



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISA STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN
FLUIDA MELEWATI SILINDER SINGKULAR
DENGAN VARIASI PERMUKAAN SILINDER**

**BIGA ARISANDI
NRP. 2411 100 082**

**Dosen Pembimbing
Ir. Roekmono MT**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

***Experimental Study of Fluid Flow Past
Circular Cylinder With Surface Variations***

*Biga Arisandi
NRP. 2411 100 082*

*Supervisor
Ir. Roekmono MT*

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017*

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Biga Arisandi
NRP : 2411 100 082
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISA STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN FLUIDA MELEWATI SILINDER SIRKULAR DENGAN VARIASI PERMUKAAN SILINDER" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 19 Juni 2017

Yang membuat pernyataan,



Biga Arisandi

NRP. 2411100082

“Halaman ini memang dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISA STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN
FLUIDA MELEWATI SILINDER SIRKULAR
DENGAN VARIASI PERMUKAAN SILINDER**

Oleh :

Biga Arisandi
NRP : 2411 100 082

Surabaya 19 Juni 2017
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing



Ir. Roekmono M.T
NIP. 19580908 198601 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



“Halaman ini memang dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN
FLUIDA MELEWATI SILINDER SIRKULAR
DENGAN VARIASI PERMUKAAN SILINDER**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi S-1 Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Biga Arisandi

NRP: 2411 100 082

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Roekmono, M.T

2. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

3. Ir. Sarwono, M.M

 (Pembimbing I)
 (Penguji I)
 (Penguji II)

**SURABAYA
JUNI, 2017**

“Halaman ini memang dikosongkan”

ANALISA STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN FLUIDA MELEWATI SILINDER SIRKULAR DENGAN VARIASI PERMUKAAN SILINDER

Nama Mahasiswa : Biga Arisandi
NRP : 2411 100 082
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Roekmono, M.T.

Abstrak

Telah dilakukan studi eksperimental aliran fluida melewati silinder tanpa dan dengan variasi permukaan. Silinder yang digunakan terdiri dari 3 macam silinder. Silinder memiliki ukuran dimensi yaitu diameter 6 cm dan panjang silinder 26 cm. Kecepatan fluida yang melewati silinder bervariasi yaitu 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s atau *Reynolds Number* beturut turut 7547, 15094, 22641, 30188. Koefisien drag (*Cd*) rata pada kecepatan fluida 2 m/s sampai 8 m/s atau *Reynolds Number* 7547 sampai 30188 untuk silinder tanpa variasi permukaan adalah 1,34799, sedangkan untuk silinder variasi permukaan 1 adalah 1,477525711 dan untuk silinder variasi permukaan 2 adalah 1,507261707. Penambahan variasi permukaan pada silinder memperbesar koefisien drag dimana perbedaan koefisien drag terbesar antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 1 adalah 0,181360221 atau sebesar 13,58% yaitu saat kecepatan fluida 6 m/s atau *Reynolds Number* 22641. Sedangkan perbedaan koefisien drag paling besar silinder tanpa variasi permukaan dan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,191841588 atau sebesar 14,6% yaitu saat kecepatan fluida 4 m/s atau *Re* 15094. Sedangkan perbedaan koefisien drag paling besar untuk silinder variasi permukaan 1 dan 2 adalah 0,084791751 atau sebesar 5,88% yaitu saat kecepatan fluida 2 m/s atau *Reynolds Number* 7547.

Kata kunci : *Koefisien Drag, Reynolds Number, variasi permukaan silinder*

“Halaman ini memang dikosongkan”

Experimental Study of Fluid Flow Past Circular Cylinder With Surface Variations

Name of Student : ***Biga Arisandi***
NRP : ***2411 100 082***
Department : ***Engineering Physics FTI-ITS***
Supervisor : ***Ir. Roekmono, M.T.***

Abstract

Experimental study about fluid flow past circular cylinder without surface modification and with surface modification had been done. Three kinds of cylinders were used in experimental study. Diameter and span of cylinders were 6 cm and 26 cm respectively. In this study experimental, 4 variation of fluids velocity were used. There were 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s and 8 m/s or ranged from 7547 until 30188 on Reynolds Number. Mean drag coefficient smooth cylinder was 1,34799 ($7547 \leq Re \leq 30188$). Mean drag coefficient first surface modification cylinder was 1,477525711 ($7547 \leq Re \leq 30188$). Cylinder with surface modification has bigger drag coefficient than cylinder without surface modification. Mean drag coefficient second surface modification cylinder was 1,477525711 ($7547 \leq Re \leq 30188$) 1,507261707. The biggest difference drag coefficient between smooth cylinder and first surface modification was 0,181360221 or 13,58% when fluids velocity 6 m/s or Reynolds Number 22641. The biggest difference drag coefficient between smooth cylinder and second surface modification was 0,191841588 or 14,6% when fluids velocity 4 m/s or Reynolds Number 15094. The biggest difference drag coefficient between first and second surface modification was 0,084791751 or 5,88% when fluids velocity 2 m/s or Reynolds Number 7547.

Key Words : ***Drag coefficient, Reynolds Number, surface modification of cylinder***

“Halaman ini memang dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

“ANALISA STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN FLUIDA MELEWATI SILINDER SIRKULAR DENGAN VARIASI PERMUKAAN SILINDER”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Roekmono, M.T., selaku pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi kepada penulis.
3. Bapak Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D., selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika..
5. Bapak Sarwono selaku penguji tugas akhir yang telah memberikan banyak masukan untuk perbaikan isi tugas akhir ini.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah hingga tugas akhir ini.
7. Teman-teman yang telah banyak menyempatkan waktu untuk berdiskusi tentang topik penelitian ini.

8. Teman – teman KSE Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas segala dukungan dan bantuannya.
9. Semua Pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 19 Juni 2017

Penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>Title Page</i>	iii
LEMBAR PENGESAHAN I	v
LEMBAR PENGESAHAN II	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR NOTASI	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TEORI PENUNJANG	
2.1 Aliran Fluida Melewati Silinder	5
2.2 Konsep gaya angkat (<i>Lift</i>) dan gaya hambat (<i>Drag</i>)	6
2.3 Variasi Permukaan Silinder	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tahap Penelitian	19
3.2 Obyek Silinder	22
3.2.1 Silinder Tanpa Variasi Permukaan	22
3.2.2 Silinder Variasi Permukaan 1	23
3.2.2 Silinder Variasi Permukaan 2	25
3.3 Wind Tunnel	27
3.4 Prosedur Eksperimen	27
3.5 Reynolds Number	29
3.6 Drag Force/ Gaya Hambat	30
3.6.1 Drag Coefficient/Koefisien Gaya Hambat	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Perhitungan <i>Reynolds Number</i>	33
4.2	Perbandingan Cd Silinder saat $v = 2$ m/s atau Reynolds Number 7547	35
4.3	Perbandingan Cd Silinder saat $v = 4$ m/s atau Reynolds Number 15094	36
4.4	Perbandingan Cd Silinder saat $v = 6$ m/s atau Reynolds Number 22641	38
4.5	Perbandingan Cd Silinder saat $v = 8$ m/s atau Reynolds Number 30188	39
4.6	Perbandingan Cd Silinder rata rata	41
4.7	Perbandingan Cd Silinder dengan penelitian lain	42
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Kualitatif aliran pada suatu silinder(Fox, 1985)	5
Gambar 2.2	Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi (Kuncoro, 2012)	7
Gambar 2.3	Gaya tekanan dan gaya geser pada sebuah elemen kecil dari permukaan sebuah benda (Kuncoro, 2012)	8
Gambar 2.4	Definisi luas planform dan luas frontal (Kuncoro, 2012)	10
Gambar 2.5	Geometri dari silinder(Zhang, 2016)	11
Gambar 2.6	Silinder sirkular yang dimodifikasi dengan penambahan 3 <i>helical strakes</i> (Ranjith, 2015)	12
Gambar 2.7	Silinder eksperimen(Zhou, 2015)	13
Gambar 2.8	Set up eksperimen(Zhou, 2015)	14
Gambar 2.9	Mean koefisien drag masing masing silinder(Zhou, 2015)	14
Gambar 2.10	Gambar skematik untuk set up model eksperimen(Huang&Sworn, 2013)	15
Gambar 2.11	Obyek silinder dengan <i>air bearing base</i> (Korkischko, 2007)	16
Gambar 2.12	<i>Circulating water channel</i> yang digunakan(Korkischko, 2007)	17
Gambar 2.13	Grafik Cd masing masing silinder pada Reynolds Number 2000 sampai 10000(Korkischko, 2007)	17
Gambar 3.1	Diagram alur tugas akhir	21
Gambar 3.2	Ukuran dimensi Silinder tanpa variasi permukaan	22
Gambar 3.3	Foto Silinder tanpa variasi permukaan	23
Gambar 3.4	Penampang Silinder Variasi 1	24
Gambar 3.5	Ukuran dimensi serta letak variasi permukaan 1 Silinder	24
Gambar 3.6	Foto Silinder Variasi Permukaan 1	25

Gambar 3.7	Penampang dan Dimensi Silinder Variasi Permukaan 2	26
Gambar 3.8	Foto silinder variasi permukaan 2	26
Gambar 3.9	Foto penampang open channel sub sonic wind tunnel	27
Gambar 3.10	Gambaran mengenai set up eksperimental	28
Gambar 3.11	Obyek Silinder ketika diuji coba di wind tunnel	29
Gambar 4.1	Grafik perbandingan koefisien drag (Cd) antar silinder dengan kecepatan 2 m/s	36
Gambar 4.2	Grafik perbandingan koefisien drag (Cd) antar silinder dengan kecepatan 4 m/s	37
Gambar 4.3	Grafik perbandingan koefisien drag (Cd) antar silinder dengan kecepatan 6 m/s	39
Gambar 4.4	Grafik perbandingan koefisien drag (Cd) antar silinder dengan kecepatan 8 m/s	40
Gambar 4.5	Perbandingan koefisien drag (Cd) antar silinder saat kecepatan 2 m/s sampai 8 m	42

DAFTAR TABEL

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

τ_w	=	Tegangan Viskos (Newton)
p	=	Tekanan (Pascal)
D	=	Gaya <i>Drag</i> (Newton)
L	=	Gaya <i>Lift</i> (Newton)
dF_x	=	Komponen Gaya pada sumbu-x
dA	=	Elemen luas kecil
dF_y	=	Komponen Gaya pada sumbu-y
θ	=	Sudut antara tegangan viskos dan pressure fluida pada benda
C_L	=	koefisien gaya angkat
C_D	=	koefisien gaya seret
ρ	=	densitas fluida (kg/m^3)
A	=	luasan acuan (m^2)
c	=	panjang chord (m)
V_∞	=	kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s)
Re	=	Bilangan Reynolds Number
u	=	kecepatan dari fluida terhadap obyek (m/s)
D	=	Ukuran karakteristik benda (m)
ν	=	viskositas kinematik fluida (m^2/s)

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena aliran fluida melalui suatu benda merupakan fenomena yang sering kita temui dalam kehidupan. Seperti penggunaan pada jembatan, pesawat terbang, kapal laut, kendaraan darat dan konstruksi bangunan lainnya. Dalam aplikasinya tidak hanya satu macam bentuk benda yang dilewati oleh aliran fluida, tapi terdapat banyak macam bentuk benda yang direkayasa sehingga sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Bentuk benda yang berbeda akan menghasilkan karakteristik aliran fluida yang berbeda dan sangat berpengaruh terhadap fungsi dari bentuk benda tersebut. (Prastyo, 2011)

