



TUGAS AKHIR - TM 91486

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK MENGENAI
PENGARUH PENAMBAHAN *SPLITTER PLATE*
TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DI
SEKITAR SILINDER SIRKULAR PADA
BILANGAN REYNOLDS (Re) = $2,6 \times 10^4$**

DEA AMANDA BESTARI
NRP. 2110 100 027

Dosen Pembimbing:
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

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



FINAL PROJECT - TM 91486

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON
THE EFFECT OF ADDING SPLITTER PLATE ON
CHARACTERISTIC FLOW AROUND CIRCULAR
CYLINDER AT REYNOLDS NUMBER
(Re) = $2,6 \times 10^4$**

DEA AMANDA BESTARI
NRP. 2110 100 027

Academic Supervisor:
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

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

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK MENGENAI
PENGARUH PENAMBAHAN *SPLITTER PLATE*
TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DI SEKITAR
SILINDER SIRKULAR PADA BILANGAN REYNOLDS
(Re) = $2,6 \times 10^4$**

Nama Mahasiswa : Dea Amanda Bestari
NRP : 2110 100 027
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

Abstrak

Di dalam aplikasi teknik, struktur profil berbentuk silinder sering ditemukan. Studi yang pernah dilakukan menyatakan, apabila sebuah silinder dilintasi aliran fluida akan timbul gaya *drag* yang sering kali dianggap merugikan. Banyak metode yang telah dilakukan untuk mereduksi gaya *drag* tersebut, salah satunya memodifikasi profil silinder. Penambahan *splitter plate* di bagian belakang silinder merupakan salah satu cara dalam memodifikasi profil silinder, sehingga seolah lebih aerodinamis. Dengan bentuk profil yang seolah lebih aerodinamis, diharapkan daerah *wake* yang terbentuk di bagian belakang silinder lebih kecil sehingga gaya *drag* yang dihasilkan menjadi tereduksi.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen dan numerik. Studi eksperimen dilakukan pada *subsonic wind tunnel* yaitu pada kecepatan *free stream* 13,5 m/s dengan bilangan Reynolds sebesar $2,6 \times 10^4$. Benda uji yang digunakan berupa sirkular silinder berdiameter (D) 30 mm dan sirkular silinder dengan penambahan *splitter plate* di bagian belakang silinder. Panjang *splitter plate* (L_s) yang digunakan adalah 75 mm dengan ketebalan (t) sebesar 2,4 mm. Distribusi tekanan kontur pada benda uji diukur dengan *pressure tap* yang terpasang pada permukaan silinder. Profil kecepatan aliran pada daerah *midspan* dan *wake* diukur menggunakan *pitot tube* yang dipasang di daerah *midspan* dan bagian belakang silinder. Studi

numerik menggunakan *software* Fluent 6.3.2.6 dengan model turbulensi *k- ω shear stress transport* (SST).

Dari penelitian secara eksperimen didapatkan, penambahan *splitter plate* di bagian belakang silinder sirkular dapat meningkatkan nilai koefisien *friction drag* (C_{Df}) dan koefisien *total drag* (C_{Dt}). Sedangkan, hasil simulasi numerik menunjukkan penurunan nilai koefisien *friction drag* (C_{Df}) dan koefisien *total drag* (C_{Dt}). Kenaikan C_{Dt} melalui metode eksperimen sebesar 17,32% sedangkan penurunan C_{Dt} melalui simulasi numerik sebesar 6,12%. Penambahan *splitter plate* menurunkan harga koefisien *pressure drag* (C_{Dp}), namun tidak mampu menunda separasi aliran yang terjadi pada kontur silinder. Fenomena ini ditunjukkan oleh hasil yang diperoleh melalui metode eksperimen dan numerik.

Kata kunci* : analisa numerik, C_{Df} , C_{Dp} , C_{Dt} , silinder sirkular, *splitter plate

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON THE
EFFECT OF ADDING SPLITTER PLATE ON
CHARACTERISTIC FLOW AROUND CIRCULAR
CYLINDER AT REYNOLDS NUMBER (Re) = $2,6 \times 10^4$**

Name : Dea Amanda Bestari
NRP : 2110 100 027
Departement : Teknik Mesin FTI – ITS
Academic Supervisor : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

Abstract

In any technique application, the structure of cylindrical profiles are often to be found. From the analytical study that had ever been conducted, it states that if a cylinder is crossed by the fluid flow, there will be a drag force that are often considered as a loss. A lot of methods has been taken to reduce the drag force. One of the method is modifying the cylinder. The adding of splitter plate at the rear of the cylinder is one way to modify the cylinder, for making it to be more aerodynamic. By the shape that seems to have a better aerodynamic profile, it is expected that the wake region formed at the rear of the cylinder is smaller and so does the drag force.

This study was conducted using experimental and numerical method. The experimental study was conducted on a subsonic wind tunnel. The wind tunnel has a stream velocity of 13,5 m/s with Reynolds number of $2,6 \times 10^4$. The specimens are a circular cylinder with the diameter (d) of 30 mm and a spilter plate adding at the rear of the circular cylinder. The length of the spiltter plate (L_s) was 75 mm with the thickness of 2,4 mm. The pressure distribution contour on the specimen is measured by pressure taps that are mounted on the surface. Local velocity profile at the midspan and wake were measured by pitot tubes that are mounted at the midspan and the rear. FLUENT 6.3.2.6. is a software for the numerical study. The model was a turbulent flow with $k-\omega$ shear stress tranport (SST).

The experimental result in adding a splitter plate at the rear of the circular cylinder can increase the value of friction (C_{Df}) and total drag coefficient (C_{Dt}). In addition, the value of friction (C_{Df}) and total drag coefficient (C_{Dt}) are decreased based on numerical result. The experimental results show a increase in the drag coefficient of 17,32%, while the results of numerical simulations showed a decrease in the drag coefficient of 6,12%. Both of experimental and numerical results show the addition of a splitter plate can decrease the value of base pressure coefficient (C_{Pb}), but the flow separation that occurs in the contour of the cylinder is not able to be delayed.

Key Word : C_{Df} , C_{Dp} , C_{Dt} , circular cylinder, numerical analysis, splitter plate

**STUDI EKSPERIMEN DAN NUMERIK MENGENAI
PENAMBAHAN *SPLITTER PLATE* TERHADAP
KARAKTERISTIK ALIRAN DI SEKITAR SILINDER
SIRKULAR PADA BILANGAN REYNOLDS (Re) = $2,6 \times 10^4$**

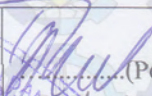
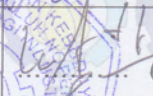
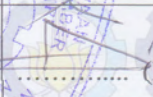
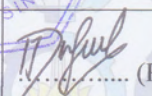
TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Dea Amanda Bestari
NRP. 2110 100 027

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

SURABAYA
JULI 2014

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, wr.wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam yang selalu memberi kasih sayang tiada tara pada penulis hingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen dan Numerik Mengenai Pengaruh Penambahan Splitter Plate Terhadap Karakteristik Aliran di Belakang Silinder Sirkular Pada Bilangan Reynolds (Re) = $2,6 \times 10^4$ ”.

Dalam penyusunan Tugas Akhir, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, mama dan papa tercinta yang senantiasa mendo'akan, memberikan dukungan semangat, serta nasehat kepada penulis selama masa perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sutardi, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi bagi penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, S.T, M.T, selaku dosen wali yang telah memberikan dorongan motivasi dan kebijaksanaannya dalam mengarahkan pemilihan mata kuliah kepada penulis demi kelancaran studi di jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Bapak Nur Ikhwan, S.T, M,T dan Bapak Dedy Zulhidayat Noor, S.T, M.Eng, selaku penguji seminar dan sidang tugas akhir yang telah banyak memberikan masukan demi kesempurnaan penyelesaian tugas akhir ini.

5. Seluruh dosen Teknik Mesin FTI ITS yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama masa kuliah.
6. Adikku tersayang, Gita Fitri Sasanti, yang selalu setia memberi dukungan semangat, do'a, dan menemani penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. *My best partner*, Elsa Yovita Anggrianty, terima kasih untuk semua pengalaman dan pembelajaran yang telah kita lalui bersama, mulai dari kerja praktek 1 hingga penyelesaian Tugas Akhir.
8. Sahabat-sahabat "*genk-gong*" sejak tahun pertama masa perkuliahan, Rifqoh dan Nadhira Ra'afianti. Terima kasih untuk jalinan pertemanan yang luar biasa. Kalian tak akan terganti.
9. Mas Galang Tatit N, yang telah memperkenalkan dan mengajarkan penulis pada *software* Gambit dan Fluent. Terima kasih untuk semua pembelajaran yang membuat penulis menjadi lebih berkembang.
10. Keluarga besar warga Laboratorium Mekanika dan Mesin-Mesin Fluida, Erni, Fina, Aulia, Fitri "Nenek", Nafi, Chyntia, Atik, Ageng, Khanafi, Kenan, Sudahra, Bella "Acol", Mas Adityas, Fasya "Boy", Mas Farouq, Mas Susno, Mas Kresna, Mas Heru, dan semua penghuni Lab yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu.
11. Kabinet Bersatu Berdedikasi, Adri, Humaam, Nanda "jenggot", Icca, Fira, Ade "Namec", Ino, Fesa, Dinar, Willy, Febri, Tegar "Tape", Delly, Wulan, Riza, Novi, Rusda, Sardi, Cita, Bobby, Parada, Lita, Khanafi, dan seluruh keluarga besar BEM FTI ITS. Terima Kasih untuk pengalaman kepengurusan BEM FTI ITS yang tak terlupakan seumur hidup. Semoga kita semua akan sukses di masa depan nanti.
12. Rekan-rekan M53, yang telah berjuang bersama mulai dari POROS 2010 hingga penulis menyelesaikan studi di Teknik Mesin FTI-ITS. Semoga kita benar-benar menjadi generasi yang *uber alles*.

13. Puput dan Nava, yang selalu dapat diandalkan untuk berbagi cerita dan motivasi untuk saling menguatkan. Semoga kita dapat menggapai impian yang kita inginkan di masa depan.
14. Adik-adik M-54, M-55, dan M-56, terima kasih untuk do'a dan dukungannya.
15. Bapak Nur dan Bapak Tris, selaku karyawan Laboratorium Mekanika dan Mesin-Mesin Fluida yang memberikan bantuan peralatan untuk mengadakan penelitian.

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 harapan, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum wr. Wb.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
C_{Df}	: koefisien <i>drag friction</i>	-
C_{Dp}	: koefisien <i>drag pressure</i>	-
C_{Dt}	: koefisien <i>drag total</i>	-
C_p	: koefisien tekanan	-
C_{p_b}	: koefisien tekanan <i>base</i>	-
D	: diameter sirkular silinder	(mm)
$f(x_i)$: perkalian dari fungsi data gasal	-
$f(x_j)$: perkalian dari fungsi data genap	-
F_D	: gaya <i>drag</i> pada silinder	(N)
g	: percepatan grafitasi	(m/s ²)
h	: panjang lintasan titik-titik pengukuran profil kecepatan aliran	(mm)
H_1	: jarak antara dinding atas <i>test section area</i> <i>wind tunnel</i> dan titik pusat benda uji	(mm)
H_2	: jarak antara dinding bawah <i>test section</i> <i>area wind tunnel</i> dan titik pusat benda uji	(mm)
$I_{dinamis}$: arus yang terbaca <i>pressure transducer</i> untuk tekanan dinamis	(mA)
I_{statis}	: arus yang terbaca <i>pressure transducer</i> untuk tekanan statis	(mA)
L_1	: jarak antara sisi <i>inlet test section area</i> <i>wind tunnel</i> dan benda uji	(mm)
L_2	: jarak antara sisi <i>outlet test section area</i> <i>wind tunnel</i> dan benda uji	(mm)
L_c	: panjang sirkular silinder	(mm)
L_s	: panjang <i>splitter</i>	(mm)
n	: jumlah data	-
P	: tekanan statis lokal	(Pa)
$P_{D\infty}$: tekanan dinamis aliran <i>free stream</i>	(Pa)
$P_{S\infty}$: tekanan statis aliran <i>free stream</i>	(Pa)
Re	: bilangan Reynolds	-
$SG_{red\ oil}$: <i>Spesific grafity red oil</i>	-

t_s	:	tebal <i>splitter</i>	(mm)
T	:	temperatur udara	(K)
U_∞	:	kecepatan <i>free stream</i> fluida	(m/s)
W_s	:	lebar <i>splitter</i>	(mm)
x	:	jarak titik pengukuran profil kecepatan aliran fluida dengan titik pusat bend uji	(mm)
y	:	posisi titik pengukuran profil kecepatan aliran fluida	(mm)
dp/dx	:	gradien tekanan	-
x/D	:	posisi horizontal pada pengukuran profil kecepatan	-
y/h	:	posisi vertikal pada pengukuran profil kecepatan	-
$\Delta h_{dinamis}$:	perbedaan ketinggian manometer dinamis	(mm)
Δh_{statis}	:	perbedaan ketinggian manometer statis	(mm)
μ	:	viskositas fluida	(Ns/m ²)
θ	:	sudut kontur	(°)
ρ	:	massa jenis udara	(kg/m ³)

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SIMBOL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. <i>Bluff Body</i>	5
2.2. Separasi Aliran	5
2.3. Bilangan Reynolds (Re).....	7
2.4. Koefisien Tekanan (C_p).....	9
2.5. <i>Gaya Drag</i>	10
2.6. <i>Splitter</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1. Metode Eksperimen	19
3.1.1. Benda Uji	19
3.1.2. Peralatan Pengujian	21
3.1.3. Prosedur Pengambilan Data	26
3.2. Pemodelan Numerik	31
3.2.1. Tahap <i>Pre-processing</i>	31
3.2.2. Tahap <i>Processing</i>	33
3.2.3. Tahap <i>Post-Processing</i>	37

3.3. <i>Flow Chart</i> Penelitian	37
---	----

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 41

4.1. Contoh Perhitungan	41
4.1.1. Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)	41
4.1.2. Perhitungan Koefisien Tekanan (C_P)	44
4.1.3. Perhitungan Koefisien <i>Pressure Drag</i> (C_{Dp})	47
4.1.4. Perhitungan Koefisien <i>Total Drag</i> (C_{Di})	48
4.2. Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) Pada Silinder Sirkular . 50	
4.2.1. Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan <i>Splitter Plate</i>	50
4.2.2. Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan (C_P) Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan <i>Splitter</i> <i>Plate</i> dari Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik	56
4.3. Profil Kecepatan Pada Silinder Sirkular Dengan dan Tanpa <i>Splitter Plate</i> Menggunakan Metode Eksperimen dan Simulasi Numerik	60
4.3.1. Perbandingan Profil Kecepatan di Daerah <i>Midspan</i> Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan <i>Splitter</i> <i>Plate</i>	60
4.3.2. Perbandingan Profil Kecepatan di Daerah <i>Midspan</i> Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan <i>Splitter</i> <i>Plate</i> dari Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik	63
4.3.3. Perbandingan Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan <i>Splitter Plate</i>	67
4.3.4. Perbandingan Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan <i>Splitter Plate</i> dari Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik	70
4.4. Visualisasi Numerik	73
4.4.1. <i>Pathlines Stream Function</i> Kecepatan Aliran Fluida di Sekitar Silinder Tanpa dan Dengan Penambahan <i>Splitter Plate</i>	73

4.4.2. Vektor Kecepatan Aliran Fluida Melewati Silinder Tanpa dan Dengan Penambahan <i>Splitter Plate</i>	75
4.4.3. Plot Kontur Tekanan Statis dan Kecepatan Aliran Fluida Pada Silinder Tanpa dan Dengan Penambahan <i>Splitter Plate</i>	77
4.5. Perbandingan Koefisien <i>Drag Total</i> (C_{Dt}) Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan Penambahan <i>Splitter</i>	81
BAB V PENUTUP	87
5.1. Kesimpulan	87
5.2. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	91
RIWAYAT PENULIS	101

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Analisa <i>grid independency</i> dan validasi koefisien <i>drag</i> silinder tunggal $D = 30$ mm dengan $Re = 5,5 \times 10^4$36
Tabel 4.1	Koefisien tekanan minimum, <i>base pressure</i> (C_{pb}), dan titik separasi silinder sirkular dengan dan tanpa <i>splitter</i> hasil eksperimen53
Tabel 4.2	Koefisien tekanan minimum, <i>base pressure</i> (C_{pb}), dan titik separasi silinder sirkular dengan dan tanpa <i>splitter</i> hasil simulasi numerik56
Tabel 4.3	Koefisien <i>drag</i> total yang terjadi pada silinder sirkular81
Tabel 4.4	Perbandingan koefisien <i>drag</i> total hasil eksperimen dari beberapa penelitian83

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daerah <i>wake</i> yang terbentuk pada (a) <i>bluff body</i> (b) <i>streamlined body</i>	5
Gambar 2.2	Fenomena separasi aliran pada silinder sirkuler ..	6
Gambar 2.3	Fenomena aliran dengan (a) <i>sub-critical</i> (b) <i>super-critical Reynolds number</i> pada silinder sirkuler	8
Gambar 2.4	Distribusi tekanan pada permukaan silinder sirkuler	10
Gambar 2.5	Penguraian komponen gaya tekan dan geser pada elemen kecil dari suatu permukaan benda	11
Gambar 2.6	Analisa sistem yang mengalami defisit momentum	13
Gambar 2.7	Profil daerah <i>wake</i> di belakang benda uji.....	16
Gambar 2.8	Distribusi tekanan pada permukaan silinder	17
Gambar 3.1	Ilustrasi benda uji (a) sirkular silinder (b) sirkular penambahan <i>splitter</i>	20
Gambar 3.2	<i>Subsonic open circuit wind tunnel</i>	22
Gambar 3.3	<i>Test section</i> pada <i>wind tunnel</i>	22
Gambar 3.4	<i>Inclined</i> manometer	23
Gambar 3.5	Perbesaran skala pada <i>inclined</i> manometer	23
Gambar 3.6	<i>Pressure tap</i> pada benda uji	24
Gambar 3.7	<i>Pitot tube</i>	25
Gambar 3.8	Posisi <i>Pitot tube</i> terhadap benda uji	25
Gambar 3.9	<i>Pressure transducer</i>	26
Gambar 3.10	Posisi benda uji pada <i>test section area wind tunnel</i>	27
Gambar 3.11	Kalibrasi <i>pressure transducer</i> untuk Δh_{statis} di daerah <i>free stream</i>	28
Gambar 3.12	Kalibrasi <i>pressure transducer</i> untuk $\Delta h_{dinamis}$ di daerah <i>free stream</i>	29
Gambar 3.13	Kalibrasi <i>pressure transducer</i> untuk Δh_{statis} di kontur silinder sirkular tanpa penambahan <i>splitter plate</i>	29

Gambar 3.14	Hasil <i>meshing</i> pada pemodelan geometri	32
Gambar 3.15	Perbesaran hasil <i>meshing</i> di sekitar benda uji ..	32
Gambar 3.16	Kondisi batas pada pemodelan geometri	33
Gambar 3.17	<i>Flow chart</i> pelaksanaan penelitian	39
Gambar 4.1	Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular dari hasil eksperimen tanpa dan dengan <i>splitter</i> $L/D = 2,5$	51
Gambar 4.2	Perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) hasil eksperimen dengan hasil penelitian Roshko	53
Gambar 4.3	Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular tanpa dan dengan <i>splitter</i> $L/D = 2,5$ dari hasil simulasi numerik	55
Gambar 4.4	Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular tanpa <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen dan simulasi numerik	57
Gambar 4.5	Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular dengan <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen dan simulasi numerik	59
Gambar 4.6	Profil kecepatan di daerah <i>midspan</i> pada silinder sirkular tanpa dan dengan <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen	61
Gambar 4.7	Profil kecepatan di daerah <i>midspan</i> pada silinder sirkular tanpa dan dengan <i>splitter plate</i> dari hasil simulasi numerik	62
Gambar 4.8	Profil kecepatan di daerah <i>midspan</i> pada silinder sirkular tanpa <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen dan simulasi numerik	65
Gambar 4.9	Profil kecepatan di daerah <i>midspan</i> pada silinder sirkular dengan <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen dan simulasi numerik	66
Gambar 4.10	Profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa dan dengan <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen	68

Gambar 4.11	Profil kecepatan silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan <i>splitter plate</i> dari hasil simulasi numerik69
Gambar 4.12	Profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen dan simulasi numerik71
Gambar 4.13	Profil kecepatan di belakang silinder sirkular dengan <i>splitter plate</i> dari hasil eksperimen dan simulasi numerik72
Gambar 4.14	<i>Pathline stream function</i> kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular tanpa penambahan <i>splitter plate</i>74
Gambar 4.15	<i>Pathline stream function</i> kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular dengan penambahan <i>splitter plate</i>74
Gambar 4.16	Vektor kecepatan aliran fluida melewati silinder sirkular tanpa penambahan <i>splitter plate</i>76
Gambar 4.17	Vektor kecepatan aliran fluida melewati silinder sirkular dengan penambahan <i>splitter plate</i>76
Gambar 4.18	Plot kontur tekanan statis di sekitar silinder sirkular tanpa penambahan <i>splitter plate</i>78
Gambar 4.19	Plot kontur tekanan statis di sekitar silinder sirkular dengan penambahan <i>splitter plate</i>78
Gambar 4.20	Plot kontur kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular tanpa penambahan <i>splitter plate</i>80
Gambar 4.21	Plot kontur kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular dengan penambahan <i>splitter plate</i>80
Gambar 4.22	Perbandingan ilustrasi panjang vorteks di belakang silinder dengan perbandingan panjang splitter dan diameter silinder sebesar (a) $L_s/D = 2,5$ (b) $L_s/D = 3$ (c) $L_s/D = 5$84

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) semakin pesat. Telah banyak diciptakan teknologi canggih yang bertujuan untuk meringankan dan mempermudah pekerjaan manusia. Dalam aplikasinya, struktur profil berbentuk silinder, baik silinder tunggal atau kelompok silinder, sering ditemukan dalam bidang keteknikan, seperti alat penukar kalor, sistem pendingin pada pembangkit tenaga nuklir, tiang penyangga jembatan, dan kabel transisi listrik.

Profil berbentuk silinder dapat menyebabkan kerugian aerodinamis terhadap aliran yang melewatinya. Aliran yang melewati profil berbentuk silinder akan mengalami separasi *massive* di sekitar daerah *midspan*. Separasi *massive* menyebabkan adanya daerah *wake* dengan ukuran besar, sehingga menimbulkan gaya *drag* dengan nilai yang besar pula. Daerah *wake* yang terbentuk di bagian belakang silinder akan diisi oleh *vortex*. Ketika aliran turbulen melewati profil berbentuk silinder, *vortex* yang terbentuk akan terlepas dari *boundary layer*. Pelepasan *vortex* (*vortex shedding*) terjadi secara bergantian dari permukaan atas dan permukaan bawah silinder, sehingga menyebabkan gaya yang tidak stabil (*unstable force*) pada profil silinder. Oleh sebab itu, perlu adanya usaha untuk mengurangi besarnya gaya *drag* yang terjadi, sehingga daerah *wake* dapat mengecil akibat separasi yang ditunda.

Kruger, dkk (2001) melakukan penelitian mengenai pengaruh bentuk profil benda (silinder dan silinder dengan *short taper*) yang dilalui aliran, terhadap besarnya *drag* yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan, dengan bilangan Reynolds (*Re*) sebesar 5×10^4 , nilai koefisien *drag* yang ditimbulkan saat aliran melewati silinder adalah 1,62. Dengan nilai *Re* yang sama,

besarnya koefisien *drag* yang ditimbulkan saat aliran melewati silinder dengan *short taper* yaitu 1,44. Menurut Fox, dkk (2010), nilai koefisien *drag* yang ditimbulkan dengan Re sebesar 5×10^4 ialah $\pm 1,0$. Nilai koefisien *drag* yang didapatkan oleh Kruger, dkk (2001) terlalu besar dibandingkan dengan koefisien *drag* yang didapatkan oleh Fox, dkk. Dari penelitian ini dapat disimpulkan, bahwa gaya *drag* yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk profil yang dilalui aliran. Profil benda yang semakin aerodinamis akan menimbulkan gaya *drag* yang semakin kecil.

