

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI SILINDER SIRKULAR YANG DIBERI PENGGANGGU BERBENTUK PRISMA SEGITIGA SAMA SISI, PRISMA SEGIEMPAT SAMA SISI DAN SILINDER SIRKULAR

“Studi Kasus Untuk Jarak $S/D = 0,6-0,85$ ”

Sudahra¹⁾, Triyogi Yuwono²⁾

Lab Mekanika dan Mesin Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: sudahra109@gmail.com¹⁾, triyogi@me.its.ac.id²⁾

Abstrak - Penelitian tentang bentuk aliran pada silinder sirkuler sangat banyak aplikasinya di dunia engineering. Banyak cara yang dilakukan guna menurunkan koefisien drag pada silinder sirkuler, salah satunya adalah dengan menambahkan silinder sebagai pengganggu. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tipe aliran berpengganggu sangat banyak dijumpai pada aplikasi engineering dan bidang mekanika fluida, seperti pada bangunan off-shore, jembatan, gedung pencakar langit, tiang kapal dan pemukiman. Oleh karena itu, sangat penting melanjutkan penelitian tentang silinder berpengganggu. Penelitian ini meneliti tentang penambahan instalasi pengganggu pada sisi upstream silinder utama guna mengurangi gaya drag pada silinder utama. Adapun pengganggu yang digunakan adalah prisma segiempat (tipe A), prisma diamond (tipe B), prisma segitiga sama sisi 30^0 (tipe C), prisma segitiga sama sisi 210^0 (tipe D) dan silinder (tipe E). Dalam menurunkan gaya drag silinder sirkuler ($D = 60$ mm) digunakan lima jenis pengganggu tipe A, B, C, D dan E sebagai passive control yang diposisikan dengan variasi jarak $S/D = 0,6, 0,65, 0,7, 0,75, 0,8$ dan $0,85$. Penelitian dilakukan ada subsonic windtunnel dengan panjang test section 1780 mm dan luas penampang 660 mm x 660 mm. Kecepatan freestream bisa ditentukan sebesar 13,954 m/s, berdasarkan pada bilangan Reynold yang digunakan $Re = 5,3 \times 10^4$ (berdasarkan diameter D dan kecepatan freestream). Hasil penelitian ini menunjukkan adanya penurunan gaya koefisien drag pada silinder utama dengan adanya instalasi pengganggu di depan silinder utama. Pengganggu tipe A pada jarak $S/D = 0,85$ memberi pengaruh paling besar guna menurunkan drag pada silinder utama. Pengganggu tipe A menurunkan gaya drag silinder utama menjadi 30% dari drag silinder tanpa pengganggu.

Kata kunci : passive control, drag, prisma segitiga sama sisi, prisma segiempat dan silinder sirkuler.

I PENDAHULUAN

Mekanika fluida adalah salah satu cabang ilmu engineering yang paling banyak di aplikasikan, baik pada alat-alat utama industri maupun infrastruktur pendukung. Suatu bentuk aliran berpengganggu yang melewati silinder

sirkular sangat banyak dijumpai di industri seperti pada struktur bangunan pantai, struktur bangunan off-shore, bangunan gedung, struktur jembatan dan sebagainya. Gaya drag atau drag force merupakan salah satu gaya akibat adanya aliran yang melewati suatu body. Adanya gaya drag umumnya tidak diinginkan karena dapat mengurangi efisiensi energi. Hal ini mendorong banyak peneliti untuk meneliti pengaruh body pengganggu terhadap gaya drag yang ditimbulkan. Banyak penelitian yang membahas tentang pengaruh jarak body pengganggu terhadap gaya drag, distribusi tekanan dan distribusi kecepatan. Namun, jarang penelitian yang membahas pengaruh bentuk body pengganggu ataupun memvariasikan bentuk body pengganggu. Untuk itulah penelitian tentang pengaruh bentuk body pengganggu perlu dilakukan.

