

TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI
TIGA SILINDER SIRKULAR YANG DISUSUN *STAGGER*
DENGAN PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU**

DENYTA KURNIA PUTRI

NRP 0211184000015

Dosen Pembimbing

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

NIP 197104051997021001

PROGRAM STUDI SARJANA

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI
TIGA SILINDER SIRKULAR YANG DISUSUN *STAGGER*
DENGAN PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU**

DENYTA KURNIA PUTRI
NRP. 0211184000015

Dosen Pembimbing
Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
NIP 198105292003122001

PROGRAM STUDI SARJANA

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - TM 184835

**EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS CROSSING
STAGGER THREE CIRCULAR CYLINDER WITH DISTURBANCE BODY**

DENYTA KURNIA PUTRI
NRP. 0211184000015

Advisory Lecturer
Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
NIP 198105292003122001

UNDERGRADUATE STUDY PROGRAM
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI TIGA SILINDER SIRKULAR YANG DISUSUN *STAGGER* DENGAN PENAMBAHAN BODI PENGANGGU

TUGAS AKHIR

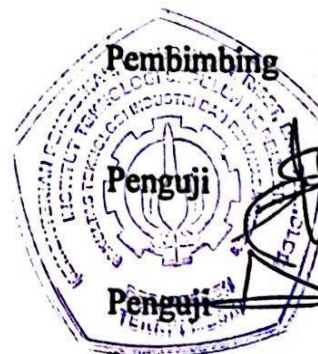
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **DENYTA KURNIA PUTRI**

NRP. 0211184000015

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



Penguji

SURABAYA

Juli, 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPROVAL SHEET

EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS CROSSING STAGGER THREE CIRCULAR CYLINDER WITH DISTURBANCE BODY

FINAL PROJECT

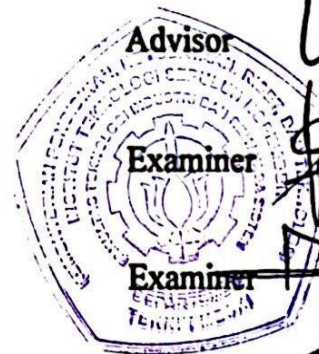
Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **DENYTA KURNIA PUTRI**

NRP. 0211184000015

Approved by Final Project Examiner Team:

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



Advisor

Examiner

Examiner

Examiner

SURABAYA

July, 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:



Nama mahasiswa / NRP : Denyta Kurnia Putri / 02111840000015
Departemen : S1-Teknik Mesin
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. / 197104051997021001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI TIGA SILINDER SIRKULAR YANG DISUSUN STAGGER DENGAN PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 21 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



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

Mahasiswa,


Denyta Kurnia Putri
NRP. 02111840000015

Halaman ini sengaja dikosongkan

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:


Name of student / NRP : Denyta Kurnia Putri / 02111840000015
Departement : Mechanical Engineering
Advisor / NIP : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. / 197104051997021001

Hereby declare that the Final Project with the title of “EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS CROSSING STAGGER THREE CIRCULAR CYLINDER WITH DISTURBANCE BODY” is 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, 21 July 2022

Acknowledged
Advisor,



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

Student,



Denyta Kurnia Putri
NRP. 02111840000015

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI TIGA SILINDER SINGKULAR YANG DISUSUN *STAGGER* DENGAN PENAMBAHAN BODI PENGGANGGU

Nama Mahasiswa / NRP : Denyta Kurnia Putri / 0211184000015
Departemen : Teknik Mesin FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

Abstrak

Ilmu mekanika fluida memegang peranan yang sangat penting dalam dunia keteknikan, dimana cakupan dan fenomena dari ilmu mekanika fluida tersebut sangat luas dan terus mengalami perkembangan. Salah satunya adalah fenomena mengenai saluran dan silinder yang dilalui oleh aliran fluida. Oleh karena itu peneliti sedang melakukan kajian tentang aliran yang melintasi silinder. Contoh nyata pengaplikasian dalam kehidupan sehari-hari adalah fluida yang mengalir di dalam maupun di luar *tube* pada *heat exchanger* serta konstruksi pipa bawah laut. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, hasilnya menunjukkan bahwa adanya gaya hambat yang timbul pada aliran tersebut, sehingga kembali dilakukan penelitian dengan metode eksperimen yang berguna untuk mengurangi gaya hambat pada tiga silinder sirkular dalam susunan *stagger* dengan penambahan bodi pengganggu.

Penelitian ini dilakukan pada terowongan angin (*wind tunnel*) dengan variasi rasio jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; 4 dan rasio jarak transversal (T/D) = 2 dengan diameter bodi pengganggu ($d = 4$ mm), serta diameter silinder utama ($D = 25$ mm) yang ditempatkan dalam saluran berpenampang *octagonal* dengan luas penampang ($H = 300$ mm, $W = 300$ mm, dan $X = 600$ mm). Penelitian ini diuji pada ($Re = 2,2 \times 10^4$), posisi bodi pengganggu ditempatkan pada ($\alpha = 0^\circ, 120^\circ$ dan 240°) dan jarak gap ($\delta = 0,4$ mm) terhadap silinder utama. Tekanan diukur menggunakan *pressure tap*, sedangkan profil kecepatan diukur menggunakan *pitot static tube* yang dipasang di belakang silinder sirkular.

Hasil dari eksperimen yang telah dilakukan yaitu terdapat reduksi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) paling tinggi pada silinder 2 (*downstream* atas) sebesar 1%-9% dan silinder 3 (*downstream* bawah) sebesar 10%-40% yang mana hal ini dipengaruhi oleh jarak (L/D) dan penambahan bodi pengganggu. Kemudian untuk nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada silinder 1 (*upstream*) mengalami peningkatan sebesar 93% pada jarak (L/D) = 1,5, sedangkan pada jarak longitudinal (L/D) = 2; 3; dan 4 mengalami penurunan sebesar 45%-3666%. Untuk silinder 2 dan 3 mengalami penurunan dan juga peningkatan pada jarak (L/D) tertentu. Sedangkan untuk nilai koefisien *drag total* (C_{DT}) sendiri mengalami penurunan pada semua jarak longitudinal (L/D) = 2-4 sebesar 26%-36%, sedangkan pada jarak (L/D) = 1,5 mengalami peningkatan sebesar 58%. Selain itu, juga terjadi efek *bistable* yang mana ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 2 dan 3 menunjukkan grafik asimetris antara *upper side* dan *lower side*. Hal ini terjadi pada semua jarak longitudinal (L/D) karena susunan pada silinder *downstream* memiliki jarak (T/D) = 2, dimana pada *area* tersebut memasuki *bistable area* dengan susunan *side by side*.

Kata kunci: bodi Pengganggu, *bluff body*, *drag pressure*, *drag total*, *lift pressure*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS CROSSING STAGGER THREE CIRCULAR CYLINDER WITH DISTURBANCE BODY

Student Name / NRP : Denyta Kurnia Putri / 0211184000015
Department : Mechanical Engineering INDSYS
Advisor : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

Abstract

Fluid mechanics plays a crucial role in engineering, where the scope and phenomenon of the discipline are undoubtedly broad and likely to evolve. One of the examples is the phenomenon of the duct and the cylinder through which the fluid flows. Scientists are currently doing research on the flow across the cylindrical. Real life implementation of this topic is the fluid that flows inside and outside heat exchanger tubes and underwater pipe construction. Based on previous research, drag force arises on the flow, hence, research with an experiment methodology designed to reduce the drag force on three circular cylinders with stagger position and additional interfering body needs to be done.

This research is conducted on subsonic open circuit wind tunnel with longitudinal distance ratio (L/D) = 1.5, 2, 3, and 4, respectively, and transversal distance ratio (T/D) = 2 with interfering body diameter (d = 4mm), and main cylinder diameter (D = 25 mm) located inside a duct with octagonal section with the dimension of (H = 300 mm, W = 300 mm, and X = 600 mm). This research is tested using (Re = 2.2×10^4), the interfering body is located on (α = 0° , 120° , and 240°) and gap distance (δ = 0,4 mm) to the main cylinder. Pressure measurement can be done using a pressure tap and velocity profile can be measured by a pitot static tube installed in front and behind a circular cylinder. Pressure can be measured by pressure tap, whilst velocity profile by pitot static tube installed on the back of the circular cylinder.

The results show that the coefficient drag pressure reduction (C_{DP}) is the highest on cylinder 2 (upper downstream) at 1%-9% and cylinder 3 (lower downstream) at 10%-40%, in consequence of the longitudinal distance (L/D) and the addition of disturbance body at 0° , 120° , and 240° . The coefficient lift pressure (C_{LP}) on cylinder 1 (upstream) escalates in 93% increment at distance (L/D) = 1.5 and drops by 45%-3666% in longitudinal distance (L/D) = 2; 3; and 4. Cylinder 2 and 3 experience reduction and addition on a certain longitudinal distance (L/D). The coefficient drag total (C_{DT}) increased at a longitudinal distance (L/D) = 1.5 by 58%, then for the longitudinal distance (L/D) = 2; 3; and 4 tend to decrease by 26%-46%. This also influenced by the longitudinal distance (L/D) and the addition of disturbance body. Furthermore, there is a bistable effect, indicated by an asymmetric graphic of coefficient pressure distribution between the upper and lower side of cylinder 2 and 3. This occurred at all longitudinal distance (L/D), as the result of the arrangement on downstream cylinders having a transversal distance of 2, where that area enters bistable area with a side by side arrangement.

Keywords: bluff body, disturbance body, drag pressure, drag total, lift pressure

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan berkah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Studi Eksperimen Karakteristik Aliran Melintasi Tiga Silinder Sirkular yang Disusunan *Stagger* dengan Penambahan Bodi Pengganggu**” sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS. Penulis banyak mendapatkan dukungan, baik secara moral maupun material dari berbagai pihak selama menyusun tugas akhir. Dengan demikian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orang tua penulis: **Bapak Munarto Kusnu Bagyo** dan **Ibu Sriwigati**, serta **Kakak Bagus Nugraha Atmaja**, atas dukungan dan doa yang tiada henti untuk penulis.
2. **Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas dedikasinya dalam memberikan arahan dan motivasi kepada penulis.
3. **Vivien Suphandani Djanali, S.T., M.E., Ph.D., Nur Ikhwan, S.T., M.Eng.**, dan **Prof. Dr. Ing. Herman Sasongko** selaku dosen penguji Sidang Tugas Akhir atas saran dan kritik yang membangun dalam menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.
4. **Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc.** selaku dosen wali penulis.
5. Staf dan karyawan Departemen Teknik Mesin atas bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama empat tahun berkuliah.
6. **Pak Banta Cut** dan **Pak Luthfi** Mahasiswa S3 yang membantu kelancaran tugas akhir penulis.
7. Teman seperjuanganku selama berkuliah sedari maba hingga menyelesaikan tugas akhir **Yafi, Tata**, dan **Aceng** yang selalu kebersamai baik suka dan duka penulis.
8. **Sandrina** dan **Niva** yang selalu menjadi teman curhat, menemani dan menghibur penulis untuk mencapai tujuan dari segala proses di perkuliahan ini.
9. Teman-teman **TANGGUH & PAMUNGKAS MERAH** (Falih, Dhani, Kanda, Hakim, Ghani, dan Kepnop) yang mewarnai hari penulis untuk selalu berpikir terstruktur.
10. Keluarga besar M61, Amanda Rosalina, Teman-teman HMM periode 2020-2021, pemandu FTI, SC Piston 2021, dan LKMM TM Peradaban FT-IRS ITS.
11. **Penghuni Simanu, Mas Yoga, Mas Wildan, Mas Joseph**, dan **Mas Fadhil Zein** yang menemani penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir dan saran-saran yang membangun sehingga membentuk diri penulis sampai seperti sekarang ini.
12. Warga Lab Mekanika dan Mesin-mesin Fluida yang guyub dan rukun untuk saling membantu menyelesaikan proses dari tugas akhir ini.

Tentunya banyak pihak yang tidak bisa disebutkan namanya satu per satu, penulis menyadari banyak kekurangan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis hendak memohon maaf dan penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi yang membacanya.

Surabaya, 20 Juli 2022

Penulis,

Denyta Kurnia Putri

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
APPROVAL SHEET	vi
PERNYATAAN ORISINALITAS	viii
STATEMENT OF ORIGINALITY	x
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiv
KATA PENGANTAR	xvi
DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxvi
DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN	xxviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Boundary Layer Theory</i> (Teori Lapis Batas)	6
2.2 Aliran Viscous dan Inviscid	6
2.3 Titik Separasi dan <i>Wake</i>	7
2.4 Drag	9
2.5 Lift	9
2.6 Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis	10
2.7 Penelitian Terdahulu	10
2.7.1 Pengurangan Gaya Hambat pada Silinder Sirkular dengan Pemasangan <i>Body</i> Pengganggu pada Sisi <i>Upstream</i>	10
2.7.2 Aliran Melintasi Dua Silinder Sirkular Tersusun Secara Tandem dengan Dua Bodi Pengganggu di Depan	14
2.7.3 Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan <i>Inlet Disturbance Body</i> (IDB) pada sudut 30° Terhadap Reduksi Gaya Hambat pada Tiga Silinder Sirkular Dengan Susunan <i>Stagger</i>	16
2.7.4 Reduksi Gaya Hambat pada Silinder Sirkular dalam Sebuah Aliran Udara	16

2.7.5	Studi Eksperimen Aliran Melintasi Tiga Silinder Sirkular dengan Susunan Segitiga Sama Sisi	17
2.7.6	Karakteristik Aliran Melintasi Dua Silinder yang Tersusun Tandem	19
2.8	Rangkuman Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODOLOGI		21
3.1	Skema Penelitian	22
3.2	Parameter yang diukur	22
3.2.1	Analisa Grup Tak Berdimensi Untuk Koefisien Tekanan pada Silinder	22
3.3	Peralatan	23
3.3.1	Terowongan Angin (<i>wind tunnel</i>)	23
3.3.2	Skema Profil Kecepatan	24
3.3.3	Benda Uji	25
3.4	Prosedur Pengambilan Data	27
3.5	Data Percobaan	28
3.6	Tahapan Eksperimen	30
3.7	Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV Hasil dan Pembahasan		33
4.1	Analisis Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Silinder Sirkular Tunggal	34
4.2	Analisis Distribusi Koefisien Tekanan pada Tiga Silinder Sirkular dengan Susunan Stagger	35
4.2.1	Analisis Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Tiga Silinder Sirkular yang Disusun Stagger Tanpa Bodi Pengganggu	35
4.2.2	Analisis Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Tiga Silinder Sirkular yang Disusun Stagger Dengan Bodi Pengganggu	38
4.3.	Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun Stagger dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu	41
4.3.1	Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun Stagger dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu pada Jarak (L/D) = 1,5	41
4.3.2	Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun <i>Stagger</i> dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu pada Jarak (L/D) = 4	45
4.4	Profil Kecepatan di Belakang Tiga Silinder Sirkular Dengan Susunan <i>Stagger</i>	48
4.4.1	Profil Kecepatan di Belakang Tiga Silinder Sirkular Dengan Susunan <i>Stagger</i> Tanpa Bodi Pengganggu	48
4.4.2	Profil Kecepatan di Belakang Tiga Silinder Sirkular Susunan <i>Stagger</i> Dengan Penambahan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$	49

4.5 Analisis Distribusi Koefisien Drag Pressure, Koefisien <i>Lift pressure</i> , dan Koefisien <i>Drag total</i> pada Tiga Silinder Sirkular yang Disusun <i>Stagger</i>	50
4.5.1 Analisis Distribusi Koefisien <i>Drag pressure</i> (C_{DP}) 3 Silinder sirkular susunan <i>stagger</i> Tanpa Bodi Pengganggu	50
4.5.2 Analisis Distribusi Koefisien <i>Drag pressure</i> (C_{DP}) 3 Silinder sirkular susunan <i>stagger</i> dengan Penempatan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$	51
4.5.3 Analisis Pengaruh Jarak L/D dan Penempatan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ terhadap Distribusi Koefisien <i>Drag pressure</i> (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i>	52
4.5.4 Analisis Distribusi Koefisien <i>Lift pressure</i> (C_{LP}) 3 Silinder Tanpa Bodi Pengganggu	54
4.5.5 Analisis Distribusi Koefisien <i>Lift pressure</i> (C_{LP}) 3 Silinder sirkular susunan <i>stagger</i> dengan Penempatan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$	55
4.5.6 Analisis Pengaruh Jarak (L/D) dan Penempatan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ terhadap Distribusi Koefisien <i>Lift pressure</i> (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i>	56
4.5.7 Analisis Distribusi Koefisien <i>Drag total</i> (C_{DT}) pada tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i>	57
4.6 Diskusi	58
4.6.1 Pengaruh (C_P) base Terhadap Nilai Koefisien Tekanan (C_P) Silinder 2 Tanpa Bodi Pengganggu	58
4.6.2 Perbandingan Nilai Koefisien <i>Drag Pressure</i> (C_{DP}) dan Nilai Koefisien <i>Lift Pressure</i> (C_{LP}) Tanpa Bodi Pengganggu	59
4.6.3 Efek Pola <i>Bistable</i> yang Terjadi Pada Silinder 2 (<i>Downstream</i> Atas) dan Silinder 3 (<i>Downstream</i> Bawah)	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	67
BIODATA PENULIS	71

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema teori lapis batas (Pritchard & Leylegian, 2011)	6
Gambar 2. 2 Skema aliran (a) <i>inviscid</i> dan (b) <i>viscous</i> (Pritchard & Leylegian, 2011)	7
Gambar 2. 3 Aliran <i>viscous</i> pada airfoil (Incropera et al., 2011)	8
Gambar 2. 4 <i>Pressure gradient</i> dalam <i>boundary layer</i> (Pritchard & Leylegian, 2011)	8
Gambar 2. 5 Nilai C_D untuk objek tiga dimensi (Cengel & Cimbala, 2006)	9
Gambar 2. 6 Visualisasi aliran pada daerah antara bodi pengganggu dan silinder untuk $d/D = 0.2333$ (a) $(L/D) = 2$ mm (b) $(L/D) = 2.08$ mm (c) $(L/D) = 2.5$ mm (d) $(L/D) = 3$ mm (Lee et al., 2004)	11
Gambar 2. 7 Visualisasi aliran pusaran di belakang silinder utama untuk $(d/D) = 0.233$ (a) tanpa bodi pengganggu (b) $(L/D) = 2$ mm (c) $(L/D) = 3$ mm (Lee et al., 2004)	12
Gambar 2. 8 Efek kontrol diameter bodi pengganggu pada distribusi tekanan pada silinder (a) $(L/D) = 1,5$; (b) $(L/D) = 2,17$ (Lee et al., 2004)	12
Gambar 2. 9 Hubungan antara rasio gap dengan rasio diameter pada C_D (Lee et al., 2004)	13
Gambar 2. 10 Hubungan antara rasio diameter dengan rasio diameter dengan rasio gap pada C_D (Lee et al., 2004)	14
Gambar 2. 11 Penempatan Bodi Pengganggu (Alam et al., 2003)	14
Gambar 2. 12 Grafik distribusi tekanan (Alam et al., 2003)	15
Gambar 2. 13 Ilustrasi <i>wide wake</i> dan <i>narrow wake</i> (Alam et al., 2003)	15
Gambar 2. 14 Grafik Distribusi Coefficient Drag Pressure (a) Tanpa Bodi Pengganggu (b) IDB 30° (Cut et al., 2019)	16
Gambar 2. 15 Total <i>drag coefficient</i> (Tsutsui & Igarashi, 2002)	17
Gambar 2. 16 Konfigurasi tiga silinder sirkular di dalam susunan segitiga sama sisi	17
Gambar 2. 17 Distribusi tekanan pada silinder sirkular A,B, dan C di dalam susunan segitiga sama sisi ($N/d = 1,7$) dan $Re = 5,5 \times 10^4$ (Gu & Sun, 2001)	18
Gambar 2. 18 drag coefficient A,B, dan C; $a=1,7$; $b=2,2$; $c=2,5$; $d=4$ (Gu & Sun, 2001)	18
Gambar 2. 19 Daerah <i>interference</i> aliran pada struktur silinder (Zdravkovich, 1987)	19
Gambar 2. 20 Pola interferensi aliran dua struktur silinder dengan susunan <i>side-by-side</i> , <i>tandem</i> , dan <i>staggered</i> (Zdravkovich, 1987)	19
Gambar 3. 1 Skema Penelitian	22
Gambar 3. 2 <i>Wind Tunnel</i>	24
Gambar 3. 3 Instalasi untuk mencari profil kecepatan	25
Gambar 3. 4 Profil kecepatan	25
Gambar 3. 5 Silinder sirkular	25
Gambar 3. 6 Bodi pengganggu	26
Gambar 3. 7 <i>Inverter</i>	26
Gambar 3. 8 <i>Pitot static tube</i>	27
Gambar 3. 9 <i>Inclide Manometer</i> 15°	27
Gambar 3. 10 Diagram alir penelitian	32
Gambar 4. 1 Perbandingan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular tunggal ekperimental dengan Lee,et al.2004	35

Gambar 4. 2 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 1 (<i>upstream</i>) tanpa bodi pengganggu	36
Gambar 4. 3 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (<i>downstream</i> atas) tanpa bodi pengganggu	37
Gambar 4. 4 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (<i>downstream</i> bawah) tanpa bodi pengganggu	38
Gambar 4. 5 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 1 (<i>upstream</i>) dengan bodi pengganggu	39
Gambar 4. 6 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (<i>downstream</i> atas) dengan bodi pengganggu	40
Gambar 4. 7 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (<i>downstream</i> bawah) dengan bodi pengganggu	41
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 1	42
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 2	44
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 3	45
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 4 dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 1	46
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 4 dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 2	47
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 4 dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 3	48
Gambar 4. 14 Grafik profil kecepatan di belakang tiga silinder sirkular pada susunan <i>stagger</i> tanpa bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4	49
Gambar 4. 15 Grafik profil kecepatan di belakang tiga silinder sirkular susunan <i>stagger</i> dengan penambahan bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4	50
Gambar 4. 16 Grafik Koefisien <i>Drag pressure</i> (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i> tanpa bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)	51
Gambar 4. 17 Grafik Koefisien <i>Drag pressure</i> (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i> dengan penempatan bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)	52
Gambar 4. 18 Grafik Koefisien <i>Drag pressure</i> (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penempatan bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D) (a) silinder 1 (b) silinder 2 (c) silinder 3	54
Gambar 4. 19 Grafik Koefisien <i>lift pressure</i> (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i> tanpa bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)	55
Gambar 4. 20 Grafik Koefisien <i>Lift pressure</i> (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i> dengan Penempatan Bodi Pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)	55

Gambar 4. 21 Grafik Koefisien <i>Lift pressure</i> (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penempatan bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D) (a) silinder 1 (b) silinder 2 (c) silinder 3	57
Gambar 4. 22 Grafik distribusi koefisien <i>drag</i> total (C_{DT}) pada susunan <i>stagger</i> tanpa bodi pengganggu dan dengan bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4	58
Gambar 4. 23 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dengan susunan <i>stagger</i> dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 2	59
Gambar 4. 24 Grafik perbandingan koefisien <i>drag pressure</i> tanpa bodi pengganggu	60
Gambar 4. 25 Grafik perbandingan koefisien <i>lift pressure</i> tanpa bodi pengganggu	60
Gambar 4. 26 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder atas dan bawah susunan <i>side by side</i> tanpa bodi pengganggu (Alam et al., 2003)	61
Gambar 4. 27 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (<i>downstream</i> atas) dengan bodi pengganggu	62
Gambar 4. 28 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (<i>downstream</i> bawah) dengan bodi pengganggu	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3. 1 Spesifikasi inverter	26
Tabel 3. 2 Tahapan eksperimen	30

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

A	<i>Reference area</i>
β	Sudut rotasi silinder utama (derajat)
C_D	Koefisien <i>drag</i>
C_{DF}	Koefisien <i>drag force</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 <i>pressure</i> pada kontur
d	Diameter disturbance body (mm)
D	Diameter silinder sirkular utama (mm)
δ	Jarak antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama
d/D	Rasio diameter bodi pengganggu dengan diameter silinder
δ/D	Rasio jarak <i>gap</i> dengan silinder sirkular utama
D_P	<i>Pressure drag</i>
F_d	Drag force
g	Gravitasi (m/s^2)
H	Lebar <i>test section wind tunnel</i> (m)
IDB	<i>Inlet Disturbance Body</i>
IT	Intensitas Turbulensi
L	Jarak Longitudinal
L/D	Rasio jarak longitudinal
N	Jarak antara pusat silinder (mm)
N/D	Rasio jarak pusat antar silinder
P	Tekanan statis
P_∞	Tekanan statis <i>freestream</i>
P_0	Tekanan stagnasi
ρ	Massa jenis udara ($kg.m^3$)
θ	Sudut kontur silinder (derajat)
Re	Bilangan Reynolds
Red	Bilangan Reynolds diametrikal
T	Jarak transversal (mm)
T/D	Rasio jarak transversal
U	Kecepatan lokal aliran fluida (m/s)
U_0	Kecepatan stagnasi (m/s)
U_∞	Kecepatan <i>freestream</i> (m/s)
ν	Viskositas kinematik fluida
W	Lebar <i>test section wind tunnel</i> (mm)
X	Panjang <i>test section wind tunnel</i> (mm)
z	Ketinggian (mm)
α	Sudut bodi pengganggu (derajat)
μ	Viskositas udara ($N.s/m^2$)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ilmu mekanika fluida memegang peranan yang sangat penting dalam dunia keteknikan, dimana cakupan dan fenomena dari ilmu mekanika fluida tersebut sangat luas dan terus mengalami perkembangan. Salah satunya adalah fenomena mengenai saluran dan silinder yang dilalui oleh aliran fluida. Saat ini peneliti sedang melakukan kajian tentang aliran yang melintasi susunan *bluff body* berbentuk silinder. *Bluff body* sendiri merupakan topik yang berkembang setelah adanya penemuan konsep *boundary layer* (lapis batas) pada tahun 1904 oleh Ludwig Prandtl (Pritchard & Leylegian, 2011). Dalam penemuan konsep tersebut, Ludwig menjelaskan bahwa lapis batas yang terbentuk di sekitar aliran fluida di dekat permukaan tersebut mengakibatkan gesekan yang terjadi secara signifikan. Contoh nyata pengaplikasian dalam kehidupan sehari-hari adalah fluida yang mengalir di dalam maupun di luar *tube* pada *heat exchanger* serta konstruksi pipa bawah laut.

Dalam pengaplikasian silinder sirkular seringkali menimbulkan tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear stress*). Tegangan normal bisa terjadi ketika terdapat tekanan dari fluida yang melintasi *bluff body*, sedangkan tegangan geser terjadi apabila adanya pengaruh viskositas dari fluida yang melintasi *bluff body*. *Bluff body* yang dilingkupi oleh fluida dapat menimbulkan dua gaya, yaitu gaya *drag* dan *lift*, dimana kedua gaya tersebut dipengaruhi oleh letak titik separasi pada bodi. Dalam konstruksi dunia teknik kebanyakan akan memilih menggunakan geometri yang memiliki gaya *drag* yang lebih kecil. Dengan gaya *drag* yang kecil atau telah direduksi sangat bermanfaat untuk peningkatan efisiensi dari bangunan konstruksi yang dirancang.

Salah satu metode dalam mengendalikan aliran ialah *passive flow control* atau pengendalian aliran pasif, dimana pengendalian aliran pasif yaitu dengan cara menambahkan kekasaran permukaan berupa *bluff body*, oleh karena itu dilakukan penambahan bodi pengganggu (*disturbance body*) yang tersusun *stagger* untuk mengendalikan aliran pasif dan mereduksi gaya hambat pada silinder sirkular. Untuk mereduksi nilai gaya hambat adalah dengan menunda terjadinya separasi aliran. Penundaan titik separasi telah membuat *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular menjadi lebih kecil, *wake* yang mengecil inilah yang menyebabkan terjadinya pengurangan gaya hambat.

Hasil penelitian oleh (Lee et al., 2004) membahas mengenai pengurangan gaya hambat pada silinder sirkular dengan pemasangan bodi pengganggu pada sisi *upstream*. Bilangan Reynolds yang digunakan pada penelitian tersebut adalah 2×10^4 . Adapun dimensi dari diameter silinder utama, $D = 30$ mm. Sedangkan, untuk diameter bodi pengganggu, $d/D = 0,1333$ sampai $0,267$. Penelitian ini menunjukkan bahwa silinder utama yang terletak di daerah pembentukan *vortex* di belakang bodi pengganggu, dapat menyebabkan penurunan substantial dalam tekanan. Hal ini pula yang menyebabkan reduksi terhadap gaya hambat yang bekerja pada silinder utama. Pengurangan gaya hambat yang terjadi sampai dengan 29% jika dibandingkan tanpa menggunakan bodi pengganggu. Pengurangan ini terjadi ketika diameter $d/D = 0,2333$.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh (Alam et al., 2003) mengenai pengurangan gaya fluida yang bekerja pada silinder tunggal dan dua silinder sirkular dengan menggunakan bodi pengganggu. Variasi pada penelitian ini adalah menggunakan bilangan Reynolds $5,5 \times 10^4$. Diameter bodi pengganggu yang digunakan adalah $d/D = 4,5$ mm sampai dengan 6 mm, dengan diameter silinder tunggal $D = 49$ mm. Dalam kasus silinder

tunggal, posisi sudut optimal dari penempatan bodi pengganggu dengan diameter $d/D = 5$ mm adalah terletak pada sudut 30° . Pada sudut ini pula terjadi pengurangan *Coefficient Drag*, *Coefficient Drag Force*, *Coefficient Lift Force* (C_D , C_{DF} , dan C_{LF}) masing-masing sebesar 67%, 61%, dan 87%.

Penelitian lainnya yaitu mengenai pengaruh penambahan *Inlet Disturbance Body* (IDB) pada sudut 30° terhadap pengurangan kekuatan inhibitor pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*. Adapun variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah $(L/D) = 2$ dengan diameter silinder utama, $D = 25$ mm dan $(T/D) = 1.5; 2; 3; \text{ dan } 4$. IDB ditempatkan pada *upper* dan *lower side* dari silinder *upstream*, untuk bilangan Reynolds yang digunakan sebesar $2,2 \times 10^4$. Hasil dari penelitian ini ialah terdapat perbedaan C_P yang signifikan antar silinder pada jarak $(T/D) = 1,5$, yang mana kondisi tersebut disebabkan oleh efek *bistable*. Untuk jarak $(T/D) = 3$ dan 4 distribusi C_P lebih stabil. Penambahan IDB pada sudut 30° dapat mengurangi *Coefficient Drag Pressure* (C_{DP}) sebesar 36-53% untuk silinder *upstream*, pada semua variasi jarak T/D (Cut et al., 2019).

Terdapat penelitian mengenai reduksi gaya hambat pada silinder sirkular dalam sebuah aliran udara. Variasi bilangan Reynolds sebesar $1,5 \times 10^4$ hingga $6,2 \times 10^4$. Untuk dimensi dari diameter silindernya ialah $D = 40$ mm, sedangkan untuk diameter bodi pengganggunya adalah $d/D = 1-10$ mm. Variasi gap antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama berada pada rentang 50 mm – 120 mm. Hasil penelitian tersebut adalah penurunan tekanan gaya hambat sebagian besar didominasi oleh bilangan Reynolds. Kondisi optimum pada penelitian ini terjadi pada $d/D = 0,25$ dan $(L/D) = 1,75-2$. Pada penempatan tersebut, nilai gaya hambat dapat ditekan hingga 63% jika dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa bodi pengganggu (Tsutsui & Igarashi, 2002)

Penelitian yang dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) tentang pola aliran pada tiga silinder sirkular dengan susunan segitiga sama sisi. Pengujian dilakukan pada wind tunnel besar dengan sistem tertutup pada bilangan Reynolds sebesar $5,5 \times 10^4$, dengan variasi silinder sirkular $(N/d) = 1,7$ sampai dengan $4,0$. Fenomena aliran diteliti untuk melihat pengaruh distribusi tekanan (C_P) dan koefisien drag (C_D) pada ketiga silinder sirkular.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, maka peneliti mencoba melakukan penelitian terbaru terhadap aliran yang melintasi tiga silinder sirkular dalam susunan *stagger* dengan memasang tiga bodi pengganggu (BP) di sekeliling silinder *upstream*. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan terowongan angin (*wind tunnel*) tipe *open circuit subsonic*.