Ketika sebuah benda dilewati oleh aliran fluida maka benda akan mengalami gaya aerodinamis dimana salah satu gaya aerodinamis itu adalah *drag force*. *Drag force* atau gaya hambat adalah gaya yang bekerja searah dengan aliran fluida dimana gaya hambat dapat dikategorikan berdasarkan beberapa jenis diantaranya yaitu *skin frictional drag* dan *pressure drag*. Ditinjau dari karakteristik aerodinamika di sekeliling benda yang dilewati oleh aliran fluida, maka benda dapat diklasifikasikan sebagai *bluff body* dan *streamlined body*. Ketika *bluff body* dilewati aliran fluida maka akan mengalami gaya hambat dimana nilai *pressure drag*-nya lebih dominan daripada *skin frictional drag*-nya, sedangkan *streamlined body* ketika dilewati oleh aliran fluida maka akan mengalami gaya hambat dimana nilai *skin frictional drag*-nya lebih dominan daripada *pressure drag*-nya. (Widodo, 2009)

Karakteristik aliran yang melintasi *bluff body* maupun *streamlined body* akan menjadi kompleks dan menarik apabila dilakukan modifikasi geometri yang bertujuan untuk merekayasa gaya-gaya aerodinamik (gaya drag maupun gaya lift). Metode yang digunakan untuk merekayasa gaya-gaya tersebut adalah dengan mengendalikan aliran fluida baik secara aktif maupun pasif, atau yang dikenal dengan *active flow control* maupun *passive flow*

control. Salah satu bentuk dari *passive flow control* adalah dengan memberikan variasi pada permukaan benda. (Gad-El-Hak, 2006)

Silinder sirkular adalah salah satu contoh klasik dari *bluff body*, sedangkan silinder ellips adalah salah satu bentuk dari *streamlined body* dua dimensi. Geometri keduanya relatif sederhana, namun demikian aliran yang melintasinya akan menjadi kompleks, baik pada saat benda sesaat sebelum dilewati oleh aliran fluida maupun setelah dilewati oleh aliran fluida.

Penelitian mengenai aliran fluida melewati silinder sirkular telah dilakukan sejak lama hingga sekarang. Baik dengan modifikasi permukaan silinder maupun tanpa variasi modifikasi permukaan silinder. Kai Zhang dkk pada tahun 2016 melakukan studi numerik mengenai pengaruh modifikasi bentuk permukaan terhadap aliran fluida melewati silinder. (Zhang, 2016) Ranjith E R pada tahun 2015 melakukan penelitian mengenai keefektifan dari *helical strakes* dalam menekan timbulnya *vortex induced vibrations* pada silinder. (Ranjith, 2015) Bo Zhou pada tahun 2015 melakukan penelitian mengenai studi eksperimental aliran fluida melewati silinder dengan variasi kekasaran permukaan silinder. (Zhou, 2016) Shan Huang dan Andy Sworn pada tahun 2013 melakukan penelitian mengenai studi nilai koefisien hidrodinamik silinder sirkular dengan *helical* dan tanpa *helical*. (Huang & Sworn, 2013) Ivan Korkischko pada tahun 2007 melakukan studi eksperimental mengenai aliran fluida melewati silinder dengan *helical strakes*. (Korkischko, 2007)

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah ada mengenai aliran fluida terhadap silinder sirkular, maka pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimental mengenai aliran fluida terhadap silinder sirkular tanpa variasi permukaan dan silinder dengan variasi permukaan menggunakan *Wind Tunnel*.

1.2 Rumusan Permasalahan

Dari uraian latar belakang tersebut, didapatkan beberapa permasalahan, yaitu :

1. Bagaimana melakukan studi ekeperimental mengenai aliran fluida yang melewati silinder baik tanpa variasi permukaan maupun dengan variasi permukaan?
2. Bagaimana menganalisis aliran fluida yang melewati silinder baik tanpa variasi permukaan maupun dengan variasi permukaan?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penelitian ini adalah menjawab permasalahan yang telah dikemukakan, yakni :

1. Untuk melakukan studi ekeperimental mengenai aliran fluida yang melewati silinder dengan variasi permukaan
2. Untuk menganalisa aliran fluida yang melewati silinder dengan variasi permukaan

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Fluida yang dipakai adalah udara dengan asumsi alirannya bersifat fluida incompressible, steady flow, dan uniform
2. Kemungkinan adanya perpindahan panas dapat diabaikan
3. Benda kerja yang digunakan adalah silinder dengan dimensi yang konstan dan bahan yang sama
4. Alat yang digunakan untuk menguji-coba silinder adalah Wind Tunnel
5. Data yang didapatkan yaitu *drag force* dan kecepatan fluida

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini akan disusun secara sistematis dengan dibagi ke beberapa bab, berikut perinciannya:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi penjelasan teori-teori yang berkaitan dengan Tugas Akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi penjelasan mengenai langkah-langkah untuk mencapai tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini meliputi pengujian objek pada *wind-tunnel*

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Bab ini berisi nilai-nilai yang diperoleh dari pengujian objek pada *wind-tunnel*, kemudian dilakukan analisa-analisa yang sesuai pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

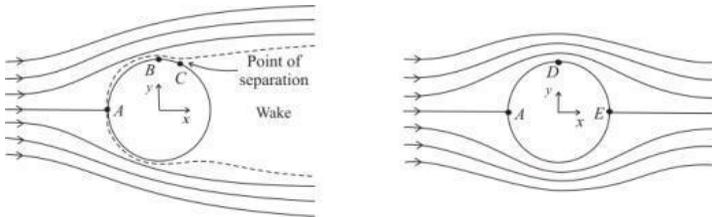
BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari pokok permasalahan dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan acuan pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Fluida yang Melewati Silinder

Aliran inkompresibel melintasi silinder dapat dilihat pada Gambar 2.1



(a) Aliran *Viscous* (b) Aliran *Inviscid*

Gambar 2.1 Gambar Kualitatif aliran pada suatu silinder(Fox, 1985)

Pada Gambar 2.1 a. menunjukkan aliran *viscous* pada suatu silinder, *streamlines* adalah simetris. Titik A adalah titik stagnasi dan selanjutnya terjadi *boundary layer*. Dari titik A ke titik B terjadi kenaikan kecepatan yang berakibat penurunan tekanan dan selanjutnya dari titik B ke titik C terjadi penurunan kecepatan yang berarti terjadi kenaikan tekanan $P_C > P_B$. Di titik C momentum aliran tidak mampu melawan tegangan geser sehingga menyebabkan pecahnya *boundary layer*. Titik C disebut dengan *point of separation*. Di antara titik-titik atau tempat-tempat pemisahan *boundary layer* terjadi suatu kawasan yang disebut dengan *wake*. Semakin besar *wake* yang ditimbulkan, maka semakin besar terjadi perbedaan gaya di depan dan di belakang silinder yang berakibat semakin besar gaya seret aliran terhadap silinder. Aliran *inviscid* digambarkan pada gambar 2.1.b. terlihat bahwa *streamlines* simetris, terjadi slip pada permukaan silinder

dan perbedaan besar kecilnya kecepatan aliran ditunjukkan oleh rapat longgarnya *streamlines* yang ada dan juga tidak terjadi *wake* sehingga tidak terjadi gaya seret pada silinder. (Tista, 2016)

2.2 Konsep gaya angkat (*Lift*) dan Gaya hambat (*Drag*)

Ketika sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi, efek ini dapat digambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar-muka fluida benda. Hal ini dapat digambarkan dalam tegangan-tegangan geser dinding, τ_w , akibat efek viskos dan tegangan normal akibat tekanan, p . Distribusi tegangan geser dan tekanan yang bisa ditunjukkan pada Gambar dan baik τ_w dan p bervariasi besar dan arahnya di sepanjang permukaan. (Kuncoro, 2012)

Hal ini seringkali berguna jika kita mengetahui distribusi terperinci dari tegangan geser dan tekanan di seluruh permukaan benda, meskipun informasi serupa sulit untuk didapatkan. Namun demikian, seringkali yang diperlukan hanya efek resultan secara keseluruhan. Gaya resultan dengan arah yang sama (sejajar) kecepatan hulu disebut sebagai gaya hambat (*drag*), D , dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya angkat (*lift*), L , seperti yang ditunjukkan pada Gambar Untuk beberapa benda tiga dimensi, mungkin juga terdapat sebuah gaya samping yang tegak lurus terhadap bidang yang memuat D dan L . (Anderson, 2011)

Resultan dari tegangan geser dan distribusi tekanan dapat diperoleh dengan mengintegrasikan pengaruh-pengaruh dari kedua besaran ini pada permukaan benda seperti yang ditunjukkan dalam Gambar . Komponen x dan y dari gaya fluida pada elemen luas kecil sebesar dA adalah

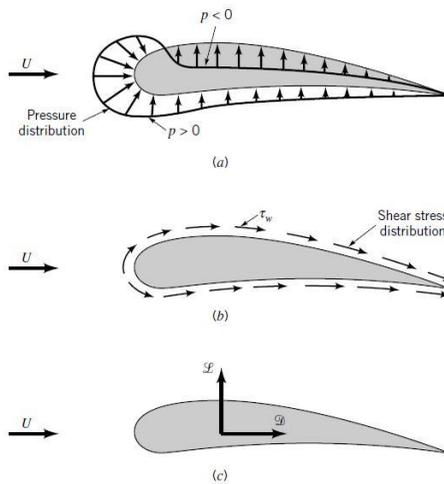
$$dF_x = (pdA) \cos \theta + (\tau_w dA) \sin \theta \quad (2.1)$$

$$dF_y = -(pdA) \sin \theta + (\tau_w dA) \cos \theta \quad (2.2)$$

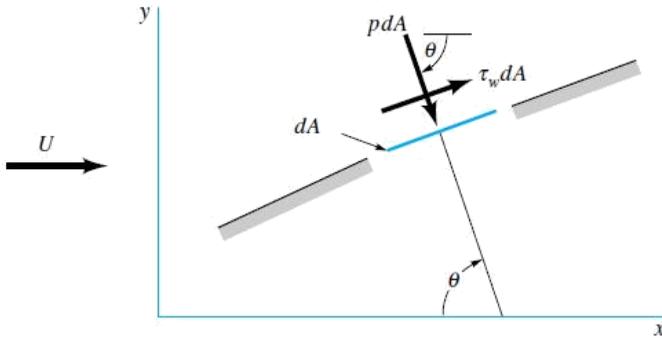
Sehingga, komponen x dan y netto dari gaya pada benda adalah

$$D = \int dF_x = \int p \cos \theta dA + \int \tau_w \sin \theta dA \quad (2.3)$$

$$L = \int dF_y = -\int p \sin \theta dA + \int \tau_w \cos \theta dA \quad (2.4)$$



Gambar 2.2 Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi: a. gaya tekanan, b. gaya viskos, c. gaya resultan (*lift* dan *drag*) (Kuncoro, 2012)



Gambar 2.3 Gaya tekanan dan gaya geser pada sebuah elemen kecil dari permukaan sebuah benda (Kuncoro, 2012)

Oleh karena itu untuk melakukan pengintegralan dan menentukan *lift* dan *drag*, maka harus mengetahui bentuk benda (yaitu, θ sebagai suatu fungsi dari lokasi di sepanjang benda) dan distribusi dari τ_w dan ρ di sepanjang permukaan. Distribusi-distribusi ini seringkali sangat sulit didapatkan, baik secara eksperimental maupun secara teoritis. Distribusi tekanan dapat diperoleh secara eksperimental tanpa banyak kesulitan dengan menggunakan serangkaian tap tekanan static sepanjang permukaan benda. Di sisi lain, biasanya sangat sulit untuk mengukur distribusi tegangan geser dinding. (Kuncoro, 2012)

Baik tegangan geser maupun tekanan sama-sama memiliki andil terhadap *lift* dan *drag*, karena untuk sembarang benda θ tidak nol ataupun 90° pada benda. Pengecualian adalah pelat datar yang diatur baik sejajar terhadap aliran hulu ($\theta=90^\circ$) atau tegak lurus terhadap aliran hulu ($\theta=0$).

