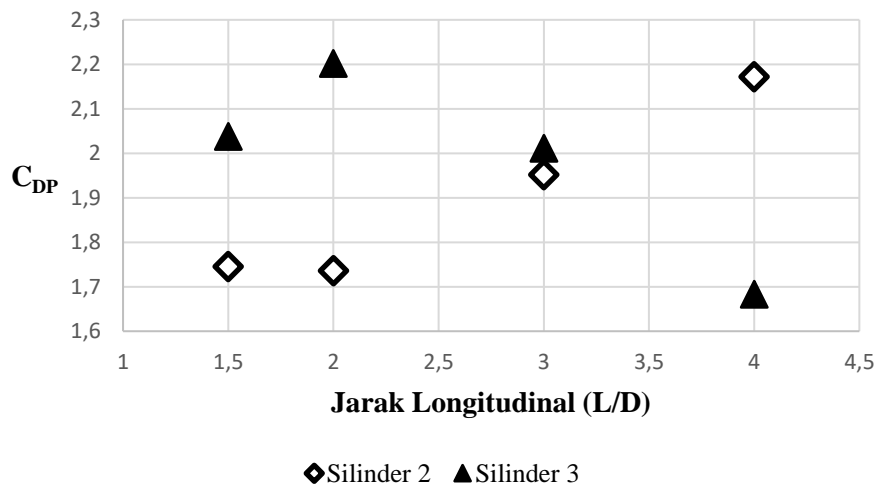


Gambar 4.28 Grafik perbandingan distribusi koefisien *drag* total (C_{DT}) dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°

Pada gambar 4.28 dapat dilihat bahwa nilai distribusi koefisien *drag* total (C_{DT}) tertinggi terdapat pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 tanpa bodi pengganggu. Dan nilai distribusi koefisien *drag* total (C_{DT}) terendah terdapat pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 tanpa bodi pengganggu. Nilai distribusi koefisien *drag* total (C_{DT}) pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 mengalami penurunan sebesar 18% dan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 2, 3, dan 4 mengalami kenaikan sebesar 9%, 46%, dan 97% karena pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Hasil diatas menunjukkan bahwa penurunan nilai koefisien *drag* total (C_{DT}) paling efektif pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5.

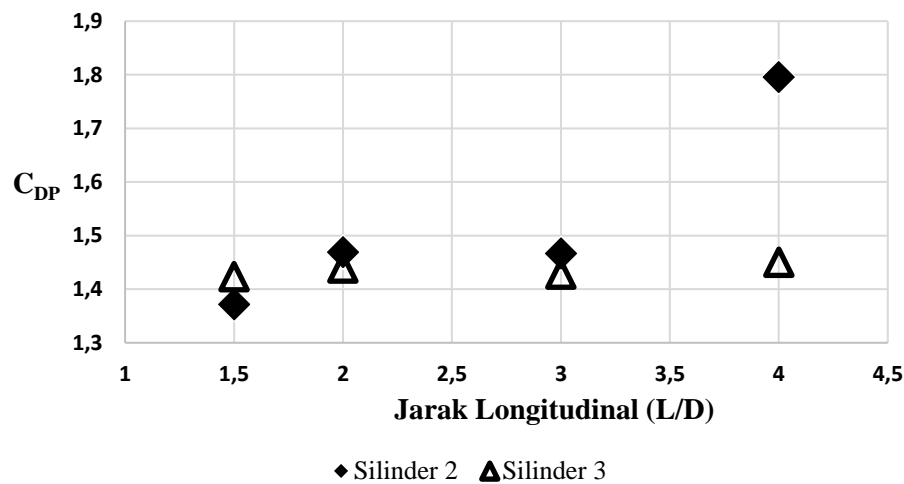
4.6 Diskusi

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai pengaruh efek *bistable* dan reduksi yang terjadi saat penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Hal ini akan dijelaskan melalui grafik distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 dan silinder 3. Berikut merupakan grafik perbandingan yang ditunjukkan pada gambar 4.29 dan 4.30.



Gambar 4.29 Grafik perbandingan distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder *downstream* tanpa bodi pengganggu

Dari gambar 4.29 dapat dilihat perbedaan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) antara silinder 2 dan silinder 3 tanpa bodi pengganggu. Apabila merujuk pada gambar 2.27 mengenai ilustrasi *wake* dibelakang silinder *downstream* yang telah dilakukan oleh (Alam et al., 2003) menunjukkan apabila memiliki nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang lebih tinggi, maka memiliki *wide wake* pada belakang silinder sirkular tersebut, begitupun sebaliknya. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 2 mengalami efek *bistable*, dimana silinder 2 memiliki *narrow wake* dan silinder 3 memiliki *wide wake* pada belakang masing-masing silinder. Pada variasi jarak longitudinal (L/D) 3 tidak terdapat efek *bistable*, dimana pada silinder 2 dan silinder 3 memiliki perbedaan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang tidak signifikan, sehingga tidak terdapat perbedaan lebar *wake* pada belakang silinder. Namun pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 mengalami efek *bistable* yang berkebalikan dengan variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5 dan 2, dimana silinder 2 memiliki mode *wide wake* dan silinder 3 memiliki mode *narrow wake* pada belakang masing-masing silinder.