1.2 Rumusan Masalah

Bluff body memiliki beberapa tipe, salah satu tipe *bluff body* yang sering digunakan dalam aplikasi teknik adalah silinder sirkular. Sebuah *bluff body* yang dilalui oleh aliran fluida yang mengalir di sekelilingnya akan membentuk suatu *boundary layer*. *Boundary layer* sendiri merupakan suatu garis imajiner yang mana akan menjadi batas dari aliran yang dipengaruhi oleh viskositas atau yang disebut *viscous flow* dan aliran yang tidak dipengaruhi oleh viskositas yang disebut *inviscid flow*. Pada saat kondisi *inviscid flow* tegangan geser dianggap nol (tidak bernilai), sedangkan pada kondisi *viscous flow* terjadi efek gesekan, yang pertama yaitu ketika fluida bergesekan dengan *solid surface* nya maka akan terbentuk *boundary layer*, sedangkan ketika fluida bergesekan dengan fluida itu sendiri maka akan terbentuk *shear layer*. Jika momentum aliran tidak mampu melawan efek gesekan dan *adverse pressure* maka *shear layer* akan mengalami pemisahan dari kontur dan akan terjadi separasi aliran, Jika separasi aliran terjadi lebih awal, maka akan mengakibatkan *wake* yang lebar sehingga gaya *drag* pada silinder besar. Untuk mereduksi nilai gaya hambat fluida, separasi aliran harus ditunda ke belakang.

Dengan menunda separasi aliran ke belakang akan mengakibatkan transisi aliran fluida dari laminar menjadi turbulen semakin dipercepat. Jika transisi aliran yang terjadi semakin cepat, maka *wake* yang terbentuk akan semakin sempit. *Wake* yang semakin sempit akan menimbulkan nilai gaya hambat yang semakin kecil pula. Untuk mencapai hal itu dapat dilakukan dengan *passive flow control* dengan penambahan bodi pengganggu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan penambahan tiga *disturbance body* berbentuk silinder sirkular dengan pengaturan sudut ($\alpha = 0^\circ, 120^\circ$ dan 240°) yang ditempatkan pada silinder sirkular sisi *upstream* pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*. Penempatan sudut yang berbeda ini diharapkan mampu untuk memberikan efek pada interaksi aliran antara silinder 1 (*upstream*) dengan silinder 2 (*downstream* atas) dan silinder 3 (*downstream* bawah). Ketika aliran dari silinder 1 terseparasi maka akan menimbulkan efek pada saat *re-attach* pada silinder *downstream* dan akan mempercepat turbulensi aliran. Ketika aliran semakin turbulen maka aliran tersebut mampu melawan efek gesekan dan *adverse pressure*, hal tersebut yang bisa menyebabkan penundaan titik separasi karena *wake* yang akan terbentuk semakin kecil dan gaya hambat yang timbul juga akan kecil.

Penempatan silinder sirkular dengan variasi jarak longitudinal (L/D) dan jarak transversal (T/D) 2 memberikan efek *bistable* pada aliran di belakang silinder *downstream*, yang mana pada jarak (T/D) memasuki *bistable area* dengan susunan *side by side*. Penambahan bodi pengganggu diharapkan mampu memberikan pola efek *bistable* yang berbeda dibandingkan tanpa bodi pengganggu. Penelitian ini menggunakan *disturbance body* dengan pengaturan sudut ($\alpha = 0^\circ, 120^\circ$ dan 240°) yang ditempatkan pada silinder sirkular sisi *upstream*, dengan tujuan untuk membedakan karakteristik *free shear layer* yang dihasilkan dari penempatan sudut yang berbeda. Variasi jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; 4 dengan diameter bodi pengganggu (d=4mm), diameter silinder sirkular utama (D=25 mm), rasio diameter (d/D= 0,16), dan jarak transversal (T/D) = 2. Penelitian ini akan dilakukan secara eksperimental pada *open circuit subsonic wind tunnel* dengan dimensi (H= 300 mm, W= 300 mm, dan X= 600 mm). Bilangan Reynolds yang digunakan berdasarkan silinder sirkular adalah sebesar ($Re = 2,2 \times 10^4$). Pada penelitian ini bertujuan untuk mereduksi gaya hambat dan menganalisis distribusi koefisien tekanan (C_p), koefisien *drag pressure* (C_{DP}), koefisien *lift pressure* (C_{LP}), koefisien *drag total* (C_{DT}), dan profil kecepatan di daerah *wake downstream cylinder*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Perpindahan panas yang terjadi karena gesekan antara aliran dengan benda uji dan dinding dari terowongan angin (*wind tunnel*) diabaikan.
2. Fluida yang mengalir di dalam terowongan angin (*wind tunnel*) dalam kondisi *steady flow* dan *uniform flow* pada sisi *upstream*, juga bersifat *incompressible flow*.
3. Kecepatan terowongan angin (*wind tunnel*) dianggap konstan dengan bilangan Reynolds $Re = 2,2 \times 10^4$.
4. Benda kerja berupa tiga silinder sirkular dengan tiga *disturbance body* berupa silinder sirkular dengan kondisi permukaan polos.
5. Variasi rasio diameter (d/D) = 0,16, diameter silinder sirkular (D) = 25 mm, rasio jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; 4 dan rasio jarak transversal (T/D) = 2 dengan penempatan sudut ($\alpha = 0^\circ, 120^\circ$ dan 240°) dan jarak ($\delta = 0,4$ mm).
6. Diameter silinder pengganggu (d=4mm) dan silinder utama (D=25mm) dalam saluran berpenampang *octagonal* dengan dimensi (H= 300 mm, W= 300 mm, dan X= 600 mm).
7. Kekasaran permukaan pada silinder sirkular diabaikan.

1.4 Tujuan

Penelitian ini berguna untuk menjelaskan fenomena yang terjadi akibat penambahan bodi pengganggu pada silinder sirkular dengan susunan *stagger*. Silinder sirkular yang tersusun *stagger* tersebut berada dalam saluran berpenampang *octagonal* dengan variasi jarak (L/D) = 1,5; 2; 3; 4. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Pada permukaan silinder bertujuan untuk mengetahui pola aliran pada bagian *upstream* serta *downstream* atas dan bawah pada silinder sirkular untuk menganalisa koefisien *pressure* (C_p).
2. 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. Menganalisis distribusi kecepatan pada daerah *wake* (di belakang) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* dan menghitung koefisien *drag* total (C_{DT}).

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

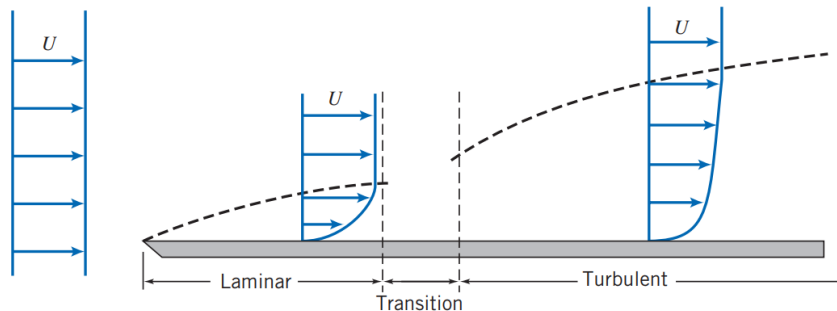
1. Memberikan pengetahuan secara kualitatif dan kuantitatif mengenai karakteristik aliran fluida yang mengalir melalui tiga silinder sirkular dengan penambahan *disturbance body* dalam saluran berpenampang *octagonal*.
2. Memberikan penjelasan tentang adanya pengaruh penempatan sudut bodi pengganggu terhadap penurunan koefisien *drag pressure* pada saluran berpenampang *octagonal*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa referensi terkait yang digunakan pada penelitian ini. Dimana referensi yang digunakan bersumber dari buku teks, jurnal, dan disertasi.

2.1 *Boundary Layer Theory* (Teori Lapis Batas)

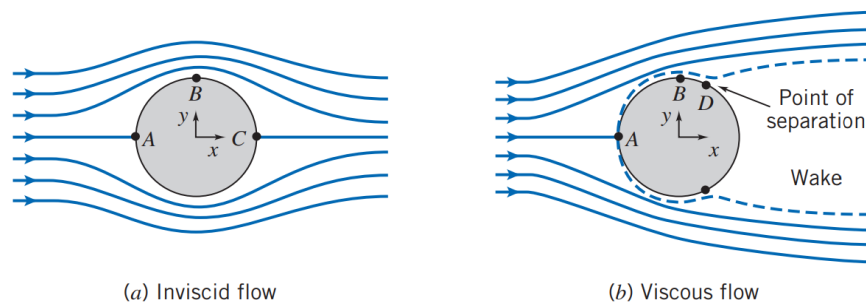
Boundary layer theory (teori lapis batas) adalah teori yang pertama kali diperkenalkan oleh Ludwig Prandtl pada tahun 1904. Dalam teori tersebut dijelaskan bahwa sebuah lapis batas akan terbentuk apabila fluida melintasi suatu permukaan dan bergesekan antara permukaan padat dengan fluida tersebut. Oleh karena itu, semakin jauh permukaan padat dengan pengaruh gaya gesek, maka semakin kecil pengaruh gaya gesek yang mempengaruhi hingga disebut tidak ada gaya gesek yang berpengaruh. Daerah yang tidak dipengaruhi adanya gaya gesek disebut *free stream*. Sama halnya dengan aliran yang berada pada saluran, aliran dalam lapisan batas mungkin laminar dan turbulen. Faktor-faktor yang mempengaruhi transisi lapis batas adalah gradien tekanan, kekasaran permukaan, perpindahan panas, *body forces*, dan *freestream disturbance*. Dalam kehidupan nyata, lapisan batas berkembang pada lapisan yang panjang dan pada dasarnya berada pada permukaan plat datar. Untuk aliran *incompressible* di atas plat datar halus memiliki gradien tekanan nol sehingga tidak terjadi perpindahan panas. Berikut merupakan ilustrasi dari teori lapis batas.



Gambar 2. 1 Skema teori lapis batas (Pritchard & Lylegian, 2011)

2.2 Aliran Viscous dan Inviscid

Pada sub bab ini dijelaskan perbedaan mengenai aliran *viscous* dan *inviscid*. Aliran *viscous* adalah aliran yang memiliki koefisien viskositas karena adanya gaya gesek yang timbul secara signifikan. Sedangkan, aliran *inviscid* adalah aliran yang nilai koefisien viskositasnya diasumsikan nol ($\mu = 0$). Meskipun, pada kenyataannya tidak ada nilai nol dalam koefisien viskositas. Berikut merupakan ilustrasi antara aliran *viscous* dan *inviscid*.



Gambar 2. 2 Skema aliran (a) *inviscid* dan (b) *viscous* (Pritchard & Leylegian, 2011)

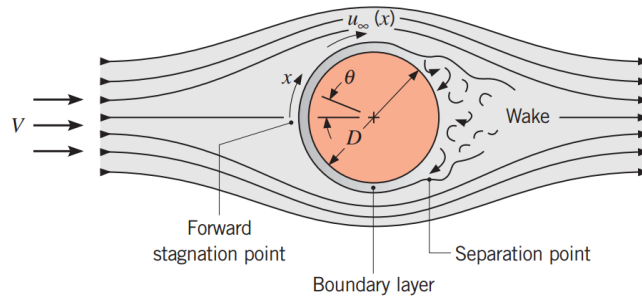
Pada gambar 2.2 (a) yaitu aliran *inviscid* terlihat bahwa garis aliran simetris dari arah depan ke belakang silinder. Hal ini disebabkan karena masa aliran antara garis aliran tersebut konstan. Oleh sebab itu, dapat terlihat bahwa kecepatan di sekitar titik A dan C relatif rendah, dan di titik B akan tinggi. Pada kenyataannya, udara akan berhenti pada titik A dan C. Titik A dan C disebut dengan titik stagnasi. Distribusi tekanan pada silinder memiliki bentuk simetris dari depan ke belakang, dan tidak memiliki gaya gesek karena tekanan. Karena aliran *inviscid* maka kemungkinan terjadinya gaya hambat relatif kecil, sehingga koefisien viskositasnya diasumsikan nol ($\mu = 0$).

Pada gambar 2.2 (b) adalah aliran *viscous* dimana diilustrasikan pada gambar 2.2 titik A adalah titik stagnasi yang mana aliran melewati silinder sirkular dan selanjutnya akan terbentuk *boundary layer*. Dari titik A menuju titik B terjadi kenaikan kecepatan yang mengakibatkan penurunan tekanan dari titik B ke titik D. Pada titik D momentum aliran tidak cukup melawan adverse pressure gradient dan tegangan geser. Titik D disebut titik separasi. Daerah antara kedua titik separasi disebut daerah *wake*. Semakin besar *wake* yang terbentuk maka semakin besar pula perbedaan tekanan baik di depan maupun belakang silinder. Dengan begitu, gaya *drag* yang timbul akan semakin besar.

2.3 Titik Separasi dan *Wake*

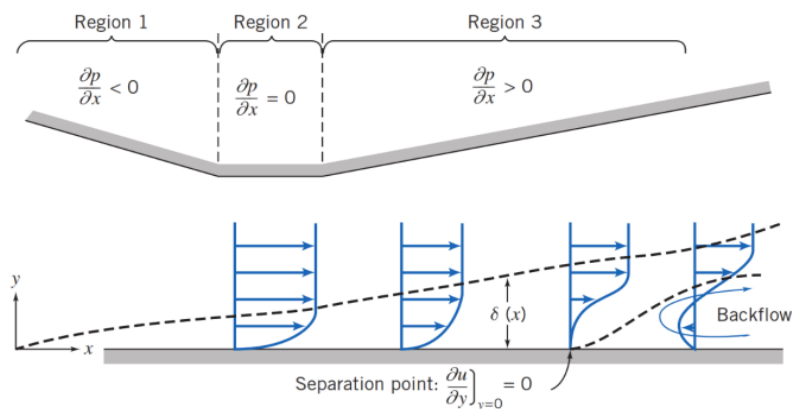
Pada umumnya, aliran eksternal melibatkan gerakan fluida yang normal terhadap sumbu lingkaran silinder. Pada gambar 2.3 aliran *free stream* melintas untuk kemudian berhenti di depan titik stagnasi diiringi dengan kenaikan tekanan. Dari titik ini, tekanan akan menurun seiring dengan meningkatnya x , koordinat *streamline*, dan lapis batas di bawah pengaruh gradien tekanan ($dp/dx < 0$). Tekanan mencapai titik minimum, dan menuju bagian belakang silinder sehingga menyebabkan *adverse pressure gradient*. Pada gambar 2.4 perbedaan antara kecepatan pada sisi *upstream*, tidak sama seperti keadaan pada plat datar alam aliran paralel ngan kecepatan yang berbeda, dengan kecepatan u bergantung pada jarak x dari titik stagnasi.

Dari persamaan Euler untuk aliran *inviscid*, $u_\infty(x)$ menunjukkan perilaku yang berlawanan dengan dari $p(x)$. Yang berarti bahwa dari $u_\infty = 0$ menunjukkan titik stagnasi. Setelah mencapai kecepatan maksimum, kecepatan akan turun kembali dengan kenaikan tekanan ($\frac{du_\infty}{dx} < 0$ & $\frac{dp}{dx} > 0$) dan kecepatan akan turun hingga bernilai nol. Pada titik tersebut dinamakan dengan titik separasi. Fluida di dekat permukaan tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengatasi *adverse pressure*. Aliran di daerah ini ditandai dengan pembentukan pusaran dan sangat tidak teratur. Terjadinya transisi *boundary layer* bergantung pada bilangan Reynolds dan berpengaruh pada letak titik separasi. Karena momentum fluida dalam lapis batas turbulen lebih besar daripada momentum fluida dalam lapis batas laminar, maka diharapkan transisi yang terjadi untuk menunda terjadinya pemisahan.



Gambar 2. 3 Aliran *viscous* pada airfoil (Incropera et al., 2011)

Gambar 2.3 mengilustrasikan transisi lapis batas yang terjadi. Proses di atas sangat mempengaruhi gaya *drag* (F_d) yang bekerja pada silinder. Gaya ini memiliki dua komponen, salah satunya adalah karena tegangan geser pada permukaan lapis batas. Komponen lainnya yang menyusun juga adalah karena terjadinya perbedaan tekanan dalam aliran arah yang dihasilkan sehingga membentuk *drag* atau gaya hambat. Pada aliran laminar, titik separasi terjadi pada $\theta = 80^\circ$, sedangkan aliran transisi atau turbulensi titik separasi menjadi tertunda ke bagian belakang silinder ($\theta = 140^\circ$).



Gambar 2. 4 *Pressure gradient* dalam *boundary layer* (Pritchard & Leylegian, 2011)

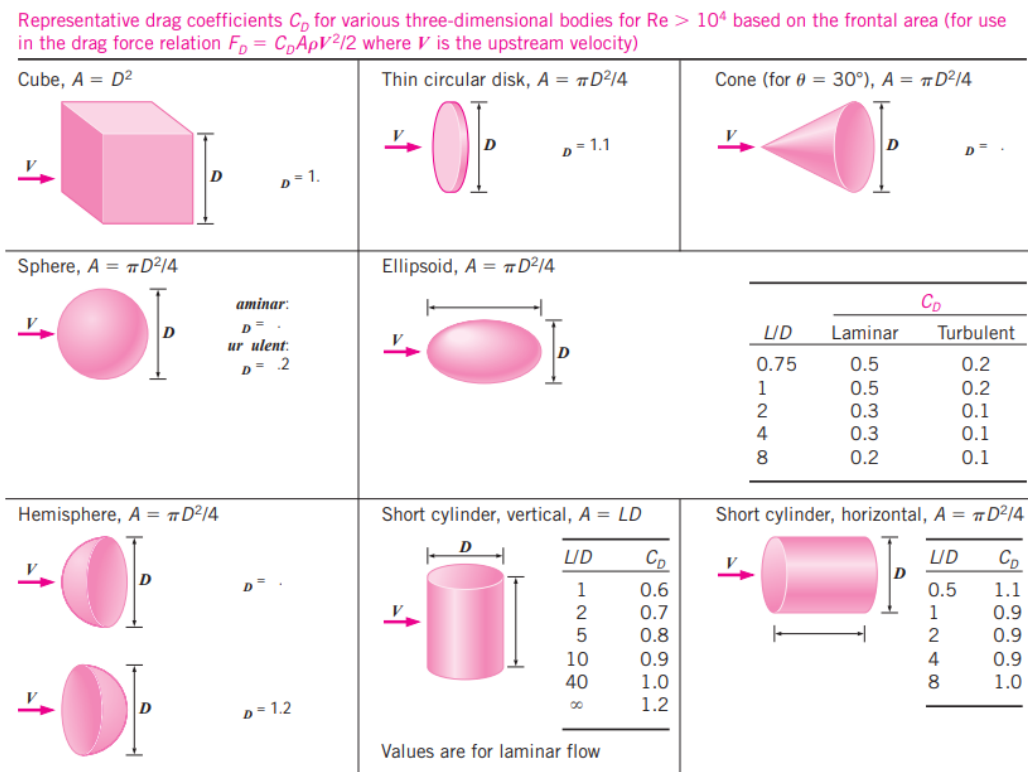
Dari gambar 2.4 di atas telah mengilustrasikan bahwa ketika aliran melewati wilayah (*region*) 1 maka aliran tersebut mengalami percepatan karena bidang dari aliran tersebut memiliki bentuk yang serupa dengan *nozzle* atau disebut *favorable pressure gradient*. Sementara itu, ketika aliran melewati wilayah (*region*) 2 maka aliran tersebut memiliki kecepatan yang konstan sehingga disebut *zero pressure gradient*. Pada wilayah (*region*) 3 aliran cenderung mengalami perlambatan dikarenakan bidang dari aliran tersebut memiliki bentuk menyerupai *diffuser* sehingga bisa disebut *adverse pressure gradient*. Pada wilayah (*region*) 3 ini aliran mengalami separasi yang disebabkan oleh momentum aliran yang tidak mampu melawan tekanan dan gaya gesek, sehingga terjadilah *back flow* atau aliran yang berbalik arah dari arah aliran asli.

2.4 Drag

Drag merupakan komponen gaya pada benda yang bekerja sejajar dengan arah gerak relatif. Gaya *drag* ialah gaya yang ditimbulkan oleh tegangan geser pada suatu permukaan benda yang dilintasi fluida. Gaya *drag* terjadi ketika terdapat interaksi antara benda dengan fluida yang melintasinya, ada dua gaya yaitu gaya gesek dan gaya normal. Dari kedua gaya tersebut bisa diproyeksikan ke arah vertikal dan horizontal sehingga menghasilkan resultan dari kedua sumbu yang sejajar dengan arah kecepatan, maka koefisien *drag* didefinisikan sebagai:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A_{\text{silinder}}} \quad (2.1)$$

berikut merupakan nilai C_D untuk objek tiga dimensi



Gambar 2. 5 Nilai C_D untuk objek tiga dimensi (Cengel & Cimbala, 2006)

2.5 Lift

Gaya *lift* adalah gaya aerodinamis yang arahnya tegak lurus terhadap arah aliran fluida. Perbedaan tekanan antara aliran yang melewati bagian atas benda dengan tekanan aliran yang melewati bagian bawah benda akan menyebabkan gaya *lift*. Untuk menentukan *lift* suatu benda biasanya digunakan parameter tak berdimensi yang disebut dengan *lift coefficient* (C_L). *Lift coefficient* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (2.2)$$

dimana:

- C_L = Koefisien lift
- F_L = Gaya lift
- ρ = Massa jenis fluida
- V = Kecepatan aliran udara
- A = Reference Area

2.6 Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis

Tekanan statis merupakan tekanan yang dialami oleh partikel fluida saat bergerak, tekanan statis merupakan tekanan yang diukur dengan alat ukur tekanan yang memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan aliran fluida. Tekanan ini semakin menurun sepanjang aliran akibat adanya gesekan, dan besarnya sama pada tiap titik di potongan penampang aliran. Selain tekanan statis, terdapat juga tekanan stagnasi, dimana tekanan stagnasi adalah tekanan yang diukur pada titik stagnasi. Pada titik stagnasi kecepatan aliran fluida diperlambat sampai berhenti tanpa proses gesekan (*frictionless*).

Pada aliran *incompressible*, persamaan Bernoulli dapat digunakan untuk menghubungkan perubahan kecepatan dan tekanan di sepanjang *streamline*. Dengan mengabaikan ketinggian, maka persamaan Bernoulli menjadi:

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

Jika tekanan statis didefinisikan dengan P pada suatu titik dalam jalur aliran dan dimana kecepatannya adalah sebesar U , sedangkan tekanan stagnasi didefinisikan dengan P_o , dimana pada keadaan stagnasi kecepatan adalah $U_o=0$, maka:

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

$$P_o = P + \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (2.5)$$

$$P_o - P = \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (2.6)$$

Bentuk $\frac{1}{2} \rho U^2$ disebut juga dengan tekanan dinamis. Jadi tekanan dinamis dapat dikatakan sebagai selisih antara tekanan stagnasi dengan tekanan statis. Dari persamaan tersebut, dapat dihitung kecepatan lokal aliran sebagai berikut:

$$U = \sqrt{\frac{2(P_o - P)}{\rho}} \quad (2.7)$$

dimana:

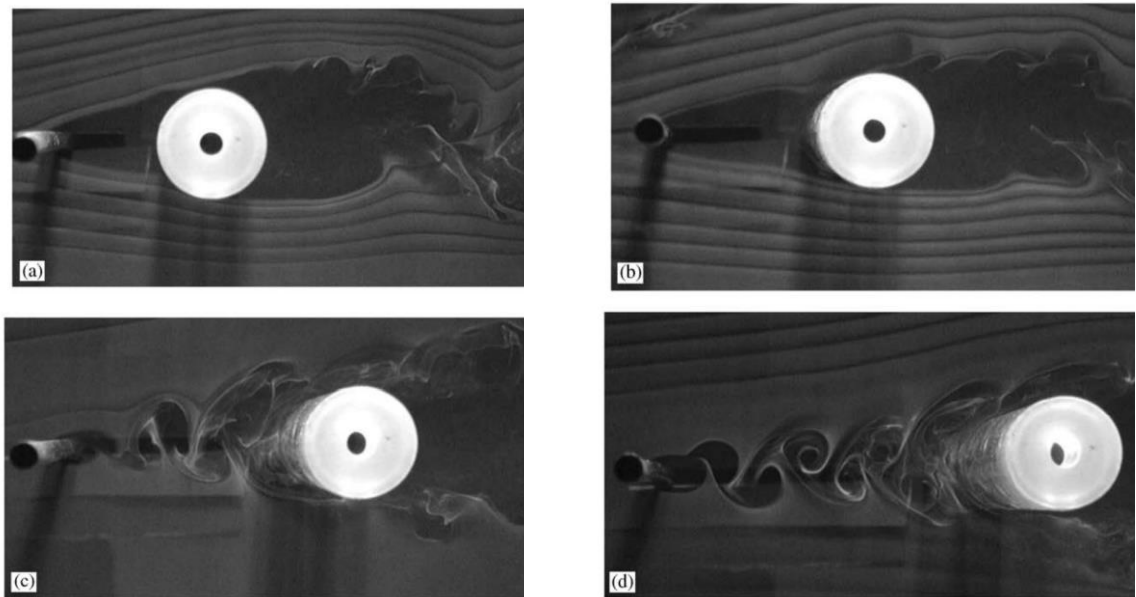
- P = Tekanan statis
- P_o = Tekanan stagnasi
- ρ = Densitas fluida
- U = Kecepatan aliran fluida
- U_o = Kecepatan stagnasi
- g = percepatan gravitasi bumi

2.7 Penelitian Terdahulu

2.7.1 Pengurangan Gaya Hambat pada Silinder Sirkular dengan Pemasangan *Body* Pengganggu pada Sisi *Upstream*

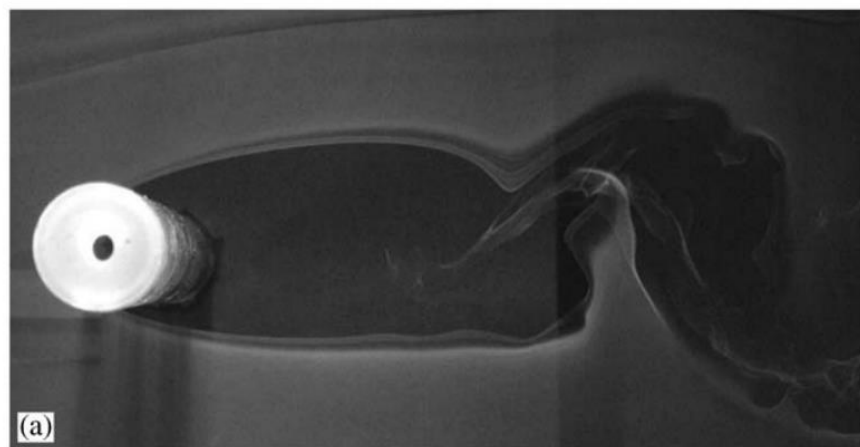
Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Lee et al., 2004) dimana visualisasi pola *wake* yang terbentuk pada silinder sirkular yang telah ditambahkan bodi pengganggu dengan metode eksperimental yang menggunakan variasi bilangan Reynolds yaitu 2×10^4 . Rasio diameter (d/D)

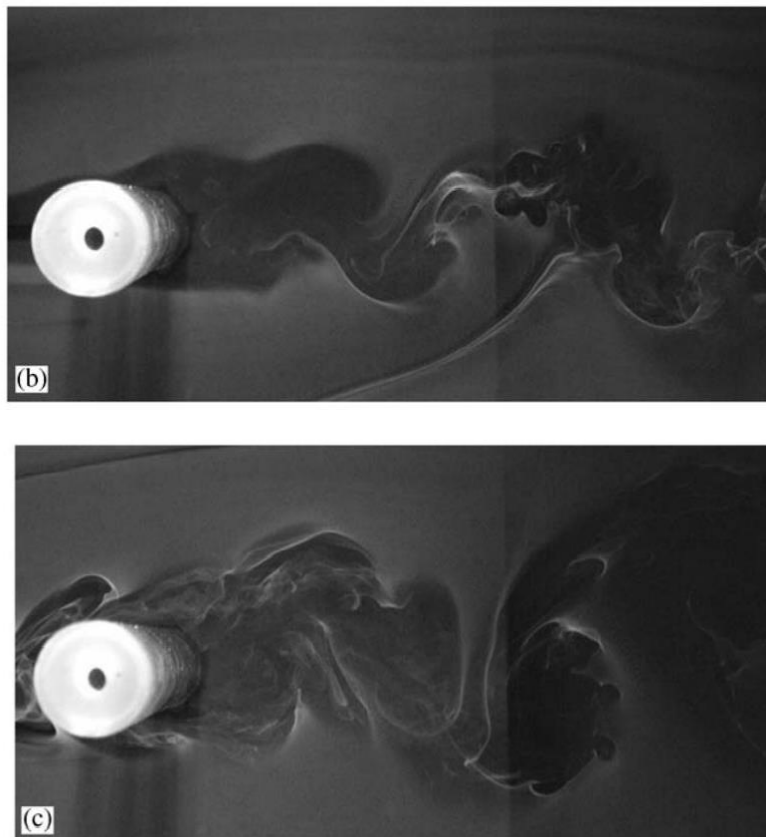
= 0,133-0,267) dengan variasi jarak antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama δ/D , yaitu 2 mm, 2.08 mm, 2.5 mm, dan 3 mm. Penelitian dilakukan dengan menggunakan subsonic wind tunnel berdimensi 6 m x 0.72 m x 0.6 m.



Gambar 2. 6 Visualisasi aliran pada daerah antara bodi pengganggu dan silinder untuk $d/D = 0.2333$ (a) $(L/D) = 2$ mm (b) $(L/D) = 2.08$ mm (c) $(L/D) = 2.5$ mm (d) $(L/D) = 3$ mm (**Lee et al., 2004**)

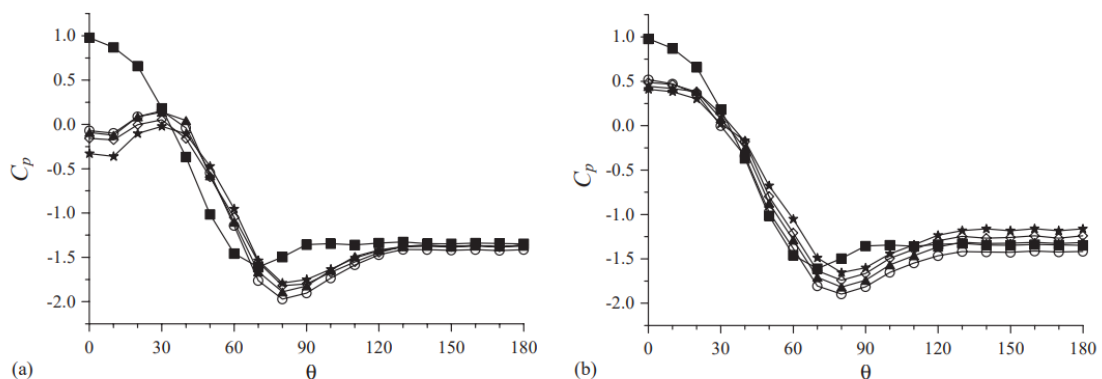
Pada gambar 2.6 (a) dan (b) menunjukkan tidak adanya pelepasan *vortex* dari bodi pengganggu karena efek timbal balik dari dua silinder yang diletakkan berdekatan. Lapisan geser yang dipisahkan dari bodi pengganggu dipasang kembali dengan perlahan menyentuh sisi atas dan bawah silinder utama pada sudut $\theta = \pm 40$. Pola aliran pada model seperti ini dinamakan dengan pola *cavity*. Pada gambar (c) dan (d) memperlihatkan bahwa terjadi pusaran antara bodi pengganggu dengan silinder sirkular utama. Pola yang semacam ini dinamakan *wake impingement mode*. Pola yang seperti ini bisa menarik aliran yang berada di depan silinder utama berada. *Wake impingement mode* ini mampu mereduksi gaya hambat lebih besar dibandingkan dengan pola *cavity*.