1.2. Perumusan Masalah

Ketika aliran viscous (*viscous flow*) melintasi silinder, terjadi perubahan kecepatan dan tekanan aliran. Kecepatan aliran mengalami peningkatan ketika aliran melintasi daerah *upstream* hingga aliran berada didaerah *midspan*, dimana kecepatan aliran mencapai nilai maksimum. Sebaliknya, tekanan aliran mengalami penurunan ketika aliran melintasi daerah *upstream* hingga aliran berada di daerah *midspan*, dimana tekanan aliran mencapai nilai minimum. Setelah aliran melintasi daerah *midspan*, aliran akan mengalir dari daerah bertekanan rendah ke daerah bertekanan tinggi (*adverse pressure*). Adanya *adverse pressure* dan tegangan geser yang terdapat pada permukaan silinder, menyebabkan terjadinya separasi *massive*. *Wake* akan terbentuk di bagian belakang silinder sebagai efek terjadinya separasi *massive*. Separasi *massive* menimbulkan gaya *drag* yang besar.

Profil benda yang dilalui oleh aliran fluida mempengaruhi gaya *drag* yang terjadi. Gaya *drag* yang timbul saat aliran melewati *bluff body* memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan gaya *drag* yang timbul ketika aliran melewati *streamlined body*. Penambahan *splitter* di bagian belakang silinder membuat profil silinder menjadi lebih aerodinamis (*streamlined body*), sehingga dapat menunda separasi dan mereduksi gaya *drag*.

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan menjadi lebih fokus, digunakan beberapa batasan masalah. Batasan masalah pada studi eksperimen yaitu:

1. Aliran yang mengalir bersifat *uniform* pada daerah *upstream*, *incompressible*, *steady*, dan *viscous*.
2. Kekasaran permukaan benda uji tidak mempengaruhi transisi *boundary layer* yang terjadi.

Sedangkan batasan masalah yang digunakan pada studi numerik adalah:

1. Aliran yang mengalir bersifat *uniform* pada daerah *upstream*, *incompressible*, *steady*, dan *viscous*.
2. Tidak terjadi perpindahan panas pada sisi *inlet* dan *outlet test section wind tunnel*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan *splitter* pada bagian belakang silinder terhadap karakteristik aliran yang melewatinya. Studi ini dilakukan secara eksperimental dan numerik untuk:

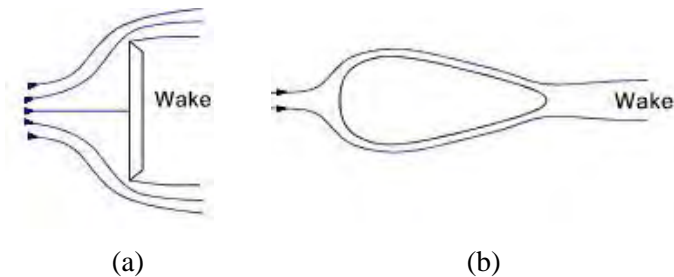
1. Menghitung koefisien tekanan (C_p), profil kecepatan, dan koefisien total *drag* (C_{D_t}) pada aliran yang melewati silinder dengan penambahan *splitter* di bagian belakang silinder.
2. Mengevaluasi detail visualisasi aliran melintasi silinder dengan penambahan *splitter* di bagian belakang silinder dan menentukan titik separasi aliran menggunakan simulasi numerik dengan *software fluent*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Bluff Body*

Suatu benda dapat diklasifikasikan ke dalam kategori *bluff body* atau *streamlined body*, berdasarkan karakteristik aerodinamis yang terbentuk ketika aliran fluida melewati benda tersebut. Aliran yang melewati *bluff body* akan mengalami separasi *massive*. Separasi *massive* yang terjadi pada *bluff body* (gambar 2.1.a) menyebabkan terbentuknya daerah *wake* dengan ukuran yang lebih besar dari daerah *wake* yang terbentuk pada *streamlined body* (gambar 2.1.b), sehingga gaya *drag* yang terjadi pada *bluff body* lebih besar pula dari gaya *drag* yang terjadi pada *streamlined body*. Contoh profil benda yang termasuk dalam kategori *bluff body* antara lain silinder, bola, dan pelat datar yang tegak lurus aliran.



Gambar 2.1 Daerah *wake* yang terbentuk pada (a) *bluff body* (b) *streamlined body*

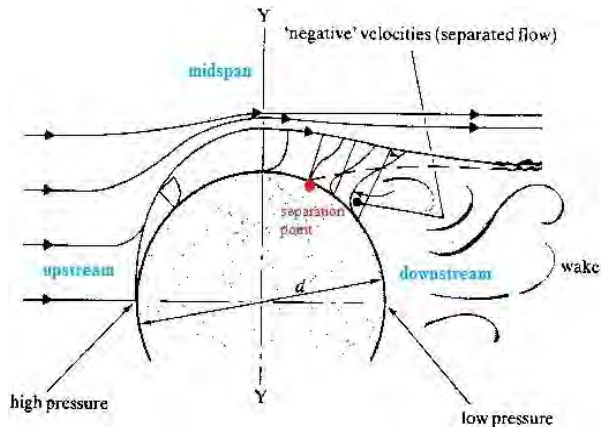
2.2 Separasi Aliran

Ketika aliran fluida melewati permukaan silinder, terjadi perubahan kecepatan dan tekanan aliran. Kecepatan aliran mencapai nilai minimum ketika fluida berada pada daerah *upstream*, kemudian mengalami peningkatan seiring pergerakan fluida dari daerah *upstream* menuju daerah *midspan*. Kecepatan

fluida mencapai nilai maksimum saat fluida tepat berada di daerah *midspan*. Setelah itu, kecepatan fluida mengalami penurunan seiring dengan Bergeraknya fluida dari daerah *midspan* menuju daerah *downstream*.

Ketika aliran fluida melewati permukaan silinder, tekanan aliran berharga maksimum saat fluida berada di daerah *upstream*. Seiring pergerakan fluida dari daerah *upstream* menuju daerah *midspan*, terjadi penurunan tekanan sehingga *pressure gradient* bernilai lebih kecil dari nol ($dp/dx < 0$). Peristiwa ini disebut *favorable pressure gradient*.

Tekanan aliran berharga minimum saat fluida tepat berada di daerah *midspan*. Ketika aliran bergerak dari daerah *midspan* menuju daerah *downstream*, fluida mengalami kenaikan tekanan sehingga *pressure gradient* bernilai lebih besar daripada nol ($dp/dx > 0$). Tekanan pada daerah ini memberikan arah yang berlawanan dengan arah alir fluida yang melewati silinder. Peristiwa ini disebut *adverse pressure gradient*. Ketika momentum aliran fluida tidak mampu mengatasi fenomena *adverse pressure gradient*, separasi aliran akan terjadi (gambar 2.2).



Gambar 2.2 Fenomena separasi aliran pada silinder sirkuler (www.sci-fix.blogspot.com, dengan perubahan)

Setelah mengalami separasi, aliran fluida tidak lagi mengikuti kontur silinder yang dilewati. Terdapat sebagian fluida yang mengalami *back flow*, sehingga aliran menjadi tidak stabil dan terjadi pergolakan aliran. Daerah dimana terjadi pergolakan aliran disebut *wake*.

2.3 Bilangan Reynolds (*Re*)

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat mempengaruhi jenis *boundary layer* yang terbentuk pada permukaan silinder. Jenis *boundary layer* yang dapat terbentuk adalah *boundary layer* laminar, *boundary layer* transisi, dan *boundary layer* turbulen. Secara matematis, *Re* didefinisikan sebagai:

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (2.1)$$

dimana:

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

\bar{V} = kecepatan aliran fluida (m/s)

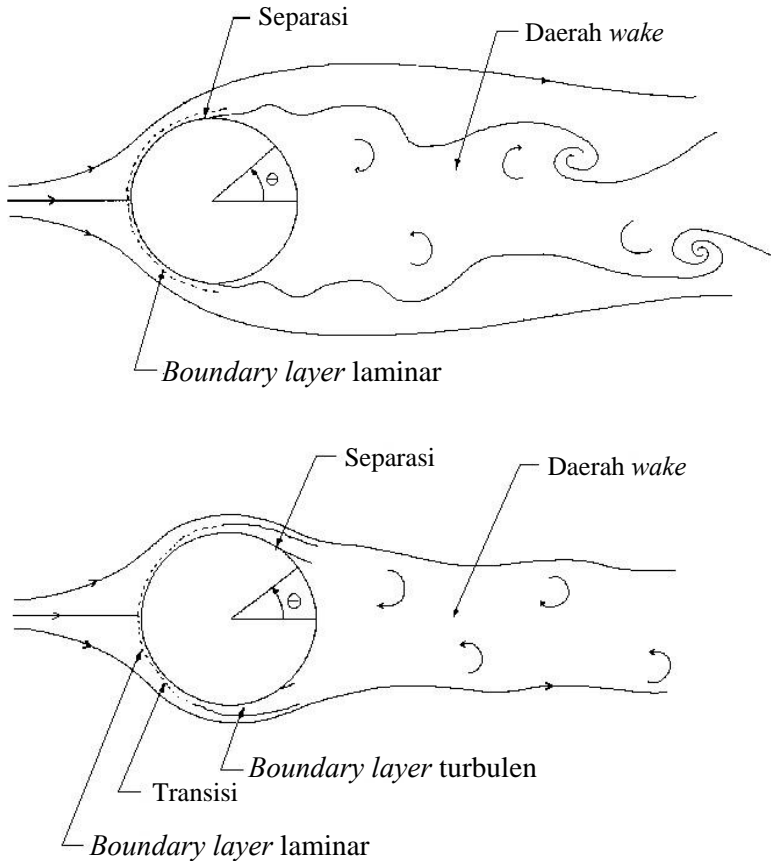
D = diameter sirkular silinder (m)

μ = viskositas fluida (Pa.s)

Separasi aliran pada *boundary layer* laminar lebih cepat terjadi terjadi bila dibandingkan dengan separasi aliran pada *boundary layer* turbulen. Kecepatan aliran fluida di dekat permukaan silinder pada *boundary layer* turbulen lebih besar daripada *boundary layer* laminar. Oleh sebab itu, *boundary layer* turbulen memiliki energi kinetik yang lebih besar pula untuk menjaga fluida agar tetap mengalir mengikuti kontur permukaan yang dilaluinya, sebelum momentum aliran fluida tidak mampu mengatasi fenomena *adverse pressure gradient* (terjadinya separasi).

Devenport dan Borgoltz (2011) mengadakan penelitian mengenai pengaruh bilangan Reynolds terhadap jenis *boundary layer* yang terbentuk pada permukaan silinder sirkular. Bilangan Reynolds yang digunakan sebesar $1,85 \times 10^5$ (*sub-critical*

Reynolds number) dan $6,7 \times 10^5$ (*super-critical Reynolds number*). *Boundary layer* yang terbentuk pada silinder sirkular dengan *sub-critical* dan *super-critical Reynolds number* ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Fenomena aliran dengan (a) *sub-critical* (b) *super-critical Reynolds number* pada silinder sirkular (www.dept.aoe.vt.edu, dengan perubahan)

Dari hasil penelitian didapatkan, *sub-critical Reynolds number* menghasilkan *boundary layer* laminar mulai pada *stagnation point* di daerah *upstream* hingga titik separasi di daerah *midspan*. *Super-critical Reynolds number* menghasilkan *boundary layer* laminar mulai pada *stagnation point* di daerah *upstream*, kemudian mengalami transisi menjadi *boundary layer* turbulen di sekitar daerah *midspan*. Oleh sebab itu, separasi aliran dengan *super-critical Reynolds number* dapat ditunda.

2.4 Koefisien Tekanan (C_p)

Distribusi tekanan yang terjadi pada kontur benda dapat dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut koefisien tekanan. Koefisien tekanan, C_p adalah selisih antara tekanan statis lokal dan tekanan statis *free stream* dibagi dengan tekanan dinamis.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (2.1)$$

dimana:

p = tekanan statis lokal

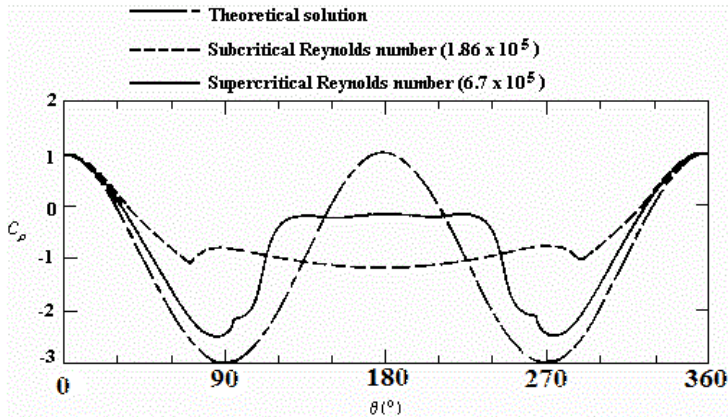
p_∞ = tekanan statis *free stream*

U_∞ = kecepatan *free stream*

Distribusi tekanan yang terjadi pada permukaan silinder dipengaruhi oleh bilangan Reynolds fluida yang melintasi silinder. Gambar 2.4 menunjukkan distribusi tekanan pada permukaan silinder dengan bilangan Reynolds yang berbeda pada penelitian yang dilakukan oleh Devenport dan Borgoltz (2011).

Dari gambar 2.4 terlihat bahwa grafik distribusi tekanan pada permukaan silinder berbentuk simetri pada rentang sudut $0^\circ - 180^\circ$ terhadap rentang sudut $180^\circ - 360^\circ$. *Sub-critical Reynolds number* dan *super-critical Reynolds number* memiliki letak dan nilai tekanan maksimum yang sama, yaitu pada sudut 0° dan 360° dengan C_p sebesar 1. *Sub-critical Reynolds number* dan *super-critical Reynolds number* memiliki letak dan nilai tekanan minimum yang berbeda. *Sub-critical Reynolds number* memiliki

nilai tekanan minimum yang lebih besar dari *super-critical Reynolds number* dengan letak tekanan minimum pada sudut yang lebih kecil dari *super-critical Reynolds number*.



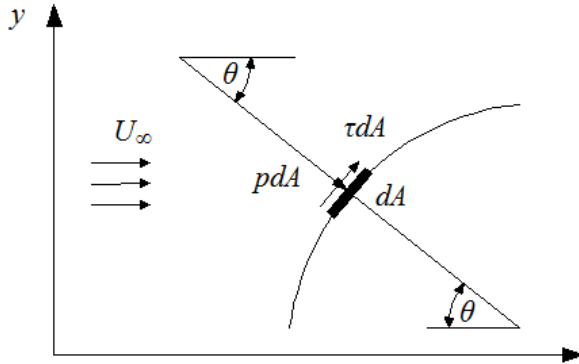
Gambar 2.4 Distribusi tekanan pada permukaan silinder sirkular (www.dept.aoe.vt.edu)

Dari penelitian ini dapat disimpulkan, bahwa bilangan Reynolds mempengaruhi distribusi tekanan yang terjadi di permukaan silinder sirkular. Distribusi tekanan yang terbentuk, akan mempengaruhi letak terjadinya separasi aliran. Semakin besar bilangan Reynolds aliran fluida, maka separasi aliran semakin tertunda.

2.5 Gaya Drag

Aliran fluida yang mengalir melalui permukaan suatu benda akan mendapat hambatan. Gaya hambat yang terjadi dapat berupa *skin friction drag* (F_{Df}) dan *pressure drag* (F_{Dp}). *Skin friction drag* (F_{Df}) merupakan gaya hambat yang menyinggung permukaan benda secara tangensial akibat adanya viskositas (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda). Sedangkan *pressure drag* (F_{Dp}) adalah gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul karena adanya tekanan fluida. Gambar 2.5

menunjukkan resultan antara *friction* dan *pressure force*. Resultan gaya ini disebut sebagai gaya tekan dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan suatu benda (gaya total).



Gambar 2.5 Penguraian komponen gaya tekan dan geser pada elemen kecil dari suatu permukaan benda (Adrian, 2012)

Resultan dari *friction* dan *pressure force* akan menghasilkan komponen gaya-gaya sebagai berikut:

$$dF_x = (pdA)\cos\theta + (\tau dA)\sin\theta, \quad (2.3)$$

$$dF_y = -(pdA)\sin\theta + (\tau dA)\cos\theta, \quad (2.4)$$

Komponen ke arah sumbu x adalah gaya hambat (*drag*), sedangkan komponen ke arah sumbu y adalah gaya angkat (*lift*). Gaya hambat total yang terbentuk dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_D = F_{Dp} + F_{Df}, \quad (2.5)$$

$$F_D = \int \cos\theta(p dA) + \int \sin\theta(\tau dA), \quad (2.6)$$

dimana:

$$F_{Dp} = \text{pressure drag}$$

$$F_{Df} = \text{skin friction drag}$$

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

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A}, \quad (2.7)$$

Koefisien *drag* tekanan (C_{DP}) dapat diperoleh dengan hasil integrasi dari distribusi tekanan (C_p) sepanjang kontur silinder utama, yang merupakan kontribusi dari *normal pressure* atau *pressure drag*. Koefisien *pressure drag* (C_{DP}) diperoleh dengan mengintegrasikan distribusi tekanan sepanjang kontur dengan persamaan sebagai berikut

$$C_{DP} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta, \quad (2.8)$$

Integrasi pada persamaan (2.8) diselesaikan dengan metode numerik aturan Simpson 1/3 segmen berganda yang dirumuskan sebagai berikut:

$$I \cong (b - a) \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n}, \quad (2.9)$$

dimana:

$$b = 2\pi$$

$$a = 0$$

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

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

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

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

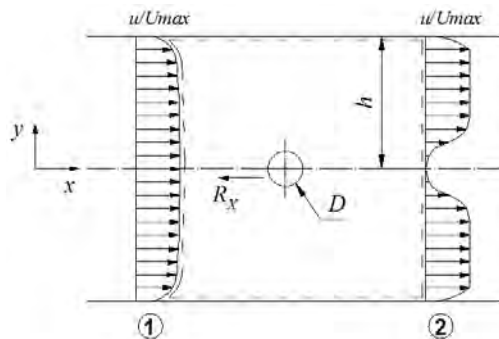
$$f(x_j) = \text{perkalian dari fungsi data genap dimana } j = 2, 4, 6, \dots, n-2$$

Sehingga, persamaan 2.9 dapat disederhanakan menjadi:

$$C_{Dp} = \frac{1}{2} I, \quad (2.10)$$

dimana I didapatkan dari persamaan 2.9.

Gaya *drag* total (*friction drag* dan *pressure drag*) juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *momentum* ke arah sumbu x , yaitu dengan mengintegrasikan perubahan *momentum* aliran pada daerah *upstream* dan *downstream* benda yang dilalui aliran. Pada gambar 2.6, sistem dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan *momentum* dalam arah x untuk *control volume* dengan batas garis putus-putus.



Gambar 2.6 Analisa sistem yang mengalami defisit momentum

$$F_x = F_{sx} + F_{bx} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} u \rho \cdot dV + \int_{CS} u \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2.11)$$

asumsi:

1. *Steady flow*
2. $F_{bx} = 0$
3. *No net pressure force* ; $F_{sx} = -R_x$
4. *Incompressible flow*

Sehingga persamaan 2.11 menjadi:

$$F_{sx} = \int_{CS} u \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2.12)$$

F_{sx} dihitung berdasarkan seluruh gaya-gaya permukaan yang bekerja dalam kontrol *volume* (CV) dari gambar 2.6.

$$F_{sx} = (p_1 \overset{=0}{\cancel{p_2}})A - R_x \quad (2.13)$$

$\int_{CS} u \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$ dihitung berdasarkan momentum aliran yang melintasi kontrol *surface* (CS) 1 dan 2.

$$\int_{CS} u \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = - \int_{S,1} u_1 \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} + \int_{S,2} u_2 \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2.14)$$

Persamaan 2.13 dan persamaan 2.14 disubstitusi ke dalam persamaan 2.12, sehingga menjadi:

$$R_x = \int_{S,1} u_1 \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} - \int_{S,2} u_2 \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2.15)$$

dimana:

$$dA = L dy$$

$$F_D = R_x$$

h = setengah tinggi *test section wind tunnel*

Sehingga persamaan 2.15 menjadi:

$$F_D = 2 \int_0^h \rho u_1^2 L dy - 2 \int_0^h \rho u_2^2 L dy \quad (2.16)$$

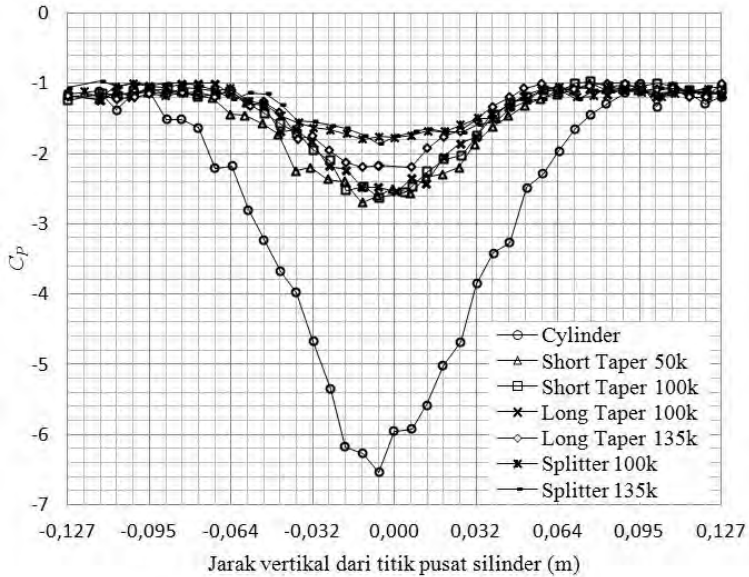
2.6 Splitter

Profil benda yang dilalui oleh aliran fluida, akan mempengaruhi letak separasi aliran yang melewatinya. Semakin aerodinamis profil benda yang dilalui aliran, maka separasi yang terjadi semakin dapat ditunda. Kruger, dkk (2001) melakukan penelitian mengenai pengaruh bentuk profil sirkular silinder, silinder dengan *short taper*, silinder dengan *long taper*, dan silinder dengan *splitter* terhadap besarnya *drag* yang terjadi. Bilangan *Re* yang digunakan pada penelitian Kruger, dkk sebesar 5×10^4 , 1×10^5 , dan $1,35 \times 10^5$.

Dari hasil penelitian didapatkan, luas daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder mengecil dengan ditambahkannya *short taper*, *long taper*, atau *splitter* gambar seperti yang ditunjukkan melalui gambar 2.7. Pengecilan luas daerah *wake* mengindikasikan nilai C_{Dt} yang berkurang pada silinder. Pada bilangan *Re* sebesar 5×10^4 , nilai koefisien *drag* yang ditimbulkan saat aliran melewati silinder dan silinder dengan *short taper* adalah 1,62 dan 1,44. Dengan bilangan *Re* sebesar 1×10^5 , nilai koefisien *drag* yang ditimbulkan saat aliran melewati silinder dengan *short taper*, silinder dengan *long taper*, dan silinder dengan *splitter* adalah 1,35; 0,9465; dan 0,7662. Dengan bilangan *Re* sebesar $1,35 \times 10^5$, nilai koefisien *drag* yang ditimbulkan saat aliran melewati silinder dengan *long taper* dan silinder dengan *splitter* adalah 0,7795 dan 0,7327. Menurut Fox, dkk (2010), nilai koefisien *drag* yang ditimbulkan ketika aliran fluida melewati silinder dengan bilangan *Re* sebesar 5×10^4 ialah $\pm 1,0$. Nilai koefisien *drag* yang didapatkan oleh Kruger, dkk (2001) terlalu besar dibandingkan dengan koefisien *drag* yang didapatkan oleh Fox, dkk.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan, bahwa penambahan *splitter* di belakang silinder merupakan alternatif yang paling baik untuk mereduksi gaya *drag* yang terjadi dibandingkan dengan *short taper* dan *long taper*. Selain itu, bilangan *Re* pada aliran juga berpengaruh terhadap koefisien *drag* yang ditimbulkan.

Semakin besar bilangan Re suatu aliran, semakin kecil koefisien *drag* (C_d) yang terjadi pada permukaan *solid body*.