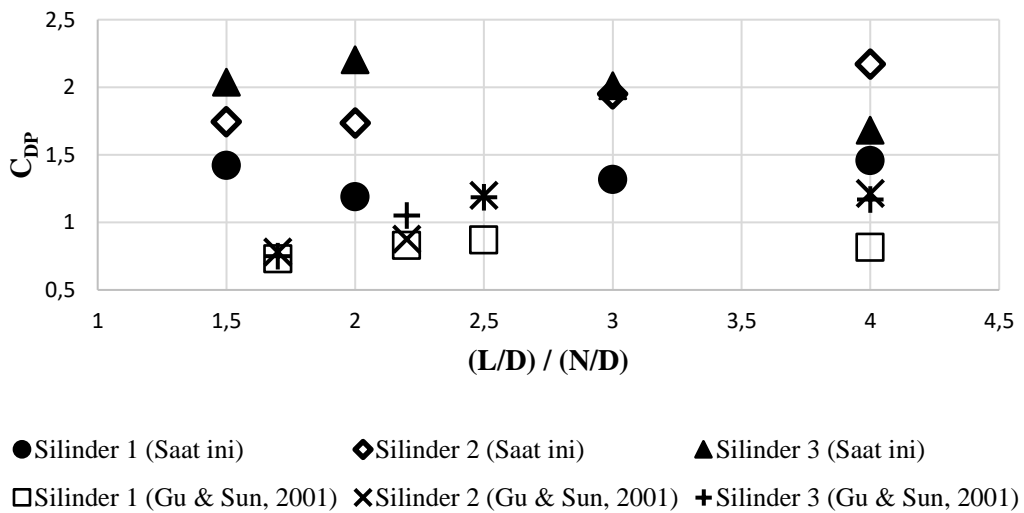


Gambar 4.30 Grafik perbandingan distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder *downstream* dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270°

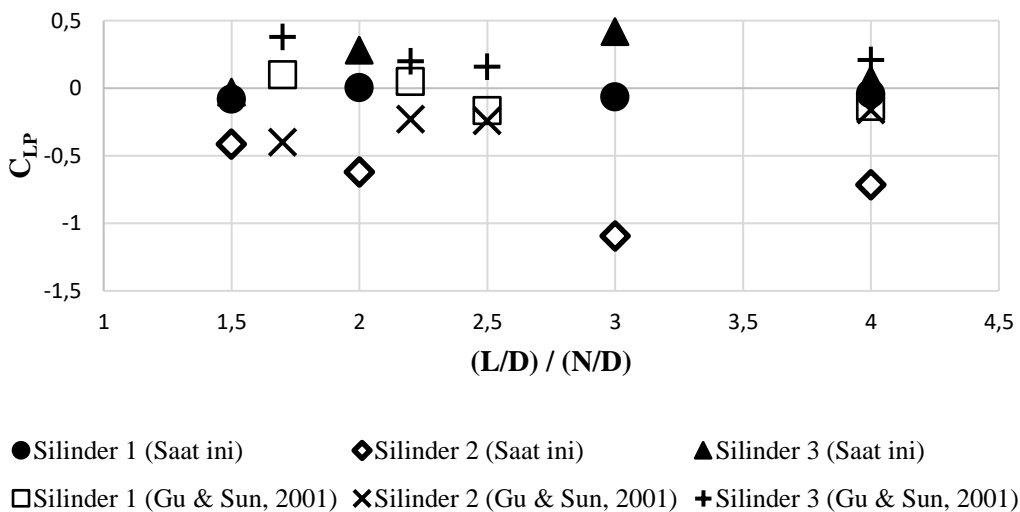
Sementara itu, pada gambar 2.30 dapat dilihat pengaruh penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° terhadap reduksi efek *bistable* serta perbedaan nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) antara silinder 2 dan silinder 3. Penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° dinilai efektif terhadap reduksi efek *bistable* pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; dan 3, dimana hal tersebut ditunjukkan dari nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 dan silinder 3 yang bernilai stabil dengan perbedaan yang tidak signifikan. Dalam hal tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapatnya perbedaan lebar *wake* pada belakang silinder 2 dan silinder 3. Akan tetapi, pada variasi jarak longitudinal (L/D) 4 sudah tidak terdapat pengaruh dari penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° yang dinilai tidak efektif terhadap reduksi efek *bistable*, dimana hal tersebut ditunjukkan dari nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada silinder 2 dan silinder 3 yang memiliki perbedaan signifikan. Dalam hal tersebut menunjukkan bahwa terdapatnya perbedaan lebar *wake* pada belakang silinder *downstream*, yakni silinder 2 memiliki *wide wake* dan silinder 3 memiliki *narrow wake* pada belakang masing-masing silinder. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan bodi pengganggu pada sudut 0° , 90° , dan 270° di silinder *upstream* memberikan pengaruh reduksi efek *bistable* yang signifikan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5; 2; dan 3.