Meskipun persamaan (2.3 dan 2.4) berlaku untuk benda apapun, kesulitan dalam pemakaiannya terletak pada bagaimana mendapatkan distribusi tegangan geser dan tekanan yang sesuai pada permukaan benda. Banyak upaya telah dilakukan dalam menentukan besaran-besaran ini, tetapi karena berbagai kerumitan

yang terlibat, informasi mengenai hal tersebut hanya tersedia untuk beberapa situasi sederhana.

Tanpa informasi terperinci yang berkaitan dengan distribusi tegangan geser dan tekanan pada benda, persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) tidak dapat digunakan. Alternatif yang banyak digunakan adalah dengan mendefinisikan koefisien *lift* (C_L) dan *drag* (C_D) yang tak berdimensi dan menentukan nilai-nilai perkiraannya dengan cara-cara baik menggunakan analisis yang disederhanakan, atau dengan beberapa teknik *numeric*, atau eksperimen yang sesuai. Koefisien *lift*, (C_L) dan koefisien *drag*, (C_D), didefinisikan sebagai:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho v_\infty^2 A} \quad (2.5)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho v_\infty^2 A} \quad (2.6)$$

Dimana :

C_D	=	koefisien gaya hambat
C_L	=	koefisien gaya angkat
ρ	=	densitas fluida (kg/m^3)
A	=	luasan acuan (m^2)
c	=	panjang chord (m)
V_∞	=	kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s)

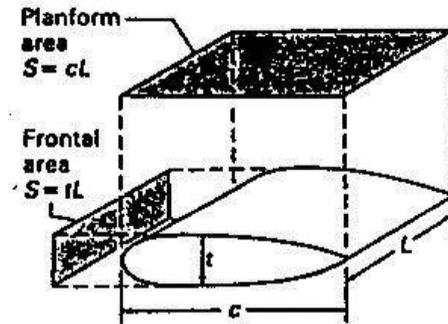
Berbagai definisi digunakan untuk luas, dua definisi yang paling umum digunakan adalah luas frontal (*frontal area*), yaitu luasan yang tampak jika kita memandang benda dari arah datang aliran, dan luas planform (*planform area*), yaitu luasan benda yang tampak dari atas (Gambar 2.4) Dari analisa dimensional koefisien

tahanan dan koefisien gaya angkat untuk suatu bentuk benda dalam aliran *incompressible steady* adalah fungsi dari parameter tak berdimensi,

$$C_D = C_D(\alpha, Re) \quad (2.7)$$

$$C_L = C_L(\alpha, Re) \quad (2.8)$$

Dimana α dan Re masing masing adalah sudut serang dan bilangan Reynolds



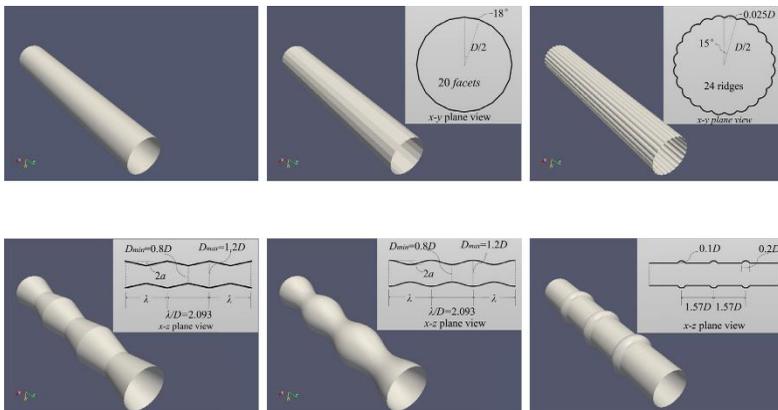
Gambar 2.4 Definisi luas planform dan luas frontal(Kuncoro, 2012)

2.3 Variasi Permukaan Silinder

(Active) flow control and (passive) flow management adalah mekanisme yang digunakan atau proses yang dilakukan dimana *boundary layer/* lapisan batas ketika aliran fluida melewati sebuah benda memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan ketika sebuah benda yang sama tidak mengalami perlakuan apapun atau proses apapun. Variasi permukaan, mengubah bentuk geometri suatu benda dan memberikan kekasaran pada permukaan benda tersebut merupakan salah satu bentuk dari *passive flow management*.(Gad-El-Hak, 2006)

- **Kai Zhang dkk (2016)**

Pada tahun 2016 Kai Zhang dkk melakukan studi numerik mengenai pengaruh modifikasi bentuk permukaan terhadap aliran fluida melewati silinder. Modifikasi bentuk permukaan silinder dikategorikan menjadi dua jenis yaitu modifikasi permukaan secara *2-dimensional cross section* dan *3-dimensional span wise modification*. Silinder yang digunakan ada 6 jenis yaitu unmodified, polygonal, ridged, linear wavy, sinusoidal wavy, dan O – ringed cylinder. Gambar 2.5 adalah bentuk geometri yang digunakan oleh Kai Zhang untuk simulasi aliran fluida melewati silinder. Ukuran diameter silinder adalah 1 m dan panjang silinder adalah 6,28 m sedangkan nilai *Reynolds Number* yang digunakan adalah 5000. Nilai C_d yang didapatkan yaitu 1,005 untuk unmodified, 0,99 untuk polygonal, 1,035 untuk ridged, 0,938 untuk line wavy, 0,890 untuk sine wavy dan 1,041 untuk O – ringed. (Zhang, 2016)

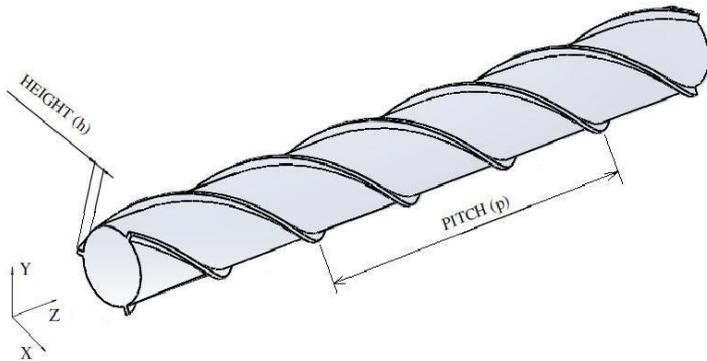


Gambar 2.5 Geometri dari silinder (Zhang, 2016)

- **Ranjith E R dkk (2015)**

Pada tahun 2015 Ranjith E R dkk melakukan penelitian mengenai keefektifan dari *helical strakes* dalam menekan timbulnya vortex induced vibrations. Ranjith menggunakan 2 tipe silinder yaitu silinder sirkular tanpa variasi permukaan dan silinder

sirkular dengan 3 *helical strakes* pada permukaannya. Kedua jenis silinder tersebut diuji coba pada dua Reynolds Number yang berbeda yaitu 100 dan 28000. Hasilnya untuk koefisien drag antara silinder sirkular tanpa helical pada Reynolds Number 100 dan 28000 berturut-turut yaitu 1.41 dan 1.1, sedangkan koefisien drag untuk silinder dengan 3 helical strakes berturut-turut yaitu 1,61 dan 1,3. (Ranjith, 2015)

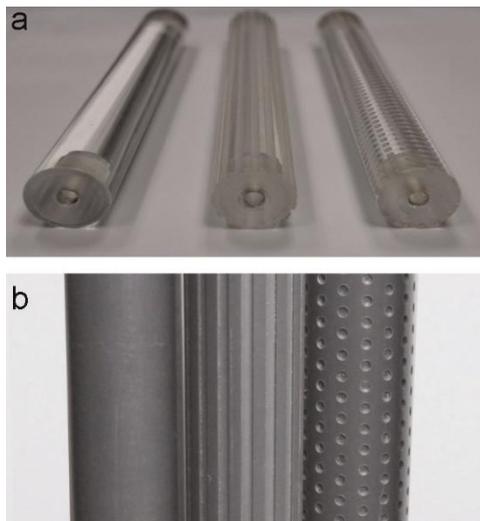


Gambar 2.6 Silinder sirkular yang dimodifikasi dengan penambahan 3 *helical strakes*(Ranjith, 2015)

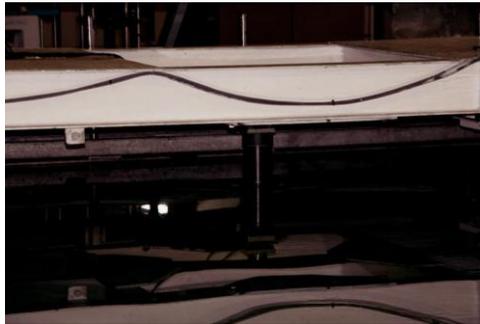
- **Bo Zhou dkk (2015)**

Pada tahun 2015 Bo Zhou melakukan penelitian mengenai studi eksperimental aliran fluida melewati silinder dengan variasi kekasaran permukaan silinder. Silinder yang digunakan terdiri dari 3 jenis silinder yaitu *smooth cylinder*, *grooved cylinder*, dan *dimpled cylinder*. Silinder memiliki diameter 40 mm dan panjang 400 mm. Eksperimental ini dilakukan di towing tank sehingga fluida yang digunakan adalah air. *Reynolds Number* yang digunakan adalah 7430,11790,14790,17980. Selain itu eksperimen tersebut menggunakan *Particle Image Velocimetry* (PIV) untuk mengamati secara visual mengenai aliran fluida yang melewati ketiga jenis silinder tersebut. Gambar 2.7

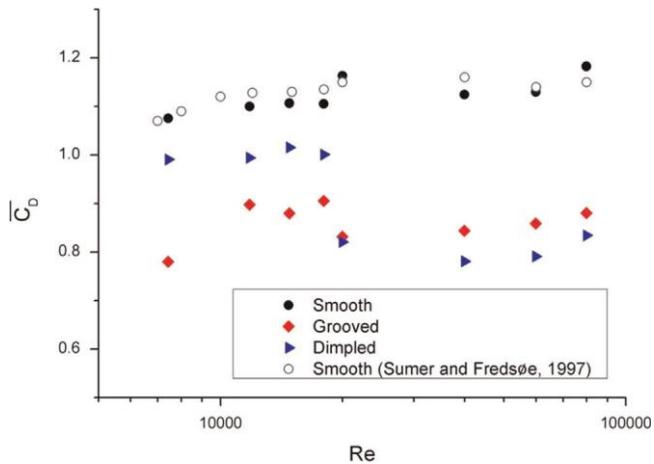
menunjukkan silinder yang diuji-cobakan oleh Bo Zhou. Gambar 2.8 menunjukkan set up eksperimen penelitian Bo Zhou. Sedangkan gambar 2.9 merupakan hasil yang didapatkan yaitu nilai koefisien drag masing masing silinder untuk tiap tiap *Reynolds Number*. Cd rata rata untuk *smooth cylinder* yaitu adalah 1,2. Cd rata -rata untuk *grooved cylinder* adalah 0,8 dan Cd rata-rata untuk *dimpled cylinder* adalah 0,78.(Zhou, 2015)