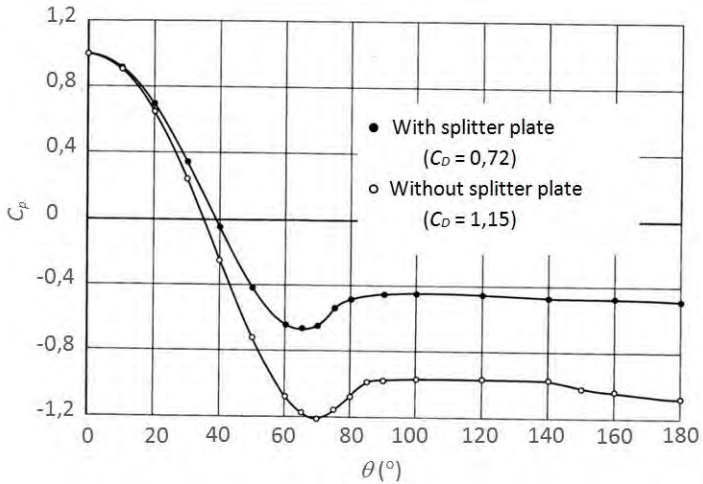


Gambar 2.7 Profil daerah *wake* di belakang benda uji (Kruger, dkk, 2001)

Roshko (1954) melakukan penelitian mengenai penambahan *splitter* di bagian belakang silinder sirkuler untuk menghambat terjadinya fenomena *vortex shedding*. *Splitter* dipasang menempel dengan silinder, sehingga tidak ada jarak (*gap*) antara *splitter* dengan silinder. *Splitter* yang digunakan memiliki panjang sebesar 5 kali diameter silinder ($L_{splitter} = 5Diameter$). Roshko menggunakan bilangan Reynolds sebesar 14.500 ketika melakukan penelitian.

Dari hasil penelitian didapatkan, penambahan *splitter* di bagian belakang silinder dapat menunda terjadinya fenomena *vortex shedding*. Selain itu, penambahan *splitter* di bagian belakang silinder dapat mereduksi koefisien *drag* dan

meningkatkan *base pressure* pada silinder. Gambar 2.8 menunjukkan perbandingan distribusi tekanan (C_p) pada silinder sirkular dengan dan tanpa penambahan *splitter*.



Gambar 2.8 Distribusi tekanan pada permukaan silinder (Roshko, 1954)

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, alternatif yang dapat dilakukan untuk menunda separasi aliran yaitu mengatur bilangan Re aliran dan memodifikasi profil benda menjadi lebih aerodinamis. Penambahan *splitter* di belakang silinder membuat profil silinder seolah-olah menjadi lebih aerodinamis, sehingga dapat menunda terjadinya separasi. Selain itu, penempatan *splitter* di belakang silinder sirkular dapat menunda terjadinya fenomena *vortex shedding*, yang akan mempengaruhi besarnya koefisien *drag* dan *lift* yang terjadi di sekitar silinder.

Studi yang dilakukan dimaksudkan untuk menganalisa pengaruh penambahan *splitter* di bagian belakang sirkular silinder terhadap karakteristik aliran yang melewatinya. Penelitian ini mengkaji korelasi keberadaan *splitter* terhadap distribusi tekanan di permukaan sirkular silinder serta korelasi profil kecepatan

aliran di daerah *wake* terhadap *drag* yang terjadi. Penelitian dilakukan secara numerik dan eksperimen. Data yang diperoleh dari studi numerik dan eksperimen akan dibandingkan ketika melakukan proses analisa data.

BAB III

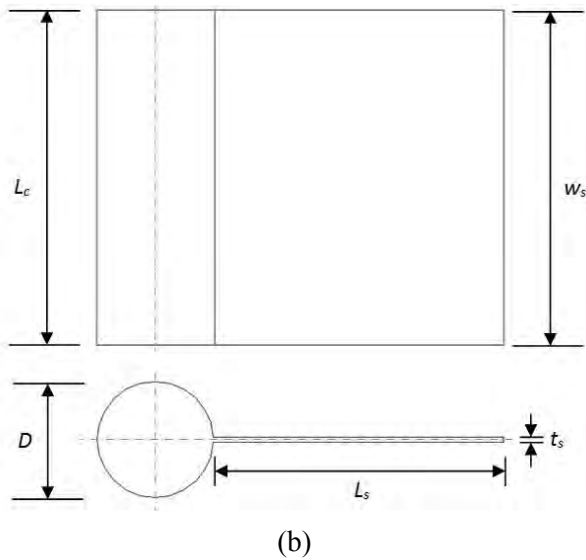
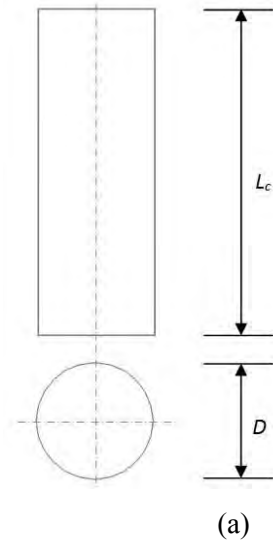
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan secara eksperimen dan numerik. Studi eksperimen dilakukan di terowongan angin (*wind tunnel*), sedangkan studi numerik dilakukan menggunakan *software* fluent 6.3.26. Data hasil pengukuran yang didapatkan dari studi eksperimen akan diproses untuk memperoleh besaran yang diinginkan dan dianalisa. Setelah itu, hasil yang didapatkan melalui studi eksperimen dibandingkan dengan hasil yang didapatkan melalui simulasi numerik.

3.1 Metode Eksperimen

3.1.1 Benda Uji

Pada penelitian ini akan digunakan dua buah benda uji, yaitu silinder sirkular dan silinder sirkular yang dilengkapi dengan *splitter* pada bagian belakang silinder. Benda uji yang digunakan terbuat dari paralon. Pada benda uji kedua, *splitter* dipasang menempel dengan silinder, sehingga tidak ada jarak (*gap*) antara *splitter* dengan silinder. Perbandingan panjang *splitter* dengan diameter silinder (L_s/D) sebesar 2,5 sedangkan perbandingan tebal *splitter* dengan diameter silinder (t/D) sebesar 0,08. Gambar 3.1 menunjukkan ilustrasi benda uji yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.1 Ilustrasi benda uji (a) sirkular silinder (b) sirkular silinder dengan penambahan *splitter*

dimana :

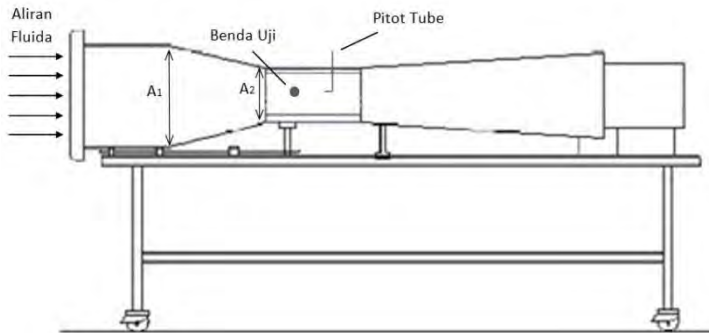
- Diameter sirkular silinder (D) : 30 mm
- Panjang sirkular silinder (L_c) : 300 mm
- Panjang *splitter* (L_s) : 75 mm
- Lebar *splitter* (W_s) : 300 mm
- Tebal *splitter* (t_s) : 2,4 mm

3.1.2 Peralatan Pengujian

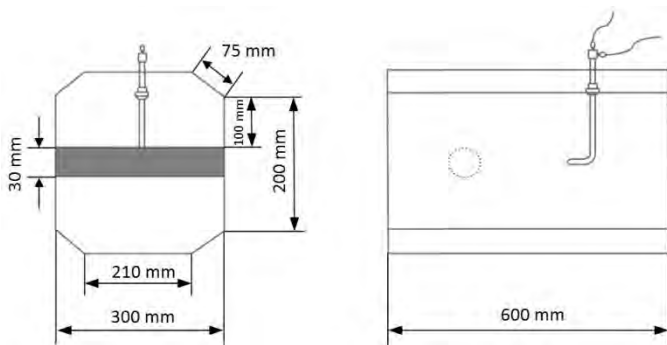
1. Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

Terowongan angin merupakan komponen utama yang digunakan sebagai tempat pengujian benda uji (gambar 3.2). Gambar 3.3 mengilustrasikan daerah pengujian (*test section*) yang berbentuk heksagonal, penempatan *Pitot tube* beserta mikrometer, dan penempatan benda uji pada *test section* terowongan angin. Spesifikasi terowongan angin yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jenis : *Subsonic Open Circuit Wind Tunnel*
- Dimensi *test section* : (300 x 600 x 300) mm
- Rasio penyempitan penampang (A_1/A_2) : 3,15 : 1
- Kecepatan aliran maksimum : 20 m/s
- Intensitas turbulensi : 0,8 % (Pudjanarsa dan Herman, 2012)
- Catu Daya : 240 volt/single/phase/50 Hz - 1,5 KW



Gambar 3.2 *Subsonic open circuit wind tunnel*



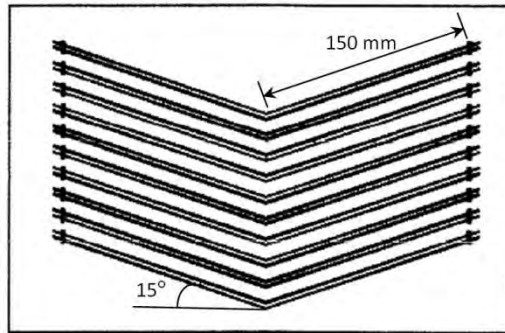
Gambar 3.3 *Test section pada wind tunnel*

2. Manometer

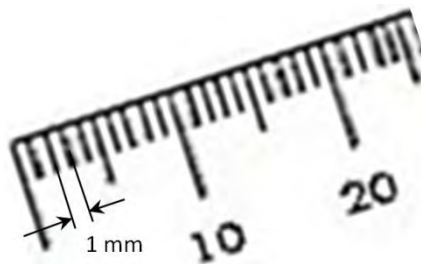
Manometer digunakan untuk menyatakan besar tekanan yang terukur oleh *pressure tap* dan *pitot tube*. Nilai tekanan yang terbaca oleh manometer digunakan untuk proses kalibrasi *pressure transducer*. Manometer yang digunakan adalah *inclined manometer*, seperti yang diilustrasikan oleh gambar 3.4. Gambar 3.5 mengilustrasikan skala minimum pada *inclined manometer*.

Spesifikasi manometer yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Sudut inklinasi : 15°
- Skala maksimum : 150 mm
- Skala minimum : 1 mm
- Fluida pengisi manometer : *Red Oil* dengan SG = 0.804



Gambar 3.4 *Inclined* manometer

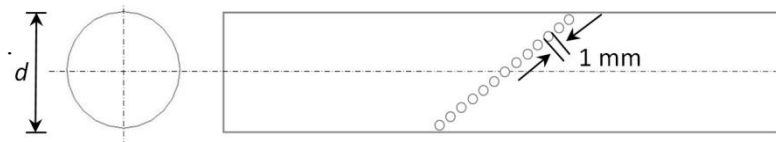


Gambar 3.5 Perbesaran skala pada *inclined* manometer

3. *Pressure Tap*

Pressure tap berbentuk lubang – lubang kecil berdiameter 1 mm yang dipasang sepanjang kontur benda uji yang searah aliran dan tegak lurus permukaan benda uji. *Pressure tap* digunakan untuk mengukur tekanan statis pada permukaan benda uji. Dalam

proses kalibrasi *pressure transducer*, *pressure tap* dihubungkan dengan manometer. Sedangkan dalam proses pelaksanaan eksperimen, *pressure tap* dihubungkan dengan *pressure transducer*. *Pressure tap* yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 36 buah, mengelilingi permukaan silinder sirkular seperti yang diilustrasikan oleh gambar 3.6.

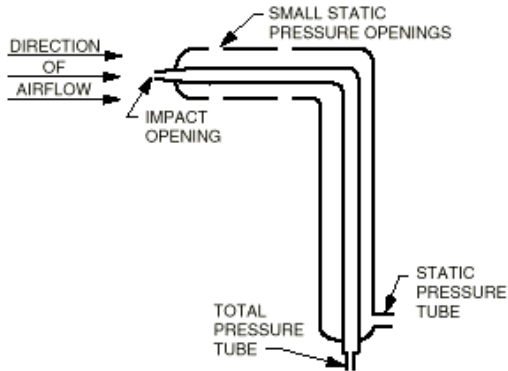


Gambar 3.6 *Pressure tap* pada benda uji

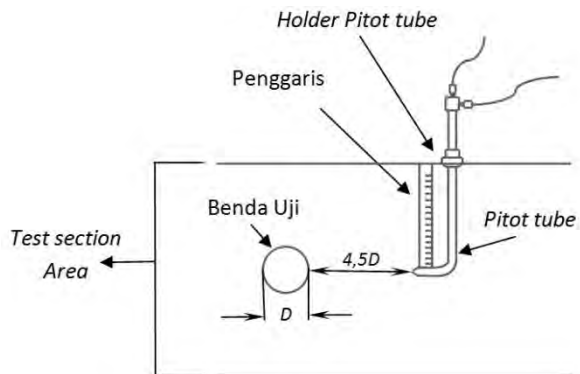
4. *Pitot Tube*

Pitot tube digunakan untuk mengukur tekanan stagnasi dan tekanan statis pada setiap titik yang ditinjau di daerah *midspan* dan daerah *wake* yang terdapat di bagian belakang benda uji. Pada saat proses kalibrasi *pressure transducer*, pengukuran tekanan stagnasi dilakukan dengan menghubungkan manometer dengan *total pressure tube*, sedangkan pengukuran tekanan statis dilakukan dengan menghubungkan manometer dengan *static pressure tube*. Pada pelaksanaan proses eksperimen, pengukuran tekanan stagnasi dan tekanan statis dilakukan dengan menghubungkan *pressure transducer* dengan *total pressure tube* dan *static pressure tube*. Letak *total pressure tube* dan *static pressure tube* pada *Pitot tube* diilustrasikan melalui gambar 3.7.

Selisih antara tekanan statis dan tekanan stagnasi yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan distribusi kecepatan pada setiap titik yang ditinjau di daerah *midspan* dan daerah *wake* yang terdapat di bagian belakang benda uji. Gambar 3.8 mengilustrasikan posisi *Pitot tube* terhadap benda uji dalam *test section* pada *wind tunnel*.



Gambar 3.7 Pitot tube



Gambar 3.8 Posisi Pitot tube terhadap benda uji

5. Pressure Transducer

Pressure transducer digunakan untuk mengukur arus listrik, yang selanjutnya akan digunakan untuk mendapatkan Δh_{statis} dan $\Delta h_{dinamis}$. Besarnya Δh_{statis} dan $\Delta h_{dinamis}$ yang didapatkan, selanjutnya dapat diolah untuk mengetahui besarnya tekanan

statis pada kontur benda uji dan tekanan dinamis di daerah *midspan* dan daerah *wake* yang terdapat di belakang benda uji. Pressure transducer yang digunakan dalam pelaksanaan eksperimen, diilustrasikan melalui gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Pressure transducer*

6. Penggaris

Penggaris digunakan untuk melakukan pergeseran titik pengukuran kecepatan pada daerah *midspan* dan daerah *wake* di bagian belakang benda uji. Alat ukur ini mempunyai pembacaan terkecil 1 mm. Penempatan penggaris pada test *section area wind tunnel*, diilustrasikan melalui gambar 3.8.

7. Termometer

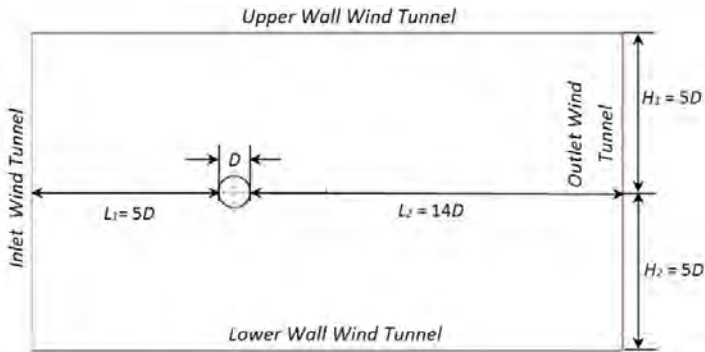
Termometer digunakan untuk mengukur temperatur udara di ruangan tempat *wind tunnel* berada. Pengukuran temperatur udara ditunjukkan untuk menentukan massa jenis (ρ) dan viskositas udara (μ) dalam perhitungan bilangan *Re*.

3.1.3 Prosedur Pengambilan Data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pemasangan benda uji pada *wind tunnel*.

Benda uji diletakkan pada *wind tunnel* dengan jarak $5D$ dari sisi *inlet test section* dan $14D$ dari sisi *outlet* seperti yang ditunjukkan melalui gambar 3.10.



Gambar 3.10 Posisi benda uji pada *test section area wind tunnel*

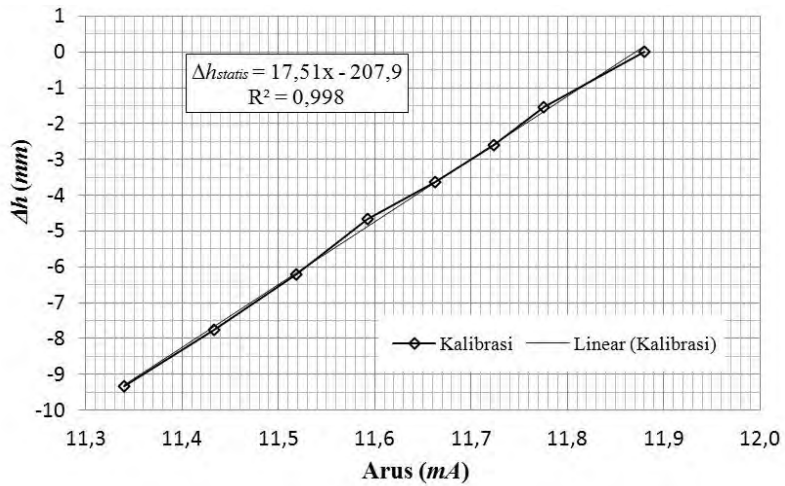
2. Pengukuran temperatur udara di ruangan tempat pelaksanaan eksperimen.

Temperatur udara di ruang tempat pelaksanaan eksperimen dilakukan menggunakan termometer. Temperatur udara yang terukur sebesar $26\text{ }^{\circ}\text{C}$.

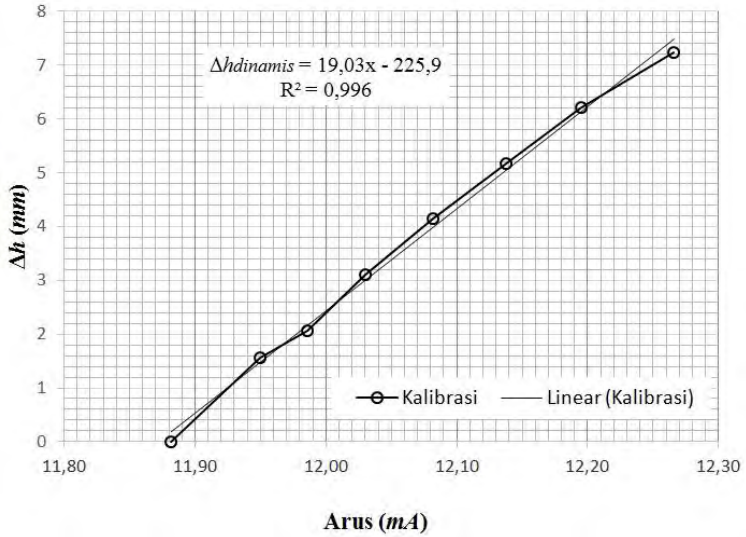
3. Kalibrasi *pressure transducer*.

Parameter yang diukur dalam pelaksanaan kalibrasi *pressure transducer* adalah arus listrik dan perubahan ketinggian yang terbaca oleh manometer pada kontur silinder di sudut 0° dan daerah *free stream*. Dari parameter tersebut, akan didapatkan persamaan yang digunakan dalam perhitungan Δh_{statis} dan $\Delta h_{dinamis}$ daerah *free stream* serta Δh_{statis} pada kontur silinder tanpa penambahan *splitter*. Ketiga persamaan Δh tersebut akan

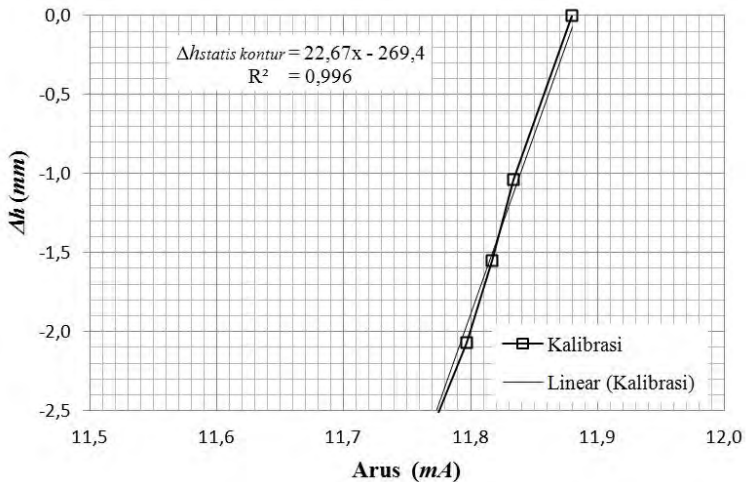
digunakan untuk mendapatkan nilai tekanan statis dan dinamis pada daerah *free stream*, serta tekanan statis pada kontur silinder tanpa penambahan *splitter*. Gambar 3.11, 3.12, dan 3.13 menunjukkan grafik hasil kalibrasi tekanan statis dan dinamis di daerah *free stream* serta tekanan statis pada kontur silinder tanpa penambahan *splitter*.



Gambar 3.11 Kalibrasi *pressure transducer* untuk Δh_{statis} di daerah *free stream*



Gambar 3.12 Kalibrasi *pressure transducer* untuk $\Delta h_{dinamis}$ di daerah *free stream*



Gambar 3.13 Kalibrasi *pressure transducer* untuk Δh_{statis} di kontur silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*

Dari gambar 3.11, 3.12, dan 3.13 didapatkan persamaan untuk menghitung Δh_{statis} di daerah *free stream*, $\Delta h_{dinamis}$ di daerah *free stream*, dan Δh_{statis} di kontur silinder tapa penambahan *splitter plate*. Ketiga persamaan tersebut ditulis dalam persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3.

$$\Delta h_{statis \text{ free stream}} = 17,51 I_{statis} - 207,9 \quad (3.1)$$

$$\Delta h_{dinamis \text{ free stream}} = 19,03 I_{dinamis} - 225 \quad (3.2)$$

$$\Delta h_{statis \text{ kontur}} = 22,67 I_{statis} - 269,4 \quad (3.3)$$

4. *Set-up* kecepatan aliran fluida pada *wind tunnel*.

Wind tunnel dikondisikan dengan mengatur besar putaran *fan* menggunakan *inverter* hingga mencapai kecepatan aliran yang dibutuhkan. Kecepatan aliran yang dibutuhkan sebesar 13,5 m/s, agar menghasilkan bilangan Reynolds yang diharapkan, yaitu $2,6 \times 10^4$.

5. Pengukuran tekanan statis pada permukaan silinder sirkuler.

Pengukuran tekanan statis pada permukaan sirkular silinder dilakukan dengan menghubungkan *pressure tap* yang terdapat pada permukaan silinder dengan *pressure transducer*. Pengukuran tekanan statis pada permukaan silinder dilakukan pada 36 titik.

6. Pengukuran tekanan dinamis pada daerah *midspan* dan *wake* di bagian belakang silinder sirkuler.

Profil kecepatan aliran pada daerah *midspan* dan *wake* di bagian belakang silinder didapatkan dari tekanan dinamis. Pengukuran tekanan dinamis dilakukan dengan menghubungkan *pressure transducer* dengan *Pitot tube*. Pengukuran tekanan dinamis di daerah *midspan* dan daerah *wake* dilakukan dengan jarak 5 mm tiap titik.

7. Mencatat data yang diperoleh dari hasil pengukuran.

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dicatat dan diolah ke dalam nilai besaran yang diinginkan. Hasil eksperimen disajikan dalam bentuk grafik menggunakan software microsoft excel.

8. Mengulangi prosedur 1-7 untuk sirkular silinder yang dilengkapi dengan penambahan *splitter*.

3.2 Pemodelan Numerik

Dalam pelaksanaan studi numerik terdapat tiga tahapan yang akan dilakukan, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. Tahap *pre-processing* menggunakan software Gambit 2.4.6, sedangkan tahap *processing* dan *post-processing* menggunakan software Fluent 6.3.26.