Beberapa metode pendekatan dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari sebuah aliran seperti besar distribusi tekanan (C_p), distribusi penurunan tekanan (C_{dp}) dan bilangan Strouhal (St). Bilangan Strouhal adalah suatu bilangan tak berdimensi yang menjelaskan tentang mekanisme dari osilasi aliran dimana pengamatan difokuskan pada pergolakan aliran atau ketidakstabilan aliran. Parameter ini diambil dari Vincenc Strouhal, yaitu seorang fisikawan kebangsaan Ceko yang bereksperimen pada tahun 1978 dengan kawat yang mengalami fenomena vortex shedding. Bilangan Strouhal didefinisikan sebagai perbandingan dari frekuensi vortex shedding dengan kecepatan udara, yaitu $St = f_s D/U$ dimana St = bilangan Strouhal, f_s = vortex shedding, D = diameter silinder sirkular utama, U = kecepatan fluida.

Penelitian Tsutsui dan Igarashi (2002) memberikan korelasi antara bilangan Strouhal dan bilangan Reynolds yaitu didapatkan kesimpulan berupa peningkatan bilangan Strouhal dengan adanya pertambahan perbandingan diameter (d/D) dan pertambahan bilangan Reynolds diatas 3×10^4 , titik separasi akan bergeser semakin cepat, tebal Shear Layer berkurang, maka bilangan Strouhal akan meningkat. Penelitian Sumner et al (2007) didapatkan bilangan Strouhal yang dilakukan pada bilangan Reynolds $Re = 3,2 \times 10^4 - 7,4 \times 10^4$, $P/D = 1,125 - 4,0$, dan variasi sudut bentukan $\alpha = 0^0$ sampai 90^0 . Untuk $P/D < 1,5$, aliran seperti halnya silinder tunggal dan hanya tercatat satu bilangan Strouhal. Untuk $1,5 \leq P/D \leq 2,5$, tercatat dua bilangan Strouhal saat pengukuran dilakukan pada $\alpha > 30^0$,

namun bilangan Strouhal menyebar pada $\alpha < 30^\circ$. Untuk $P/D \geq 2,5$, bilangan Strouhal mendekati data silinder tunggal.

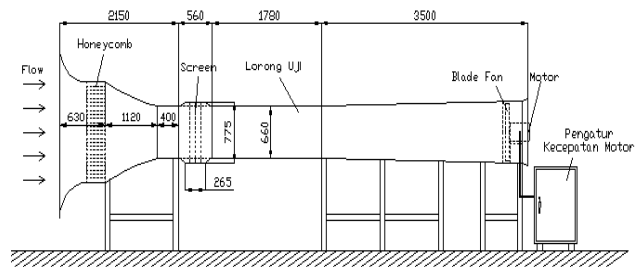
Pada penelitian **Aiba dan Watanabe (1997)**, tentang aliran fluida melintasi silinder teriris tipe D dan tipe I dengan variasi sudut kontur. Tipe silinder yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dengan memotong kedua sisi dari silinder sirkular dengan sumbu y, sedangkan pada tipe D hanya teriris pada sisi depan. Suatu benda dalam posisi tegak terhadap aliran akan mempunyai gaya *drag* yang besar akibat dari separasi aliran yang melintasi benda. Hasil eksperimen ini memperlihatkan bahwa sebelum silinder tunggal mengalami pengirisan, harga koefisien *drag* yang terjadi sebesar 1,2. Pengirisan 0° sampai $72,5^\circ$, koefisien *drag* akan mengalami penurunan pada sudut pengirisan 45° dan harga koefisien *drag* akan mencapai nilai minimum pada sudut 53° dengan harga koefisien mendekati 50 % dari sudut pengirisan 0° atau tanpa pengirisan. Kemudian harga koefisien *drag* akan mengalami kenaikan seiring dengan naiknya sudut pengirisan (diatas 53°) sampai dengan sudut pengirisan 65° .

Pada penelitian **Triyogi et al (2009)** menggunakan silinder pengganggu tipe-I dengan variasi sudut iris dari 0° sampai 65° yang diposisikan di depan silinder sirkular utama dengan bilangan Reynolds $5,3 \times 10^4$. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa pengurangan koefisien *drag* silinder sirkular utama yang paling efektif adalah ketika diberi silinder pengganggu tipe-I dengan sudut iris 65° . Hal ini dikarenakan daerah *wake* yang terjadi dibelakang silinder tipe-I 65° sebagai silinder pengganggu sangat besar sehingga efektif mengganggu silinder utama dan mampu menunda letak titik separasi dan akhirnya akan menghasilkan daerah *wake* yang kecil dan mereduksi gaya *drag* yang terjadi pada silinder utama. Besarnya pengurangan gaya *drag* yang dihasilkan mencapai 52% dibandingkan dengan gaya *drag* silinder tunggal.

