

# Studi Eksperimen Aliran Melintasi Silinder Sirkular Tunggal dengan Bodi Pengganggu Berbentuk Silinder yang Tersusun Tandem dalam Saluran Sempit Berpenampang Bujur Sangkar

Akbar Masyian Makka, dan Wawan Aries Widodo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wawanaries@me.its.ac.id

**Abstrak**—Dalam beberapa aplikasi dunia teknik, *bluff body* ditempatkan di dalam saluran dengan berbagai pengaturan, misalkan saja penempatan sebuah silinder dengan diameter kecil sebagai pengontrol aliran sebelum melewati *bluff body* utama. Hal tersebut biasanya dilakukan untuk mengurangi atau mereduksi gaya yang diakibatkan fluida pada *bluff body* utama. Gaya-gaya yang ditimbulkan antara lain gaya geser, gaya normal, dan gaya hambat. Adapun penggunaan saluran sempit turut mempengaruhi karakteristik *fluida*. Hal ini yang mendasari adanya eksperimen aliran fluida melintasi silinder sirkular dengan bodi pengganggu ditempatkan di depannya dalam saluran sempit. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari aliran yang melintasi silinder sirkular dalam saluran sempit. Penelitian ini juga melihat pengaruh sebuah bodi pengganggu, yang memiliki rasio  $d/D=0.16$ , terhadap reduksi gaya *drag* yang dapat dilihat dari penurunan *pressure drop*. Variasi dalam eksperimen ini adalah rasio jarak *gap*  $L/D=1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5; 4.0$ . Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan cara meletakkan susunan bodi pengganggu ( $d=4\text{mm}$ ) di depan silinder sirkular ( $D=25\text{mm}$ ) dalam saluran sempit berpenampang bujur sangkar ( $h=125\text{mm}$ ). Pengujian dilakukan di dalam *wind tunnel* dengan bilangan *Reynolds* sebesar  $1 \times 10^5$ ,  $1.28 \times 10^5$  dan  $1.56 \times 10^5$ . Hasil eksperimen diperoleh adalah Karakteristik aliran berupa *pressure drop* ( $P$ ). Dari data tersebut dapat terlihat pengaruh bodi pengganggu terhadap *pressure drop*.

**Kata Kunci**—bodi pengganggu, *pressure drop* ( $\Delta P$ ), rasio jarak *gap* ( $L/D$ ), saluran sempit, silinder sirkular.

## 1. PENDAHULUAN

**B**luff body yang dilingkupi fluida akan mengalami mengalami gaya akibat interaksi dengan fluida. Gaya yang ditimbulkan dari interaksi ini berupa *normal stress* (tegangan normal) dan *shear stress* (tegangan geser). Tegangan normal terjadi karena adanya tekanan dari fluida, dan tegangan geser yang disebabkan oleh viskositas fluida. Gaya hambat untuk aliran dua dimensi adalah gaya-gaya yang sejajar dengan aliran fluida, sedangkan gaya yang tegak lurus terhadap arah aliran dinamakan gaya angkat. Dalam kebanyakan kasus, adanya gaya hambattidaklah diinginkan. Kedua gaya tersebut sangatlah dipengaruhi oleh letak titik

separasi pada bodi. Maka pengetahuan mengenai gaya hambat dan angkat dan cara mereduksinya sangat diperlukan untuk mendesain konstruksi yang berguna untuk meningkatkan efisiensinya.

Penelitian tentang usaha untuk menurunkan gaya hambat telah dilakukan oleh Lee, dkk [1] dan Tsutsui & Igarashi[2]. Penelitian yang dilakukan Tsutsui & Igarashi [2] adalah dengan konfigurasi berupa silinder utama yang diberi batang pengganggu di depannya. Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh  $Re$  terhadap penurunan  $C_D$ , bahwa  $C_D$  menurun seiring dengan meningkatnya nilai  $Re$  dan  $d/D$  serta berkurangnya nilai  $L/D$ . Dan untuk penurunan *pressure drag* lebih banyak dipengaruhi oleh  $Re$  dibandingkan  $d/D$  dan  $L/D$ . Hasil dari penelitian Lee, dkk [1] menyatakan bahwa adanya bodi pengganggu di depan silinder utama dapat menurunkan  $C_D$  dari silinder utama maupun keseluruhan sistem (silinder utama dan bodi pengganggu). Dari hasil visualisasi penambahan batang pengganggu ini, tampak bahwa silinder utama terletak didalam area *shear layer* yang terseparasi dari bodi pengganggu dan terdapat dua macam struktur aliran yang berefek pada *drag reduction*. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa *maximum drag reduction* terjadi pada rasio *gap* jarak kritis tertentu ( $L_c$ ).

Karena pada penelitian ini digunakan saluran sempit sebagai *test section*, tentunya pengaruh rasio dimensi bodi terhadap dimensi saluran (*blockage ratio*) tidak dapat diabaikan. Hal ini membawa pengaruh berupa *blockage effect*, dimana kecepatan terukur pada daerah silinder sirkular lebih besar dari kecepatan sebenarnya, untuk itu diperlukan koreksi kecepatan agar kecepatan sebenarnya dari aliran fluida dapat diketahui. Faktor koreksi kecepatan ini didapatkan dari Weidman [3] dan Bell [4].