3.2.1 Tahap Pre-processing

Tahap *pre-processing* merupakan tahap awal yang dilakukan saat melakukan studi numerik. Pada tahap *pre-processing* terdapat tiga langkah yang akan dilakukan, yaitu:

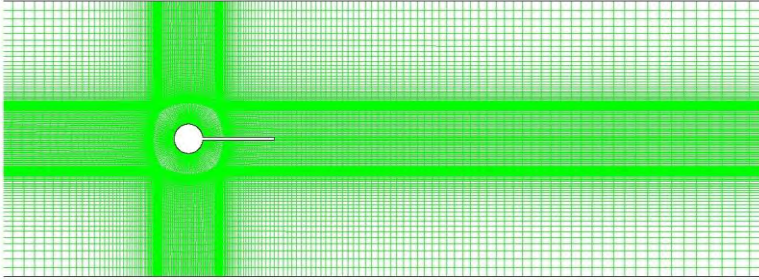
1. Pembuatan model geometri

Model geometri dibuat dengan perspektif 2 dimensi menggunakan software gambit 2.4.6. Geometri yang dibuat sebagai model simulasi adalah benda uji dan *test section area* pada *wind tunnel*.

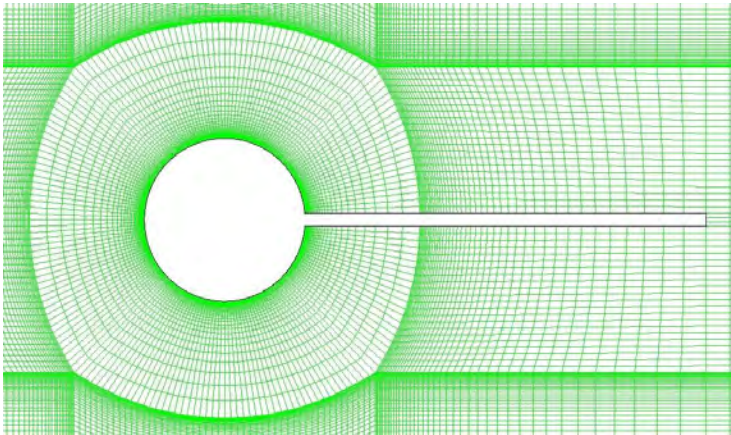
2. Pembuatan *meshing*

Cara membuat *mesh* adalah dengan membagi model *solid* menjadi beberapa *face*. Dari tiap *face* kemudian dibuat *meshing* yang sesuai. Pembagian *face* ini berfungsi untuk memperbaiki daerah dengan kemungkinan memiliki hasil *meshing* yang tidak terlalu baik. Bentuk *mesh* yang dipilih adalah *quadrilateral-map*,

seperti yang dilakukan oleh Edwin (2014). Gambar 3.14 dan 3.15 merupakan hasil dari *meshing* yang didapatkan.



Gambar 3.14 Hasil *meshing* pada pemodelan geometri

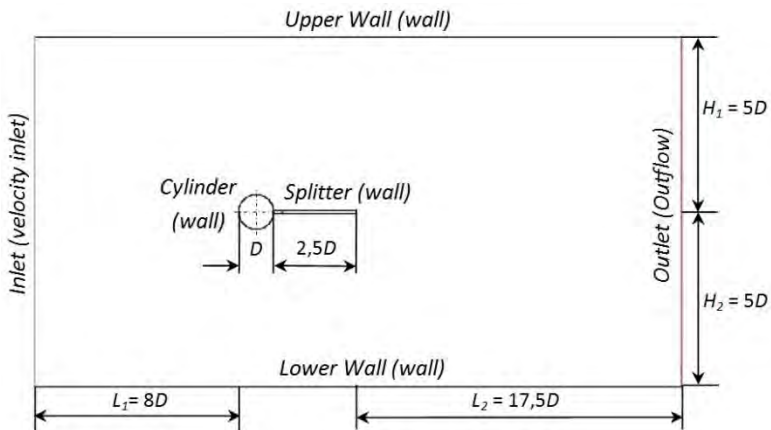


Gambar 3.15 Perbesaran hasil *meshing* di sekitar benda uji

3. Penentuan daerah analisa

Penentuan daerah analisa yaitu sebuah proses di dalam gambit yang digunakan untuk menentukan kondisi batas serta jenis kondisi batas yang diinginkan. Pada pemodelan kali ini terdapat tiga jenis kondisi batas yang digunakan, yaitu *velocity inlet*,

outflow, dan *wall*. Sisi depan *test section area* pada *wind tunnel* berfungsi sebagai *inlet* dengan jenis kondisi batas *velocity inlet*, sedangkan sisi belakang *test section area* pada *wind tunnel* berfungsi sebagai *outlet* dengan jenis kondisi batas *outflow*. Sisi atas dan bawah *test section area* pada *wind tunnel*, permukaan silinder sirkular, dan *splitter* berfungsi sebagai *upper wall*, *lower wall*, *cylinder*, dan *splitter* dengan jenis kondisi batas *wall*. Gambar 3.16 menunjukkan kondisi batas pada pemodelan geometri yang digunakan pada studi numerik.



Gambar 3.16 Kondisi batas pada pemodelan geometri

3.2.2 Tahap *Processing*

Setelah melakukan tahap *pre-processing*, langkah selanjutnya adalah tahap *processing* dengan menggunakan software Fluent 6.3.26. Tahap *processing* merupakan proses lanjutan setelah data pemodelan geometri diekspor oleh gambit kedalam data dengan format “.msh”. Langkah-langkah yang dilakukan dalam tahap *processing* meliputi:

1. *Grid*

Langkah pertama yang dilakukan setelah membuka *software* Fluent adalah membuka data pemodelan geometri dengan format “.msh” yang telah diekspor oleh gambit, kemudian dilakukan pengecekan grid. Setelah melakukan pengecekan grid, skala pemodelan diatur ke dalam satuan panjang yang diinginkan. Studi numerik ini menggunakan skala dalam cm.

2. *Models*

Pada langkah ini dilakukan pemodelan karakteristik aliran, meliputi pemilihan model *solver* dan penentuan *turbulence model* yang digunakan. *Turbulence model* yang digunakan untuk penelitian ini adalah *k- ω SST*. Pemodelan ini dipilih didasarkan pada penelitian terdahulu oleh Edwin (2014). Selain itu, pemodelan *k- ω SST* lebih akurat untuk menganalisa aliran didekat dinding maupun aliran yang jauh dari dinding dan juga kasus *adverse pressure gradient*.

3. *Materials*

Pada tahap ini dilakukan penetapan jenis material yang akan digunakan dalam proses pemodelan, yaitu udara dengan nilai densitas (ρ) dan viskositas (μ) sebesar $1,181 \text{ kg/m}^3$ dan $1,84 \times 10^{-5} \text{ kg.s/m}$, sesuai dengan temperatur yang digunakan saat melaksanakan penelitian yaitu 26° .

4. *Boundary Conditions*

Boundary condition merupakan penentuan parameter-parameter dan batasan yang mungkin terjadi pada aliran, yaitu dengan pemberian beban kecepatan maupun tekanan pada sisi *inlet* ataupun *outlet*. *Inlet* merupakan sisi aliran datang yang didefinisikan sebagai *velocity inlet* dengan besar $13,5 \text{ m/s}$. Besarnya *velocity inlet* yang digunakan disesuaikan dengan bilangan Reynolds yang digunakan pada saat pengambilan data secara eksperimen.

5. *Solution*

Pada tahap ini dilakukan pemilihan jenis *pressure velocity coupling*, *pressure discretization*, *momentum discretization*, *turbulent kinetic energy discretization*, dan *specific dissipation rate discretization* yang digunakan. *Pressure velocity coupling* menggunakan jenis *simplec*, *pressure discretization* menggunakan jenis *second order*, sedangkan *turbulent kinetic energy discretization*, dan *specific dissipation rate discretization* menggunakan jenis *second order upwind*.

6. *Initialize*

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

7. *Monitor Residual*

Monitor residual adalah tahap penyelesaian masalah, berupa proses iterasi hingga mencapai harga *convergence criterion* yang diinginkan. *Convergence criterion* untuk nilai *continuity* ditetapkan sebesar 10^{-6} , artinya proses iterasi dinyatakan konvergen setelah residualnya mencapai harga lebih kecil dari 10^{-6} .

8. *Monitir Force*

Monitor force digunakan untuk menampilkan besarnya harga total *drag* yang terdapat pada benda uji.

9. *Reference Value*

Reference value merupakan tahap untuk menentukan nilai-nilai referensi yang akan digunakan dalam proses perhitungan numerik. Daerah yang dijadikan referensi adalah daerah *inlet*, dengan luas area dan kedalaman benda uji sebesar $0,0045 \text{ m}^2$ dan $0,3 \text{ m}$. Temperatur sisi inlet disesuaikan dengan temperatur ruangan saat melakukan eksperimen, yaitu 299 K .

10. Iterasi

Iterasi adalah langkah untuk melakukan perhitungan pada fluent 6.3.26 sampai menghasilkan solusi yang konvergen.

11. *Grid Independency Test*

Grid independency dilakukan untuk memastikan *grid* yang telah independen terhadap kasus yang disimulasikan. Dalam pelaksanaan *grid independency*, dilakukan pembagian jumlah *meshing* kedalam 5 jenis. Selanjutnya, hasil yang diperoleh dari 5 jenis *meshing* akan dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai bentuk validasi. Penelitian ini menggunakan analisa *grid independency* koefisien *drag* (C_D), yang akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Alam, dkk (2003). Nilai C_D dari *grid independency* dan validasi ditampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Analisa *grid independency* dan validasi koefisien *drag* silinder tunggal $D = 30$ mm dengan $Re = 5,5 \times 10^4$

Jenis <i>Meshing</i>	Jumlah Elemen (<i>cells</i>)	Nilai C_D	C_D (Alam, dkk 2003) Eksperimen	<i>Error</i> (%)
<i>Meshing A</i>	51.000	1,194	1,12	6.61
<i>Meshing B</i>	60.600	1,193	1,12	6.52
<i>Meshing C</i>	67.200	1,186	1,12	5.89
<i>Meshing D</i>	69.600	1,181	1,12	5.45
<i>Meshing E</i>	72.000	1,181	1,12	5.45

Berdasarkan tabel 3.1, *meshing A* merupakan *meshing* yang paling renggang dengan jumlah *cell* sebanyak 51.000, sedangkan *meshing E* merupakan *meshing* yang paling rapat dengan jumlah *cell* sebanyak 72.000. Dari tabel 3.1 didapatkan, nilai C_D yang

cenderung konstan terjadi pada *meshing* D dan *meshing* E, walaupun kedua jenis *meshing* tersebut memiliki selisih jumlah *cell* yang cukup jauh. Oleh karena itu dapat disimpulkan, *meshing* D dan E mencapai independensi *grid* dalam simulasi numerik.

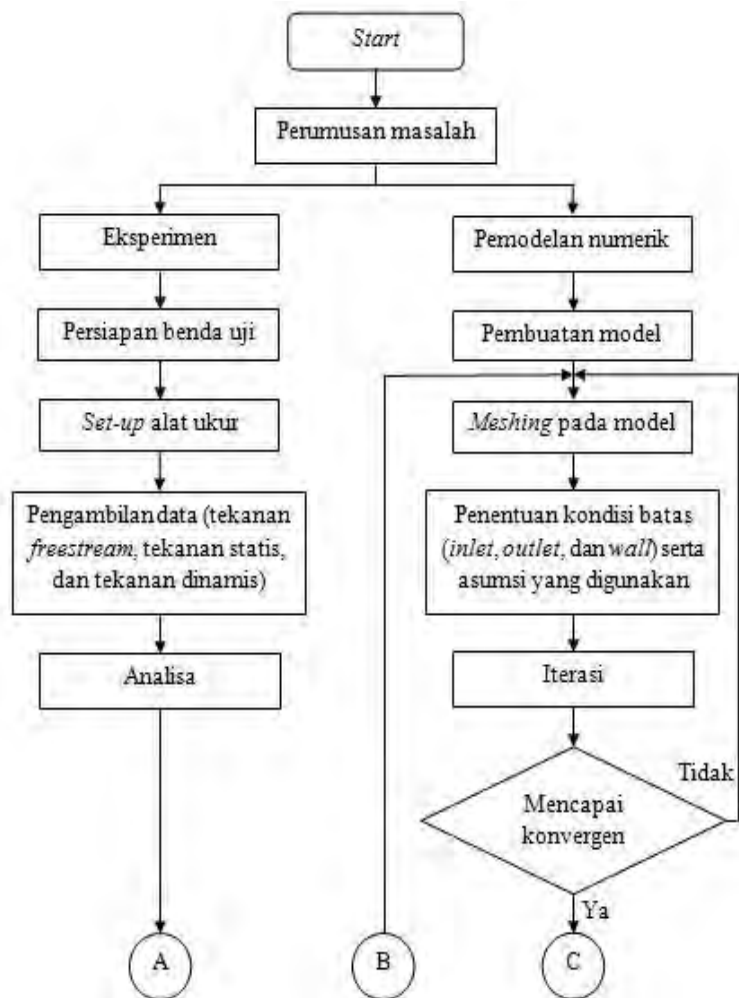
Salah satu pertimbangan dalam melakukan simulasi numerik adalah optimasi waktu dan memori yang digunakan. Dalam kasus ini, *meshing* D memiliki tingkat kerapatan yang lebih kecil dari *meshing* E, sehingga waktu dan memori yang dibutuhkan dalam proses penyelesaian numerik lebih sedikit dari *meshing* E. Oleh karena itu, *meshing* yang digunakan adalah *meshing* D.

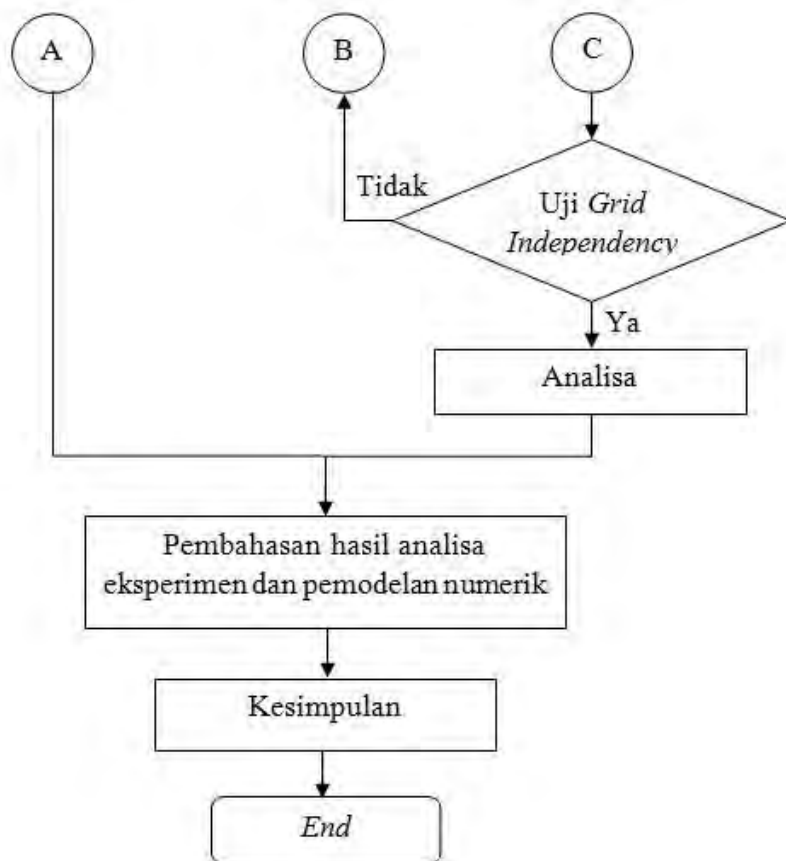
3.2.3 Tahap *Post-processing*

Post-processing merupakan penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh. Hasil simulasi yang diperoleh dari fluent 6.3.26 dapat divisualisasikan dengan menampilkan *display grid*, kontur, atau vektor dari *properties* fluida yang diinginkan.

3.3 *Flow Chart* Penelitian

Secara keseluruhan, tahap pelaksanaan penelitian mengacu pada *flow chart* yang ditunjukkan melalui gambar 3.17.





Gambar 3.17 *Flow chart* pelaksanaan penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisa dan pembahasan data dari hasil studi eksperimen dan simulasi numerik. Data yang diperoleh dari penelitian ini berupa data kuantitatif dan kualitatif. Adapun permasalahan yang akan dibahas dan ditampilkan antara lain analisa koefisien tekanan (C_p), koefisien *drag total* (C_{Dt}), profil kecepatan fluida di daerah *midspan*, dan profil kecepatan fluida di belakang benda uji sebagai data kuantitatif. Sementara itu, visualisasi aliran berupa kontur tekanan statis, kontur kecepatan aliran fluida, dan *velocity pathline* digunakan sebagai data kualitatif untuk memperkuat data yang diolah sebelumnya.

4.1. Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan diambil dari data silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate* dengan bilangan Reynolds sebesar $2,6 \times 10^4$.

4.1.1. Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Untuk mendapatkan nilai bilangan Reynolds yang diinginkan, perlu dilakukan perhitungan terhadap beberapa properties fluida, seperti massa jenis (ρ), viskositas absolut (μ), dan kecepatan *free stream* (U_∞). Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian adalah udara, yang bersifat *steady* dan *incompressible*.

a. Massa Jenis Udara (ρ)

Dari persamaan gas ideal didapatkan:

$$P = \rho RT, \quad (4.1)$$

dimana:

- P = tekanan absolut udara
- R = konstanta gas
- T = temperatur udara

Apabila diketahui bahwa tekanan absolut udara dalam keadaan acuan (P_1) memiliki nilai yang sama dengan tekanan absolut

udara dalam penelitian (P_2) sebesar $1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, maka

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 \\ \rho_1 R T_1 &= \rho_2 R T_2, \\ \rho_1 T_1 &= \rho_2 T_2 \\ \rho_2 &= \rho_1 \frac{T_1}{T_2} \end{aligned} \quad (4.2)$$

dimana:

$$\begin{aligned} T_1 &= \text{temperatur udara pada keadaan 1 (acuan)} \\ &= 288,2 \text{ K} \\ \rho_1 &= \text{massa jenis udara pada keadaan 1 (acuan)} \\ &= 1,225 \text{ kg/m}^3 \\ T_2 &= \text{temperatur udara pada keadaan 2 (penelitian)} \\ &= 26 \text{ }^\circ\text{C} = 299,15 \text{ K} \\ \rho_2 &= \text{massa jenis udara pada keadaan 2 (penelitian)} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan nilai T_1 , T_2 , dan ρ_1 ke dalam persamaan 4.2, didapatkan:

$$\rho_2 = \frac{288,2 \text{ K} \times 1,225 \text{ kg/m}^3}{299,15 \text{ K}} = 1,181 \text{ kg/m}^3$$

b. Viskositas Absolut Udara (μ)

Viskositas absolut udara dihitung menggunakan persamaan *Sutherland*, sebagai berikut:

$$\mu = \frac{bT^{3/2}}{S+T} \quad (4.3)$$

dimana untuk udara:

$$b = 1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m.s.K}^{1/2}}$$

$$S = 110,4 \text{ K}$$

$$T = \text{temperatur saat pengujian} = 299,15 \text{ K}$$

Apabila nilai b , s , dan T dimasukkan ke dalam persamaan 4.3, didapatkan:

$$\mu = \frac{1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m.s.K}^{1/2}} \times (299,15)^{3/2} \text{ K}}{110,4\text{K} + 299,15\text{K}}$$

$$\mu = 1,841 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

c. Kecepatan *free stream* (U_{∞})

Kecepatan *free stream* digunakan untuk memperoleh nilai bilangan Reynolds yang diinginkan, yaitu $2,6 \times 10^4$. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan *free stream* aliran udara yang sesuai yaitu:

$$R_e = \frac{\rho U_{\infty} D}{\mu} \quad (4.4)$$

dimana:

$$\begin{aligned} R_e &= \text{bilangan Reynolds,} \\ &\quad \text{pada penelitian ini bernilai } 2,6 \times 10^4 \\ \rho &= \text{massa jenis udara} = 1,181 \text{ kg/m}^3 \\ \mu &= \text{viskositas udara} = 1,84 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} \\ D &= \text{diameter silinder} = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m} \\ U_{\infty} &= \text{kecepatan } \textit{free stream} \text{ udara} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan nilai R_e , ρ , μ , D , dan U_{∞} ke dalam persamaan 4.4, didapatkan nilai *free stream* yang dibutuhkan, yaitu:

$$U_{\infty} = \frac{R_e \times \mu}{\rho \times D}$$

$$U_{\infty} = \frac{2 \times 10^4 \times 1,84 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}{1,181 \text{ kg/m}^3 \times 3 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$U_{\infty} = 13,5 \text{ m/s}$$

4.1.2. Perhitungan Koefisien Tekanan (C_p)

Data yang digunakan dalam contoh perhitungan koefisien tekanan, dilakukan pada kontur silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate* pada sudut 90° . Untuk mendapatkan nilai koefisien tekanan pada kontur silinder sirkular di sudut 90° , dilakukan perhitungan terhadap tekanan statis udara *free stream*, tekanan dinamis udara *free stream*, dan tekanan statis kontur silinder.

a. Tekanan Statis Udara *Free Stream* (P_{S_∞})

Tekanan statis udara *free stream* (P_{S_∞}) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{S_\infty} = \frac{SG_{red\ oil} \times \rho H_2O \times g \times \Delta h_{statis\ free\ stream}}{1000} \quad (4.5)$$

dimana $\Delta h_{statis\ free\ stream}$ dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$\Delta h_{statis\ free\ stream} = 17,51 I_{statis} - 207,9$$

$$\Delta h_{statis\ free\ stream} = 17,51 (10,974) - 207,9$$

$$\Delta h_{statis\ free\ stream} = -15,75 \text{ mm}$$

Dengan memasukkan nilai $SG_{red\ oil}$, ρH_2O , g , dan Δh_{statis} ke dalam persamaan 4.5, didapatkan:

$$P_{S_\infty} = \frac{0,804 \times 999 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times (-15,75 \text{ mm})}{1000 \text{ mm} / \text{m}}$$

$$P_{S_\infty} = -124,062 \text{ Pa}$$

b. Tekanan Dinamis Udara *Free Stream* ($P_{D\infty}$)

Tekanan dinamis udara *free stream* ($P_{D\infty}$) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{D\infty} = \frac{SG_{red\ oil} \times \rho H_2O \times g \times \Delta h_{dinamis\ free\ stream}}{1000} \quad (4.6)$$

dimana $\Delta h_{dinamis\ free\ stream}$ dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 sebagai berikut:

$$\Delta h_{dinamis\ free\ stream} = 19,03 I_{dinamis} - 225,9$$

$$\Delta h_{dinamis\ free\ stream} = 19,03 (12,590) - 225,9$$

$$\Delta h_{dinamis\ free\ stream} = 13,688 \text{ mm}$$

Dengan memasukkan nilai $SG_{red\ oil}$, ρH_2O , g , dan $\Delta h_{dinamis}$ ke dalam persamaan 4.6, didapatkan:

$$P_{D\infty} = \frac{0,804 \times 999 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times (13,688 \text{ mm})}{1000 \text{ mm} / \text{m}}$$

$$P_{D\infty} = 107,85 \text{ Pa}$$

c. Tekanan Statis Kontur Silinder ($P_{S\ kontur}$)

Tekanan statis kontur silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* dihitung pada sudut 90° dengan menggunakan persamaan:

$$P_{S\ kontur} = \frac{SG_{red\ oil} \times \rho H_2O \times g \times \Delta h_{statiskontur}}{1000} \quad (4.7)$$

dimana $\Delta h_{statis\ kontur}$ dihitung dengan menggunakan persamaan 3.3 sebagai berikut:

$$\Delta h_{statis\ kontur} = 22,67 I_{statis} - 269,4$$

$$\Delta h_{statis\ kontur} = 22,67 (10,180) - 269,4$$

$$\Delta h_{statis\ kontur} = -38,619 \text{ mm}$$

Dengan memasukkan nilai $SG_{red\ oil}$, ρH_2O , g , dan $\Delta h_{dinamis}$ ke dalam persamaan 4.6, didapatkan:

$$P_{S\ kontur} = \frac{0,804 \times 999 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times (-38,619 \text{ mm})}{1000 \text{ mm} / \text{m}}$$

$$P_{S\ kontur} = -304,3 \text{ Pa}$$

d. Koefisien Tekanan (C_p)

Koefisien tekanan diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.2, yaitu:

$$C_p = \frac{P_{S\ kontur} - P_{S\ \infty}}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2}$$

$$C_p = \frac{P_{S\ Kontur} - P_{S\ \infty}}{P_{D\ \infty}}$$

$$C_p = \frac{(-304,3 \text{ Pa}) - (-124,062 \text{ Pa})}{107,85 \text{ Pa}}$$

$$C_p = -1,671$$

Tabel perhitungan koefisien tekanan (C_p) pada kontur silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter plate* secara lengkap terdapat pada lampiran A₁ dan A₂.