Penelitian **Dapot Boni Tua (2010)** menggunakan silinder pengganggu berupa silinder tipe-D dengan sudut iris 0° dan 65° yang diposisikan tandem di depan silinder sirkular utama dengan variasi jarak kedua pusat silinder (S/D) sebesar $0,6 \leq S/D \leq 1,5$ dengan bilangan Reynolds $5,3 \times 10^4$. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin besar jarak S/D maka koefisien *drag pressure* (C_{DP}) dan koefisien *drag* total (C_{DT}) semakin turun hingga S/D sebesar 1,375.

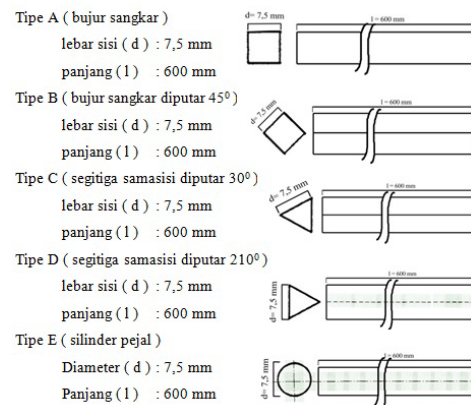
II METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *wind tunnel* jenis *open circuit* untuk menguji benda dalam skala model, dimana udara yang dialirkan ke dalamnya langsung bebas dilepas ke udara bebas setelah melalui *test section*. *Wind tunnel* ini digolongkan sebagai *subsonic wind tunnel* karena kecepatan udaranya maksimal hanya 21 m/s dan Mach number-nya kurang dari 0,9. *Wind tunnel* ini berukuran 660 mm x 660 mm dan panjang 1780 mm. *Wind tunnel* yang digunakan ini dapat dilihat pada gambar 1.



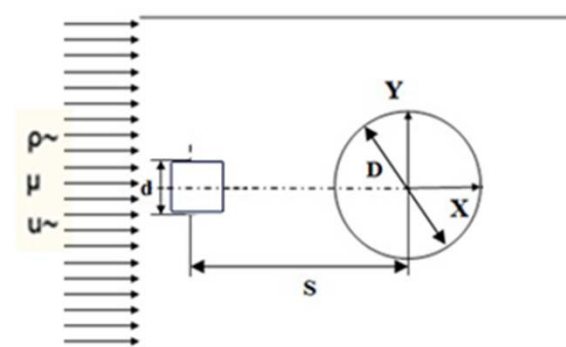
Gambar 1 Skema dan dimensi *wind tunnel*

Penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder sirkular ($D=60$ mm) yang tersusun secara tandem dengan *bluff body* pada *test section*, *bluff body* divariasikan menjadi 5 tipe pengganggu (tipe A, B, C, D dan E) dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Geometri *bluff body*

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran tekanan di sekeliling kontur silinder sirkular ($D=60$ mm) yang terbuat dari PVC, di permukaan dinding bagian tengah dan pengukuran *velocity profile* di belakang susunan silinder dengan jarak rasio $x/D = 3$ dan dengan menggunakan Pitot Static Tube dimana skema penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Skema penelitian untuk silinder berpengganggu prisma segiempat (dipandang dari atas)

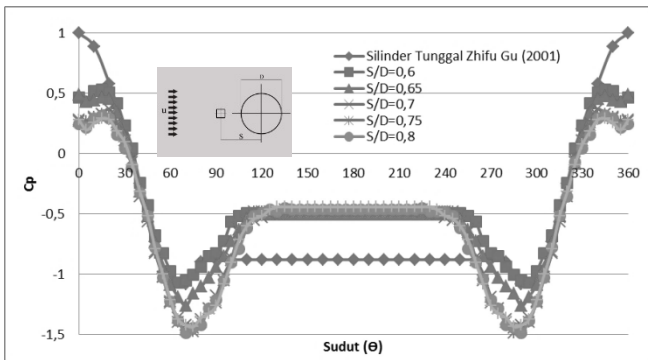
Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tekanan adalah pressure transducer, sehingga perlu dilakukan validasi terlebih dahulu antara pressure transducer dengan manometer. Dalam proses validasi, bagian *static hole* pada pitot static tube dihubungkan dengan percabangan dua pipa dimana pipa pertama dihubungkan inclined manometer dan

pipa kedua dihubungkan pressure transducer untuk low. Sedangkan bagian *stagnation hole* dengan pressure transducer untuk high.