Gambar 2. 7 Visualisasi aliran pusaran di belakang silinder utama untuk $(d/D) = 0.233$
 (a) tanpa bodi pengganggu (b) $(L/D) = 2$ mm (c) $(L/D) = 3$ mm (Lee et al., 2004)

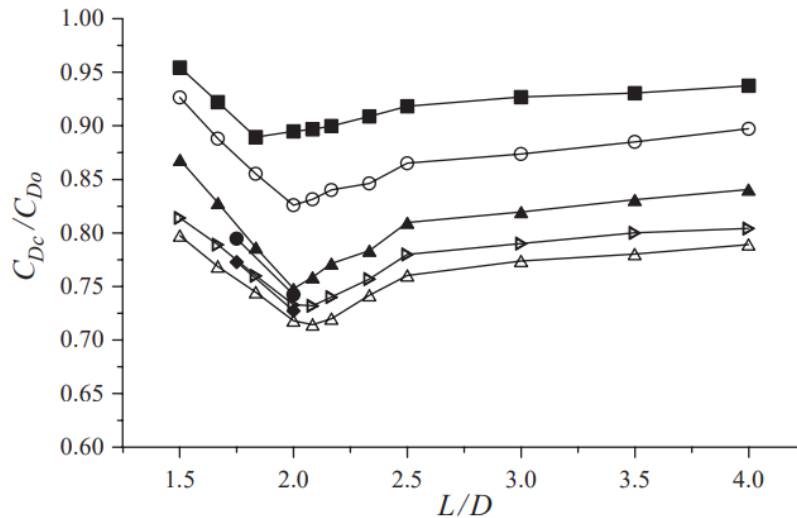
Gambar 2.7 menunjukkan visualisasi pola aliran *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular utama tanpa penambahan bodi pengganggu, gambar 2.7 (a) memperlihatkan pola aliran di bagian belakang silinder sirkular utama tanpa bodi pengganggu yang mana titik separasi terjadi pada upstream silinder sirkular utama hingga memperbesar *wake region* yang berada di belakangnya. Sedangkan gambar 2.7 (b) dan (c) memperlihatkan pola aliran di bagian belakang silinder utama dengan bodi pengganggu di depannya. Ketika bodi pengganggu ditambahkan maka akan terjadi separasi aliran pada silinder sirkular utama. Akibat dari separasi tersebut sehingga menyebabkan titik separasi menjadi tertunda dan *wake* akan semakin sempit dan gaya *drag* semakin kecil.



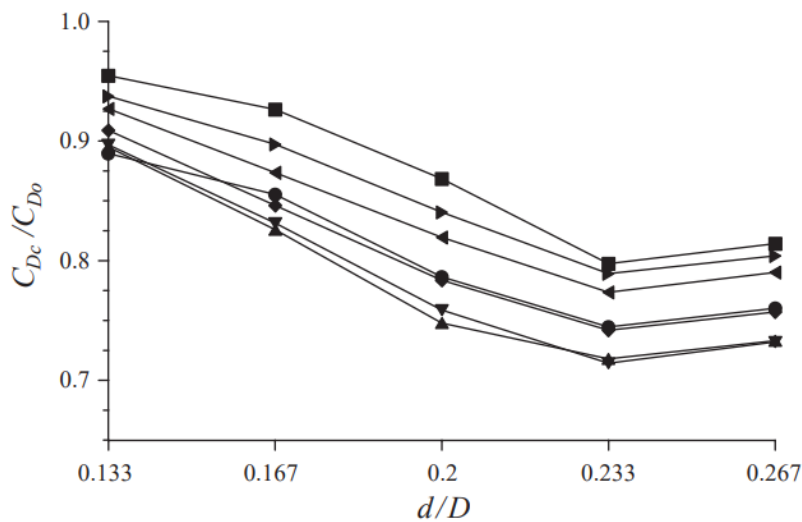
Gambar 2. 8 Efek kontrol diameter bodi pengganggu pada distribusi tekanan pada silinder (a) $(L/D) = 1,5$; (b) $(L/D) = 2,17$ (Lee et al., 2004)

Pada gambar 2.8 (a) menunjukkan tekanan rata-rata pada *stagnation wake* silinder sirkular utama berkurang dan memiliki nilai negatif. Tekanan yang dilintasi aliran pada depan silinder akan didapatkan hasil reduksi yang besar dan drag yang timbul akan berkurang. Pada *range* sudut ($10^\circ < \theta < 30^\circ$), tekanan rata-rata meningkat dengan tekanan maksimum yang terjadi pada $\theta = 30^\circ$, kemudian tekanan mengalami penurunan pada $\theta \leq 40^\circ$ dan kemudian akan mengalami peningkatan kembali pada permukaan samping dan belakang dari silinder sirkular utama. Efek yang ditimbulkan ialah titik separasi fluida berpindah ke $\theta = 70^\circ$ - 80° bila dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa penambahan bodi pengganggu dan fluida mengalami *adverse pressure gradient*.

Pada gambar 2.8 (b) memperlihatkan bahwa distribusi rata-rata tekanan pada silinder sirkular yang memiliki bentuk serupa dengan *cavity mode* dan mendekati distribusi tekanan pada silinder sirkular tanpa bodi pengganggu. Dikarenakan kecepatan arus yang datang dapat menahan adanya *cavity* sehingga tekanan stagnasi *impingement mode* terjadi pada $\theta = 0^\circ$ memiliki wake yang lebih besar bila dibandingkan dengan *cavity mode*. Pada rasio diameter (d/D) = 0,2 dan 0,233 tekanan rata-rata di bawah permukaan silinder yang lebih besar bila dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa bodi pengganggu, yang kemudian bisa timbul pusaran *impingement* dari bodi pengganggu yang menghasilkan perlambatan separasi aliran.



Gambar 2. 9 Hubungan antara rasio gap dengan rasio diameter pada C_D (Lee et al., 2004)

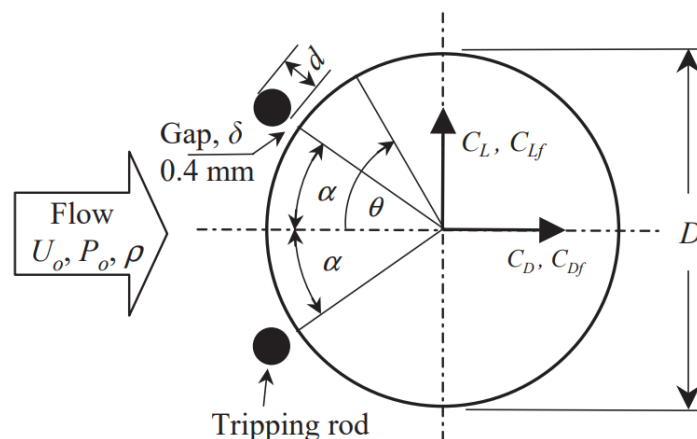


Gambar 2. 10 Hubungan antara rasio diameter dengan rasio diameter dengan rasio gap pada C_D (Lee et al., 2004)

Nilai C_D turun karena pengaruh dari penambahan bodi pengganggu yang menghasilkan profil aliran melingkupi silinder. Dengan profil aliran yang demikian ini bisa menyebabkan turunnya nilai C_p dan nilai C_D dari silinder dan sistem secara utuh. Pengurangan maksimum koefisien *drag* silinder utama mencapai 29% jika dibandingkan dengan kasus tanpa bodi pengganggu, kondisi tersebut dicapai saat $d/D = 0,233$.

2.7.2 Aliran Melintasi Dua Silinder Sirkular Tersusun Secara Tandem dengan Dua Bodi Pengganggu di Depan

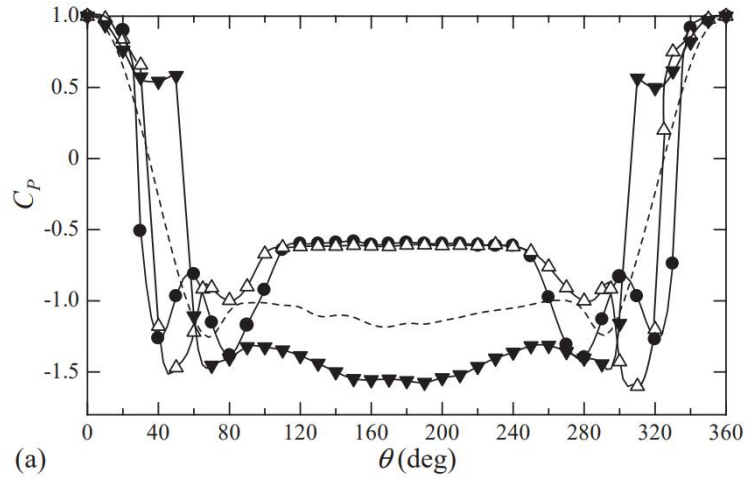
Menurut sebuah penelitian yang dilakukan oleh (Alam et al., 2003) secara eksperimen dengan variasi bilangan Reynolds sebesar $5,5 \times 10^4$. Diameter bodi pengganggu nya adalah ($d=4$ mm, 5 mm, dan 6 mm) diletakkan pada *interval* sudut $20^\circ - 60^\circ$, pada silinder utama yang berdiameter ($D=49$) mm. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *wind tunnel* tertutup berkecepatan rendah, dengan dimensi 1,2 m x 0,3 m x 2,5 m. Penempatan bodi pengganggu seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.8



Gambar 2. 11 Penempatan Bodi Pengganggu (Alam et al., 2003)

Dalam kasus silinder tunggal, posisi sudut optimum dari bodi pengganggu dengan diameter 5 mm adalah pada sudut 30° . Pada posisi tersebut C_D , C_{DF} , C_{LF} masing-masing

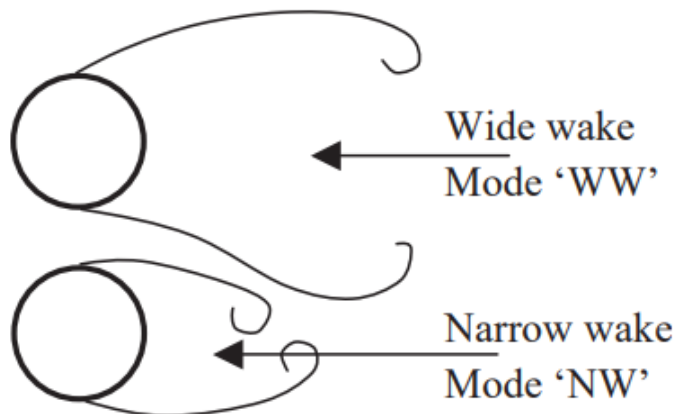
berkurang sebesar 67%, 61%, dan 87%. Tiga pola aliran yang berbeda pada silinder tunggal ditemukan ketika posisi sudut bodi pengganggu bervariasi pada kisaran 20° - 60° .



Gambar 2. 12 Grafik distribusi tekanan (Alam et al., 2003)

Pola aliran dengan rentang sudut antara 20° - 40° , dimana lapis batas telah dipisahkan dari bodi pengganggu dan telah dipasang kembali pada permukaan silinder di belakang bodi pengganggu. Dalam rentang posisi sudut 20° - 40° gaya fluida yang bekerja pada silinder berkurang signifikan dan angka Strouhal lebih tinggi daripada silinder tanpa ditambah bodi pengganggu. Pola aliran yang terletak pada rentang sudut 45° - 60° . Dimana lapis batas dipisahkan dari permukaan silinder pada posisi *upstream* pada bodi pengganggu. Hal ini menyebabkan pusaran yang dihasilkan lebih kuat di belakang silinder. Pola aliran menjadi *bistable* pada *range* sudut 41° - 44° dimana pola aliran A dan B sesekali muncul dan berpindah dari satu ke yang lain.

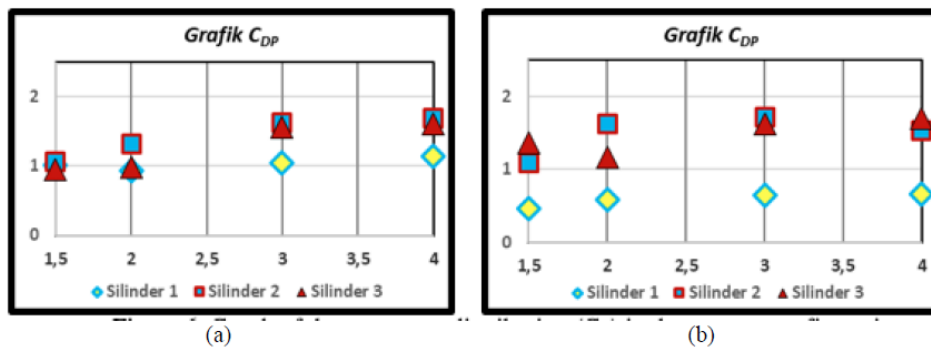
Penelitian ini juga memberikan ilustrasi dari *wake* yang berada pada daerah belakang dua silinder dengan susunan *side by side*, saat efek *bistable* terjadi maka terdapat dua jenis *wake* yang terbentuk di belakang silinder yaitu *wide wake* dan *narrow wake*. *Wide wake* di sini memberikan pengaruh lebih besar terhadap koefisien tekanan (CP) pada silinder yang memiliki *narrow wake*, berikut merupakan ilustrasi dari *wide wake* dan *narrow wake*.



Gambar 2. 13 Ilustrasi *wide wake* dan *narrow wake* (Alam et al., 2003)

2.7.3 Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan *Inlet Disturbance Body (IDB)* pada sudut 30° Terhadap Reduksi Gaya Hambat pada Tiga Silinder Sirkular Dengan Susunan *Stagger*

Telah dilakukan juga penelitian oleh (Cut et al., 2019) mengenai pengaruh penggunaan *Inlet Disturbance Body* dengan metode eksperimen. Variasi bilangan Reynolds yang digunakan pada penelitian ini adalah $2,2 \times 10^4$ dengan $(L/D) = 2$ dan $(D = 25 \text{ mm})$. Untuk variasi $(T/D) = 1.5; 2; 3; \text{ dan } 4$. Penempatan bodi pengganggu ini diletakkan pada *upper sides* dan *lower sides* dari silinder *upstream* berdiameter $(d=4\text{mm})$ pada posisi 30° . Penelitian ini menggunakan silinder sirkular yang terbuat dari pipa *PVC* berdimensi panjang $L=300 \text{ mm}$ dan diameter $D = 25 \text{ mm}$. *Wind tunnel* yang digunakan berdimensi $600 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ dan *blockage ratio* sebesar 24%.



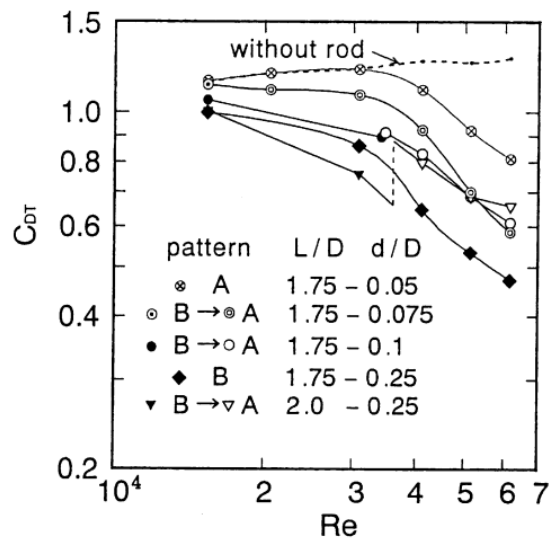
Gambar 2. 14 Grafik Distribusi Coefficient Drag Pressure (a) Tanpa Bodi Pengganggu (b) IDB 30° (Cut et al., 2019)

Hasil dari penelitian ini adalah terdapat perbedaan *coefficient pressure* (C_P) yang signifikan antar silinder dua dan silinder tiga pada jarak $T/D = 1.5$. Hal ini disebabkan oleh pengaruh efek *bistable*. Sedangkan, pada jarak $T/D = 3$ dan 4 distribusi *coefficient pressure* (C_P) lebih stabil. Penambahan *inlet disturbance body* (IDB) pada posisi 30° dapat mengurangi *coefficient drag pressure* (C_{DP}) sebesar 36-53% untuk *single* silinder pada semua variasi jarak T/D . Sementara, untuk dua silinder (*upper stream* dan *down stream*) didapati drag lebih tinggi untuk $(T/D) = 1.5; 2; \text{ dan } 3$ yaitu 3,2-22% dan pada $T/D = 4$ gaya drag berkurang menjadi 91%. Pada silinder dengan transisi aliran lapis batas *inlet disturbance body* yang ditempatkan pada posisi sudut 30° terjadi lebih cepat.

2.7.4 Reduksi Gaya Hambat pada Silinder Sirkular dalam Sebuah Aliran Udara

Salah satu studi eksperimen yang dilakukan oleh (Tsutsui & Igarashi, 2002) dengan variasi bilangan Reynolds yang digunakan adalah $Re = 1,5 \times 10^4 - 6,2 \times 10^4$. Diameter silinder utama adalah $(D = 40 \text{ mm})$, diameter bodi pengganggu adalah $(d = 1-10 \text{ mm})$. Jarak antara silinder sirkular dengan bodi pengganggu adalah $(L = 50 - 120 \text{ mm})$.

Hasil dari penelitian ini adalah dua pola aliran dengan dan tanpa pelepasan pusaran dari silinder terjadi sesuai dengan diameter silinder d/D ; (L/D) dan Re . Saat bilangan Reynolds naik di atas 3×10^4 gelembung separator terbentuk dan titik pemisahan bergerak ke belakang dengan cepat. Pelebaran *shear layer* yang dipisahkan menurun secara bersamaan dan mengakibatkan bilangan Strouhal meningkat. Kemudian nilai C_D menurun dengan seiring meningkatnya bilangan $Re = d/D$ dan menurun ketika (L/D) . Sehingga dominasi terbanyak dilakukan oleh bilangan Reynolds terhadap penurunan *pressure drag*.

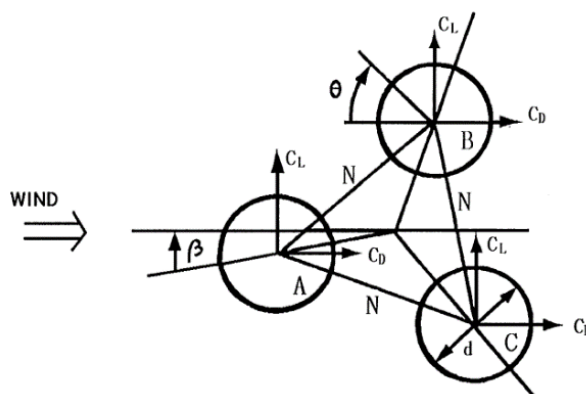


Gambar 2. 15 Total *drag coefficient* (Tsutsui & Igarashi, 2002)

Pengurangan *pressure drag* disebabkan oleh penurunan tekanan di depan silinder sirkular dan bergerak dari titik separasi pada lingkaran slinder. Oleh karena itu jika ditunjukkan pada gambar pola B jelas lebih efektif daripada pola A untuk kasus pengurangan C_D . Kondisi optimum pengurangan koefisien *drag* tekanan C_D dan koefisien hambatan tekanan total (C_{DT}) adalah $d/D = 0,25$; $(L/D) = 2$ untuk $Re < 4,1 \times 10^4$ dan $(L/D) = 1,75$ untuk $Re > 4,1 \times 10^4$. masing-masing nilai dari C_D dan C_{DT} berkurang 73% dan 63% dibandingkan dengan silinder tunggal. Perubahan pola aliran dari A ke B atau dari B ke A bergantung pada d/D ; (L/D) dan kembali pada pola semula.

2.7.5 Studi Eksperimen Aliran Melintasi Tiga Silinder Sirkular dengan Susunan Segitiga Sama Sisi

Penelitian secara eksperimen telah dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) mengena tiga silinder sirkular dengan susunan segitiga sama sisi yang diuji pada terowongan angin (*wind tunnel*) yang tertutup dengan $Re = 5,5 \times 10^4$ dan variasi sudut $\beta = 0^\circ$ sampai dengan $\beta = 60^\circ$. Kemudian untuk visualisasi aliran, pengujian dilakukan pada terowongan angin (*wind tunnel*) terbuka dengan $Re = 1,4 \times 10^4$. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah $(N/D) = 1,7$; 2,2; 2,5; dan 4,0). Untuk diameter silinder sirkular yang digunakan adalah 48 mm dengan panjang 640 mm yang terbuat dari silinder aluminium. Pressure tap dipasang setiap 10° pada mid-span secara melingkar pada silinder sirkular.

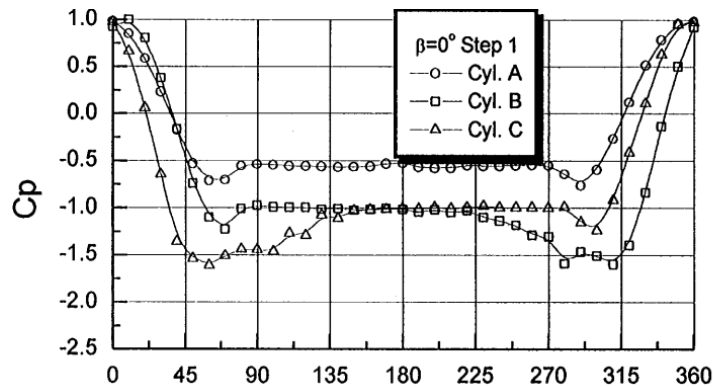


Gambar 2. 16 Konfigurasi tiga silinder sirkular di dalam susunan segitiga sama sisi

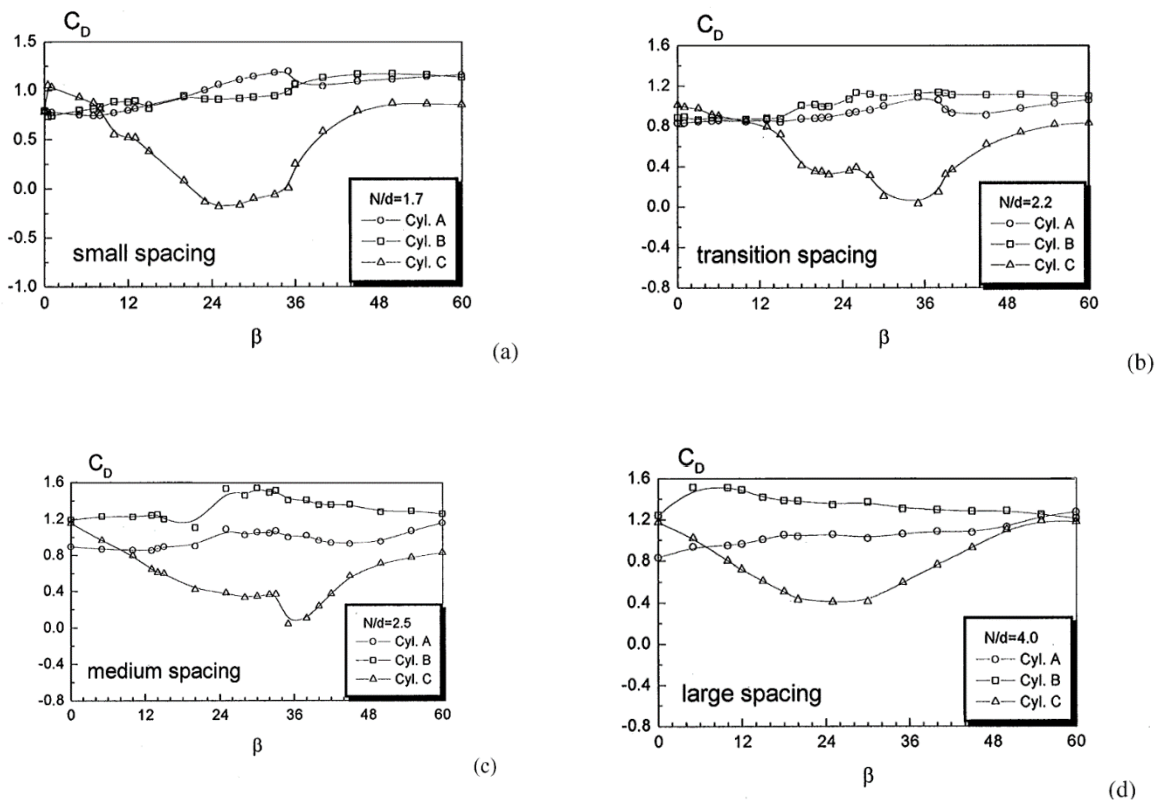
(Gu & Sun, 2001)

Hasil dari penelitian tersebut memperlihatkan variasi rasio jarak N/d dan sudut yang berbeda-beda mempengaruhi pada pola aliran, koefisien drag, dan distribusi tekanan yang terjadi pada ketiga silinder sirkular tersebut. Dalam hal ini peneliti hanya akan membahas pengaruh dari rasio jarak N/d yang berbeda-beda pada posisi sudut $\beta = 0^\circ$. Pola aliran yang terjadi di sekitar tiga silinder sirkular dapat dilihat pada gambar 2.17.

Berikut merupakan grafik distribusi tekanan yang terjadi pada tiga silinder sirkular di dalam susunan segitiga sama sisi dengan variasi $N/d = 1.7$ yang diuji pada sudut $\beta = 0^\circ$ dan $Re = 5,5 \times 10^4$



Gambar 2. 17 Distribusi tekanan pada silinder sirkular A,B, dan C di dalam susunan segitiga sama sisi ($N/d = 1,7$) dan $Re = 5,5 \times 10^4$ (Gu & Sun, 2001)

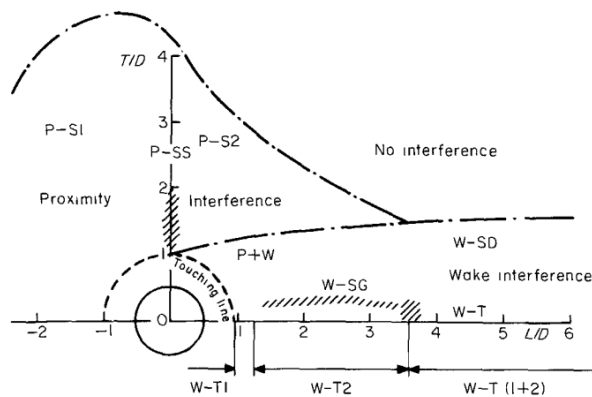


Gambar 2. 18 drag coefficient A,B, dan C; a=1,7; b=2,2; c=2,5; d=4 (Gu & Sun, 2001)

Dari gambar tersebut bisa dilihat bahwa hasil distribusi tekanan yang simetris pada bagian depan dan belakang silinder A, sedangkan pada silinder B dan C memiliki distribusi tekanan yang cenderung fluktuatif. Hal ini bisa terjadi karena aliran *freestream* yang melintasi silinder A terpecahkan dan mengenai silinder B dan C, sehingga terjadi perbedaan distribusi tekanan pada bagian depan dan belakang dari silinder B dan C. Koefisien drag pada tiga silinder sirkular dilakukan pengujian pada sudut 0 dengan variasi N/D . Pada gambar 2.18 menunjukkan saat $N/D= 1,7$ dan $2,2$ memiliki koefisien drag terkecil, sedangkan pada $N/D= 2,5$ dan $4,0$ memiliki koefisien drag yang cenderung lebih besar.

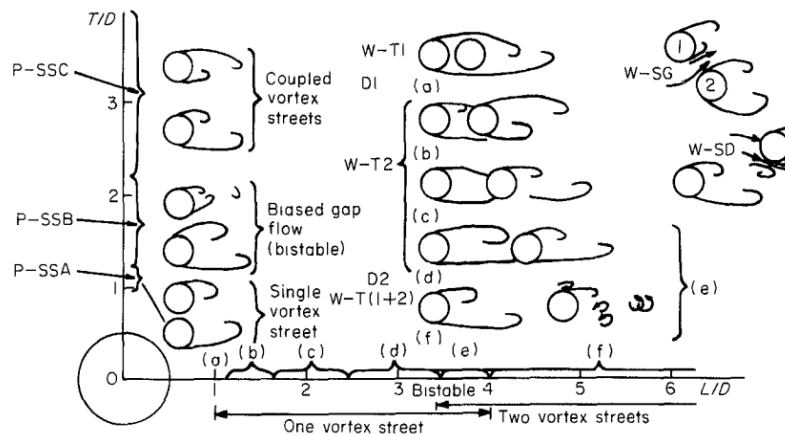
2.7.6 Karakteristik Aliran Melintasi Dua Silinder yang Tersusun Tandem

Penelitian secara eksperimen telah dilakukan pula oleh (Zdravkovich, 1987) mengenai gangguan antar silinder sirkular pada cross flow. Pada saat dua struktur silinder berinteraksi, maka terdapat setidaknya tiga daerah interferensi, yaitu daerah *proximity*, *interference*, dan *wake interference* yang akan divisualisasikan sebagai berikut:



Gambar 2. 19 Daerah *interference* aliran pada struktur silinder (Zdravkovich, 1987)

Setiap daerah yang divisualisasikan pada gambar 2.19 memiliki karakteristik dan pola aliran yang berbeda. Hal ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu W-T1, W-T2, dan W-T(1+2) yang divisualisasikan pada gambar 2.20



Gambar 2. 20 Pola interferensi aliran dua struktur silinder dengan susunan *side-by-side*, *tandem*, dan *staggered* (Zdravkovich, 1987)

Pada daerah W-T1 dengan jarak $1 < l/D < 1,2-1,8$ (bergantung Reynolds Number) aliran fluida yang mengenai struktur silinder *upstream* tidak akan menyentuh stuktur silinder *downstream*, tetapi langsung mengalir ke daerah belakang dari silinder *downstream*. Hal ini menyebabkan aliran fluida yang terbentuk memiliki karakter yang sama dengan aliran yang melewati silinder sirkular tunggal. Sedangkan, untuk W-T2 jarak $1,2-1,8 < l/D < 3,4-3,8$ (bergantung Reynolds Number) *shear layer* yang terpisah pada silinder *upstream* akan menyentuh bagian silinder *downstream* yang mengakibatkan terbentuknya *vortex street* di belakang silinder *downstream*. Untuk W-T (1+2) jarak $l/D > 3,4-3,8$ (bergantung Reynold Number) di belakang silinder akan terbentuk *vortex* yang kemudian berinteraksi dengan daerah *downstream* sehingga timbul *binary vortex*. Dua *vortex street* akan terbentuk di daerah belakang silinder *downstream* yang menyebabkan fluktuasi nilai gaya *lift* pada silinder *downstream*.

2.8 Rangkuman Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan tabel rangkuman penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi pada penelitian ini:

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian Terdahulu

Peneliti	Metode	Variasi	Dimensi
Lee et al. (2004)	Eksperimental	$d/D = 0,133-0,267$ $(L/D) = 1,5-4$	Silinder tunggal, 1 bodi pengganggu, $Re = 2 \times 10^4$
Alam et al. (2003)	Eksperimental	$\alpha = 20^\circ - 60^\circ$ $d = 4 \text{ mm}-6 \text{ mm}$	Silinder tunggal, 2 bodi pengganggu, $Re = 5,5 \times 10^4$
Cut et al. (2019)	Eksperimental	$(T/D) = 1,5-4$	3 Silinder stagger, 2 bodi pengganggu penempatan $\alpha = 30^\circ$ dan 60° , $d/D = 0,16$; $\delta = 0,4 \text{ mm}$; $(L/D) = 2$ $Re = 2,2 \times 10^4$
Tsutsui & Igarashi (2002)	Eksperimental	$L = 50 \text{ mm}-120 \text{ mm}$ $d = 1 \text{ mm}-10 \text{ mm}$ $Re = 1,5 \times 10^4 - 6,2 \times 10^4$	Silinder tunggal, 1 bodi pengganggu, $D = 40 \text{ mm}$
Gu & Sun (2001)	Eksperimental	$(N/D) = 1,7-4$ $\beta = 0^\circ - 60^\circ$	3 silinder dengan susunan segitiga sama sisi, tanpa bodi pengganggu, $Re = 5,5 \times 10^4$, $D = 48 \text{ mm}$

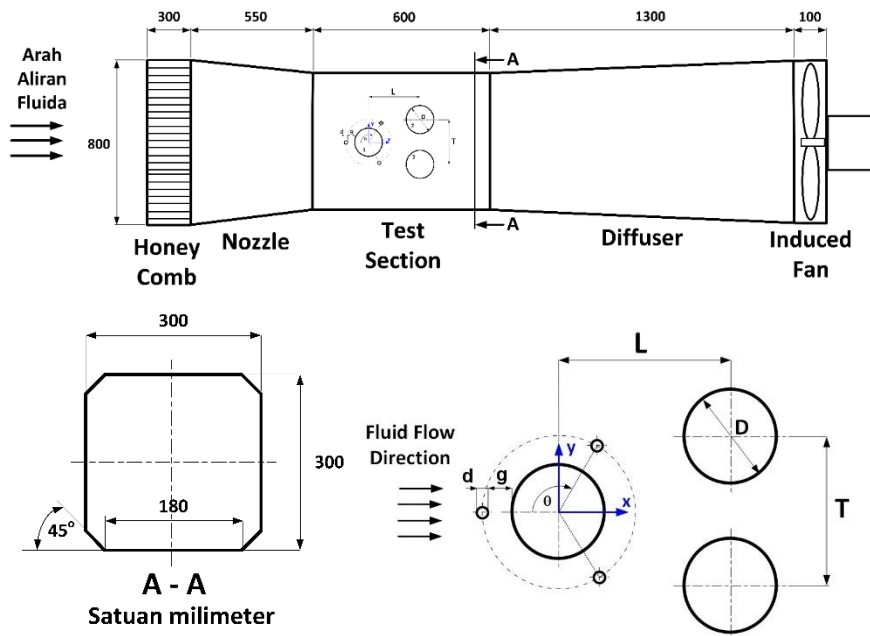
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang harus dikerjakan guna mendapatkan data dan hasil yang diinginkan. Dalam pengambilan data pada penelitian ini terdiri atas dua metode, yaitu pengukuran secara langsung dan tidak langsung. Prinsip dalam pengukuran secara langsung yaitu data yang diperoleh dalam pelaksanaan eksperimen dibaca secara langsung. Sedangkan, pengukuran tidak langsung memiliki prinsip yaitu data yang diperoleh memerlukan proses analisis lanjutan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang diinginkan. Adapun tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1 Skema Penelitian

Berikut ini adalah skema dari penelitian yang akan dikerjakan. Dari gambar 3.1 ditunjukkan letak benda uji adalah tiga silinder sirkular susunan stagger dengan inlet disturbance body di bagian depan silinder utama.