Gambar 2.7 Silinder eksperimen(Zhou, 2015)



Gambar 2.8 Set up eksperimen(Zhou, 2015)

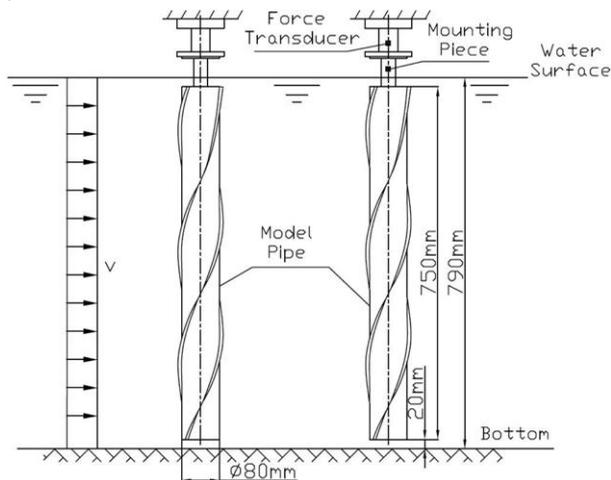


Gambar 2.9 Mean koefisien drag masing masing silinder(Zhou, 2015)

- **Shan Huang dan Andy Sworn (2013)**

Pada tahun 2013 Shan Huang dan Andy Sworn melakukan penelitian mengenai studi nilai koefisien hidrodinamik silinder

sirkular dengan helical dan tanpa helical. Silinder yang digunakan memiliki diameter 0,08 m dan panjang 0,75 m. Silinder dengan helical diberi 3 helical strakes pada permukaannya. Silinder diatur sedemikian rupa dengan variasi 32 posisi silinder. Reynolds Number yang digunakan yaitu dari $1,4 \times 10^4$ sampai $4,21 \times 10^4$ Eksperimen dilakukan di Danish Hydraulic Institute dimana flume atau open water channel yang digunakan memiliki spesifikasi yaitu panjang 35 m, lebar 3 m, dan kedalaman 0,79 m. Kecepatan maksimal flume adalah 0,7 m/s dan kecepatan yang digunakan adalah 0,2 m/s, 0,4 m/s dan 0,6 m/s. Hasilnya C_d rata rata untuk silinder tanpa helical adalah 1,2 dan untuk silinder dengan 3 helical strakes pada permukaannya adalah 1,6. Gambar 2.10 adalah gambar skematik untuk set up model eksperimen.(Huang&Sworn, 2013)

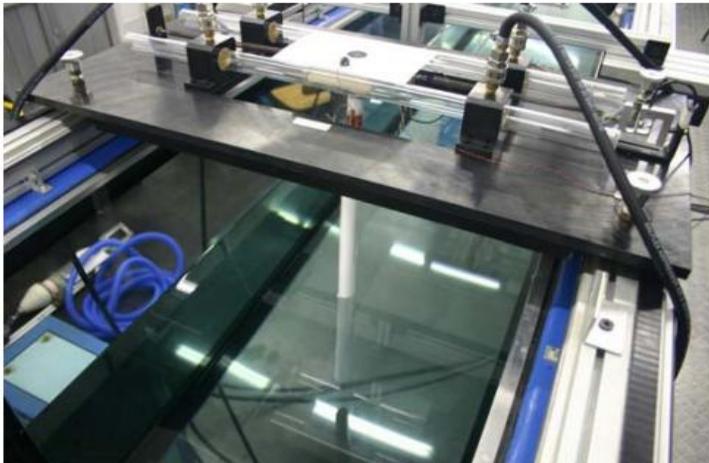


Gambar 2.10 Gambar skematik untuk set up model eksperimen(Huang&Sworn, 2013)

- **Ivan Korkischko dkk (2007)**

Pada tahun 2007 Ivan Korkischko melakukan studi eksperimental mengenai aliran fluida melewati silinder dengan helical strakes. Ada dua jenis silinder yang digunakan yaitu silinder

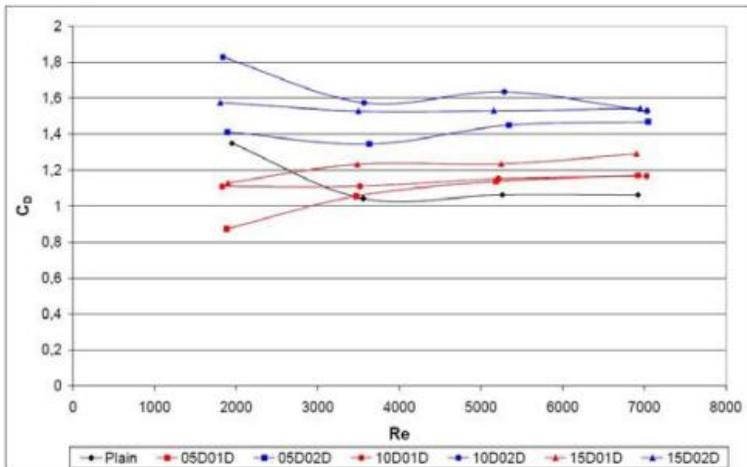
tanpa helical dan silinder dengan helical. Silinder dengan helical strakes divariasikan menjadi 6 konfigurasi yang berbeda. Silinder dengan helical strakes divariasikan berdasarkan tinggi helical yang digunakan (h) dan jarak antar lekukan helical (p). Silinder yang diuji-cobakan memiliki diameter 32 mm dan panjang 700 mm terbuat dari bahan acrylic. Silinder diuji-cobakan pada *circulating water channel*. *Circulating water channel* memiliki spesifikasi test section yaitu panjang 7,5 m lebar 0,7 m dan dalam 0,9 m. Kecepatan yang digunakan yaitu 0,1 m/s sampai 0,4 m/s. Reynolds Number pada eksperimen tersebut adalah 2000 sampai 10000. Gambar 2.11 foto silinder yang diuji coba dengan *air bearing base*. Gambar 2.12 adalah foto *circulating water channel* yang digunakan. Gambar 2.13 adalah grafik yang menunjukkan nilai C_d masing masing silinder pada Reynolds Number 2000 sampai 10000. Untuk koefisien drag silinder tanpa helical untuk Re ($3000 \leq Re \leq 7000$) adalah 1,05 dan untuk silinder dengan helical strakes 0,1D adalah 1,2 dan silinder dengan helical strakes 0,2D adalah 1,5.(Korkischko, 2007).



Gambar 2.11 Obyek silinder dengan *air bearing base*(Korkischko, 2007)



Gambar 2.12 *Circulating Water Channel* yang digunakan(Korkischko, 2007)



Gambar 2.13 Grafik C_d masing masing silinder pada Reynolds Number 2000 sampai 10000(Korkischko, 2007)

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

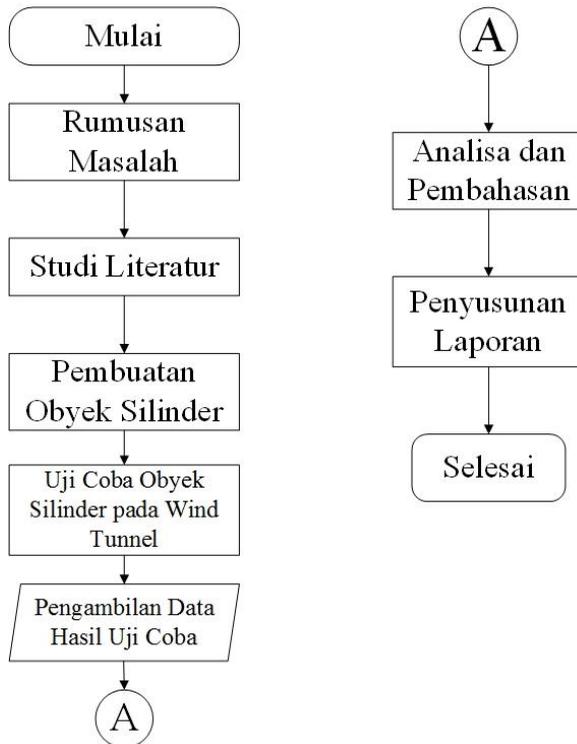
3.1 Tahap Penelitian

Bab ini membahas mengenai alur penelitian studi eksperimental aliran fluida melewati silinder bulat dengan variasi permukaan silinder. Selain membahas mengenai alur penelitian, bab ini juga menjelaskan mengenai set up eksperimen meliputi obyek silinder yang akan diuji-coba dan juga variasi kecepatan fluida pada sub-sonic wind tunnel.

Dari tahapan penelitian seperti pada gambar 3.1 dapat diketahui mengenai langkah-langkah untuk menganalisa aliran fluida melewati silinder sirkular dengan variasi permukaan silinder.

Langkah awal untuk melakukan penelitian ini adalah dengan melakukan perumusan masalah yang didasari oleh latar belakang, kemudian setelah perumusan masalah selesai dilakukan maka selanjutnya adalah melakukan studi literatur dimana literatur yang dipelajari akan digunakan sebagai bahan pertimbangan dan sebagai pengetahuan dasar untuk melakukan tahapan penelitian selanjutnya, yaitu meliputi pemahaman terhadap berbagai teori mengenai aliran fluida melewati silinder, gaya gaya aerodinamis yang bekerja pada sebuah benda ketika benda dilewati oleh aliran fluida, pengaruh variasi permukaan terhadap gaya gaya aerodinamis yang bekerja pada benda ketika benda dilewati oleh aliran fluida, cara melakukan uji-coba obyek silinder pada wind tunnel. Setelah melakukan studi literatur langkah selanjutnya adalah pembuatan obyek silinder yang akan digunakan untuk uji coba di wind tunnel. Obyek silinder yang dibuat terdiri dari 3 jenis silinder yaitu silinder tanpa variasi permukaan dan silinder dengan variasi permukaan 1 dan 2. Setelah obyek selesai dibuat maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji coba silinder terhadap aliran fluida di sub sonic wind tunnel. Kecepatan fluida di wind tunnel divariasikan menjadi 4 variasi terhadap masing masing silinder. Kecepatan fluida juga akan diubah menjadi *Reynolds*

Number. Dari hasil uji coba maka akan didapatkan gaya drag masing masing silinder terhadap variasi kecepatan fluida di wind tunnel. Gaya drag yang didapatkan akan digunakan untuk menentukan koefisien drag dari masing masing silinder berbanding variasi kecepatan maupun *Reynolds Number*. Koefisien drag masing masing silinder akan dianalisa, dibandingkan dan dibahas baik untuk silinder tanpa variasi maupun dengan variasi dan juga dari penelitian penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain. Kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan penulisan laporan tugas akhir sampai dengan selesai.