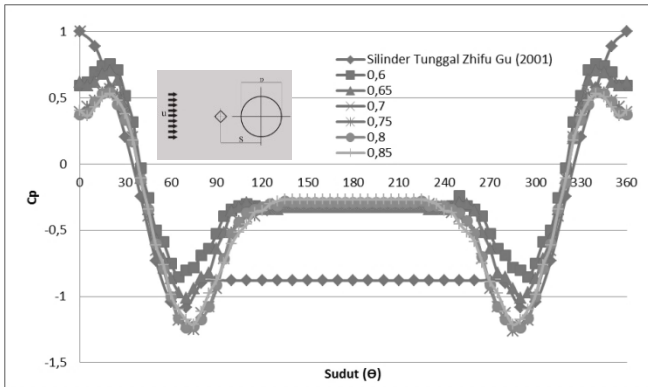
Pengukuran frekuensi *vortex shedding* menggunakan *Hot Wire Anemometer* (HWA) dengan peletakan sensor $x/D= 3,5$ dan $y/D= 1$. Sinyal dari sensor direkam menggunakan DAQ PRO kemudian ditranformasi ke domain frekuensi dengan software sigview 2.21. Frekuensi yang diambil merupakan frekuensi dominan.

III. ANALISA DAN DISKUSI

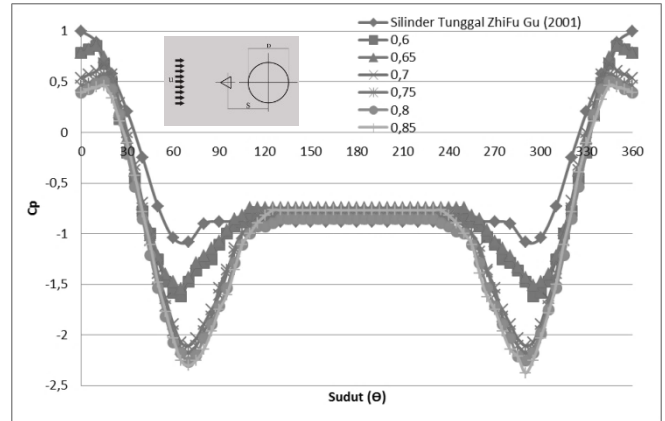
Dari penelitian ini didapatkan beberapa data yang mampu menggambarkan karakteristik aliran yang melintasi silinder sirkular yang diberi pengganggu dengan 5 bentuk variasi. Tekanan kontur merupakan salah satu analisa yang dapat dilakukan dengan cara mengukur tekanan pada kontur silinder utama. Grafik tekanan kontur dapat dilihat pada gambar 4 sampai gambar 8.



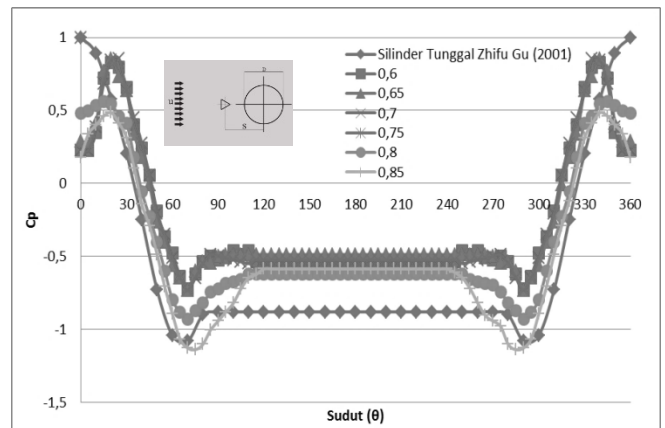
Gambar 4 Grafik distribusi tekanan kontur (C_p) pada silinder sirkular berpengganggu tipe A dengan jarak S/D 0,6-0,85