Gambar 3. 1 Skema Penelitian

3.2 Parameter yang diukur

Analisis dimensi berguna untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu penelitian atau tidak. Pada penelitian ini parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran adalah massa jenis fluida (ρ), viskositas fluida (μ), kecepatan fluida (U_∞) diameter silinder (D), jarak gap antara silinder dengan inlet disturbance body (δ), dan diameter inlet disturbance body (d).

3.2.1 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 matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

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

ΔP = Perbedaan tekanan

Menggunakan Buckingham π *theorem* dengan parameter berulang, ρ , V , dan D diperoleh 8 grup tak berdimensi, yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U_{\infty}^2}$ (koefisien tekanan)
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{\infty} D}$ (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* dan *downstream*)
5. $\pi_5 = \frac{L}{T'}$ (perbandingan tinggi antara silinder *downstream* atas dengan silinder *downstream* bawah)
6. $\pi_6 = \frac{s}{D'}$ (perbandingan jarak *inlet disturbance body* dengan pusat silinder sirkular)
7. $\pi_7 = \frac{h}{D'}$ (perbandingan tinggi *inlet disturbance body* dengan pusat silinder sirkular)
8. $\pi_8 = \frac{\pi_6}{\pi_7} = \left(\frac{s}{h}\right) = \left(\frac{s}{h}\right) = \theta$ (perbandingan jarak *inlet disturbance body* dengan tinggi *inlet disturbance body*)

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut:

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

$$\frac{\Delta P}{\rho U_{\infty}^2} = f_2 \left(\frac{\mu}{\rho U_{\infty} D}, \frac{d}{D'}, \frac{L}{D'}, \frac{T}{D'}, \frac{s}{D'}, \frac{h}{D'}, \left(\frac{s}{h}\right) \right) \quad (3.3)$$

Pada penelitian ini, $\frac{d}{D'}$, $\frac{L}{D'}$, ditentukan konstan, sedangkan sudut posisi dari *inlet disturbance body* dan tinggi antar silinder *downstream* atas dengan silinder *downstream* bawah divariasikan, untuk melihat perbandingan reduksi gaya hambat yang terjadi di antara variasi tersebut, maka:

$$\frac{\Delta P}{\rho U_{\infty}^2} = f_2 \left[\left(\frac{\mu}{\rho U_{\infty} D}\right), \left(\frac{T}{D'}\right), (\theta) \right] \quad (3.4)$$

Dan untuk *coefficient pressure* (C_p) pada silinder sirkular utama adalah,

$$C_p = f_2 \left[\left(\frac{\mu}{\rho U_{\infty} D}\right), \left(\frac{T}{D'}\right), (\theta) \right] \quad (3.5)$$

3.3 Peralatan

3.3.1 Terowongan Angin (*wind tunnel*)

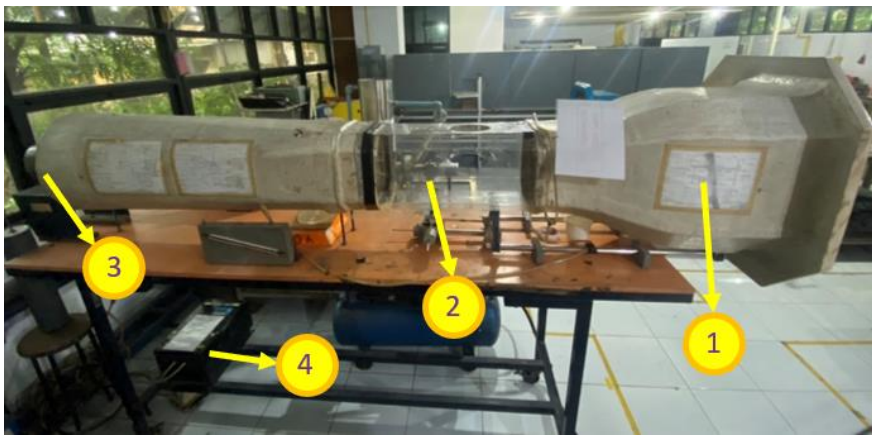
Eksperimen dengan menggunakan *wind tunnel* ini bertujuan agar dapat menguji benda dalam skala model. Pengukuran model sengaja dipilih untuk mempermudah

pengujian dan menurunkan biaya pengerjaan. Maka dari itu, dirancanglah sebuah wind tunnel dengan kondisi yang mendekati kenyataan, sehingga hasilnya cukup akurat.

Jenis *wind tunnel* yang digunakan dalam eksperimen ini adalah *wind tunnel* jenis *open circuit wind tunnel*, dimana udara yang mengalir dalam *wind tunnel* langsung dilepaskan dengan bebas ke udara setelah melewati *work section*. *Wind tunnel* ini masuk ke dalam jenis *wind tunnel subsonic*.

Spesifikasi *wind tunnel*:

- Jenis = *subsonic, open circuit wind tunnel*
- Bentuk saluran uji = penampang *octagonal*
- Panjang = 600 mm
- Tinggi = 300 mm
- Lebar = 300 mm



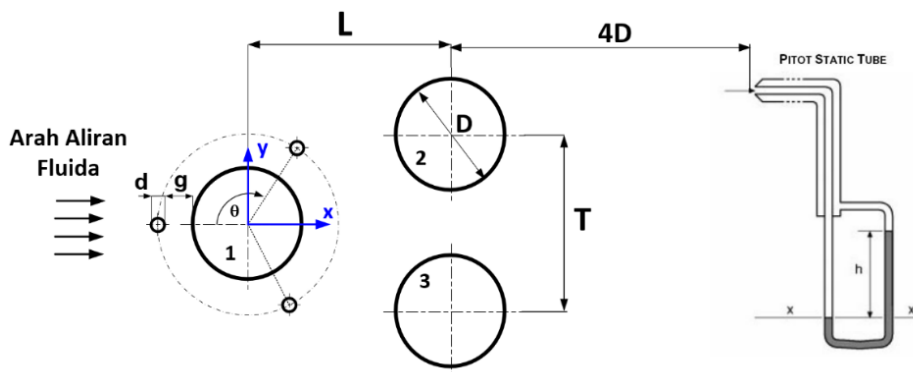
Gambar 3. 2 *Wind Tunnel*

Keterangan:

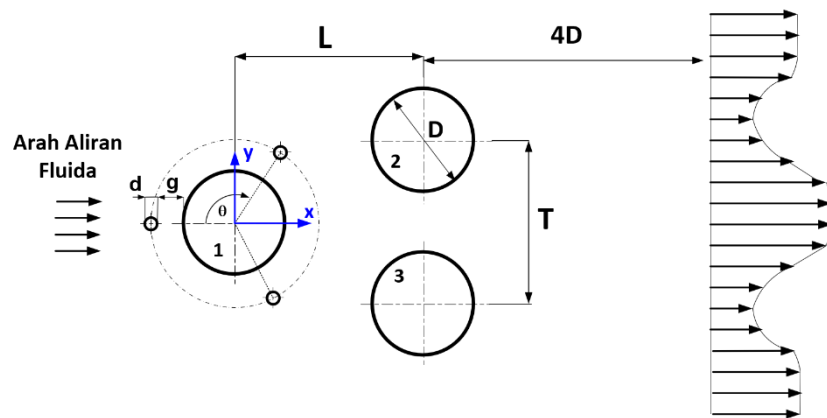
1. *Honey comb, screen, nozzle*
2. *Test section*
3. *Fan*
4. *Inverter*

3.3.2 Skema Profil Kecepatan

Berikut merupakan skema untuk mencari profil kecepatan dengan *pitot static tube*



Gambar 3.3 Instalasi untuk mencari profil kecepatan



Gambar 3.4 Profil kecepatan

3.3.3 Benda Uji

Adapun benda uji dan spesifikasi nya dijelaskan sebagai berikut :

- I. Silinder sirkular
 - Diameter = 25 mm
 - Panjang = 300 mm
 - *Pressure tap* = 4 lubang
 - Bahan = Pipa PVC



Gambar 3.5 Silinder sirkular

- II. Pengganggu
 - Tipe = Polos (*matrice M4*)
 - Panjang = 300 mm
 - Diameter = 4 mm



Gambar 3. 6 Bodi pengganggu

III. Inverter

Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan putaran dari *fan*. Dengan spesifikasi *inverter* 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. 7 *Inverter*

IV. Pitot static tube

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



Gambar 3. 8 *Pitot static tube*

V. *Inclined manometer* kemiringan 15°

Alat ini berfungsi untuk mengukur tekanan yang diukur dengan *pressure tap* dan *pitot static tube*. Bentuk *inclined manometer* adalah V dengan sudut kemiringan 15° untuk membaca Δh yang terukur. Berikut merupakan spesifikasi dari *inclined manometer*:

- Skala = 1 mm
- Fluida kerja = Gear oil
- Toleransi = $\pm 0,5$ mm
- *Specific gravity red oil* = 0,87



Gambar 3. 9 *Inclide Manometer 15°*

Digunakan untuk mengukur celah antara silinder sirkular utama dengan batang pengganggu agar jaraknya tetap saat dipindahkan posisi sudutnya.

3.4 Prosedur Pengambilan Data

1. Merencanakan peralatan yang akan digunakan untuk eksperimen.
2. Mengukur kondisi udara di ruangan saat dilakukan pengujian.
3. Memasang benda uji pada saluran, yaitu silinder sirkular dengan $D = 25$ 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 diletakka di depan silinder sirkular utama pada sudut $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$.

4. Mengukur kesejajaran silinder dan dinding dengan *water pass*.
5. Menghidupkan *wind tunnel* dan mengatur kecepatan secara perlahan sampai kondisi *steady*.
6. Pengukuran tekanan pada *pressure tap* yang terdapat di permukaan silinder, dan pengukuran profil kecepatan di belakang susunan silinder dengan menggunakan *pitot static tube* yang dihubungkan dengan *inclined manometer*.

3.5 Data Percobaan

- a. Data hasil pengukuran:
 1. Profil kecepatan di belakang susunan silinder (y/h vs u/U) pada jarak serupa
 2. Distribusi tekanan pada tiap silinder
- b. Data yang diolah:
 1. Profil kecepatan di belakang susunan silinder (y/h vs u/U) pada jarak serupa
- c. Data hasil perhitungan:
 1. Koefisien distribusi tekanan (C_p)
Tekanan statis diambil pada tiap 5° untuk koefisien distribusi tekanan (C_p) pada tiap permukaan silinder sirkular dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{(P - P_o)}{\frac{\rho U^2}{2}} \quad (3.6)$$

dimana:

- P = Tekanan statis kontur
 P_o = Tekanan statis *freestream*
 $\frac{\rho U^2}{2}$ = Tekanan dinamis *freestream*

2. Koefisien *drag pressure* (C_{DP})
Koefisien *drag pressure* dihitung untuk masing-masing silinder sirkular, dengan persamaan sebagai 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 Simpson 1/3 segmen berganda yang dirumuskan pada persamaan sebagai berikut:

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

dimana:

- b = 2π
 a = 0
 $f(x_0)$ = $C_p(0) \cos(0)$
 $f(x_n)$ = $C_p(2\pi) \cos(2\pi)$
 $f(x_i)$ = Perkalian dari fungsi data gasal dimana $i = 1,3,5 \dots, n-1$.
 $f(x_j)$ = Perkalian dari fungsi data genap dimana $j = 2,4,6 \dots, n-2$.
 n = Jumlah data

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

Koefisien *lift pressure* dihitung untuk masing-masing silinder sirkular, dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{LP} = -\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_P(\theta) \sin(\theta) d\theta \quad (3.9)$$

$$C_{LP} = -\frac{1}{2} I \quad (3.10)$$

Dari persamaan 3.10 dapat diselesaikan dengan metode numerik Simpson 1/3 segmen berganda yang dirumuskan pada persamaan sebagai berikut:

$$I \cong \underbrace{(b-a)}_{\text{lebar}} \underbrace{\frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n}}_{\text{Tinggi rata-rata}} \quad (3.11)$$

dimana:

$$b = 2\pi$$

$$a = 0$$

$$f(x_0) = C_P(0) \sin(0)$$

$$f(x_n) = C_P(2\pi) \sin(2\pi)$$

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

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

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

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

Koefisien *drag total* dihitung untuk keseluruhan silinder sirkular pada tiap variasi, dan didapatkan dari integrasi selisih momentum aliran yang dirumuskan sebagai berikut:

$$C_{DT} = \frac{4}{D_{\text{silinder}}} \int_0^a \left(1 - \left[\frac{u(y)}{U_\infty} \right]^2 \right) dy \quad (3.12)$$

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

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

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

dimana:

$$C_D = \text{Koefisien drag}$$

$$F_D = \text{Gaya drag}$$

$$\rho = \text{Massa jenis fluida}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran udara}$$

$$A = \text{Reference Area}$$

W	= Lebar dari <i>wind tunnel</i>
$D_{Silinder}$	= Luasan dari <i>bluff body</i>
$u(y)$	= Kecepatan aliran pada sisi <i>downstream</i> terhadap sumbu y tertentu
U_{∞}	= Kecepatan aliran <i>freestream</i>
b	= h
a	= 0
$f(x_0)$	= $u(y_0)$
$f(x_n)$	= $u(y_n)$
$f(x_i)$	= Perkalian dari fungsi data gasal dimana $i = 1,3,5 \dots, n-1$.
$f(x_j)$	= Perkalian dari fungsi data genap dimana $j = 2,4,6 \dots, n-2$.
n	= Jumlah data

3.6 Tahapan Eksperimen

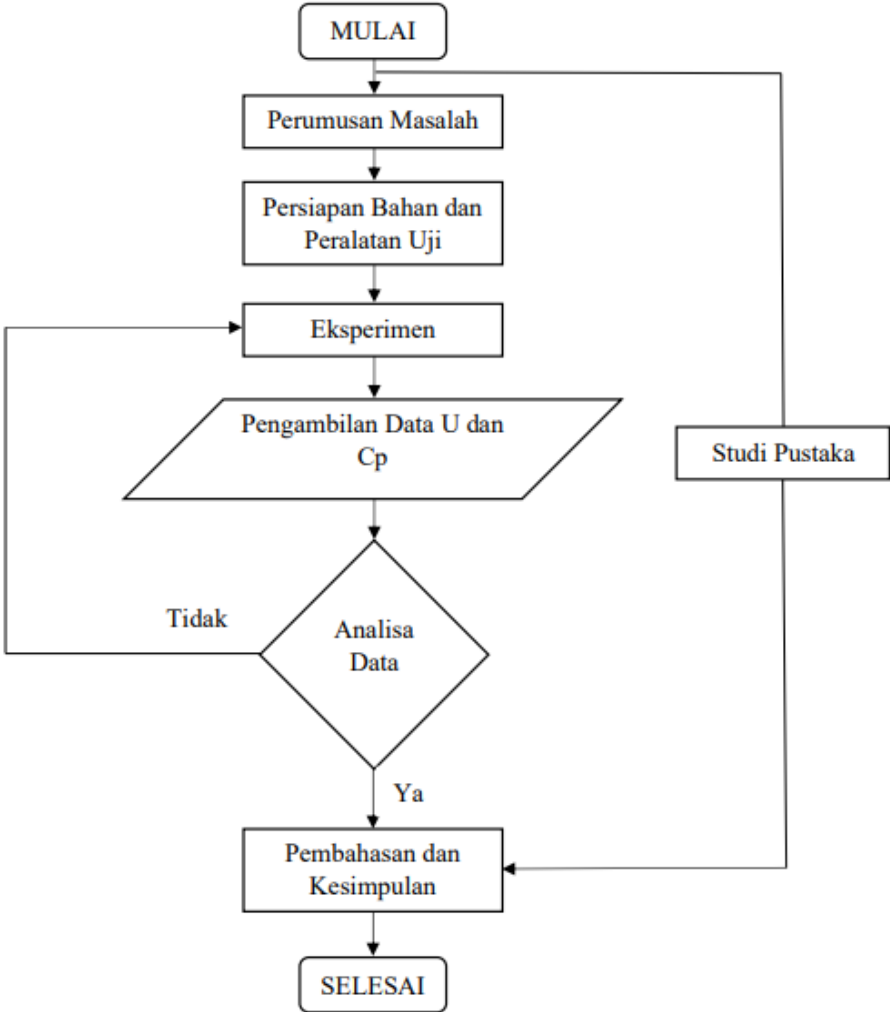
Berikut merupakan tahapan eksperimen dari awal hingga akhir

Tabel 3. 2 Tahapan eksperimen

Tabel 1. Tahapan Proses Pengujian Eksperimen				
No.	Tahapan Pengujian	Proses	Unit	Ket
1	Kalibrasi Saluran Uji (dalam kondisi kosong) pada Kecepatan putaran = 18-48 Hz, $\Delta Hz = 6$	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 ΔH	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> pada Posisi <i>Center-line</i>	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; 3; 4)	<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> pada Posisi <i>Center-line</i>	4 X Jarak (L/D) = (1.5; 2; 3; 4)	<i>Inclined manometer</i>
6	Pengambilan data CP pada 3 silinder sirkular Tersusun <i>Stagger</i> dengan BP pada sudut = 0° , 120° dan 240° (dalam bentuk ΔH)	Menggunakan <i>Wall Pressure Tab.</i>	4 X Jarak (L/D) = (1.5; 2; 3; 4)	<i>Inclined manometer</i>

7	Pengambilan data <i>Velocity Magnitude</i> dibelakang 3 silinder sirkular Tersusun <i>Stagger</i> dengan BP pada sudut $\theta = 0^\circ, 120^\circ$ dan 240° (pada jarak $4D$)	Menggunakan <i>Pitot Static Tube</i> pada Posisi <i>Center-line</i>	4 X Jarak $(L/D) = (1.5; 2; 3; 4)$	<i>Inclined manometer</i>
8	Pengolahan data di excel dan pembuatan grafik CP			

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 10 Diagram alir penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

Hasil dan Pembahasan

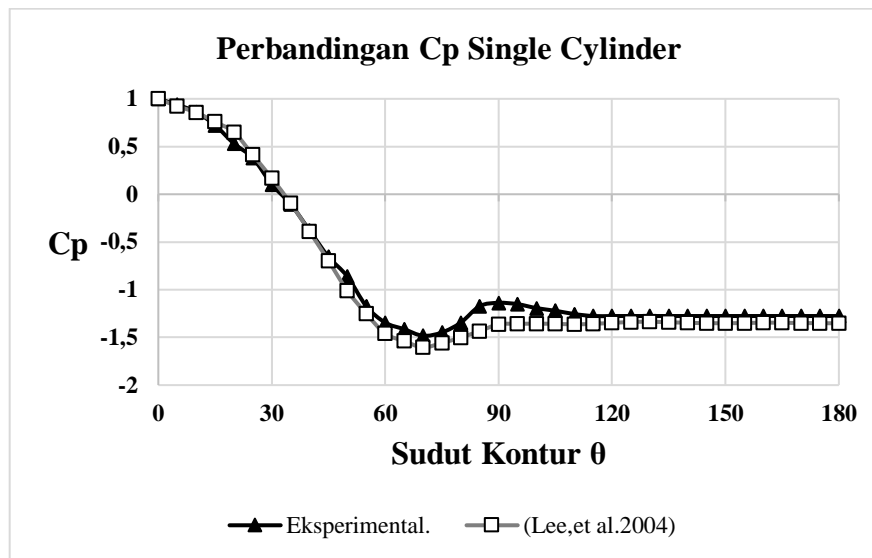
Pada bab ini menjelaskan mengenai hasil dan pembahasan dari eksperimen yang telah dilakukan. Hasil pengukuran yang diperoleh dari eksperimen ini berupa pengukuran tekanan statis pada kontur permukaan tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*, yang terdiri atas silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas) dan silinder 3 (*downstream* bawah). Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, kemudian diolah sehingga mendapatkan distribusi koefisien tekanan, distribusi koefisien *drag pressure*, distribusi koefisien *lift pressure* pada tiap-tiap permukaan silinder, dan profil kecepatan di belakang susunan tiga silinder sirkular dengan konfigrasi *stagger* dengan distribusi koefisien *drag total* (C_{DT}).

Struktur penulisan pada bab ini secara garis besar membahas pengaruh penambahan bodi pengganggu terhadap distribusi tekanan pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* dengan penempatan sudut bodi pengganggu terletak pada ($0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$) pada jarak (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4 serta (T/D) = 2 konstan. Kemudian pada bab ini juga akan ditampilkan koefisien *drag pressure* dan koefisien *lift pressure* pada masing-masing silinder susunan *stagger* pada eksperimen ini. Pada bab ini ditampilkan pula koefisien *drag total* dan profil kecepatan di belakang tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* yang diambil pada posisi 4D dari silinder *downstream* pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4.

4.1 Analisis Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) pada Silinder Sirkular Tunggal

Pada sub bab ini menampilkan data kuantitatif meliputi distribusi koefisien tekanan (C_P) yang diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.11 pada silinder sirkular tunggal. Nilai distribusi koefisien tekanan diperoleh dari pembacaan empat *pressure tap* silinder sirkular yang diletakkan pada sudut kontur $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$, dan data tersebut diambil tiap perubahan sudut θ sebesar 5° . Kemudian data tersebut diubah menjadi distribusi koefisien tekanan yang ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.1. Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan grafik distribusi koefisien tekanan untuk silinder sirkular tunggal berdiameter ($D=25$ mm) yang diuji pada bilangan Reynolds sebesar $2,2 \times 10^4$ milik eksperimental, sedangkan milik (Lee et al., 2004) diuji pada bilangan Reynolds sebesar 2×10^4 . Pada grafik milik eksperimental menunjukkan bahwa pada titik 0° nilai C_P mencapai 1 yang mana titik tersebut merupakan titik stagnasi. Setelah berada di titik stagnasi aliran fluida yang melintasi permukaan silinder sirkular mengalami akselerasi (percepatan) secara signifikan kira-kira dimulai pada sudut $\pm 15^\circ$ sampai kecepatan maksimum pada sudut $\pm 70^\circ$.

Pada keadaan tersebut aliran mengalami percepatan maksimal karena melintasi area *favorable pressure gradient* dimana aliran tersebut serupa dengan bentuk *nozzle*, dengan ditandai nilai distribusi koefisien tekanannya mencapai nilai yang paling rendah sebesar -1,51. Setelah itu aliran yang melintasi permukaan silinder sirkular mengalami perlambatan akibat pengaruh *adverse pressure gradient* yang ditandai dengan adanya peningkatan tekanan. Ketika aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* dan gesekan maka terjadilah separasi yang ditandai dengan nilai koefisien tekanan yang berangsur *steady* pada sudut 95° . Sedangkan, jika dibandingkan dengan grafik yang dimiliki oleh (Lee et al., 2004) sebenarnya tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Pada grafik (Lee et al., 2004) aliran mengalami titik stagnasi pada sudut 0° dengan C_P sebesar 1, lalu aliran mengalami percepatan sampai di titik maksimumnya pada sekitar sudut 70° dengan nilai C_P sebesar -1,60. Kemudian aliran melintasi permukaan silinder dan mengalami perlambatan akibat pengaruh *adverse pressure* yang ditandai dengan peningkatan tekanan. Saat aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* maka terjadilah separasi yang ditandai dengan aliran yang mulai *steady* pada sudut 90° .



Gambar 4. 1 Perbandingan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular tunggal ekperimental dengan Lee,et al.2004

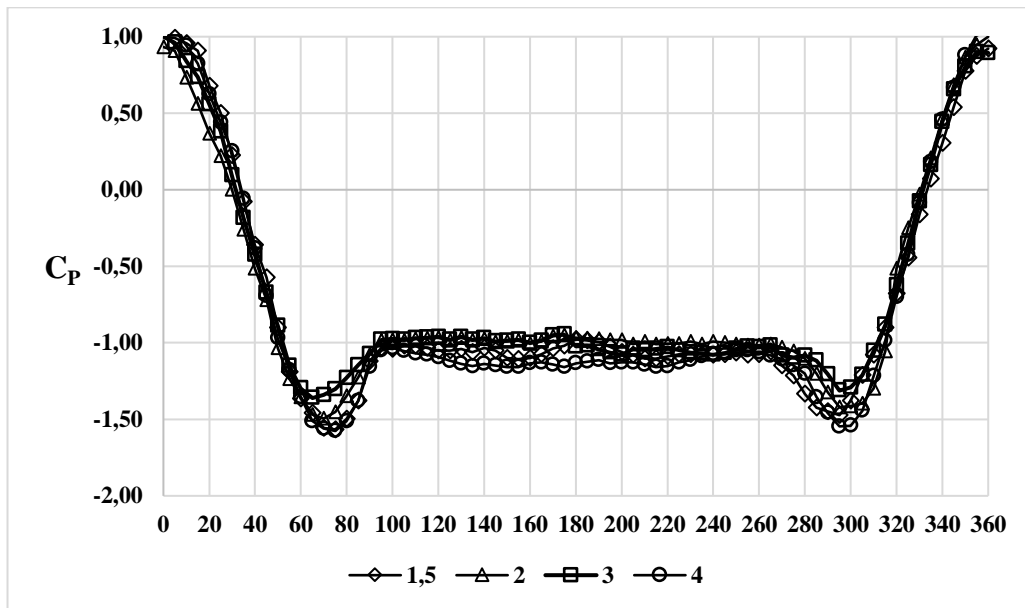
4.2 Analisis Distribusi Koefisien Tekanan pada Tiga Silinder Sirkular dengan Susunan Stagger

Pada sub bab ini akan dianalisis mengenai distribusi koefisien tekanan pada tiga silinder sirkular yang disusun stagger dengan variasi jarak logitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4.

4.2.1 Analisis Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Tiga Silinder Sirkular yang Disusun Stagger Tanpa Bodi Pengganggu

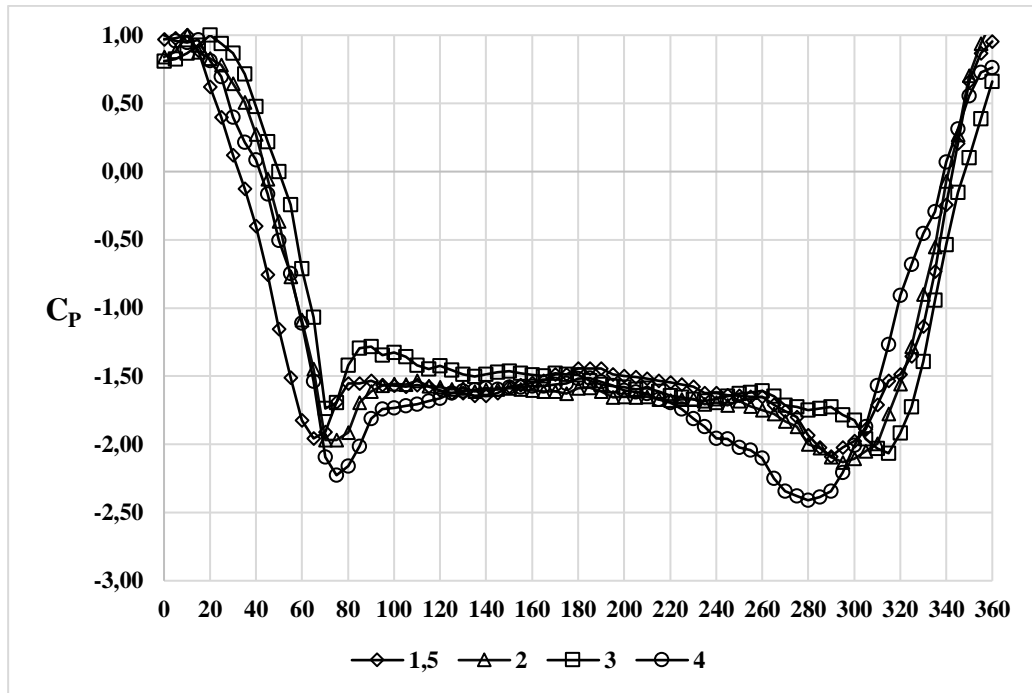
Pada sub sub bab ini akan dianalisis mengenai distribusi koefisien tekanan (C_p) pada tiga silinder sirkular yang disusun stagger tanpa bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4 yang terdiri dari silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah). Dapat dilihat dari gambar 4.2 grafik menunjukkan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 1 tanpa bodi pengganggu. Pada silinder 1 titik stagnasi berada pada titik 0° dengan nilai distribusi koefisien tekanan sebesar 1. Setelah titik stagnasi, aliran mengalami akselerasi (percepatan) karena aliran tersebut melintasi daerah *favorable pressure gradient* yang memiliki bentuk aliran seperti *nozzle* yang ditandai dengan menurunnya grafik distribusi koefisien tekanan yang signifikan. Akselerasi (percepatan) aliran ini terjadi sampai aliran memiliki kecepatan maksimum yang ditandai dengan menurunnya distribusi koefisien tekanan pada keadaan paling rendah. Pada silinder 1 dengan jarak (L/D) = 1,5 pada sisi *upper* aliran mengalami percepatan hingga berada pada sudut 70° dan sisi *lower* pada sudut 290° . Kemudian titik separasi berada pada rentang sudut $95^\circ - 265^\circ$. Untuk jarak longitudinal (L/D) = 2 aliran mengalami percepatan sampai pada sudut 70° di sisi *upper* dan pada sudut 300° di sisi *lower*. Pada suatu titik aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* dan efek gesekan sehingga aliran terseparasi pada titik $95^\circ - 275^\circ$. Sedangkan pada jarak (L/D) = 3 aliran mengalami percepatan hingga titik 60° pada sisi *upper* dan titik 300° pada sisi *lower*. Kemudian aliran mengalami separasi karena tidak lagi mampu melawan efek gesekan dan *adverse pressure* pada sudut $95^\circ - 290^\circ$. Untuk jarak (L/D) = 4 aliran mengalami percepatan hingga sudut 75°

pada sisi *upper* dan 300° pada sisi *lower*, kemudian mengalami separasi pada sudut 95° - 280°.