4.7 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini akan dilakukan perbandingan antara hasil eksperimen yang telah dilakukan dengan penelitian terdahulu menggunakan hasil eksperimen pengaruh penambahan bodi pengganggu terhadap karakteristik aliran melalui tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) secara eksperimental pada tiga silinder sirkular dalam susunan segitiga sama sisi pada bilangan Reynolds tinggi. Pada penelitian saat ini menggunakan tiga silinder sirkular tersusun *stagger* yang di variasikan jarak longitudinal (L/D) dan dilakukan pada bilangan Reynolds $2,2 \times 10^4$, Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) menggunakan tiga silinder sirkular tersusun segitiga sama sisi yang di variasikan jarak antar pusat silinder (N/D) dan dilakukan pada bilangan Reynolds $5,5 \times 10^4$. Dan data yang diambil dari hasil eksperimen oleh (Gu & Sun, 2001) pada susunan 0° saja dengan keseluruhan variasi jarak antar pusat silinder (N/D), dikarenakan pada variasi sudut (β) lebih dari 0° tidak sesuai dengan susunan pada penelitian yang dilakukan saat ini. Berikut merupakan grafik perbandingan yang ditunjukkan pada gambar 4.31 dan 4.32.



Gambar 4.31 Grafik perbandingan distribusi koefisien *drag pressure* tanpa bodi pengganggu



Gambar 4.32 Grafik perbandingan distribusi koefisien *lift pressure* tanpa bodi pengganggu

Pada gambar 4.31 menunjukkan perbandingan koefisien *drag pressure* pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu dengan penelitian (Gu & Sun, 2001) tiga silinder sirkular tersusun segitiga sama sisi tanpa bodi pengganggu pada sudut β sebesar 0° . Dapat dilihat hasil perbandingan yang menunjukkan bahwa sebagian besar hasil dari penelitian yang dilakukan (Gu & Sun, 2001) memiliki nilai dibawah dari penelitian saat ini. Dan dari gambar 4.32 menunjukkan perbandingan koefisien *lift pressure* pada tiga silinder sirkular tersusun *stagger* tanpa bodi pengganggu dengan penelitian (Gu & Sun, 2001) tiga silinder sirkular tersusun segitiga sama sisi tanpa bodi pengganggu pada sudut β sebesar 0° .

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan secara eksperimen pada *sub-sonic wind tunnel* untuk mengetahui pengaruh penambahan bodi pengganggu terhadap karakteristik aliran melalui tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan variasi jarak longitudinal (L/D) menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) pada silinder 2 (*downstream* atas) dan silinder 3 (*downstream* bawah) menunjukkan grafik yang tidak simetris antara *upper side* dengan *lower side*, karena terdapatnya pengaruh efek *bistable*. Hal ini terjadi di setiap variasi jarak longitudinal (L/D) dikarenakan susunan pada silinder *downstream* memiliki jarak transversal (T/D) 2, dimana pada jarak tersebut memasuki daerah *bistable* dengan susunan *side by side*.
2. Nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada setiap susunan *stagger* dipengaruhi oleh variasi jarak longitudinal (L/D) dan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Untuk perbandingan susunan tanpa dan dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder 1 (*upstream*) mengalami peningkatan sebesar 24%-67%, silinder 2 (*downstream* atas) mengalami penurunan sebesar 15%-25%, dan silinder 3 (*downstream* bawah) mengalami penurunan sebesar 14%-35%. Penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° memberikan pengaruh reduksi pada silinder *downstream*, namun pada silinder *upstream* mengalami peningkatan. Nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada setiap susunan *stagger* dipengaruhi oleh variasi jarak longitudinal (L/D) dan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Untuk perbandingan susunan tanpa dan dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada silinder 1 (*upstream*) mengalami penurunan sebesar (-3388%) hingga peningkatan sebesar 73%, silinder 2 (*downstream* atas) mengalami penurunan sebesar 25%-189%, dan silinder 3 (*downstream* bawah) mengalami peningkatan sebesar 99%-3443%.
3. Nilai koefisien *drag total* (C_{DT}) pada setiap susunan *stagger* dipengaruhi oleh variasi jarak longitudinal (L/D) dan penambahan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° . Untuk perbandingan susunan tanpa dan dengan bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada jarak (L/D) 1,5 mengalami penurunan sebesar 18%, dan pada jarak (L/D) 2, 3, dan 4 mengalami kenaikan sebesar 9%, 46%, dan 97%. Hasil menunjukkan bahwa reduksi nilai koefisien *drag total* (C_{DT}) paling efektif pada variasi jarak longitudinal (L/D) 1,5.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian tentang studi eksperimen pengaruh penambahan bodi pengganggu terhadap karakteristik aliran melalui tiga silinder sirkular tersusun *stagger* dengan variasi rasio jarak longitudinal (L/D). Untuk penelitian selanjutnya yang akan menggunakan penelitian ini sebagai referensi, terdapat beberapa saran. Adapun saran – saran untuk kedepannya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan susunan bodi pengganggu pada sudut 0° dengan *gap* yang lebih besar, dengan variasi jarak longitudinal (L/D) kurang dari 1,5D.
2. Dalam melakukan pengambilan data diperlukan alat ukur dan pembaca yang presisi, seperti *pressure transducer* dan *data logger* agar didapatkan data yang akurat dan mempermudah dalam pembacaan data.