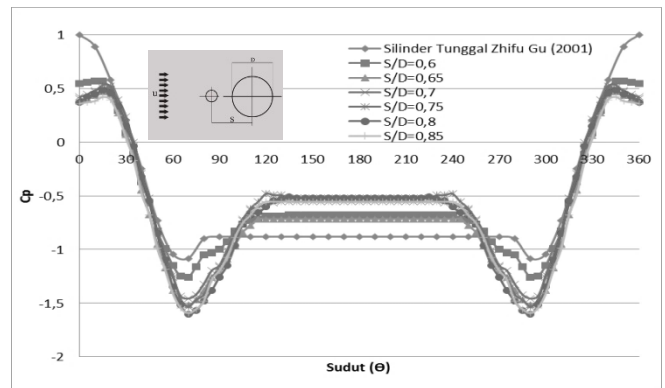
Gambar 5 Grafik distribusi tekanan kontur (C_p) pada silinder sirkular berpengganggu tipe B dengan jarak S/D 0,6-0,85



Gambar 6 Grafik distribusi tekanan kontur (C_p) pada silinder sirkular berpengganggu tipe C dengan jarak S/D 0,6-0,85



Gambar 7 Grafik distribusi tekanan kontur (C_p) pada silinder berpengganggu tipe D dengan jarak S/D 0,6-0,85



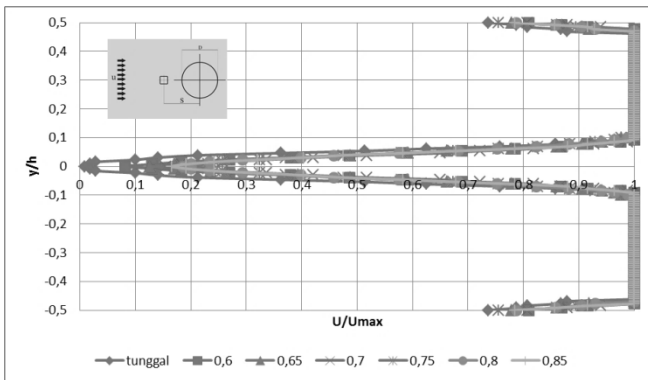
Gambar 8 Grafik distribusi tekanan kontur (C_p) pada silinder sirkular dengan pengganggu tipe E dengan jarak S/D 0,6-0,85

Terjadi efek *cavity mood* pada silinder sirkular utama dimana nilai C_p pada sudut $0^\circ < 1$, aliran akan mengalami perlambatan sampai *reattachment*. Fenomena *cavity mood* terjadi untuk semua jenis pengganggu. Bentuk grafik C_p di daerah *forward* maupun *backward* serupa dengan hasil penelitian **Tsutsui dan Igarashi (2002)**. Setelah aliran *reattachment* kemudian aliran mengalami akselerasi hingga tekanan minimum, aliran akan mengalami perlambatan kemudian akan terseparasi akibat tidak mampu lagi menahan hambatan akumulasi gaya gesek dan *adverse pressure gradient*. Dari grafik C_p dapat dilihat bahwa

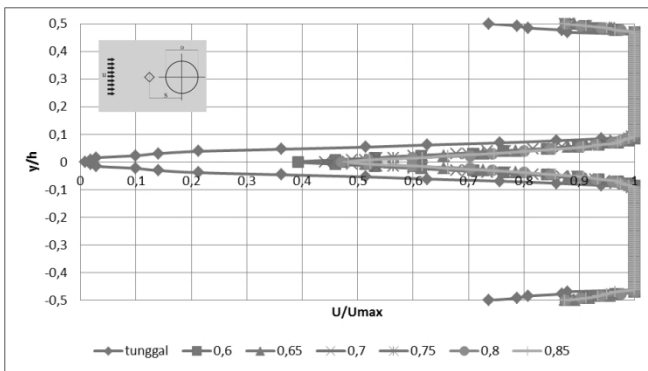
daerah *base pressure* silinder yang diberi pengganggu lebih sempit dari pada silinder tanpa pengganggu. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah *wake* di belakang silinder berpengganggu lebih sempit dari pada silinder tanpa pengganggu.

Penambahan pengganggu di depan silinder utama mampu mempercepat proses transisi aliran laminar menjadi aliran turbulen. Hal ini karena adanya *vortex* yang dihasilkan *body* pengganggu menyebabkan gaya geser semakin besar pada daerah antara silinder utama dan *body* pengganggu. Variasi jarak antara silinder utama dan *body* pengganggu mempengaruhi karakteristik aliran pada silinder utama. Dari gambar 4 sampai gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai C_p cenderung turun seiring bertambahnya jarak S/D .