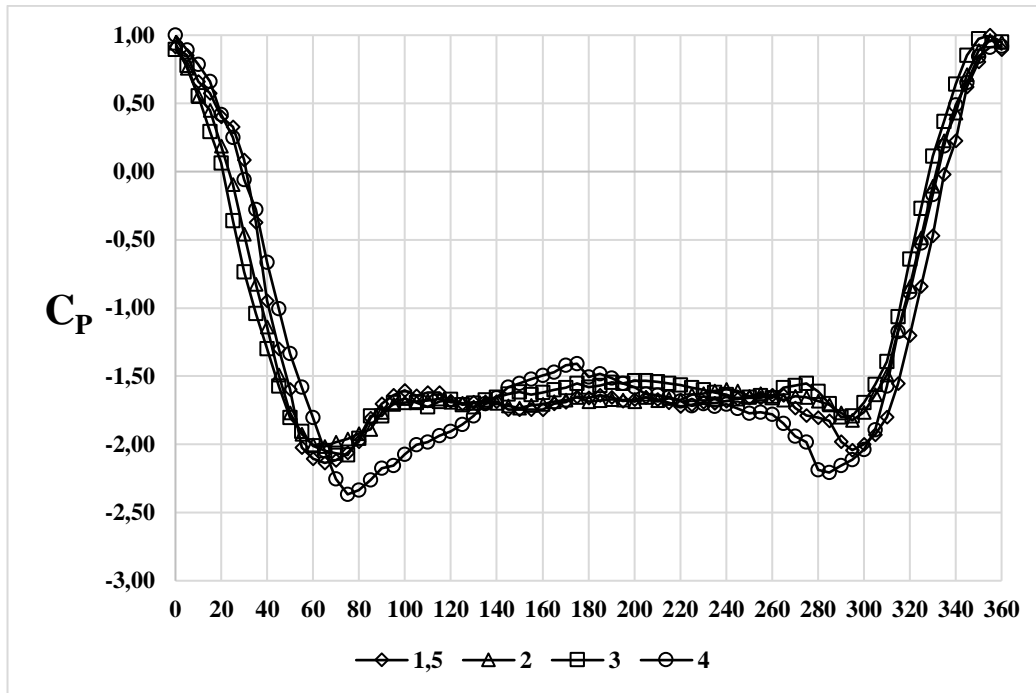
Gambar 4. 2 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 1 (*upstream*) tanpa bodi pengganggu

Pada gambar 4.3 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (*downstream* atas) tanpa bodi pengganggu. Silinder 2 tidak memiliki titik stagnasi, hal itu disebabkan oleh pengaruh dari *shear layer* yang terlepas dari silinder 1 yang kembali menghantam silinder 2. Hal tersebut seperti mendapat pengaruh *angle of attach* pada *upper side* silinder 2 dan *lower side* silinder 3. Akibat adanya aliran *free stream* maka aliran kembali mengalami perlambatan hingga silinder 2 mencapai tekanan maksimumnya pada sudut 65° di posisi *upper side* dan 290° di posisi *lower side* pada jarak (L/D) = 1,5. Pada silinder 2 untuk jarak (L/D) = 2 aliran mengalami percepatan sehingga menyebabkan penurunan koefisien tekanan sampai pada kecepatan maksimum pada sudut 75° di sisi *upper side*, dan pada sudut 295° di sisi *lower side*. Kemudian akibat adanya pengaruh dari *adverse pressure* sehingga aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan adanya peningkatan koefisien tekanan yang menyebabkan aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadilah separasi. Separasi aliran ini ditandai dengan nilai koefisien tekanan yang berangsur *steady* pada sudut 80° untuk *upper side* dan 275° untuk sisi *lower side* pada jarak (L/D) = 1,5 dan pada sudut 95° -275° pada jarak (L/D) = 2. Sedangkan pada jarak (L/D) = 3 aliran mengalami percepatan hingga sudut 70° pada *upper side* dan sudut 315° pada *lower side*, dan terseparasi pada sudut 90° -300°. Untuk jarak (L/D) = 4 silinder 2 mengalami percepatan hingga sudut 75° pada *upper side* dan sudut 280° pada *lower side*, lalu terseparasi pada sudut 95° -300°.



Gambar 4. 3 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (*downstream* atas) tanpa bodi pengganggu

Pada gambar 4.4 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (*downstream* bawah) tanpa bodi pengganggu. Silinder tidak memiliki titik stagnasi, hal itu disebabkan oleh pengaruh dari *shear layer* yang terlepas dari silinder 1 yang kembali menghantam silinder 3. Hal tersebut seperti mendapat pengaruh *angle of attach* pada *upper side* silinder 2 dan *lower side* silinder 3. Akibat adanya aliran *free stream* maka aliran kembali mengalami perlambatan hingga silinder 3 mencapai tekanan maksimumnya pada sudut 65° di posisi *upper side* dan 295° di posisi *lower side* pada jarak (L/D) = 1,5. Pada silinder 3 untuk jarak (L/D) = 2 aliran mengalami percepatan sehingga menyebabkan penurunan koefisien tekanan sampai pada kecepatan maksimum pada sudut 60° di sisi *upper side*, dan pada sudut 295° di sisi *lower side*. Kemudian akibat adanya pengaruh dari *adverse pressure* sehingga aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan adanya peningkatan koefisien tekanan yang menyebabkan aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadilah separasi. Separasi aliran ini ditandai dengan nilai koefisien tekanan yang berangsur *steady* pada sudut 95° untuk *upper side* dan 265° untuk sisi *lower side* pada jarak (L/D) = 1,5 dan pada sudut 95° - 275° pada jarak (L/D) = 2. Sedangkan pada jarak (L/D) = 3 aliran mengalami percepatan hingga sudut 75° pada *upper side* dan sudut 295° pada *lower side*, dan terseparasi pada sudut 105° - 280° . Untuk jarak (L/D) = 4 silinder 3 mengalami percepatan hingga sudut 75° pada *upper side* dan sudut 285° pada *lower side*, lalu terseparasi pada 100° - 270° .

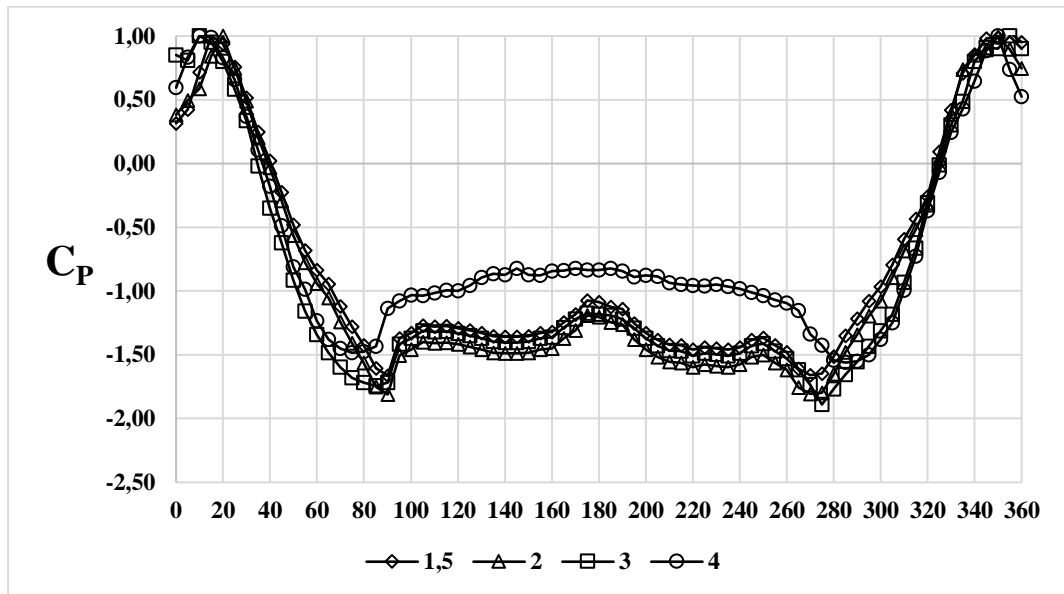


Gambar 4. 4 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (*downstream* bawah) tanpa bodi pengganggu

4.2.2 Analisis Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Tiga Silinder Sirkular yang Disusun Stagger Dengan Bodi Pengganggu

Pada sub sub bab ini akan dianalisis mengenai distribusi koefisien tekanan (C_p) pada tiga silinder sirkular yang disusun stagger tanpa bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4 yang terdiri dari silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah) dengan penambahan bodi pengganggu. Dapat dilihat dari gambar 4.5 grafik menunjukkan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 1 dengan bodi pengganggu. Pada silinder 1 tidak memiliki titik stagnasi karena adanya pengaruh dari bodi pengganggu yang ditempatkan pada sudut 0° sehingga yang terjadi hanyalah *re-attachment* dari aliran. Pada jarak (L/D) = 1,5 *re-attachment* terjadi pada sudut 20° pada *upper side* dan 350° pada *lower side*, untuk jarak (L/D) = 2 terjadi pada sudut 15° pada *upper side* dan 350° pada *lower side*. Untuk jarak (L/D) = 3 *re-attachment* terjadi pada sudut 10° pada *upper side* dan 350° pada *lower side*, sedangkan pada jarak (L/D) terjadi pada sudut 15° pada *upper side* dan sudut 350° pada *lower side*. Aliran mengalami akselerasi (percepatan) karena aliran tersebut melintasi daerah *favorable pressure gradient* yang memiliki bentuk aliran seperti *nozzle* yang ditandai dengan menurunnya grafik distribusi koefisien tekanan yang signifikan. Akselerasi (percepatan) aliran ini terjadi sampai aliran memiliki kecepatan maksimum yang ditandai dengan menurunnya distribusi koefisien tekanan pada keadaan paling rendah. Pada silinder 1 dengan penambahan bodi pengganggu pada jarak (L/D) = 1,5 di sisi *upper* aliran mengalami percepatan hingga berada pada sudut 90° dan sisi *lower* pada titik 275° . Kemudian aliran pada silinder 1 dengan penambahan bodi pengganggu mengalami penundaan titik separasi jika dibandingkan dengan silinder 1 tanpa bodi pengganggu, pada jarak (L/D) 1,5 dengan titik

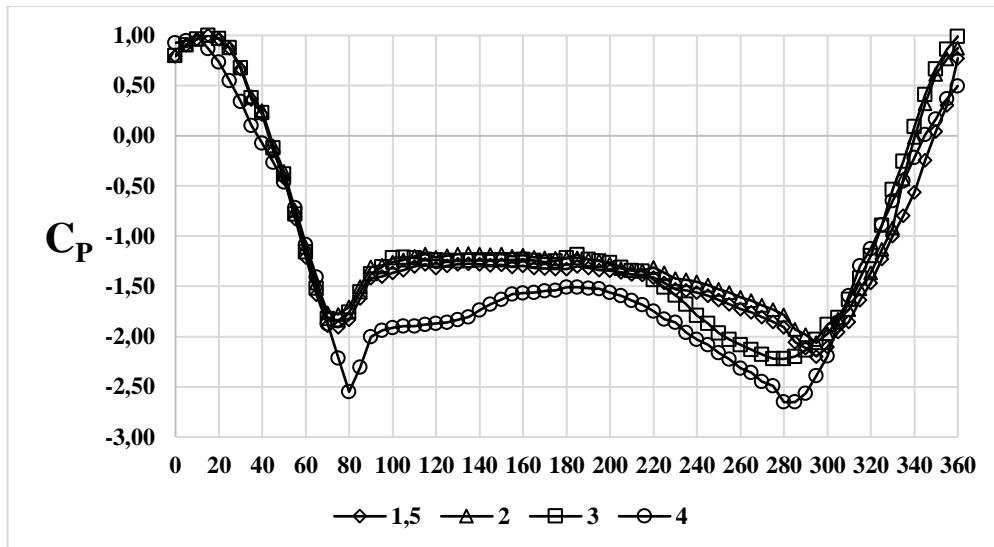
separasi berada pada rentang $100^\circ - 260^\circ$. Untuk jarak longitudinal (L/D) = 2 aliran mengalami percepatan sampai pada titik 90° di sisi *upper* dan pada titik 270° di sisi *lower*. Pada suatu titik aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* dan efek gesekan sehingga aliran terseparasi pada titik $100^\circ - 260^\circ$. Sedangkan pada jarak (L/D) = 3 aliran mengalami percepatan hingga titik 90° pada sisi *upper* dan titik 275° pada sisi *lower*. Kemudian aliran mengalami separasi karena tidak lagi mampu melawan efek gesekan dan *adverse pressure* pada sudut $105^\circ - 260^\circ$. Untuk jarak (L/D) = 4 aliran mengalami percepatan hingga sudut 80° pada sisi *upper* dan 290° pada sisi *lower*, kemudian mengalami separasi pada sudut $105^\circ - 265^\circ$.



Gambar 4. 5 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 1 (*upstream*) dengan bodi pengganggu

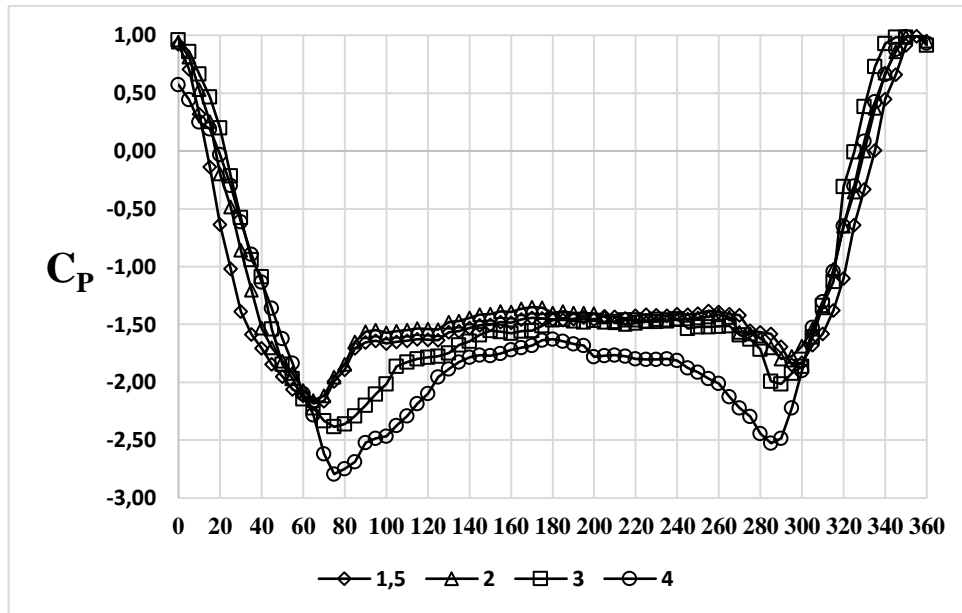
Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (*downstream* atas) dengan bodi pengganggu. Silinder 2 tidak memiliki titik stagnasi, hal itu disebabkan oleh pengaruh dari *shear layer* yang terlepas dari silinder 1 yang kembali menghantam silinder 2. Hal tersebut seperti mendapat pengaruh *angle of attach* pada *upper side* silinder 2 dan *lower side* silinder 3. Akibat adanya *blockage effect* maka aliran kembali mengalami perlambatan hingga silinder 2 mencapai tekanan maksimumnya, *blockage effect* ini terjadi dikarenakan aliran melintasi celah antara silinder 2 dengan silinder 3. Percepatan terjadi hingga pada sudut 75° di posisi *upper side* dan 295° di posisi *lower side* pada jarak (L/D) = 1,5. Pada silinder 2 untuk jarak (L/D) = 2 aliran mengalami percepatan sehingga menyebabkan penurunan koefisien tekanan sampai pada kecepatan maksimum pada sudut 70° di sisi *upper side*, dan pada sudut 295° di sisi *lower side*. Kemudian akibat adanya pengaruh dari *adverse pressure* sehingga aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan adanya peningkatan koefisien tekanan yang menyebabkan aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadilah separasi. Separasi aliran ini ditandai dengan nilai koefisien tekanan yang berangsur *steady* pada sudut 100° untuk *upper side* dan 280° untuk sisi *lower side* pada jarak (L/D) = 1,5 dan pada sudut $95^\circ - 280^\circ$ pada jarak (L/D) = 2. Sedangkan pada jarak (L/D) = 3 aliran mengalami percepatan hingga sudut 80° pada *upper side* dan sudut 285° pada *lower side*, dan terseparasi pada

sudut 105° - 215° . Untuk jarak $(L/D) = 4$ silinder 2 mengalami percepatan hingga sudut 80° pada *upper side* dan sudut 285° pada *lower side*, lalu terseparasi pada 100° - 265° . Dalam hal ini silinder cenderung mengalami penundaan titik separasi yang tidak lain disebabkan oleh adanya penambahan bodi pengganggu.



Gambar 4. 6 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (*downstream atas*) dengan bodi pengganggu

Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (*downstream bawah*) dengan bodi pengganggu. Silinder 3 tidak memiliki titik stagnasi, hal itu disebabkan oleh pengaruh dari *shear layer* yang terlepas dari silinder 1 yang kembali menghantam silinder 3. Hal tersebut seperti mendapat pengaruh *angle of attach* pada *upper side* silinder 2 dan *lower side* silinder 3. Akibat adanya *blockage effect* maka aliran kembali mengalami perlambatan hingga silinder 3 mencapai tekanan maksimumnya, *blockage effect* ini terjadi dikarenakan aliran melintasi celah antara silinder 2 dengan silinder 3. Percepatan terjadi hingga pada sudut 65° di posisi *upper side* dan 295° di posisi *lower side* pada jarak $(L/D) = 1,5$. Pada silinder 2 untuk jarak $(L/D) = 2$ aliran mengalami percepatan sehingga menyebabkan penurunan koefisien tekanan sampai pada kecepatan maksimum pada sudut 65° di sisi *upper side*, dan pada sudut 295° di sisi *lower side*. Kemudian akibat adanya pengaruh dari *adverse pressure* sehingga aliran mengalami perlambatan yang ditandai dengan adanya peningkatan koefisien tekanan yang menyebabkan aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadilah separasi. Separasi aliran ini ditandai dengan nilai koefisien tekanan yang berangsur *steady* pada sudut 90° untuk *upper side* dan 265° untuk sisi *lower side* pada jarak $(L/D) = 1,5$ dan pada sudut 90° - 265° pada jarak $(L/D) = 2$. Sedangkan pada jarak $(L/D) = 3$ aliran mengalami percepatan hingga sudut 80° pada *upper side* dan sudut 290° pada *lower side*, dan terseparasi pada titik 110° - 275° . Untuk jarak $(L/D) = 4$ silinder 3 mengalami percepatan hingga sudut 75° pada *upper side* dan sudut 285° pada *lower side*, lalu terseparasi pada 125° - 260° . Dalam hal ini silinder cenderung mengalami penundaan titik separasi yang tidak lain disebabkan oleh adanya penambahan bodi pengganggu.



Gambar 4. 7 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (*downstream* bawah) dengan bodi pengganggu

4.3. Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun Stagger dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai pengaruh penambahan bodi pengganggu dan pengaruh jarak longitudinal (L/D) pada silinder 1 (*upstream*), silinder 2 (*downstream* atas), dan silinder 3 (*downstream* bawah). Data yang akan ditampilkan ialah silinder 1,2, dan 3 pada jarak (L/D) = 1,5 dan 4, sedangkan untuk jarak longitudinal (L/D) = 2 dan 3 akan ditampilkan pada lampiran. Pada sub bab ini akan dianalisis pula mengenai efek *bistable* yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Zdravkovich, 1987) yaitu efek *bistable* terjadi pada jarak tertentu dan pada susunan silinder tertentu. Sedangkan, menurut penelitian yang dilakukan oleh (Alam et al., 2003) *bistable* ditandai dengan perbedaan lebar *wake* pada posisi *upper side* dan *lower side* dari distribusi koefisien tekanan. Hal ini ditandai pula dengan adanya *narrow wake* dan *wide wake*, dimana ketika *narrow wake* maka gaya *drag* yang terjadi lebih kecil, sedangkan saat *wide wake* maka gaya *drag* yang terjadi lebih besar.

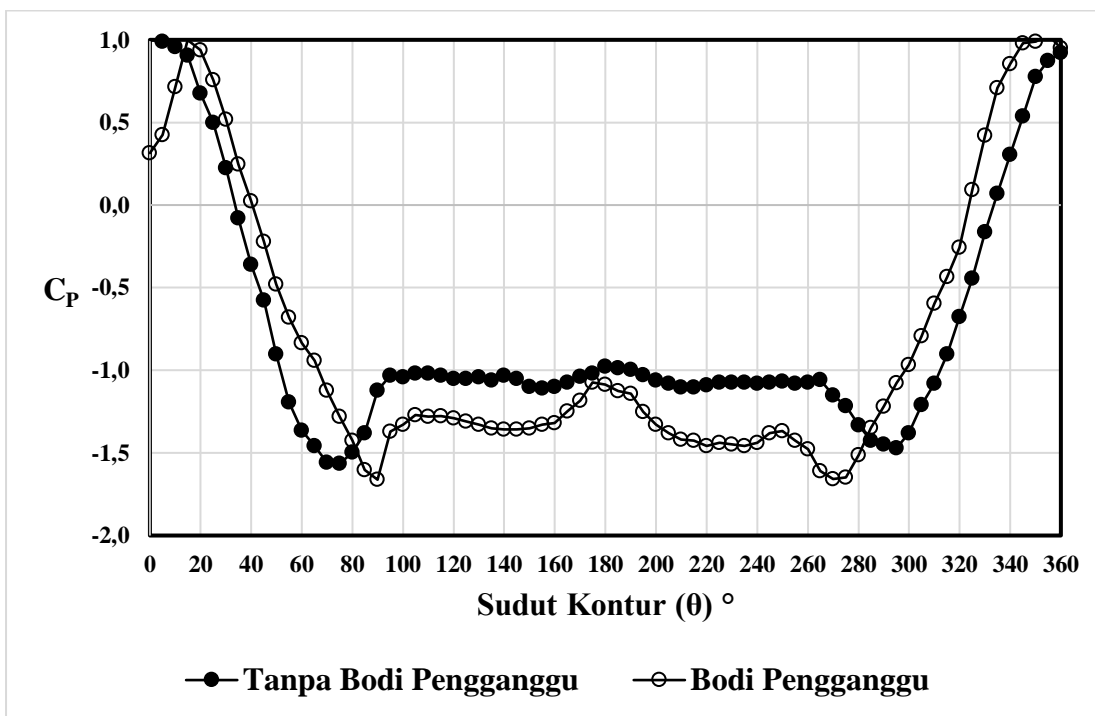
4.3.1 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun Stagger dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu pada Jarak (L/D) = 1,5

Pada sub sub bab ini akan dibahas mengenai perbandingan distribusi koefisien tekanan pada 3 silinder sirkular yang disusun *stagger* baik dengan penambahan bodi pengganggu maupun tidak dengan penambahan bodi pengganggu pada silinder 1. Pada gambar grafik 4.8 bisa dilihat bahwa aliran pada silinder 1 jarak (L/D) = 1,5 tanpa bodi pengganggu mencapai titik stagnasi pada posisi sudut 0° dengan nilai C_p sebesar 1. Kemudian aliran mengalami akselerasi (percepatan) ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan yang berangsur turun sampai memiliki kecepatan maksimum pada posisi sudut 75° dengan besar nilai C_p adalah -1,6. Karena aliran memperoleh pengaruh dari *adverse pressure* maka aliran mengalami perlambatan dengan ditandai naiknya nilai distribusi koefisien tekanan. Pada suatu ketika aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* maka aliran menjadi terseparasi dengan ditandai aliran mulai *steady* pada posisi sudut 95° di *upper side* dan posisi sudut 270°

di *lower side*. Kemudian aliran kembali mengalami perlambatan hingga akhirnya C_p nya kembali naik pada posisi 360° sebesar 0,9.

Sedangkan untuk silinder 1 pada jarak $(L/D) = 1,5$ dengan penambahan bodi pengganggu terlihat bahwa aliran awalnya mengalami percepatan hingga mencapai titik maksimumnya pada posisi sudut 90° ditandai dengan turunnya nilai C_p sebesar -1,7, kemudian karena aliran tidak bisa lagi melawan *adverse pressure* maka terjadilah separasi aliran, dimana separasi aliran ini ditandai dengan mulai *steady* nya aliran pada posisi 95° hingga 270° . Selanjutnya aliran kembali mengalami perlambatan dengan seiring meningkatnya nilai C_p sebesar 1 pada posisi sudut 360° . Dari perbandingan antara penambahan bodi pengganggu dan tidak ditambahkan bodi pengganggu terjadi penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang lebih rendah, hal ini tidak lain karena adanya pengaruh penambahan dari bodi pengganggu.

Selain itu, dapat terlihat pula dari nilai koefisien base pressure (C_p) base yaitu nilai yang diambil setelah titik separasi yaitu titik setelah 90° . Pada silinder 1 tanpa bodi pengganggu nilai koefisien *base pressure* nya ialah -1, sedangkan pada silinder 1 dengan bodi pengganggu nilai koefisien *base pressure* nya ialah -1,3. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran yang melintasi silinder 1 dengan bodi pengganggu kecepatan alirannya tinggi jika dibandingkan dengan aliran yang melintasi silinder 1 tanpa bodi pengganggu. Hal tersebut mengindikasikan bahwa gaya hambat yang terjadi pada silinder 1 dengan bodi pengganggu lebih besar daripada silinder 1 tanpa bodi pengganggu, jika nilai koefisien *base pressure* nya lebih tinggi maka koefisien *drag* nya akan turun dan sebaliknya. Ini lah yang menyebabkan mengapa nilai C_{DP} pada silinder 1 dengan bodi pengganggu cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan silinder 1 tanpa bodi pengganggu.

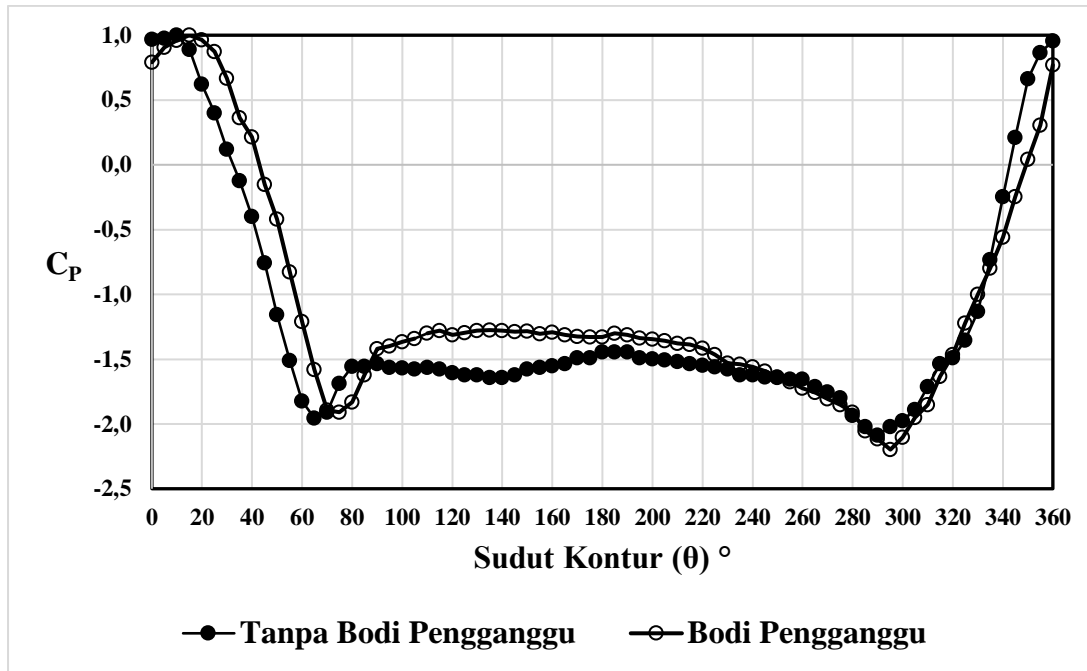


Gambar 4. 8 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal $(L/D) = 1,5$ dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 1

Kemudian akan dibahas pula mengenai perbandingan distribusi koefisien tekanan pada 3 silinder sirkular yang disusun *stagger* baik dengan penambahan bodi pengganggu maupun tidak dengan penambahan bodi pengganggu pada silinder 2. Pada gambar grafik 4.9 bisa dilihat bahwa aliran pada silinder 2 jarak (L/D) = 1,5 tanpa bodi pengganggu, aliran mengalami akselerasi (percepatan) ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan yang berangsur turun sampai memiliki kecepatan maksimum pada posisi sudut 65° dengan besar nilai C_P adalah -2. Karena aliran memperoleh pengaruh dari *adverse pressure* maka aliran mengalami perlambatan dengan ditandai naiknya nilai distribusi koefisien tekanan. Pada suatu ketika aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* maka aliran menjadi terseparasi dengan ditandai aliran mulai *steady* pada posisi sudut 85° di *upper side* dan posisi sudut 290° di *lower side*. Kemudian aliran kembali mengalami perlambatan hingga akhirnya C_P nya kembali naik pada posisi 360° sebesar 1.

Sedangkan untuk silinder 2 pada jarak (L/D) = 1,5 dengan penambahan bodi pengganggu terlihat bahwa aliran awalnya mengalami percepatan hingga mencapai titik maksimumnya pada posisi sudut 75° ditandai dengan turunnya nilai C_P sebesar -1,9, kemudian karena aliran tidak bisa lagi melawan *adverse pressure* maka terjadilah separasi aliran, dimana separasi aliran ini ditandai dengan mulai *steady* nya aliran pada posisi 90° hingga 290° . Selanjutnya aliran kembali mengalami perlambatan dengan seiring meningkatnya nilai C_P sebesar 0,8 pada posisi sudut 360° . Dari perbandingan antara penambahan bodi pengganggu dan tidak ditambahkan bodi pengganggu terjadi penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_P) yang lebih tinggi pada daerah *upper side* dan lebih rendah pada daerah *lower side*, hal ini tidak lain karena adanya pengaruh penambahan dari bodi pengganggu.

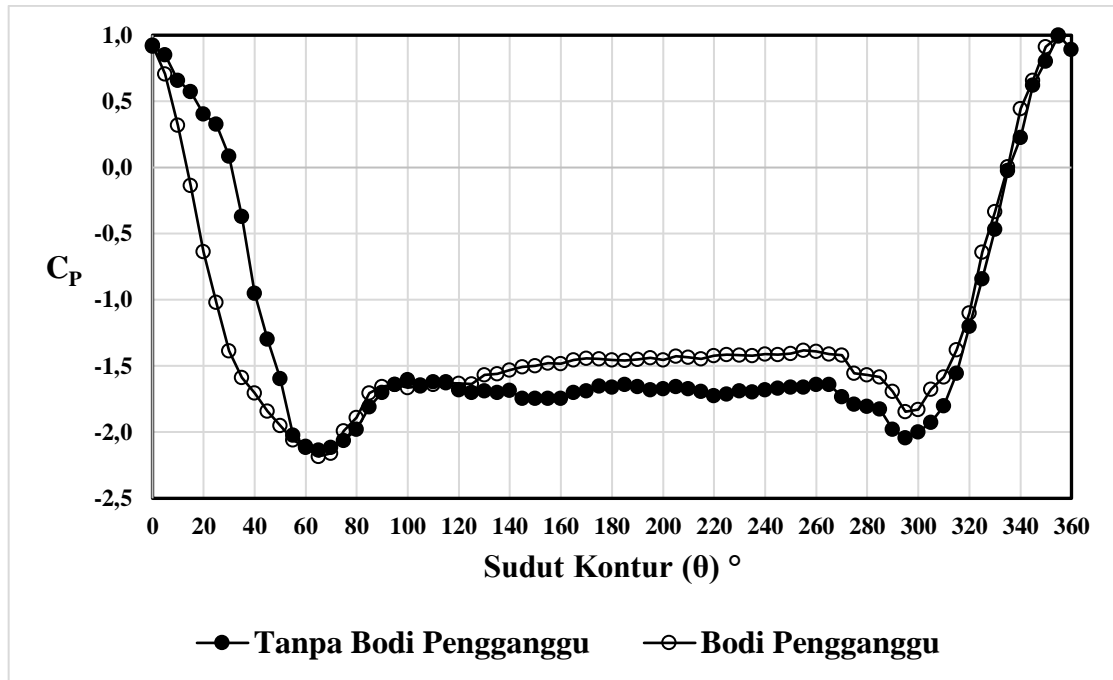
Nilai koefisien *base pressure* untuk silinder 2 tanpa bodi pengganggu adalah -1,6 sedangkan nilai koefisien *base pressure* untuk silinder 2 dengan bodi pengganggu adalah -1,4. Nilai dari koefisien *base pressure* ini akan berpengaruh kepada nilai koefisien *drag pressure*, ketika nilai dari koefisien *base pressure* ini tinggi maka nilai koefisien *drag pressure* akan cenderung menurun. Sebaliknya, ketika nilai koefisien *base pressure* ini rendah maka nilai koefisien *drag pressure* akan cenderung meningkat. Pada silinder 2 dengan bodi pengganggu memiliki nilai koefisien *base pressure* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai koefisien *base pressure* yang dimiliki oleh silinder 2 tanpa bodi pengganggu. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran yang melintasi silinder 2 tanpa bodi pengganggu kecepatan alirannya lebih tinggi jika dibandingkan dengan aliran yang melintasi silinder 2 dengan bodi pengganggu, hal itu lah yang menyebabkan silinder 2 tanpa bodi pengganggu memiliki grafik percepatan yang lebih curam jika dibandingkan dengan silinder 2 dengan penambahan bodi pengganggu.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 2

Untuk perbandingan distribusi koefisien tekanan pada 3 silinder sirkular yang disusun *stagger* baik dengan penambahan bodi pengganggu maupun tidak dengan penambahan bodi pengganggu pada silinder 3. Pada gambar grafik 4.10 bisa dilihat bahwa aliran pada silinder 3 jarak (L/D) = 1,5 tanpa bodi pengganggu, aliran mengalami akselerasi (percepatan) ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan yang berangsur turun sampai memiliki kecepatan maksimum pada posisi sudut 65° dengan besar nilai C_p adalah -2. Karena aliran memperoleh pengaruh dari *adverse pressure* maka aliran mengalami perlambatan dengan ditandai naiknya nilai distribusi koefisien tekanan. Pada suatu ketika aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* maka aliran menjadi terseparasi dengan ditandai aliran mulai *steady* pada posisi sudut 85° di *upper side* dan posisi sudut 290° di *lower side*. Kemudian aliran kembali mengalami perlambatan hingga akhirnya C_p nya kembali naik pada posisi 360° sebesar 1.