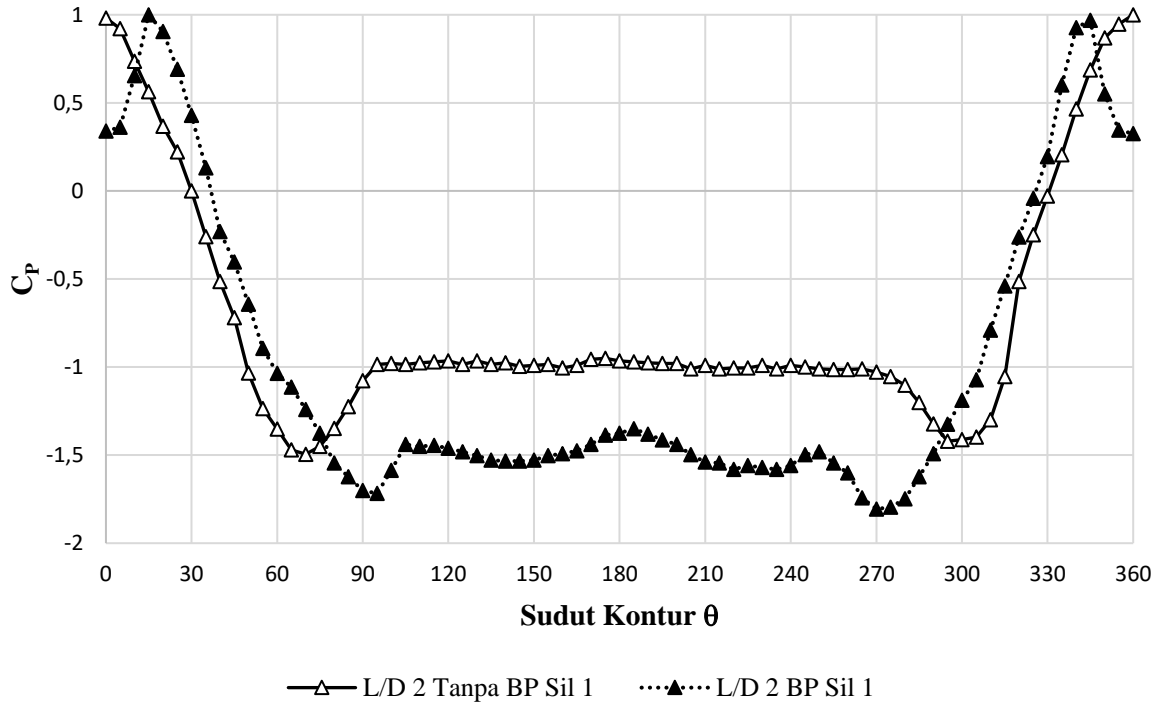
3. Pembuatan dudukan benda uji dibutuhkan pengukuran yang tepat antar jaraknya, seperti menggunakan teknologi *laser cutting* dalam pembuatannya sehingga didapatkan data yang akurat.
4. Kondisi ruangan harus dikontrol agar data yang diperoleh baik.
5. Perlu melihat kembali posisi ketinggian fluida dalam *inclined manometer* 15° dan dilakukan kalibrasi Reynolds untuk setiap pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