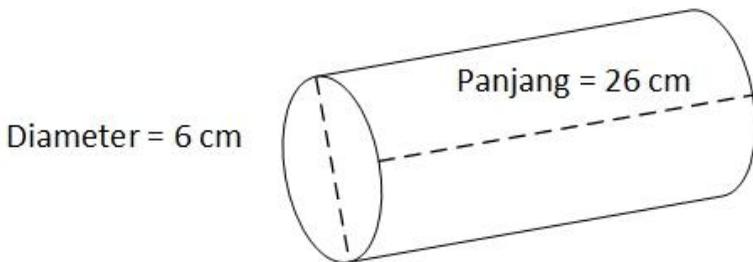
Gambar 3.1 diagram alur tugas akhir

3.2 Obyek Silinder

Silinder yang digunakan terdiri dari 3 jenis yaitu silinder tanpa variasi permukaan, silinder variasi permukaan 1 dan silinder variasi permukaan 2 .

3.2.1 Silinder Tanpa Variasi Permukaan

Silinder tanpa variasi permukaan memiliki dimensi yaitu berdiameter 6 cm dan tinggi 26 cm, silinder yang digunakan adalah silinder berrongga. Gambar 3.2 menunjukkan dimensi dari silinder tanpa variasi dan Gambar 3.3 foto dari silinder tanpa variasi.



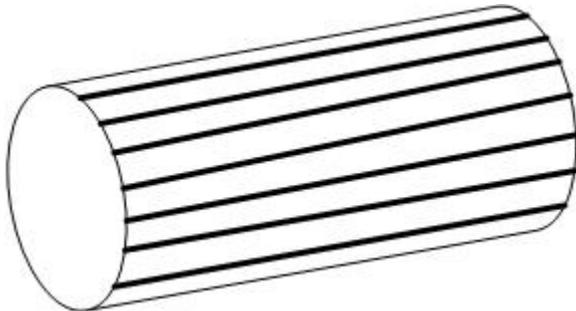
Gambar 3.2 Ukuran dimensi Silinder tanpa variasi permukaan



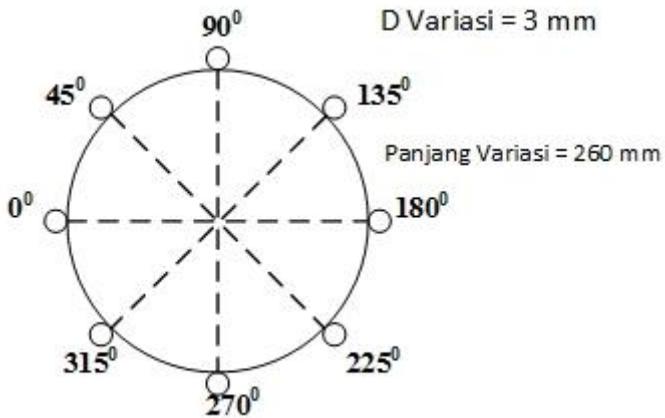
Gambar 3.3 Foto Silinder tanpa variasi permukaan

3.2.2 Silinder Variasi Permukaan 1

Silinder variasi permukaan 1 memiliki dimensi yaitu berdiameter 6 cm dan tinggi 26 cm, dapat dilihat pada Gambar 3.4 , sedangkan untuk variasinya memiliki bentuk tabung dengan diameter 3 mm dan panjang 26 cm, ukuran dimensi variasi serta letak variasi dapat dilihat Gambar 3.5. Untuk foto penampang silinder variasi permukaan 1 dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.4 Penampang Silinder Variasi 1



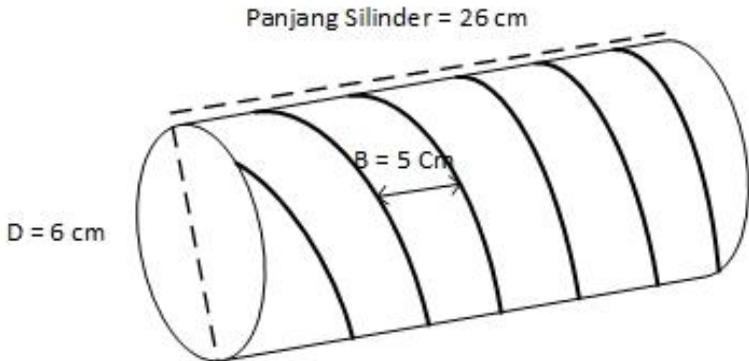
Gambar 3.5 Ukuran dimensi serta letak variasi pada permukaan silinder variasi permukaan 1



Gambar 3.6 Foto Silinder Variasi Permukaan 1

3.2.3 Silinder Variasi Permukaan 2

Silinder variasi permukaan 2 memiliki dimensi yaitu berdiameter 6 cm dan tinggi 26 cm, sedangkan untuk variasinya memiliki bentuk tabung diameter 3 mm yang dibentuk secara helical, b merupakan jarak antar helical yaitu sebesar 5 cm, dapat dilihat pada Gambar 3.7 Untuk foto penampang silinder variasi permukaan 2 dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Penampang dan Dimensi Silinder Variasi Permukaan 2



Gambar 3.8 Foto penampang silinder variasi permukaan 2

3.3 Wind Tunnel

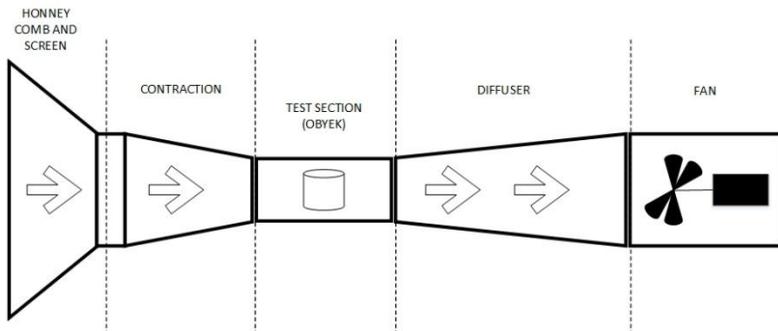
Obyek yang telah dibuat selanjutnya akan diuji coba di *sub sonic wind tunnel*, contoh open channel sub sonic wind tunnel dapat dilihat pada Gambar 3.9. Pada wind tunnel juga akan divariasikan kecepatan mulai dari 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, dan 8 m/s. Pada wind tunnel juga terdapat *force balancing* yang digunakan untuk mengukur gaya drag maupun gaya lift.



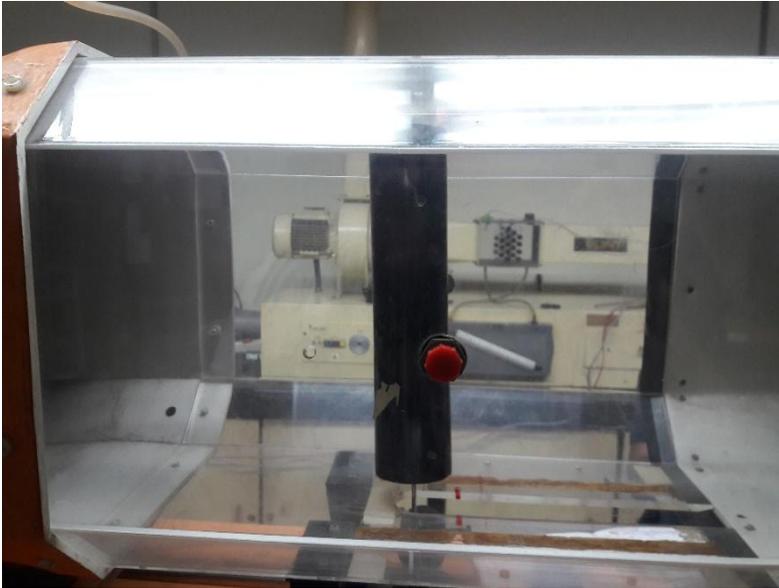
Gambar 3.9 Foto penampang open channel sub sonic wind tunnel

3.4 Prosedur Eksperimen

Gambaran mengenai set up eksperimental aliran fluida melewati silinder sirkular dengan variasi permukaan silinder ini dapat dilihat pada Gambar 3.10. Langkah awal dalam prosedur eksperimental yang dilakukan adalah dengan menyalakan fan atau kipas pada sub sonic wind tunnel. Pengaturan pada fan atau kipas di wind tunnel menggunakan frekuensi (hertz) bukan dalam kecepatan m/s. Oleh karena itu diperlukan anemometer untuk mengetahui kecepatan fluida yang ada di wind tunnel. Ketika kecepatan fluida telah sesuai dengan yang diharapkan maka anemometer dilepas dan diganti dengan obyek yang akan diukur gayanya tanpa mematikan kipas atau fan. Data yang dapat diukur yaitu gaya drag dan juga gaya lift, tetapi untuk penelitian ini yang diambil hanya gaya dragnya saja sesuai dengan batasan masalah di Bab I. Pengambilan data untuk tiap obyek per tiap kecepatan adalah sebanyak 3 kali. Pada gambar 3.11 dapat dilihat foto ketika obyek silinder sedang diuji coba di wind tunnel.



Gambar 3.10 Gambaran mengenai set up eksperimen



Gambar 3.11 Obyek Silinder ketika diuji coba di wind tunnel

3.5 Reynolds Number

Reynolds Number adalah bilangan tak berdimensi yang menyatakan sebuah profil aliran itu laminar transisi maupun turbulen, dalam penelitian ini Reynolds Number digunakan sebagai acuan perbandingan koefisien drag masing masing silinder yang akan dicari. Rumus Reynolds Number dapat dilihat pada persamaan 3.1 dimana kecepatan fluida (udara) yaitu 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, dan 8 m/s , untuk ukuran karakteristik benda yaitu diameter silinder yaitu 6 cm untuk silinder tanpa variasi dan 6,3 cm untuk variasi permukaan, serta untuk viskositas kinematik yaitu $1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ pada suhu 30°C

$$\text{Re} = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu} \quad (3.1)$$

Dimana,

u = kecepatan dari fluida terhadap obyek (m/s)

D = Ukuran karakteristik benda (m)

ν = viskositas kinematik fluida (m^2/s)

3.6 Drag Force

Drag Force atau gaya seret adalah gaya yang timbul ketika sebuah benda dilewati oleh fluida dimana arah kerja gaya tersebut sejajar dengan fluida yang melewati benda tersebut. Rumus gaya seret dapat dilihat pada persamaan 3.2. Pada penelitian ini gaya drag yang didapat bukan dari perhitungan melainkan dari pengukuran di *wind tunnel*.

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho v_\infty^2 A \quad (3.2)$$

Dimana

C_d = Koefisien Drag

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

v = kecepatan fluida (m/s)

A = luas acuan (m^2)

3.6.1 Drag Coefficient

Drag Coefficient adalah nilai tak berdimensi yang menyatakan suatu hambatan atau resistant dari suatu benda (object) yang berada di dalam suatu aliran fluida. Nilai C_d untuk masing masing bentuk benda berbeda-beda. Pada penelitian ini dicari C_d masing-masing silinder menggunakan persamaan 3.3 dimana drag force (N) didapatkan melalui hasil pengukuran, ρ fluida (udara) $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$, v merupakan kecepatan fluida yaitu 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, dan 8 m/s dan A luas acuan, dimana luas acuan

untuk silinder ini menggunakan analisis 2D sehingga luas acuannya adalah diameter dikali panjang tabung.