Sedangkan untuk silinder 3 pada jarak (L/D) = 1,5 dengan penambahan bodi pengganggu terlihat bahwa aliran awalnya mengalami percepatan hingga mencapai titik maksimumnya pada posisi sudut 65° ditandai dengan turunnya nilai C_p sebesar -2,1, kemudian karena aliran tidak bisa lagi melawan *adverse pressure* maka terjadilah separasi aliran, dimana separasi aliran ini ditandai dengan mulai *steady* nya aliran pada posisi 95° hingga 285° . Selanjutnya aliran kembali mengalami perlambatan dengan seiring meningkatnya nilai C_p sebesar 1 pada posisi sudut 355° . Dari perbandingan antara penambahan bodi pengganggu dan tidak ditambahkan bodi pengganggu terjadi penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang lebih rendah pada *upper side* dan lebih tinggi pada *lower side*, hal ini tidak lain karena adanya pengaruh penambahan dari bodi pengganggu.

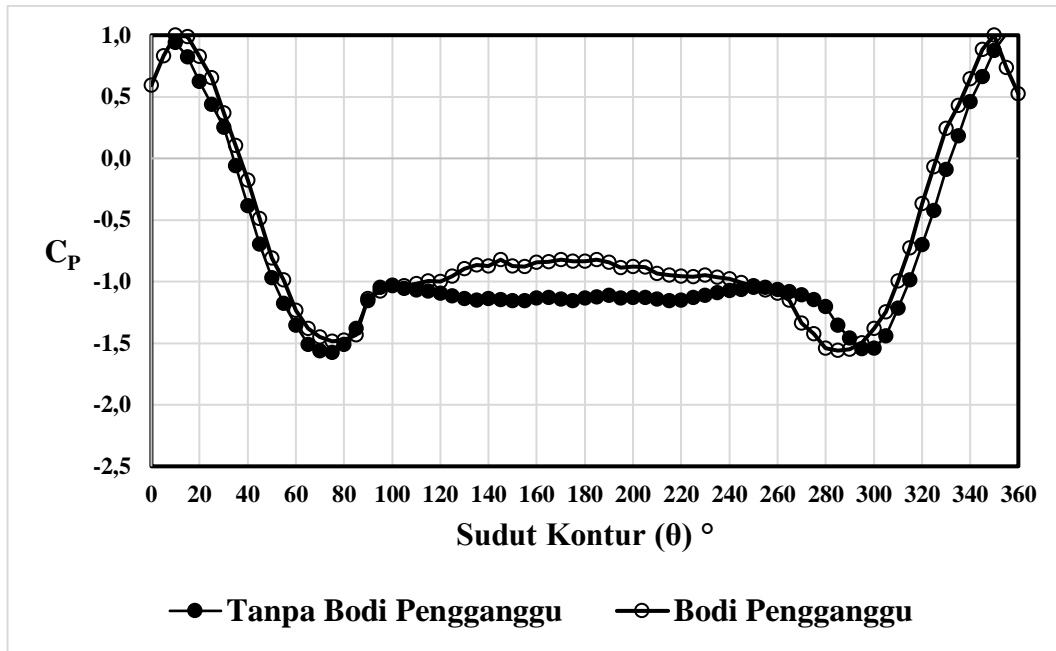


Gambar 4. 10 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 3

4.3.2 Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun *Stagger* dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu pada Jarak (L/D) = 4

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perbandingan distribusi koefisien tekanan pada 3 silinder sirkular yang disusun *stagger* baik dengan penambahan bodi pengganggu maupun tidak dengan penambahan bodi pengganggu pada silinder 1. Pada gambar grafik 4.11 bisa dilihat bahwa aliran pada silinder 1 jarak (L/D) = 4 tanpa bodi pengganggu mencapai titik stagnasi pada posisi sudut 0° . Kemudian aliran mengalami akselerasi (percepatan) ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan yang berangsur turun sampai memiliki kecepatan maksimum pada posisi sudut 70° dengan besar nilai C_p adalah -1,6. Karena aliran memperoleh pengaruh dari *adverse pressure* maka aliran mengalami perlambatan dengan ditandai naiknya nilai distribusi koefisien tekanan. Pada suatu ketika aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* maka aliran menjadi terseparasi dengan ditandai aliran mulai *steady* pada posisi sudut 95° di *upper side* dan posisi sudut 280° di *lower side*. Kemudian aliran kembali mengalami perlambatan hingga akhirnya C_p nya kembali naik pada posisi 350° sebesar 0,9.

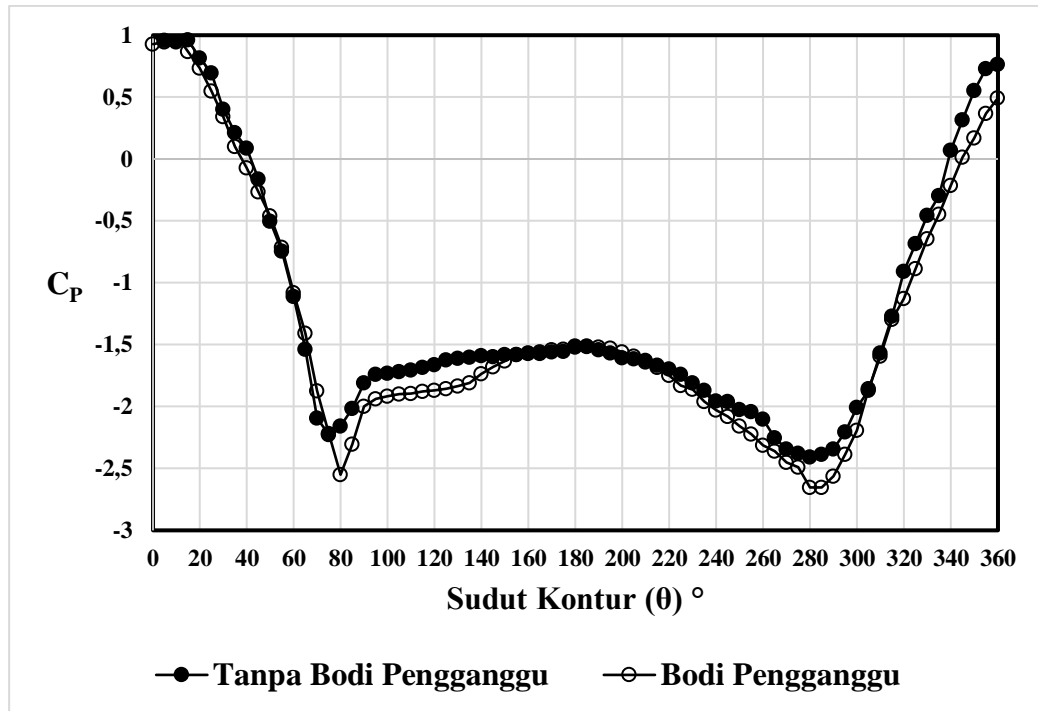
Sedangkan untuk silinder 1 pada jarak (L/D) = 4 dengan penambahan bodi pengganggu terlihat bahwa aliran awalnya mengalami percepatan hingga mencapai titik maksimumnya pada posisi sudut 80° ditandai dengan turunnya nilai C_p sebesar -1,5, kemudian karena aliran tidak bisa lagi melawan *adverse pressure* maka terjadilah separasi aliran, dimana separasi aliran ini ditandai dengan mulai *steady* nya aliran pada posisi 95° hingga 270° . Selanjutnya aliran kembali mengalami perlambatan dengan seiring meningkatnya nilai C_p sebesar 1 pada posisi sudut 350° . Dari perbandingan antara penambahan bodi pengganggu dan tidak ditambahkan bodi pengganggu terjadi penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang lebih rendah, hal ini tidak lain karena adanya pengaruh penambahan dari bodi pengganggu.



Gambar 4. 11 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 4 dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 1

Kemudian akan dibahas pula mengenai perbandingan distribusi koefisien tekanan pada 3 silinder sirkular yang disusun *stagger* baik dengan penambahan bodi pengganggu maupun tidak dengan penambahan bodi pengganggu pada silinder 2. Pada gambar grafik 4.12 bisa dilihat bahwa aliran pada silinder 2 jarak (L/D) = 4 tanpa bodi pengganggu mencapai titik stagnasi pada posisi sudut 0° dengan nilai C_p sebesar 0,95. Kemudian aliran mengalami akselerasi (percepatan) ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan yang berangsur turun sampai memiliki kecepatan maksimum pada posisi sudut 75° dengan besar nilai C_p adalah -2,2. Karena aliran memperoleh pengaruh dari *adverse pressure* maka aliran mengalami perlambatan dengan ditandai naiknya nilai distribusi koefisien tekanan. Pada suatu ketika aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* maka aliran menjadi terseparasi dengan ditandai aliran mulai *steady* pada posisi sudut 90° di *upper side* dan posisi sudut 265° di *lower side*.

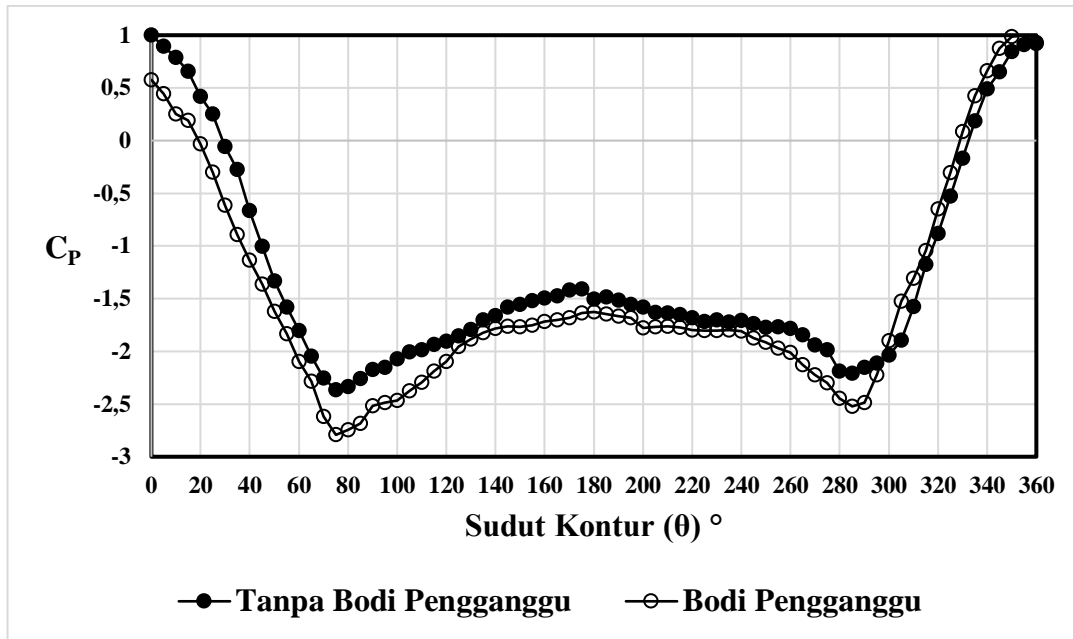
Sedangkan untuk silinder 2 pada jarak (L/D) = 4 dengan penambahan bodi pengganggu terlihat bahwa aliran awalnya mengalami percepatan hingga mencapai titik maksimumnya pada posisi sudut 80° ditandai dengan turunnya nilai C_p sebesar -2,5, kemudian karena aliran tidak bisa lagi melawan *adverse pressure* maka terjadilah separasi aliran, dimana separasi aliran ini ditandai dengan mulai *steady* nya aliran pada posisi 90° hingga 280° . Selanjutnya aliran kembali mengalami perlambatan dengan seiring meningkatnya nilai C_p sebesar 1 pada posisi sudut 360° . Dari perbandingan antara penambahan bodi pengganggu dan tidak ditambahkan bodi pengganggu terjadi penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang lebih tinggi, namun pada saat aliran mulai melewati silinder 2 koefisien tekanan (C_p) cenderung lebih rendah, hal ini tidak lain karena adanya pengaruh penambahan dari bodi pengganggu.



Gambar 4. 12 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 4 dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 2

Untuk perbandingan distribusi koefisien tekanan pada 3 silinder sirkular yang disusun *stagger* baik dengan penambahan bodi pengganggu maupun tidak dengan penambahan bodi pengganggu pada silinder 3. Pada gambar grafik 4.13 bisa dilihat bahwa aliran pada silinder 3 jarak (L/D) = 4 tanpa bodi pengganggu mencapai titik stagnasi pada posisi sudut 0° dengan nilai C_p sebesar 0,9. Aliran mengalami akselerasi (percepatan) ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan yang berangsur turun sampai memiliki kecepatan maksimum pada posisi sudut 75° dengan besar nilai C_p adalah -2,3. Karena aliran memperoleh pengaruh dari *adverse pressure* maka aliran mengalami perlambatan dengan ditandai naiknya nilai distribusi koefisien tekanan. Pada suatu ketika aliran tidak lagi mampu melawan *adverse pressure* maka aliran menjadi terseparasi dengan ditandai aliran mulai *steady* pada posisi sudut 95° di *upper side* dan posisi sudut 275° di *lower side*. Kemudian aliran kembali mengalami perlambatan hingga akhirnya C_p nya kembali naik pada posisi 360° sebesar 0,9.

Sedangkan untuk silinder 3 pada jarak (L/D) = 4 dengan penambahan bodi pengganggu terlihat bahwa aliran awalnya mengalami percepatan hingga mencapai titik maksimumnya pada posisi sudut 75° ditandai dengan turunnya nilai C_p sebesar -2,7, kemudian karena aliran tidak bisa lagi melawan *adverse pressure* maka terjadilah separasi aliran, dimana separasi aliran ini ditandai dengan mulai *steady* nya aliran pada posisi 90° hingga 275° . Selanjutnya aliran kembali mengalami perlambatan dengan seiring meningkatnya nilai C_p sebesar 1 pada posisi sudut 355° . Dari perbandingan antara penambahan bodi pengganggu dan tidak ditambahkan bodi pengganggu terjadi penundaan titik separasi dan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang lebih tinggi, namun pada saat aliran mulai melewati silinder 2 koefisien tekanan (C_p) cenderung lebih rendah, hal ini tidak lain karena adanya pengaruh penambahan dari bodi pengganggu.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 4 dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 3

4.4 Profil Kecepatan di Belakang Tiga Silinder Sirkular Dengan Susunan *Stagger*

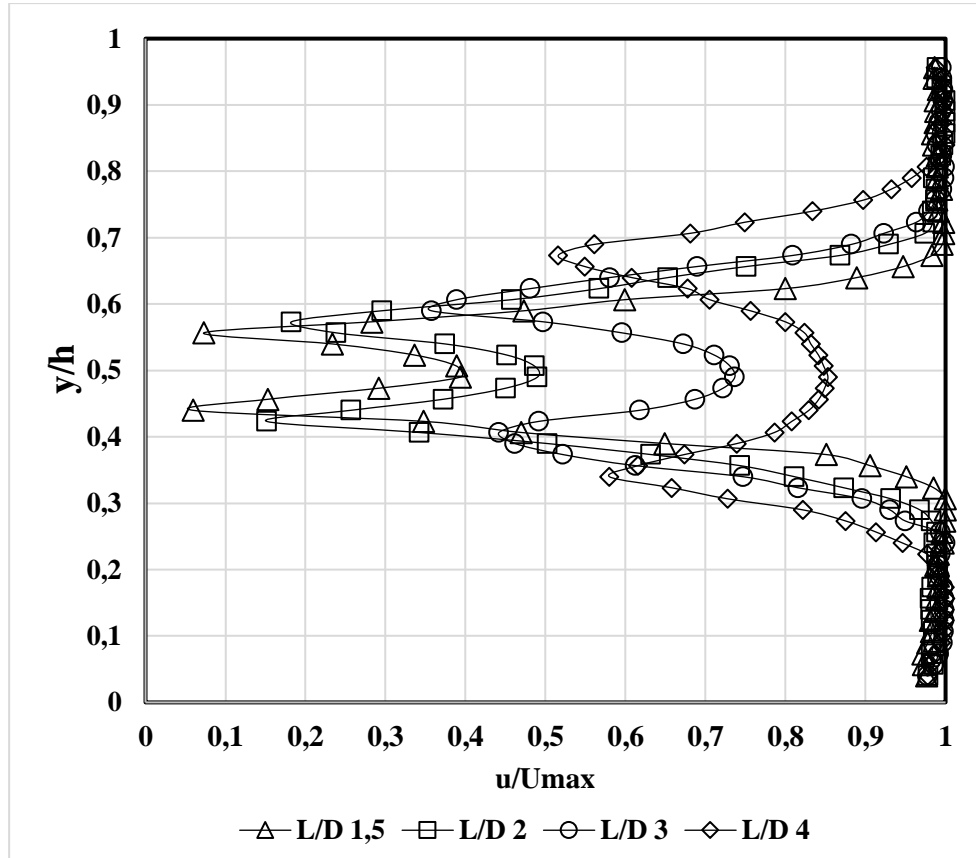
Pada sub bab ini akan dijelaskan terkait analisis distribusi kecepatan di belakang tiga silinder sirkular yang disusun *stagger* dengan dan tanpa bodi pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ untuk semua jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4. Distribusi kecepatan diambil menggunakan *pitot static tube* di belakang tiga silinder sirkular yang disusun *stagger* pada jarak $4D$ dari *silinder downstream*. Tujuan menampilkan profil kecepatan ini adalah untuk melihat seberapa besar defisit momentum yang terjadi pada setiap jarak longitudinal tertentu. Selain itu, profil kecepatan juga digunakan untuk melihat efek dari *bistable* yang mana terlihat dari grafik *wake* yang terjadi pada masing-masing silinder *downstream*. Kemudian dari perhitungan profil kecepatan ini pula yang akan dianalisis lebih lanjut dan digunakan untuk menghitung nilai koefisien *drag total* (C_{DT}).

4.4.1 Profil Kecepatan di Belakang Tiga Silinder Sirkular Dengan Susunan *Stagger* Tanpa Bodi Pengganggu

Berikut merupakan distribusi profil kecepatan yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dan 2 dengan jarak longitudinal (L/D) = 3 dan 4. Terjadinya defisit momentum yang paling besar ditandai dengan nilai u/U_{max} yang paling rendah jika dibandingkan dengan jarak (L/D) = 3 dan 4. Pada silinder 1 defisit momentum yang terjadi cukup kecil jika dibandingkan dengan defisit momentum pada silinder 2 dan silinder 3, karena defisit momentum pada silinder 2 dan silinder 3 terjadi lebih besar.

Pada kasus ini aliran yang melintasi silinder 1 (*upstream*) terseparasi dan kembali mengenai silinder 2 (*downstream* atas) dan silinder 3 (*downstream* bawah), kemudian *wake* dari silinder 1 akan mempengaruhi silinder 2 dan silinder 3. Hal inilah yang bisa menyebabkan defisit momentum pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dan 2 bisa lebih besar dibandingkan

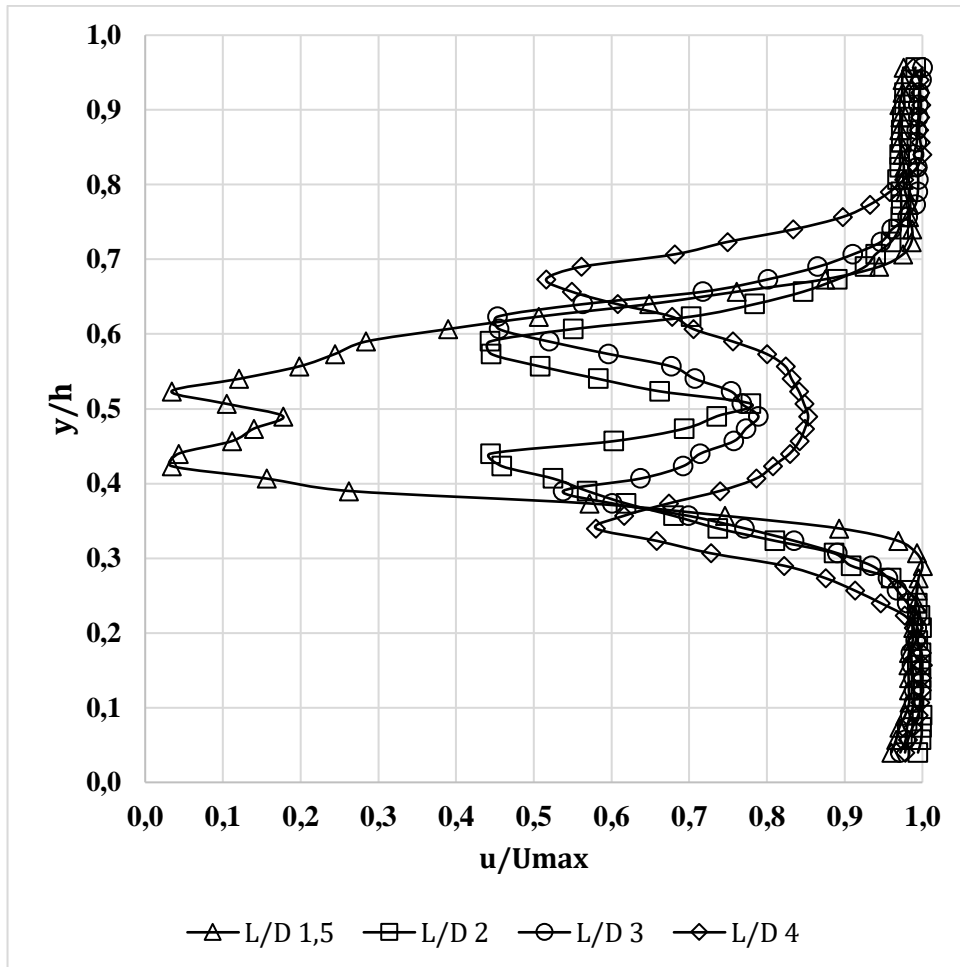
dengan jarak longitudinal (L/D) = 3 dan 4. Pada jarak longitudinal (L/D) = 3 dan 4 defisit momentum yang terjadi tidak terlalu besar dan cenderung kecil karena aliran yang sudah mengalami separasi dan *wake* dari silinder 1 tidak mempengaruhi silinder 2 dan silinder 3 secara signifikan.



Gambar 4. 14 Grafik profil kecepatan di belakang tiga silinder sirkular pada susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4

4.4.2 Profil Kecepatan di Belakang Tiga Silinder Sirkular Susunan Stagger Dengan Penambahan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$

Pada sub bab ini akan dijelaskan analisis distribusi profil kecepatan di belakang tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*. Hasil distribusi profil kecepatan menunjukkan bahwa pada saat silinder berada di posisi (L/D) = 1,5 defisit momentum yang terjadi cukup besar, dimana hal itu ditandai dengan nilai u/U maks yang paling rendah dibandingkan dengan posisi (L/D) = 2,3, dan 4. Pada jarak tersebut defisit momentum yang terjadi lebih kecil dengan ditandainya nilai u/U maks dengan posisi yang rendah. Hal tersebut disebabkan oleh aliran yang terseparasi dan *wake* dari silinder 1 sudah tidak terlalu besar dalam mempengaruhi silinder 2 dan silinder 3.



Gambar 4. 15 Grafik profil kecepatan di belakang tiga silinder sirkular susunan *stagger* dengan penambahan bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4

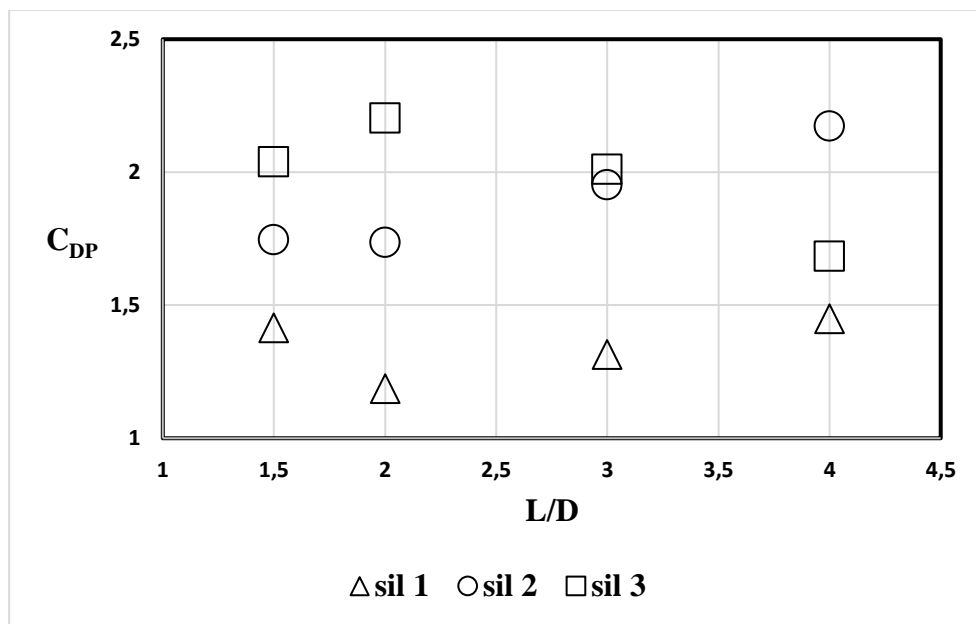
4.5 Analisis Distribusi Koefisien Drag Pressure, Koefisien *Lift pressure*, dan Koefisien *Drag total* pada Tiga Silinder Sirkular yang Disusun *Stagger*

Pada sub bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh penambahan bodi pengganggu dan pengaruh jarak longitudinal (L/D) pada tiga silinder sirkular yang disusun *stagger* terhadap distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}), koefisien *lift pressure* (C_{LP}), dan koefisien *drag total* (C_{DT}) dari tiga silinder sirkular yang disusun *stagger*. Nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) diperoleh dari persamaan 3.8, sedangkan nilai untuk distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}) diperoleh dari persamaan 3.10, kemudian untuk koefisien *drag total* (C_{DT}) diperoleh dari persamaan 3.13 yaitu penjumlahan antara momentum aliran freestream dan momentum aliran di belakang silinder sirkular menggunakan aturan simpson 1/3 segmen berganda seperti yang telah dijabarkan pada bab 3.

4.5.1 Analisis Distribusi Koefisien *Drag pressure* (C_{DP}) 3 Silinder sirkular susunan *stagger* Tanpa Bodi Pengganggu

Distribusi koefisien *drag pressure* untuk silinder 1 pada susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu memiliki nilai terendah jika dibandingkan dengan silinder 2 dan 3 seperti yang tertera pada gambar grafik 4.16. Nilai distribusi koefisien *drag pressure* untuk silinder 1 rendah pada semua jarak longitudinal dari (L/D) = 1,5-4. Nilai koefisien *drag pressure* terendah terjadi

pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 2 yaitu sebesar 1,18. Untuk silinder 2 nilai distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) lebih tinggi jika dibandingkan dengan silinder 1 pada semua jarak longitudinal dari (L/D) = 1,5-4. Sedangkan untuk silinder 3 nilai distribusi koefisien *drag pressure* lebih tinggi daripada silinder 1 dan 2 pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; dan 3, tetapi untuk jarak (L/D) = 4 nilai koefisien *drag pressure* lebih rendah jika dibandingkan dengan silinder 2. Hal ini juga mendapat pengaruh dari nilai koefisien *base pressure* yang dimiliki oleh setiap silinder 1,2, dan 3 pada jarak tertentu. Ketika nilai koefisien *base pressure* tinggi maka nilai koefisien *drag pressure* akan menurun, sedangkan ketika nilai koefisien *base pressure* rendah maka nilai koefisien *drag pressure* akan meningkat, ini lah yang terjadi pada silinder 3 pada jarak (L/D) = 1,5; 2; dan 3, karena memiliki nilai koefisien *base pressure* yang lebih rendah sehingga berpengaruh pada nilai koefisien *drag pressure* yang lebih tinggi dari pada silinder 1 dan 2 pada jarak longitudinal yang sama.

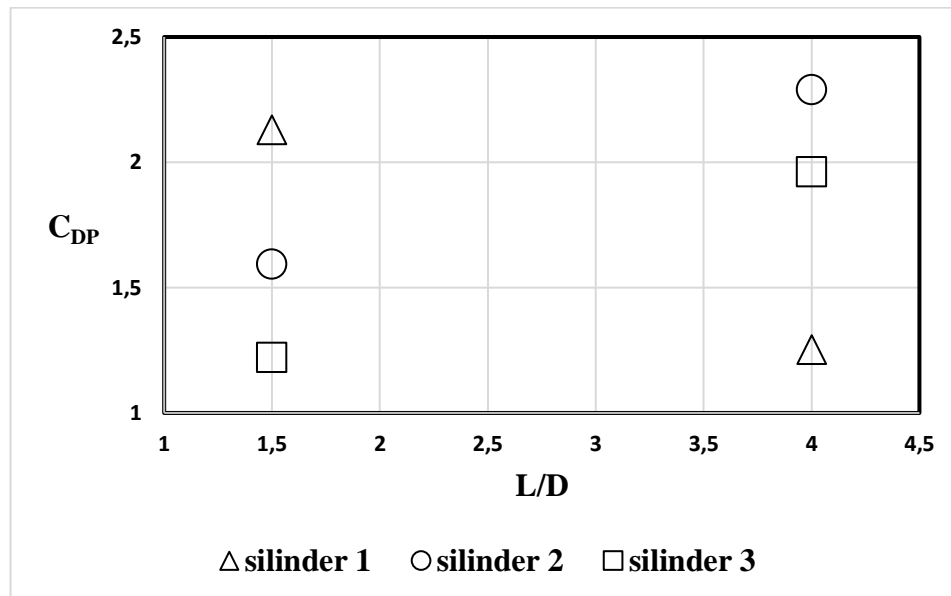


Gambar 4. 16 Grafik Koefisien *Drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)

4.5.2 Analisis Distribusi Koefisien *Drag pressure* (C_{DP}) 3 Silinde sirkular susunan *stagger* dengan Penempatan Bodi Pengganggu 0°,120°,240°

Distribusi koefisien *pressure drag* pada susunan *stagger* dengan penambahan bodi pengganggu berbanding terbalik dengan distribusi koefisien *pressure drag* pada susunan *stagger* tanpa penambahan bodi pengganggu. Perbedaan yang terlihat yaitu pada silinder 1 pada jarak (L/D) = 1,5 dan 2 memiliki nilai C_{DP} yang tinggi, sedangkan pada jarak (L/D) = 4 C_{DP} tertinggi dicapai oleh silinder 2. Kemudian untuk silinder 2, nilai dari C_{DP} lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai C_{DP} yang dimiliki oleh silinder 3. Hal ini menandakan bahwa aliran yang melintasi tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* yang ditambahkan bodi pengganggu mampu mereduksi koefisien *drag pressure* silinder *downstream* karena nilai C_{DP} nya yang berangsur menurun, akan tetapi pada silinder *upstream* cenderung terjadi peningkatan nilai C_{DP} . Pada susunan (L/D) = 4 pada silinder 1,2, dan 3 dengan bodi pengganggu jika dibandingkan dengan (L/D) = 4 pada silinder 1,2, dan 3 tanpa bodi pengganggu memiliki

trendline, hal ini dikarenakan adanya efek *bistable* sehingga silinder 1 memiliki nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang masih lebih rendah dibandingkan dengan silinder 2 dan 3.