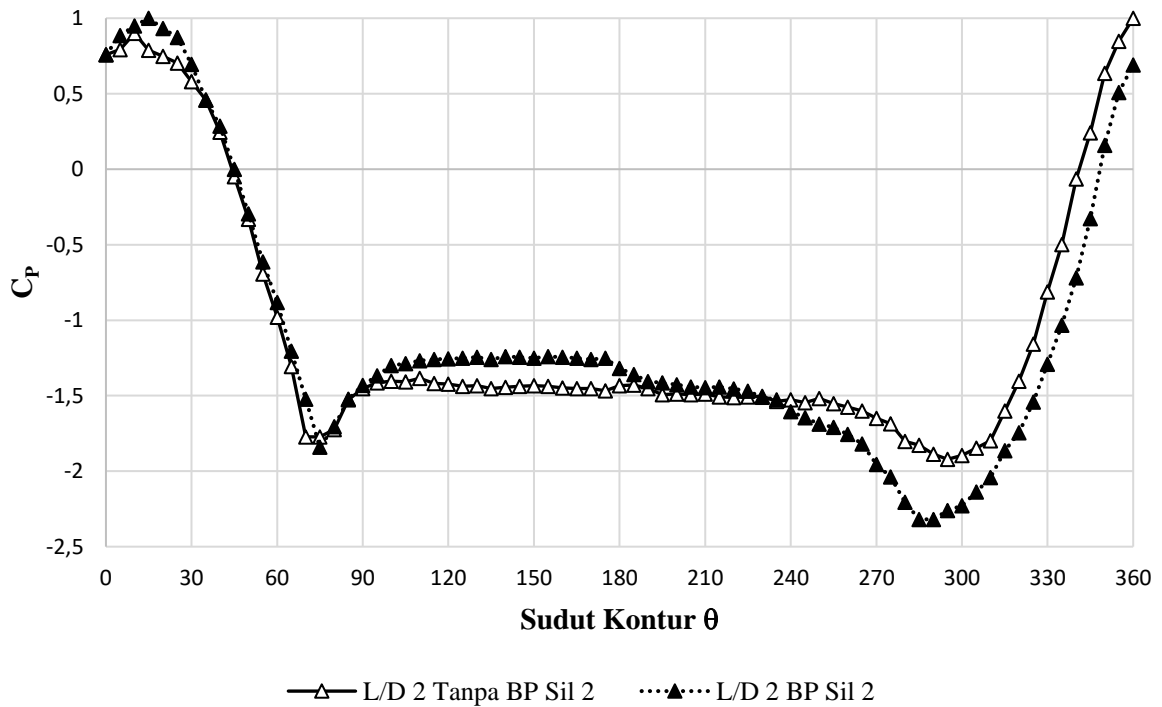
- Alam, M., Sakamoto, H., & Moriya, M. (2003). *Reduction of fluid forces acting on a single circular cylinder and two circular cylinders by using tripping rods*. 18, 347-366. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2003.07.011>
- Cut, B., Akram, R., Iskandar, Rahman, A., Zulfri, M., & Nazaruddin. (2019). *Experimental Review on Influence of Inlet Disturbance Body (IDB) at 30° Against Inhibitory Force Reduction on Three Circular Cylinders with Experimental Review on Influence of Inlet Disturbance Body (IDB) at 30° Against Inhibitory Force Reduction on*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012017>
- Gu, Z., & Sun, T. (2001). *Classifications of flow pattern on three circular cylinders in equilateral-triangular arrangements*. 89, 553-568.
- Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine. (2015). *Fundamental of Heat and Mass Transfer 6th. Fluid Mechanics and Its Applications*, 112, 321-338. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15793-1_19
- Lee, S.-J., Lee, S.-I., & Park, C.-W. (2004). *Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod*. *Fluid Dynamic Research*, 34, 233-250. <https://doi.org/10.1016/j>
- Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., Rothmayer, & P, A. (2013). *Fundamental of Fluid Mechanics Seventh Edition*. In *Instrumentation, Measurements, and Experiments in Fluid*.
- Prichard, P. J., Leylegian, J. C., Fox, Mcdonald. (2017). *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics 8th*. In *Wiley* (Vol. 91). www.wileyplus.com
- Tsutsui, T., & Igarashi, T. (2002). *Drag reduction of a circular cylinder using an upstream rod*. *Wind Engin*, 76(1), 83-101. <https://doi.org/10.1007/s10494-005-9008-0>
- Zdravkovich, M. M. (1987). *The effect of interference between circular cylinder in cross flow*. *Journal of Fluids and Structures*, 1(2), 239-261. [https://doi.org/10.1016/S0889-9746\(87\)90355-0](https://doi.org/10.1016/S0889-9746(87)90355-0)

LAMPIRAN

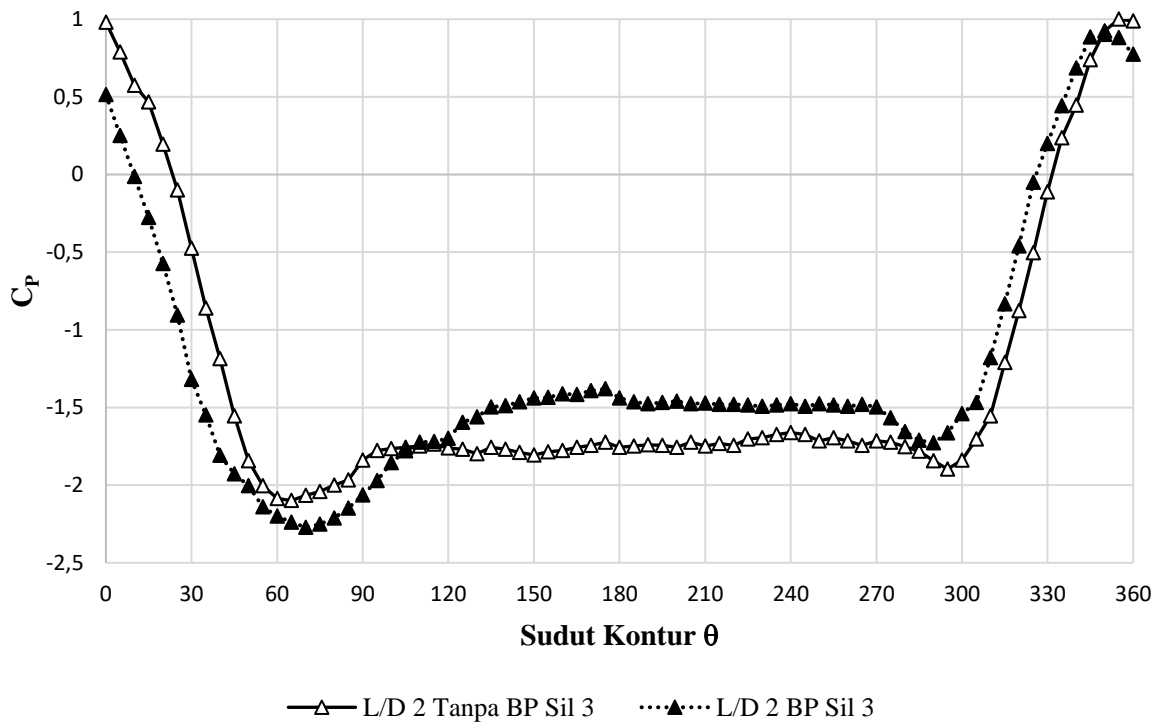
Lampiran 1. Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0°, 90°, dan 270° pada Variasi Jarak Longitudinal (L/D) 2 dan 3



