TUGAS AKHIR – TM 141585

STUDI EKSPERIMEN TENTANG KARAKTERISTIK ALIRAN PADA SILINDER SIRKULAR YANG DIGANGGU OLEH PRISMA SEGITIGA SAMASISI, PRISMA SEGIEMPAT SAMA SISI, DAN SILINDER SIRKULAR

"Studi Kasus Untuk Variasi Jarak (S/D) = 0,9-1,15"

SALMA YHASMIN
2111 100 015

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

FINAL PROJECT – TM 141585

EXPERIMENTAL STUDY ABOUT FLOW CHARACTERISTIC ON A CIRCULAR CYLINDER DISTURBED BY EQUILATERAL TRIANGULAR PRISM , RECTANGULAR PRISM , AND CIRCULAR CYLINDER

" Case Study for Variation Of Spacing (S/D) = 0.90 to 1.15 "

SALMA YHASMIN
2111 100 015

Advisor
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

STUDI EKSPERIMEN TENTANG KARAKTERISTIK ALIRAN PADA SILINDER SIRKULAR YANG DIGANGGU OLEH PRISMA SEGITIGA SAMASISI, PRISMA SEGIEMPAT SAMA SISI, DAN SILINDER SIRKULAR

"Studi Kasus Untuk Variasi Jarak (S/D) = 0,9-1,15"

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

Oleh :
SALMA YHASMIN
2111 100 015

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono.,DEA.....(Pembimbing)
   NIP.196001291987011001
2. Prof. Ir. Sutardi,M.Eng.,Ph.D.....(Penguji I)
   NIP.196412281990031002
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST.,MT.....(Penguji II)
   NIP.197104051199702100 1
4. Dr. Ir. Heru Mirmanto.,MT.....(Penguji III)
   NIP.196202161995121001

SURABAYA
JULI 2015

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI SILINDER SIRKULAR BERPENGGANGGU PRISMA SEGITIGA SAMA SISI, PRISMA SEGIEMPAT SAMA SISI, DAN SILINDER SIRKULER

"Studi Kasus Untuk Variasi Jarak Longitudinal (S/D) = 0,90-1,15"

Nama Mahasiswa : Salma Yhasmin
NRP : 2111 100 015
Jurusan : Teknik Mesin FTI ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

Abstrak

Masalah dibidang aerodinamika dari beberapa struktur medan aliran telah sering mendapat perhatian dari para engineer dan investigatior lainnya selama beberapa dekade . Berbagai penelitian yang berbeda menunjukkan bahwa konfigurasi aliran ini memiliki banyak aplikasi dibidang teknik dan masih ada contoh permasalahan salah satunya adalah tantangan dalam mekanika fluida, seperti riser lepas pantai, dermaga jembatan, menara, tiang, dll. Oleh karena itu, pentingnya untuk melanjutkan penelitian pada silinder sirkular sebagai obyek, terutama pada konfigurasi kelompok. Penelitian ini adalah untuk memberikan informasi bagaimana suatu aliran mengurangi gaya aerodinamis pada silinder sirkular dengan melakukan pengontrolan secara pasif , seperti prisma segi empat diputar 0º (Tipe A) , prisma empat persegi panjang diputar 45º (Tipe B) , segitiga prisma diputar 30º (Tipe C) , prisma segitiga diputar 210º (Tipe D) , dan silinder sirkuler (Tipe E) .

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen pada sebuah wind tunnel jenis subsonic open circuit dengan benda uji berupa seilinder utama dengan diameter 60 mm dan 7,5 mm pada body pengganggu tipe A, tipe B, tipe C, tipe D, dan tipe E dengan variasi jarak S/D = 0,90, 0,95, 1,00, 1,05, 1,10 dan 1,15. Pengujian ini dilakukan pada wind tunnel berjenis subsonic open circuit wind tunnel dengan panjang 1780 mm dan ukuran pada

test section wind tunnel 660 mm x 660 mm. Kecepatan freestream pada wind tunnel diambil konstan pada 13,88 m/s pada saat dilakukan pengambilan data dengan Reynolds Number 5,3 x 10^4.

Pengukuran distribusi tekanan menggunakan 72 buah titik pada wall pressure tap dengan jarak 5º tiap sudut yang dipasang disekeliling silinder utama, pengukuran profil kecepatan menggunakan pitot static tube pada jarak pengukuran x/D= 3 kemudian pengambilan data untuk perhitungan bilangan Strouhal dilakukan dengan menempatkan probe HWA pada jarak x = 3D dan y = 1D .

Pada penelitian ini, dapat mengetahui gaya drag yang dihasilkan pada silinder utama dengan diberi pengganggu sebagai pengontrol pasif. Hal ini mengindikasikan bahwa silinder Tipe B pada jarak S/D 1,15 paling efektif dalam menurunkan gaya drag dibelakang silinder utama, penurunan sebesar 0,27 kali pada silinder tanpa pengganggu.

Kata kunci : pasif kontrol, drag, prisma segitiga sama sisi, prisma segi empat sama sisi, dan silinder sirkular.

EXPERIMENTAL STUDY ABOUT FLOW CHARACTERISTIC ON A CIRCULAR CYLINDER DISTURBED BY EQUILATERAL TRIANGULAR PRISM , RECTANGULAR PRISM , AND CIRCULAR CYLINDER

" Case Study for Longitudinal Spacing (S/D) = 0.90 to 1.15 "

Name : Salma Yhasmin
NRP : 2111 100 015
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

Abstract

The aerodynamic problem of multiple structures in a flow field have frequently received the attention of engineer and other investigatiors for saveral decades. Different studies show that this flow configuration has many engineering application and still present one of the challenges in fluid mechanics, such as offshore riser, bridge piers, towers, mast and stays, etc. Therefore, it is still important to continue the study with circular cylinder as an object, especially on a group configuration. This study is to present the reducing of aerodynamics forces on a circular cylinder by upstream installation of some bluff bodies as passive control or disturbance, such as rectangular prism is rotated 0º (Type A), rectangular prism is rotated 45º (Type B), triangular prism is rotated 30º (Type C), triangular prism is rotated 210º (Type D), and circular cylinder (Type E).

In order to reduce the drag force on a circular cylinder (D= 60 mm), five bluff body; type A, B, C, D, and E having a diameter (d) or long side of 7.5 mm were used as a passive control. The passive control were located in various spacing position of S/D = 0.9, 0.95, 1.0, 1.05, 1.1, and 1.15. The experiment were carried out in a subsonic open circuit wind tunnel. This facility has a 1780 mm long, with test section 660 mm x 660 mm. The free same velocity of wind tunnel could be

adjusted constant to 13.88 m/s, corresponding to Reynolds number Re = 5.3 x 10^4 (based on diameter D and the free stream velocity). Seventy-two pressure taps with interval 5º were installed on the wall of the circular cylinder and connected to an inclined kerosene manometer, which it makes it possible to measure the pressure distribution around the circular cylinder. The velocity profile behind the circular cylinder was measured using a pitot-static tube connected to inclined manometer. The pitot-static tube was placed at 18 cm at the rear of the axis of the cylinder or correspondin to x/d = 3, and finally frequencyof vortex shedding behind the cylinder was measured at x/D = 3 and y/D = 1 by hot wire anemometer.

The experiment result show that there is reduction of drag coefficient on main cylinder by upstream installation of the some bluff body as passive control or cylinder disturbance. The passive control "type B" at S/D 1.15 gives the highest darg reduction on the larger circular cylinder situated downstream. It gives about 0.27 times the drag of a single cylinder.

Key words: passive control, drag, equilateral triangular prism, rectangular prism, and circular cylinder.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum.wr.wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam yang selalu memberikan kasih sayang tiada tara pada penulis hingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI SILINDER SIRKULAR BERPENGGANGGU PRISMA SEGITIGA SAMA SISI, PRISMA SEGIEMPAT SAMA SISI, DAN SILINDER SIRKULER
"Studi Kasus Untuk Variasi Jarak Longitudinal (S/D) = 0,90-1,15"

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Prof.Dr.Ir. Triyogi Yuwono, DEA., selaku rector ITS dan dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan serta arahan bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Bambang Pramujati, MsC.Eng, PhD. selaku ketua jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ir.Sudjud Darsopuspito,MT selaku dosen wali yang selalu mengarahkan penulis serta selalu memberikan saran kepada penulis.
4. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.; Dr.Ir.Heru Mirmanto,MT.dan Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, PhD. selaku dosen penguji yang memberi banyak arahan dan masukan serta kritikan yang sangat membangun.
5. Vivien Suphandani, ST., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing kerja praktek yang sangat menambah pengetahuan bagi penulis.

6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Meisn FTI-ITS yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang pernah memberiakan ilmunya kepada penulis.
7. Orang tua penulis yang selalu memberikan bantuan yang tak pernah terbayarkan baik moral maupun materi serta doa sehingga penulis dapat meneylesaikan tugas akhir dengan baik dan tepat waktu.
8. Kedua kakak kembarku dan kedua adikku kalian motivasiku.
9. Teman "Ade Bagus Setiawan" yang memberikan motivasi sejak awal semester, semoga Allah yang membalasnya
10. Partner tugas akhir penulis Ferdi, Sudahra, Cahyaningsih, Reza Maulana
11. Sahabat terbaik yang selalu menemani selama kuliah "TTA" Kumaro,Rizka, Aishi,dan Wardah
12. Segenap Keluarga besar Lab. Mekanika Fluida. Mas Ageng, Mas Farouq,Mas Boy, Mas Diaz, Mas Alif, Mas Dery, Fahmi KH, tsabit, dimas, ina, mbak erin, adit, nando, fajar, yulia, putri, abel, nana, semua penghuni Lab yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, Lanjutkan perjuangan kalian. Semoga kita semua dapat mewujudkan mimpi bersama.
13. Teman-teman M-54 sekalian yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu yang telah bersedia menjadi bagian dari perjalanan hidup. Semangat rek cepet lulus...!!!Buktikan bahwa kita benar-benar generasi Ueber Alles.
14. Adik-adik M-55, M-56 dan M-57. *Thanks* atas segala do'a dan dukungannya. Semoga kalian bisa meneruskan perjuangan di Bumi Merah T.Mesin.
15. Bapak Nur dan Bapak Tris atas bantuan dan nasehat-nasehatnya kepada penulis.
16. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kelemahan dan membutuhkan penyempurnaan. Oleh sebab itu masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan demi sempurnanya tugas akhir ini. Akhirnya penulis menaruh besar harapan, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalam.wr.wb.

Surabaya, 27 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRA …….....i
ABSTRACT ……iii
LEMBAR PENGESAHAN …….....v
KATA PENGANTAR ……..……..vi
DAFTAR ISI ……x
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL ……..xx
DAFTAR SIMBOL ……....xxiii

BAB I PENDAHULUAN …….....1
1.1. Latar Belakang……1
1.2. Perumusan Masalah……3
1.3. Tujuan Penelitian……4
1.4. Batasan Masalah……..…5
1.5. Manfaat hasil Penelitian……..6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1. Dasar Teori……..7
2.1.1. Aliran Viscous dan Non Viscous……...7
2.1.2. Aliran Melalui Sebuah Silinder Sirkuler……8
2.1.3.Koefisien Drag……..10
2.2. Hot Wire Anemometer……10
2.3. Bilangan Strouhal……15
2.4.Penelitian Terdahulu……16
2.4.1. Penelitian Silinder Dengan Pengganggu……..17

BAB III METODE PENELITIAN ……22
3.1 Metode Eksperimental……22
3.1.1. Analisa Dimensi koefisien Tekanan(Cp)…….23
3.1.2. Analisa Dimensi Koefisien Drag……24
3.1.3. Analisa dimensi Bilangan Strouhal (St)……...25
3.1.4. Benda Uji……26
3.1.5. Terowongan Angin……..28

3.1.6. Peralatan……..29
3.1.7 Langkah-Langkah Eksperimen……32
3.1.7.1 Pengambilan Data Kuantitatif Bilangan Strouhal Silinder Sirkuler dengan Variasi Bodi Pengganggu……33
3.1.7.2. Pengambilan Data Kuantitatif Vortex Shedding Silinder Sirkuler Yang Diganggu Bodi Pengganggu…….....34
3.1.7.3. Pengambilan Data Profil kecepatan Di Belakang Silinder Utama……35
3.1.7.4. Kalibrasi Pengukuran Manometer dan *Pressure Transducer*……..…...35
3.1.7.5 Data eksperimental…….....37
3.2. Pembuatan Hot Wire Anemometer…….....37
3.3. Urutan Langkah Penelitian…….....40
3.3.1 Flowchart Penelitian……40
3.3.1.1. Kalibrasi Delta H (ΔH) dan Arus….36
3.3.1.2. Pengambilan Data Koefisien Tekanan (Cp), Frequensi,dan Profil Kecepatan…….....42
3.4. Alokasi Waktu Penelitian……44

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN …...45
4.1 Contoh Perhitungan……45
4.1.1 Perhitungan Kecepatan Freestream……...45
4.2 Contoh Perhitungan Cp……...49
4.2.1 Perhitungan Koefisien Tekanan (Cp)…....49
4.2.2 Perhitungan *Coefisient Pressure Drag* (C_{Dp})…….….51
4.3 Analisa Aliran Melintasi Silinder Sirkuler Tunggal Untuk Bilangan Reynolds $5{,}3x10^4$…..…55
4.3.1 Frekuensi *Vortex Shedding* dan Bilangan *Strouhal* Silinder Sirkuler

Tunggal……..…56
4.3.2 Distribusi Tekanan (Cp) pada Silinder Sirkuler Tunggal……..57
4.3.3 Profil Kecepatan pada Silinder Sirkuler Tunggal……58
4.4 Analisa aliran Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu dengan Bilangan Reynolds 5,3 x 10^4…….…..59
4.4.1 Analisa Distribusi Tekanan (Cp) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu……60
4.4.1.1 Analisa Distribusi Tekanan (Cp) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-A dengan S/D 0,9-1,15……60
4.4.1.2 Analisa Distribusi Tekanan (Cp) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-B dengan S/D 0,9-1,15……63
4.4.1.3 Analisa Distribusi Tekanan (Cp) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-C dengan S/D 0,9-1,15……..66
4.4.1.4 Analisa Distribusi Tekanan (Cp) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-D dengan S/D 0,9-1,15……..69
4.4.1.5 Analisa Distribusi Tekanan (Cp) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-E dengan S/D 0,9-1,15……72
4.4.1.6 Analisa Gabungan Koefisien *Drag Pressure* (C_{Dp}) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu dengan S/D 0,9-1,15……75

4.4.2 Analisa Strouhal Number (St) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu……77
4.4.2.1 Analisa Frequensi Vortex Shedding Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-A……..…77
4.4.2.2 Analisa Frequensi Vortex Shedding Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-B……..…...79
4.4.2.3 Analisa Frequensi Vortex Shedding Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-C……....81
4.4.2.4 Analisa Frequensi Vortex Shedding Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-D…….....82
4.4.2.5 Analisa Frequensi Vortex Shedding Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-E……....84
4.4.2.6 Nilai Strouhal Number di Belakang Silinder Sirkuler dengan Pengganggu Tipe-A hingga Tipe-E……..86
4.4.2.7 Nilai Strouhal Number Pada Pengganggu Tipe C- Tipe E dan Nilai C_{Dp}/C_{Dp0} di Belakang Silinder Sirkular dengan Penggangu Tipe A-Tipe B (S/D 1,15)……..88
4.4.3 Analisa Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkuler Berpengganggu……..…90
4.4.3.1 Analisa Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-A……..……90
4.4.3.2 Analisa Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-B……..…91
4.4.3.3 Analisa Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkuler

Berpengganggu Tipe-C……92
4.4.3.4 Analisa Profil Kecepatan
di Belakang Silinder Sirkuler
Berpengganggu Tipe-D……94
4.4.3.5 Analisa Profil Kecepatan
di Belakang Silinder Sirkuler
Berpengganggu Tipe-E……96
4.5 Analisa Bilangan *Strouhal Number* Melintasi
Silinder Sirkuler Berpengganggu
Tipe-A Sampai Tipe-E dengan S/D 0,6-2,0……97
4.6 Analisa Koefisien *Drag Pressure* (C_{Dp})
Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu
Tipe-A Sampai Tipe-E dengan S/D 0,6-2,0……98

BAB V PENUTUP …….....101
5.1 Kesimpulan……...…..101
5.2 Saran……..102

DAFTAR PUSTAKA …….….xxv

BIODATA PENULIS ……....xxvii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur boundary layer……7
Gambar 2.2 Aliran fluida melalui silinder sirkuler……..8
Gambar 2.3 Mekanisme terjadinya separasi pada aliran melewati silinder……9
Gambar 2.4 Sensor HWA…….. 12
Gambar 2.5 Geometri benda uji……17
Gambar 2.6 Grafik bilangan Strouhal……18
Gambar 2.7 Grafik Distribusi tekanan pada silinder sirkuler utama……18
Gambar 2.8 Distribusi tekanan sekeliling silinder utama untuk variasi sudut iris silinder pengontrol pada Re= 5,3 x 10^4 dan untuk sudut stagger……..20
Gambar 2.9 Evolusi koefisien drag silinder utama relative terhadap silinder tunggal sebagai fungsi dari sudut iris ……..……....20
Gambar 2.10 Profil kecepatan dibelakang silinder utama pada Re = 5,3 x 10^4 dalam variasi sudut iris silinder pengontrol……....21
Gambar 3.1 Skema penelitian dan parameter yang diukur…….22
Gambar 3.2 Skema penelitian pada model uji……29
Gambar 3.3 *Wind Tunnel*……....30
Gambar 3.4 *Pitot static tube*……....30
Gambar 3.5 *Inclined manometer*……31
Gambar 3.6 Avometer alat pengukur tegangan listrik…….....31
Gambar 3.7 Skema konversi manometer dan *pressure transducer*……..36
Gambar 3.8 Grafik regresi kalibrasi Δh Vs arus……37
Gambar 3.9 Foto perbesaran prong dan kawat HWA……38
Gambar 3.10 Flowchart Flowchart kalibrasi Delta H (ΔH) dan Arus ……....41
Gambar 3.11 Flowchart pengambilan data Cp, Frekuensi ,dan profil kecepatan……...43
Gambar 4.1 Signal Tegangan fungsi waktu pada

silinder tunggal…….56
Gambar 4.2 Signal frekuensi silinder sirkular tunggal……..57
Gambar 4.3 Distribusi tekanan (Cp) pada silinder tunggal sebagai fungsi dari sudut (θ)……..58
Gambar 4.4 Grafik profil kecepatan dibelakang silinder Tunggal……..59
Gambar 4.5 Distribusi tekanan silinder sirkuler berpengganggu tipe-A pada S/D 0,9-1,15……...61
Gambar 4.6 Distribusi tekanan silinder sirkuler berpengganggu tipe-B pada S/D 0,9-1,15……...64
Gambar 4.7 Distribusi tekanan silinder sirkuler berpengganggu tipe-C pada S/D 0,9-1,15……...67
Gambar 4.6 Distribusi tekanan silinder sirkuler berpengganggu tipe-D pada S/D 0,9-1,15……...70
Gambar 4.7 Distribusi tekanan silinder sirkuler berpengganggu tipe-E pada S/D 0,9-1,15……...73
Gambar 4.10 Grafik gabungan nilai C_{Dp} / $C_{Dp}0$ silinder berpenggangu dengan S/D 0,9-1,15……76
Gambar 4.11 Grafik nilai *Strouhal Number* berpengganggu tipe-A……..78
Gambar 4.12 Grafik nilai *Strouhal Number* berpengganggu tipe-B……..80
Gambar 4.13 Grafik nilai *Strouhal Number* berpengganggu tipe-C……..82
Gambar 4.14 Grafik nilai *Strouhal Number* berpengganggu tipe-D……..84
Gambar 4.15 Grafik nilai *Strouhal Number* berpengganggu tipe-E……..86

Gambar 4.16 Grafik bilangan *Strouhal Number* berpengganggu di dibanding *Strouhal Number* silinder tunggal sebagai fungsi jarak (S/D)……..87
Gambar 4.17 Nilai St/St0 pada pengganggu tipe-C dan tipe-E Pada S/D 0,9-1,15……88
Gambar 4.18 Nilai Cd/Cd0 pada pengganggu tipe-A dan tipe-B Pada S/D 0,9-1,15……89
Gambar 4.19 Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe-A……...90
Gambar 4.20 Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe-B……..92
Gambar 4.21 Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe-C……..93
Gambar 4.22 Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe-D……...95
Gambar 4.23 Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe-E……...96
Gambar 4.24 Grafik bilangan *Strouhal Number* berpengganggu disbanding *Strouhal Number* silinder tunggal sebagai fungsi jarak (S/D)…….97
Gambar 4.25 Grafik Gabungan nilai C_{Dp} terhadap S/D 0,6-2,0……..99

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

A	luasan tekan (m^2)
C_{Dp}	koefisien *pressure drag*
C_p	koefisien tekanan
C_{pb}	koefisien *base pressure*
D	diameter silinder (m)
F_{Df}	*skin friction drag* (N)
F_{Dp}	*pressuredrag* (N)
F_D	gaya *drag* (N)
g	percepatan gravitasi (m/s^2)
G	jarak antara silinder dengan *side wall*(m)
h	lebar pelatdatar(m)
i	arus (mA)
L	jarak antar silinder (m)
n	jumlah *pressuretap*
p	tekanan statis aliran fluida (N/m^2)
p_o	tekanan stagnasi (N/m^2)
p_{kontur}	tekanan statis kontur (N/m^2)
p_{statis}	tekanan statis *freestream* (N/m^2)
p_b	*basepressure* (N/m^2)
$p_{dinamis}$	tekanan dinamis *freestream* (N/m^2)
Re	bilangan Reynolds
T	jarak *pressure tap*pelat datarterhadap *midspan* pelat (m)
U_∞	kecepatan *freestream* (m/s)
U_{max}	kecepatan lokal maksimum (m/s)
V	kecepatan lokal aliran (m/s)
x	jarak longitudinal dari *pitottube* (m)
X	panjang silinder (m)
y	lebar *testsectionwindtunnel* (m)
θ_S	sudut iris silinder (deg)
θ	sudut kontur silinder (deg)
Δp	perbedaan tekanan *freestream* dengan tekanan dinding (N/m^2)

Δh	selisih pembacaan manometer (m)
τ_{yx}	tegangan geser (N/m^2)
μ	viskositas udara (N.s/m^2)
$\frac{du}{dy}$	*gradient*kecepatanaliran (s^{-1})
u	kecepatanlokalaliran (m/s)
δ	*boundary layer thickness*
ρ	massa jenis udara (kg/m^3)
$\frac{\partial p}{\partial \theta}$	*gradient* tekanan pada kontur
π	grup bilangan tak berdimensi

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti tungsten…….....11
Tabel 2.2 Nilai C_D dari berbagai body penggangu……...19
Tabel 3.1 Perencanaan waktu penelitian……..44
Tabel 4.1 Integrasi Cp silinder dengan pengganggu segitiga sama sisi diputar 210º pada S/D 0,9 untuk menghitung koefisien drag pressure ...52
Tabel 4.2 Nilai Strouhal Number melintasi silinder berpengganggu tipe-A……78
Tabel 4.3 Nilai Strouhal Number melintasi silinder berpengganggu tipe-B……80
Tabel 4.4 Nilai Strouhal Number melintasi silinder berpengganggu tipe-C……81
Tabel 4.5 Nilai Strouhal Number melintasi silinder berpengganggu tipe-D……83
Tabel 4.6 Nilai Strouhal Number melintasi silinder berpengganggu tipe-E……85

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi selalu berkembang dan mengalami kemajuan, sesuai dengan perkembangan zaman dan perkembangan cara berpikir manusia. Kehidupan manusia yang tidak terlepas dari fluida seperti udara. Fluida yang melintasi suatu bentuk pasti memiliki efek atau gejala yang berbeda-beda tergantung dimensi suatu benda. Banyak aplikasi dari penelitian ini dalam kehidupan sehari-hari seperti pondasi bangunan dilaut offshore, jembatan, gedung pencakar langit, kendaraan, dan konstruksi bangunan yang lainnya. Menunda separasi merupakan salah satu kondisi yang bisa dilakukan, dengan separasi bubble daerah wake akan berkurang seiring dengan berkurangnya gaya drag.

Penelitian **Triyogi et al (2009)** menggunakan silinder pengganggu tipe-I dengan variasi sudut iris dari 0° sampai 65° yang diposisikan di depan silinder sirkular utama dengan bilangan *Reynolds* 5,3 x 10^4. Pengurangan sudut iris yang efektif adalah silinder teriris dengan sudut iris 65° yaitu pada hasil pengukuran koefisien *drag*. Penyebanya adalah daerah *wake* yang terjadi di belakang silinder teriris sangat besar. Dengan demikian, sangat efektif sekali menunda letak titik separasi dan mengganggu silinder utama. Pada akhirnya, daerah *wake* yang dihasilkan kecil dan mampu mereduksi gaya *drag* yang terjadi pada silinder utama. Besar pengurangan gaya *drag* yang dihasilkan mencapai 52% dibandingkan dengan gaya *drag* silinder tunggal.