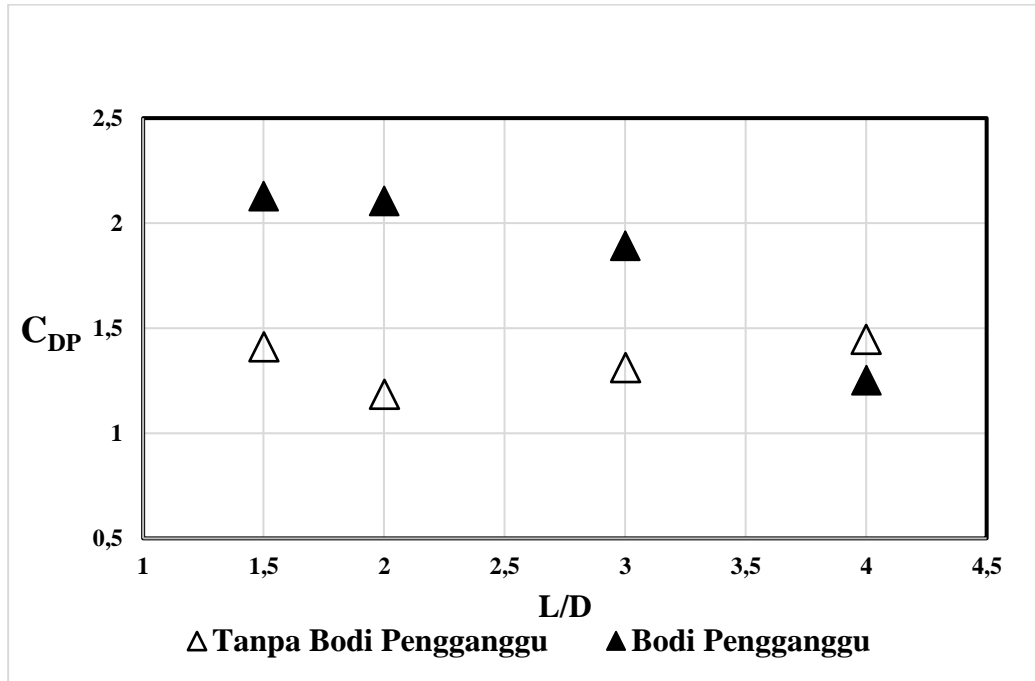
Gambar 4.17 Grafik Koefisien *Drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* dengan penempatan bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)

4.5.3 Analisis Pengaruh Jarak L/D dan Penempatan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ terhadap Distribusi Koefisien *Drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*

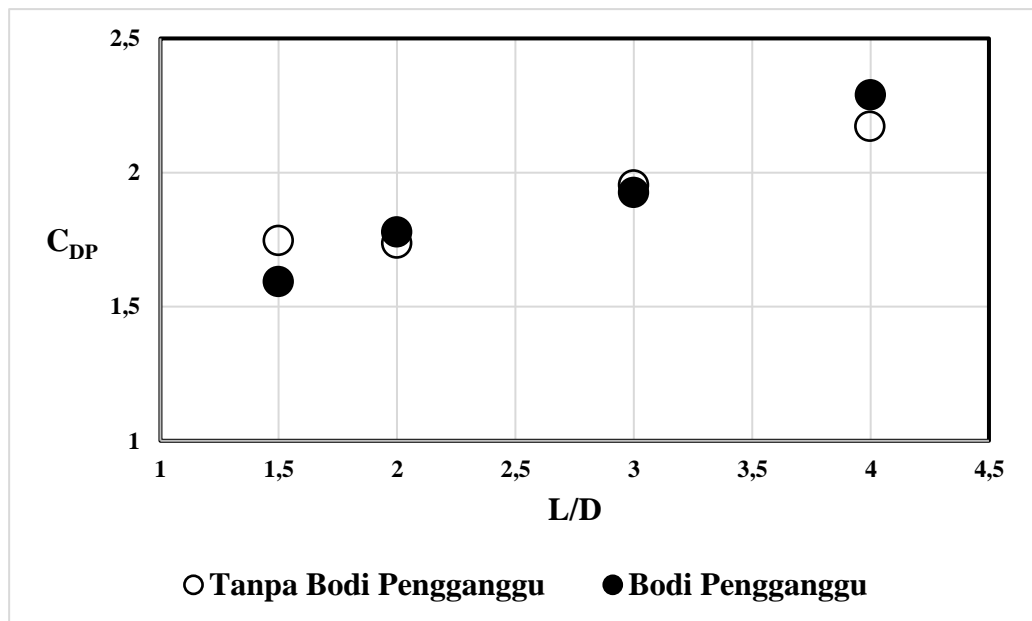
Pada sub bab ini menganalisis pengaruh penambahan bodi pengganggu pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* pada jarak longitudinal (L/D) terhadap distribusi koefisien *drag pressure*. Dari gambar grafik 4.18 (a) terlihat bahwa silinder 1 (*upstream*) dengan penambahan bodi pengganggu memiliki nilai tertinggi pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; dan 3, sedangkan untuk jarak longitudinal (L/D) nilai koefisien *drag pressure* silinder 1 dengan bodi pengganggu lebih rendah jika dibandingkan dengan silinder 1 tanpa bodi pengganggu. Nilai C_{DP} paling tinggi berada pada posisi (L/D) = 1,5 dengan bodi pengganggu, dimana nilai sebesar 1,98. Kemudian untuk silinder 2 (*downstream* atas) terlihat pada gambar grafik 4.18 (b) bahwa nilai koefisien *drag pressure* pada jarak longitudinal (L/D) = 2; 3; dan 4 dengan penambahan bodi pengganggu mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan dengan silinder 2 tanpa bodi pengganggu.

Nilai C_{DP} pada silinder 2 yang tertinggi berada posisi (L/D) = 4 untuk silinder 2 dengan bodi pengganggu, dimana nilai C_{DP} nya yaitu sebesar 2,28. Sedangkan untuk silinder 3 (*downstream* bawah) mempunyai keadaan yang berbanding terbalik dengan silinder 1 dan silinder 2. Terlihat pada gambar grafik 4.18 (c) untuk silinder 3 dengan penambahan bodi pengganggu memiliki nilai C_{DP} yang rendah pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; dan 3 jika dibandingkan dengan silinder 3 tanpa bodi pengganggu. Nilai C_{DP} terendah pada silinder 3 ini berada pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dimana nilainya adalah sebesar 1,22. Hal ini juga tidak lepas dari pengaruh nilai koefisien *base pressure*, jika nilai koefisien *base pressure* rendah akan berpengaruh pada nilai koefisien *drag pressure* yang akan meningkat, dan sebaliknya. Pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dan 2 untuk silinder 1, 2, dan 3 baik dengan bodi

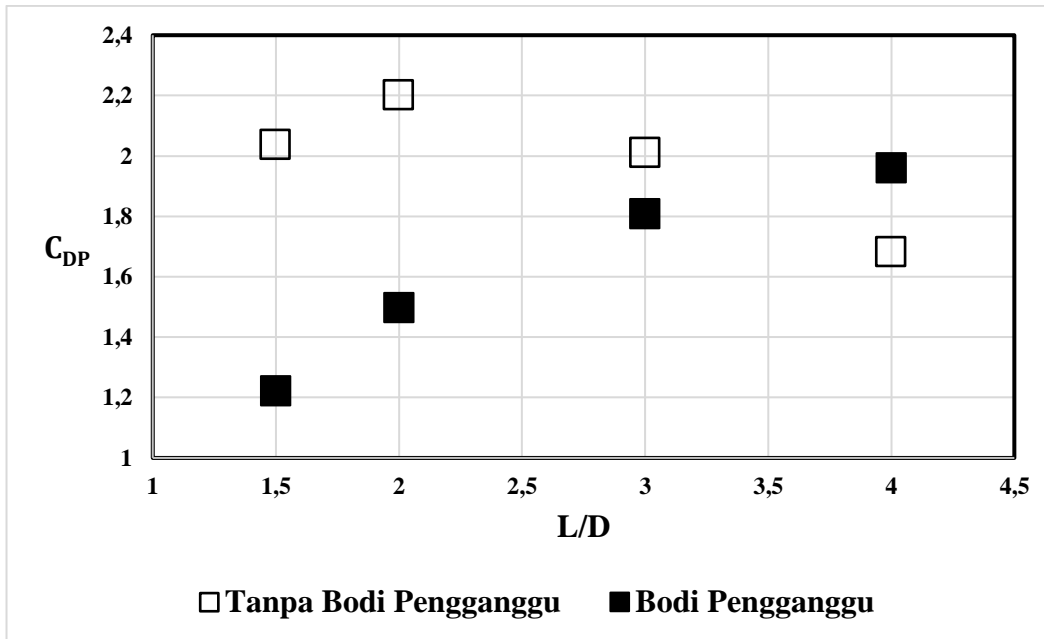
pengganggu maupun tanpa bodi pengganggu memiliki selisih nilai yang jauh, hal ini disebabkan adanya pengaruh dari efek *bistable*, efek *bistable* berdampak pada tidak stabilnya nilai C_{DP} pada silinder 1,2, dan 3 pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dan 2. Selain itu perbedaan nilai C_{DP} pada silinder *downstream* menunjukkan fenomena *bistable*, yang mana ketika nilai C_{DP} itu besar maka *wake* nya sempit atau yang disebut *narrow wake*, ketika nilai C_{DP} itu kecil maka *wake* nya lebar atau yang disebut *wide wake*.



(a)



(b)

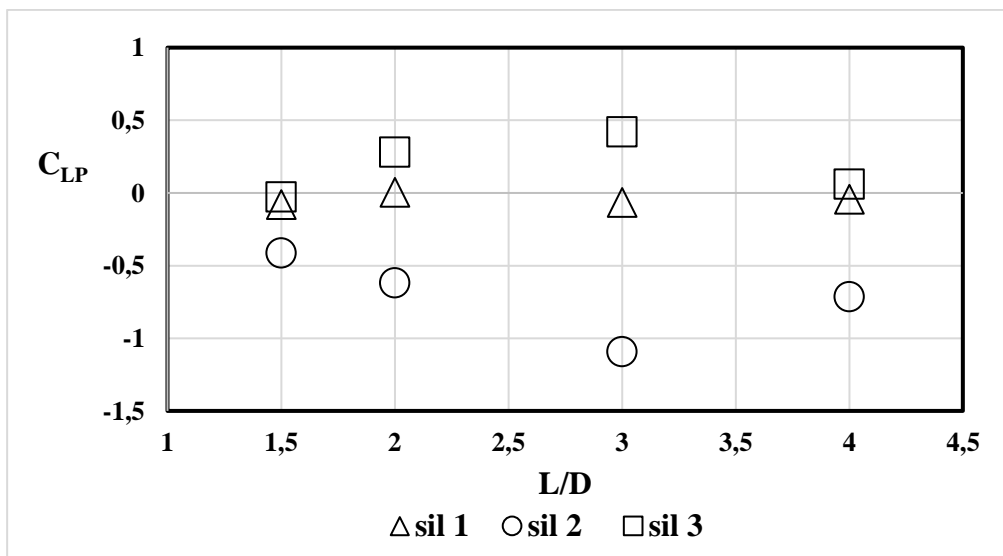


(c)

Gambar 4. 18 Grafik Koefisien *Drag pressure* (C_{DP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penempatan bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D) (a) silinder 1 (b) silinder 2 (c) silinder 3

4.5.4 Analisis Distribusi Koefisien *Lift pressure* (C_{LP}) 3 Silinder Tanpa Bodi Pengganggu

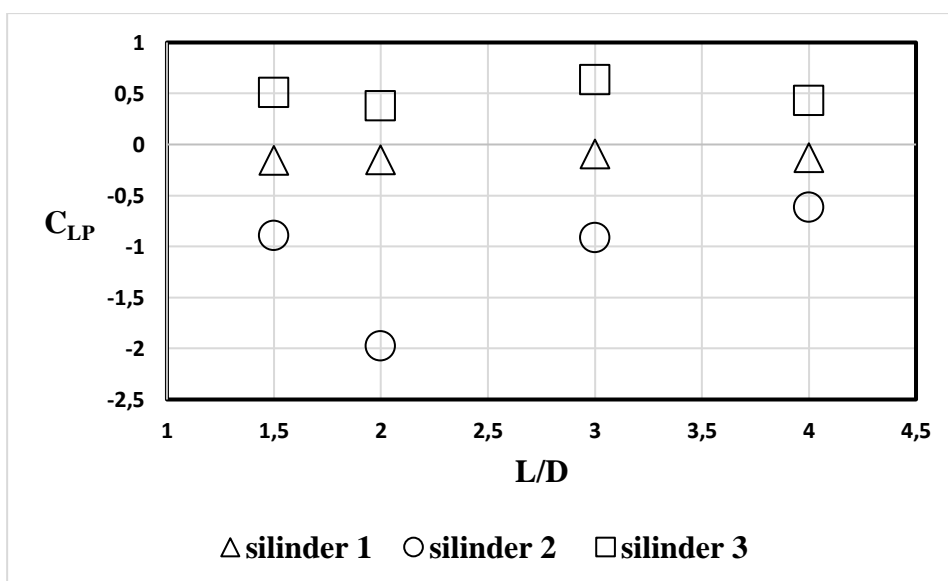
Pada sub bab ini menganalisis mengenai distribusi koefisien *lift pressure* pada tiga silinder sirkular tanpa bodi pengganggu. Terlihat pada gambar grafik 4.19 bahwa silinder 3 (*downstream* bawah) memiliki nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) yang paling tinggi jika dibandingkan dengan silinder 1 (*upstream*) dan silinder 2 (*downstream* atas). Nilai C_{LP} tertinggi berada pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 2 untuk silinder 3 sebesar 0,28. Untuk silinder 2 (*downstream* atas) memiliki nilai koefisien *lift pressure* yang paling rendah di bawah silinder 3 dan silinder 1. Nilai C_{LP} terendah dicapai pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 3 yaitu sebesar -1,09.



Gambar 4. 19 Grafik Koefisien *lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)

4.5.5 Analisis Distribusi Koefisien *Lift pressure* (C_{LP}) 3 Silinder sirkular susunan *stagger* dengan Penempatan Bodi Pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$

Pada sub bab ini menganalisis koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* yang ditambahkan bodi pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$. Untuk silinder 1 (*upstream*) distribusi koefisien *lift pressure* nilainya lebih rendah dibandingkan dengan silinder 3 (*downstream* bawah), tetapi lebih tinggi jika dibandingkan dengan silinder 2 (*downstream* atas). Nilai C_{LP} paling tinggi dicapai pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 3 untuk silinder 3 dengan nilai sebesar 0,6. Sedangkan untuk silinder 2 memiliki nilai C_{LP} terendah pada semua jarak longitudinal (L/D). Nilai C_{LP} paling rendah dicapai pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 2 dengan nilai sebesar -1,9.

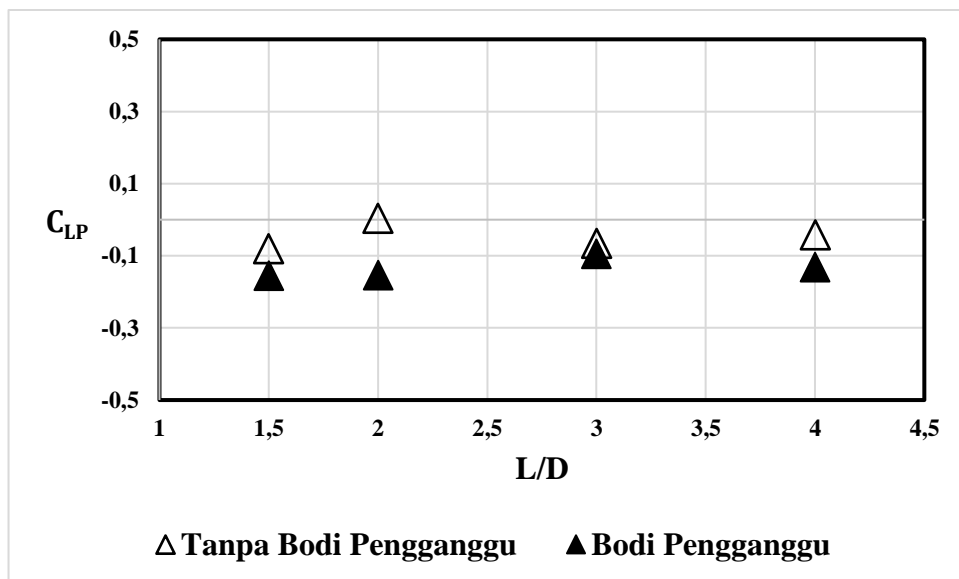


Gambar 4. 20 Grafik Koefisien *Lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* dengan Penempatan Bodi Pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D)

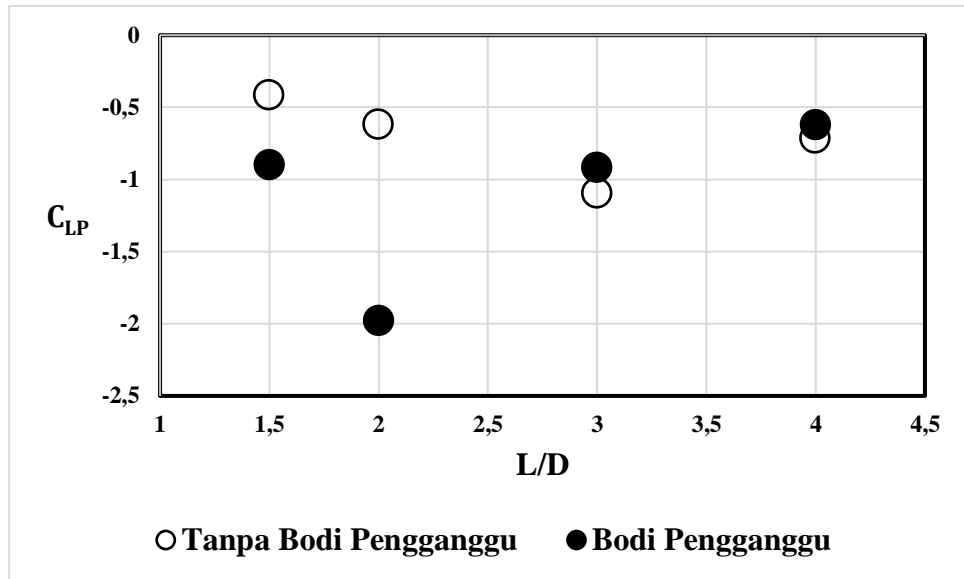
4.5.6 Analisis Pengaruh Jarak (L/D) dan Penempatan Bodi Pengganggu 0°, 120°, 240° terhadap Distribusi Koefisien *Lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*

Pada sub bab ini menganalisis pengaruh penambahan bodi pengganggu pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* pada jarak longitudinal (L/D) terhadap distribusi koefisien *lift pressure*. Dari gambar grafik 4.21 (a) terlihat bahwa silinder 1 (*upstream*) dengan penambahan bodi pengganggu memiliki nilai terendah pada semua jarak longitudinal (L/D), Nilai C_{LP} tertinggi dicapai pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 3 sebesar -0,11. Sedangkan nilai C_{LP} terendah berada pada jarak longitudinal (L/D) = 2 sebesar -0,18.

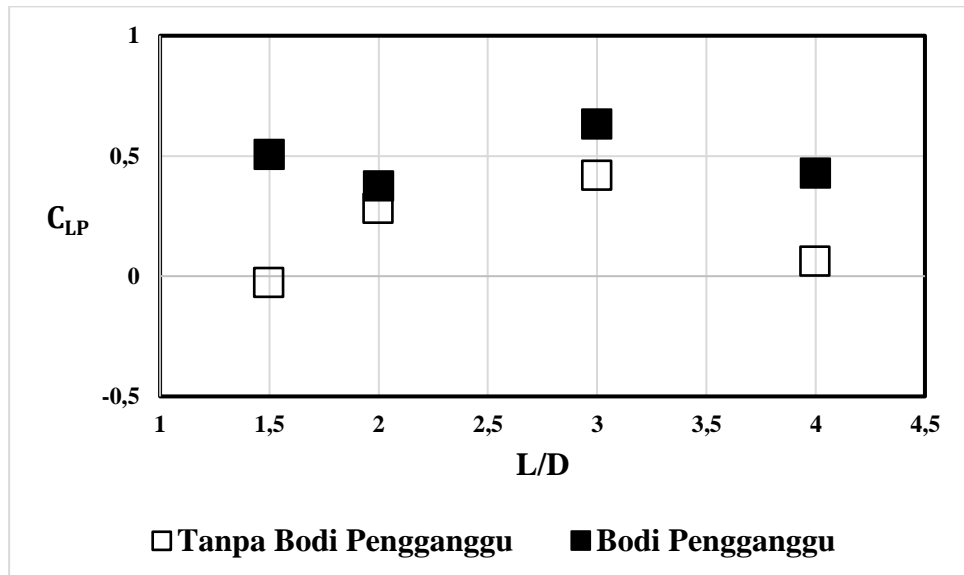
Kemudian untuk silinder 2 (*downstream* atas) terlihat pada gambar grafik 4.21 (b) bahwa nilai koefisien *lift pressure* pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 tanpa penambahan bodi pengganggu dengan nilai C_{LP} sebesar -0,4. Nilai C_{LP} pada silinder 2 yang terendah berada pada posisi (L/D) = 2 untuk silinder 2 dengan bodi pengganggu, dimana nilai C_{LP} nya yaitu sebesar -1,97. Sedangkan untuk silinder 3 (*downstream* bawah) mempunyai keadaan yang berbanding terbalik dengan silinder 1 dan silinder 2. Terlihat pada gambar grafik 4.21 (c) untuk silinder 3 dengan penambahan bodi pengganggu memiliki nilai C_{LP} yang tinggi pada semua jarak longitudinal jika dibandingkan dengan silinder 3 tanpa bodi pengganggu. Nilai C_{LP} tertinggi berada pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 3 yaitu sebesar 0,6. Sedangkan untuk nilai C_{LP} terendah berada pada posisi jarak longitudinal (L/D) = 1,5 silinder 3 tanpa bodi pengganggu dengan nilai C_{LP} sebesar -0,02.



(a)



(b)

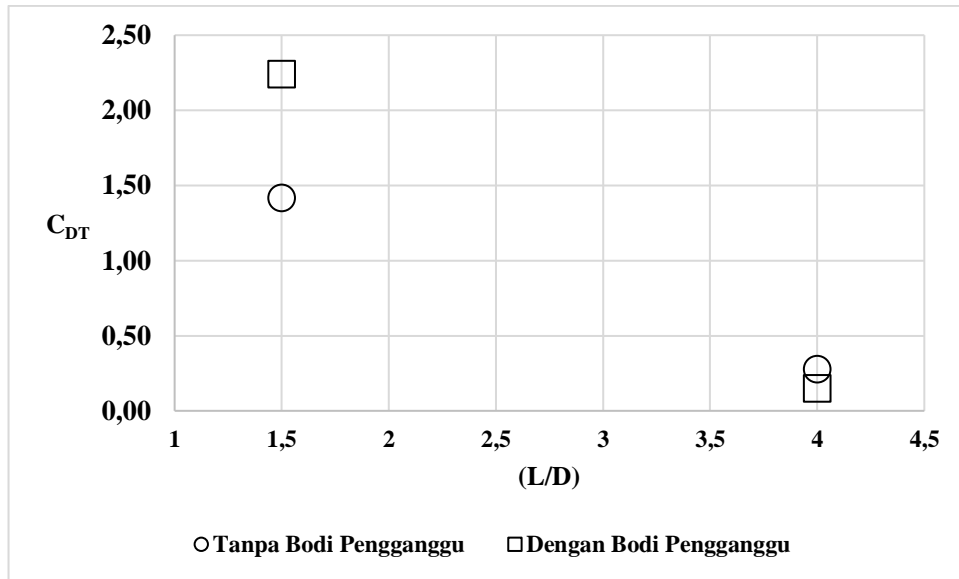


(c)

Gambar 4. 21 Grafik Koefisien *Lift pressure* (C_{LP}) tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penempatan bodi pengganggu untuk semua jarak longitudinal (L/D) (a) silinder 1 (b) silinder 2 (c) silinder 3

4.5.7 Analisis Distribusi Koefisien *Drag total* (C_{DT}) pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*

Pada sub sub bab ini akan dianalisis mengenai distribusi koefisien *drag* total pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* tanpa penambahan bodi pengganggu. Pada grafik di bawah ini bisa diketahui bahwa pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 merupakan C_{DT} yang memiliki nilai paling tinggi yaitu sebesar 1,42, untuk jarak longitudinal (L/D) = 2 nilai C_{DT} sebesar 1,24, sedangkan untuk jarak longitudinal (L/D) = 3 nilai C_{DT} sebesar 0,72, dan untuk jarak longitudinal (L/D) = 4 nilai C_{DT} sebesar 0,28.



Gambar 4. 22 Grafik distribusi koefisien *drag* total (C_{DT}) pada susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu dan dengan bodi pengganggu pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; 3; dan 4

Dari gambar 4.22 akan dianalisis mengenai pengaruh penambahan bodi pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ terhadap distribusi koefisien *drag* total pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger*. Pada grafik di atas ini bisa diketahui bahwa pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 merupakan C_{DT} yang memiliki nilai paling tinggi yaitu sebesar 2,24 untuk jarak longitudinal (L/D) = 2 nilai C_{DT} sebesar 0,92, sedangkan untuk jarak longitudinal (L/D) = 3 nilai C_{DT} sebesar 0,46, dan untuk jarak longitudinal (L/D) = 4 nilai C_{DT} sebesar 0,15.

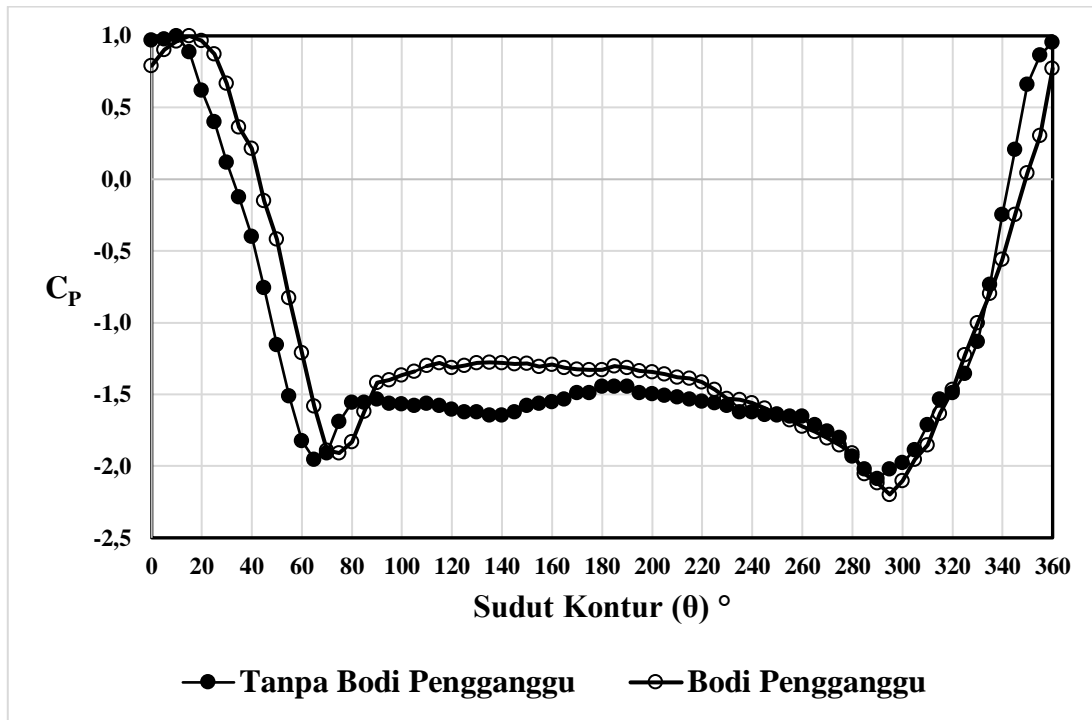
4.6 Diskusi

Pada sub bab ini akan dianalisis mengenai anomali yang terjadi dan perbandingan pada eksperimen yang telah dilakukan, serta dibantu dengan beberapa rujukan yang ada, sehingga dari hasil rujukan yang ada akan dilakukan diskusi dan analisis lebih lanjut.

4.6.1 Pengaruh (C_p) *base* Terhadap Nilai Koefisien Tekanan (C_p) Silinder 2 Tanpa Bodi Pengganggu

Pada gambar 4.23 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan untuk silinder 2 tanpa bodi pengganggu yang dibandingkan dengan silinder 2 dengan penambahan bodi pengganggu. Pada sub sub bab ini dibahas mengenai pengaruh dari koefisien *base pressure* atau (C_p) *base* yang terdapat pada silinder 2. Koefisien *base pressure* merupakan nilai koefisien tekanan yang nilainya diambil setelah titik separasi yaitu sudut setelah 90° . Dari perbandingan antara penambahan bodi pengganggu dan tidak ditambahkan bodi pengganggu nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang lebih tinggi pada daerah *upper side* dan lebih rendah pada daerah *lower side*, hal ini tidak lain karena adanya pengaruh penambahan dari bodi pengganggu. Nilai koefisien *base pressure* untuk silinder 2 tanpa bodi pengganggu adalah -1,6 sedangkan nilai koefisien *base pressure* untuk silinder 2 dengan bodi pengganggu adalah -1,4. Nilai dari koefisien *base pressure* ini akan berpengaruh kepada nilai koefisien *drag pressure*, ketika nilai dari koefisien *base pressure* ini tinggi maka nilai koefisien *drag pressure* akan cenderung menurun. Sebaliknya, ketika nilai koefisien *base pressure* ini rendah maka nilai koefisien *drag pressure* akan cenderung meningkat. Pada silinder 2 dengan bodi pengganggu memiliki nilai

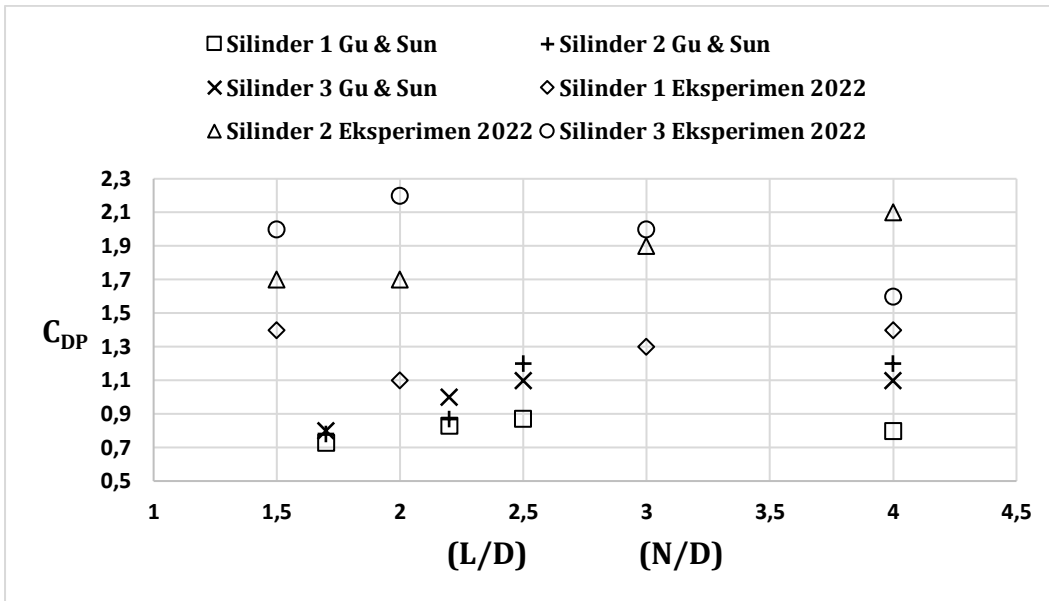
koefisien *base pressure* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai koefisien *base pressure* yang dimiliki oleh silinder 2 tanpa bodi pengganggu. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran yang melintasi silinder 2 tanpa bodi pengganggu kecepatan alirannya lebih tinggi jika dibandingkan dengan aliran yang melintasi silinder 2 dengan bodi pengganggu, hal itu lah yang menyebabkan silinder 2 tanpa bodi pengganggu memiliki grafik percepatan yang lebih curam jika dibandingkan dengan silinder 2 dengan penambahan bodi pengganggu.