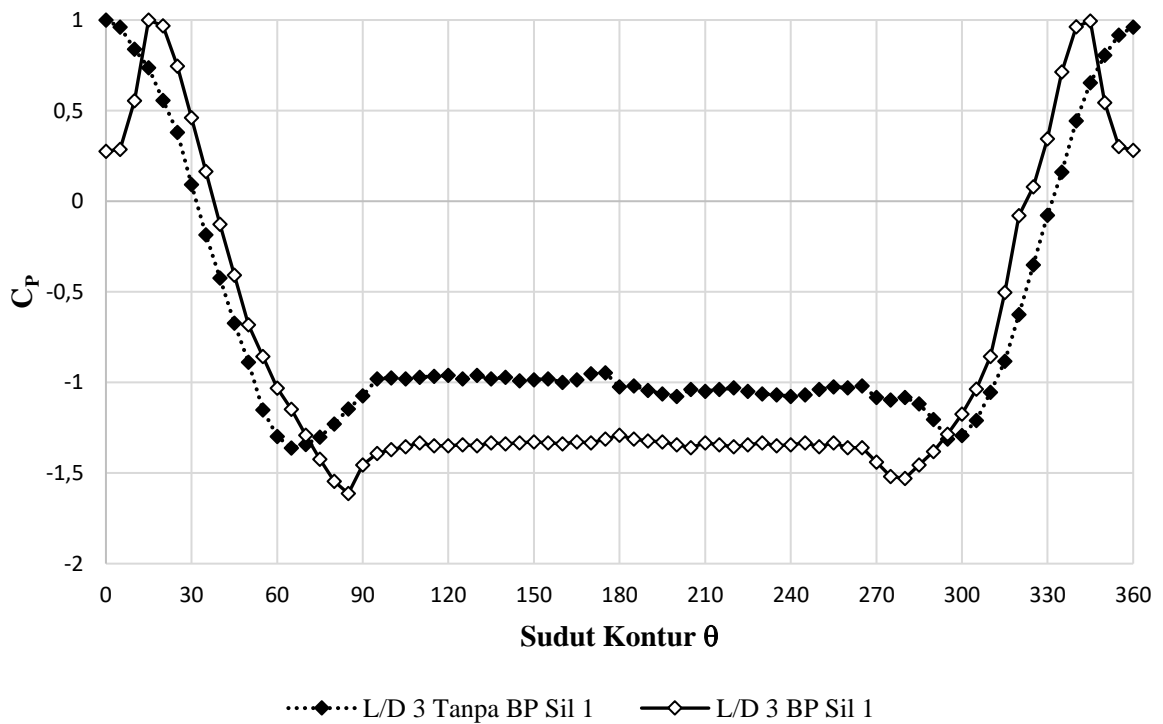
Gambar 1 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270° pada (L/D) 2