4.1.3. Perhitungan Koefisien *Pressure Drag* (C_{Dp})

Sebagai contoh perhitungan koefisien *pressure drag* (C_{Dp}), digunakan perhitungan yang ada pada silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*. Secara matematis, koefisien *pressure drag* (C_{Dp}), dirumuskan sebagai:

$$C_{Dp} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta \quad (4.8)$$

Apabila:

$$I = \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta \quad (4.9)$$

maka persamaan 4.8 menjadi:

$$C_{Dp} = \frac{I}{2} \quad (4.10)$$

Dengan menggunakan metode numerik aturan *Simpson 1/3* segmen berganda yang dirumuskan sebagai

$$I \cong (b-a) \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n} \quad (4.11)$$

dimana:

$$\begin{aligned} a &= 0 \\ b &= 2\pi \\ n &= 37 \\ f(x_0) &= 0,95729 \\ 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) &= 28,69175 \\ 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) &= 12,49533 \\ f(x_n) &= 0,95729 \end{aligned}$$

sehingga:

$$C_{Dp} = \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi - 0}{3 \times 37} \{ (0,957294) + (28,69175) + (12,49533) + (0,957294) \} \right]$$

$$C_{Dp} = 1,220$$

Tabel integrasi C_p silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter plate* untuk menghitung koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) terdapat pada lampiran B₁ dan B₂.

4.1.4. Perhitungan Koefisien Total Drag (C_{Dt})

Data yang digunakan dalam contoh perhitungan koefisien *drag* total adalah data pada silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*. Perhitungan C_{Dt} dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$C_{Dt} = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A}$$

dimana:

$$A = D.L$$

D = diameter silinder sirkular (m)

L = panjang silinder sirkular (m)

Berdasarkan persamaan 2.16, gaya *drag* (F_D) didefinisikan sebagai:

$$F_D = 2 \int_0^h \rho u_1^2 L dy - 2 \int_0^h \rho u_2^2 L dy$$

Persamaan 2.16 dapat disederhanakan menjadi:

$$F_D = 2\rho L \int_0^h (u_1^2 - u_2^2) dy \quad (4.12)$$

Substitusi persamaan 4.12 ke dalam persamaan 2.7 menghasilkan:

$$C_{Dr} = \frac{2\rho L \int_0^h (u_1^2 - u_2^2) dy}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 DL}$$

$$C_{Dr} = \frac{4 \int_0^h (u_1^2 - u_2^2) dy}{U_\infty^2 D} \quad (4.13)$$

Apabila I didefinisikan sebagai:

$$I = \int_0^h (u_1^2 - u_2^2) dy \quad (4.14)$$

maka substitusi persamaan 4.14 ke dalam persamaan 4.13 menghasilkan:

$$C_{Dr} = \frac{4}{U_\infty^2 D} I \quad (4.15)$$

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

$$I \cong (b-a) \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n} \quad (4.22)$$

dimana:

$$\begin{aligned} a &= 0 \\ b &= 0,135 \\ n &= 28 \\ f(x_0) &= -103,734 \\ 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) &= 652,602 \end{aligned}$$

$$2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) = 478,689$$

$$f(x_n) = 41,543$$

Sehingga:

$$C_{Dt} = \frac{4}{13,52^2 \cdot 0,03} \left[\frac{0,135 - 0}{3 \times 28} \{(-103,734) + (652,602) + (478,689) + (41,543)\} \right]$$

$$C_{Dt} = \frac{4}{13,52^2 \cdot 0,03} (1,718)$$

$$C_{Dt} = 1,253$$

Tabel integrasi u_1 dan u_2 silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter plate* untuk menghitung koefisien *total drag* (C_{Dt}) secara lengkap terdapat pada lampiran C₁ dan C₂.

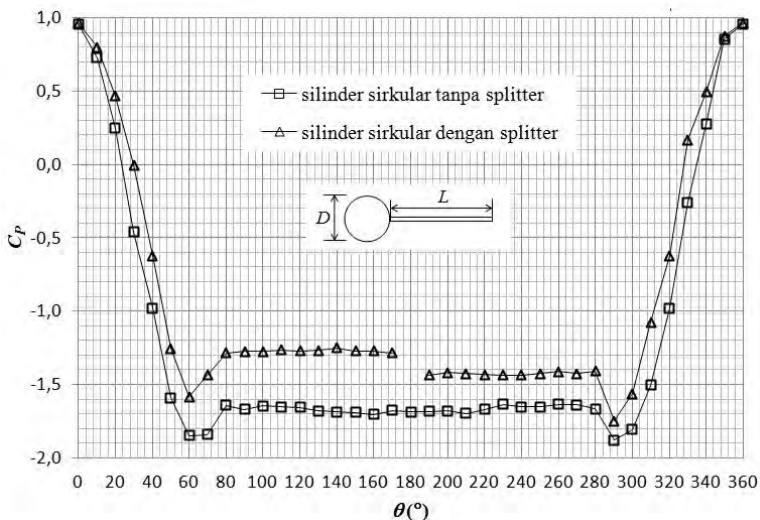
4.2. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) Pada Silinder Sirkular

4.2.1. Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan *Splitter Plate*

Distribusi koefisien tekanan (C_p) pada kontur silinder sirkular dengan dan tanpa *splitter plate* ditunjukkan melalui gambar 4.1 dan 4.2. Gambar 4.1 menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada kontur silinder sirkular yang diperoleh dari hasil eksperimen, sedangkan gambar 4.2 menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada kontur silinder sirkular yang diperoleh dari hasil simulasi numerik. Daerah pada silinder sirkular yang ditinjau besar koefisien tekanannya berada pada rentang sudut 0° - 360° . Posisi *splitter plate* terletak di sekitar sudut 180° pada silinder. Diameter silinder sirkular yaitu 30 mm, dengan bilangan Reynolds sebesar $2,6 \times 10^4$.

Dari kecenderungan kurva yang terdapat dalam grafik pada gambar 4.1, dapat diketahui bahwa koefisien tekanan di sekeliling dinding silinder sirkular tanpa dan dengan *splitter*

memiliki nilai yang tidak seragam. Menurut Fox, dkk (2010), nilai C_p pada sudut 0° di silinder sirkular seharusnya bernilai 1, sebab pada daerah tersebut terdapat titik stagnasi aliran. Namun berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, C_p pada sudut 0° di silinder sirkular, tanpa maupun dengan penambahan *splitter*, bernilai kurang dari 1. Nilai C_p pada sudut 0° untuk silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* sebesar 0,957, sedangkan nilai C_p pada sudut 0° untuk silinder sirkular dengan penambahan *splitter* sebesar 0,962. Kurang akuratnya data yang diperoleh pada titik stagnasi dapat disebabkan oleh kesalahan yang mungkin dilakukan saat melakukan proses kalibrasi.



Gambar 4.1 Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular dari hasil eksperimen tanpa dan dengan *splitter* $L/D = 2,5$

Setelah titik stagnasi, aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya grafik C_p hingga mencapai nilai terendah. Nilai C_p terendah mengindikasikan terjadinya kecepatan maksimum pada aliran. Kecepatan maksimum aliran terjadi di sekitar sudut 60° di sisi *upper* dan sekitar sudut 290° di sisi *lower*

pada silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter*. Setelah aliran mencapai kecepatan maksimum, aliran cenderung diperlambat karena adanya tekanan balik fluida (*adverse pressure gradient*) dan gesekan, yang ditandai dengan peningkatan tekanan. Peningkatan tekanan pada silinder dengan penambahan *splitter* terlihat lebih signifikan dari peningkatan tekanan pada silinder tanpa penambahan *splitter*. Ketika aliran fluida tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* dan gesekan yang ada, terjadilah separasi aliran. Fenomena ini ditandai dengan tekanan yang relatif konstan, yang terjadi di sekitar sudut 80° di sisi *upper* dan sekitar sudut 280° di sisi *lower* untuk sirkular silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*.

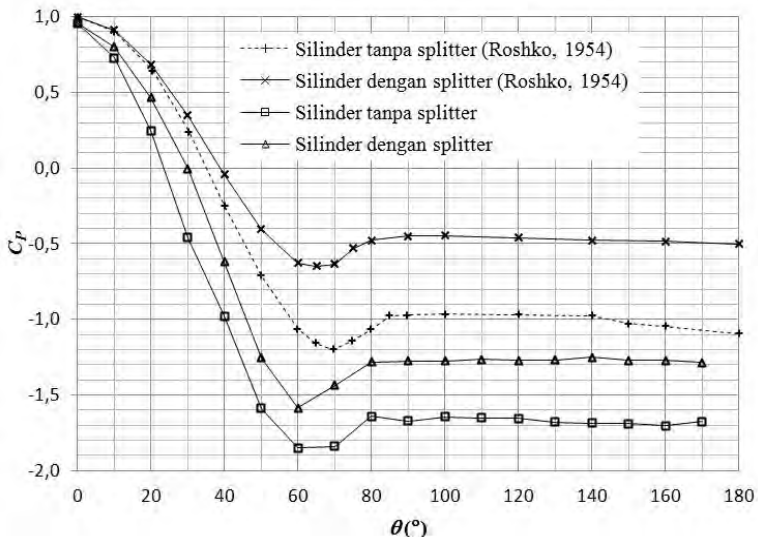
Dari grafik eksperimen pada gambar 4.1 didapatkan, silinder sirkular dengan penambahan *splitter* memiliki nilai *base pressure* yang lebih tinggi dari silinder sirkular tanpa penambahan *splitter*. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) dengan penambahan *splitter* di bagian belakang silinder. Berdasarkan gambar 4.1, nilai C_p minimal yang terdapat pada sisi *upper* dan sisi *lower* silinder dengan penambahan *splitter* tidak serupa. Nilai C_p minimal pada sisi *upper* lebih besar dari sisi *lower*. Hal ini mengakibatkan grafik C_p yang terbentuk pada sisi *upper* ($0^\circ - 170^\circ$) dan sisi *lower* ($190^\circ - 280^\circ$) silinder tidak simetris. Ketidaksimetrisan tersebut disebabkan oleh kondisi aliran yang bersifat *unsteady*, sehingga waktu sangat berpengaruh terhadap nilai tekanan statis kontur yang ada pada silinder.

Dari grafik C_p hasil eksperimen pada gambar 4.1 terlihat, bahwa dengan adanya penambahan *splitter* di bagian belakang silinder sirkular mengakibatkan perbedaan nilai pada tekanan minimum dan tekanan *base* bila dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa penambahan *splitter*. Namun, penambahan *splitter* tidak memiliki pengaruh terhadap posisi titik separasi aliran. Secara keseluruhan, perbedaan tersebut disajikan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1. Koefisien tekanan minimum, *base pressure* (C_{pb}), dan titik separasi silinder sirkular dengan dan tanpa *splitter* hasil eksperimen

Silinder	C_p minimal				C_{pb}		Separasi	
	<i>upper</i>		<i>lower</i>		<i>upper</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>lower</i>
	(°)	nilai	(°)	nilai	nilai	nilai	(°)	(°)
tanpa <i>splitter</i>	60	-1,85	290	-1,9	\pm -1,7	\pm -1,7	80	280
dengan <i>splitter</i>	60	-1,58	290	-1,7	\pm -1,3	\pm -1,4	80	280

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) dari hasil eksperimen pada pengerjaan tugas akhir ini dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Roshko (1954) pada Re $1,45 \times 10^4$.

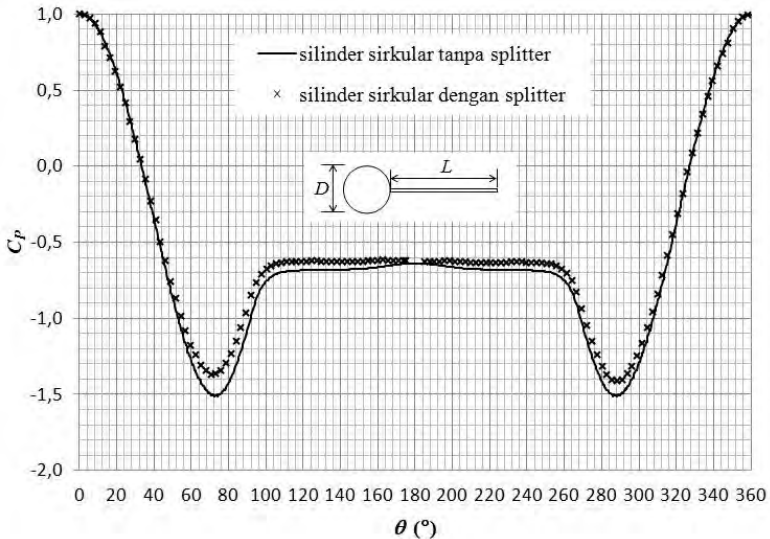


Gambar 4.2 Perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) hasil eksperimen dengan hasil penelitian Roshko (1954)

Grafik koefisien tekanan (C_p) memiliki *trendline* yang serupa, baik pada silinder tanpa *splitter* maupun silinder dengan penambahan *splitter*. Tekanan statis pada kontur silinder meningkat dengan ditambahkan *splitter* pada bagian belakang silinder. Hal ini didapatkan pada hasil eksperimen yang dilakukan dalam mengerjakan tugas akhir ini maupun hasil eksperimen yang dilakukan oleh Roshko. Fenomena tersebut ditunjukkan dengan distribusi nilai koefisien tekanan yang lebih besar pada grafik C_p silinder dengan *splitter*. Selain itu, penambahan *splitter* dapat meningkatkan *base pressure* pada kontur silinder.

Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada kontur silinder yang diperoleh dari simulasi numerik. Letak titik stagnasi pada silinder sirkular tanpa dan dengan *splitter* berada pada sudut 0° di sisi *upper* dan 360° di sisi *lower*. Hal ini ditandai dengan nilai koefisien tekanan sebesar 1 pada sudut-sudut tersebut. Setelah melewati titik stagnasi, aliran fluida mengalami percepatan hingga mencapai koefisien tekanan minimum. Silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter* mencapai koefisien tekanan minimum pada sudut 70° di sisi *upper* dan 290° di sisi *lower*. Silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* memiliki nilai koefisien tekanan minimum yang lebih kecil dari silinder sirkular dengan penambahan *splitter*.

Setelah titik dengan nilai koefisien minimum terlewati, gesekan dan *adverse pressure* akan menyebabkan aliran fluida mengalami perlambatan, yang ditandai dengan meningkatnya tekanan pada kontur silinder. Momentum aliran fluida di dekat permukaan silinder akan semakin berkurang untuk mengatasi gaya gesek dan *adverse pressure*, hingga momentum aliran fluida tidak mampu mengatasi gaya gesek dan *adverse pressure* yang ada. Ketika aliran fluida sudah tidak mampu mengatasi gaya gesek dan *adverse pressure*, terjadilah separasi aliran. Hal ini ditandai dengan tekanan yang relatif konstan di sekitar sudut 100° di sisi *upper* serta sudut 260° di sisi *lower*.



Gambar 4.3 Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular tanpa dan dengan *splitter* $L/D = 2,5$ dari hasil simulasi numerik

Dari grafik hasil simulasi numerik pada gambar 4.3 didapatkan, penambahan *splitter* di bagian belakang silinder meningkatkan nilai *base pressure* apabila dibandingkan dengan silinder tanpa penambahan *splitter*. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) dengan penambahan *splitter* di bagian belakang silinder.

Dari grafik C_p hasil simulasi numerik pada gambar 4.3 terlihat, bahwa dengan adanya penambahan *splitter* pada bagian belakang silinder mengakibatkan perbedaan pada tekanan minimum dan tekanan *base*. Namun, penambahan *splitter* tidak memiliki pengaruh terhadap posisi titik separasi aliran. Secara keseluruhan, data mengenai perbedaan tekanan minimum dan tekanan *base* disajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2. Koefisien tekanan minimum, *base pressure* (C_{pb}), dan titik separasi silinder sirkular dengan dan tanpa *splitter* hasil simulasi numerik

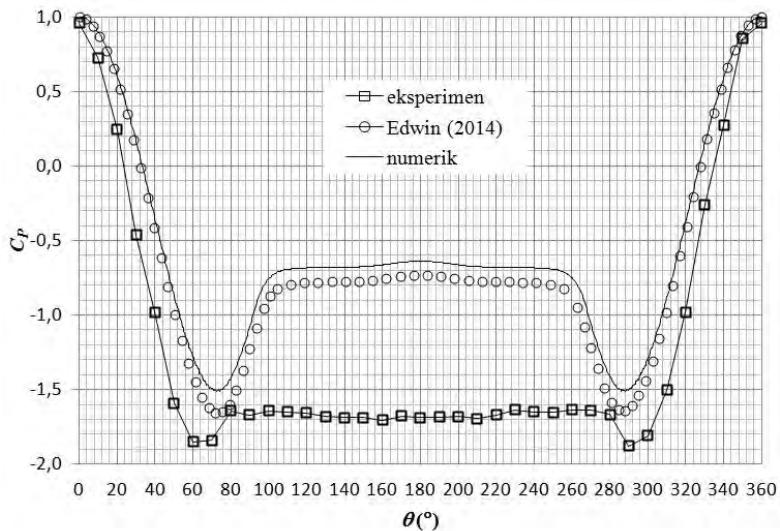
Silinder	C_p minimal				C_{pb}		Separasi	
	<i>upper</i>		<i>lower</i>		<i>upper</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>lower</i>
	(°)	nilai	(°)	nilai	nilai	nilai	(°)	(°)
tanpa <i>splitter</i>	70	-1,50	290	-1,5	± -0,7	± -0,7	100	260
dengan <i>splitter</i>	70	-1,37	290	-1,4	± -0,6	± -0,6	100	260

4.2.2. Perbandingan Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan *Splitter Plate* dari Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik

Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* secara eksperimen dan simulasi numerik. Distribusi koefisien tekanan yang didapatkan melalui metode eksperimen dan numerik memiliki kecenderungan grafik yang relatif sama. Penurunan tekanan terjadi setelah aliran melewati titik stagnasi, pada sudut 0° di sisi *upper* dan 360° di sisi *lower*, hingga mencapai nilai tekanan minimum. Penurunan tekanan yang diperoleh melalui metode eksperimen lebih signifikan daripada penurunan tekanan yang diperoleh melalui metode numerik. Tekanan terendah yang didapat melalui metode eksperimen terjadi pada sudut 60° di sisi *upper* dan sudut 290° di sisi *lower*, dengan nilai C_p sebesar $\pm -1,855$. Tekanan terendah yang didapat melalui metode numerik terjadi di sekitar sudut 70° di sisi *upper* dan sekitar sudut 290° di sisi *lower*, dengan nilai C_p sebesar $\pm -1,50$.

Setelah melewati titik tekanan terendah, aliran fluida mengalami perlambatan akibat adanya *adverse pressure gradient* dan gesekan. Fenomena ini ditandai dengan meningkatnya tekanan pada kontur silinder. Ketika momentum fluida tidak mampu mengatasi *adverse pressure gradient* dan gesekan yang

ada, terjadilah separasi aliran. Separasi aliran ditandai dengan tekanan yang relatif bernilai konstan. Dari gambar 4.4 terlihat, separasi aliran pada grafik eksperimen lebih dahulu terjadi dari separasi aliran pada grafik numerik. Titik separasi pada grafik eksperimen terjadi di sekitar sudut 80° pada sisi *upper* dan sudut 280° pada sisi *lower*. Titik separasi pada grafik numerik terjadi di sekitar sudut 100° pada sisi *upper* dan sudut 260° di sisi *lower*.

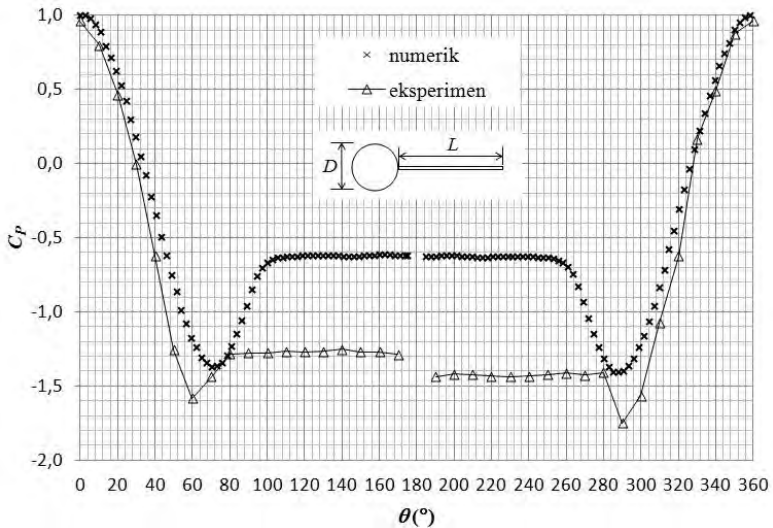


Gambar 4.4 Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular tanpa *splitter plate* dari hasil eksperimen dan simulasi numerik

Dari grafik pada gambar 4.4 didapatkan, terdapat perbedaan pada nilai *base pressure* yang diperoleh menggunakan metode eksperimen dan numerik. *Base pressure* yang diperoleh melalui simulasi numerik bernilai lebih tinggi dari *base pressure* yang diperoleh melalui metode eksperimen. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan ketelitian alat ukur pada saat melakukan eksperimen atau simulasi numerik memiliki tingkat ketelitian yang terlalu tinggi.

Apabila hasil simulasi numerik yang dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini dibandingkan dengan hasil simulasi numerik yang dilakukan oleh Edwin (2014) pada rentang bilangan Reynolds yang serupa, terdapat perbedaan pada nilai koefisien tekanan minimum dan *base pressure*. Koefisien tekanan minimum dan *base pressure* yang diperoleh melalui simulasi numerik dalam pengerjaan tugas akhir ini memiliki nilai yang lebih besar dari nilai koefisien tekanan minimum dan *base pressure* yang diperoleh oleh hasil simulasi numerik milik Edwin. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh model *meshing* atau jumlah elemen *meshing* yang digunakan, dimana simulasi numerik pada pengerjaan tugas akhir ini menggunakan jumlah elemen *meshing* sebesar 69.600 *cell*, sementara Edwin menggunakan jumlah elemen *meshing* sebesar 103.800 *cell*.

Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular dengan penambahan *splitter* secara eksperimen dan simulasi numerik. Distribusi koefisien tekanan yang didapatkan melalui metode eksperimen dan numerik memiliki kecenderungan grafik yang relatif sama. Penurunan tekanan terjadi setelah aliran melewati titik stagnasi, pada sudut 0° di sisi *upper* dan 360° di sisi *lower*, hingga mencapai nilai tekanan minimum. Tekanan minimum pada sisi *upper* memiliki nilai yang lebih besar dari tekanan minimum pada sisi *lower*. Fenomena ini didapatkan pada grafik eksperimen dan numerik. Tekanan terendah yang didapat melalui metode eksperimen terjadi pada sudut 60° di sisi *upper* dan sudut 290° di sisi *lower*, dengan C_p sebesar -1,585 dan -1,750. Tekanan terendah yang didapat melalui simulasi numerik terjadi pada sudut 70° di sisi *upper* dan sudut 290° di sisi *lower*, dengan nilai C_p sebesar -1,37 dan -1,40. Penurunan tekanan pada grafik eksperimen lebih signifikan dari penurunan tekanan pada grafik numerik.