Penelitian **Tsutsui dan Igarashi (2002)** memberikan korelasi antara bilangan Strouhal dan bilangan Reynolds yaitu didapatkan kesimpulan berupa peningkatan bilangan Strouhal dengan adanya pertambahan perbandingan diameter (d/D) dan pertambahan bilangan Reynolds diatas 3 x 10^4, titik separasi akan bergeser semakin cepat, tebal Shear Layer berkurang, maka bilangan Strouhal akan meningkat. Penelitian **Sumner et al**

(2007) didapatkan bilangan Strouhal yang dilakukan pada bilangan Reynolds Re = 3,2 x 10^4 – 7,4 x 10^4, P/D = 1,125 – 4,0, dan variasi sudut bentukan $\alpha = 0^0$ sampai 90^0. Untuk P/D < 1,5, aliran seperti halnya silinder tunggal dan hanya tercatat satu bilangan Strouhal. Untuk 1,5 ≤ P/D ≤ 2,5, tercatat dua bilangan Strouhal saat pengukuran dilakukan pada $\alpha > 30^0$, namun bilangan Strouhal menyebar pada $\alpha < 30^0$. Untuk P/D ≥ 2,5, bilangan Strouhal mendekati data silinder tunggal.

Penelitian **Hanggar Sangra (2014)** pada penelitian berikut menyebutkan hasil pengukuran menggunakan HWA untuk rasio diameter silinder teriris tipe-D 65° dan silinder sirkular (d/D) sebesar 0,125 didapat bilangan Strouhal semakin naik pada variasi S/D dari 0,6-1,375 yaitu sebesar 0,43454. Hasil perhitungan koefisien drag pressure (C_{DP}) menunjukan bahwa penggunaan silinder tipe D-65° yang ditempatkan didepan silinder sirkuler. Jarak S/D yang paling efektif mengurangi gaya drag pressure yaitu sebesar 1.375ditandai dengan (C_{DP}) silinder sirkuler turun menjadi 45,27 % (berkurang 54,37 %)

Menurut **Rizal (2010),** melakukan penelitian dengan menggunakan penggangu silinder teriris tipe I yang diletakan didepan silinder utama sirkuler pada jarak S. Pada penelitian ini bilangan Strouhal diukur menggunakan *hot wire anemometer* (HWA) *single normal probe*. Didapatkan hasil bahwa bilangan Strouhal (St) menurun bila jarak S/D bertambah hingga pada S/D = 1,375 bilangan Strouhal (St) mencapai nilai terendah, setelah itu bilangan Strouhal (St) akan naik bila S/D diperbesar.

Pada buku "Intermadiate Fluid Mechanic" karangan **Stern (2009)**, bentuk tipe silinder yaitu tipe prisma segitiga (segitiga sama sisi), tipe prisma segiempat, dan tipe silinder sirkuler. Dengan 5 bentuk kemiringan yaitu pada tipe A adalah prisma segiempat diputar kemiringan 0° , tipe B adalah prisma segiempat dengan diputar 45° kemudian pada tipe C adalah prisma segitiga dengan kemiringan 30° dan tipe D adalah prisma segitiga kemiringan 210°, yang terakhir tipe E adalah silinder pejal. Dari berbagai bentuk *body* pengganggu dengan Reynold

Number 10^5 yang akan dilakukan penelitian tipe A memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 2,1 dan tipe B memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 1,6 kemudian pada tipe C memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 1,6 serta pada tipeD memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 2,0 untuk tipe E memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 1,2.

Dari berbagai penelitian tersebut menimbulkan pemikiran untuk melakukan penelitian tentang karakteristik aliran fluida dengan 5 jenis body pengganggu yaitu type A, B, C, D, dan E. Dari penelitian ini akan dilihat distribusi koefisien tekanan (C_P), koefisien *drag* (C_{DP}), bilangan Strouhal. Pengukuran bilangan Strouhal dilakukan menggunakan sebuah hot wire anemometer dengan single normal probe. Dari 5 jenis tipe *body* pengganggu yang ditempatkan didepan silinder utama dengan variasi jarak antara silinder utama dengan silinder pengganggu (S/D) berturut-turut 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,10; 1,15 dan Reynolds number 5,3 x 10^4 .

1.2 Rumusan Permasalahan

Gaya drag yang ditimbulkan pada suatu bodi yang dialiri fluida sering kali merugikan dan sebisa mungkin untuk diminimalisasi. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meminimalisasi gaya drag tersebut adalah dengan memberikan bodi penggangu didepan silinder utama. Selain itu gaya drag yang timbul dapat diminimalisasi dengan cara melakukan pengontrolan pada *boundary layer*. Pada fenomena terjadinya peristiwa separasi dimana momentum fluida sudah tidak dapat menahan tegangan geser dan tekanan balik (*adverse pressure gradient*) sehingga menyebabkan terbentuknya daerah bertekan rendah akibat terpisahnya boundary lapisan atas dan lapisan bawah. Apabila *wake* semakin besar maka gaya drag yang timbul juga semakin besar, sebaliknya apabila *wake* diperkecil maka gaya drag juga akan menurun.

Menurut **Stern (2009),** karakteristik aliran fluida dengan 5 jenis body pengganggu yaitu tipe A (segiempat sama sisi

diputar 0^0), tipe B (segiempat sama sisi diputar 45^0), tipe C (segitiga sama sisi diputar 30^0), tipe D (segitiga sama sisi diputar 210^0), dan tipe E (silinder pejal) memiliki koefisien drag yang berbeda-beda, jika diurutkan dari yang terbesar hingga terkecil didapat type A, D, B, C, dan E yaitu 2,1; 2; 1,6; 1,6; dan 1,2.

Menurut **Triyogi et al (2009),** silinder pengganggu yang mempunyai nilai koefisien *drag* (C_D) yang semakin besar akan mengakibatkan gaya *drag* yang dihasilkan pada silinder sirkular utama semakin mengecil sehingga dapat diambil hipotesa bahwa tipe *body* pengganggu yang paling efektif untuk menurunkan gaya *drag* pada silinder utama adalah berturut-turut tipe A (bujur sangkar biasa), tipe D (segitiga samasisi diputar 210^0), tipe B (bujur sangkar diputar 45^0), tipe C (segitiga samasisi diputar 30^0) dan tipe E(silinder pejal).

Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh **Vincenc Strouhal** menerangkan bahwa, Frekuensi *fortex shedding* juga dapat menerangkan besarnya gaya drag. Hal ini terkait dengan bilangan Strouhal, semakin besar bilangan Strouhal maka semakin kecil gaya drag yang ditimbulkan.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan silinder utama sirkuler berdiameter (D)= 60 mm, yang diganggu oleh 5 tipe silinder penggangu yaitu tipe A (segiempat sama sisi diputar 0^0), tipe B (segiempat sama sisi diputar 45^0), tipe C (segitiga sama sisi diputar 30^0), tipe D (segitiga sama sisi diputar 210^0), dan tipe E (silinder pejal), dengan panjang rusuk 7,5 mm. Konfigurasi kedua silinder diletakan didalam sebuah wind tunnel yang dialiri udara pada bilangan Re = 5,3 x 10^4. Distribusi tekanan pada silinder utama diukur untuk mengetahui distribusi koefisien tekanan (Cp) dan koefisien pressure drag (C_{Dp}), untuk frekuensi vortex shedding diukur dengan menggunakan hot wire anemometer (HWA).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik aliran melintasi silinder sirkuler berpenggangu 5 bentuk

penggangu pada bilangan Re=5,3 x 10^4 dengan variasi jarak S/D = 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,10; 1,15. Dengan cara mengukur :

1. Distribusi tekanan pada lima jenis tipe bodi pengganggu.
2. Perhitungan dan analisa dari C_{Dp} pada masing-masing bodi pengganggu.
3. Profil kecepatan dibelakang body prisma dan silinder untuk mengetahui nilai C_D total.
4. Perubahan frekuensi vortex shedding dan bilangan Strouhal terhadap perubahan variasi jarak S/D.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini digunakan beberapa batasan masalah sehingga pembahasan yang dilakukan tidak melenceng dari tujuan yang telah ditentukan. Adapun batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Fluida yang digunakan adalah udara aliran dalam keadaan steady, incompressible, dan memiliki bilangan Reynolds sebesar 5,3 x 10^4
2. karakteristik aliran yang melintasi silinder utama dengan adanya 5 jenis tipe *body* penggangu yaitu tipe A (segiempat sama sisi diputar 0^0), tipe B (segiempat sama sisi diputar 45^0), tipe C (segitiga samasisi diputar 30^0), tipe D (segitiga samasisi diputar 210^0), dan tipe E (silinder pejal).
3. Variasi jarak untuk kedua silinder (S/D) berturut-turut yaitu 0,9 ; 0,95; 1,00 ; 1,05 ;
   1,10 ; 1,15.
4. Efek perpindahan panas diabaikan pada *test section wind tunnel.*
5. Penelitian ini menggunakan analisa dua dimensi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari pelaksanaan penelitian ini adalah :

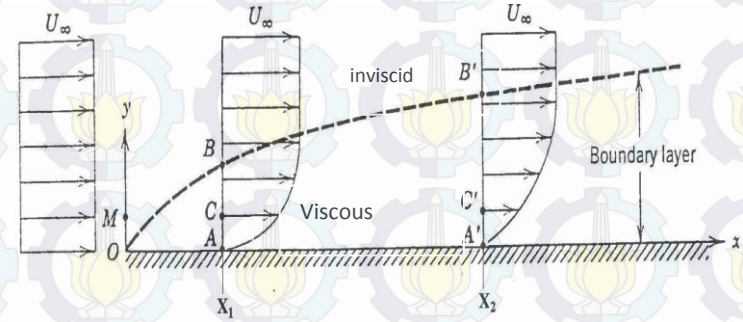
1. Dapat memberikan informasi tentang fenomena dalam aliran fluida yang terjadi sepanjang kontur masing masing bentuk variasi 5 jenis tipe bodi pengganggu.
2. Dapat menjelaskan pengaruh variasi jarak terhadap koefisien tekanan (Cp), koefisien drag (C_D), dan nilai bilangan Reynolds terhadap bilangan Strouhal.
3. Mampu menguji performa alat dan membuat alat ukur *hot wire anemometer*.
4. Melanjutkan penelitian yang berkelanjutan di Laboratorium mekanika dan Mesin- Mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Aliran Viscous dan Non Viscous

Pada suatu aliran jika dilihat pengaruh dari viskositasnya aliran dapat dibedakan menjadi 2 yaitu aliran viscous dan aliran inviscid pada kedua aliran ini dipisahkan oleh *boundary layer*. Aliran *viscous* (*viscous flow*) adalah aliran dimana masih dipengaruhi viskositas pada sepanjang dinding aliran sehingga menghasilkan tegangan geser yang membentuk *boundary layer*, sedangkan aliran *non viscous* (*inviscid flow*) kebalikannya, aliran inviscid adalah aliran dimana tidak dipengaruhi viskositas diasumsikan sama dengan nol sehingga tegangan geser diabaikan sehingga tidak terletak didaerah *boundary layer*, seperti pada gambar 2.1 struktur boundary layer melewati plat datar.



Gambar 2.1 Struktur boundary layer
(Fox and McDonald, 1994)

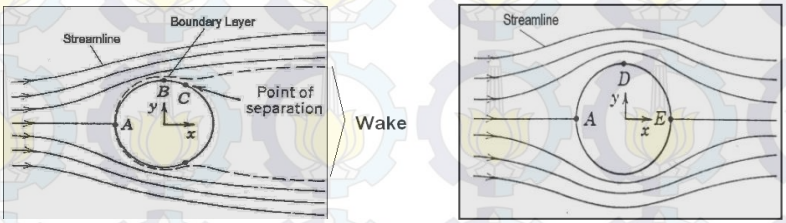
Tegangan geser (*Shear Stress*) pada aliran langsung oleh viscous laminar dipengaruhi secara langsung oleh viskositas fluida dan gradient kecepatan yang ada dalam aliran fluid tersebut. Dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana, τ_{yx}= tegangan geser (shear stress)
μ = viskositas absolute
$\frac{du}{dy}$ = gradient kecepatan

2.1.2 Aliran Melalui Sebuah Silinder Sirkuler

Suatu aliran melintasi sebuah silinder mengalami fenomena yang berbeda tergantung jenis aliran viscous atau aliran inviscid seperti gambar 2.2 aliran yang melalui silinder pejal. Pada aliran viscous akan mengalami wake berbeda dengan aliran inviscid. Pada aliran inviscid hanya pressure force yang bekerja.

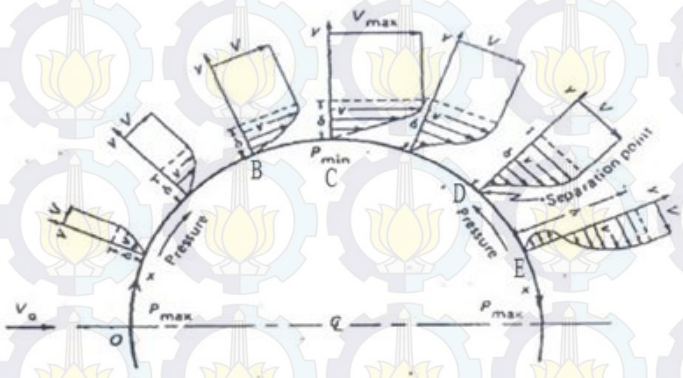


(a) Aliran viscous (b) aliran inviscid

Gambar 2.2 Aliran fluida melalui silinder sirkular
(Fox and McDonald, 1994)

Aliran fluida yang melintasi sebuah silinder seperti ditunjukan pada gambar 2.3 terlihat bahwa aliran fluida akan dipercepat hingga kecepatan maksimum dan tekanan minimumnya di titik C. gambar tersebut juga menunjukan proses terjadinya separasi dan *wake* pada silinder. Fluida mengalami percepatan antara titik A hingga titik C, tetapi memiliki gradient tekanan yang bernilai

negatif $\left(\frac{\partial p}{\partial \theta} < 0\right)$. Darerah A hingga C sering disebut sebagai daerah *favorable pressure gradient*. Setelah melalui titik C, fluida mengalami peningkatan tekanan atau memiliki gradient tekanan bernilai positif $\left(\frac{\partial p}{\partial \theta} > 0\right)$ yang disebut *adverse pressure gradient. Adverse pressure gradient* ini menyebabkan partikel fluida didalam *boundary layer* mengalami perlambatan. Gaya tekan dan gaya geser pada elemen bawah melawan arah aliran. Perbedaan tekanan dan gaya geser ini mengakibatkan momentum pada atasnya lebih besar dan sangat berpengaruh pada fluida yang teletak dekat permukaan. Momentum partikel fluida berkurang terus oleh gaya tekan dan geser dan aliran fluida di permukaan diperlambat hingga saat mencapai titik D, gradient kecepatan menjadi nol atau tidak ada kecepatan aliran fluida $\left(\frac{\partial u}{\partial y}|_{y=0} = 0\right)$. Secara umum, pengaruh *adverse pressure gradient* adalah bersamaan dengan pengurangan kecepatan atau perlambatan.



Gambar 2.3 Profil kecepatan pada kontur permukaan silinder sirkular.

Berikutnya di titik E terjadi pressure gradient yang cukup besar sehingga aliran didekat permukaan bergerak dalam arah berlawanan dan fluida mulai menjauhi kontur. Titik dimana terjadi peristiwa aliran meninggalkan permukaan kontur

$\left(\frac{\partial u}{\partial y}|_{y=0} = 0\right)$ disebut titik separasi. Peristiwa ini terjadi karena momentum yang dimiliki aliran tidak cukup untuk melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser.

2.1.3 Koefisien Drag

Sebuah benda yang dialiri sebuah aliran *viscous, incompressible* akan menghasilkan gaya-gaya aerodinamika. Gaya-gaya tersebut dihasilkan karena adanya tekanan dan gaya geser pada permukaan benda. Gaya yang sejajar horizontal dengan aliran disebut gaya *drag*.

Gaya drag yang terjadi dapat berupa skin friction drag (F_{Df}) yaitu gaya hambat yang menyinggung permukaan secara tangensial yang timbul sebagai akibat adanya viskositas (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda) dan pressure drag (F_{Dp}) yaitu gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul adanya tekanan fluida. Resultan antara friction drag dan pressure drag ini disebut sebagai total drag.

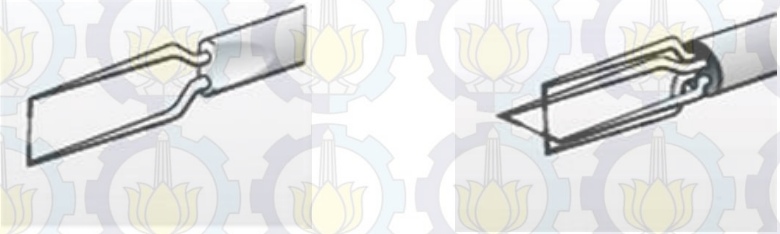
2.2 Hot Wire Anemometer

Hot wire anemometer (HWA) merupakan alat pengukur kecepatan angin yang menggunakan prinsip perpindahan panas secara konveksi dari kawat panas pada medan aliran. Proses perpindahan panas secara konveksi ini dapat terjadi secara bebas dan secara paksaan. Konveksi secara bebas disebabkan oleh perubahan berat jenis udara. Udara yang telah panas dekat dengan permukaan kawat sensor berat jenisnya menjadi lebih kecil, sehingga naik keatas dan kedudukannya segera digantikan oleh udara yang lebih dingin yang berada disekitarnya. Sedangkan konveksi secara paksaan terjadi bila udara yang ada disekitarnya mengalir karena dihembuskan atau dialiran dengan suatu kipas. Perubahan kecepatan fluida dengan peningkatan bilangan Reynolds number akan berefek pada kawat panas. Pembuatan HWA ini dilakukan sendiri dengan membagi ke dalam dua bagian, yaitu pengelasan sensor kawat panas dengan metode las titik dan pembuatan instrumen HWA.

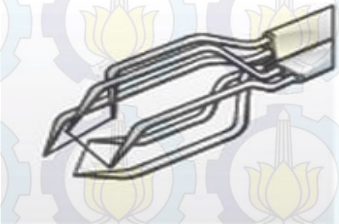
Alat ukur HWA mempunyai tiga bagian utama, yaitu: sensor, instrumen, dan data acquisition (DAQ). Macam-macam bentuk dari sensor HWA antara lain: single normal wire probe, X-type (cross type), triple sensor probe. Dalam penelitian ini jenis dan bentuk sensor yang digunakan merupakan bentuk yang paling sederhana yaitu menggunakan single normal wire probe. Sensor single normal wire probe hanya dapat digunakan untuk pengukuran kecepatan fluida dari arah aksial sehingga penempatannya harus tegak lurus dari arah datangnya aliran fluida. Bagian dari sensor ini terdiri dari kawat sebagai sensor dan prong yang merupakan bagian untuk menempatkan kawat sensor. Material kawat sensor yang digunakan adalah material tungsten dengan dimensi diameter sebesar 0,005 mm dan panjangnya sebesar 1 mm. Sedangkan material prong yang digunakan terbuat dari stainless steel. Properti dari kawat sensor yang terbuat dari material tungsten dan gambar dari masing-masing bentuk sensor HWA sesuai dengan Tabel 2.1 dan gambar 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Properti tungsten **(Bruun, 1995)**

PARAMETER	**NILAI**
Titik leleh (^{0}C)	3410
Massa jenis ρ_w (kg m^{-3})	19300
Konduktivitas panas k_w (W cm^{-1} ^{0}C^{-1})	1,9
Resistivity α_{20} (^{0}C^{-1})	0,0036
Resistivity χ_{20} ($\mu\ \Omega$ cm)	5,5
Panas spesifik C_w (kJ kg^{-10}C)	0,14
Kekuatan tarik maksimal (N cm^{-2})	250000



(a) (b)



(c)

Gambar 2.4 Sensor HWA (a) Single Normal (b) X-type Sensor (c) Triple Sensor
(Dantec, 2002)

Dalam penggunaannya HWA mempunyai dua prinsip pengoperasian, yaitu menggunakan Constant Current (CC mode) dan Constant Temperatur (CT mode). Prinsip dari Constant Current (CC mode) yaitu mengkondisikan arus yang mengalir pada sensor tetap tetapi besarnya temperatur bervariasi. Sedangkan prinsip dari Constant Temperatur (CT mode) adalah dengan menjaga konstan hambatan pada sensor yang berupa temperatur tetapi arus yang mengalir bervariasi.

Dalam penggunaan HWA sebagai alat pengukur kecepatan angin perlu dilakukan proses kalibrasi. Proses kalibrasi ini perlu dilakukan agar data pengukuran yang diambil menunjukkan data yang tepat dan akurat. Proses kalibrasi HWA ini dimulai dengan penentuan persamaan respon kalibrasi yang

menyatakan suatu hubungan antara tegangan kawat (E) dengan kecepatan udara yang mengalir (U). Setelah mendapatkan persamaan respon kalibrasi yang tepat, maka setiap data pengukuran yang berupa tegangan dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan respon tersebut.

Persamaan respon kalibrasi tersebut antara lain adalah persamaan respon Simple Power-Law dan persamaan respon Extended Power-Law. Persamaan Simple Power-Law ditemukan oleh King **(Brunn, 1995).** Perumusan persamaan Simple Power-Law ini adalah sebagai berikut :

$$E^2 = A + B.U^n \qquad (2.2)$$

dimana :

E : tegangan kawat
A : konstanta kalibrasi
B : konstanta kalibrasi
U : kecepatan udara arah aksial

Sedangkan persamaan Extended Power-Law ini merupakan penyempurnaan dari persamaan Simple Power-Law. Persamaan ini pertama kali diperkenalkan oleh **Siddal dan Davies (1972)**. Perumusan dari persamaan Extended Power-Law adalah sebagain berikut :

$$E^2 = A + B.U^n + CU \qquad (2.3)$$

dimana :

E : tegangan kawat
U : kecepatan udara arah aksial
A, B, dan C : konstanta-konstanta kalibrasi

Dalam pengukuran menggunakan HWA ini data yang didapatkan berupa data time series dimana data ditampilkan dalam suatu rentang periode tertentu. Selain itu, penggunaan alat ukur HWA ini dapat mengukur adanya frekuensi vortex shedding yang terjadi dibelakang benda yang dilewati oleh aliran. Metode

yang digunakan dalam menghitung besarnya frekuensi vortex shedding yaitu metode Fast Fourier Transforms. Hal ini dilakukan dengan menggunakan software SigView versi 2.2.1, software khusus untuk mengolah sinyal digital. Prinsip kerja dari metode FFT ini adalah membagi sinyal hasil penyamplingan menjadi beberapa bagian yag kemudian masing-masing bagian diselesaikan dengan alogritma yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali. Metode Fast Fourier Transforms (FFT) merupakan cara yang lebih efektif dari pada discrete fourier transfoms (DFT). Hal ini dikarenakan metode FFT membutuhkan waktu yang lebih singkat dengan keakuratan hasil yang sama. Berikut perhitungan FFT dengan data (x_j) pada rentang pengambilan data (N):

$$F_n = \sum_{i=0}^{N=i} x_j e^{-j2\pi\frac{nj}{N}} \qquad (2.4)$$

Metode ini umum digunakan dalam melihat distribusi frekuensi ataupun pada power spectral analysis dari suatu signal tertentu. Guna mendapatkan PSD dengan mengubah sinyal E(t) hasil dari pengambilan data,

$$E(j) = \sum_{i=1}^{N} E(t)\omega_N^{(i-1)(j-1)} \qquad (2.5)$$

dimana:

$$\omega_N = e^{(-\frac{2\pi E}{N})}$$

t : waktu
N : jumlah pengukuran

Kemudian didapatkan power spectral density

PSD = E(j).conj(E(j)/N)

Power spectral density (PSD) digambarkan terhadap fungsi frekuensi, sedangkan frekuensi tersebut dihitung dengan persamaan :

$$f(j) = \frac{S.j}{N} \tag{2.6}$$

Dimana :

S : frekuensi pengambilan data

Frekuensi yang dihitung hanya setengah jumlah pengukuran pertama, atau sampai j = N/2 sesuai dengan kriteria Nyquist yang mengharuskan pengukuran dilakukan pada dua kali frekuensi yang diprediksi.

2.3 Bilangan Strouhal

Karakteristik aliran dapat diprediksi oleh bilangan *Strouhal*. Jadi sangatlah penting untuk mengetahui perhitungan yang akurat mengenai bilangan *Strouhal*. Dalam kehidupan sehari-hari, frekuensi *vortex shedding* pernah terjadi. Resonansi muncul akibat dari frekuensi pelepasan *vortex* sama dengan frekuensi pribadi silinder. Contoh terjadinya resonansi ini adalah rusaknya jembatan Tacoma tahun 1940 yang disebabkan oleh pelepasan *vortex* yang terjadi akibat angin yang menyilang jembatan tersebut, oleh karena itu pelepasan *vortex* pada suatu benda banyak diteliti.