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho v_\infty^2 A} \quad (3.3)$$

Dimana

Cd = Koefisien Drag

D = Drag Force (N)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

v = kecepatan fluida (m/s)

A = luas acuan (m²)

Untuk memudahkan perhitungan koefisien drag atau Cd maka

$\frac{1}{2} \rho v_\infty^2 A$ dimisalkan sebagai B.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini dibahas mengenai Reynolds Number yang digunakan serta Perbandingan Cd (koefisien drag) masing-masing silinder terhadap variasi kecepatan fluida, selain itu pula membandingkan hasil koefisien yang didapat dengan penelitian-penelitian yang sudah ada sebelumnya. Untuk langkah perhitungannya telah dijelaskan pada bab 3.

4.1 Perhitungan Reynolds Number

Reynolds Number menunjukkan profil aliran yang terjadi pada aliran fluida yang dialami oleh benda. Langkah-langkah dalam menentukan Reynolds Number telah dijelaskan dalam bab 3. Karena pada penelitian ini menggunakan variasi kecepatan fluida yang berbeda-beda maka nilai Reynolds Numbrernya pun berbeda-beda tiap variasi kecepatan. Kecepatan fluida yang divariasikan pada wind tunnel adalah 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s. Sehingga Reynolds Numbrernya masing masing sebagai berikut :

- Persamaan Reynolds Number

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu}$$

- Reynolds Number saat Kecepatan fluida 2 m/s

$$Re = \frac{(2 \text{ m/s}) \times (0,06 \text{ m})}{(1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s})}$$

$$Re = 7547$$

- Reynolds Number saat Kecepatan fluida 4 m/s

$$Re = \frac{(4 \text{ m/s}) \times (0,06 \text{ m})}{(1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s})}$$

$$Re=15094$$

- Reynolds Number saat Kecepatan fluida 6 m/s

$$Re = \frac{(6m/s) \times (0,06m)}{(1,59 \times 10^{-5} m^2/s)}$$

$$Re=22641$$

- Reynolds Number saat Kecepatan fluida 8 m/s

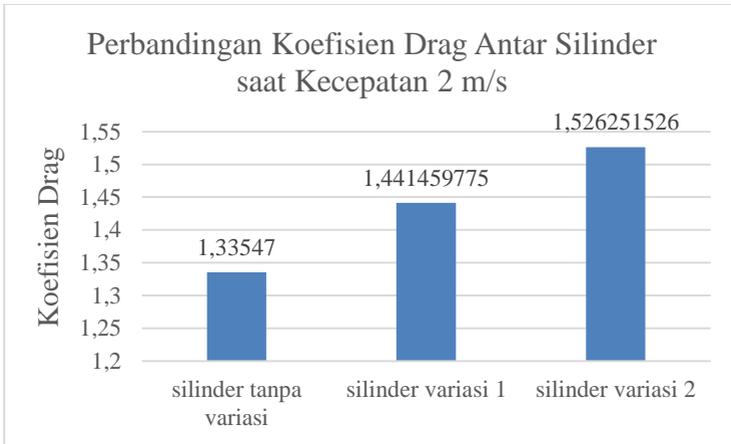
$$Re = \frac{(8m/s) \times (0,06m)}{(1,59 \times 10^{-5} m^2/s)}$$

$$Re=30188$$

Nilai Reynolds Number yang didapatkan semakin besar dengan semakin besarnya kecepatan fluida di wind tunnel. Nilai Reynolds Number ini dapat menjadi acuan karena berdasarkan penelitian penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh para peneliti lainnya C_d dari silinder fluktuatif terhadap perubahan nilai Reynolds Number.

4.2 Perbandingan Cd Silinder saat $v = 2$ m/s atau Reynolds Number 7547

Percobaan pengukuran drag force/gaya drag dilakukan 3 kali untuk masing masing kecepatan dan masing masing silinder. Tabel A-1 menunjukkan hasil pengukuran drag force untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan fluida 2 m/s atau bilangan Reynolds Number 7547. Rata-rata Cd untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan 2 m/s adalah 1,33547 seperti dapat dilihat pada tabel A-1, sedangkan untuk silinder variasi permukaan 1 rata-rata Cd untuk kecepatan 2 m/s adalah 1,441459775, dapat dilihat pada tabel A-2. Untuk silinder variasi permukaan 2, rata-rata Cd untuk kecepatan 2 m/s adalah 1,526251526, dapat dilihat pada tabel A-3. Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan Cd (koefisien drag) antar silinder saat $Re = 7547,16981$. Terdapat perbedaan nilai Cd untuk ketiga jenis silinder. Perbedaan Cd antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 1 adalah 0,105989775 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 1 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 7,93%. Perbedaan Cd antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,190781526 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 14,28%. Perbedaan Cd antara silinder variasi permukaan 1 dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,084791751 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder variasi permukaan 1 sebesar 5,88%.

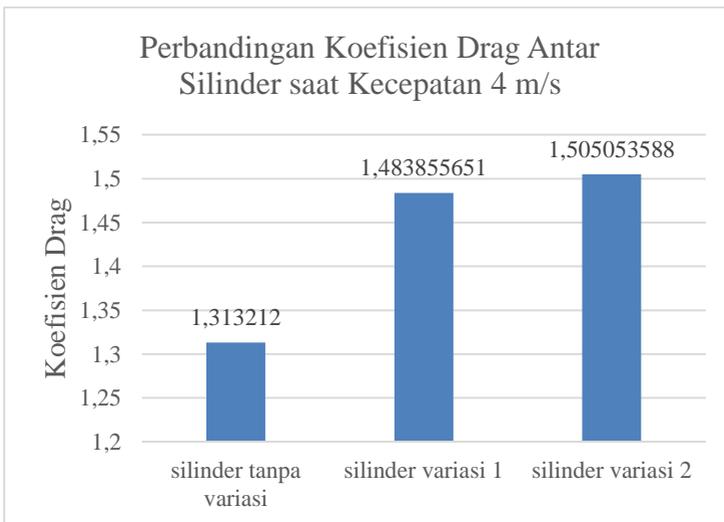


Gambar 4.1 Grafik perbandingan koefisien drag (C_d) antar silinder dengan kecepatan 2 m/s

4.3 Perbandingan C_d Silinder saat $v = 4$ m/s atau Reynolds Number 15094

Percobaan pengukuran drag force/gaya drag untuk kecepatan 4 m/s juga dilakukan 3 kali untuk masing masing silinder . Tabel B-1 menunjukkan hasil pengukuran drag force untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan fluida 4 m/s atau bilangan Reynolds Number 15094. Rata-rata C_d untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan 4 m/s adalah 1,313212 seperti dapat dilihat pada tabel B-1, sedangkan untuk silinder variasi permukaan 1 rata-rata C_d untuk kecepatan 4 m/s adalah 1,483855651, dapatdilihat pada tabel B-2. Untuk silinder variasi permukaan 2 rata-rata C_d untuk kecepatan 4 m/s adalah 1,505053588, dapat dilihat pada tabel B-3. Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan C_d (koefisien drag) antar silinder saat $Re = 15094$. Terdapat perbedaan nilai C_d untuk ketiga jenis silinder. Perbedaan C_d antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 1 adalah 0,170643651 atau terjadi peningkatan C_d variasi permukaan 1 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar

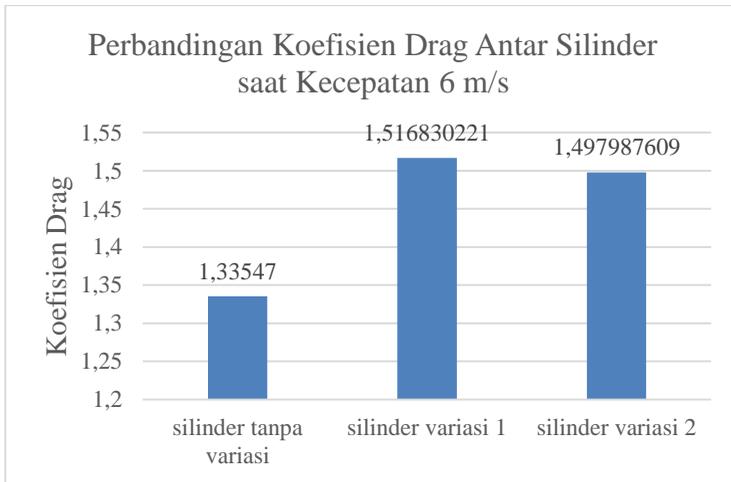
12,99%. Perbedaan Cd antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,191841588 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 14,6%. Perbedaan Cd antara silinder variasi permukaan 1 dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,021197937 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder variasi permukaan 1 sebesar 1,42%.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan koefisien drag (Cd) antar silinder dengan kecepatan 4 m/s

4.4 Perbandingan Cd Silinder saat $v = 6$ m/s atau Reynolds Number 22641

Percobaan pengukuran drag force/gaya drag untuk kecepatan 6 m/s juga dilakukan 3 kali untuk masing masing silinder . Tabel C-1 menunjukkan hasil pengukuran drag force untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan fluida 6 m/s atau bilangan Reynolds Number 22641. Rata-rata Cd untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan 6 m/s adalah 1,33547 seperti dapat dilihat pada tabel C-1, sedangkan untuk silinder variasi permukaan 1 rata-rata Cd untuk kecepatan 6 m/s adalah 1,516830221, dapat dilihat pada tabel C-2. Untuk silinder variasi permukaan 2 rata-rata Cd untuk kecepatan 6 m/s adalah 1,497987609, dapat dilihat pada tabel C-3. Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan Cd (koefisien drag) antar silinder saat $Re = 22641$. Terdapat perbedaan nilai Cd untuk ketiga jenis silinder. Perbedaan Cd antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 1 adalah 0,181360221 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 1 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 13,58%. Perbedaan Cd antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,162517609 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 12,16%. Perbedaan Cd antara silinder variasi permukaan 1 dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,018842612 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 1 dibandingkan silinder variasi permukaan 2 sebesar 1,25%.