Gambar 4.5 Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular dengan *splitter plate* $L/D = 2,5$ dari hasil eksperimen dan simulasi numerik

Setelah melewati titik tekanan terendah, aliran fluida mengalami perlambatan akibat adanya tekanan balik fluida (*adverse pressure gradient*) dan gesekan. Fenomena ini ditandai dengan meningkatnya tekanan pada kontur silinder. Ketika momentum fluida tidak mampu mengatasi *adverse pressure gradient* dan gesekan yang ada, terjadilah separasi aliran. Separasi aliran ditandai dengan tekanan yang relatif bernilai konstan. Dari gambar 4.5 terlihat, separasi aliran pada grafik eksperimen lebih dahulu terjadi dari separasi aliran pada grafik numerik. Titik separasi pada grafik eksperimen terjadi di sekitar sudut 80° pada sisi *upper* dan sudut 280° pada sisi *lower*. Titik separasi pada grafik numerik terjadi di sekitar sudut 108° pada sisi *upper* dan sudut 260° pada sisi *lower*.

Berdasarkan gambar 4.5, *base pressure* yang diperoleh melalui simulasi numerik bernilai lebih tinggi dari *base pressure*

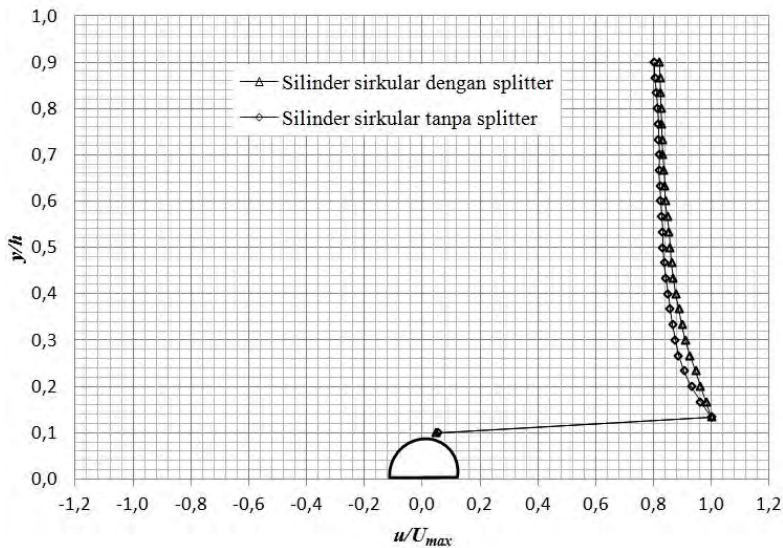
yang diperoleh melalui metode eksperimen. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan ketelitian alat ukur pada saat melakukan eksperimen atau simulasi numerik memiliki tingkat ketelitian yang terlalu tinggi.

4.3. Profil Kecepatan Pada Silinder Sirkular Dengan dan Tanpa *Splitter* Plate Menggunakan Metode Eksperimen dan Simulasi Numerik

4.3.1. Perbandingan Profil Kecepatan di Daerah *Midspan* Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan *Splitter* Plate

Profil kecepatan di daerah *midspan* dengan metode eksperimen diukur pada sudut 90° pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*. Profil kecepatan ditampilkan dalam grafik u/U_{max} sebagai fungsi y/h . Variabel y merupakan posisi titik pengukuran dari permukaan benda uji hingga dinding atas *test section area wind tunnel*, yaitu pada rentang 15 mm – 135 mm untuk tiap kenaikan 5 mm, sedangkan h merupakan tinggi setengah *test section area wind tunnel* yaitu 150 mm. Hasil pengukuran profil kecepatan di daerah *midspan* menggunakan metode eksperimen pada silinder ditunjukkan pada gambar 4.6.

Dari gambar 4.6 terlihat, bahwa aliran fluida memiliki nilai kecepatan terbesar saat berada sedikit di atas permukaan silinder, yaitu pada posisi $y/h = 0,13$. Dari gambar 4.6 juga terlihat, semakin aliran fluida berada jauh dari permukaan silinder, kecepatan aliran semakin mendekati besarnya kecepatan aliran *free stream*. Fenomena ini terjadi pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*.



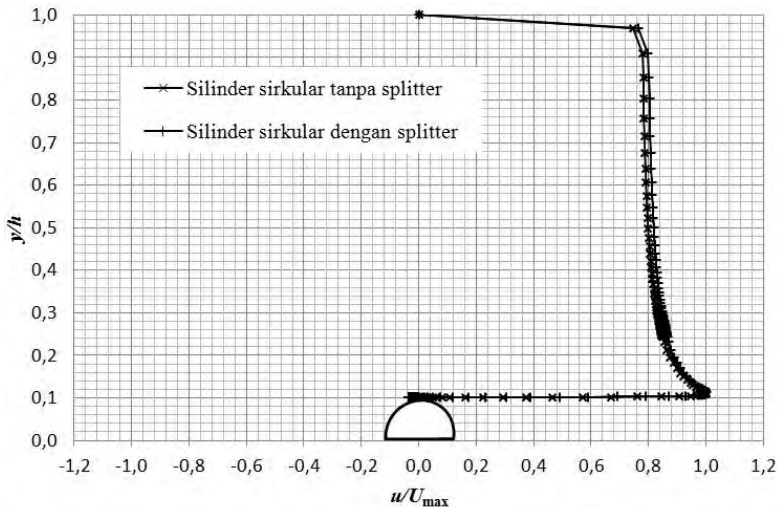
Gambar 4.6 Profil kecepatan di daerah *midspan* pada silinder sirkular tanpa dan dengan *splitter plate* dari hasil eksperimen

Secara umum, grafik yang terlihat pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter* memiliki kecenderungan yang serupa. Hanya saja, penurunan kecepatan yang dialami silinder tanpa *splitter* setelah mencapai kecepatan maksimum sedikit lebih besar dari penurunan kecepatan yang dialami silinder dengan *splitter*. Identifikasi apakah telah terjadi fenomena separasi aliran di daerah *midspan* tidak dapat terlihat dengan menggunakan metode eksperimen. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan peralatan eksperimen yang digunakan.

Berdasarkan gambar 4.6, profil kecepatan yang berada paling dekat dengan dinding atas *test section area wind tunnel* tidak menunjukkan terjadinya perlambatan aliran akibat adanya tegangan geser yang berada di permukaan dinding *test section area wind tunnel*. Hal ini terjadi karena titik pengukuran kecepatan maksimum yang dapat dijangkau oleh *Pitot tube* pada

saat melakukan eksperimen sebesar 135 mm, sementara dinding atas *test section area wind tunnel* berada pada titik pengukuran 150 mm. Oleh sebab itu, terdapat selisih jarak 15 mm yang tidak terukur profil kecepatannya. Posisi penempatan *Pitot tube* pada saat melakukan eksperimen ditunjukkan pada gambar 3.3.

Gambar 4.7 menunjukkan profil kecepatan di daerah *midspan* dari hasil simulasi numerik yang diukur pada sudut 90° . Profil kecepatan ditampilkan dalam grafik u/U_{max} sebagai fungsi y/h . Variabel y merupakan posisi titik pengukuran dari permukaan benda uji hingga dinding atas *test section area wind tunnel*, yaitu pada rentang 15 mm – 150 mm. Variabel h merupakan tinggi setengah *test section area wind tunnel* yaitu 150 mm.



Gambar 4.7 Profil kecepatan di daerah *midspan* pada silinder sirkular tanpa dan dengan *splitter plate* dari hasil simulasi numerik

Dari gambar 4.7 didapatkan, telah terjadi separasi aliran di dekat dinding silinder, baik pada silinder tanpa penambahan *splitter* maupun silinder dengan penambahan *splitter*. Fenomena

ini ditunjukkan dengan adanya kecepatan aliran yang bernilai negatif di dekat kontur silinder. Tanda negatif pada kecepatan aliran menunjukkan arah alir fluida yang berkebalikan dengan arah alir aliran *free stream*. Separasi aliran terjadi karena momentum aliran tidak sanggup mengatasi *adverse pressure gradient* dan tegangan geser yang ada, sehingga aliran fluida tidak lagi mengalir mengikuti bentuk profil benda yang dilaluinya. Dengan didapatinya kecepatan aliran yang bernilai negatif pada profil kecepatan silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*, dapat dikatakan bahwa penambahan *splitter* di bagian belakang silinder tidak dapat menunda letak separasi aliran.

Secara umum, grafik yang terlihat pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter* memiliki kecenderungan yang serupa. Aliran fluida memiliki nilai kecepatan terbesar pada posisi $y/h = \pm 0,11$. Semakin aliran fluida berada jauh dari permukaan silinder, kecepatan aliran fluida semakin kecil mendekati besarnya kecepatan aliran *free stream*. Penurunan kecepatan yang dialami silinder tanpa *splitter* setelah mencapai kecepatan maksimum sedikit lebih besar dari penurunan kecepatan yang dialami silinder dengan *splitter*.

Berdasarkan gambar 4.7, pengaruh tegangan geser yang terdapat pada permukaan dinding atas *test section area wind tunnel* terjadi pada rentang posisi $y/h = 0,9 - 1,0$. Pada posisi $y/h = 0,9$ aliran mulai mengalami perlambatan hingga pada posisi $y/h = 1,0$ kecepatan aliran bernilai nol.

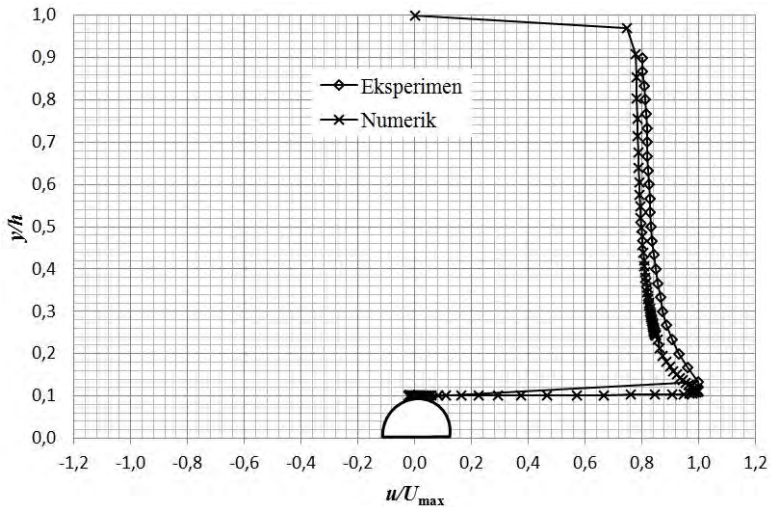
4.3.2. Perbandingan Profil Kecepatan di Daerah *Midspan* Pada Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan *Splitter Plate* dari Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan profil kecepatan aliran di daerah *midspan* pada silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* melalui metode eksperimen dan simulasi numerik. Grafik profil kecepatan yang didapatkan melalui metode eksperimen dan numerik memiliki kecenderungan yang relatif sama. Kecepatan

aliran fluida terbesar berada pada posisi sedikit di atas permukaan silinder sirkular tanpa penambahan *splitter*. Kecepatan terbesar aliran yang diperoleh melalui metode eksperimen berada pada posisi $y/h = 0,13$, sedangkan kecepatan terbesar aliran yang diperoleh melalui metode numerik berada pada posisi $y/h = 0,11$.

Dari gambar 4.8 didapatkan, semakin aliran fluida berada jauh dari permukaan silinder, kecepatan aliran fluida semakin kecil mendekati besarnya kecepatan aliran *free stream*. Penurunan kecepatan aliran fluida setelah mencapai kecepatan maksimum yang diperoleh melalui metode numerik sedikit lebih besar dari penurunan kecepatan yang diperoleh melalui metode eksperimen.

Fenomena separasi aliran yang terjadi di dekat dinding silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* tidak teridentifikasi pada profil kecepatan aliran yang diperoleh melalui metode eksperimen. Sedangkan pada profil kecepatan aliran yang diperoleh melalui metode numerik, terjadinya separasi aliran dapat teridentifikasi. Fenomena ini ditandai dengan adanya kecepatan aliran yang bernilai negatif pada posisi $y/h = 0,1$. Selain itu, adanya perlambatan aliran sebagai pengaruh tegangan geser yang terdapat pada permukaan dinding atas *test section area wind tunnel* tidak terlihat pada profil kecepatan yang diperoleh melalui metode eksperimen. Sedangkan pada profil kecepatan aliran yang diperoleh melalui metode numerik, perlambatan aliran sebagai pengaruh tegangan geser yang terdapat pada permukaan dinding atas *test section area wind tunnel* terlihat pada rentang posisi $y/h = 0,9 - 1,0$. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan jangkauan alat ukur pada saat melakukan eksperimen.

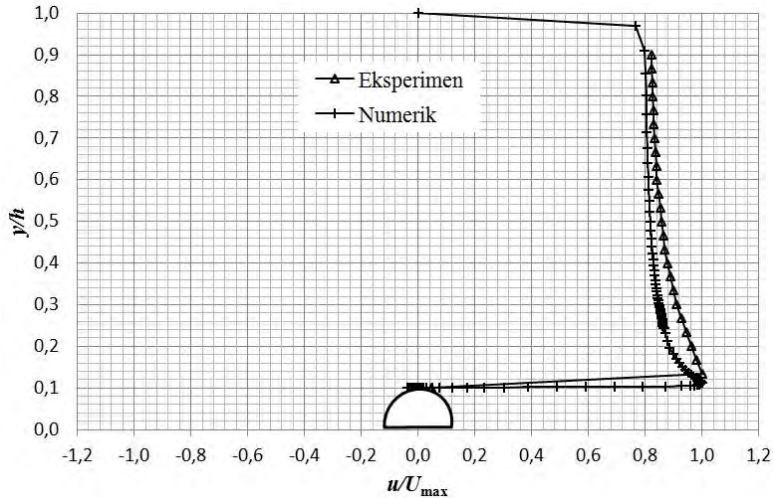


Gambar 4.8 Profil kecepatan di daerah *midspan* pada silinder sirkular tanpa *splitter plate* dari hasil eksperimen dan simulasi numerik

Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan profil kecepatan aliran di daerah *midspan* pada silinder sirkular dengan penambahan *splitter* melalui metode eksperimen dan simulasi numerik. Grafik profil kecepatan yang didapatkan melalui metode eksperimen dan numerik memiliki kecenderungan yang relatif sama. Kecepatan aliran fluida terbesar berada pada posisi sedikit di atas permukaan silinder sirkular dengan penambahan *splitter*. Kecepatan terbesar aliran yang diperoleh melalui metode eksperimen berada pada posisi $y/h = 0,13$, sedangkan kecepatan terbesar aliran yang diperoleh melalui metode numerik berada pada posisi $y/h = 0,11$.

Dari gambar 4.9 didapatkan, semakin aliran fluida berada jauh dari permukaan silinder, kecepatan aliran fluida semakin kecil mendekati besarnya kecepatan aliran *free stream*. Penurunan kecepatan aliran fluida setelah mencapai kecepatan maksimum

yang diperoleh melalui metode numerik sedikit lebih besar dari penurunan kecepatan yang diperoleh melalui metode eksperimen.



Gambar 4.9 Profil kecepatan di daerah *midspan* pada silinder sirkular dengan *splitter plate* dari hasil eksperimen dan simulasi numerik

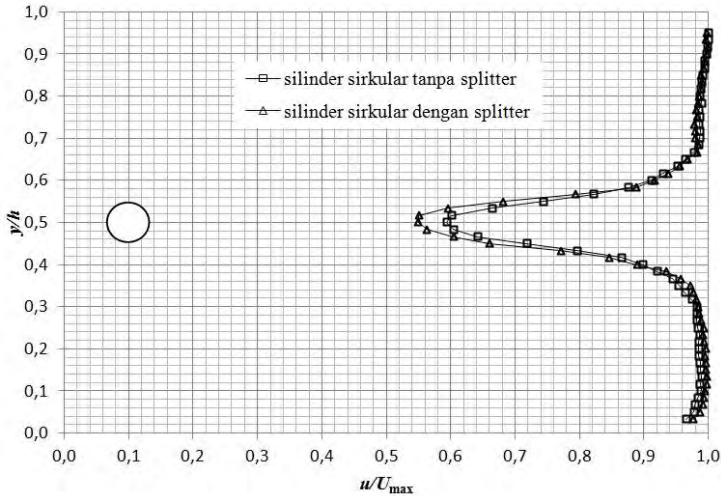
Fenomena separasi aliran yang terjadi di dekat dinding silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* tidak teridentifikasi pada profil kecepatan aliran yang diperoleh melalui metode eksperimen. Sedangkan pada profil kecepatan aliran yang diperoleh melalui metode numerik, terjadinya separasi aliran dapat teridentifikasi. Fenomena ini ditandai dengan adanya kecepatan aliran yang bernilai negatif pada posisi $y/h = 0,1$. Selain itu, adanya perlambatan aliran sebagai pengaruh tegangan geser yang terdapat pada permukaan dinding atas *test section area wind tunnel* tidak terlihat pada profil kecepatan yang diperoleh melalui metode eksperimen. Sedangkan pada profil kecepatan aliran yang diperoleh melalui metode numerik, perlambatan aliran sebagai pengaruh tegangan geser yang terdapat pada permukaan

dinding atas *test section area wind tunnel* terlihat pada rentang posisi $y/h = 0,9 - 1,0$. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan jangkauan alat ukur pada saat melakukan eksperimen.

4.3.3. Perbandingan Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan *Splitter Plate*

Gambar 4.10 menunjukkan hasil pengukuran profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter* menggunakan metode eksperimen. Profil kecepatan diukur pada jarak $x/D = 5$, dimana x merupakan jarak titik pengukuran dengan titik pusat silinder, sedangkan D adalah diameter silinder sirkular. Profil kecepatan ditampilkan dalam grafik u/U_{max} sebagai fungsi y/h . Variabel y merupakan posisi titik pengukuran yaitu dari rentang 10 mm – 285 mm untuk tiap kenaikan 5 mm, sedangkan h merupakan tinggi *test section area wind tunnel* yaitu 300 mm. Hasil pengukuran profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter* dapat menginterpretasi harga dari total *drag* yang dialami silinder tersebut. Semakin besar luasan *wake* yang terbentuk pada profil kecepatan, maka semakin besar pula total *drag* yang dilami oleh silinder.

Berdasarkan gambar 4.10 didapatkan, luas daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* lebih kecil dari luas daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular dengan penambahan *splitter*. Hal ini mengindikasikan, besarnya total *drag* yang dialami silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* lebih kecil dari total *drag* yang dialami oleh silinder sirkular dengan penambahan *splitter*. Selain itu, dari gambar 4.10 terlihat bahwa lebar *wake* untuk silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter* adalah simetri pada bagian atas dan bawah. Hal ini mengindikasikan, bahwa tidak terdapat gaya *lift* pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*.



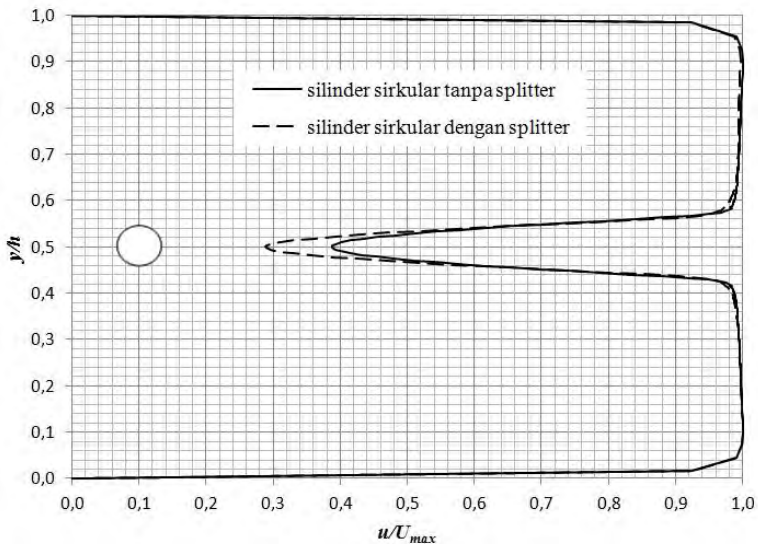
Gambar 4.10 Profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa dan dengan *splitter plate* dari hasil eksperimen

Apabila diperhatikan, profil kecepatan yang berada paling dekat dengan dinding atas *test section area wind tunnel* tidak menunjukkan terjadinya perlambatan aliran akibat adanya tegangan geser yang berada di permukaan dinding atas *test section area wind tunnel*. Sementara itu, profil kecepatan yang berada paling dekat dengan dinding bawah *test section area wind tunnel* telah menunjukkan terjadinya perlambatan aliran akibat adanya tegangan geser yang berada di permukaan dinding bawah *test section area wind tunnel*. Hal ini terjadi karena jumlah titik pengukuran profil kecepatan dari pusat silinder ke dinding atas dan dinding bawah *test section area wind tunnel* berbeda.

Jumlah titik pengukuran profil kecepatan yang dapat dijangkau oleh *Pitot tube* dari titik pusat silinder hingga titik terdekat dengan dinding bawah *wind tunnel* sebanyak 29 titik. Sedangkan jumlah titik pengukuran profil kecepatan yang dapat dijangkau oleh *Pitot tube* dari titik pusat silinder hingga titik terdekat dengan dinding atas *wind tunnel* sebanyak 27 titik.

Jumlah titik pengukuran yang terjangkau di daerah dekat dinding atas *test section area wind tunnel* lebih sedikit dari daerah dekat dinding bawah *wind tunnel*, sehingga daerah yang telah mengalami perlambatan kecepatan akibat adanya tegangan geser pada permukaan dinding atas *test section area* tidak terukur.

Gambar 4.11 menunjukkan hasil pengukuran profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter* menggunakan metode simulasi numerik. Sama halnya dengan metode eksperimen, profil kecepatan diukur pada jarak $x/D = 5$. Profil kecepatan ditampilkan dalam grafik u/U_{max} sebagai fungsi y/h . Variabel y merupakan posisi titik pengukuran yaitu dari rentang 0 mm – 300 mm, sedangkan h merupakan tinggi *test section area wind tunnel* yaitu 300 mm.



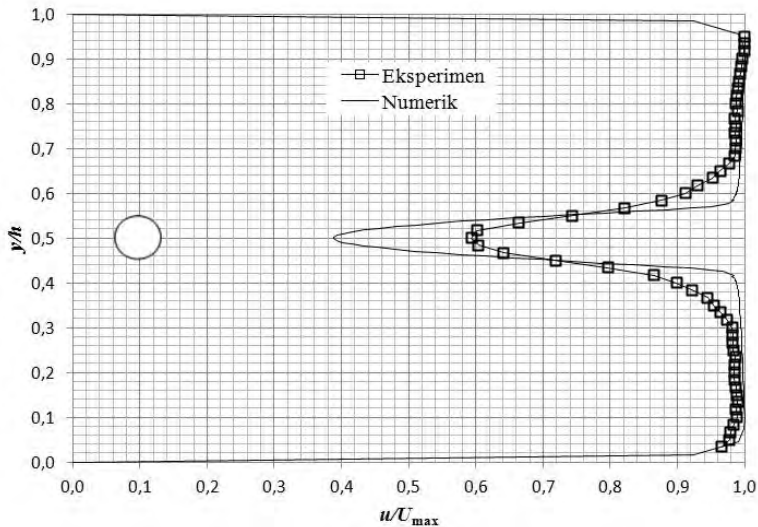
Gambar 4.11 Profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa dan dengan *splitter plate* dari hasil simulasi numerik

Dari gambar 4.11 didapatkan, luas daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* lebih kecil dari luas daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular dengan penambahan *splitter*. Hal ini mengindikasikan, besarnya total *drag* yang dialami silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* lebih kecil dari total *drag* yang dialami oleh silinder sirkular dengan penambahan *splitter*. Selain itu, dari gambar 4.11 terlihat bahwa lebar *wake* untuk silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter* adalah simetri pada bagian atas dan bawah. Hal ini mengindikasikan, bahwa tidak terdapat gaya *lift* pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*.

Pengaruh tegangan geser yang berada di permukaan dinding atas dan bawah *test section area wind tunnel* terjadi pada rentang posisi $y/h = 0,92 - 1,0$ dan $0 - 0,08$. Fenomena ini ditandai dengan besarnya kecepatan yang mengalami perlambatan secara signifikan pada daerah tersebut. Dalam rentang posisi $y/h = 0,92 - 1,0$ dan $0 - 0,08$, semakin aliran fluida mendekati dinding atas atau bawah *test section area wind tunnel*, semakin kecil kecepatan aliran fluida yang terbentuk. Ketika aliran tepat berada di permukaan dinding atas dan bawah *test section area wind tunnel*, yaitu pada posisi $y/h = 0$ dan $1,0$, kecepatan aliran fluida bernilai nol.