Bilangan strouhal didefinisikan sebagai perbandingan dari frekuensi vortex shedding dengan kecepatan udara, yaitu :

$$S_t = \frac{f_s x D}{U} \tag{2.7}$$

dimana :

St = bilangan strouhal

f_s = frekuensi vortex shedding (Hz)

D = diameter silinder sirkular utama (m)

U = kecepatan fluida (m/s)

Bluff Body adalah sebuah bangun geometri yang memiliki hambatan udara yang tinggi sehingga jika memberikan aliran fluida dengan kecepatan yang tinggi akan menyebabkan terbentuknya *vortex*. *Vortex* adalah suatu aliran yang terjadi dengan kondisi fluida tersebut partikelnya berotasi pada aliran rotasinya terhadap titik pusatnya. Pelepasan *vortex*nya tersebut, biasa kita kenal dengan istilah *vortex shedding*. Biasanya *vortex* shedding terjadi karena aliran fluida yang melalui *bluff body* memiliki kecepatan yang tinggi. Untuk menentukan nilai Strouhal number dapat dilihat berapa frekuensi yang ditangkap oleh sensor. Frekuensi adalah banyaknya sesuatu yang terjadi setiap detiknya. Dalam kajian getaran, frekuensi dapat diartikan sebagai banyaknya getaran yang terjadi dalam satu sekon. Sedangkan dalam kajian gelombang, frekuensi dapat diartikan sebagai banyaknya gelombang yang terjadi setiap satu sekon. Satuan yang digunakan untuk mengukur frekuensi adalah 1/s yang disebut juga Hertz disingkat Hz.

Bilangan Strouhal yang semakin besar menunjukan bahwa frekuensi *vortex shedding* semakin besar. Dalam hal ini perhitungan bilangan Strouhal penting dalam memprediksi karakteristik aliran, seperti contoh frekuensi *vortex shedding* dapat menjadi salah satu penyebab dari runtuhnya suatu struktur bangunan. Hal ini dikarenakan frekuensi *vortex shedding* sesuai dengan frekuensi resonansi benda. Berbagai hal telah dilakukan untuk untuk mengurangi dan menghilangkan efek resonansi yang salah satunya seperti menggunakan pengganggu dalam bangunan cerobong tinggi.

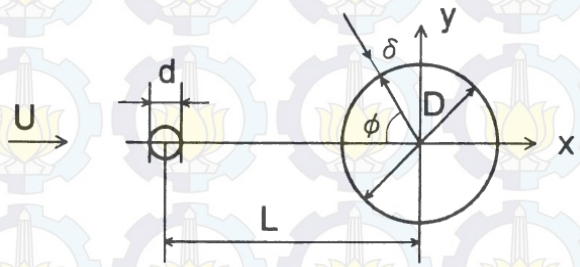
2.4 Penelitian Terdahulu

beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya penelitian mengenai silinder tunggal yang diiris dengan sudut pengirisan tertentu, silinder yang disusun secara longitudinal

(tandem. Penelitian-penelitian ini dilakukan dengan beragam variasi sudut iris silinder.

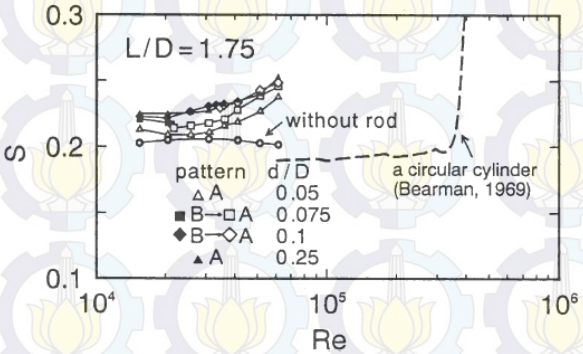
2.4.1 Penelitian Silinder Dengan Pengganggu

Penelitian tentang aliran fluida pada sebuah silinder yang diberi pengganggu berupa silinder lain juga pernah dilakukan oleh **Tsutsui dan Igarashi (2002).** Penelitian tersebut memvariasikan jarak antara kedua pusat silinder, diameter silinder pengganggu (d/D), dan harga bilangan Reynolds pada rentang 1,5 x $10^4 \leq Re \leq 6{,}2$ x 10^4. Pada gambar 2.5 adalah geometri benda uji yang digunakan.

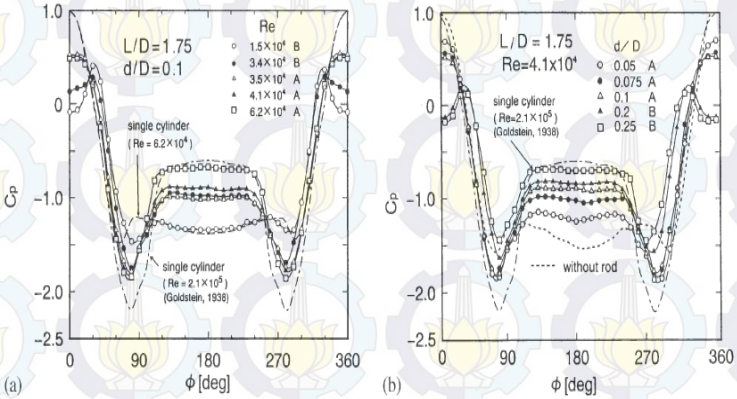


Gambar 2.5 Geometri benda uji **(Tsutsui dan Igarashi, 2002)**

Geometeri benda uji tersebut mempunyai diameter silinder utama sebesar 40 mm dengan perubahan diameter silinder penganggu dari 1-10 mm sedangkan jarak antar ledua pusat silinder divariasikan dari rentang 50-120 mm. Pada gambar 2.6 dan gambar 2.7 didapatkan bahwa penurunan harga koefisien drag (C_D) dan peningkatan bilangan Strouhal yang disebabkan oleh peningkatan bilangan Reynolds (Re) dan peningkatan d/D serta penurunan harga L/D. Dengan peningkatan bilangan reynolds di atas 3 x 10^4, maka titik separasi akan bergeser semakin cepat, tebal *shear layer* berkurang, sehingga bilangan Strouhal akan meningkat. Berikut merupakan grafik hubungan bilangan Strouhal deng bilangan Reynolds yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 2.6 Grafik bilangan Strouhal **(Tsutsui dan Igarashi, 2002)**



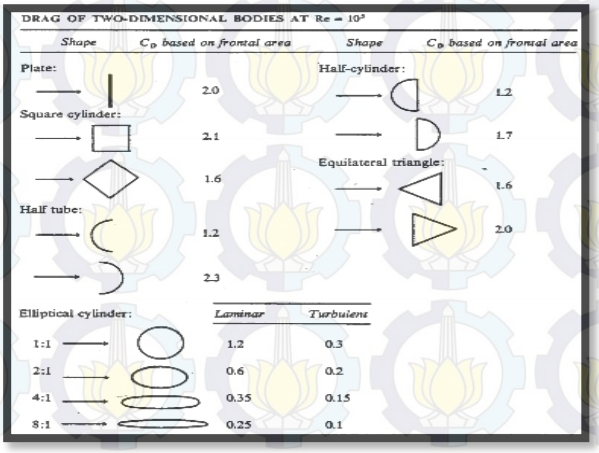
(a) Dengan variasi Re **(b) Dengan variasi d/D**

Gambar 2.7 Grafik distribusi tekanan pada silinder sirkuler utama **(Tsutsui dan Igarashi, 2002)**

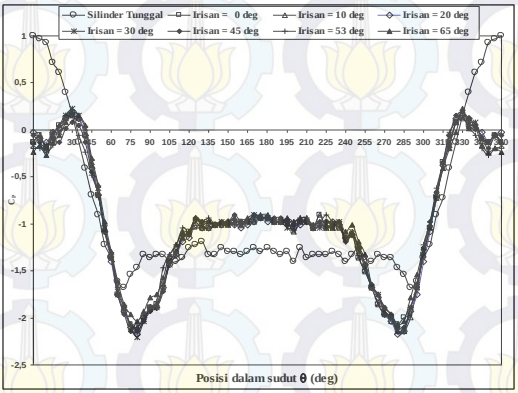
Pada buku "Intermadiate Fluid Mechanic" karangan **Stern (2009)**, bentuk tipe silinder yaitu tipe prisma segitiga (segitiga sama sisi), tipe prisma segiempat, dan tipe silinder sirkuler. Dengan 5 bentuk kemiringan yaitu pada tipe A adalah prisma

segiempat diputar kemiringan 0° , tipe B adalah prisma segiempat dengan diputar 45° kemudian pada tipe C adalah prisma segitiga dengan kemiringan 30° dan tipe D adalah prisma segitiga kemiringan 210°, yang terakhir tipe E adalah silinder pejal. Dari berbagai bentuk *body* pengganggu dengan Reynold Number 10^5 yang akan dilakukan penelitian tipe A memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 2,1 dan tipe B memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 1,6 kemudian pada tipe C memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 1,6 serta pada tipeD memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 2,0 untuk tipe E memiliki koefisien drag (C_D) sebesar 1,2 sesuai dengan tabel 1.1 penurunan nilai C_D terhadap dimensi *body*.

Tabel 2.2 Nilai C_D dari berbagai body penggangu **(Stern,2009)**

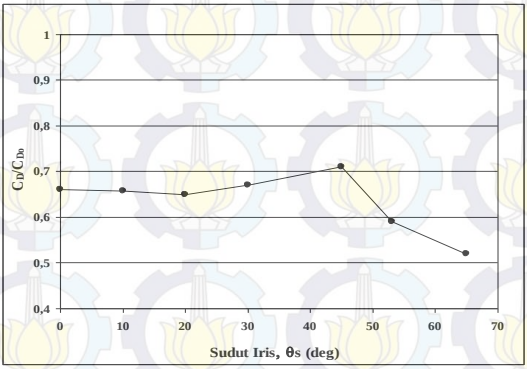


Pada penelitian **Triyogi et al (2009)** menggunakan silinder pengganggu tipe-I dengan variasi sudut iris dari 0^0 sampai 65^0 yang diposisikan di depan silinder sirkular utama dengan bilangan Reynolds 5,3 x 10^4 dengan parameter yang diambil seperti distribusi tekanan C_p, koefisien drag, dan profil kecepatan sesuai gambar 2.9, gambar 2.10, dan gambar 2.11 sebagai berikut :



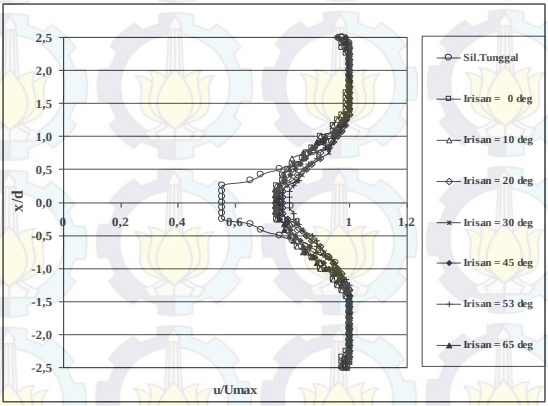
Gambar 2.8 Distribusi tekanan sekeliling silinder utama untuk varisai sudut iris silinder pengontrol, pada $R_e = 5{,}3 \times 10^4$ dan untuk sudut stagger ($\alpha = 0^o$).

Pada gambar 2.9 distribusi tekanan yang berpengganggu dapat divisualisasikan pada grafik gambar 2.10 yaitu evolusi nilai Cd terhadap variasi sudut iris.



Gambar 2.9 Evolusi koefisien *drag* silinder utama relatif terhadap silinder tunggal sebagai fungsi dari sudut iris (θ_s) pada $R_e = 5{,}3 \times 10^4$.

Untuk mendapatkan nilai Cd total dapat dicari dengan profil kecepatan terhadap variasi sudut iris sesuai gambar 2.11 seperti gambar berikut :



Gambar 2.10. Profil kecepatan dibelakang silinder utama pada = 5,3 x 10^4 dalam variasi sudut iris silinder pengontrol (θ_s).

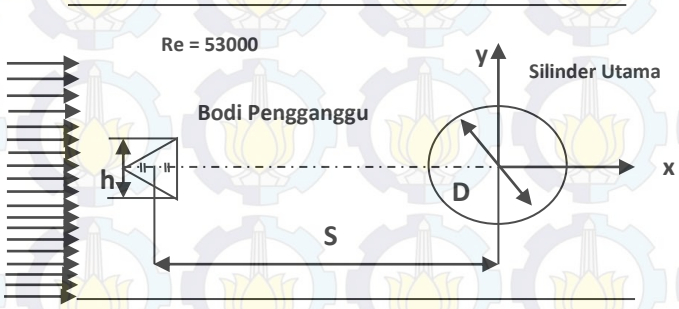
Hasil pengukuran koefisien drag yang didapatkan bahwa pengurangan sudut iris yang efektif adalah ketika diberi silinder pengganggu tipe-I dengan sudut iris 65^0. Hal ini dikarenakan daerah wake yang terjadi dibelakang silinder tipe-I 65^0 sebagai silinder pengganggu sangat besar sehingga efektif mengganggu silinder utama dan mampu menunda letak titik separasi dan akhirnya akan menghasilkan daerah wake yang kecil dan mereduksi gaya drag yang terjadi pada silinder utama. Besarnya pengurangan gaya drag yang dihasilkan mencapai 52% dibandingkan dengan gaya drag silinder tunggal.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Eksperimental

Metode eksperimental untuk pengukur bilangan Strouhal pada silinder yang ditempatkan silinder yang ditempatkan silinder pengganggu di depannya. Sebelum melakukan setup penelitian, terlebih dahulu dilakukan analisa dimensi. Analisa dimensi ini sangat diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu percobaan atau tidak. Pada penelitian ini pengganggu yang diletakkan di depan silinder utama pada jarak S/D seperti gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Skema penelitian dan parameter yang diukur

Pada silinder utama, parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran dalam penelitian ini sesuai gambar 3.1 adalah massa jenis fluida (ρ), kecepatan angin (U∞), viskositas fluida (μ), panjang rusuk bodi pengganggu (d), diameter silinder utama (D), panjang silinder (L), jarak kedua pusat silinder (S), dan frekuensi fortex shedding (f_s).

Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. F_s = frekuensi vortex shedding, herz (1/s)
2. ρ = massa jenis udara, kg/m^3
3. μ = viskositas absolut udara, N.s/m^2
4. D = diameter silinder utama, m
5. U∞ = kecepatan udara (m/s)
6. S = jarak horizontal antara kedua pusat silinder utama dan silinder penganggu, m
7. h = panjang sisi body pengganggu, m

3.1.1 Analisa Dimensi Koefisien Tekanan (Cp)

Setelah dilakukan analisa dimensi, akan diperoleh 4 grup tak berdimensi yaitu:

$\pi_1 = \frac{\Delta p}{\rho U_\infty{}^2}$ = koefisien tekanan

$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_\infty D}$ = bilangan Reynolds (Re)

$\pi_3 = \frac{S}{D}$ = axis rasio

$\pi_4 = \frac{h}{D}$ = rasio panjang sisi body pengggangu dengan diameternya

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut:

$$\pi_1 = f_1\,(\,\pi_2, \pi_3, \pi_4) \qquad (3.1)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho U_\infty{}^2} = f_1\,(\,\frac{\mu}{\rho U_\infty D}, \frac{S}{D}, \frac{h}{D}\,) \qquad (3.2)$$

Pada penelitian ini nilai Re dan $\frac{t}{D}$ merupakan variabel tetap sedangkan bentuk *body* pengganggu divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap koefisien tekanan pada *body* pengganggu.

Sehingga :

$$\frac{\Delta p}{\rho U_\infty{}^2} = f_2\left(\frac{S}{D}\right) \quad (3.3)$$

atau :

$$Cp = f_3\left(\frac{S}{D}\right) \quad (3.4)$$

3.1.2 Analisa Dimensi Koefisien *Drag*

Setelah dilakukan analisa dimensi, akan diperoleh 4 grup tak berdimensi yaitu:

$\pi_5 = \frac{F_D}{\rho U_\infty{}^2 D^2}$ = koefisie *drag*

$\pi_6 = \frac{\mu}{\rho U_\infty D}$ = bilangan Reynolds (Re)

$\pi_7 = \frac{S}{D}$ = axis rasio

$\pi_8 = \frac{h}{D}$ = rasio panjang sisi body pengggangu dengan diameternya

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut:

$$\pi_5 = f_4\left(\pi_6, \pi_7, \pi_8\right) \quad (3.5)$$

$$\frac{F_D}{\rho U_\infty{}^2 D^2} = f_4\left(\frac{\mu}{\rho U_\infty D}, \frac{S}{D}, \frac{h}{D}\right. \quad (3.6)$$

Pada penelitian ini nilai Re dan t/D merupakan variabel tetap sedangkan bentuk body pengganggu divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap koefisien tekanan pada *body* pengganggu.

Sehingga :

$$\frac{F_D}{\rho U_\infty{}^2 D^2} = f_5\left(\frac{S}{D}\right) \quad (3.7)$$

atau :

$$C_D = f_6\left(\frac{S}{D}\right) \qquad (3.8)$$

3.1.3 Analisa Dimensi Bilangan Strouhal (St)

Setelah dilakukan analisa dimensi, akan diperoleh 4 grup tak berdimensi yaitu :

$\pi_9 = \frac{D}{U_\infty\ t}$ $\pi_9 = \frac{Fs\ .D}{U_\infty}$ = bilangan Strouhal (St)

dimana Fs = $\frac{1}{t}$

$\pi_{10} = \frac{\mu}{\rho U_\infty D}$ = bilangan Reynolds (Re)

$\pi_{11} = \frac{S}{D}$ = axis rasio

$\pi_{12} = \frac{h}{D}$ = rasio panjang silinder dengan diameternya

Hubungan antara grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$\pi_{13} = f_7\left(\pi_{10}, \pi_{11}, \pi_{12}\right) \qquad (3.9)$$

$$\frac{F_D}{U_\infty} = f_7\left(\frac{\mu}{\rho U_\infty D}, \frac{S}{D}, \frac{h}{D}\right. \qquad (3.10)$$

Pada penelitian ini nilai Re dan $\frac{t}{D}$ merupakan variabel tetap sedangkan bentuk body pengganggu divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai bilangan Strouhal. Sehingga :

$$\frac{F_D}{U_\infty} = f_8\left(\frac{S}{D}\right) \qquad (3.11)$$

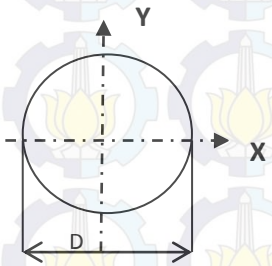
atau :

$$S_t = f_9\left(\frac{S}{D}\right) \qquad (3.12)$$

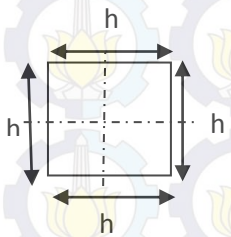
3.1.4 Benda Uji

Pada percobaan ini, sebagai benda kerja digunakan silinder pejal yang disebut sebagai silinder utama dengan penganggu berupa 5 tipe. pada tipe A adalah prisma segitiga diputar kemiringan 30° , tipe B adalah prisma segitiga dengan diputar 210° kemudian pada tipe C adalah prisma segiempat dengan kemiringan 0° dan tipe D adalah prisma segiempat kemiringan 45°, yang terakhir tipe E adalah silinder pejal. Adapun spesifikasi benda uji tersebut adalahsebagai berikut :

1. Profil silinder utama dengan dimensi sebagai berikut :
   - Diameter (D) : 60 mm
   -Panjang silinder (L) : 600 mm

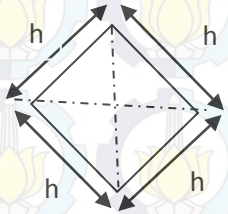


2. Profil *body* pengganggu dengan tipe-A.



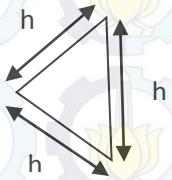
Adapun dimensinya adalah sebagai berikut :
-panjang rusuk (h) : 7,5 mm
-Panjang silinder (L) : 600 mm
-Sudut kemiringan (θ_s) : 0^0

3. Profil *body* pengganggu dengan tipe-B.



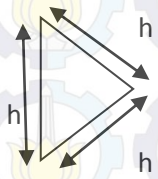
Adapun dimensinya adalah sebagai berikut :
-panjang rusuk (h) : 7,5 mm
-Panjang silinder (L) : 600 mm
-Sudut kemiringan (θ_s) : 45^0

4. Profil *body* pengganggu dengan tipe-.C



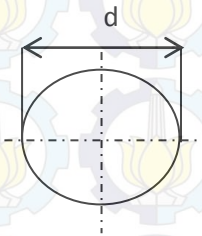
Adapun dimensinya adalah sebagai berikut :
-panjang rusuk (h) : 7,5 mm
-Panjang silinder (L) : 600 mm
-Sudut kemiringan (θ_s) : 30^0

5. Profil *body* pengganggu dengan tipe-D.



Adapun dimensinya adalah sebagai berikut :
-panjang rusuk (h) : 7,5 mm
-Panjang silinder (L) : 600 mm
-Sudut kemiringan (θ_s) : 120^0

6. Profil *body* pengganggu dengan silinder tipe-E.

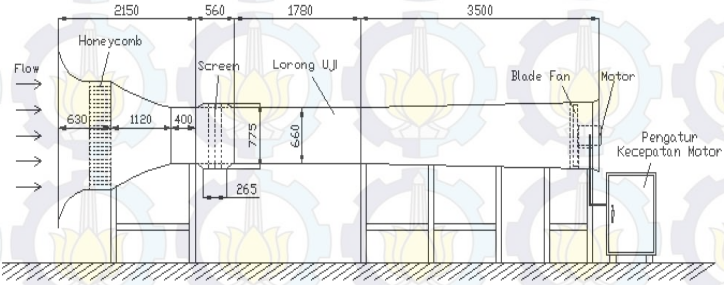


Adapun dimensinya adalah sebagai berikut :
-diameter (d) : 7,5 mm
-Panjang silinder (L) : 600 mm

3.1.5 Terowongan Angin

Percobaan dilaksanakan dengan meletakkan model berbentuk silinder pejal yang diberi pressure tap dihubungkan dengan silinder kecil teriris seperti terlihat pada Gambar 3.2 pada saluran uji dari sebuah terowongan. Kondisi aliran dalam saluran uji ini dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai kondisi yang sebenarnya. Terowongan angin yang digunakan ini adalah jenis

subsonic wind tunnel. Udara dalam saluran uji digerakkan oleh fan yang terletak pada keluaran diffuser. Udara tersebut dihisap oleh fan dari ruangan terbuka sehingga alirannya masuk ke dalam nozzle melewati honeycomb yang kemudian diteruskan ke dalam saluran uji, selanjutnya diffuser dan fan untuk kemudian dibuang ke ruang terbuka kembali. Spesifikasi wind tunnel mempunyai test suction berbentuk persegi panjang dengan panjang 150 cm, tinggi 66 cmm dan lebar 66 cm.



Gambar 3.2 Skema penelitian pada model uji

3.1.6 Peralatan

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi tekanan statis, tekanan stagnasi, tegangan HWA, dan waktu sehingga dibutuhkan peralatan dari masing-masih parameter tersebut yang meliputi:

1. *Wind Tunnel*

   Penelitian ini menggunakan *wind tunnel* jenis *open circuit* untuk menguji benda dalam skala model, dimana udara yang dialirkan ke dalamnya langsung bebas dilepas ke udara bebas setelah melalui *test section*. Hal ini disebabkan pengukuran sebenarnya cukup sulit dan membutuhkan biaya yang mahal. *Wind tunnel* ini digolongkan sebagai *subsonicwind tunnel* karena kecepatan udaranya maksimal hanya 21 m/s dan *Mach number*-nya kurang dari 0,9. *Wind tunnel* yang digunakan ini dapat dilihat pada gambar 3.3.

Gambar 3.3 Wind tunnel

a) Spesifikasi *Wind Tunnel*

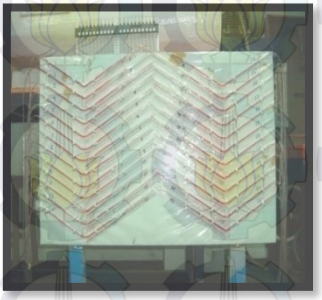
- Jenis : *Subsonic, open circuit wind tunnel*
- Bentuk *test section* : Penampang persegi panjang
  - Panjang : 1780 mm
  - Tinggi : 660 mm
  - Lebar : 660 mm

1. Pitot static tube

   Pitot static tube berfungsi untuk mengukur besar tekanan statis dan tekanan stagnasi aliran fluida. Dalam penelitian ini, pitot static tube berfungsi sebagai alat kalibrasi HWA.

Gambar 3.4 Pitot static tube

2. Manometer
   Manometer berfungsi untuk menyatakan besar tekanan yang diukur oleh pitot static tube. Manometer yang digunakan ini memiliki kemiringan sebesar 15^0 dengan maksud untuk mempermudah pembacaan Δh terukur.