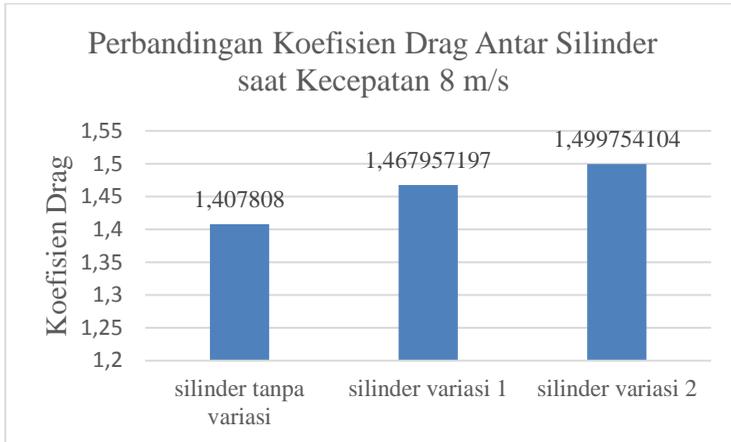


Gambar 4.3 Grafik perbandingan koefisien drag (C_d) antar silinder dengan kecepatan 6 m/s

4.5 Perbandingan C_d Silinder saat $v = 8\text{m/s}$ atau Reynolds Number 30188

Percobaan pengukuran drag force/gaya drag untuk kecepatan 8 m/s juga dilakukan 3 kali untuk masing masing silinder . Tabel D-1 menunjukkan hasil pengukuran drag force untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan fluida 8 m/s atau bilangan Reynolds Number 30188. Rata-rata C_d untuk silinder tanpa variasi permukaan dengan kecepatan 8 m/s adalah 1,407808 seperti dapat dilihat pada tabel D-1, sedangkan untuk silinder variasi permukaan 1 rata-rata C_d untuk kecepatan 8 m/s adalah 1,467957197, dapat dilihat pada tabel D-2. Untuk silinder variasi permukaan 2 rata-rata C_d untuk kecepatan 8 m/s adalah 1,499754104, dapat dilihat pada tabel D-3. Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan C_d (koefisien drag) antar silinder saat $Re = 30188$. Terdapat perbedaan nilai C_d untuk ketiga jenis silinder. Perbedaan C_d antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 1 adalah 0,060149197 atau terjadi peningkatan C_d variasi permukaan 1 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 4,27 %. Perbedaan C_d antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi

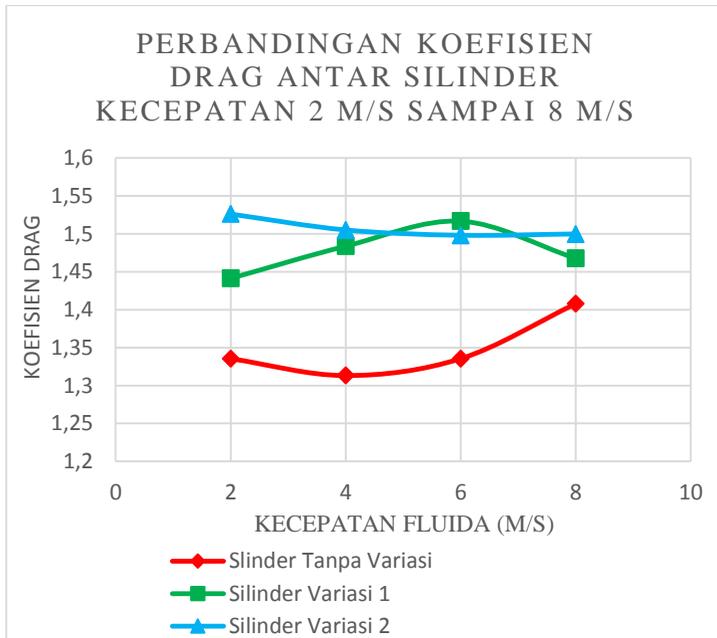
permukaan 2 adalah 0,091946104 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 6,53%. Perbedaan Cd antara silinder variasi permukaan 1 dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,031796907 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder variasi permukaan 1 sebesar 2,16%.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan koefisien drag (Cd) antar silinder dengan kecepatan 8 m/s

4.6 Perbandingan Cd Silinder rata rata

Perbandingan Cd antar silinder untuk Re $7,5 \times 10^3$ sampai $3,01 \times 10^4$ ada pada gambar 4.5 Tabel E-1 menunjukkan rata rata Cd untuk silinder tanpa variasi pada saat kecepatan 2 m/s sampai 8 m/s atau Reynolds number $7,5 \times 10^3$ sampai $3,01 \times 10^4$ sebesar 1,34799 sedangkan untuk silinder variasi permukaan 1 adalah 1,477525711 dan silinder variasi permukaan 2 adalah 1,507261707, dapat dilihat pada Tabel E-2 dan Tabel E-3. Perbedaan rata rata Cd antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 1 adalah 0,129535711 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 1 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 9,6 %. Perbedaan Cd antara silinder tanpa variasi permukaan dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,159361707 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder tanpa variasi sebesar 11,82%. Perbedaan Cd antara silinder variasi permukaan 1 dengan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,029735996 atau terjadi peningkatan Cd variasi permukaan 2 dibandingkan silinder variasi permukaan 1 sebesar 2,01%.



Gambar 4.5 Perbandingan koefisien drag (C_d) antar silinder saat kecepatan 2 m/s sampai 8 m/s

4.7 Perbandingan C_d Silinder dengan penelitian lain

Seperti telah dijelaskan pada Bab II mengenai variasi permukaan silinder dan penelitian-penelitian lain mengenai aliran fluida melewati silinder tanpa variasi permukaan dan silinder dengan variasi permukaan, C_d untuk masing masing silinder memiliki nilai yang bervariasi. Gambar A-1 merupakan grafik koefisien drag untuk macam macam silinder dari berbagai penelitian dan koefisien drag yang telah didapatkan pada studi eksperimental ini. Hasilnya untuk koefisien drag C_d silinder tanpa variasi atau dalam jurnal lain disebut *smooth cylinder* nilainya berbeda-beda. Dalam studi eksperimental ini rata rata nilai C_d silinder tanpa variasi adalah 1,3479 ($7547 \leq Re \leq 30188$), untuk nilai C_d *smooth cylinder* Ranjith E R [2015] adalah 1,41 ($Re = 100$) dan 1,1 ($Re = 28000$), untuk rata rata nilai C_d *smooth cylinder* Bo Zhou [2015] adalah 1,2 ($7430 \leq Re \leq 17980$), untuk rata rata nilai

Cd *smooth cylinder* Shan Huang [2013] adalah 1,2 ($14000 \leq Re \leq 42100$), untuk nilai Cd *smooth cylinder* Kai Zhang [2016] adalah 1,005 ($Re = 5000$), untuk nilai rata-rata Cd *smooth cylinder* Korkischko [2007] adalah 1,05 ($3000 \leq Re \leq 7000$). Sehingga nilai Cd untuk *smooth cylinder*/silinder tanpa variasi bervariasi dan berbeda-beda untuk tiap-tiap *Reynolds Number*. Gambar F-1 merupakan grafik nilai Cd *smooth cylinder* terhadap *Reynolds Number*. Sedangkan nilai Cd silinder dengan variasi permukaan memiliki rata-rata nilai yang lebih besar dibandingkan nilai Cd *smooth cylinder*, kecuali untuk penelitian Bo Zhou [2015] dan beberapa nilai Cd pada penelitian Kai Zhang [2016]. Untuk rata-rata nilai Cd silinder variasi permukaan 1 dan 2 berturut-turut 1,477525711 dan 1,507261707 ($7547 \leq Re \leq 30188$), untuk 3 helical cylinder Ranjith E R [2015] adalah 1,61 dan 1,3 ($Re = 100,28000$), untuk rata-rata nilai Cd 3 helical cylinder Shan Huang [2013] adalah 1,6 ($14000 \leq Re \leq 42100$), untuk nilai Cd Ridged dan O-ringed Cylinder adalah 1,035 dan 1,041 ($Re = 5000$), dan untuk nilai rata-rata 0,1D dan 0,2D helical strakes Korkischko [2007] berturut-turut adalah 1,2 dan 1,5 ($3000 \leq Re \leq 7000$).

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Analisa data serta pembahasan mengenai aliran fluida melewati silinder sirkular tanpa variasi permukaan dan dengan variasi permukaan telah dilakukan pada bab IV, sehingga dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Koefisien drag yang didapatkan bervariasi terhadap kecepatan fluida yang divariasikan. Rata-rata koefisien drag untuk silinder tanpa variasi adalah 1,34799, untuk silinder variasi permukaan 1 adalah 1,477525711 dan untuk silinder variasi permukaan 2 adalah 1,507261707. Sehingga koefisien drag terbesar yaitu koefisien drag silinder variasi permukaan 2, kemudian silinder variasi permukaan 1, kemudian silinder tanpa variasi permukaan.

b. Perbedaan Cd paling besar terjadi untuk silinder tanpa variasi permukaan dan silinder variasi permukaan 1 adalah 0,181360221 atau sebesar 13,58%. Hal ini terjadi saat kecepatan fluida 6 m/s atau Re 22641. Sedangkan perbedaan Cd paling besar terjadi untuk silinder tanpa variasi permukaan dan silinder variasi permukaan 2 adalah 0,191841588 atau sebesar 14,6%. Hal ini terjadi saat kecepatan fluida 4 m/s atau Re 15094. Sedangkan untuk perbedaan Cd silinder variasi permukaan 1 dan 2 paling besar adalah 0,084791751 atau sebesar 5,88% yaitu saat kecepatan fluida 2 m/s atau *Reynolds Number* 7547.

c. Nilai Cd untuk silinder tanpa variasi permukaan atau pada jurnal penelitian lain disebut *smooth cylinder* memiliki perbedaan, hal ini bisa disebabkan oleh banyak faktor mulai ukuran obyek yang berbeda, bahan untuk membuat benda, fluida yang melewati obyek uji coba, posisi serta alat ukur yang digunakan. Tetapi terdapat persamaan bahwa penambahan varisasi pada permukaan silinder meningkatkan koefisien drag sehingga memperbesar gaya drag yang dialami oleh silinder.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai dari koefisien drag dengan memvariasikan permukaan silinder mengalami perubahan yaitu berupa kenaikan nilai koefisien drag. Untuk mendapatkan nilai yang lebih akurat guna bermanfaat untuk berbagai aplikasi *engineering*, dapat menggunakan alat ukur yang lain tidak hanya *force balancing*, selain itu dapat juga dilakukan uji coba dengan fluida selain udara yaitu misalnya air (*water channel*) dan juga dapat menggunakan simulasi menggunakan CFD untuk melihat profil aliran yang dihasilkan ketika fluida melewati obyek, sehingga bisa dilihat fenomena yang terjadi seperti *wake* maupun terbentuknya *vortex*. Karena *vortex* yang dihasilkan ketika fluida melewati benda dapat mempengaruhi vibrasi/getaran (VIV) yang mempengaruhi *fatigue*/kelelahan benda tersebut atau sehingga menimbulkan kerusakan pada benda tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. D. (2011). *FUNDAMENTALS OF AERODYNAMICS FIFTH EDITION*. United States America: McGraw-Hill.
- Armfield. (2017, Maret 10). Diambil kembali dari https://discoverarmfield.files.wordpress.com/2012/02/s2_subsonic_wind_tunnel.jpg?w=500
- Fox, R. W. (1985). *Introduction To Fluid Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- Gad-El-Hak, M. (2006). *Flow Control Passive Active 2nd edition*. New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Huang, S., & Sworn, A. (2013). Hydrodynamic coefficients of two fixed circular cylinders fitted. *Applied Ocean Research*, 21-26.
- Korkischko, I., & Meneghini, J. R. (2007). AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE FLOW AROUND STRAKED. *Proceedings of the 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. California.
- Muhfari. (2017, Januari 27). Diambil kembali dari <https://muhfari.files.wordpress.com/2011/11/fluidadynamis.pdf>
- Prastyo, B. P. (2011). Studi Numerik Pengaruh Perubahan Kelengkungan Segmen Kontur Bagian Depan Terhadap Karakteristik Aliran Tiga Dimensi (Dekat Dinding) Melintasi Assymetri Airfoil. *Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS*.