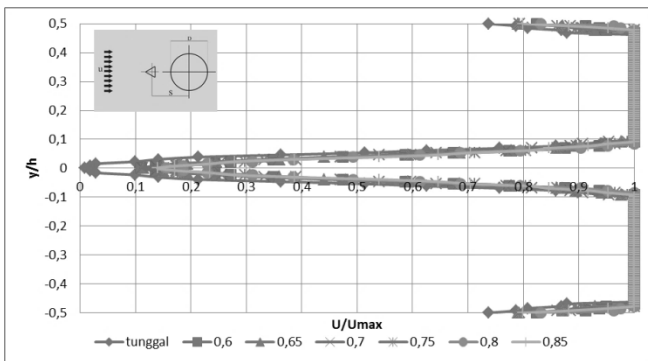
Gambar 9 sampai gambar 13 merupakan gambar *velocity profile* di belakang silinder utama yang diberi 5 variasi pengganggu. Dari *velocity profile* dapat dianalisa kehilangan momentum aliran akibat gaya *drag* dari silinder.



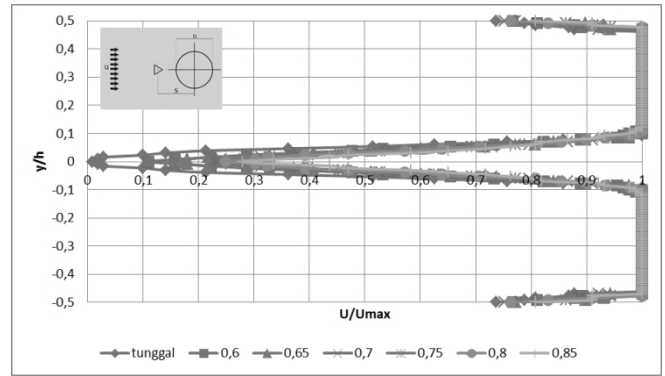
Gambar 9 Profil kecepatan di belakang silinder dengan pengganggu tipe A untuk jarak S/D 0,6-0,85



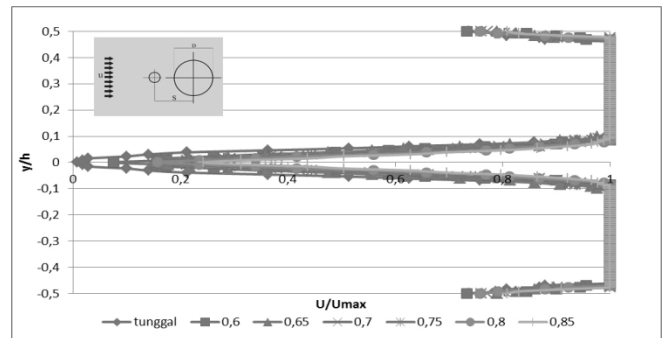
Gambar 10 Profil kecepatan di belakang silinder dengan pengganggu tipe B untuk jarak S/D 0,6-0,85



Gambar 11 Profil kecepatan di belakang silinder dengan pengganggu tipe C untuk jarak S/D 0,6-0,85



Gambar 12 Profil kecepatan di belakang silinder dengan pengganggu tipe D untuk jarak S/D 0,6-0,85

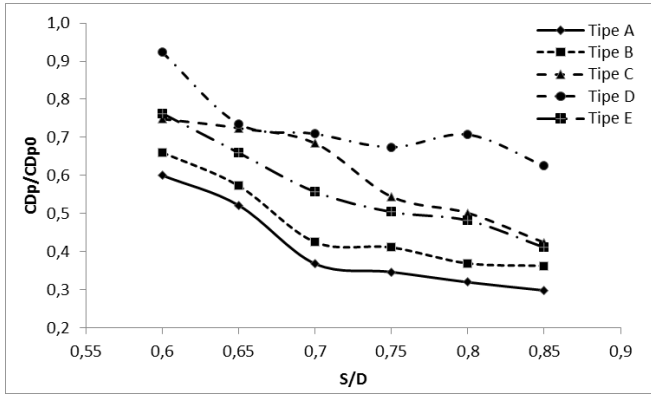


Gambar 13 Profil kecepatan di belakang silinder dengan pengganggu tipe E untuk jarak S/D 0,6-0,85