Gambar 3.5 Inclined manometer 15°

3. Termometer
   Termometer digunakan untuk mengukur temperatur fluida kerja.

4. Avometer
   Avometer digunakan sebagai indikator hot wire berjalan atau tidak juga sebagai slat hitung resistansi kawat dan juga tegangan.

Gambar 3.6 Avometer alat pengukur arus,tegangan listrik.

5. Hot wire anemometer
   Hot wire anemometer (HWA) menggunakan prinsip perpindahan panas secara konveksi dari kawat panas atau elemen film pada medan aliran. Perubahan yang terjadi pada medan aliran berupa kecepatan fluida akan berefek pada elemen panas. Keluaran yang dihasilkan berupa tegangan dan juga waktu.
6. Data acquisition
   Data acquisition berguna mengubah sinya analog keluaran dari HWA ke bentuk digital yang kemudian dapat diolah di computer. DAQ yang digunakan adalah DAQ merek Omega tipe DAQPRO 5300 dengan software bawaan DAQLAB.
7. Software komputer
   Software computer yang digunakan antara lain Microsoft Office 2007 (Word, Excell, dan Visio) serta sofware pengolah sinyal, SigView 2.2.1 yang berguna mengubah domain waktu ke bentuk domain frekuensi.
8. Wall Pressure Tap
   Alat ini berupa lubang-lubang kecil berdiameter 1 mm yang terpasang di sepanjang kontur *body* benda uji bagian tengah dan dinding datar bagian tengah. *Pressure tap* ini berfungsi untuk mengukur besar tekanan di sepanjang permukaan benda uji dan dinding datar dengan menghubungkan setiap *pressure tap*ke *pressure tranducer*.

3.1.7 Langkah-Langkah Eksperimen

Sebelum digunakan untuk pengukuran, HWA perlu dikalibrasi untuk mengetahui suatu persamaan respon kalibrasi yang menyatakan suatu hubungan antara tegangan kawat dengan kecepatan referensi. Kemudian setiap pengambilan data untuk mendapatkan bilangan Strouhal dapat dievaluasi dengan persamaan respon tersebut. Persamaan respon yang umum digunakan berupa persamaan *simple power law* oleh King

(Brunn, 1995), persamaan extended power law **(Siddal dan Davies, 1972),** dan polynomial. Keakurasian persamaan respon dapat dilihat dari nilai optimum pangkat yang dipilih untuk menghasilkan curve fit yang baik.

Kalibrasi dilakukan setiap pengambilan data. Hal ini dikarenakan kawat sensor sangat sensitif terhadap perubahan. Langkah kalibrasi tersebut yaitu sebagai berikut :

1. Mempersiapkan sistem HWA mulai dari sensor, instrumen, dan DAQ.
2. Menyalakan keseluruhan sistem pada catu daya.
3. Mengukur output sensor dari tampilan di komputer.
4. Menyetel overheat ratio sensor.
5. Memasang pitot static tube sebagai alat ukur referensi yang dihubungkan pada manometer untuk mendapatkan Δh pengukuran.
6. Memasang HWA berdampingan dengan pitot static tube.
7. Menyalakan fan dan mengatur kecepatan putaran mulai dari kecepatan rendah hingga kecepatan maksimum.
8. Mencatat pembacaan nilai Δh dan tegangan keluar dari HWA.
9. Menentukan persamaan respon kalibrasi berdasarkan tegangan kawat dari HWA dengan kecepatan referensi yang dihasilkan dari pitot static tube.

3.1.7.1 Pengambilan Data Kuantitatif Bilangan Strouhal Silinder Sirkuler dengan Variasi Bodi Pengganggu

Tahap pengambilan data bilangan Strouhal yang akan dianalisa melalui proses pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Memasang benda uji berupa silinder sirkuler dengan jenis body pengganggu.
2. Menempatkan posisi probe HWA pada x/D = 3, y/D = 1.

3. Menyalakan fan, atur besar putarannya dengan inverter agar diperoleh kecepatan dalam test suction yang sesuai dengan kecepatan pengujian yang diharapkan pada bilangan Reynold 5,3 x $10^{4.}$
4. Merekam tegangan HWA dari pengukuran pada DAQ.

3.1.7.2 Pengambilan Data Kuantitatif Frekuensi *Vortex Shedding* Silinder Sirkular yang Diganggu dengan *Body* Pengganggu

Tahap pengambilan data bilangan Strouhal yang akan dianalisa melalui proses pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Memasang benda uji berupa silinder sirkuler dengan *body* pengganggu tipe A
2. Menempatkan posisi *probe* HWA pada x/D = 3, y/D = 1.
3. Mengatur jarak *body* pengganggu S/D sebesar 0.9 - 1,15.
4. Menyalakan *fan*, atur besar putarannya dengan menggunakan inverter agar diperoleh kecepatan dalam *test suction* yang sesuai dengan kecepatan pengujian yang diharapkan pada bilangan Reynolds 5,3x10^4.
5. Merekam data tegangan HWA dari pengukuran pada DAQ.
6. Memasang benda uji dan *body* penganggu dengan memvariasikan jarak 0,90 ; 0,95 ; 1,00; 1,05; 1,10; dan 1,15.
7. Mematikan *fan* dan mengatur kembali instalasi eksperimen.
8. Mengganti *body* pengganggu dengan *body* pengganggu tipe lain yakni tipe B, C, D dan E serta melakukan langkah 2-7 untuk setiap tipe *body* pengganggu.

3.1.7.3 Pengambilan Data Profil Kecepatan di Belakang Silinder Utama

Pengambilan data untuk mendapatkan profil kecepatan dibelakang silinder utama yang disusun secara tandem dengan *body* pengganggu dilakukan sebagai berikut :

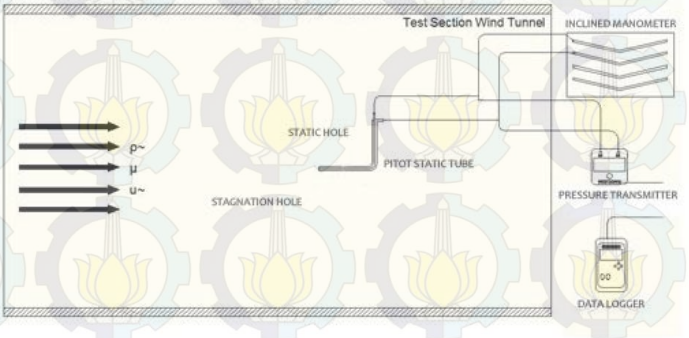
1. Memasang benda uji berupa silinder sirkular dengan *body* pengganggu tipe A
2. Menempatkan posisi *pitot static tube* pada x/D = 3
3. Mengatur jarak *body* pengganggu S/D sebesar 0,90 – 1,15
4. Menyalakan *fan*, atur besar putarannya dengan menggunakan inverter agar diperoleh kecepatan dalam *test suction* yang sesuai dengan kecepatan pengujian yang diharapkan pada bilangan Reynolds $5{,}3x10^4$.
5. Merekam nilai keluaran arus dari *pitot static tube* dengan menggunakan DAQ.
6. Memasang benda uji dan *body* penganggu dengan memvariasikan jarak 0,90 ; 0,95 ; 1,00; 1,05; 1,10; dan 1,15.
7. Mematikan *fan* dan mengatur kembali instalasi eksperimen.
8. Mengganti *body* pengganggu dengan *body* pengganggu tipe lain yakni tipe B, C, D dan E serta melakukan langkah 2-7 untuk setiap tipe *body* pengganggu.

3.1.7.4 Kalibrasi pengukuran manometer dan *presure transduser*

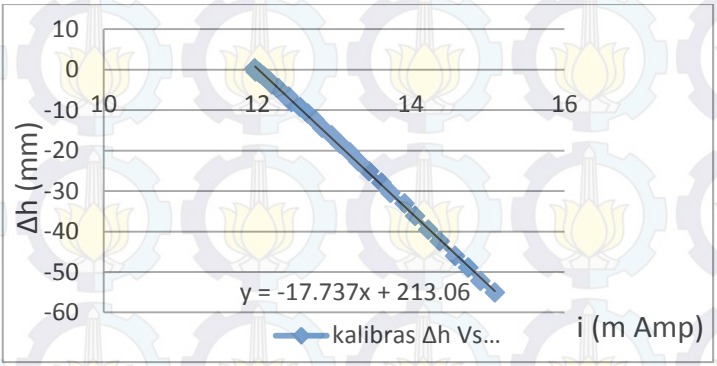
Konversi dilakukan untuk menyamakan keluaran yang berupa arus dari beberapa *pressure transmitter* yang digunakan sehingga didapatkan faktor konversi menjadi besaran yang tekanan yang sama.

1. Mempersiapkan peralatan yaitu *pressure transmitter*, DAQ, *Pitot static tube*, selang bercabang dan manometer.
2. Mengatur *pitot static tube* agar terletak tepat pada *test section wind tunnel*.

3. Sedang keluaran *pitot static tube* dihubungkan dengan selang bercabang, satu cabang terhubung ke manometer dan cabang yang lain terhubung ke *pressure transmitter*.
4. Membaca skala awal manometer.
5. Menghidupkan *fan* pada *wind tunnel* dan mengaturnya pada putaran tertentu.
6. Membaca perbedaan ketinggian cairan (Δh) pada manometer dan *output* pada *pressure transmitter* yang ditampilkan pada DAQ.
7. Mengubah-ubah putaran *fan* secara kontinyu.
8. Melakukan prosedur 6 untuk setiap nilai putaran *fan* yang berbeda, dimulai dari 0 rpm hingga 1500 rpm dengan interval 50 rpm untuk tiap titik.
9. Membuat plot data Δh dan arus yang didapatkan ke dalam grafik dan mendapatkan persamaan konversinya.



Gambar 3.7. Skema konversi manometer dan *pressure transduser*.



Gambar 3.8. Grafik kalibrasi Δh Vs arus

3.1.7.5 Data Eksperimental

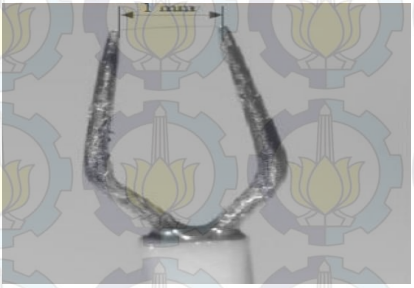
Data eksperimental yang akan dianalisa terdiri dari:

1. Persamaan respon kalibrasi HWA.
2. Analisa intensitas turbulensi dari kecepatan freestream.
3. Performa HWA denagan pengujian untuk silinder tunggal dengan variasi bilangan Reynolds terhadap bilangan Strouhal yang dibandingkan dengan penelitian terdahulu
4. Pengujian untuk silinder tunggal dengan pengganggu untuk mengetahui bilangan Strouhal.

3.2 Pemasangan Hot Wire Anemometer

Hot wire anemometer (HWA) yang digunakan dalam penelitian ini terdapat tiga komponen penting dalam prinsip kerjanya, yaitu (a) sensor; (b) rangkaian instrumentasi; (c) data acquisition (DAQ). Dalam prinsip kerjanya ketiga komponen tersebut saling berkaitan satu sama lain. Aliran fluida diterima oleh sensor sebagai sinyal awal. Kemudian diteruskan dan diperkuat oleh rangkaian instrumentasi sebagai penerus sinyal dari sensor menuju DAQ. DAQ berfungsi sebagai pembaca sinyal dari sensor yang diteruskan oleh rangkaian instrumentasi. Data yang didapatkan kemudian dianalisa untuk mengetahui fenomena

aliran yang terjadi. Macam-macam bentuk dari sensor HWA antara lain: single normal wire probe, X-type (cross type), triple sensor probe. Dalam penelitian ini jenis dan bentuk sensor yang digunakan merupakan bentuk yang paling sederhana yaitu menggunakan single normal wire probe. Sensor single normal wire probe hanya dapat digunakan untuk pengukuran kecepatan fluida dari arah aksial sehingga penempatannya harus tegak lurus dari arah datangnya aliran fluida. Bagian dari sensor ini terdiri dari kawat sebagai sensor dan prong yang merupakan bagian untuk menempatkan kawat sensor. Prong berbentuk seperti kerucut, dimana semakin keatas bagian ujung semakin runcing. Dikedua ujung itulah kawat sensor hot wire anemometer ditempatkan. Material kawat sensor HWA yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tungsten. Dimensi dari kawat sensor memiliki diameter sebesar 0,005 mm dan panjang 1 mm. Penggunaan material tungsten sebagai kawat sensor memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan material ini memiliki kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan material lain seperti platinum. Tetapi kekurangan dari material ini yaitu titik lelehnya rendah sehingga pada saat proses pemasangan kawat sensor pada prong tidak bisa dilakukan dengan penyolderan. Hal ini dikarenakan pada temperatur tinggi material kawat sensor tungsten yang digunakan akan teroksidasi.



Gambar 3.9 Foto Perbesaran Prong dan Kawat HWA

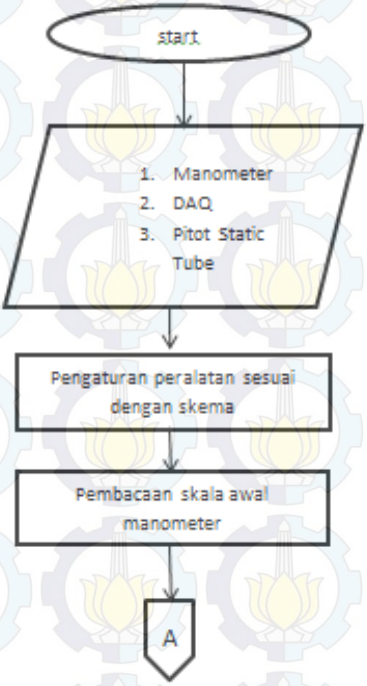
Proses penempatan kawat sensor pada prong dilakukan dengan cara pengelasan titik. Pengelasan las listrik dengan metode las titik adalah proses pengelasan yang memakai resistansi listrik dimana pelat lembaran dijepit dengan dua elektroda. Ketika arus bertegangan rendah dialirkan maka terjadi sambungan las pada posisi jepitan. Gambar 3.7 merupakan skema rangkaian dari las titik. Metode las titik ini hanya digunakan untuk keperluan penyambungan kawat sensor pada prong dan bukan untuk keperluan pengelasan skala besar. Instrumen yang berfungsi sebagai penguat sinyal dapat dilihat pada Gambar 3.8. Rangkaian instrumen terdiri dari bagian jembatan wheatstone dan penguat sinyal berupa op amp. Sistem yang dipakai dalam alat ukur HWA ini adalah Constant Temperatur (CT Mode). Hal ini dikarenakan mudah dalam pengoperasiannya dan data yang dihasilkan relatif bersih terhadap noise. Pembuatan HWA dimulai dengan membuat prong menggunakan mesil drill. Prong yang terbuat dari stainless steel yang diruncingkan pada keduan ujungnya dengan menggunakan alat asah *oil stone* dan minyak pelumas sebagai pembuangan sisa material. Prong kemudian ditempatkan pada body probe yang terbuat dari akrilik. *Body probe* dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan gap 1 mm. Setelah selesai, dipasang konektor sebagai jalur sinyal dari sensor ke instrumentasi.

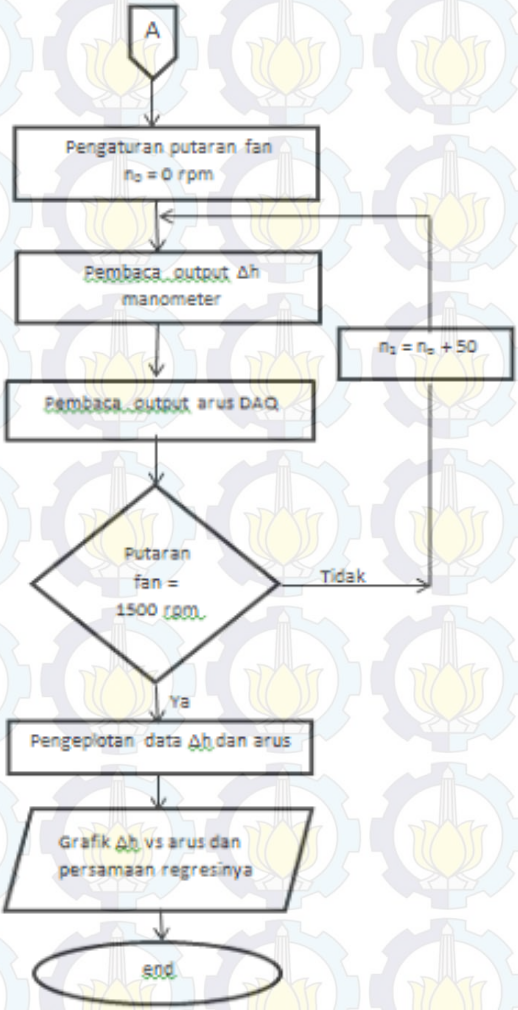
3.3 Urutan Langkah Penelitian

3.3.1 Flowchart Penelitian

3.3.1.1Kalibrasi Delta H (ΔH) dan Arus

Pada gambar 3.10 terlihat *Flowchart* Kalibrasi Delta H (ΔH) dan arus. Berdasakan gambar tesebut dapat diketahui hal-hal yang dibutukan serta proses yang dilakukan pada saat kalibrasi.

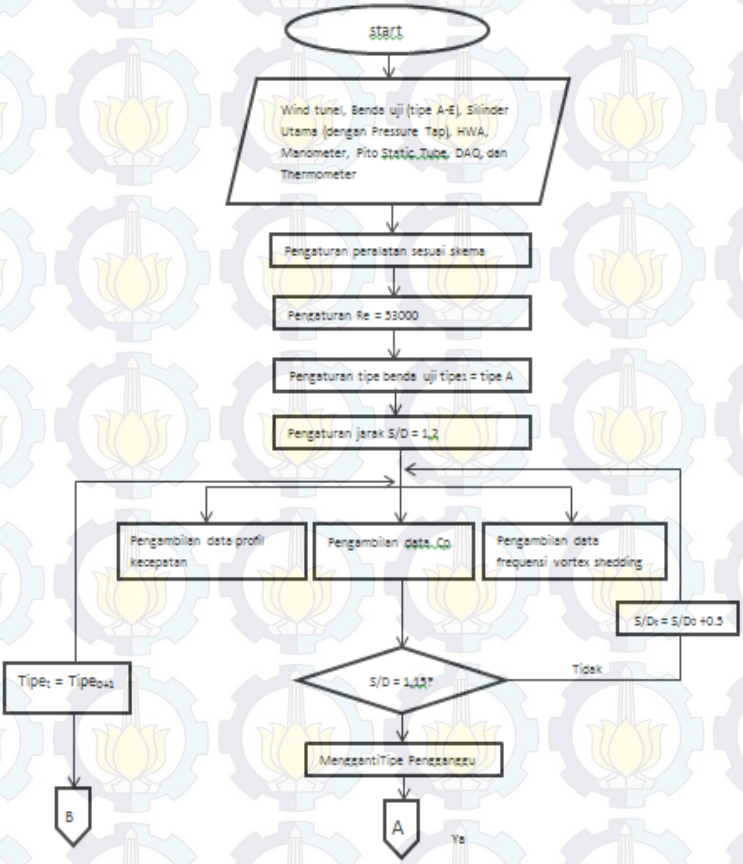


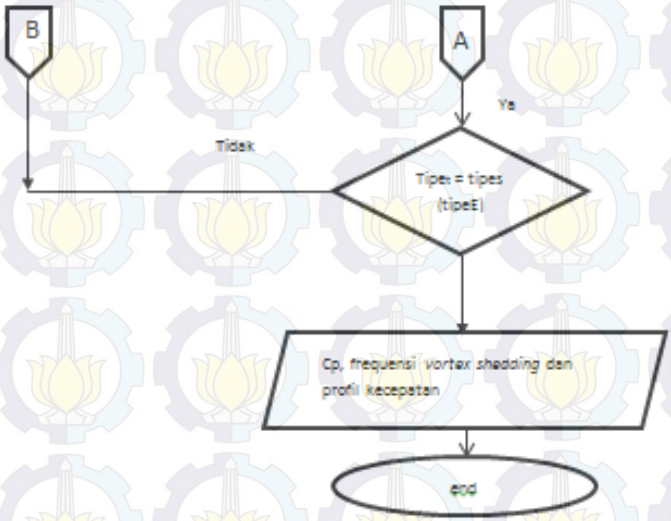


Gambar 3.10. flowcart Delta H (ΔH) danArus

3.3.1.2 Pengambilan Data KoefisienTekanan (Cp), Frequensi danProfil Kecepatan

Pada gambar 3.11 dapat diketahui hal-hal yang dibutuhkan serta proses yang harus dilakukan selama proses pengambilan data ini.





Gambar 3.11. *Flowchart* pengambilan data

3.4 Alokasi Waktu Penelitian

Pada tabel 3.1 merupakan alokasi waktu yang digunakan untuk penelitian dengan tabel sebagai berikut :

Tabel 3.1 Perencanaan waktu penelitian.

No.	Kegiatan	Bulan																																							
		Sept				oct				Nov				Des				Jan				Feb				Mar				Apr				Mei				Jun			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Study Pustaka																																								
2	Persiapan Bahan dan Benda Uji																																								
3	Kalibrasi																																								
4	Setting Alat Ukur dan Instalasi																																								
5	Eksperimen dan Pengambilan Data																																								
6	Pengolahan Data																																								
7	Pembuatan Laporan																																								
8	Seminar																																								
9	Sidang Tugas Akhir																																								

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Contoh Perhitungan

Hasil yang dari pengambilan data perlu diolah terlebih dahulu untuk dianalisa lebih lanjut. Dari data percobaan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien tekanan (C_P), koefisien pressure drag (C_{DP}), dan nilai *Strouhal number* (St). Contoh perhitungan dapat dipaparkan sebagai berikut.