- R, R. E. (2016). Analysis of flow over a circular cylinder fitted with helical strakes. *Procedia Technology*, 452-460.
- Sahid, A. (2017). *Perbedaan Laju Aliran Massa dengan Laju Aliran Volume*. Surabaya: Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Tista, S. P. (2015). Pengaruh Alur Berbentuk Segi Empat Pada Permukaan Silinder Terhadap Koefisien Drag Dengan Variasi Diameter Silinder. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV*. Banjarmasin.
- WELTY, J. R. (2002). *Dasar Dasar Fenomena Transport Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Widodo, W. A. (2009). Studi tentang Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Ellips (AR) = $1/3$ dan $1/4$ Tunggal Teriris pada Sisi Depan. *Jurnal Teknik Mesin ITS*, 03.
- Zhang, K. (2016). Numerical study on the effect of shape modification to the flow around circular cylinders. *Journal of Wind Engineering*, 23-40.
- Zhou, B. (2015). Experimental study on flow past a circular cylinder with rough surface. *Ocean Engineering*, 7–13.

LAMPIRAN

Tabel A-1 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Tanpa Variasi Permukaan kecepatan 2 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,06	0,03744	1,602564
2	0,04	0,03744	1,068376
3	0,05	0,03744	1,33547
		Rata Rata Cd	1,33547

Tabel A-2 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 1 kecepatan 2 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,06	0,039312	1,526251526
2	0,06	0,039312	1,526251526
3	0,05	0,039312	1,271876272
		Rata Rata Cd	1,441459775

Tabel A-2 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 1 kecepatan 2 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,06	0,039312	1,526251526
2	0,06	0,039312	1,526251526
3	0,06	0,039312	1,526251526
		Rata Rata Cd	1,526251526

Tabel B-1 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Tanpa Variasi Permukaan kecepatan 4 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
-----------	------------------------	---	----

1	0,19	0,14976	1,268697
2	0,21	0,14976	1,402244
3	0,19	0,14976	1,268697
		Rata Rata Cd	1,313212

Tabel B-2 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 1 kecepatan 4 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,24	0,157248	1,526251526
2	0,23	0,157248	1,462657713
3	0,23	0,157248	1,462657713
		Rata Rata Cd	1,483855651

Tabel B-3 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 2 kecepatan 4 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,24	0,157248	1,526251526
2	0,25	0,157248	1,58984534
3	0,22	0,157248	1,399063899
		Rata Rata Cd	1,505053588

Tabel C-1 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Tanpa Variasi Permukaan kecepatan 6 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,45	0,33696	1,33547
2	0,45	0,33696	1,33547
3	0,45	0,33696	1,33547

		Rata Rata Cd	1,33547
--	--	---------------------	---------

Tabel C-2 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 1 kecepatan 6 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,53	0,353808	1,497987609
2	0,55	0,353808	1,554515443
3	0,53	0,353808	1,497987609
		Rata Rata Cd	1,516830221

Tabel C-3 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 2 kecepatan 6 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,54	0,353808	1,526251526
2	0,54	0,353808	1,526251526
3	0,51	0,353808	1,441459775
		Rata Rata Cd	1,497987609

Tabel D-1 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Tanpa Variasi Permukaan kecepatan 8 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,83	0,59904	1,38555
2	0,85	0,59904	1,418937
3	0,85	0,59904	1,418937
		Rata Rata Cd	1,407808

Tabel D-2 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 1 kecepatan 8 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
-----------	------------------------	---	----

1	0,93	0,628992	1,478556166
2	0,92	0,628992	1,462657713
3	0,92	0,628992	1,462657713
		Rata Rata Cd	1,467957197

Tabel D-3 Pengukuran Drag Force dan Perhitungan Cd Silinder Variasi Permukaan 2 kecepatan 8 m/s

Percobaan	Drag Force Terukur (N)	B	Cd
1	0,95	0,628992	1,510353073
2	0,95	0,628992	1,510353073
3	0,93	0,628992	1,478556166
		Rata Rata Cd	1,499754104

Tabel E-1 Rata Rata Cd (koefisien drag) silinder tanpa variasi dari kecepatan 2 m/s sampai 8 m/s

Kecepatan (m/s)	Reynolds Number	Rata Rata Cd
2	7547,16981	1,33547
4	15094,33962	1,313212
6	22641,50943	1,33547
8	30188,67925	1,407808
	Rata Rata Cd	1,34799

Tabel E-2 Rata Rata Cd (koefisien drag) silinder variasi 1 dari kecepatan 2 m/s sampai 8 m/s

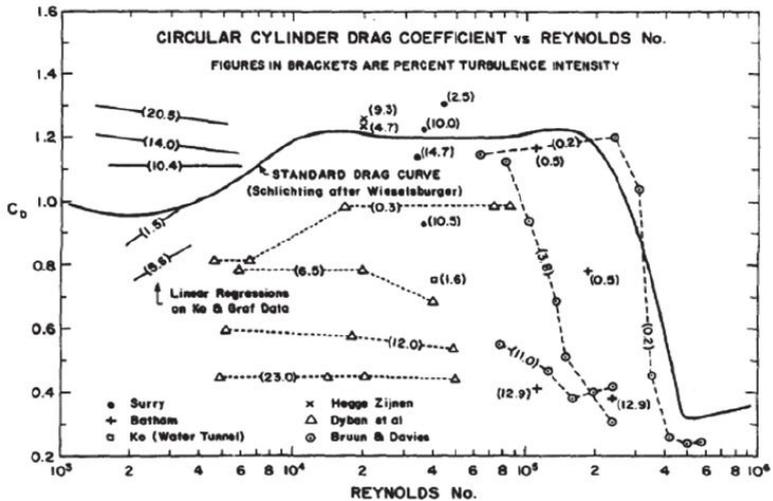
Kecepatan (m/s)	Reynolds Number	Rata Rata Cd
2	7547,16981	1,441459775
4	15094,33962	1,483855651
6	22641,50943	1,516830221
8	30188,67925	1,467957197

	Rata Rata Cd	1,477525711
--	---------------------	-------------

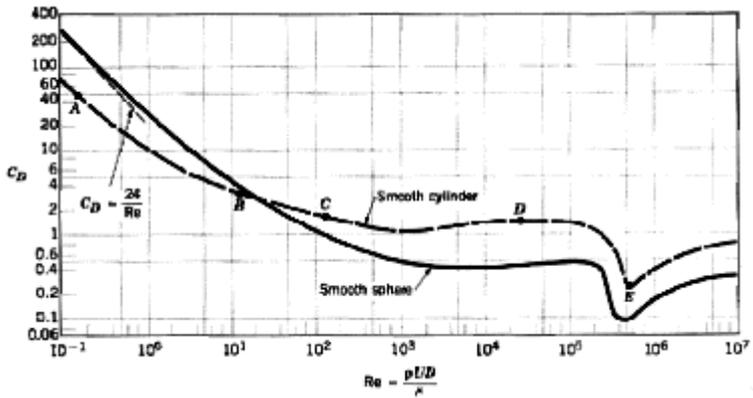
Tabel E-3 Rata Rata Cd (koefisien drag) silinder variasi 2 dari kecepatan 2 m/s sampai 8 m/s

Kecepatan (m/s)	Reynolds Number	Rata Rata Cd
2	7547,16981	1,526251526
4	15094,33962	1,505053588
6	22641,50943	1,497987609
8	30188,67925	1,499754104
	Rata Rata Cd	1,507261707

Gambar F-1 (a) Koefisien Drag Silinder terhadap Reynolds Number

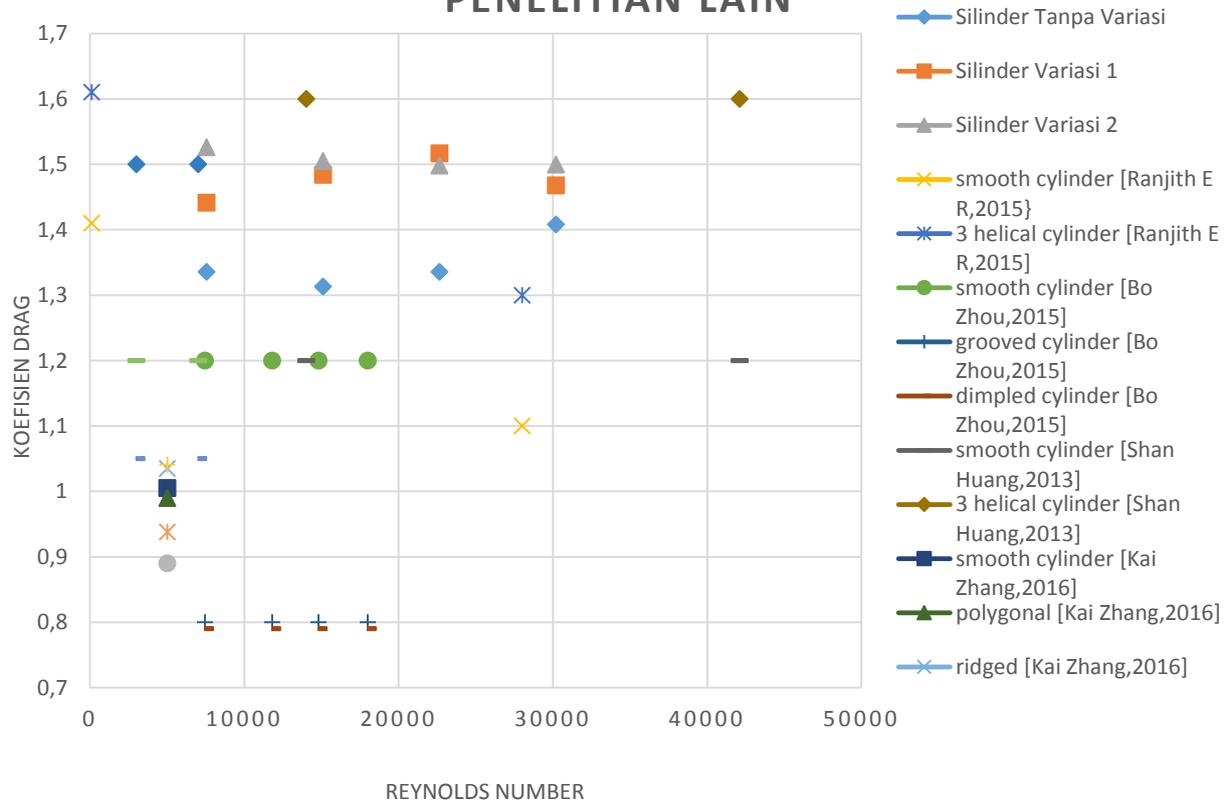


Gambar F-1 (b) Koefisien Drag Silinder terhadap Reynolds Number



Gambar G-1 Perbandingan Koefisien Drag Silinder Hasil Eksperimen dengan Penelitian Lain

PERBANDINGAN KOEFISIEN DRAG DENGAN PENELITIAN LAIN



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Baturaja, pada tanggal 03 April 1994. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Payang 02, SDN Karang Bolong, SDN Gelangan 6, SMPN 2 Magelang, dan SMAN 2 Magelang. Kemudian penulis melanjutkan studi di Program Studi S1 Teknik Fisika FTI - ITS Surabaya pada tahun 2011. Dengan ketekunan dan semangat yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis akhirnya berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir. Semoga dengan pengerjaan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta pengembangan untuk penelitian selanjutnya. Berikut akan dilampirkan alamat email dan juga nomor tlp dari penulis, bagi pembaca yang akan bertanya bisa langsung menghubungi contact yang ada di bawah.

Email : bigaarisandi@gmail.com

No. Hp : 085643043140