Terjadi kehilangan kecepatan pada di belakang silinder sirkular yang mengindikasikan adanya gaya *drag* akibat benda uji. Luas daerah kecepatan yang hilang dapat diindikasikan sebagai lebar daerah *wake* yang terjadi di belakang silinder utama. Pada gambar 5 sampai gambar 13 menunjukkan bahwa *body* pengganggu mampu mempersempit daerah *wake* di belakang silinder utama. Daerah *wake* juga semakin menyempit seiring penambahan jarak S/D . Dengan menyempitnya daerah *wake*, menandakan defisit momentum pada silinder utama akan berkurang. Dengan berkurangnya defisit momentum silinder utama maka mengindikasikan adanya pengurangan gaya *drag* yang timbul pada silinder utama.

Dari gambar 5 sampai gambar 13 dapat dilihat bahwa silinder yang diberi pengganggu tipe B memiliki luas daerah kehilangan kecepatan yang paling sempit. Hal ini menandakan bahwa pengganggu B paling efektif dalam menurunkan gaya *drag* total pada silinder utama.

Besarnya gaya *drag* dipengaruhi oleh faktor *pressure* dan *friction*. Gambar 14 menunjukkan grafik *ratio coefficient drag pressure* (C_{Dp}/C_{Dp0}) terhadap silinder tunggal.



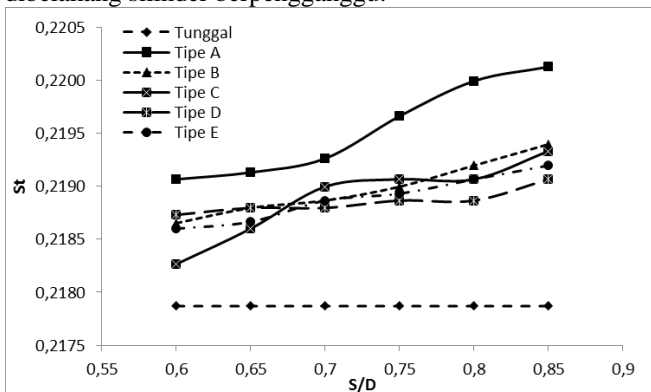
Gambar 14 grafik ratio coefficient drag pressure (C_{Dp}/C_{Dp0}) terhadap silinder tunggal

Nilai C_{Dp}/C_{Dp0} silinder sirkular berpengganggu <1 , hal ini menunjukkan bahwa adanya pengganggu mampu mereduksi gaya drag akibat pressure (CDp). Pengganggu tipe A merupakan pengganggu paling efektif untuk jarak S/D 0,6-0,85 guna mereduksi gaya drag. Penurunan drag terbesar terjadi pada $S/D = 0,85$ dengan reduksi sebesar 70%. Sedangkan pengganggu tipe D adalah yang paling tidak efektif dalam mereduksi gaya drag akibat pressure (CDp).

Tabel 1 ratio coefficient drag pressure (C_{Dp}/C_{Dp0}) silinder sirkular berpengganggu

Jenis Pengganggu	$C_{Dp}/C_{Dp0} = f(S/D)$					
	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
Tipe A	0,600	0,521	0,368	0,346	0,320	0,298
Tipe B	0,660	0,573	0,425	0,411	0,369	0,363
Tipe C	0,748	0,724	0,685	0,544	0,501	0,424
Tipe D	0,923	0,736	0,709	0,674	0,707	0,625
Tipe E	0,763	0,659	0,557	0,504	0,482	0,411

Parameter lain yang dapat digunakan untuk analisa karakteristik aliran adalah *Strouhal Number* (St). Merupakan bilangan tak berdimensi yang nilainya sebanding dengan frekuensi *vortex shedding* yang terjadi. Frekuensi *vortex shedding* menunjukkan tingkat turbulensi dari aliran. Gambar 15 menunjukkan besarnya bilangan Strouhal dibelakang silinder berpengganggu.



Gambar 15 grafik *Strouhal number* (St) silinder sirkular berpengganggu

Nilai *Strouhal Number* (St) silinder sirkular berpengganggu lebih tinggi dibanding silinder tunggal, hal ini menunjukkan bahwa adanya pengganggu mampu

menaikkan *Strouhal Number*. Pengganggu tipe A merupakan pengganggu paling efektif untuk jarak S/D 0,6-0,85 guna meningkatkan *Strouhal Number*. Nilai *Strouhal Number* terbesar terjadi pada $S/D = 0,85$ sebesar $St = 0,2201$.