4.1.1 Perhitungan Kecepatan Freestream

- **massa jenis udara (ρ)**

Dari persamaan Boyle – Gay Lussac mengenai pemuaian gas didapatkan bahwa :

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2}$$

(4.1)

karena $V = \frac{m}{\rho}$, maka persamaan 4.1 berubah menjadi

$$\frac{p_1 \times m_1}{T_1 \times \rho_1} = \frac{p_2 \times m_2}{T_2 \times \rho_2}$$

dimana:

m_1 = massa udara pada keadaan standar (acuan)
m_2 = massa udara pada saat pengujian
P_1 = tekanan absolut udara pada saat keadaan standar (101325 N/m^2)
P_2 = tekanan absolut udara pada saat pengujian

T_1 = temperatur udara standar = 288,2 K
T_2 = temperatur ruangan kerja = 27° C = 300º K
(diasumsikan konstan selama pengujian berlangsung)
ρ_1 = massa jenis udara pada saat keadaan standar (1,225 kg/m^3)
ρ_2 = massa jenis udara pada saat pengujian

Bila keadaan standar dan keadaan pengujian berada pada ketinggian yang sama, maka :

$$P_1 = P_2$$

Dan karena massa udara pada keadaan standar dan pada keadaan pengujian itu sama, maka :

$$m_1 = m_2$$

Dari batasan tersebut, maka persamaannya menjadi:

$$\rho_2 = \frac{T_1 \times \rho_1}{T_2}$$

$$\rho_2 = \frac{288{,}2K \times 1{,}225 \frac{kg}{m^3}}{300K} = 1.17681 \frac{kg}{m^3}$$

❖ **viskositas absolut udara (μ)**

Untuk perhitungan viskositas absolut udara digunakan persamaan Sutherland, yaitu :

$$\mu_2 = \frac{b \times (T_2)^{0,5}}{1 + \frac{S}{T_2}} \qquad (4.2)$$

dimana:

b = 1,458 x 10-6 Kg/m.s.K^{0,5}

S = 110,4 K

sehingga:

$$\mu_2 = \frac{1{,}458 \times 10^{-6} \frac{kg}{m.s.K^{0,5}} \times (300K)^{0,5}}{1 + \frac{110{,}4K}{300K}} = 1.846 \times 10^{-5} \frac{kg}{m.s}$$

❖ **kecepatan freestream**

Berikut merupakan persamaan untuk mendapatkan kecepatan freestream :

$$Re = \frac{\rho \; x \; v \; x \; D}{\mu} \qquad (4.3)$$

Keterangan :
Re = bilangan Reynolds
ρ = massa jenis udara ($\frac{kg}{m^3}$)
V = kecepatan udara *freestream* (m/s)
D = diameter silinder utama (m)
μ = viskositas absolut ($\frac{kg}{m.s}$)

Persamaan Bernoulli

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + g.z = konstan \qquad (4.4)$$

$$\frac{P_0}{\rho} + \cancelto{0}{\frac{V_0^2}{2}} + \cancel{g.z_0} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + \cancel{g.z_1} \quad (4.5)$$

Z0=z1

$$P_0 - P_1 = \frac{1}{2}\rho . v^2 \quad (4.6)$$

$$v_{upstream} = \sqrt{\frac{2\,(P_0 - P_1)}{\rho_{udara\ upstream}}} \quad (4.7)$$

Dengan mengatur kecepatan blower (Rpm) maka nilai Δh pada manometer yang disambungkan dengan *pitot static tube* pada daerah *test suction windtunel* hingga didapatkan *Reynolds number* sebesar 5,3 x 10^4

Dari *pitot static tube* didapatkan persamaan Bernoulli sebagai berikut :

$$P_0 + \rho_{udara} . g . h_0 - \rho_{oil} . g . \Delta h - \rho_{udara} . g . h_1 = P_1 \quad (4.8)$$

$$P_0 - P_1 = -\cancelto{0}{\rho_{udara} . g . h_0} + \rho_{oil} . g . \Delta h + \cancelto{0}{\rho_{udara} . g . h_1} \quad (4.9)$$

$$\boxed{P_0 - P_1 = \rho_{oil} . g . \Delta h} \quad (4.10)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (4.10) ke persamaan (4.7) sehingga didapat persamaan sebagai berikut :

$$v_{upstream} = \sqrt{\frac{2\,(\rho_{oil} . g . \Delta h)}{\rho_{udara\ upstream}}} \quad (4.11)$$

4.2 Contoh Perhitungan Cp

4.2.1 Perhitungan Koefisien Tekanan (Cp)

Sebagai contoh perhitungan koefisien tekanan (*Cp*) , maka digunakanlah data-data yang ada pada silinder sirkular bepenggangu segitiga sama sisi yang diputar 210º pada S/D 0,9 dengan *Reynolds number* sebesar $5{,}3 \times 10^4$, yaitu sebagai berikut:

Cairan pengisi manometer adalah Red Oil dengan SG = 0,82

Massa jenis air (ρ)

= 999 kg/m^3

Massa jenis udara (saat T = 300K)

= 1.1768 kg/m^3

Percepatan gravitasi (g)

= 9,81 m/s^2

Pembacaan perbedaan ketinggian manometer udara *free stream* Δh = -36.7523 mm

Pembacaan perbedaan ketinggian manometer udara *kontur* Δh

= -32.2561 mm

Kecepatan *free stream*

= 13,88 *m/s*

❖ Menghitung tekanan statik *free stream* dalam *Pa*

Untuk menghitung tekanan statis pada *free stream*, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Psf = \frac{SGredoil \times \rho H_2O \times g \times 2 \times \Delta h}{1000} \quad (4.12)$$

$$Psf = \frac{0{,}804 \times 999 \frac{Kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 2 \times (\text{-}36.7523 mm)}{1000 \frac{mm}{m}}$$

$$= \text{-}289.5844\ Pa$$

❖ Menghitung tekanan dinamik *free stream* dalam Pa

Untuk menghitung tekanan statis pada kontur, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_d = p_0 - p_S = \frac{1}{2}\rho U_\infty{}^2 \qquad (4.13)$$

$$P_d = \frac{1}{2}\rho U_\infty{}^2$$

$$P_d = \frac{1}{2} \times 1{,}1768 \frac{Kg}{m^3} \times (13{,}88 \frac{m}{s^2})^2 = 113.357\ Pa$$

❖ Menghitung tekanan statik kontur dalam *Pa*

Untuk menghitung tekanan statis pada kontur, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Psk = \frac{SGredoil \times \rho H_2O \times g \times 2 \times \Delta h}{1000} \qquad (4.14)$$

$$Psk = \frac{0{,}804 \times 999 \frac{Kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 2 \times (\text{-}32.25611\ mm)}{1000 \frac{mm}{m}}$$

= -254.1572 *Pa*

❖ Menghitung *Pressure Coefficient (Cp)*

Untuk menghitung tekanan statis pada kontur, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_P = \frac{p_{SK} - p_{Sf}}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2} = \frac{p_{SK} - p_{Sf}}{p_d}$$

(4.15)

$$C_P = \frac{p_{SK} - p_{Sf}}{p_d} = \frac{-254.1572\,Pa - (-289.5844\ Pa)}{113.357\,Pa} = 0.3125$$

4.2.2 Perhitungan Koefisien Pressure Drag (CDp)

Sebagai contoh perhitungan koefisien *drag pressure* (C_{DP}), maka digunakanlah perhitungan yang ada pada silinder sirkular dengan pengganggu segitiga sama sisi yang diputar 210 pada *S/D* 0,9 dengan *Reynolds number* sebesar 5,3x10^4.

Secara matematis, koefisien *drag pressure* (C_{DP}), dirumuskan dengan:

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

(4.16)

bila $$I = \int_0^{2\pi} C_p(\theta)cos(\theta)d\theta$$

maka : $$C_{Dp} = \frac{1}{2}I$$

dengan menggunakan metode numerik aturan *Simpson 1/3* segmen berganda yang dirumuskan:

$$I \cong (b-a)\frac{f(x_0)+4\sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i)+2\sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j)+f(x_n)}{3n} \quad (4.17)$$

dimana : a= 0; b = 2π; n = 72

$$f(x_0)=0{,}122807$$

$$4\sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i)=31{,}96344$$

$$2\sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j)=16{,}00477$$

$$f(x_n)=0{,}122807$$

Sehingga

$$C_{Dp}=\frac{1}{2}\left[\frac{2\pi-0}{3\times 72}\{(0.3124)+(19.294)+(8.4259)+(0.3124)\}\right]$$

$$C_{Dp}=0.412051$$

Tabel 4.1. Integrasi C_P silinder sirkular dengan pengganggu segitiga sama sisi diputar 210º (tipe-D) pada *S/D* 0,9 untuk menghitung koefisien pressure *drag*

sudut	Cp	CP (θ).cos(θ).dθ	luas integral		CDp
			4.f(θ)	2.f(θ)	
0	0.1401	0.1401			0.5026

5	0.1524	0.1518	0.6073		
10	0.2509	0.2471		0.4942	
15	0.2755	0.2661	1.0645		
20	0.3371	0.3167		0.6335	
25	0.3371	0.3055	1.2220		
30	0.2878	0.2493		0.4985	
35	0.2755	0.2257	0.9027		
40	0.2632	0.2016		0.4032	
45	-0.0175	-0.0124	-0.0495		
50	-0.2539	-0.1632		-0.3264	
55	-0.5248	-0.3010	-1.2039		
60	-0.7217	-0.3609		-0.7217	
65	-0.9187	-0.3883	-1.5531		
70	-1.1034	-0.3774		-0.7548	
75	-1.2142	-0.3143	-1.2570		
80	-1.3127	-0.2279		-0.4559	
85	-1.2019	-0.1048	-0.4190		
90	-1.1527	0.0000		0.0000	
95	-1.0418	0.0908	0.3632		
100	-0.9926	0.1724		0.3447	
105	-0.8941	0.2314	0.9256		
110	-0.7217	0.2468		0.4937	
115	-0.6109	0.2582	1.0328		
120	-0.5371	0.2685		0.5371	
125	-0.5248	0.3010	1.2039		
130	-0.4878	0.3136		0.6271	
135	-0.4878	0.3449	1.3798		
140	-0.4878	0.3737		0.7474	
145	-0.4878	0.3996	1.5984		

150	-0.4878	0.4225		0.8449	
155	-0.4878	0.4421	1.7685		
160	-0.4878	0.4584		0.9168	
165	-0.4878	0.4712	1.8848		
170	-0.4878	0.4804		0.9608	
175	-0.4878	0.4860	1.9438		
180	-0.4878	0.4878		0.9756	
185	-0.4878	0.4860	1.9438		
190	-0.4878	0.4804		0.9608	
195	-0.4878	0.4712	1.8848		
200	-0.4878	0.4584		0.9168	
205	-0.4878	0.4421	1.7685		
210	-0.4878	0.4225		0.8449	
215	-0.4878	0.3996	1.5984		
220	-0.4878	0.3737		0.7474	
225	-0.4878	0.3449	1.3798		
230	-0.4878	0.3136		0.6271	
235	-0.5248	0.3010	1.2039		
240	-0.5371	0.2685		0.5371	
245	-0.6109	0.2582	1.0328		
250	-0.7217	0.2468		0.4937	
255	-0.8941	0.2314	0.9256		
260	-0.9926	0.1724		0.3447	
265	-1.0418	0.0908	0.3632		
270	-1.1527	0.0000		0.0000	
275	-1.2019	-0.1048	-0.4190		
280	-1.3127	-0.2279		-0.4559	
285	-1.2142	-0.3143	-1.2570		
290	-1.1034	-0.3774		-0.7548	

295	-0.9187	-0.3883	-1.5531		
300	-0.7217	-0.3609		-0.7217	
305	-0.5248	-0.3010	-1.2039		
310	-0.2539	-0.1632		-0.3264	
315	-0.0175	-0.0124	-0.0495		
320	0.2632	0.2016		0.4032	
325	0.2755	0.2257	0.9027		
330	0.2878	0.2493		0.4985	
335	0.3371	0.3055	1.2220		
340	0.3371	0.3167		0.6335	
345	0.2755	0.2661	1.0645		
350	0.2509	0.2471		0.4942	
355	0.1524	0.1518	0.6073		
360	0.1401	0.1401			
		total	22.8292	11.462	

4.3 Analisa Aliran Melintasi Silinder Sirkular Tunggal Untuk Bilangan Reynolds 5,3x10^4

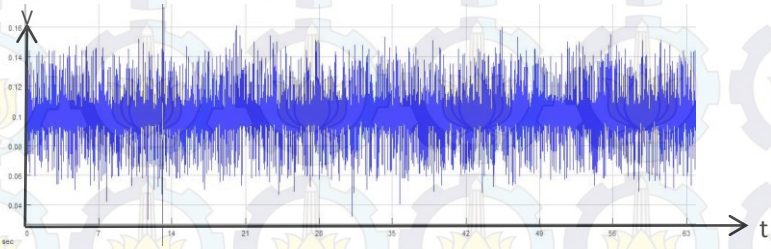
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan kelima jenis penggangu sebagai pengganggu yang divariasikan pada jarak $0,9 \leq S/D \leq 1,15$. Oleh karena itu karakteristik aliran di belakang silinder sirkular tunggal perlu diketahui agar dapat membandingkan pengaruh penambahan penggangu. Silinder sirkular tunggal dialiri dengan aliran pada *Reynolds Number* konstan sebesar 5,3 x 10^4.

Karakteristik aliran yang terjadi di belakang silinder sirkular tunggal diamati dengan pendekatan *Strouhal Number* dengan menggunakan *hot wire anemometer* yang ditempatkan pada jarak x/D = 3 dan y/D = 1. Penempatan HWA pada posisi ini diprediksi dapat menangkap adanya *vortex shedding* yang terjadi di belakang silinder sirkular tunggal saat dialiri aliran. Karakteristik

aliran yang terjadi di belakang silinder sirkular tunggal juga diamati melalui profil kecepatan diukur dengan *pitot-static tube* hanya saja pengukur tekanananya menggunakan *Pressure tranducer* yang ditempatkan pada jarak x/D = 4, dimana x adalah jarak titik pusat silinder sirkular dan D merupakan diameter silinder sirkular. Selain itu karakteristik aliran yang melewati silinder sirkular tunggal juga diamati melalui distribusi tekanan di sepanjang kontur silinder yang diukur menggunakan manometer.

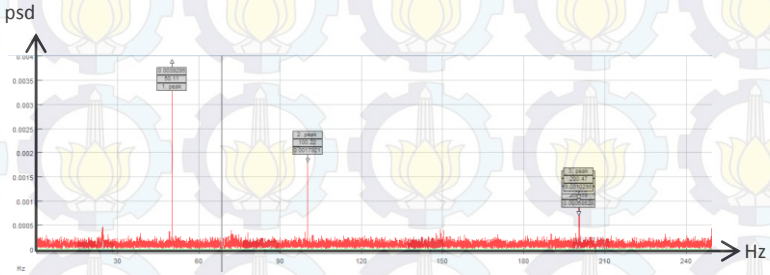
4.3.1 Frekuensi Vortex Shedding dan Bilangan Strouhal Silinder Sirkular Tunggal

Pengukuran frekuensi *vortex shedding* guna mendapatkan bilangan Strouhal dilakukan dengan menggunakan hot wire anemometer. Hal ini disebabkan pengukuran menggunakan pitot static tube tidak dimungkinkan karena sensibilitasnya relatif rendah, sehingga sulit mendeteksi perubahan kecepatan akibat *vortex* yang banyak. Frekuensi *vortex shedding* muncul ketika vortex melintasi *probe hot wire anemometer* yang ditempatkan pada posisi yang dapat menangkap adanya vortex shedding tersebut. Vortex shedding merupakan aliran tidak stabil yang terjadi sesuai dengan ukuran dangan geometri benda. Dalam aliran ini pusaran diciptakan pada belakang benda dan berisolasi dari kedua bagian benda (*upperside* dan *lowerside*). Frekuensi pengambilan data pada penelitian ini adalah 500 sampel perdetik atau 500 Hz. Signal keluaran dari *hot wire anemometer* berupa tegangan fungsi waktu.



Gambar 4.1. Signal tegangan fungsi waktu pada silinder tunggal.

Pada gambar 4.1 signal keluaran dari *hot wire anemometer* masih dalam domain waktu. Untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding* diperlukan pengolahan sinyal dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Pengolahan sinyal dengan metode FFT ini dibantu menggunakan software Sig.View versi 2.6.1 untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding*.



Gambar 4.2. Signal frekuensi silinder sirkular tunggal

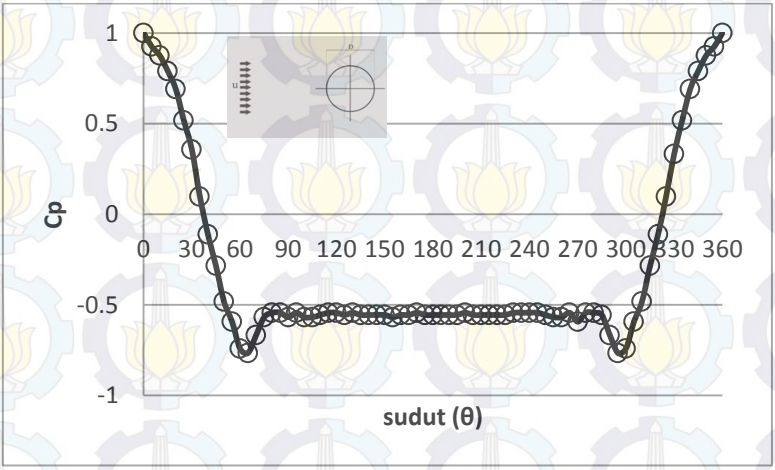
Pada gambar 4.2 besarnya frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada silinder sirkular tunggal dapat dilihat pada titik maksimum *PSD*. Besarnya frekuensi *vortex shedding* yang terjadi adalah sebesar 50.11 Hz sehingga bilangan Strouhal pada silinder sirkular tunggal sebesar 0,218.

4.3.2 Distribusi Tekanan (C_P) pada Silinder Sirkular Tunggal

Pada silinder tunggal tanpa pengganggu memiliki distribusi tekanan pada kontur silinder sirkular ditunjukkan dengan grafik koefisien tekanan (C_P) yang merupakan perbandingan antara selisih tekanan statis kontur dan tekanan statis freestream dengan tekanan dinamis.

Gambar 4.3 merupakan grafik C_p sebagai fungsi sudut pada silinder sirkular tunggal. Dari grafik tersebut dapat dianalisis aliran yang melewati silinder sirkular tunggal. Pada sudut kontur 0^0 dan 360^0 merupakan titik stagnasi dimana aliran diperlambat hingga berhenti tanpa melalui proses gesekkan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai C_p benilai mendekati sama dengan 1 (C_p

≈ 1). Selanjutnya aliran mengalami peningkatan kecepatan seiring dengan penurunan grafik C_p. Tekanan minimum dan kecepatan maksimum yang melewati silinder sirkular terjadi pada sudut kontur 65^0 dan 295^0.



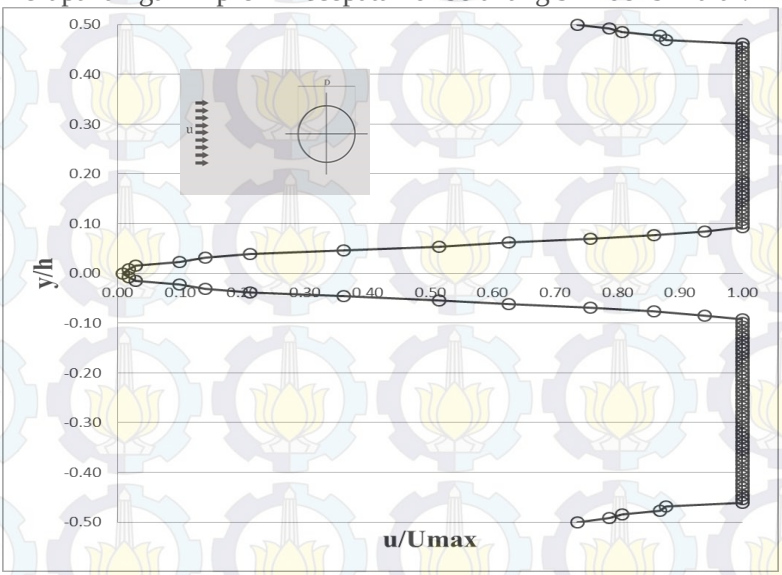
Gambar 4.3. Distribusi tekanan (C_P) pada silinder tunggal sebagai fungsi dari sudut (θ)0

Pada gambar 4.3 dapat dilihat pada sudut kontur 0º- 74º aliran mengalami peningkatan tekanan dan perlambatan sampai pada akhirnya aliran sudah tidak mampu lagi menahan gaya gesek dan *adverse pressure*. Hal ini menyebabkan aliran terseparasi. Separasi terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan.

4.3.3 Profil Kecepatan pada Silinder Sirkular Tunggal

Profil kecepatan dibelakang silinder sirkular diukur menggunakan *pitot static tube*. Dimana nilai kecepatan yang terukur disetiap titik oleh *pitot static tube* dibandingkan dengan nilai kecepatan makasimal (u/Umax) yang terukur. Pada grafik profil kecepatan ini, nilai kecepatan tersebut merupakan fungsi

dari y/h, dimana y merupakan posisi pengukuran pada rentang 32,5 cm sampai dengan -32,5 cm dengan kenaikan setiap 0,5 cm dan h merupakan lebar *test section windtunel*. Gambar 4.4 merupakan garfik profil kecepatan di belakang silinder sirkular.



Gambar 4.4. Grafik profil kecepatan dibelakang silinder sirkular

Dari hasil pengukuran profil kecepatan di belakang silinder sirkular tunggal dapat diketahui lebar *wake* yang terjadi. Lebar *wake* ini dapat merepresentasikan besarnya gaya drag yang terjadi dibelakang silinder sirkular tunggal. Semakin lebar daerah *wake* maka mengindikasikan semakin besar pula gaya drag yang terjadi. Pada silinder tunggal ini besarnya *coefficient pressure drag* (C_{Dp}) yang terjadi sebesar 1,00.

4.4 Analisis Aliran Melintasi Silinder Sirkular Berpenggagngu dengan Bilangan Reynolds 5,3 x 10^4

Pada bab ini sebelum diketahui ada tidaknya pengaruh dinding terhadap karakteristik aliran pada silinder sirkular,

dilakukan analisa karakteristik aliran melintasi lima jenis tipe pengganggu yang disusun didepan silinder tunggal dengan variasi jarak S/D yang terletak di tengah *test section* pada *windtunnel*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan pengganggu tipe A, tipe B, tipe C, tipe D, dan tipe E yang divariasikan pada jarak $0,9 \leq S/D \leq 1,15$, dimana tipe A adalah pengganggu kotak 0^0, tipe B adalah pengganggu kotak 45^0, tipe C adalah pengganggu segitiga 30^0, tipe D adalah pengganggu segitiga 210^0, dan tipe E adalah pengganggu silinder sirkular.

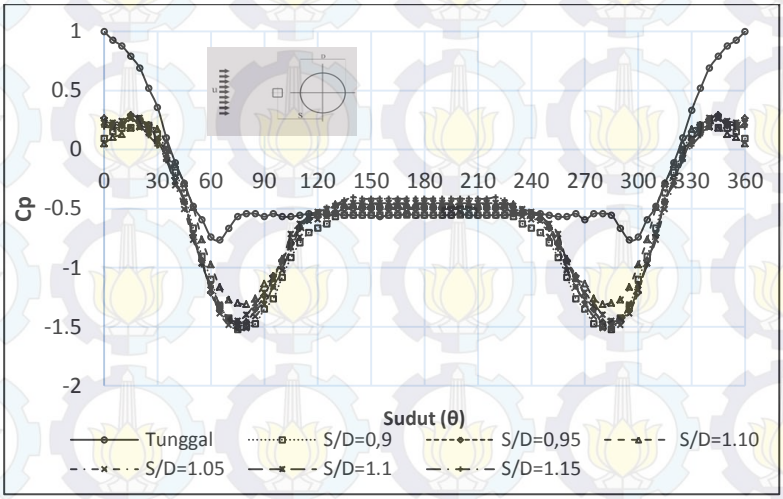
4.4.1 Analisa Distribusi Tekanan (C_P) Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu

4.4.1.1 Analisa Distribusi Tekanan (C_P) Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu Tipe-A (Kotak 0º) dengan S/D 0,9-1,15

Distribusi tekanan pada silinder berpengganggu tipe-A (kotak 0º) ditunjukkan dengan grafik koefisien tekanan (C_P) yang merupakan perbandingan antara selisih tekanan statis kontur dan tekanan statis freestream dengan tekanan dinamis.

Pada gambar 4.5 merupakan grafik Cp sebagai fungsi sudut pada silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-A dengan bilangan Reynolds $5,3x10^4$. Dari grafik tersebut dapat dianalisa aliran yang melewati silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-A. Titik tekanan minimum terlihat lebih rendah jika dibandingkan dengan kontur tekanan pada silinder tunggal. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan silinder pengganggu tipe-A yang disusun didepan silinder sirkular menyebabkan adanya daerah *wake* di depan silinder sirkular. Sehingga *boundary layer* silinder sirkular terganggu dan mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen. Oleh karena itu momentum aliran di dekat dinding kontur silinder sirkular menjadi lebih besar dan akibatnya aliran lebih dapat menahan *adverse pressure gradient* serta gaya gesek yang terjadi

sehingga titik separasi mundur ke belakang dan daerah *wake* menyempit.



Gambar 4.5. Distribusi tekanan silinder sirkuler berpenggangu tipe-A pada S/D 0,9-1,15

Dengan adanya penambahan pengganggu menyebabkan shear layer silinder pengganggu tipe-A memberikan gangguan terhadap boundary layer silinder sirkular. Pada daerah *upperside* dan *lowerside* silinder sirkular, shear layer akan bercabang menjadi dua. Shear layer yang menuju depan disebut forward shear layer dan yang menelusuri kontur silinder disebut backward shear layer. Pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan dilihat dari gambar 4.5 pada jarak S/D 0,9 sudut kontur 0^0 sampai 20^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 340^0. Pada jarak S/D 0,95 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 20^0. Pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai

340^0. Pada jarak S/D 1,0 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0. Pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Jarak S/D 1,05 bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 20^0. Pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 340^0. Jarak S/D 1,10 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 15^0. Pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 345^0. Jarak S/D 1,15 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 15^0. Pada bagian *lowerside, forward shear laye*r mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 345^0.

Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi fenomena cavity mode, dimana pada penelitian **Lee Sang Joon,dkk (2004)** fenomena cavity mode terjadi ketika nilai C_P kurang dari satu pada sudut kontur silinder sirkular sama dengan 0^0 ($\theta = 0^0$) dan penelitian **Tsutsui dan Igarashi (2002)** menyebutnya sebagai quasi-static vortex *(pattern B)*.

Selanjutnya pada S/D 0,9 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 0,95 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 80^0 dan 280^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 130^0 sampai 230^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,0 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 130^0 sampai 230^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D

1,05 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,1 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 30^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,15 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 145^0 sampai 215^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan.

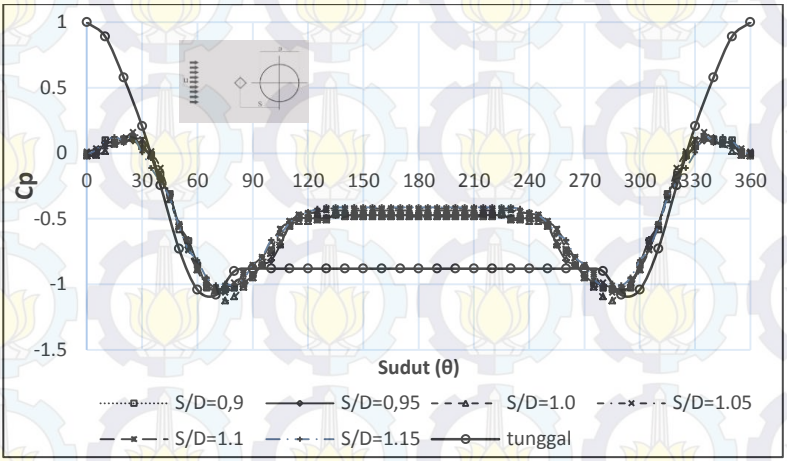
Penyebab terseparasi aliran pada kontur permukaan silinder adalah momentum aliran yang sudah tidak mampu menahan gaya gesek dan *adverse pressure gradient*.