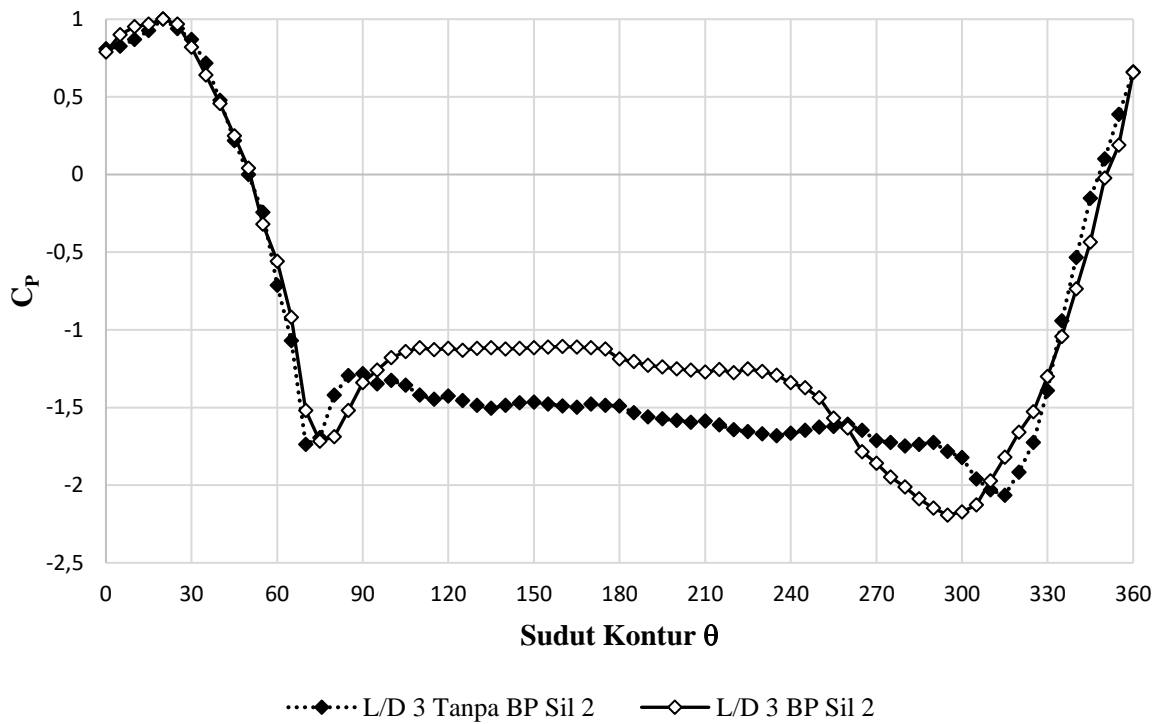
Gambar 2 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0°, 90°, dan 270° pada (L/D) 2



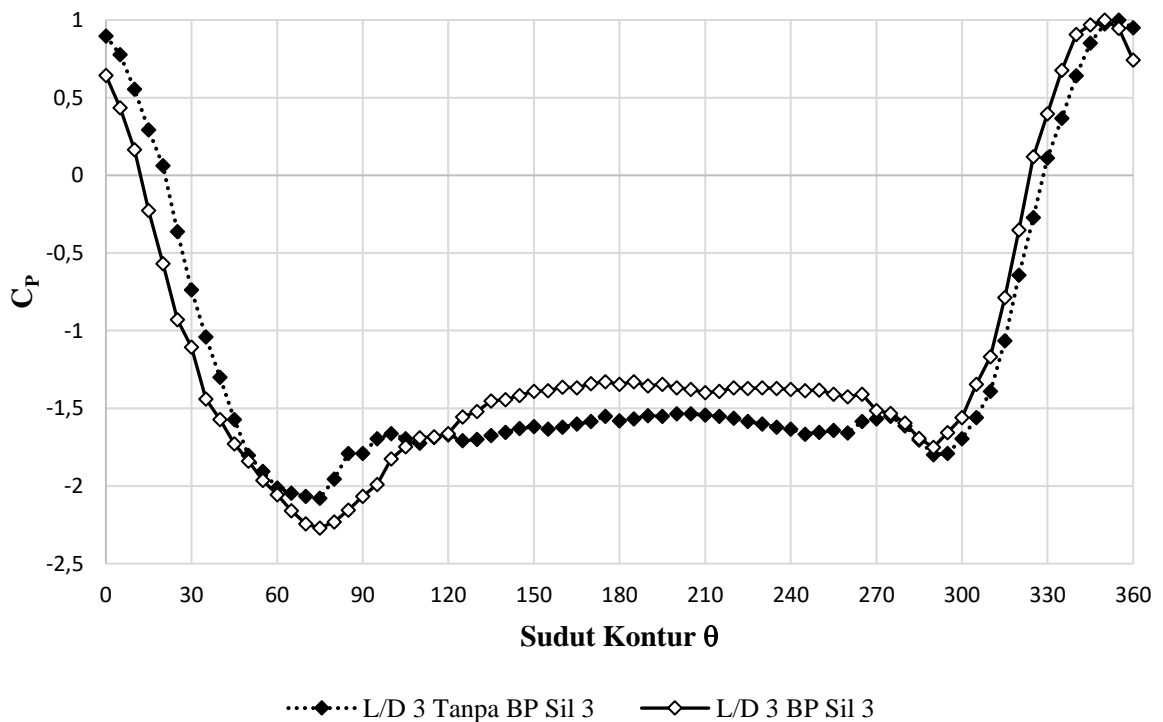
Gambar 3 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada $(L/D) 2$



Gambar 4 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 1 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada $(L/D) 3$