4.3.4. Perbandingan Profil Kecepatan di Belakang Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan *Splitter Plate* dari Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik

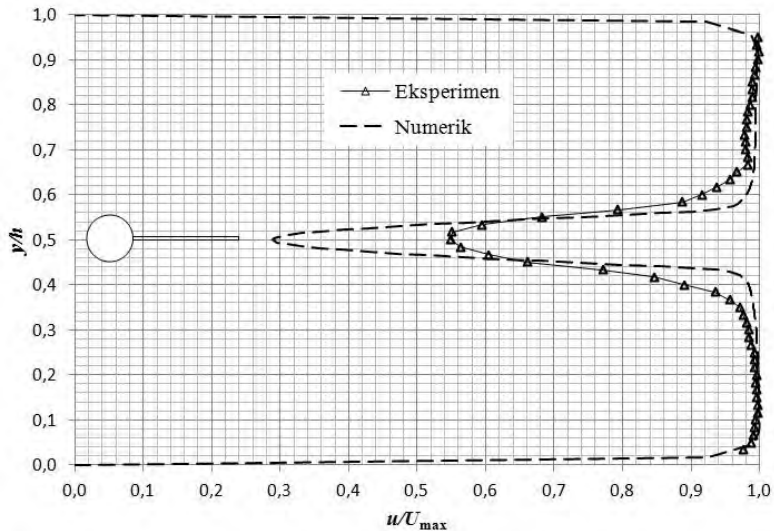
Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan profil kecepatan aliran di belakang silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* melalui metode eksperimen dan simulasi numerik. Grafik profil kecepatan yang didapatkan melalui metode eksperimen dan numerik memiliki kecenderungan yang relatif sama. Namun profil kecepatan yang diperoleh melalui metode numerik memiliki *trend line* yang lebih halus dari profil kecepatan yang diperoleh melalui eksperimen.



Gambar 4.12 Profil kecepatan di belakang silinder sirkular tanpa *splitter plate* dari hasil eksperimen dan simulasi numerik

Dari gambar 4.12 didapatkan, nilai u/U_{max} di daerah *center wake* pada profil kecepatan eksperimen memiliki nilai yang lebih tinggi dari profil kecepatan numerik, yaitu 0,6 dan 0,39. Selain itu, lebar daerah *wake* pada profil kecepatan eksperimen lebih besar dari profil kecepatan numerik. Fenomena pengaruh tegangan geser di dekat permukaan dinding atas dan dinding bawah *test section area* pada *wind tunnel* dapat terlihat jelas pada profil kecepatan numerik, sedangkan pada profil kecepatan eksperimen kurang dapat terlihat. Beberapa perbedaan yang terdapat pada grafik profil kecepatan eksperimen dan numerik dapat diakibatkan oleh keterbatasan jangkauan dan ketelitian alat ukur yang digunakan dalam pelaksanaan eksperimen, sedangkan metode numerik menggunakan proses perhitungan kompleks dengan tingkat akurasi tinggi.

Gambar 4.13 menunjukkan perbandingan profil kecepatan aliran di belakang silinder sirkular dengan penambahan *splitter* melalui metode eksperimen dan simulasi numerik. Grafik profil kecepatan yang didapatkan melalui metode eksperimen dan numerik memiliki kecenderungan yang relatif sama. Namun profil kecepatan yang diperoleh melalui metode numerik memiliki *trend line* yang lebih halus dari profil kecepatan yang diperoleh melalui eksperimen.



Gambar 4.13 Profil kecepatan di belakang silinder sirkular dengan *splitter plate* dari hasil eksperimen dan simulasi numerik

Dari gambar 4.13 didapatkan, nilai u/U_{max} di daerah *center wake* pada profil kecepatan eksperimen memiliki nilai yang lebih tinggi dari profil kecepatan numerik, yaitu 0,55 dan 0,29. Selain itu, lebar daerah *wake* pada profil kecepatan eksperimen lebih besar dari profil kecepatan numerik. Fenomena pengaruh tegangan geser di dekat permukaan dinding atas dan dinding bawah *test section area* pada *wind tunnel* dapat terlihat jelas pada profil kecepatan numerik, sedangkan pada profil

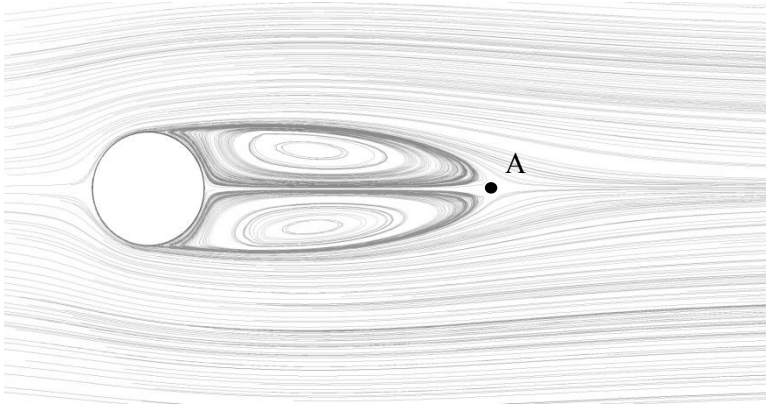
kecepatan eksperimen kurang dapat terlihat. Beberapa perbedaan yang terdapat pada grafik profil kecepatan eksperimen dan numerik dapat diakibatkan oleh keterbatasan jangkauan dan ketelitian alat ukur yang digunakan dalam pelaksanaan eksperimen, sedangkan metode numerik menggunakan proses perhitungan kompleks dengan tingkat akurasi tinggi.

4.4. Visualisasi Numerik

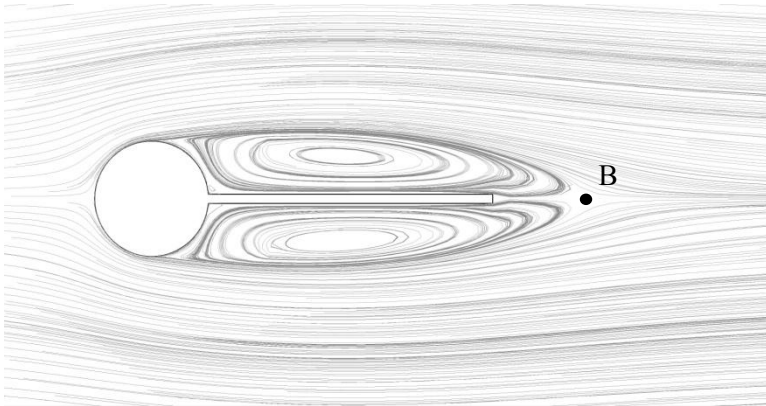
Data yang telah diekstrak dari hasil simulasi numerik, akan dianalisa dari segi *pathlines*, vektor, dan kontur. Variabel yang digunakan dalam analisa kontur adalah tekanan statis pada silinder sirkular dan kecepatan aliran fluida, sedangkan variabel yang digunakan dalam analisa vektor dan *pathlines* adalah kecepatan aliran fluida.

4.4.1. *Pathlines Stream Function* Kecepatan Aliran Fluida di Sekitar Silinder Tanpa dan Dengan Penambahan *Splitter Plate*

Gambar 4.14 dan 4.15 merupakan hasil simulasi numerik berupa *pathline* kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter*. Dari gambar 4.14 dan 4.15 terlihat separasi aliran di sekitar daerah *midspan* hingga menyebabkan timbulnya *wake* pada bagian *downstream* silinder. Luasan *wake* yang terbentuk ditunjukkan oleh daerah berwarna biru tua dan biru muda. Aliran fluida yang mengalami separasi lama kelamaan kembali normal. Titik dimana aliran terseparasi kembali normal disebut titik *reattachment*. Dengan penambahan *splitter* di bagian belakang silinder, titik *reattachment* aliran fluida tergeser ke belakang. Titik *reattachment* aliran pada silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter* ditunjukkan oleh titik A dan B.



Gambar 4.14 *Pathline stream function* kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*

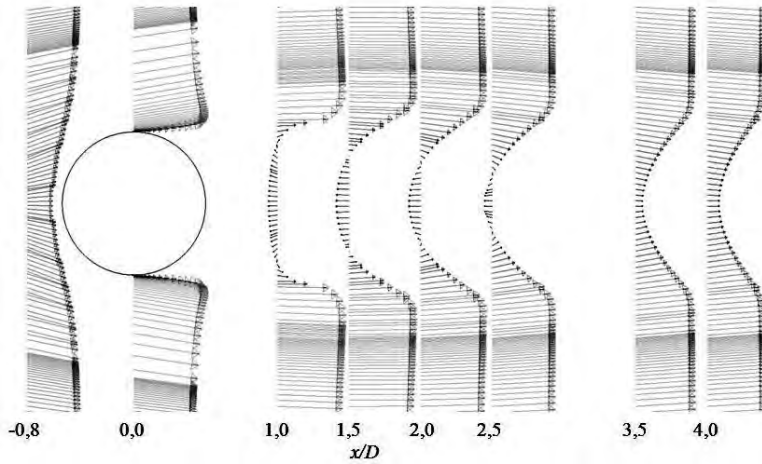


Gambar 4.15 *Pathline stream function* kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*

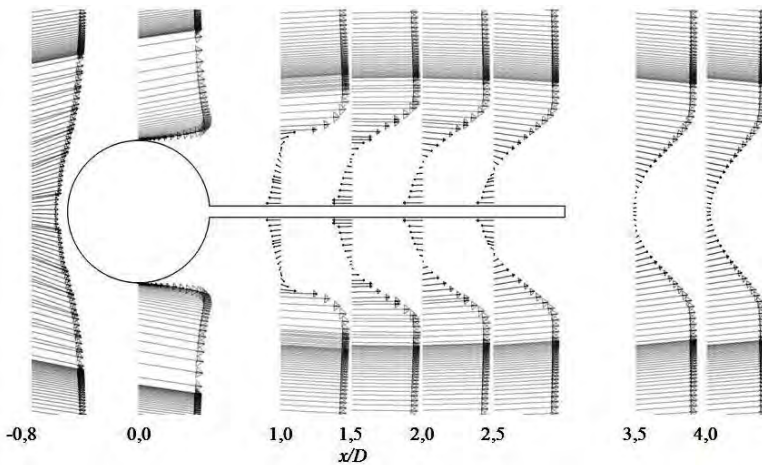
4.4.2. Vektor Kecepatan Aliran Fluida Melewati Silinder Tanpa dan Dengan Penambahan *Splitter Plate*

Gambar 4.16 dan 4.17 menunjukkan vektor kecepatan aliran fluida melewati silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter plate*. Vektor kecepatan aliran diambil pada beberapa titik, yaitu $x/D = -0,8$, $x/D = 0$, $x/D = 1$, $x/D = 1,5$, $x/D = 2$, $x/D = 2,5$, $x/D = 3,5$ dan $x/D = 4$. Koefisien x merupakan jarak titik pengukuran dengan titik pusat silinder, sedangkan D adalah diameter silinder sirkular. Dari gambar 4.16 dan 4.17 didapatkan, penambahan *splitter* di bagian belakang silinder menimbulkan interaksi antara *splitter (solid surface)* dengan *back flow* yang terdapat di daerah *wake*. Dengan adanya interaksi tersebut, akan timbul tegangan geser (τ_w) antara permukaan *splitter* dengan *back flow*. Tegangan geser yang dihasilkan memiliki nilai negatif, karena arah aliran fluida (*back flow*) berkebalikan dengan arah aliran *free stream*. Apabila nilai tegangan geser yang terdapat pada permukaan *splitter* bernilai negatif, maka kehadiran *splitter* memberikan tambahan nilai *skin friction drag* (C_{Df}) negatif pada akumulasi nilai *drag total* (C_{Dt}) silinder. Sehingga, apabila C_{Dt} silinder tanpa penambahan *splitter* dibandingkan dengan C_{Dt} silinder dengan penambahan *splitter*, maka besarnya C_{Dt} silinder dengan penambahan *splitter* akan lebih kecil dari silinder tanpa penambahan *splitter*.

Dari gambar 4.16 dan 4.17 didapatkan, penambahan *splitter* di bagian belakang silinder tidak berpengaruh pada vektor kecepatan yang terbentuk di daerah *upstream* dan *midspan*. Pengaruh penambahan *splitter* terhadap vektor kecepatan aliran terlihat pada sisi *downstream* silinder dalam rentang posisi $x/D = 1 - 4$. Dengan penambahan *splitter*, *back flow* masih terbentuk pada posisi $x/D = 3,5$, sedangkan pada silinder tanpa penambahan *splitter* *back flow* sudah tidak terbentuk dalam posisi tersebut.



Gambar 4.16 Vektor kecepatan aliran fluida melewati silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*

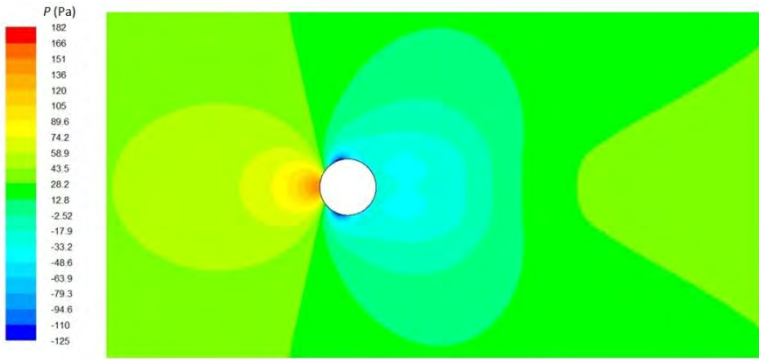


Gambar 4.17 Vektor kecepatan aliran fluida melewati silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*

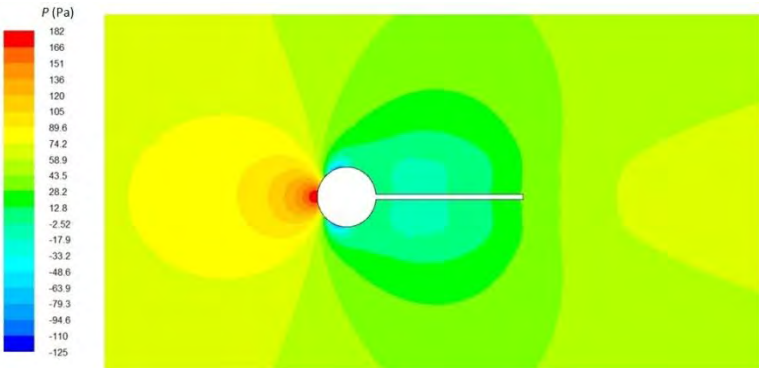
4.4.3. Plot Kontur Tekanan Statis dan Kecepatan Aliran Fluida Pada Silinder Tanpa dan Dengan Penambahan *Splitter Plate*

Gambar 4.18 dan 4.19 merupakan hasil simulasi numerik berupa plot kontur tekanan statis dengan perbedaan warna, yang menunjukkan perbedaan nilai tekanan dengan satuan pascal (Pa). Dari gambar 4.18 dan 4.19 terlihat bahwa tekanan terbesar terjadi pada daerah *upstream*, yang ditunjukkan oleh daerah berwarna merah. Fenomena ini terjadi karena pada daerah tersebut terdapat tekanan stagnasi, dimana aliran fluida menumbuk silinder sirkular pada arah normal. Silinder tanpa *splitter* memiliki tekanan statis maksimal sebesar 152,3 Pa, sedangkan silinder dengan penambahan *splitter* memiliki tekanan statis maksimal sebesar 181,7 Pa.

Setelah melewati daerah *upstream*, tekanan statis di sekitar silinder mengalami penurunan. Penurunan tekanan statis mencapai puncaknya pada daerah *midspan*, yang ditunjukkan oleh daerah berwarna biru tua. Penurunan tekanan yang terjadi dari daerah *upstream* menuju daerah *midspan* menunjukkan bahwa aliran fluida mengalami percepatan ketika melewati daerah tersebut. Tekanan statis minimal untuk silinder tanpa penambahan *splitter* yaitu -125,3 Pa, sedangkan tekanan statis minimal untuk silinder dengan penambahan *splitter* yaitu -89,9 Pa. Setelah melewati daerah *midspan*, tekanan statis pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter* mengalami sedikit peningkatan kemudian bernilai relatif konstan hingga daerah *downstream*. Fenomena ini mengindikasikan terjadinya separasi aliran, yang kemudian akan menimbulkan daerah *wake* bertekanan rendah pada bagian *downstream* silinder.



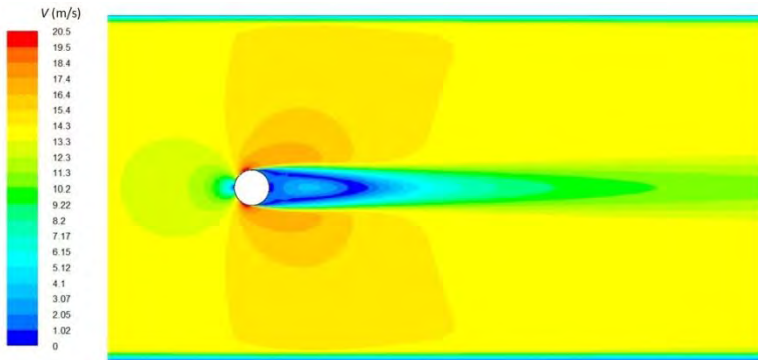
Gambar 4.18 Plot kontur tekanan statis di sekitar silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*



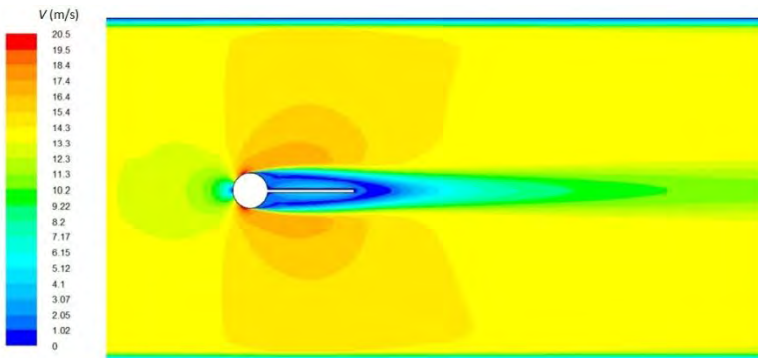
Gambar 4.19 Plot kontur tekanan statis di sekitar silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*

Fenomena yang terlihat pada gambar 4.20 dan 4.21 merupakan hasil simulasi numerik berupa plot kontur kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter*. Dari gambar 4.19 dan 4.20 terlihat bahwa kecepatan aliran fluida mencapai nilai minimum pada daerah *upstream*, yang ditunjukkan oleh daerah berwarna biru tua. Fenomena ini terjadi karena pada daerah tersebut merupakan daerah stagnasi, dimana kecepatan aliran fluida berharga nol. Setelah melewati daerah *upstream*, kecepatan aliran fluida meningkat hingga aliran fluida berada pada daerah *midspan*.

Kecepatan fluida bernilai maksimum pada daerah *midspan*, yang ditunjukkan oleh daerah berwarna merah. Kecepatan maksimum aliran fluida pada silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* yaitu 20,49 m/s, sedangkan kecepatan maksimum aliran fluida pada silinder sirkular dengan penambahan *splitter* yaitu 20,26 m/s. Kecepatan aliran fluida pada daerah *midspan* memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan *free stream* aliran yang ditunjukkan oleh daerah berwarna kuning. Pada daerah *midspan*, semakin jauh posisi aliran fluida dari permukaan silinder maka semakin kecil kecepatan aliran fluida hingga mendekati kecepatan *free stream*. Silinder sirkular tanpa penambahan *splitter* mengalami penurunan kecepatan aliran fluida lebih cepat dari silinder sirkular dengan penambahan *splitter*, seiring dengan menjauhnya posisi aliran dari permukaan silinder pada daerah *midspan*. Setelah melewati daerah *midspan*, aliran mengalami penurunan kecepatan akibat adanya *adverse pressure* dan tegangan geser. Ketika aliran fluida tidak mampu menghadapi *adverse pressure* dan tegangan geser yang ada, separasi aliran terjadi.



Gambar 4.20 Plot kontur kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*



Gambar 4.21 Plot kontur kecepatan aliran fluida di sekitar silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*

4.5. Perbandingan Koefisien *Drag Total* (C_{Dt}) Silinder Sirkular Tanpa dan Dengan Penambahan *Splitter*

Perhitungan gaya *drag* dilakukan pada silinder sirkular tanpa dan dengan penambahan *splitter*. Gaya *drag* total merupakan hasil penjumlahan dari *pressure drag* (C_{Dp}) dan *skin friction drag* (C_{Df}). Metode kalkulasi untuk mendapatkan gaya *drag* total (C_{Dt}) dari pengujian eksperimen adalah dengan menghitung selisih defisit momentum pada daerah *upstream* dan daerah *downstream* silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*. Besarnya nilai *pressure drag* (C_{Dp}) diperoleh dari integrasi nilai koefisien tekanan (C_p) yang terdapat pada kontur silinder. Selisih antara nilai *total drag* (C_{Dt}) dan *pressure drag* (C_{Dp}) menunjukkan besarnya nilai *skin friction drag* (C_{Df}) yang ada. Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan nilai C_{Dt} yang terjadi pada silinder tanpa dan dengan penambahan *splitter*.

Tabel 4.3. Koefisien *drag* total yang terjadi pada silinder sirkular

	C_{Dp}	C_{Df}	C_{Dt}
	Eksperimen		
Tanpa <i>splitter</i>	1,220	0,033	1,253
Dengan <i>splitter</i>	1,024	0,446	1,470
Kenaikan			17,32%
	Numerik		
Tanpa <i>splitter</i>	1,318	0,039	1,357
Dengan <i>splitter</i>	1,259	0,015	1,274
Penurunan			6,12%

Tabel 4.3 menunjukkan besar masing-masing nilai C_{Dt} dengan nilai-nilai pembentuknya. Dari tabel 4.3 didapatkan dua fenomena berbeda setelah silinder diberi penambahan *splitter* pada bagian belakang silinder. Nilai C_{Dt} yang diperoleh dari data hasil eksperimen mengalami peningkatan sebesar 17,32% sedangkan nilai C_{Dt} yang diperoleh dari hasil simulasi numerik

mengalami penurunan sebesar 6,12%. Apabila ditinjau dari *pressure drag* (C_{Dp}) yang ada, nilai C_{Dp} yang diperoleh menggunakan metode eksperimen dan numerik sama-sama mengalami penurunan setelah silinder diberi penambahan *splitter*. Hasil eksperimen menunjukkan C_{Dp} menurun dari 1,220 menjadi 1,024, sedangkan hasil numerik menunjukkan C_{Dp} menurun dari 1,318 menjadi 1,259. Apabila ditinjau dari *skin friction drag* (C_{Df}) yang ada, nilai C_{Df} yang diperoleh menggunakan metode eksperimen mengalami peningkatan, sedangkan nilai C_{Df} yang diperoleh menggunakan metode numerik mengalami penurunan. Hasil eksperimen menunjukkan C_{Df} meningkat dari 0,033 menjadi 0,446, sedangkan hasil numerik menunjukkan C_{Df} menurun dari 0,039 menjadi 0,015. Dari penjabaran tersebut dapat dikatakan, perbedaan fenomena yang terjadi pada hasil eksperimen dan simulasi numerik setelah silinder diberi penambahan *splitter* disebabkan oleh *skin friction drag* (C_{Df}).