Tabel 2 *Strouhal Number* silinder sirkular berpengganggu

Jenis pengganggu	$St = f(S/D)$					
	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
tunggal	0,2179	0,2179	0,2179	0,2179	0,2179	0,2179
Tipe A	0,2191	0,2191	0,2193	0,2197	0,2200	0,2201
Tipe B	0,2187	0,2188	0,2189	0,2190	0,2192	0,2194
Tipe C	0,2183	0,2186	0,2190	0,2191	0,2191	0,2193
Tipe D	0,2187	0,2188	0,2188	0,2189	0,2189	0,2191
Tipe E	0,2186	0,2187	0,2189	0,2189	0,2191	0,2192

IV. KESIMPULAN

Dari analisa dan diskusi tentang hasil eksperimen aliran fluida melintasi silinder sirkular yang diberi 5 jenis pengganggu yang tersusun secara tandem dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Adanya pengganggu tipe A, B, C, D dan E mampu menurunkan koefisien drag pressure pada silinder utama, variasi jarak S/D memberikan pengaruh yang berbeda terhadap efek penurunan koefisien drag pressure yang ditimbulkan oleh pengganggu.
2. Adanya pengganggu tipe A, B, C, D dan E menyebabkan terjadinya efek *cavity mood* pada silinder utama, yaitu nilai C_p pada sudut 0^0 (titik stagnasi) bernilai <1 yang menyebabkan nilai C_{Dp} akan menurun untuk S/D 0,6-0,85.
3. Pada rentang jarak S/D 0,6-0,85, pengganggu tipe A memberikan efek penurunan koefisien drag pressure paling kecil dibanding jenis pengganggu lain pada jarak S/D yang sama. Penurunan koefisien drag pressure terkecil terjadi pada jarak 0,85 dengan besar $C_{Dp}/C_{Dp0} = 0,2980$.
4. Adanya pengganggu tipe A, B, C, D dan E mampu menaikkan frekuensi *vortex shedding* di belakang silinder utama yang diindikasikan dengan peningkatan bilangan Strouhal, variasi jarak penempatan body pengganggu memberikan pengaruh yang berbeda terhadap efek peningkatan frekuensi *vortex shedding* yang ditimbulkan oleh pengganggu.
5. Pada rentang jarak S/D 0,6-0,85, pengganggu tipe A paling efektif dalam meningkatkan frekuensi *vortex shedding* jika dibanding jenis pengganggu lain pada jarak yang sama. Bilangan Strouhal tertinggi terjadi pada S/D 0,85 dengan nilai $St = 0,2201$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada ALLAH dan Rasul-Nya, dosen pembimbing Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA orang tua dan seluruh pihak yang telah membantu dan seluruh staf jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya yang telah memberikan banyak bimbingan serta bantuan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tsutsui, T dan Igarashi, T. 2002. ***Drag Reduction on Circular Cylinder in an Air-Stream***, *Journal of Wind Engineering And Industrial Aerodynamic*, Vol 90.
- [2] Sumner, D., M. D. Richards, O. O. Akosile. 2007. ***Strouhal Data for Two Staggered Circular Cylinders***, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96 (2008) 859– 871.
- [3] Aiba, S. dan Watanabe, H. 1997. ***Flow Characteristics of A Bluff Body Cut From A Circular Cylinder***, *Journal of Fluids Engineering, Journal Of Fluids Engineering* , Vol 119.
- [4] Triyogi, Y, D. Suprayogi, dan E. Spirda. 2009. ***Reducing the Drag on a Cyclinder by Upstream Installation of an I Type Bluff Body as Passive Control***, *Journal Mechanical Engineering Science*, Vol 223 Part C, Page Paper 2291- 2296.
- [5] Dapot, B.T. 2010. ***Studi Eksperimental Pengaruh Jarak Longitudinal Silinder Teriris Tipe-D Sebagai Pengontrol Pasif Terhadap Gaya Drag Silinder Utama Sirkular “ Studi Kasus untuk Jarak S/D = 0,6 – 1,5 “***. Tugas Akhir Teknik Mesin ITS. Surabaya.
- [6] Fox, Robert W, McDonald and Alan T. 1994. ***Introduction to Fluid Mechanics 4th Edition***. John Willey and Son, Inc.