4.4.1.2 Analisa Distribusi Tekanan (C_P) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe-B (Kotak 45º) dengan S/D 0,9-1,15

Distribusi tekanan pada silinder berpengganggu tipe-B (kotak 45º) ditunjukkan dengan grafik koefisien tekanan (C_P) yang merupakan perbandingan antara selisih tekanan statis kontur dan tekanan statis *freestream* dengan tekanan dinamis.

Pada gambar 4.6 merupakan grafik C_P sebagai fungsi sudut pada silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-B dengan bilangan Reynolds $5{,}3x10^4$. Dari grafik tersebut dapat dianalisa aliran yang melewati silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-B. Titik tekanan minimum terlihat lebih rendah jika dibandingkan dengan kontur tekanan pada silinder tunggal. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan silinder pengganggu tipe-B yang disusun didepan silinder sirkular menyababkan adanya daerah *wake* di depan silinder sirkular. Sehingga boundary layer silinder sirkular terganggu dan

mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen. Oleh karena itu momentum aliran di dekat dinding kontur silinder sirkular menjadi lebih besar dan akibatnya aliran lebih dapat menahan *adverse pressure gradient* serta gaya gesek yang terjadi sehingga titik separasi mundur ke belakang dan daerah *wake* menyempit.



Gambar 4.6. Distribusi tekanan silinder sirkuler berpenggangu tipe-B pada S/D 0,9-1,15

Dengan adanya penambahan pengganggu menyebabkan shear layer silinder pengganggu tipe-B memberikan gangguan terhadap boundary layer silinder sirkular. Pada daerah *upperside* dan *lowerside* silinder sirkular, *shear layer* akan terdefleksi menjadi dua arah. Shear layer yang menuju depan disebut *forward shear layer* dan yang menelusuri kontur silinder disebut *backward shear layer*. Pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan dapat dilihat dari gambar 4.6 pada jarak S/D 0,9 dengan sudut kontur 0^0 sampai 30^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 330^0. Jarak S/D 0,95 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami

perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0, kemudian pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 1,0 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0, dan pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 1,05 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0, kemudian pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 1,10 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0, pada bagian lowerside, forward shear layer mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 1,15 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 15^0, pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 345^0.

Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi fenomena *cavity mode*, dimana pada penelitian **Lee Sang Joon,dkk.(2004)** fenomena *cavity mode* terjadi ketika nilai C_P kurang dari satu pada sudut kontur silinder sirkular sama dengan 0^0 ($\theta = 0^0$) dan penelitian **Tsutsui dan Igarashi. (2002)** menyebutnya sebagai *quasi-static vortex (pattern B).*

Selanjutnya pada S/D 0,9 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 0,95 backward shear layer mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,0 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan

kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 140^0 sampai 220^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,05 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,1 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 130^0 sampai 230^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,15 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 130^0 sampai 230^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan.

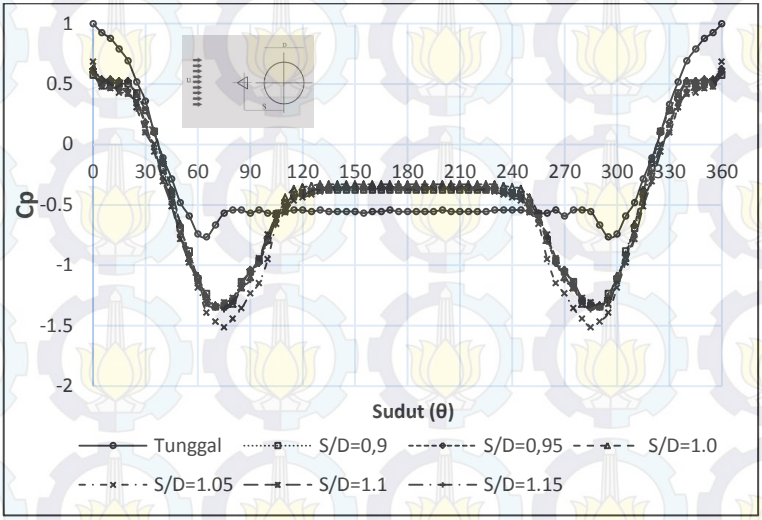
Penyebab terseparasi aliran pada kontur permukaan silinder adalah momentum aliran yang sudah tidak mampu menahan gaya gesek dan *adverse pressure gradient*.

4.4.1.3 Analisa Distribusi Tekanan (C_P) Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu Tipe-C (segitiga 30º) dengan S/D 0,9-1,15

Distribusi tekanan pada silinder berpengganggu tipe-C (segitiga 30º) ditunjukkan dengan grafik koefisien tekanan (C_P) yang merupakan perbandingan antara selisih tekanan statis kontur dan tekanan statis freestream dengan tekanan dinamis.

Pada gambar 4.7 merupakan grafik C_P sebagai fungsi sudut pada silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-C (segitiga 30º) dengan bilangan Reynolds $5{,}3x10^4$. Dari grafik tersebut dapat dianalisa aliran yang melewati silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-C. Titik tekanan minimum terlihat lebih rendah jika dibandingkan dengan kontur tekanan pada silinder tunggal. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan

silinder pengganggu tipe-C yang disusun didepan silinder sirkular menyababkan adanya daerah *wake* di depan silinder sirkular. Sehingga *boundary layer* silinder sirkular terganggu dan mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen. Oleh karena itu momentum aliran di dekat dinding kontur silinder sirkular menjadi lebih besar dan akibatnya aliran lebih dapat menahan *adverse pressure gradien* serta gaya gesek yang terjadi sehingga titik separasi mundur ke belakang dan daerah *wake* menyempit.



Gambar 4.7. Distribusi tekanan silinder sirkuler berpenggangu tipe-C pada S/D 0,9-1,15

Dengan adanya penambahan pengganggu menyebabkan shear layer silinder pengganggu tipe-C memberikan gangguan terhadap boundary layer silinder sirkular. Pada daerah *upperside* dan *lowerside* silinder sirkular, shear layer akan terdefleksi menjadi dua arah. Shear layer yang menuju depan disebut *forward shear layer* dan yang menelusuri kontur silinder disebut backward shear layer. Pada bagian *upperside, forward shear layer*

mengalami perlambatan dilihat dari gambar 4.7 Pada jarak S/D 0,9-1,15 pada bagian upperside, forward shear layer tidak mengalami perlambatan. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* tidak juga mengalami perlambatan.

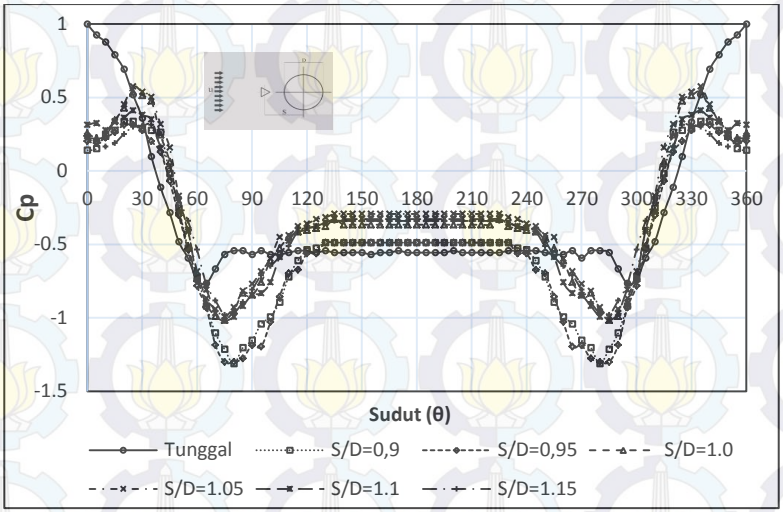
Selanjutnya pada S/D 0,9 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 130^0 sampai 230^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 0,95 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,0 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,05 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,1 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 140^0 sampai 220^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,15 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan.

Penyebab terseparasi aliran pada kontur permukaan silinder adalah momentum aliran yang sudah tidak mampu menahan gaya gesek dan *adverse pressure gradient*.

4.4.1.4 Analisa Distribusi Tekanan (C_P) Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu Tipe-D (segitiga 210º) dengan S/D 0,9-1,15

Distribusi tekanan pada silinder berpengganggu tipe-D (segitiga 210º) ditunjukkan dengan grafik koefisien tekanan (CP) yang merupakan perbandingan antara selisih tekanan statis kontur dan tekanan statis freestream dengan tekanan dinamis.

Pada gambar 4.8 merupakan grafik Cp sebagai fungsi sudut pada silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-D (segitiga 210º) dengan bilangan *Reynolds* $5{,}3x10^4$. Dari grafik tersebut dapat dianalisa aliran yang melewati silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-D. Titik tekanan minimum terlihat lebih rendah jika dibandingkan dengan kontur tekanan pada silinder tunggal. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan silinder pengganggu tipe-D yang disusun didepan silinder sirkular menyababkan adanya daerah *wake* di depan silinder sirkular. Sehingga *boundary layer* silinder sirkular terganggu dan mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen. Oleh karena itu momentum aliran di dekat dinding kontur silinder sirkular menjadi lebih besar dan akibatnya aliran lebih dapat menahan *adverse pressure gradient* serta gaya gesek yang terjadi sehingga titik separasi mundur ke belakang dan daerah *wake* menyempit.



Gambar 4.8. Distribusi tekanan silinder sirkuler berpenggangu tipe-D pada S/D 0,9-1,15

Dengan adanya penambahan pengganggu menyebabkan shear layer silinder pengganggu tipe-D memberikan gangguan terhadap boundary layer silinder sirkular. Pada daerah *upperside* dan *lowerside* silinder sirkular, shear layer akan terdefleksi menjadi dua arah. Shear layer yang menuju depan disebut *forward shear layer* dan yang menelusuri kontur silinder disebut *backward shear layer*. Pada bagian *upperside*, *forward shear layer* mengalami perlambatan dilihat dari gambar 4.8 pada jarak S/D 0,9 sudut kontur 0^0 sampai 25^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan dilihat dari gambar 4.8 pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 0,95 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 1,0 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami percepatan pada sudut 0° - 10° kemudian pada sudut kontur 15^0 sampai 30^0

mengalami perlambatan. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami percepatan pada sudut 360º-350º setelah itu perlambatan pada sudut kontur 345^0 sampai 330^0. Pada jarak S/D 1,05 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami percepatan pada sudut 0º - 5º kemudian pada sudut kontur 10^0 sampai 25^0 mengalami perlambatan. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami percepatan pada sudut 360º-355º setelah itu perlambatan pada sudut kontur 350^0 sampai 355^0. Pada jarak S/D 1,10 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 1,15 pada bagian upperside, forward shear layer layer mengalami percepatan pada sudut 0º - 10º kemudian pada sudut kontur 15^0 sampai 35^0 mengalami perlambatan. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami percepatan pada sudut 360º-350º setelah itu perlambatan pada sudut kontur 345^0 sampai 325^0.

Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi fenomena cavity mode, dimana pada penelitian **Lee Sang Joon,dkk. (2004)** fenomena cavity mode terjadi ketika nilai CP kurang dari satu pada sudut kontur silinder sirkular sama dengan 0^0 ($\theta = 0^0$) dan penelitian **Tsutsui dan Igarashi (2002)** menyebutnya sebagai quasi-static vortex *(pattern B)*.

Selanjutnya pada S/D 0,9 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 80^0 dan 280^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 130^0 sampai 230^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 0,95 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 130^0 sampai 230^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,0 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan

kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,05 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,1 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,15 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan.

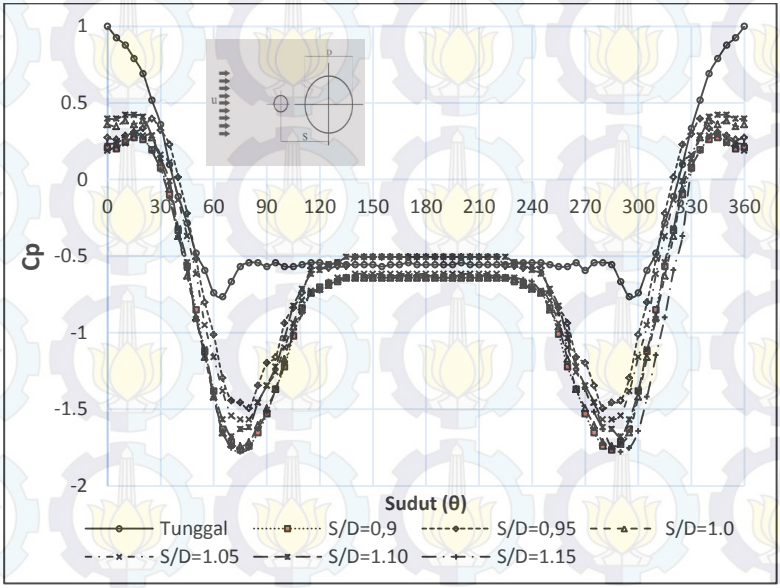
Penyebab terseparasi aliran pada kontur permukaan silinder adalah momentum aliran yang sudah tidak mampu menahan gaya gesek dan *adverse pressure gradient*.

4.4.1.5 Analisa Distribusi Tekanan (C_P) Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu Tipe-E (silinder sirkuler) dengan S/D 0,9-1,15

Distribusi tekanan pada silinder berpengganggu tipe-E (silinder sirkuler) ditunjukkan dengan grafik koefisien tekanan (C_P) yang merupakan perbandingan antara selisih tekanan statis kontur dan tekanan statis *freestream* dengan tekanan dinamis.

Pada gambar 4.9 merupakan grafik C_P sebagai fungsi sudut pada silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-E (silinder sirkuler) dengan bilangan Reynolds $5{,}3x10^4$. Dari grafik tersebut dapat dianalisa aliran yang melewati silinder sirkular dengan diberi penggaggu tipe-E. Titik tekanan minimum terlihat lebih rendah jika dibandingkan dengan kontur tekanan pada silinder tunggal. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan

silinder pengganggu tipe-E yang disusun didepan silinder sirkular menyababkan adanya daerah *wake* di depan silinder sirkular. Sehingga *boundary layer* silinder sirkular terganggu dan mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen. Oleh karena itu momentum aliran di dekat dinding kontur silinder sirkular menjadi lebih besar dan akibatnya aliran lebih dapat menahan adverse pressure gradien serta gaya gesek yang terjadi sehingga titik separasi mundur ke belakang dan daerah *wake* menyempit.



Gambar 4.9. Distribusi tekanan silinder sirkuler berpenggangu tipe-E pada S/D 0,9-1,15

Dengan adanya penambahan pengganggu menyebabkan shear layer silinder pengganggu tipe-E memberikan gangguan terhadap boundary layer silinder sirkular. Pada daerah *upperside* dan *lowerside* silinder sirkular, shear layer akan terdefleksi menjadi dua arah. Shear layer yang menuju depan disebut

forward shear layer dan yang menelusuri kontur silinder disebut *backward shear layer*. Pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan dilihat dari gambar 4.9 pada jarak S/D 0,9 sudut kontur 0^0 sampai 25^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan dilihat dari gambar 4.9 pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 0,95 pada bagian upperside, forward shear layer mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 25^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 335^0. Pada jarak S/D 1,0 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 20^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 340^0. Pada jarak S/D 1,05 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 20^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 340^0. Pada jarak S/D 1,10 pada bagian upperside, forward shear layer mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 15^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 345^0. Pada jarak S/D 1,15 pada bagian *upperside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 0^0 sampai 15^0. Begitu juga pada bagian *lowerside, forward shear layer* mengalami perlambatan pada sudut kontur 360^0 sampai 345^0.

Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi fenomena cavity mode, dimana pada penelitian **Lee Sang Joon,dkk.(2004)** fenomena cavity mode terjadi ketika nilai CP kurang dari satu pada sudut kontur silinder sirkular sama dengan 0^0 ($\theta = 0^0$) dan penelitian **Tsutsui dan Igarashi. (2002)** menyebutnya sebagai quasi-static vortex *(pattern B)*.

Selanjutnya pada S/D 0,9 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 140^0 sampai 220^0

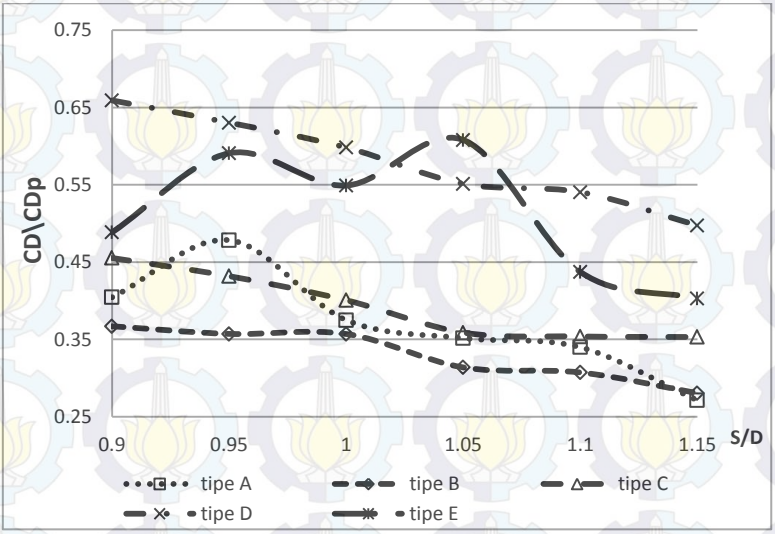
yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 0,95 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 80^0 dan 280^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 140^0 sampai 220^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,0 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,05 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,1 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 70^0 dan 290^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 135^0 sampai 225^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan. Pada S/D 1,15 *backward shear layer* mengalami percepatan sampai pada tekanan minimum dan kecepatan maksimum terjadi pada sudut kontur 75^0 dan 285^0 kemudian separasi terjadi pada sudut kontur 145^0 sampai 215^0 yang ditunjukkan dengan konstannya nilai koefisien tekanan.

Penyebab terseparasi aliran pada kontur permukaan silinder adalah momentum aliran yang sudah tidak mampu menahan gaya gesek dan *adverse pressure gradient*.

4.4.1.6 Analisa Koefisien Drag Pressure (C_{Dp}) Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu dengan S/D 0,9-1,15

Nilai *coeffisient Prssure drag* (C_{Dp}) yang terlihat pada gambar 4.10 merupakan hasil dari integrasi nilai *coeffisient Prssure* (C_P) menggunakan aturan *Simpson 1/3* segmen berganda. Dimana pengganggu yang digunakan adalah tipe A, tipe B, tipe

C, tipe D dan tipe E, dengan variasi S/D = 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1; 1,15 pada Re = 5,3 x 10^4.



Gambar 4.10. Grafik gabungan nilai C_{Dp} / $C_{Dp}0$ silinder berpenggangu dengan S/D 0,9-1,15

Dari pengambilan data penelitian diperoleh adalah nilai koefisien gaya drag akibat tekanan, nilai perbandingan $\frac{CDp}{CDp0}$ <1 hal ini menunjukan bahwa adanya kelima tipe pengggangu mampu menurunkan gaya drag.

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa trendline grafik tiap pengggangu memiliki nilai C_{Dp} dan karakteristik yang berbeda-beda, pada gambar 4.10 terlihat nilai C_{Dp} paling tinggi ada penggangu tipe-D jika dibanding dengan pengganggu tipe-A, B, C, dan E, sedangkan C_{Dp} paling rendah terjadi pada pengganggu tipe-B.

Nilai C_{Dp} /$C_{Dp}0$ pada tipe-A paling rendah adalah 0.271, pada tipe-B nilai C_{Dp} /$C_{Dp}0$ terendah adalah 0,280, pada tipe-C nilai C_{Dp}/$C_{Dp}0$ terendah adalah 0,353, pada tipe-D nilai C_{Dp}/$C_{Dp}0$

terendah adalah 0,497, dan terakhir pada tipe-E nilai C_{Dp} /$C_{Dp}0$ terendah adalah 0,403, sehingga jika diurutkan nilai C_{Dp} dari tertinggi sampai ke terendah yaitu tipe-D; E; C; B; dan A. pada S/D 1,15 tipe-A yang memiliki nilai C_{Dp} /$C_{Dp}0$ paling rendah dibanding dengan pengganggu tipe lain, tetapi secara umum pengganggu tipe-B memiliki nilai C_{Dp} /$C_{Dp}0$ paling rendah hal ini disebabkan pada pengganggu tipe-A daerah *wake* yang dihasilkan oleh pengganggu tipe B juga paling kecil dibandingkan pengganggu tipeA khusus pada S/D 1,15, sehingga *shear layer* yang diakibatkan oleh terseparasinya aliran pada pengganggu tipe A paling tidak efektif dalam mereduksi gaya drag pada silinder utama. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa pembacaan penggangu tipe A kurang teliti, karena selisih nilai C_{Dp} /$C_{Dp}0$ tidak jauh berbeda dengan pengganggu tipe B hanya berbeda 0,09 (sekitar 3,2% dari pengganggu tipe B).

Dari pemaparan diatas dapat disimpulkan bahwa pengganggu tipe-B yang paling efektif mengurai gaya *drag* sebesar 71,95% pada S/D 1,15.

4.4.2 Analisa Strouhal Number (St) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu

4.4.2.1 Analisa Frequensi Vortex Shedding di Belakang Silinder Sirkular dengan

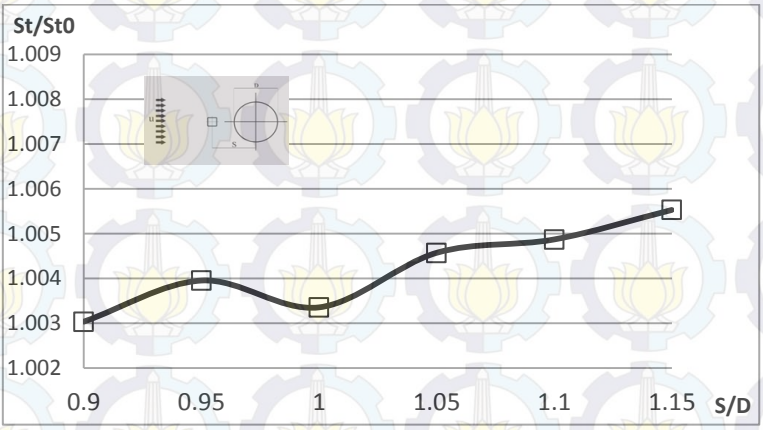
Pengganggu Tipe A

Pengukuran frekuensi vortex shedding guna mendapatkan bilangan Strouhal dilakukan dengan menggunakan hot wire anemometer. Hal ini disebabkan pengukuran menggunakan *pitot static tube* tidak dimungkinkan karena keacakan aliran tidak dapat terbaca. Berikut merupakan data frekuensi dari *hot wire anemometer* pada pengambilan data ketika aliran melintasi silinder sirkular dengan pengganggu tipe-A (kotak 0^0) pada jarak S/D =0,9-1,15 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Pada signal keluaran dari *hot wire anemometer* masih dalam domain

waktu. Untuk mendapatkan frekuensi vortex shedding diperlukan pengolahan sinyal dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Pengolahan sinyal dengan metode FFT ini dibantu menggunakan software Sig.View versi 2.2.1 untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding*.

Tabel 4.2. Nilai *Strouhal Number* melintasi silinder berpengganggu tipe-A

S/D	Data. Frek (Hz)	St.Numb	Tunggal	St/Sto
0.9	50.262	0.217271	0.216614	1.003033
0.95	50.308	0.21747	0.216614	1.003951
1	50.278	0.21734	0.216614	1.003353
1.05	50.339	0.217604	0.216614	1.00457
1.1	50.354	0.217669	0.216614	1.004869
1.15	50.387	0.217811	0.216614	1.005528



Gambar 4.11. Grafik nilai Strouhal Number berpengganggu tipe-A

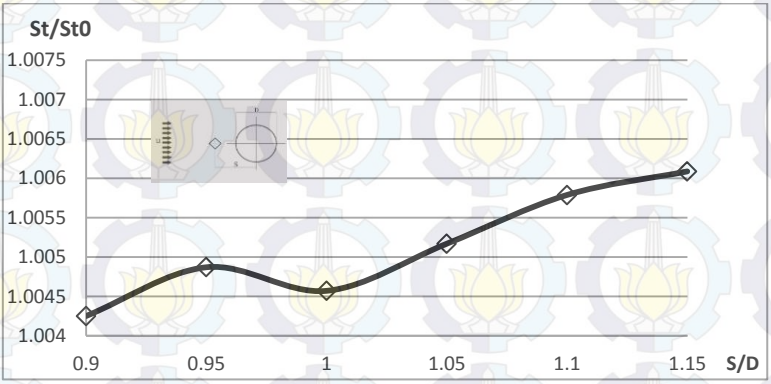
Pada gambar 4.11 terlihat trenline grafik terus mengalami kenaikan dari jarak S/D 0,9 samapai S/D 1,15, tetapi pada jarak S/D 1,0 mengalami penurunan tetapi setelah itu grafik naik terus. Nilai terendah terletak pada jark S/D 0,9 dengan *Strouhal number* sebesar 0,2173 dan paling tinggi pada jarak S/D 1,15 dengan *Strouhal Number* sebesar 0,2178. Pada trenline grafik diatas nilai $\frac{St}{St0} > 1$ dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai *Strouhal Number* dengan pengganggu lebih tinggi dibanding tanpa penggangu, sehingga efek adanya pengganggu menyebabkan nilai *Strouhal Number* lebih tinggi akibatnya pada daerah *wake* akan menyempit dan mempercepat terjadinya *vortex shedding* dibelakang silinder. *Strouhal Number* yang semakin besar sebanding dengan nilai koefisien *drag pressure* yang juga semakin kecil, jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengganggu lebih efektif memperkecil gaya *drag* jika dibanding tanpa adanya penggangu.