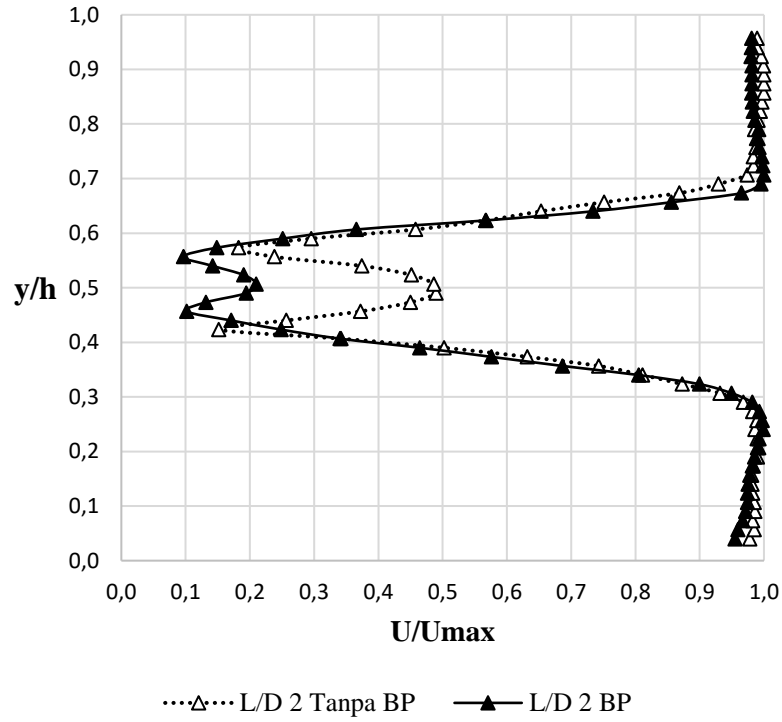


Gambar 5 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 2 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 3

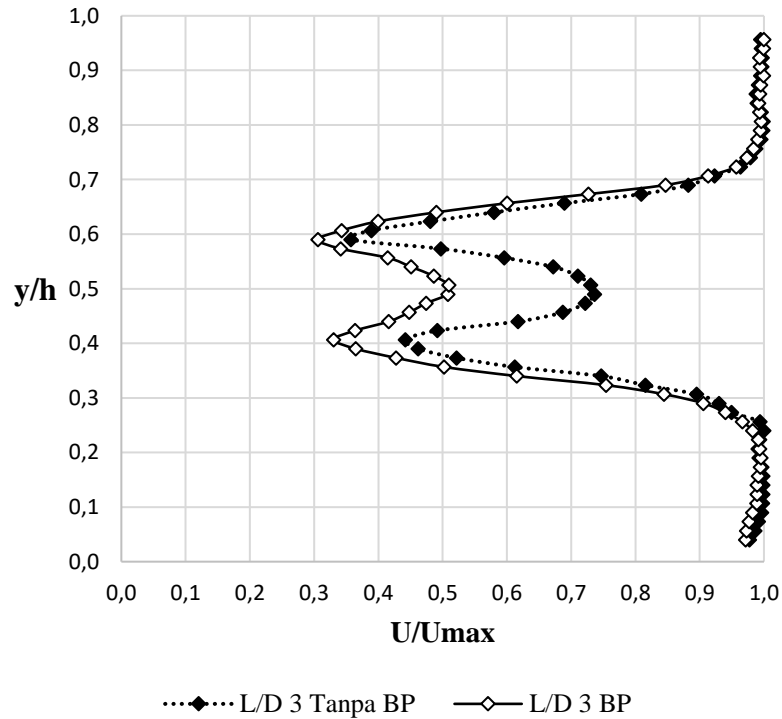


Gambar 6 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder 3 dengan dan tanpa bodi pengganggu 0° , 90° , dan 270° pada (L/D) 3

Lampiran 2. Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu 0°, 90°, dan 270° Terhadap Profil Kecepatan pada Variasi Jarak Longitudinal (L/D) 2 dan 3



Gambar 7 Grafik perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 2



Gambar 8 Grafik perbandingan profil kecepatan pada variasi jarak longitudinal (L/D) 3

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rizq Yafi Asyari, biasa dipanggil dengan nama yafi. Penulis dilahirkan di Surabaya, 30 Agustus 2000, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Ayah dan Ibu Penulis bernama Mochamad Asjari dan Rahma Arfianty. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Muhammadiyah 4 Surabaya, SMPN 4 Surabaya dan SMAN 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Mesin FTIRS - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 02111840000077.

Di Departemen Teknik Mesin Penulis aktif di beberapa kegiatan pelatihan, kepanitiaan, seminar, dan kuliah tamu yang diselenggarakan baik oleh Departemen hingga tingkat Institut, salah satu pelatihan yang pernah diikuti adalah Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Menengah (LKMM TM) yang diselenggarakan tingkat Institut di ITS. Penulis juga aktif dalam berorganisasi yaitu pada tahun 2019-2020 menjadi staf kewirausahaan di LDJ Ash-Shaff, dan staf departemen kesejahteraan mahasiswa di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HMM), dan pada tahun 2020-2021 penulis menjadi kepala departemen kesejahteraan mahasiswa di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HMM).

Kalimat semangat dari penulis adalah “Jangan menunggu mendapatkan *privilege*, namun ciptakan *privilege* di masa yang akan datang karena sukses berawal dari kemauan dan usaha.” menjadikan penulis semangat dan berusaha untuk senantiasa memberikan manfaat bagi keluarga, masyarakat sekitar, agama, almamater dan bangsa. Semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email rizqyafiasyari@gmail.com.