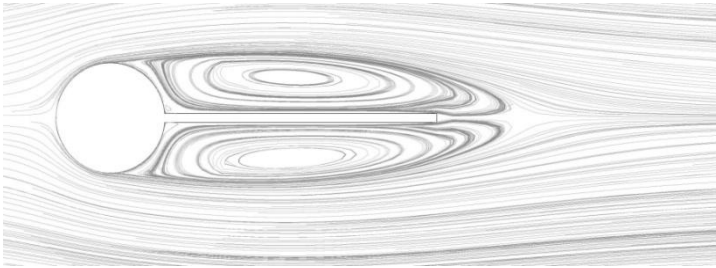
Berdasarkan luas daerah *wake* yang didapat melalui metode eksperimen pada gambar 4.9, luas daerah *wake* di belakang silinder tanpa *splitter* lebih kecil dari luas daerah *wake* di belakang silinder dengan *splitter*. Hal ini mengindikasikan bahwa C_{Df} akan meningkat dengan ditambahkan *splitter* di belakang silinder. Indikasi peningkatan C_{Df} melalui luasan *wake* pada metode eksperimen bersesuaian dengan hasil kalkulasi yang ada. Berdasarkan luas daerah *wake* yang didapat melalui simulasi numerik pada gambar 4.10, luas daerah *wake* di belakang silinder tanpa *splitter* lebih kecil dari luas daerah *wake* di belakang silinder dengan *splitter*. Hal ini mengindikasikan bahwa C_{Df} akan meningkat dengan ditambahkan *splitter* di belakang silinder. Indikasi peningkatan C_{Df} melalui luasan *wake* pada metode numerik tidak bersesuaian dengan hasil kalkulasi yang dihasilkan melalui metode numerik. Oleh sebab itu, diduga terdapat kekurangakuratan perhitungan C_{Df} dari simulasi numerik. Kekurangakuratan ini dapat dipengaruhi oleh model *meshing*, pemilihan model turbulensi, dan sebagainya.

Apabila nilai C_{Df} yang diperoleh melalui hasil eksperimen pada pengerjaan tugas akhir ini dibandingkan dengan hasil diperoleh oleh Roshko dan Kruger, terdapat dua fenomena berbeda. Penambahan *splitter* di belakang silinder meningkatkan C_{Df} sebesar 17,32% dari hasil eksperimen pada pengerjaan tugas akhir ini, sedangkan penambahan *splitter* di belakang silinder menurunkan C_{Df} sebesar 52% dan 37% dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh Kruger dan Roshko. Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan nilai C_{Df} yang diperoleh pada pengerjaan tugas akhir ini dengan penelitian terdahulu.

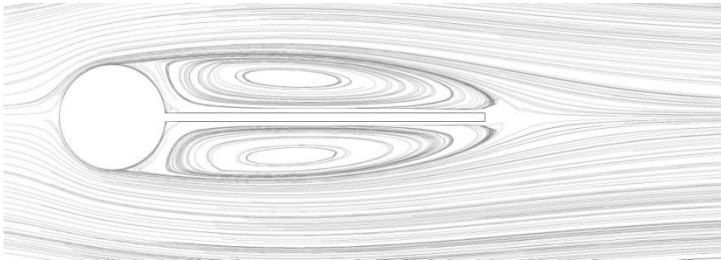
Tabel 4.4. Perbandingan koefisien *drag* total hasil eksperimen dari beberapa penelitian

Eksperimen	Re	C_{Df} Silinder		Perubahan C_{Df}
		tanpa <i>splitter</i>	dengan <i>splitter</i>	
Roshko	14.500	1,15	0,72	Turun
Kruger	50.000	1,62	0,77	Turun
Tugas Akhir	26.000	1,25	1,47	Naik

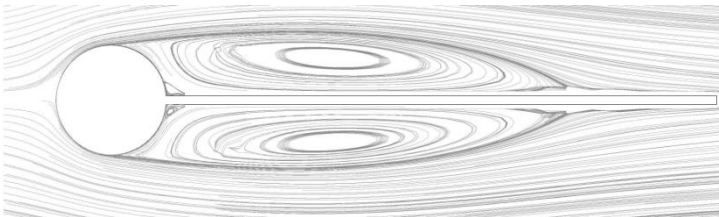
Dari tabel 4.4 didapatkan, pada bilangan Reynolds sebesar 14.500 dan 50.000 terjadi penurunan nilai C_{Df} yang signifikan. Namun, fenomena berbeda terjadi pada bilangan Reynolds sebesar 26.000, dimana terjadi peningkatan nilai C_{Df} . Selain bilangan Reynolds, konfigurasi *splitter* yang digunakan juga berpengaruh terhadap besarnya C_{Df} yang terbentuk. Profil aliran ketika melewati silinder pada eksperimen pengerjaan tugas akhir dengan $L_s/D = 2,5$ dibandingkan dengan $L_s/D = 3$ dan 5 (gambar 4.22). Silinder dengan $L_s/D = 3$ mengacu kepada penelitian yang dilakuka oleh Kruger (2001) secara eksperimen, sedangkan silinder dengan $L_s/D = 5$ mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Roshko (1954).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.22 Perbandingan ilustrasi panang vorteks di belakang silinder dengan perbandingan panjang *splitter* dan diameter silinder sebesar (a) $L_s/D = 2,5$ (b) $L_s/D = 3$ (c) $L_s/D = 5$

Dari gambar 4.22 terlihat, penambahan *splitter* di bagian belakang silinder menimbulkan interaksi antara *splitter (solid surface)* dengan *back flow* yang terdapat di daerah *wake*. Dengan adanya interaksi tersebut, akan timbul tegangan geser (τ_w) antara permukaan *splitter* dengan *back flow*. Tegangan geser yang dihasilkan memiliki nilai negatif, karena arah aliran fluida (*back flow*) berkebalikan dengan arah aliran *free stream*. Apabila nilai tegangan geser yang terdapat pada permukaan *splitter* bernilai negatif, maka kehadiran *splitter* memberikan tambahan nilai *skin friction drag* (C_{Df}) negatif pada akumulasi nilai *drag total* (C_{Dt}) silinder. Sehingga, apabila C_{Dt} silinder tanpa penambahan *splitter* dibandingkan dengan C_{Dt} silinder dengan penambahan *splitter*, maka besarnya C_{Dt} silinder dengan penambahan *splitter* akan lebih kecil dari silinder tanpa penambahan *splitter*.

Semakin panjang *splitter plate* yang digunakan, maka semakin besar reduksi *drag* yang terjadi karena nilai tegangan geser pada permukaan silinder yang bernilai negatif semakin besar. Fenomena tersebut berlaku apabila panjang *splitter plate* yang digunakan tidak melebihi titik *reattachment* fluida. Apabila panjang *splitter plate* melebihi titik *reattachment* fluida, akan timbul tegangan geser bernilai positif yang dapat memperbesar nilai C_{Dt} . Dalam ilustrasi profil aliran pada gambar 4.22, panjang *splitter* yang digunakan pada eksperimen tugas akhir dan Kruger menghasilkan tegangan geser negatif karena panjang *splitter* tidak melebihi titik *reattachment*. Sedangkan eksperimen yang dilakukan Roshko akan menghasilkan tegangan geser positif karena panjang *splitter* melebihi titik *reattachment*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari pengambilan data yang dilakukan, baik secara eksperimen maupun numerik, pengolahan data dan perhitungan, serta analisa terhadap hasil perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan adanya penambahan *splitter* di bagian belakang silinder sirkular, akan memberikan pengaruh terhadap karakteristik aliran yang melewatinya. Pengaruh tersebut dapat diamati melalui fenomena berikut:
 - a. Harga koefisien *base pressure* (C_{pb}) meningkat dengan penambahan *splitter* di bagian belakang silinder sirkular. Kenaikan tersebut mengindikasikan penurunan harga koefisien *pressure drag* (C_{Dp}).
 - b. Terjadi peningkatan nilai koefisien *friction drag* (C_{Df}) dengan penambahan *splitter* di bagian belakang silinder sirkular dari hasil eksperimen, sedangkan hasil simulasi numerik menunjukkan penurunan nilai koefisien *friction drag* (C_{Df}) dengan penambahan *splitter*. Nilai koefisien *drag total* (C_{Dt}) yang diperoleh melalui metode eksperimen mengalami peningkatan, sementara nilai koefisien *drag total* (C_{Dt}) yang diperoleh melalui simulasi numerik mengalami penurunan. Timbulnya perbedaan hasil pada metode eksperimen dan numerik dapat disebabkan oleh perhitungan C_{Dt} dari simulasi numerik yang kurang akurat, mengingat hasil yang diperoleh dari metode eksperimen dan numerik menunjukkan luas daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular tanpa penambahan

splitter lebih kecil dari luas daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular dengan penambahan *splitter*.

- c. Penambahan *splitter* di bagian belakang silinder tidak dapat menunda separasi aliran yang terjadi.
2. Distribusi data yang didapat dari hasil simulasi numerik memiliki kecenderungan yang lebih halus dibandingkan dengan distribusi data yang diperoleh dari hasil eksperimen.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang diberikan untuk penelitian sejenis yang lebih baik di waktu mendatang. Saran-saran tersebut, yaitu:

1. Sebaiknya, kalibrasi *pressure transducer* dilakukan setiap akan mengambil data.
2. Diperlukan integrasi defisit momentum yang menyeluruh, dari dinding atas hingga dinding bawah *test section area* pada *wind tunnel* dalam perhitungan koefisien *total drag* (C_{Dt}) agar hasil yang didapat lebih akurat.
3. Diperlukan peremajaan *wind tunnel* dan peremajaan alat ukur agar penelitian dapat berjalan lebih akurat dan teliti.
4. Perlu dicoba menggunakan model simulasi *unsteady* untuk melihat pengaruh penambahan *splitter plate* terhadap fenomena *vortex shedding* di daerah *downstream* silinder.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, Ardawalika. 2012. **Studi Eksperimen dan Numerik Tentang Pengaruh Blangan Reynolds Terhadap Gaya Drag Pada Berbagai Tingkat Irisan Silinder Tipe-D.** Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin ITS.
- Alam, Md. Mahbub., Sakamoto, H., and Moriya M. 2003. **Reduction of Fluid Forces Acting On A Single Circular Cylinder and Two Circular Cylinders by Using Tripping Rods.** Journal of Fluids and Structures, Vol. 18.
- Devenport, W. J & Aurelien, B. 2011. **Flow Past A Circular Cylinder.** <URL:<http://www.dept.aoe.vt.edu.html>>
- Edwin, Fadilah. 2014. **Studi Numerik Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu Terhadap Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder Utama.** Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin ITS.
- Fox, Robert W., Philip, J. P & Alan, T. M. 2010 . **Introduction to Fluid Mechanics.** John Willey and Son, Inc.
- Kruger, Pam., Miguel, M & Scott, S. 2001. **Bluff Body Aerodynamics and Streamlining.** Notre Dame: University of Notre Dame.
- Roshko, Anatol. 1954. **On The Drag And Shedding Frequency Of Two-Dimensional Bluff Bodies.** California: California Institute of Technology.
- Rossi, Andrea. 2011. **Paragliding Aerodynamics.** <URL: <http://sci-fix.blogspot.com>>
- Pudjanarsa, Astu & Herman, S. 2012. **Oil Streak Visualization of Fluid Flow over SingleD-Type Cylinder.** Surabaya: Jurusan Teknik Mesin ITS.

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Dea Amanda Bestari dilahirkan di Jakarta, 10 April 1993. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Ary Krisriyanto, SE dan Sri Rahayu, SH. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Jakasampurna Bekasi, SD Tunas Jakasampurna Bekasi, SMPI Al-Azhar 8 Bekasi dan SMAN 1 Bekasi. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2010.

Di Jurusan Teknik Mesin penulis mengambil bidang studi Konversi Energi. Penulis sempat aktif pada kepengurusan BEM FTI ITS pada periode 2011/2012 dan 2012/2013. Pada bulan Juli 2014 Penulis menyelesaikan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. Perhitungan Koefisien Tekanan (C_p)

1. Perhitungan koefisien tekanan (C_p) pada kontur silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*

Sudut Kontur (°)	No.	Kontur			Free Stream		C_p
		i (mA)	h (mm)	P kontur (Pa)	P Statis (Pa)	P Dinamis (Pa)	
0	1	11,77	-2,64	-20,8	-124	107,8	0,96
10	2	11,63	-5,79	-45,6	-124	107,8	0,73
20	3	11,34	-12,39	-97,6	-124	107,8	0,24
30	4	10,91	-22,07	-173,9	-124	107,8	-0,46
40	5	10,59	-29,14	-229,6	-124	107,8	-0,98
50	6	10,23	-37,51	-295,5	-124	107,8	-1,59
60	7	10,07	-41,07	-323,6	-124	107,8	-1,85
70	8	10,08	-40,93	-322,5	-124	107,8	-1,84
80	9	10,20	-38,21	-301,1	-124	107,8	-1,64
90	10	10,18	-38,62	-304,3	-124	107,8	-1,67
100	11	10,20	-38,26	-301,4	-124	107,8	-1,64
110	12	10,19	-38,35	-302,2	-124	107,8	-1,65
120	13	10,19	-38,41	-302,7	-124	107,8	-1,66
130	14	10,17	-38,75	-305,4	-124	107,8	-1,68
140	15	10,17	-38,85	-306,1	-124	107,8	-1,69
150	16	10,17	-38,87	-306,3	-124	107,8	-1,69
160	17	10,16	-39,07	-307,9	-124	107,8	-1,70
170	18	10,18	-38,69	-304,8	-124	107,8	-1,68
180	19	10,17	-38,85	-306,1	-124	107,8	-1,69
190	20	10,17	-38,80	-305,7	-124	107,8	-1,68

200	21	10,17	-38,75	-305,4	-124	107,8	-1,68
210	22	10,16	-38,96	-307,0	-124	107,8	-1,70
220	23	10,18	-38,60	-304,1	-124	107,8	-1,67
230	24	10,20	-38,12	-300,4	-124	107,8	-1,63
240	25	10,19	-38,35	-302,2	-124	107,8	-1,65
250	26	10,19	-38,37	-302,3	-124	107,8	-1,65
260	27	10,20	-38,12	-300,4	-124	107,8	-1,63
270	28	10,20	-38,17	-300,7	-124	107,8	-1,64
280	29	10,18	-38,57	-303,9	-124	107,8	-1,67
290	30	10,05	-41,45	-326,6	-124	107,8	-1,88
300	31	10,10	-40,50	-319,1	-124	107,8	-1,81
310	32	10,28	-36,33	-286,3	-124	107,8	-1,51
320	33	10,60	-29,17	-229,8	-124	107,8	-0,98
330	34	11,03	-19,30	-152,1	-124	107,8	-0,26
340	35	11,35	-11,98	-94,4	-124	107,8	0,27
350	36	11,70	-4,07	-32,1	-124	107,8	0,85
360	37	11,77	-2,64	-20,8	-124	107,8	0,96

2. Perhitungan koefisien tekanan (C_p) pada kontur silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*

Sudut Kontur (°)	No.	Kontur			Free Stream		C_p
		i (mA)	h (mm)	P kontur (Pa)	P Statis (Pa)	P Dinamis (Pa)	
0	1	11,417	-9,423	-74,2	-178,16	107,97	0,96
10	2	11,308	-11,660	-91,9	-178,16	107,97	0,80
20	3	11,086	-16,215	-127,8	-178,16	107,97	0,47
30	4	10,772	-22,659	-178,5	-178,16	107,97	0,00
40	5	10,359	-31,133	-245,3	-178,16	107,97	-0,62

50	6	9,936	-39,813	-313,7	-178,16	107,97	-1,25
60	7	9,716	-44,328	-349,3	-178,16	107,97	-1,59
70	8	9,815	-42,296	-333,3	-178,16	107,97	-1,44
80	9	9,917	-40,203	-316,8	-178,16	107,97	-1,28
90	10	9,922	-40,101	-316,0	-178,16	107,97	-1,28
100	11	9,922	-40,101	-316,0	-178,16	107,97	-1,28
110	12	9,929	-39,957	-314,8	-178,16	107,97	-1,27
120	13	9,926	-40,018	-315,3	-178,16	107,97	-1,27
130	14	9,928	-39,977	-315,0	-178,16	107,97	-1,27
140	15	9,938	-39,772	-313,4	-178,16	107,97	-1,25
150	16	9,925	-40,039	-315,5	-178,16	107,97	-1,27
160	17	9,926	-40,018	-315,3	-178,16	107,97	-1,27
170	18	9,915	-40,244	-317,1	-178,16	107,97	-1,29
180	Penempatan <i>splitter plate</i>						
190	20	9,815	-42,296	-333,3	-178,16	107,97	-1,44
200	21	9,827	-42,050	-331,3	-178,16	107,97	-1,42
210	22	9,823	-42,132	-332,0	-178,16	107,97	-1,42
220	23	9,818	-42,235	-332,8	-178,16	107,97	-1,43
230	24	9,814	-42,317	-333,4	-178,16	107,97	-1,44
240	25	9,816	-42,276	-333,1	-178,16	107,97	-1,43
250	26	9,823	-42,132	-332,0	-178,16	107,97	-1,42
260	27	9,830	-41,988	-330,8	-178,16	107,97	-1,41
270	28	9,821	-42,173	-332,3	-178,16	107,97	-1,43
280	29	9,834	-41,906	-330,2	-178,16	107,97	-1,41
290	30	9,606	-46,585	-367,1	-178,16	107,97	-1,75
300	31	9,729	-44,061	-347,2	-178,16	107,97	-1,56
310	32	10,056	-37,351	-294,3	-178,16	107,97	-1,08
320	33	10,358	-31,154	-245,5	-178,16	107,97	-0,62
330	34	10,885	-20,340	-160,3	-178,16	107,97	0,17

340	35	11,104	-15,846	-124,9	-178,16	107,97	0,494
350	36	11,359	-10,613	-83,6	-178,16	107,97	0,876
360	37	11,417	-9,423	-74,2	-178,16	107,97	0,962

B. Perhitungan Koefisien *Pressure Drag* (C_{Dp})

1. Perhitungan koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) pada silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*

Sudut Kontur (θ)	C_p	$C_p \cdot \cos(\theta)$	Luas Integral		C_{Dp}
			$4 \cdot f(\theta_i)$	$2 \cdot f(\theta_j)$	
0	0,957	0,957294			1,220
10	0,727	0,716032	2,86413		
20	0,245	0,230332		0,46066	
30	-0,462	-0,400187	-1,60075		
40	-0,979	-0,749836		-1,49967	
50	-1,590	-1,022026	-4,08810		
60	-1,850	-0,925009		-1,85002	
70	-1,840	-0,629345	-2,51738		
80	-1,641	-0,285015		-0,57003	
90	-1,671	0,000000	0,00000		
100	-1,645	0,285590		0,57118	
110	-1,651	0,564768	2,25907		
120	-1,656	0,828120		1,65624	
130	-1,681	1,080579	4,32232		
140	-1,688	1,292859		2,58572	
150	-1,689	1,463032	5,85213		
160	-1,704	1,601490		3,20298	
170	-1,676	1,650650	6,60260		
180	-1,688	1,687708		3,37542	

190	-1,684	1,658806	6,63522	
200	-1,681	1,579701		3,15940
210	-1,696	1,468770	5,87508	
220	-1,669	1,278903		2,55781
230	-1,635	1,050770	4,20308	
240	-1,651	0,825635		1,65127
250	-1,653	0,565334	2,26134	
260	-1,635	0,283864		0,56773
270	-1,638	0,000000	0,00000	
280	-1,668	-0,289616		-0,57923
290	-1,878	-0,642374	-2,56949	
300	-1,809	-0,904306		-1,80861
310	-1,504	-0,966667	-3,86667	
320	-0,980	-0,751104		-1,50221
330	-0,260	-0,225198	-0,90079	
340	0,275	0,258346		0,51669
350	0,853	0,839993	3,35997	
360	0,957	0,957294		
TOTAL			28,69175	12,49533

2. Perhitungan koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) pada silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*

Sudut Kontur (θ)	C_p	$C_p \cdot \cos(\theta)$	Luas Integral		C_{Dp}
			$4 \cdot f(\theta_i)$	$2 \cdot f(\theta_j)$	
0	0,962	0,96241			1,024
10	0,799	0,78704	3,148156		
20	0,467	0,43859		0,877185	
30	-0,003	-0,00300	-0,012013		
40	-0,622	-0,47642		-0,952846	
50	-1,255	-0,80693	-3,227718		
60	-1,585	-0,79240		-1,584805	
70	-1,437	-0,49133	-1,965322		
80	-1,284	-0,22293		-0,445863	
90	-1,276	0,00000	0,000000		
100	-1,276	0,22163		0,443263	
110	-1,266	0,43294	1,731773		
120	-1,270	0,63517		1,270334	
130	-1,267	0,81463	3,258520		
140	-1,252	0,95937		1,918734	
150	-1,272	1,10144	4,405754		
160	-1,270	1,19372		2,387447	
170	-1,287	1,26726	5,069028		
190	-1,437	1,41473		2,829459	
200	-1,419	1,33303	5,332134		
210	-1,425	1,23372		2,467435	
220	-1,432	1,09702	4,388092		
230	-1,438	0,92436		1,848724	

240	-1,435	0,71753	2,870113	
250	-1,425	0,48723		0,974466
260	-1,414	0,24555	0,982218	
270	-1,428	0,00000		0,000000
280	-1,408	-0,24451	-0,978057	
290	-1,750	-0,59837		-1,196747
300	-1,565	-0,78267	-3,130675	
310	-1,076	-0,69142		-1,382844
320	-0,623	-0,47757	-1,910281	
330	0,166	0,14354		0,287083
340	0,494	0,46392	1,855686	
350	0,876	0,86225		1,724500
360	0,962	0,96241		
TOTAL			21,817408	11,465525

C. Perhitungan Koefisien *Total Drag* (C_{Di})

1. Perhitungan koefisien *total drag* (C_{Di}) pada silinder sirkular tanpa penambahan *splitter plate*

No.	y (mm)	u_1 (m/s)	u_2 (m/s)	u_1^2 (m ² /s ²)	u^2 (m ² /s ²)	$u_1^2 - u_2^2$ (m ² /s ²)	Luas Integral	
							4.f(u)	2.f(u)
1	0	9	13,5	79	183	-104		
2	5	9,	13,5	81	183	-102	-406	
3	10	10	13,5	99	183	-84		-167
4	15	11	13,5	124	183	-59	-235	
5	20	12	13,5	151	183	-31		-62
6	25	13	13,5	172	183	-11	-43	
7	30	14	13,5	186	183	4		7,4
8	35	14	13,5	194	183	11	44	

9	40	14	13,5	203	183	20		41
10	45	14	13,5	208	183	25	102	
11	50	15	13,5	214	183	31		63
12	55	15	13,5	218	183	35	140	
13	60	15	13,5	218	183	35		71
14	65	15	13,5	219	183	36	144	
15	70	15	13,5	218	183	35		70
16	75	15	13,5	219	183	36	144	
17	80	15	13,5	218	183	35		70
18	85	15	13,5	219	183	37	147	
19	90	15	13,5	219	183	36		72
20	95	15	13,5	219	183	36	145	
21	100	15	13,5	220	183	37		74
22	105	15	13,5	220	183	37	150	
23	110	15	13,5	221	183	39		77
24	115	15	13,5	222	183	39	157	
25	120	15	13,5	223	183	40		80
26	125	15	13,5	224	183	41	165	
27	130	15	13,5	224	183	41		83
28	135	15	13,5	224	183	41		
TOTAL							653	479
C_{Dt}							1,253	

2. Perhitungan koefisien *total drag* (C_{Dt}) pada silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*

No.	y (mm)	u_1 (m/s)	u_2 (m/s)	u_1^2 (m ² /s ²)	u_2^2 (m ² /s ²)	$u_1^2 - u_2^2$ (m ² /s ²)	Luas Integral	
							4.f(u)	2.f(u)
1	0	8	13,5	69	183	-113		
2	5	8	13,5	70	183	-113	-452	
3	10	9	13,5	81	183	-101		-202
4	15	10	13,5	107	183	-76	-303	
5	20	12	13,5	145	183	-38		-75,8
6	25	13	13,5	181	183	-1,26	-5,05	
7	30	14	13,5	193	183	10		20,8
8	35	14	13,5	203	183	20	79	
9	40	14	13,5	211	183	28		55,6
10	45	15	13,5	215	183	33	130	
11	50	15	13,5	222	183	40		78,9
12	55	15	13,5	223	183	40	160	
13	60	15	13,5	221	183	38		76,8
14	65	15	13,5	221	183	38	153	
15	70	15	13,5	220	183	38		75,2
16	75	15	13,5	222	183	39	156	
17	80	15	13,5	222	183	39		77,9
18	85	15	13,5	223	183	40	160	
19	90	15	13,5	224	183	41		81,7
20	95	15	13,5	225	183	42	169	
21	100	15	13,5	225	183	43		85,5
22	105	15	13,5	225	183	43	169	
23	110	15	13,5	227	183	44		88,8
24	115	15	13,5	228	183	45	179	
25	120	15	13,5	230	183	47		93,1

26	125	15	13,5	230	183	47	187	
27	130	15	13,5	229	183	46		92
28	135	15	13,5	229	183	47		
TOTAL							7778	543
C_{Dt}							1,489	