4.4.2.2 Analisa Frequensi Vortex Shedding di Belakang Silinder Sirkular dengan Pengganggu Tipe B

Pengukuran frekuensi *vortex shedding* guna mendapatkan bilangan *Strouhal* dilakukan dengan menggunakan *hot wire anemometer*. Hal ini disebabkan pengukuran menggunakan *pitot static tube* tidak dimungkinkan karena keacakan aliran tidak dapat terbaca. Berikut merupakan data frekuensi dari *hot wire anemometer* pada pengambilan data ketika aliran melintasi silinder sirkular dengan pengganggu tipe-B (kotak 45^0) pada jarak S/D =0,9-1,15 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Pada signal keluaran dari hot wire anemometer masih dalam domain waktu. Untuk mendapatkan frekuensi vortex shedding diperlukan pengolahan sinyal dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Pengolahan sinyal dengan metode FFT ini dibantu menggunakan software Sig.View versi 2.2.1 untuk mendapatkan frekuensi vortex shedding.

Tabel 4.3. Nilai *Strouhal Number* melintasi silinder berpengganggu tipe-B

S/D	Data.Frek (Hz)	St.Numb	tunggal	St/St0
0.9	50.323	0.217535	0.216614	1.004251
0.95	50.354	0.217669	0.216614	1.004869
1	50.339	0.217604	0.216614	1.00457
1.05	50.369	0.217733	0.216614	1.005169
1.1	50.4	0.217867	0.216614	1.005787
1.15	50.415	0.217932	0.216614	1.006087



Gambar 4.12. Grafik nilai Strouhal Number berpengganggu tipe-B

Pada gambar 4.12 terlihat trenline grafik terus mengalami kenaikan dari jarak S/D 0,9 samapai S/D 1,15, tetapi pada jarak S/D 1,0 mengalami penurunan tetapi setelah itu grafik naik terus. Nilai terendah terletak pada jark S/D 0,9 dengan *Strouhal number* sebesar 0,2175 dan paling tinggi pada jarak S/D 1,15 dengan *Strouhal Number* sebesar 0,2179. Pada trenline grafik diatas nilai $\frac{St}{St0} > 1$ dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai *Strouhal Number* dengan pengganggu lebih tinggi dibanding tanpa penggangu, sehingga efek adanya pengganggu menyebabkan nilai *Strouhal Number* lebih tinggi akibatnya pada daerah *wake* akan

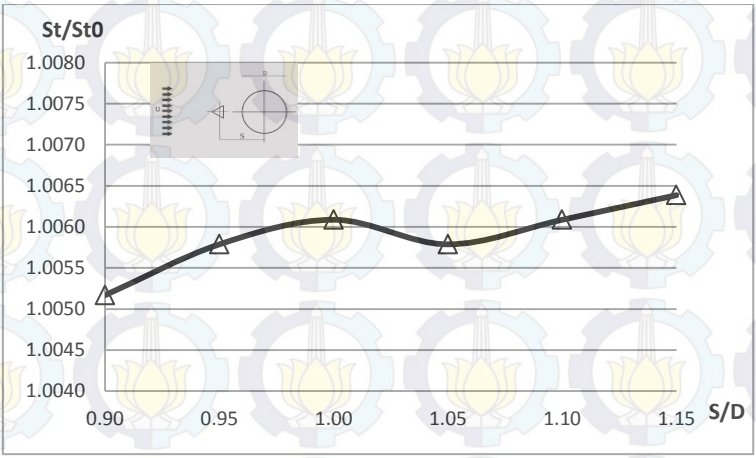
menyempit dan mempercepat terjadinya *vortex shedding* dibelakang silinder. *Strouhal Number* yang semakin besar sebanding dengan nilai koefisien *drag pressure* yang juga semakin kecil, jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengganggu lebih efektif memperkecil gaya *drag* jika dibanding tanpa adanya penggangu.

4.4.2.3 Analisa Frequensi Vortex Shedding di Belakang Silinder Sirkular dengan Pengganggu Tipe C

Pengukuran frekuensi *vortex shedding* guna mendapatkan bilangan *Strouhal* dilakukan dengan menggunakan *hot wire anemometer*. Hal ini disebabkan pengukuran menggunakan *pitot static tube* tidak dimungkinkan karena keacakan aliran tidak dapat terbaca. Berikut merupakan data frekuensi dari *hot wire anemometer* pada pengambilan data ketika aliran melintasi silinder sirkular dengan pengganggu tipe-C (silindr sirkuler) pada jarak S/D =0,9-1,15 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Pada signal keluaran dari *hot wire anemometer* masih dalam domain waktu. Untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding* diperlukan pengolahan sinyal dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Pengolahan sinyal dengan metode FFT ini dibantu menggunakan software Sig.View versi 2.2.1 untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding*.

Tabel 4.4. Nilai *Strouhal Number* melintasi silinder berpengganggu tipe-C

S/D	Data.Frekuensi (Hz)	St.Numb	tunggal	St/St0
0.9	50.369	0.217733	0.216614	1.005169
0.95	50.383	0.217867	0.216614	1.005787
1	50.385	0.217932	0.216614	1.006087
1.05	50.4	0.217867	0.216614	1.005787
1.1	50.415	0.217932	0.216614	1.006087
1.15	50.43	0.217997	0.216614	1.006386



Gambar 4.13. Grafik nilai Strouhal Number berpengganggu tipe-C

Pada gambar 4.13 terlihat trenline grafik terus mengalami kenaikan dari jarak S/D 0,9 sampai S/D 1,15. Nilai terendah terletak pada jark S/D 0,9 dengan *Strouhal number* sebesar 0.2177 dan paling tinggi pada jarak S/D 1,15 dengan *Strouhal Number* sebesar 0,2179. Pada trenline grafik diatas nilai $\frac{St}{St0} > 1$ dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai *Strouhal Number* dengan pengganggu lebih tinggi dibanding tanpa penggangu, sehingga efek adanya pengganggu menyebabkan nilai *Strouhal Number* lebih tinggi akibatnya pada daerah *wake* akan menyempit dan mempercepat terjadinya *vortex shedding* dibelakang silinder. *Strouhal Number* yang semakin besar sebanding dengan nilai koefisien *drag pressure* yang juga semakin kecil, jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengganggu lebih efektif memperkecil gaya *drag* jika dibanding tanpa adanya penggangu.

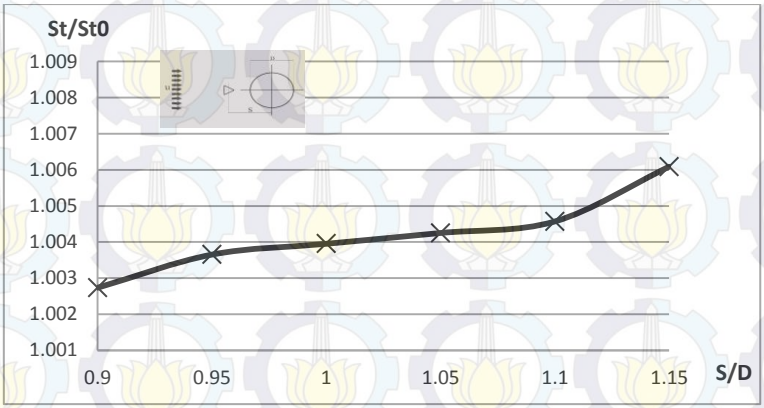
4.4.2.4 Analisa Frequensi Vortex Shedding di Belakang Silinder Sirkular dengan Pengganggu Tipe D

Pengukuran frekuensi *vortex shedding* guna mendapatkan bilangan *Strouhal* dilakukan dengan menggunakan *hot wire anemometer*. Hal ini disebabkan pengukuran menggunakan *pitot*

static tube tidak dimungkinkan karena keacakan aliran tidak dapat terbaca. Berikut merupakan data frekuensi dari *hot wire anemometer* pada pengambilan data ketika aliran melintasi silinder sirkular dengan pengganggu tipe-D (segitiga sama sisi 210º) pada jarak S/D =0,9-1,15 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6. Pada signal keluaran dari hot wire anemometer masih dalam domain waktu. Untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding* diperlukan pengolahan sinyal dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Pengolahan sinyal dengan metode FFT ini dibantu menggunakan software Sig.View versi 2.2.1 untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding*.

Tabel 4.5. Nilai *Strouhal Number* melintasi silinder berpengganggu tipe-D

S/D	Data.Frekuensi (Hz)	St.Numb	tunggal	St/St0
0.9	50.247	0.217206	0.216614	1.002734
0.95	50.293	0.217405	0.216614	1.003652
1	50.308	0.21747	0.216614	1.003951
1.05	50.323	0.217535	0.216614	1.004251
1.1	50.339	0.217604	0.216614	1.00457
1.15	50.415	0.217932	0.216614	1.006087



Gambar 4.14. Grafik nilai Strouhal Number berpengganggu tipe-D

Pada gambar 4.14 terlihat trenline grafik terus mengalami kenaikan dari jarak S/D 0,9 sampai S/D 1,15. Nilai terendah terletak pada jark S/D 0,9 dengan *Strouhal number* sebesar 0,2172 dan paling tinggi pada jarak S/D 1,15 dengan *Strouhal Number* sebesar 0,2179. Pada trenline grafik diatas nilai $\frac{St}{St0} > 1$ dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai *Strouhal Number* dengan pengganggu lebih tinggi dibanding tanpa penggangu, sehingga efek adanya pengganggu menyebabkan nilai *Strouhal Number* lebih tinggi akibatnya pada daerah *wake* akan menyempit dan mempercepat terjadinya *vortex shedding* dibelakang silinder. *Strouhal Number* yang semakin besar sebanding dengan nilai koefisien *drag pressure* yang juga semakin kecil, jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengganggu lebih efektif memperkecil gaya *drag* jika dibanding tanpa adanya penggangu.

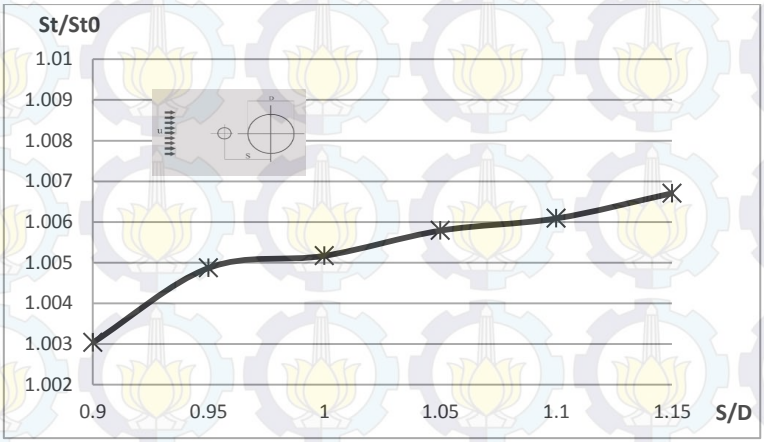
4.4.2.5 Analisa Frequensi Vortex Shedding di Belakang Silinder Sirkular dengan Pengganggu Tipe E

Pengukuran frekuensi *vortex shedding* guna mendapatkan bilangan Strouhal dilakukan dengan menggunakan *hot wire anemometer*. Hal ini disebabkan pengukuran menggunakan *pitot static tube* tidak dimungkinkan karena keacakan aliran tidak dapat

terbaca. Berikut merupakan data frekuensi dari *hot wire anemometer* pada pengambilan data ketika aliran melintasi silinder sirkular dengan pengganggu tipe-E (segitiga sama sisi 30^0) pada jarak S/D =0,9-1,15 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Pada signal keluaran dari *hot wire anemometer* masih dalam domain waktu. Untuk mendapatkan frekuensi vortex shedding diperlukan pengolahan sinyal dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Pengolahan sinyal dengan metode FFT ini dibantu menggunakan software Sig.View versi 2.2.1 untuk mendapatkan frekuensi *vortex shedding*.

Tabel 4.6. Nilai *Strouhal Number* melintasi silinder berpengganggu tipe-E

S/D	Data.Frek (Hz)	St.Num	tunggal	St/St0
0.9	50.262	0.217271	0.216614	1.003033
0.95	50.354	0.217669	0.216614	1.004869
1	50.369	0.217733	0.216614	1.005169
1.05	50.4	0.217867	0.216614	1.005787
1.1	50.415	0.217932	0.216614	1.006087
1.15	50.446	0.218066	0.216614	1.006705



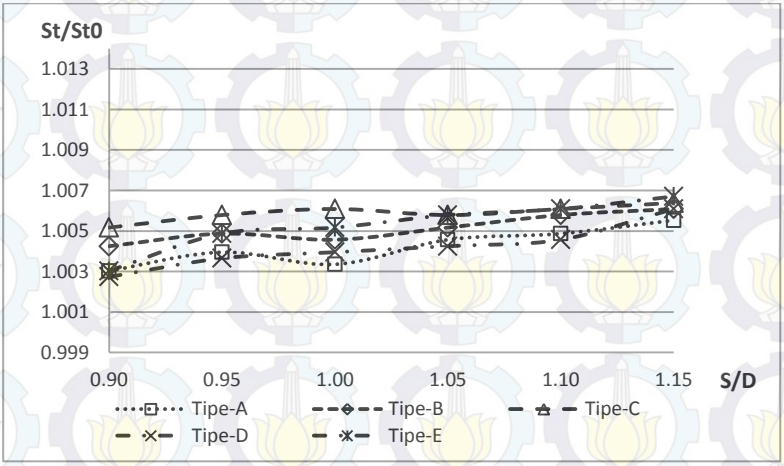
Gambar 4.15. Grafik nilai Strouhal Number berpengganggu tipe-E

Pada gambar 4.15 terlihat trenline grafik terus mengalami kenaikan dari jarak S/D 0,9 sampai S/D 1,15. Nilai terendah terletak pada jark S/D 0,9 dengan *Strouhal number* sebesar 0,217 dan paling tinggi pada jarak S/D 1,15 dengan *Strouhal Number* sebesar 0,218. Pada trenline grafik diatas nilai $\frac{St}{St0} > 1$ dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai *Strouhal Number* dengan pengganggu lebih tinggi dibanding tanpa penggangu, sehingga efek adanya pengganggu menyebabkan nilai *Strouhal Number* lebih tinggi akibatnya pada daerah *wake* akan menyempit dan mempercepat terjadinya *vortex shedding* dibelakang silinder. *Strouhal Number* yang semakin besar sebanding dengan nilai koefisien *drag pressure* yang juga semakin kecil, jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengganggu lebih efektif memperkecil gaya *drag* jika dibanding tanpa adanya penggangu.

4.4.2.6 Nilai *Strouhal Number* di Belakang Silinder Siekular dengan Pengganggu Tipe A hingga Tipe E

Pada subbab sebelumnya telah dibahas tentang frekuensi dan *Strouhal number* dari masing-masing pengganggu. Pada subbab ini akan dibandingkan *Strouhal number* dari setiap

pengganggu. Gambar 4.16 merupakan grafik *Strouhal number* dari pengganggu tipe A hingga tipe E.

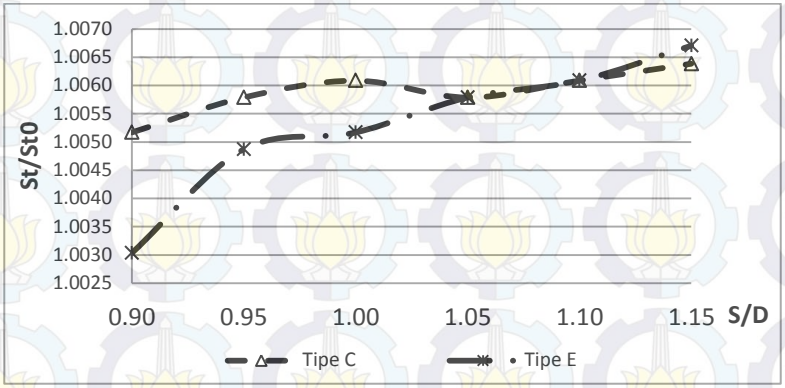


Gambar 4.16 Grafik *Strouhal Number* silinder berpengganggu dibanding *Strouhal Number* silinder tunggal sebagai fungsi jarak (S/D)

Pada gambar 4.16 dapat dibandingkan nilai *Strouhal number* setiap pengganggu. Dimana pada gambar di atas *Strouhal number* silinder berpengganggu dibandingkan dengan silinder tunggal memiliki nilai lebih besar satu. Nilai ini mengindikasikan bahwa pemberian pengganggu tipe A hingga tipe E efektif untuk menurunkan gaya Drag. Selain itu, dari gambar di atas juga dapat diketahui bahwa secara umum *Strouhal number* yang paling tinggi yaitu pada pengganggu tipe C tetapi secara harga, nilai *Strouhal number* pada pengganggu tipe E hampir berhimpit nilainya pada jarak S/D yang sama yaitu 1,15. *Strouhal number* pengganggu tipe C sebesar 0,2179 dan jarak S/D = 1.15 sedangkan pengganggu tipe E sebesar 0,218. Hal ini mengindakasikan bahwa pada saat pengambilan data diduga ada kesalahan pembacaan sehingga data kurang akurat, jadi dapat disimpulkan bahwa pengganggu tipe C yang paling efektif untuk menurunkan gaya drag sebesar.

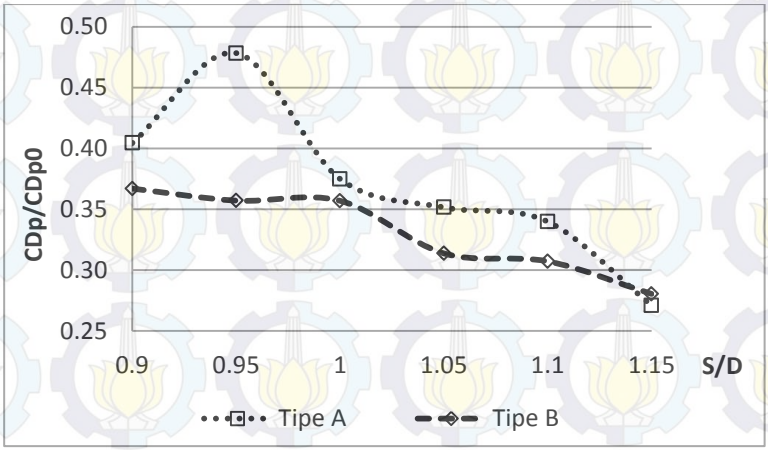
4.4.2.7 Nilai *Strouhal Number* pada Pengganggu Tipe C - Tipe E dan Nilai C_{Dp}/C_{Dp0} di Belakang Silinder Siekular dengan Pengganggu Tipe A - Tipe B (S/D 1,15)

Pada subbab ini akan membahas tentang anomali data yang terjadi pada S/D khususnya S/D 1,15. Dari pembahsan sebelumnya didapat bahwa semakin tinggi nilai Strouhal Number maka nilai C_{Dp} akan semkain turun.



Gambar 4.17. Nilai St/St0 pada pengganggu Tipe C dan Tipe E pada S/D 0,9-1,15

Pada gambar 4.17 terlihat pada pengganggu Tipe E nilai Strouhal paling tinggi pada S/D 1,15 jika disbanding pengganggu tipe C pada S/D 1,15, tetpai secara umum paling tinggi adalah pengganggu tipe C. *Strouhal number* pengganggu tipe C sebesar 0,2179 dan jarak S/D = 1.15 sedangkan pengganggu tipe E sebesar 0,218. Hal ini mengindakasikan bahwa pada saat pengambilan data diduga ada kesalahan pembacaan sehingga data kurang akurat, jadi dapat disimpulkan bahwa pengganggu tipe C yang paling efektif untuk menurunkan gaya drag sebesar.



Gambar 4.18. Nilai C_{Dp}/C_{Dp0} pada pengganggu Tipe A dan Tipe B dengan S/D 0,9-1,15

Pada trenline grafik pada gambar 4.17 dan gambar 4.18 terjadi perbedaan yang signifikan, seharusnya apabila pada nilai Strouhal Number paling tinggi terjadi pada Tipe E pada S/D 1,15 maka nilai C_{Dp} paling rendah harusnya juga terjadi pada pengganggu tipe E, tetapi pada data bahwa mengatakan pengganggu tipe A yang paling kecil nilai $C_{Dp}/C_{Dp0.}$ Hal ini mengindikasikan bahwa nilai C_{Dp}/C_{Dp0} masih belum bisa mempresentasikan bahwa penurunan gaya drag tidak hanya dapat dilihat dari nilai C_{Dp}/C_{Dp0} nya saja tetapi juga harus dilihat faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan gaya drag pada pengontrolan pasif. Selain itu pada saat pengambilan data diduga ada kesalahan pembacaan sehingga data kurang akurat.

Factor factor yang mempengaruhi transisi lapis batas adalah

1. Intensitas turbulensi

2. Kecepatan aliran fluida (nilai Reynolds yang berpengaruh)

3. Penmabahan modifikasi geometri pengganggu

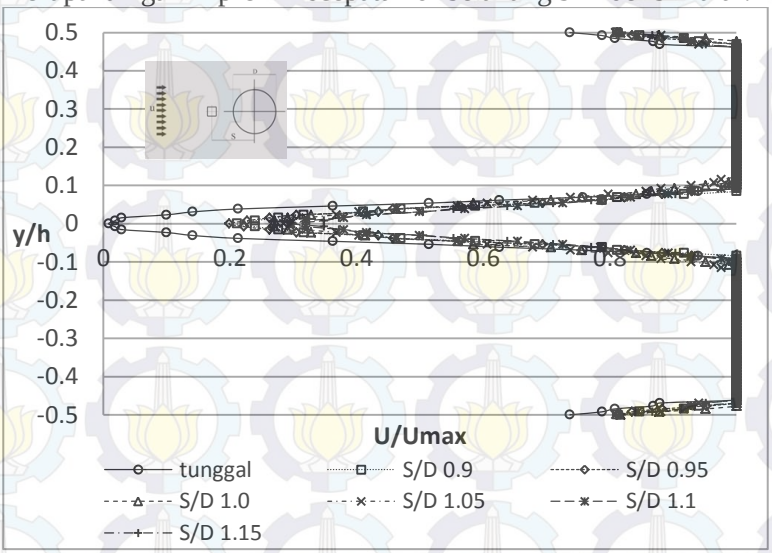
4. Roughness surface silinder (kekasaran permukaan)

5. Blockage effect meningkat akan mempengaruhi lapi batas.

4.4.3 Analisis Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkular Berpengganggu

4.4.3.1 Analisa Profil kecepatan di Belakang Silinder Siekular Berpengganggu Tipe A

Profil kecepatan dibelakang silinder sirkular diukur menggunakan *pitot static tube*. Dimana nilai kecepatan yang terukur disetiap titik oleh *pitot static tube* dibandingkan dengan nilai kecepatan makasimal (u/Umax) yang terukur. Pada grafik profil kecepatan ini, nilai kecepatan tersebut merupakan fungsi dari y/h, dimana y merupakan posisi pengukuran pada rentang 32,5 cm sampai dengan -32,5 cm dengan kenaikan setiap 0,5 cm dan h merupakan lebar *test section windtunel*. Gambar 4.19 merupakan garfik profil kecepatan di belakang silinder sirkular.

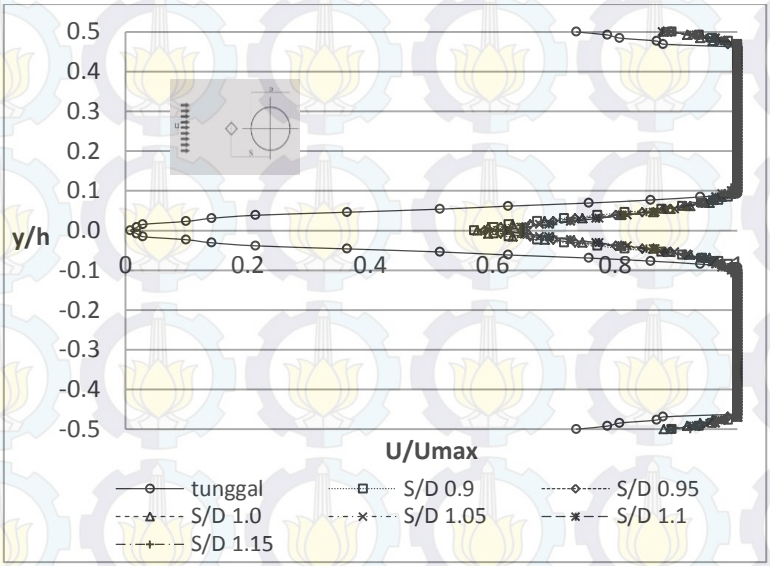


Gambar 4.19. Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe A pada S/D 0,9-1,15

Grafik pada gambar 4.19 menunjukkan dengan adanya pengganggu tipe A pada S/D = 0,9 hingga S/D= 1,15 lebar *wake* menjadi lebih sempit dari pada silinder tunggal. Hal ini disebabkan oleh interferensi silinder pengganggu terhadap aliran yang melewati silinder sirkular sangat berpengaruh. Lebar *wake* tersebut dapat merepresentasikan besarnya gaya drag yang terjadi dibelakang silinder sirkular. Semakin lebar daerah *wake* maka mengindikasikan semakin besar pula gaya drag yang terjadi. Besarnya koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) untuk masing-masing S/D = 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1 dan 1,15 berturut-turut adalah 0.3647, 0.3083, 0.2858, 0.2680, 0.2590, dan 0.2066.