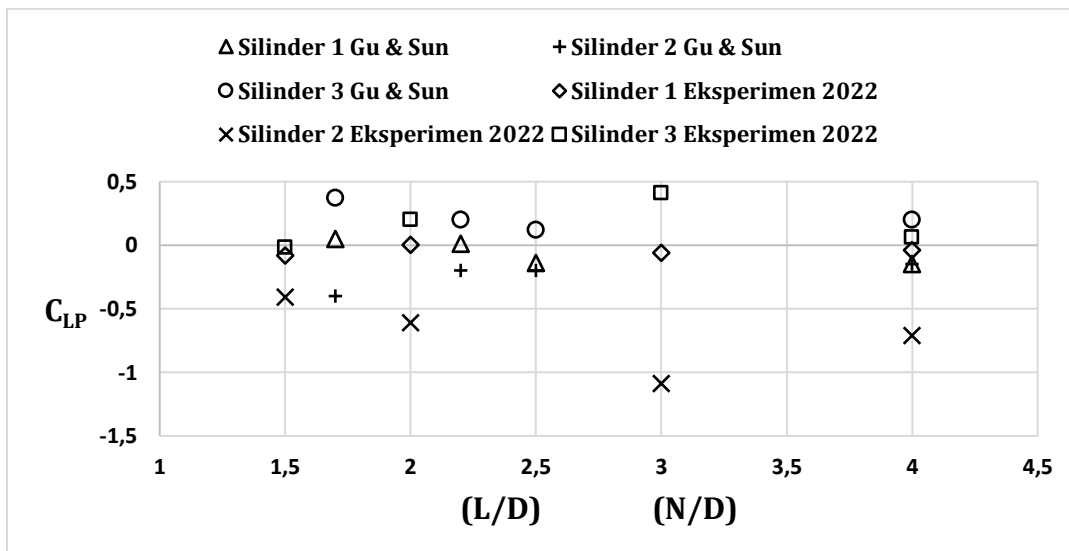
Gambar 4. 23 Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dengan susunan *stagger* dengan dan tanpa penambahan tiga bodi pengganggu pada silinder 2

4.6.2 Perbandingan Nilai Koefisien *Drag Pressure* (C_{DP}) dan Nilai Koefisien *Lift Pressure* (C_{LP}) Tanpa Bodi Pengganggu

Pada sub bab ini dianalisis hasil eksperimen mengenai pengaruh penambahan bodi pengganggu terhadap karakteristik aliran melintasi tiga silinder sirkular yang disusun *stagger*. Hasil yang diperoleh dari eksperimen ini akan dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, eksperimen ini dilakukan pada open circuit wind tunnel dengan bilangan Reynolds sebesar $2,2 \times 10^4$. Eksperimen yang dilakukan penulis memiliki basis yang sama dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) yaitu tiga silinder sirkular dengan konfigurasi segitiga sama sisi dengan variasi $\beta = 0^\circ$ sampai dengan $\beta = 60^\circ$, dimana pada eksperimen yang dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) menggunakan bilangan Reynolds sebesar $5,5 \times 10^4$. Data yang diambil dari hasil eksperimen oleh (Gu & Sun, 2001) hanya pada susunan 0° saja dengan keseluruhan variasi jarak antar pusat silinder (N/D), hal ini disebabkan variasi sudut (β) lebih dari 0° tidak sesuai dengan susunan pada penelitian yang dilakukan saat ini. Berikut merupakan grafik perbandingan yang ditunjukkan pada gambar 4.24 dan 4.25.



Gambar 4. 24 Grafik perbandingan koefisien *drag pressure* tanpa bodi pengganggu

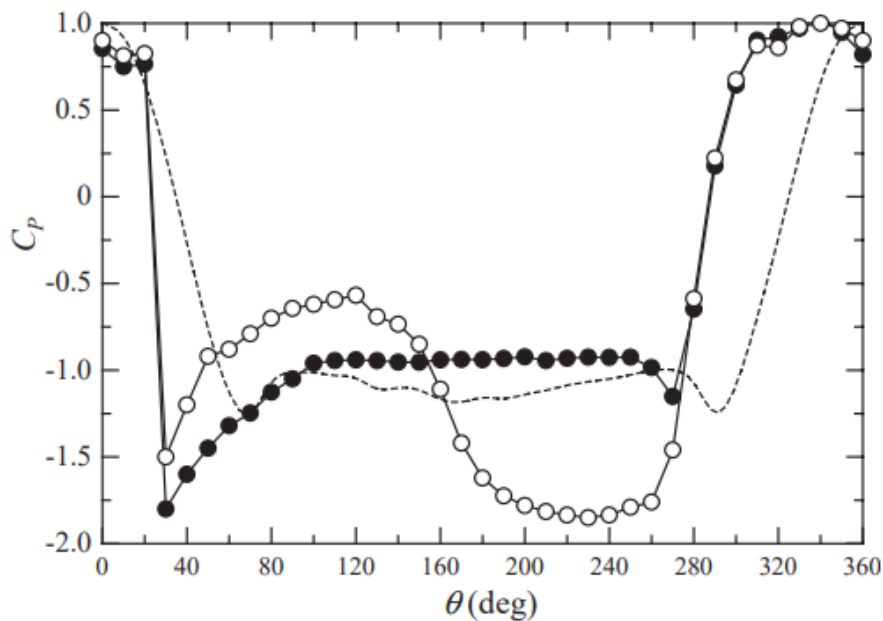


Gambar 4. 25 Grafik perbandingan koefisien *lift pressure* tanpa bodi pengganggu

Dari gambar 4.24 bisa dilihat bahwa nilai koefisien *drag pressure* pada tiga silinder sirkular yang disusun *stagger* tanpa bodi pengganggu yang dibandingkan dengan penelitian milik (Gu & Sun, 2001) dengan konfigurasi tiga silinder sirkular yang tersusun segitiga sama sisi tanpa bodi pengganggu pada sudut β sebesar 0° menunjukkan bahwa sebagian besar hasil penelitian yang dilakukan oleh (Gu & Sun, 2001) memiliki nilai koefisien *drag pressure* yang relatif di bawah dari eksperimen yang telah dilakukan. Sedangkan untuk gambar 4.25 menunjukkan nilai koefisien *lift pressure* pada tiga silinder sirkular dengan susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu yang dibandingkan dengan milik (Gu & Sun, 2001) dengan konfigurasi tiga silinder sirkular tersusun segitiga sama sisi tanpa bodi pengganggu pada sudut β sebesar 0° .

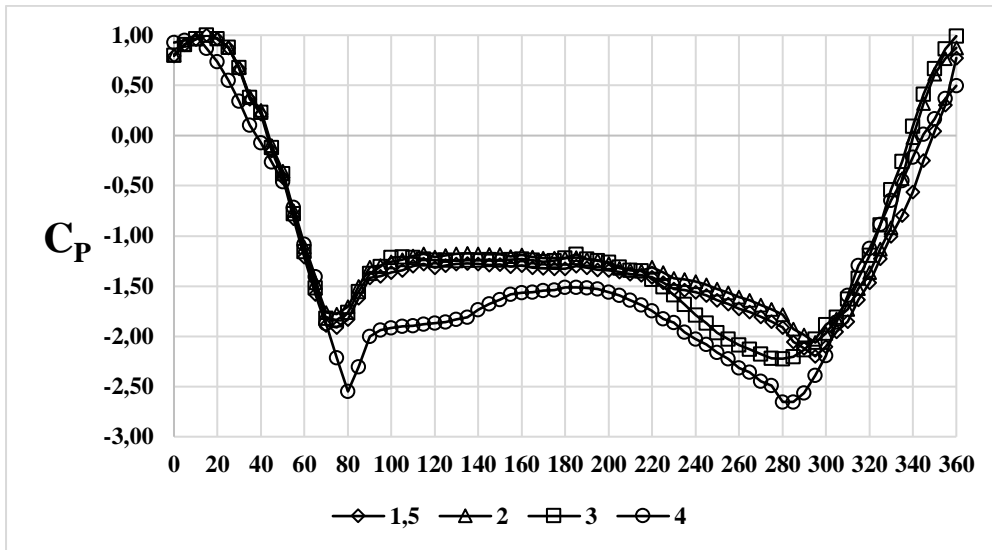
4.6.3 Efek Pola *Bistable* yang Terjadi Pada Silinder 2 (*Downstream Atas*) dan Silinder 3 (*Downstream Bawah*)

Pada sub sub bab ini akan dibahas mengenai pengaruh penambahan bodi pengganggu $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ terhadap pola aliran di belakang silinder *downstream*. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Alam et al., 2003) efek *bistable* ditandai dengan adanya *wake* yang lebar pada distribusi koefisien tekanan yang berbeda antara *upper side* dan *lower side*. Hal tersebut menandakan bahwa *wake* yang terbentuk di belakang silinder yaitu *narrow wake* dan *wide wake*. *Narrow wake* memberikan dampak pada gaya drag yang akan menurun atau relatif lebih kecil dibandingkan dengan *wide wake*, hal tersebut mengindikasikan adanya perbedaan titik *angle of attach*. Efek *bistable* ini juga dapat dilihat melalui grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada susunan *side by side*. Efek *bistable* ini juga sangat memiliki dampak yang signifikan pada jarak transversal (T/D) 2D. Berikut merupakan grafik koefisien tekanan (C_p) dengan susunan *side by side*.

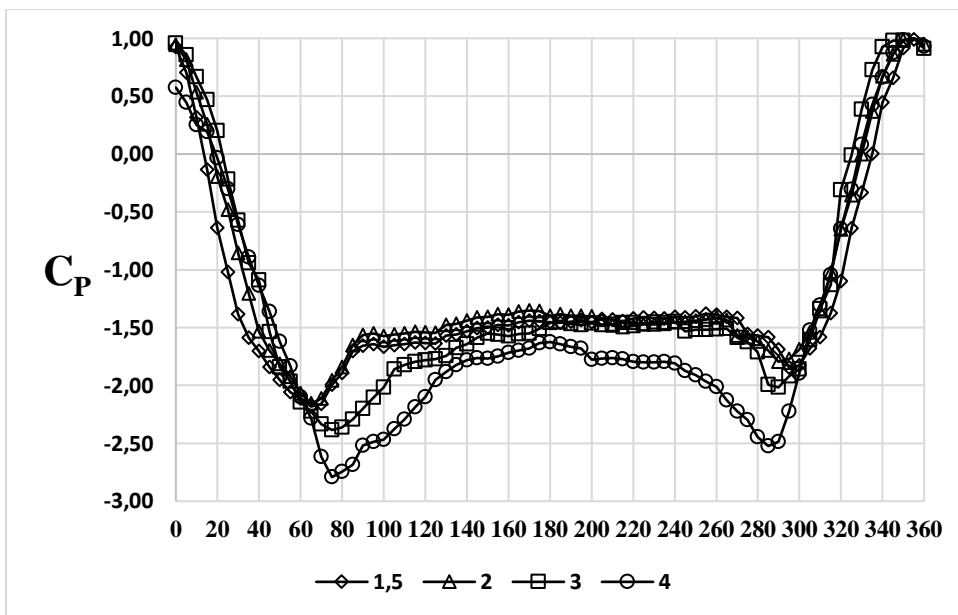


Gambar 4. 26 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder atas dan bawah susunan *side by side* tanpa bodi pengganggu (Alam et al., 2003)

Pada eksperimen yang telah dilakukan dan ditampilkan pada hasil gambar 4.27 dan 4.28 terlihat bahwa terjadi perbedaan titik *angle of attach* dan lebar *wake* yang berbeda pada silinder 2 (*downstream atas*) dan silinder 3 (*downstream bawah*) terlebih saat $(L/D) = 2$ dan $(L/D) = 4$ sangat terlihat perbedaan *wake* yang terjadi, hal tersebut yang mengindikasikan pola efek *bistable*.



Gambar 4. 27 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 2 (*downstream* atas) dengan bodi pengganggu



Gambar 4. 28 Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) untuk silinder 3 (*downstream* bawah) dengan bodi pengganggu

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan maka kesimpulan yang didapatkan ialah sebagai berikut:

1. Nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) pada setiap silinder dengan susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu dan penambahan bodi pengganggu 0° , 120° , dan 240° mengalami peningkatan dan penurunan. Untuk silinder 1 (*upstream*) nilai koefisien *drag pressure* mengalami peningkatan sebesar 44% - 51% untuk jarak longitudinal (L/D) = 1,5; 2; dan 3, sedangkan untuk silinder 1 (*upstream*) nilai koefisien *drag pressure* pada jarak (L/D) = 4 mengalami penurunan sebesar 13%. Untuk silinder 2 (*downstream* atas) nilai koefisien *drag pressure* mengalami penurunan sebesar 1%-9% pada jarak (L/D) = 1,5 dan 3, sedangkan untuk silinder 2 (*downstream* atas) pada jarak (L/D) = 2 dan 4 mengalami peningkatan sebesar 3%-5%. Untuk silinder 3 (*downstream* bawah) mengalami peningkatan sebesar 17% pada jarak (L/D) = 4, sedangkan untuk silinder 3 (*downstream* bawah) pada jarak (L/D) = 1,5; 2; dan 3 mengalami penurunan sebesar 10%-40%. Hal ini dipengaruhi oleh variasi jarak longitudinal (L/D) dan penambahan bodi pengganggu 0° , 120° , dan 240° . Sebagian besar pengaruh yang diberikan oleh penambahan bodi pengganggu 0° , 120° , dan 240° mereduksi silinder *downstream*, sedangkan pada silinder *upstream* cenderung mengalami peningkatan.
2. Nilai koefisien *lift pressure* (C_{LP}) pada setiap silinder dengan susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu dan penambahan bodi pengganggu 0° , 120° , dan 240° mengalami peningkatan dan penurunan. Untuk silinder 1 (*upstream*) pada jarak (L/D) = 1,5 mengalami peningkatan sebesar 93%, sedangkan untuk silinder 1 (*upstream*) pada jarak longitudinal (L/D) = 2; 3; dan 4 mengalami penurunan sebesar 45%-3666%. Untuk silinder 2 (*downstream* atas) mengalami penurunan sebesar 117%-219% pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 dan 2, sedangkan untuk silinder 2 (*downstream* bawah) pada jarak longitudinal (L/D) = 3 dan 4 mengalami peningkatan sebesar 13%-16%. Untuk silinder 3 (*downstream* bawah) mengalami penurunan pada semua jarak longitudinal (L/D) sebesar 33%-1870%.
3. Nilai koefisien *drag total* (C_{DT}) pada setiap silinder dengan susunan *stagger* tanpa bodi pengganggu dan penambahan bodi pengganggu 0° , 120° , dan 240° mengalami peningkatan pada jarak longitudinal (L/D) = 1,5 sebesar 58%. Kemudian untuk jarak longitudinal (L/D) = 2; 3; dan 4 cenderung mengalami penurunan sebesar 26%-46%. Hal tersebut dipengaruhi juga oleh jarak longitudinal (L/D) dan penambahan bodi pengganggu 0° , 120° , dan 240° .
4. Terjadi efek *bistable* yang mana ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder 2 (*downstream* atas) dan silinder 3 (*downstream* bawah) menunjukkan grafik asimetris antara *upper side* dan *lower side*. Hal ini terjadi pada semua jarak longitudinal (L/D) karena susunan pada silinder *downstream* memiliki jarak transversal (T/D) = 2, dimana pada *area* tersebut memasuki *bistable area* dengan susunan *side by side*.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan pada penelitian ini untuk digunakan pada penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Dalam pengambilan data harus dipastikan kondisi udara sekitar karena pengambilan data dilakukan sehari-hari.
2. *Pitot static tube* hendaknya diletakkan pada jarak yang disesuaikan dengan benda uji baik pada sisi *upstream* maupun *downstream* agar tidak mengganggu aliran sehingga data yang diperoleh bisa akurat.
3. Saat melakukan pemutaran silinder hendaknya dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang presisi.
4. Pengambilan data hendaknya menggunakan alat ukur dengan akurasi yang tinggi seperti *pressure transducer* dan *data logger* sehingga diperoleh data yang akurat.
5. Setiap pengambilan data hendaknya selalu memeriksa kembali ketinggian fluida di dalam *inclined manometer* 15° dan dilakukan kalibrasi Reynolds.

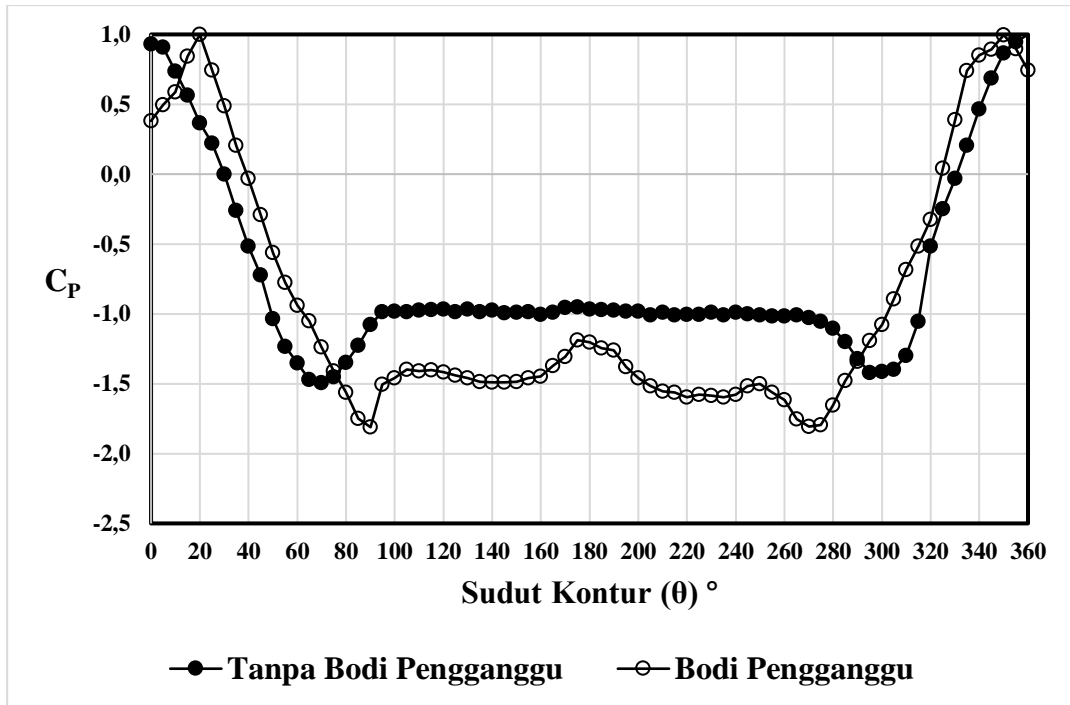
DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. M., Sakamoto, H., & Moriya, M. (2003). Reduction of fluid forces acting on a single circular cylinder and two circular cylinders by using tripping rods. *Journal of Fluids and Structures*, 18(3–4), 347–366. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2003.07.011>
- Cengel, Y. ., & Cimbala, J. . (2006). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*.
- 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 Composed of Stagger (Variation L/D(constant=2), T/D = 1.5, 2, 3 & 4). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012017>
- Gu, Z., & Sun, T. (2001). Classification of flow pattern on three circular cylinders in equilateral-triangular arrangements. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89(6), 553–568. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(00\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(00)00091-X)
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Lavine, A. S., & Bergman, T. L. (2011). *Heat and Mass Transfer*.
- Lee, S.-J., Lee, S.-I., & Park, C.-W. (2004). Reducing the drag on a circular cylinder by upstream insallation of a samall control rod. *Fluid Dynamic Research*, 34, 233–250. <https://doi.org/10.1016/j>
- Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2011). *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*.
- Tsutsui, T., & Igarashi, T. (2002). Drag reduction of a circular cylinder in air-stream. *Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(1), 527–541. <https://doi.org/10.1007/s10494-005-9008-0>
- Zdravkovich, M. M. (1987). The effects of interference between circular cylinders in cross flow††An earlier version as originally presented as an invited paper, entitled “Forces on pipe clusters”, at the International Symposium on Separated Flow around Marine Structures, Norwegian . *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)

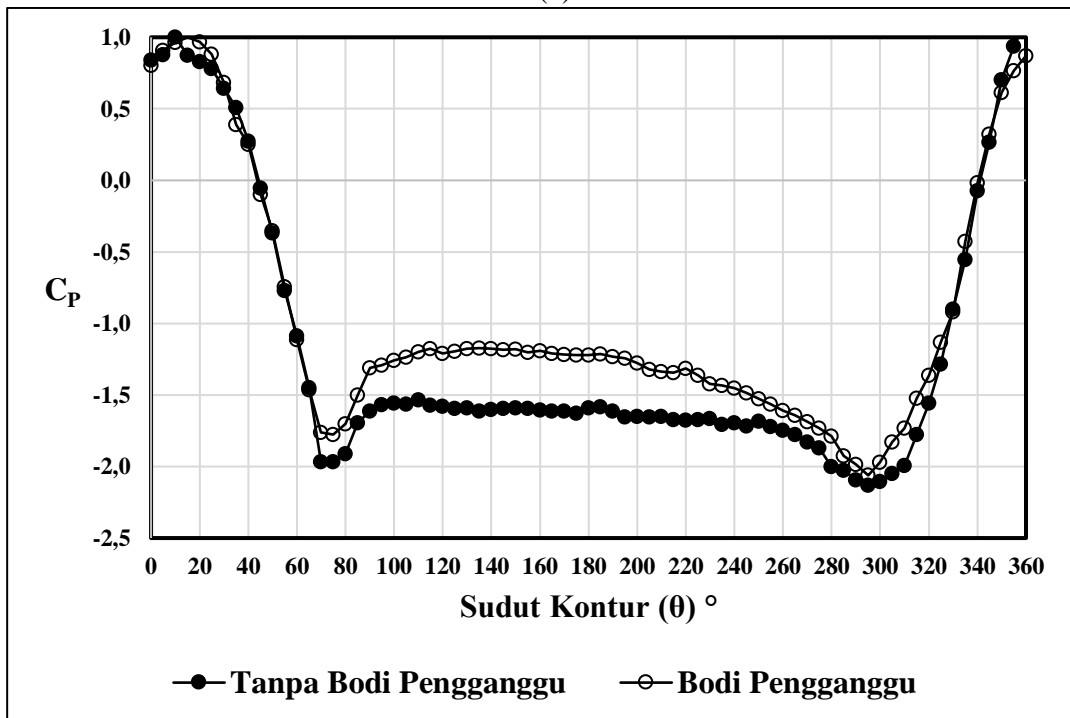
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

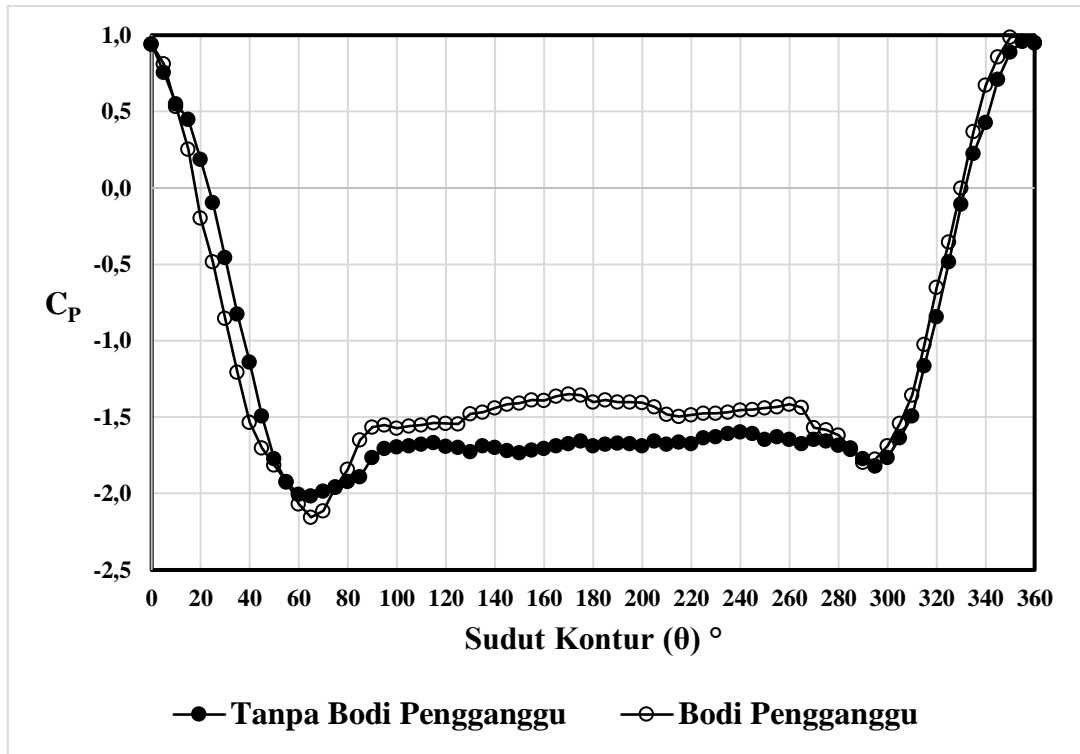
LAMPIRAN A: Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun *Stagger* dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu 0°, 120°, dan 240° pada Jarak Longitudinal (L/D) = 2



(a)



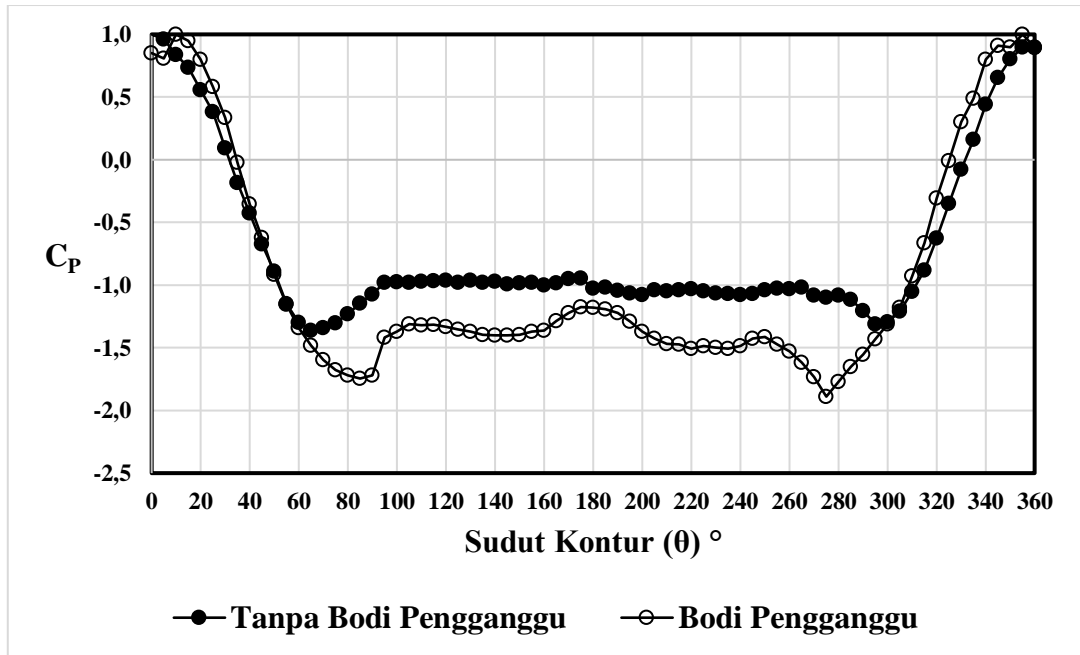
(b)



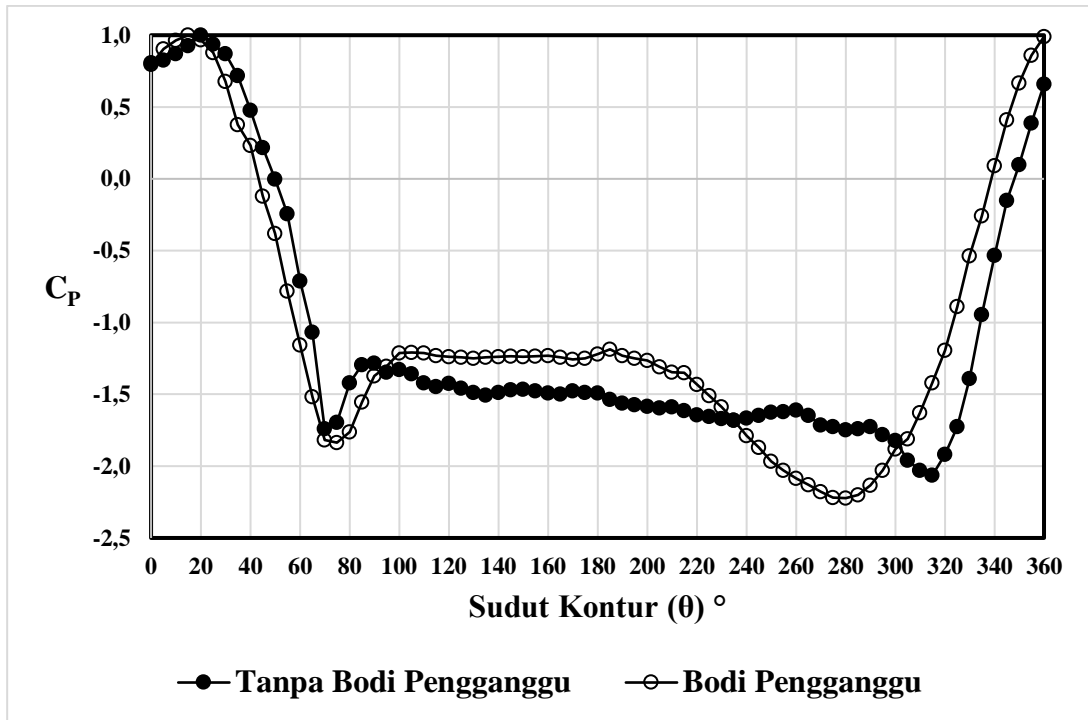
(c)

Gambar A-1 Silinder 1 (a); Silinder 2 (b); Silinder 3 (c)

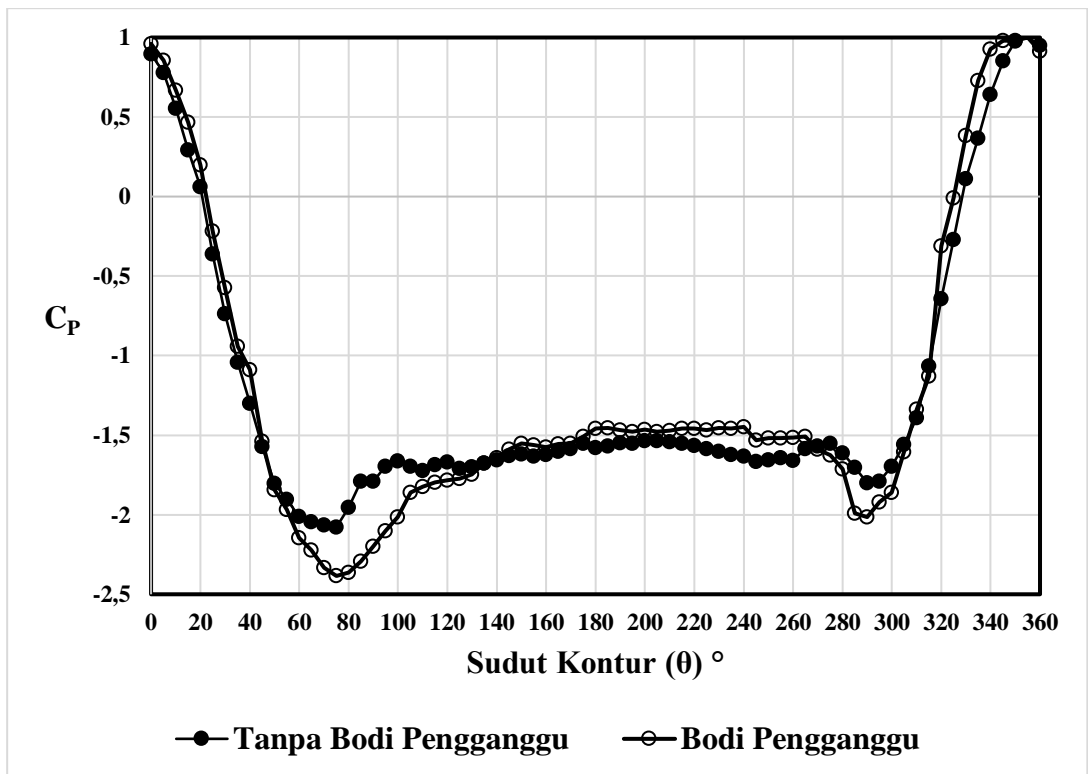
LAMPIRAN B: Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan 3 Silinder Sirkular yang disusun *Stagger* dengan dan Tanpa Penambahan Bodi Pengganggu 0°, 120°, dan 240° pada Jarak Longitudinal (L/D) 3



(a)



(b)



(c)

Gambar B-1 Silinder 1(a); Silinder 2(b); Silinder 3(c)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 29 Maret 2000, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Karanglangit, SMPN 2 Lamongan dan SMAN 2 Lamongan. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Mesin FTIRS – ITS.

Di Departemen Teknik Mesin Penulis aktif di beberapa kegiatan, pada tahun 2019-2020 Penulis menjadi Staf Departemen Sosial Masyarakat dan pada 2020-2021 Penulis menjadi Sekretaris Departemen Kajian dan Aksi Strategis Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM). Selain itu, Penulis juga aktif menjadi Pemandu LKMM (Latihan Kepemimpinan Manjaerial Mahasiswa) ITS pada tahun 2019 – 2022. Penulis juga menghadiri beberapa seminar dan kuliah tamu yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Mesin. Penulis juga mengikuti pelatihan menajerial Tingkat Menengah (LKMM TM) yang diselenggarakan oleh ITS. Penulis juga aktif pada kegiatan akademis, yaitu menjadi Grader mata kuliah Metalurgi 1, Grader mata kuliah Metalurgi II, Grader mata kuliah Mesin Konversi Energi, dan Asisten Praktikum Mekanika Fluida Dasar II. Untuk informasi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi email berikut ini denytakurniap@gmail.com