4.4.3.2 Analisa Profil kecepatan di Belakang Silinder Siekular Berpengganggu Tipe B

Profil kecepatan dibelakang silinder sirkular diukur menggunakan *pitot static tube*. Dimana nilai kecepatan yang terukur disetiap titik oleh *pitot static tube* dibandingkan dengan nilai kecepatan makasimal (u/Umax) yang terukur. Pada grafik profil kecepatan ini, nilai kecepatan tersebut merupakan fungsi dari y/h, dimana y merupakan posisi pengukuran pada rentang 32,5 cm sampai dengan -32,5 cm dengan kenaikan setiap 0,5 cm dan h merupakan lebar *test section windtunel*. Gambar 4.20 merupakan garfik profil kecepatan di belakang silinder sirkular.



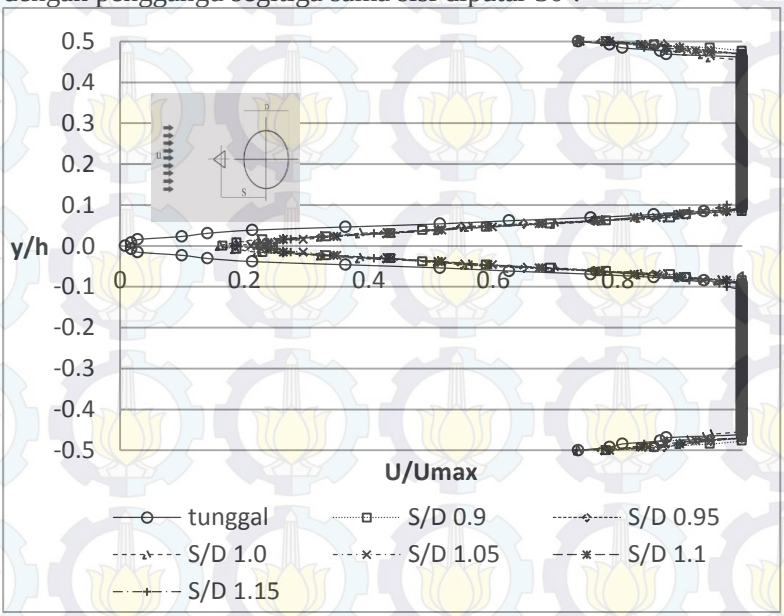
Gambar 4.20 Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe-B pada S/D 0,9-1,15

Grafik pada gambar 4.20 menunjukkan dengan adanya pengganggu tipe B pada S/D = 0,9 hingga S/D= 1,15 lebar *wake* menjadi lebih sempit dari pada silinder tunggal. Hal ini disebabkan oleh interferensi silinder pengganggu terhadap aliran yang melewati silinder sirkular sangat berpengaruh. Lebar *wake* tersebut dapat merepresentasikan besarnya gaya drag yang terjadi dibelakang silinder sirkular. Semakin lebar daerah *wake* maka mengindikasikan semakin besar pula gaya drag yang terjadi. Besarnya koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) untuk masing-masing S/D = 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1 dan 1,15 berturut-turut adalah 0,2991; 0,2722; 0,2721; 0,2440; 0,2342; 0,2138.

4.4.3.3 Analisa Profil kecepatan di Belakang Silinder Siekular Berpengganggu Tipe C

Profil kecepatan dibelakang silinder sirkular diukur menggunakan *pitot static tube*. Dimana nilai kecepatan yang

terukur disetiap titik oleh *pitot static tube* dibandingkan dengan nilai kecepatan makasimal (u/Umax) yang terukur. Pada grafik profil kecepatan ini, nilai kecepatan tersebut merupakan fungsi dari y/h, dimana y merupakan posisi pengukuran pada rentang 32,5 cm sampai dengan -32,5 cm dengan kenaikan setiap 0,5 cm dan h merupakan lebar *test section windtunel*. Gambar 4.21 merupakan garfik profil kecepatan di belakang silinder sirkular dengan penggangu segitiga sama sisi diputar 30º.



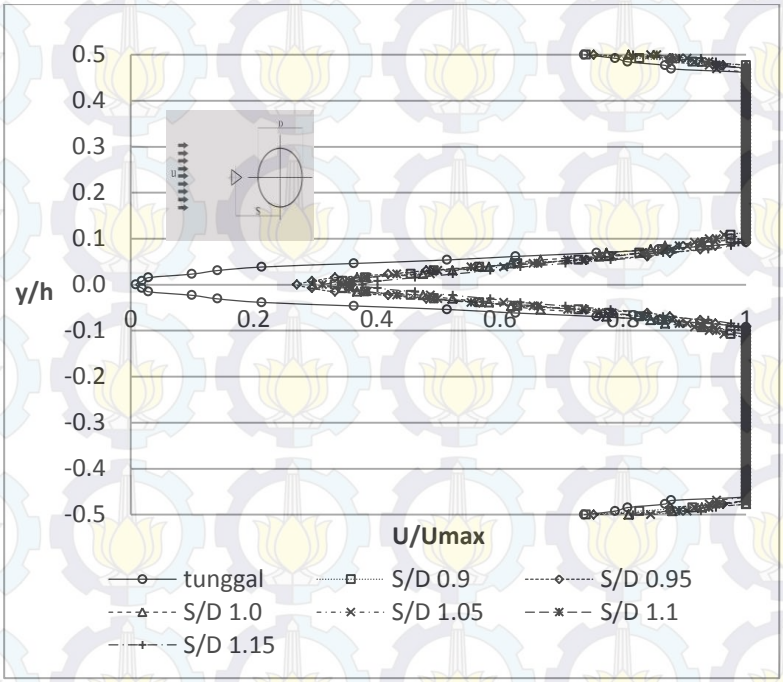
Gambar 4.21. Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe C pada S/D 0,9-1,15

Grafik pada gambar 4.21 menunjukkan dengan adanya pengganggu tipe C pada S/D = 0,9 hingga S/D= 1,15 lebar *wake* menjadi lebih sempit dari pada silinder tunggal. Hal ini disebabkan oleh interferensi silinder pengganggu terhadap aliran yang melewati silinder sirkular sangat berpengaruh. Lebar *wake* tersebut dapat merepresentasikan besarnya gaya drag yang terjadi dibelakang silinder sirkular. Semakin lebar daerah *wake* maka

mengindikasikan semakin besar pula gaya *drag* yang terjadi. Besarnya koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) untuk masing-masing S/D = 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1 dan 1,15 berturut-turut adalah 0,34710; 0,329172; 0,305466; 0,273479; 0,269716; 0,269163.

4.4.3.4 Analisa Profil kecepatan di Belakang Silinder Siekular Berpengganggu Tipe D

Profil kecepatan dibelakang silinder sirkular diukur menggunakan *pitot static tube*. Dimana nilai kecepatan yang terukur disetiap titik oleh *pitot static tube* dibandingkan dengan nilai kecepatan makasimal (u/Umax) yang terukur. Pada grafik profil kecepatan ini, nilai kecepatan tersebut merupakan fungsi dari y/h, dimana y merupakan posisi pengukuran pada rentang 32,5 cm sampai dengan -32,5 cm dengan kenaikan setiap 0,5 cm dan h merupakan lebar *test section windtunel*. Gambar 4.22 merupakan garfik profil kecepatan di belakang silinder sirkular dengan penggangu segitiga sama sisi diputar 210º.

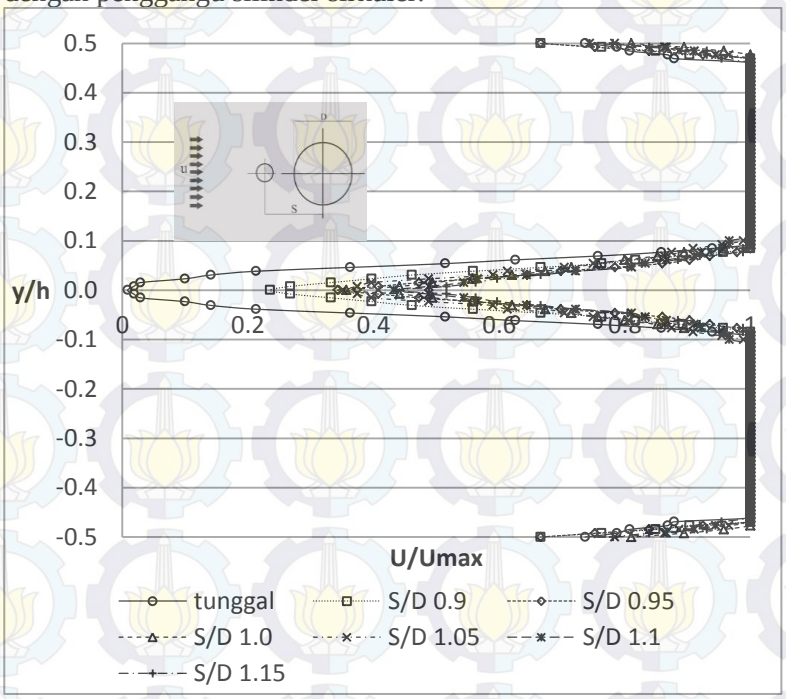


Gambar 4.22. Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe D pada S/D 0,9-1,15

Grafik pada gambar 4.22 menunjukkan dengan adanya pengganggu tipe D pada S/D = 0,9 hingga S/D= 1,15 lebar *wake* menjadi lebih sempit dari pada silinder tunggal. Hal ini disebabkan oleh interferensi silinder pengganggu terhadap aliran yang melewati silinder sirkular sangat berpengaruh. Lebar *wake* tersebut dapat merepresentasikan besarnya gaya drag yang terjadi dibelakang silinder sirkular. Semakin lebar daerah *wake* maka mengindikasikan semakin besar pula gaya drag yang terjadi. Besarnya koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) untuk masing-masing S/D = 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1 dan 1,15 berturut-turut adalah 0,50256; 0,48061; 0,45608; 0,42029; 0,41205; dan 0,37922.

4.4.3.5 Analisa Profil kecepatan di Belakang Silinder Siekular Berpengganggu Tipe E

Profil kecepatan dibelakang silinder sirkular diukur menggunakan *pitot static tube*. Dimana nilai kecepatan yang terukur disetiap titik oleh *pitot static tube* dibandingkan dengan nilai kecepatan makasimal (u/Umax) yang terukur. Pada grafik profil kecepatan ini, nilai kecepatan tersebut merupakan fungsi dari y/h, dimana y merupakan posisi pengukuran pada rentang 32,5 cm sampai dengan -32,5 cm dengan kenaikan setiap 0,5 cm dan h merupakan lebar *test section windtunel*. Gambar 4.23 merupakan garfik profil kecepatan di belakang silinder sirkular dengan penggangu silinder sirkuler.

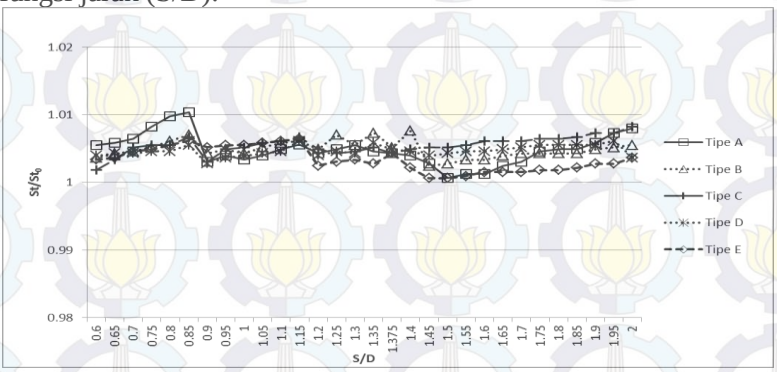


Gambar 4.23. Grafik profil kecepatan dengan pengganggu tipe E pada S/D 0,9-1,15

Grafik pada gambar 4.23 menunjukkan dengan adanya pengganggu tipe E pada S/D = 0,9 hingga S/D= 1,15 lebar *wake* menjadi lebih sempit dari pada silinder tunggal. Hal ini disebabkan oleh interferensi silinder pengganggu terhadap aliran yang melewati silinder sirkular sangat berpengaruh. Lebar *wake* tersebut dapat merepresentasikan besarnya gaya drag yang terjadi dibelakang silinder sirkular. Semakin lebar daerah *wake* maka mengindikasikan semakin besar pula gaya drag yang terjadi. Besarnya koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) untuk masing-masing S/D = 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1 dan 1,15 berturut-turut adalah 0,46352; 0,45043; 0,41858; 0,37236; 0,33334; dan 0,30718.

4.5 Analisa Bilangan *Strouhal Number* Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe A Sampai Tipe E dengan S/D 0,6-2,0

Pada subbab sebelumnya telah dibahas tentang frekuensi dan *Strouhal number* pengganggu tipe A hingga tipe E dengan jarak S/D = 1.2 hingga S/D = 1.4. Pada subbab ini akan dibandingkan *Strouhal number* pengganggu tipe A hingga tipe E dengan jarak S/D = 0.6 hingga S/D = 2. Gambar 4.22 merupakan grafik *Strouhal number* dari pengganggu tipe A hingga tipe E fungsi jarak (S/D).



Gambar 4.24 Grafik bilangan *Strouhal* silinder berpengganggu dibanding *Strouhal Number* silinder tunggal sebagai fungsi jarak (S/D)

Pada trenline grafik diatas nilai $\frac{St}{St0} > 1$ dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai *Strouhal Number* dengan pengganggu lebih tinggi dibanding tanpa penggangu, sehingga efek adanya pengganggu menyebabkan nilai *Strouhal Number* lebih tinggi akibatnya pada daerah *wake* akan menyempit dan mempercepat terjadinya *vortex shedding* dibelakang silinder. *Strouhal Number* yang semakin besar sebanding dengan nilai koefisien *drag pressure* yang juga semakin kecil, jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengganggu lebih efektif memperkecil gaya *drag* jika dibanding tanpa adanya penggangu. Pada gambar 4.24 dapat dibandingkan nilai *Strouhal number* sitiap pengganngu. Dimana pada gambar di atas *Strahal number* silinder berpengganggu dibandingkan dengan silinder tunggal memiliki nilai lebih besar satu. Nilai ini mengindikasikan bahwa pemberian pengganggu tipe A hingga tipe E efektif untuk menurunkan gaya *drag*. Selain itu, dari gambar di atas juga dapat diketahui *Strouhal number* yang paling tinggi yaitu pada pengganggu tipe A dengan St/St0 = 1.01 dan jarak S/D = 0.85. Hal ini mengindakasikan bahwa silinder Tipe A pada jarak S/D 0.85 paling efektif dalam menurunkan gaya *drag*.

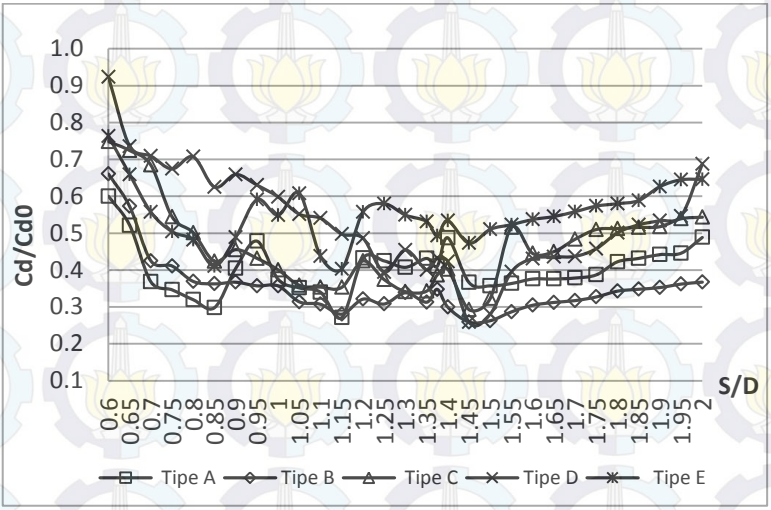
4.6 Analisa Koefisien Drag Pressure (C_{Dp}) Melintasi Silinder Sirkuler Berpengganggu Tipe A Sampai Tipe E dengan S/D 0,6-2,0

Nilai *coeffisient Prssure drag* (C_{Dp}) yang terlihat pada gambar 4.25 merupakan hasil dari integrasi nilai *coeffisient Prssure* (C_P) menggunakan aturan *Simpson 1/3* segmen berganda. Dimana pengganggu yang digunakan adalah tipe A, tipe B, tipe C, tipe D dan tipe E, dengan variasi S/D = 0,6 - 2,0 pada Re = 5,3 x 10^4.

Dari pengambilan data penelitian diperoleh adalah nilai koefisien gaya drag akibat tekanan, nilai perbandingan $\frac{CDp}{CDp0} < 1$

hal ini menunjukan bahwa adanya kelima tipe penggganggu mampu menurunkan gaya *drag*.

Pada gambar 4.25 terlihat bahwa trendline grafik tiap penggganggu memiliki nilai C_{Dp} dan karakteristik yang berbeda-beda, pada gambar 4.23 terlihat nilai C_{Dp} paling tinggi ada penggangu tipe-D jika dibanding dengan penggganggu tipe-A, B, C, dan E, sedangkan C_{Dp} paling rendah terjadi pada penggganggu tipe-D.



Gambar 4.25. Grafik gabungan nilai C_{Dp} terhadap S/D 0,6-2,0

Nilai C_{Dp} pada silinder tunggal sebesar 0.7623, kemudian pada tipe-A nilai C_{Dp} paling rendah adalah 0.2066 pada S/D 1,15, tipe-B nilai C_{Dp} terendah adalah 0,1975 pada S/D 1,45, tipe-C nilai C_{Dp} terendah adalah 0,2232 pada jarak S/D 1,45, tipe-D nilai C_{Dp} terendah adalah 0,1971 pada jarak S/D 1,45, dan terakhir pada tipe-E nilai C_{Dp} terendah adalah 0,3072 pada S/D 1,15. Dari pemaparan diatas dapat disimpulkan bahwa penggganggu tipe-D yang paling efektif mengurai gaya *drag* sebesar 74,15% pada S/D 1,45.

Pada nilai *Strouhal number* paling tinggi terjadi pada pengganggu tipe A pada jarak S/D 0,85 hal ini terjadi ketidaksesuaian dengan penurunan nilai C_{Dp} pada pengganggu tipe D, seharusnya nilai C_{Dp} berbanding terbalik dengan nilai *Strouhal Number* pada tipe pengganggu yang sama hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data terjadi kesalahan pembacaan atau ketelitian yang masih kurang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan diskusi tentang hasil eksperimental aliran fluida melintasi silinder dengan lima tipe pengganggu didapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi lima jenis tipe pengganggu yang diletakkan dibelakang silinder mempengaruhi karakteristik aliran melintasi silinder berpengganggu terhadap gaya drag dan nilai *Strouhal Number*.
2. Variasi jarak S/D sangat mempengaruhi karakteristik aliran melintasi silinder berpengganggu terhadap nilai *Strouhal Number* dan gaya *drag* yang diteliti pada penelitian ini.
3. Pada penelitian ini dilakukan menggunakan *Reynolds Number* 5,3 x 10^4 dengan variasi S/D 0,9-1,15 didapatkan pengurangan gaya *drag pressure* paling efektif sebesar 71,95% yang terjadi pada pengganggu tipe-B pada jarak S/D 1,15 dengan nilai C_{Dp} 0,2138 .
4. Pada penelitian ini dilakukan menggunakan *Reynolds Number* 5,3 x 10^4 dengan variasi S/D 0,9-1,15 didapatkan pada pengganggu tipe-C dengan jarak S/D 1,15 mempunyai nilai *Strouhal number* sebesar 0,218.
5. Hasil analisa gabungan S/D 0,6-2,0 didapat penggunaan silinder berpengganggu tipe D pada jarak S/D 1,45 sangat efektif mengurangi gaya *drag*.
6. Hasil analisa gabungan S/D 0,6-2,0 didapat penggunaan silinder berpengganggu tipe-A pada jarak S/D 0,85 sangat efektif meninggkatkan frekuensi *Strouhal Number*.
7. Pada nilai *Strouhal number* paling tinggi terjadi pada pengganggu tipe-A pada jarak S/D 0,85 hal ini terjadi ketidaksesuaian dengan penurunan nilai C_{Dp} paling

rendah pada pengganggu tipe-D S/D 1,45, seharusnya nilai C_{Dp} berbanding terbalik dengan nilai *Strouhal Number* pada tipe pengganggu dan jarak S/D yang sama hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data terjadi kesalahan pembacaan atau ketelitian yang masih kurang.

5.2 Saran

1. Perlu perbaikan dan perbaruhi alat ukur HWA pada wind tunnel.

2. Perlu dipasangnya *converter* agar tegangan listriknya lebih stabil sehingga tidak mengggangu proses pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

Aiba, S. dan Watanabe, H. 1997. ***Flow Characteristics of A Bluff Body Cut From A Circular Cylinder, Journal of Fluids Engineering***, *Journal Of Fluids Engineering* , Vol 119.

Bruun, H. H. 1995. ***Hot Wire Anemometry,*** *Principles and SignalAnalysis.* Oxford Science Publication: New York.

Dantec Dynamic. 2002. *H**ow to Measure Turbulence with Hot-Wire Anemometers - A Practical Guide***. Dantec:Denmark.

Fox, Robert W, McDonald and Alan T. 1994. ***Introduction to Fluid Mechanics 4th Edition***. John Willey and Son, Inc.

Rizal, N.R. 2010. ***Rancang Bangun Hot Wire Anemometer Single Normal Probe Untuk Mengukur Bilangan Strouhal Pada Karakteristik Aliran Di Belakang Silinder Sirkular Yang DIganggu Silinder Teriris Tipe-I***. Tugas Akhir Teknik Mesin ITS: Surabaya.

Sang-Joong Lee, Sang-lk Lee, dan Cheol-Woo Park. 2004. ***Reducing The Drag On a Circular Cylinder By Upstream Installation Of a Small Control Rod.*** Journal of Wind EngineeringAnd Industrial Aerodynamic.

Sangra H.A. 2014. ***S Studi Ekperimen Pengaruh Vortex Shedding dan Blangan Strouhal terhadap Silinder Teriris Tipe-D Dengan Hot Wire Anemometer Sebagai Alat Ukur" Studi Kasus Untuk Jarak S/D = 0,55 – 1,375 "***.Jurusan Teknik Mesin ITS. Surabaya.

Stern. 2009. ***Intermediate Fluid Mechanics***. Germany.

Sumner, D., M. D. Richards, O. O. Akosile. 2007. ***Strouhal Datafor Two Staggered Circular Cylinders***, *Journal of*

WindEngineering and Industrial Aerodynamics 96 (2008) 859–871.

Tsutsui, T dan Igarashi, T. 2002. ***Drag Reduction on Circular Cylinder in an Air-Stream***, *Journal of Wind EngineeringAnd Industrial Aerodynamic*, Vol 90.

Triyogi, Y, D. Suprayogi, dan E. Spirda. 2009. ***Reducing the Drag on a Cyclinder by Upstream Installation of an I Type Bluff Body as Passive Control,*** *Journal MechanicalEngineering Science*, Vol 223 Part C, Page Paper 2291- 2296.

BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Ponorogo,20 Oktober 1993. Merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK KI Hajar Dewantara Surabaya, SDN I Ngebel Ponorogo, SMPN 5 Ponorogo dan SMAN 2 Ponorogo. Pada tahun 2011 penulis telah lulus SMA, kemudian penulis diterima pada pilihan pertama di Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN Undangan. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Mesin dengan NRP. 2111 100 015.

Di Jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi sebagai bahasan Tugas Akhir. Selama masa kuliah penulis telah mengikuti berbagai macam seminar, pelatihan dan organisasi di Jurusan Teknik Mesin mengenai berbagai macam ketrampilan untuk meningkatkan soft skill. Penulis juga aktif dalam kegiatan di dalam lingkungan kampus seperti menjadi panitia kegiatan nasional dan asisten praktikum laboratorium mekanika fluida.

Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, silakan menyampaikan melalui email yhasmin.salma@gmail.com.