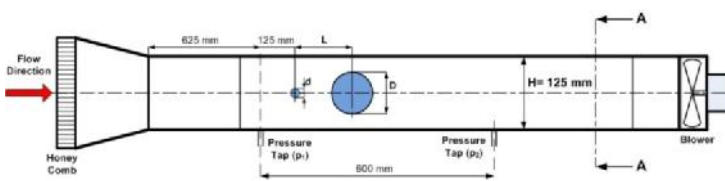
Daloglu [5] menyatakan bahwa *pressure drop* dalam saluran sempit untuk konfigurasi *bodi* tandem sangat dipengaruhi oleh jarak antara *bodi* tandem. Hasil penelitian ini yang paling utama adalah ditemukannya titik kritis atas jarak kedua *bodi* tandem ( $S/d$ ) ini. Adapun nilai dari titik kritis atas jarak *bodi* tandem dipengaruhi bentuk (geometri) dan ukuran (dimensi) tetapi tidak dipengaruhi oleh *Reynolds number* ( $Re$ ). Titik kritis ini merupakan jarak antara kedua *bodi* yang

menghasilkan *pressure drop* dan *friction coefficient* yang paling minim.

Dari penelitian tersebut, maka muncul pemikiran untuk melakukan penelitian mengenai reduksi *gaya fluida* pada sebuah silinder sirkular, yang disusun secara paraleldengan sebuah bodi pengganggu berbentuk silinder dengan memvariasikan jarak antara kedua benda tersebut ( $L/D$ ) dan *Reynolds number* ( $Re$ ). Dari sini akan dilihat bagaimana *pressure drop* pada aliran yang melintasi silinder sirkular.

2. METODE

Berikut adalah skema dari penelitian yang akan dilakukan. Dari gambar 1 ditunjukkan letak benda uji berupa sebuah silinder sirkular dengan pengganggu di bagian depan dalam sebuah terowongan angin dengan ukuran 125mm x 125 mm dan panjang 2m.



Gambar 1. Instalasi penelitian

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder sirkular dengan diameter ( $D$ ) = 25 mm dan panjang ( $L$ ) = 125 mm. Bodi pengganggu yang diletakkan di depan silinder adalah silinder dengan dimensi yang lebih kecil yaitu diameter ( $d$ ) = 4 mm.

Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan *Reynolds number* berbasis pada diameter hidrolis dan rasio jarak gap antara silinder dan bodi pengganggu ( $L/D$ ). *Reynolds number* yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $10^5$ ,  $1.28 \times 10^5$ , dan  $1.56 \times 10^5$ . Variasi  $L/D$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $L/D = 1.0$  hingga  $L = 4.0$  dengan interval penelitian 0.5. *pressure transducer* Omega PX655 yang dihubungkan pada *wall pressure tap inlet* dan *outlet* digunakan sebagai alat pengukur perbedaan tekanan.



Gambar 2. Silinder Sirkular sebagai benda uji

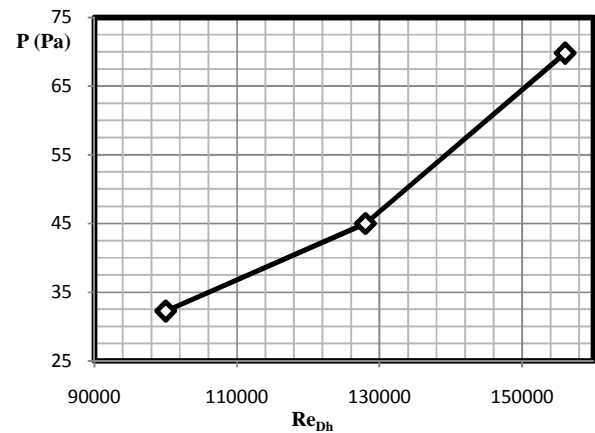


Gambar 3. Bodi pengganggu

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Pressure Drop Saluran dengan Silinder*

Pada grafik 4.2 ditunjukkan *pressure drop* fungsi *Reynolds number* berbasis diameter hidrolis yang terjadi pada saluran dengan silinder. Dari grafik ini terlihat pola yang sama dengan saluran kosong, yaitu terjadi peningkatan *pressure drop* seiring dengan meningkatnya *Reynolds number*.



Peningkatan *Reynolds number* mengindikasikan sebagai peningkatan kecepatan, sesuai persamaan berikut (1).

$$Re_{Dh} = \frac{\rho V D_h}{\mu} \tag{1}$$

Artinya, peningkatan *pressure drop* ini terjadi karena kecepatan yang meningkat seiring dengan meningkatnya *Reynolds number*. Jika kecepatan meningkat maka *headloss* juga akan meningkat, yang artinya juga akan meningkatkan *pressure drop*. Fenomena ini sesuai dengan perumusan berikut (2) dan (3).

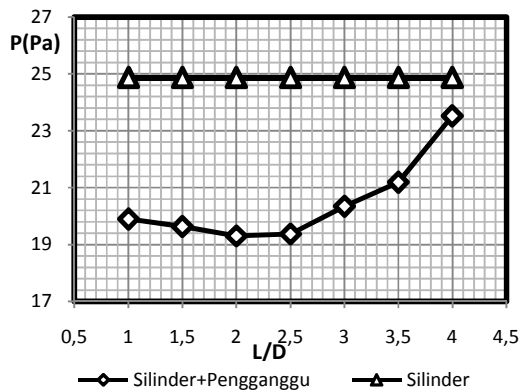
$$\Delta P = h_l \cdot \rho \tag{2}$$

$$\Delta P = f \frac{v^2 L}{2 D} \cdot \rho \tag{3}$$

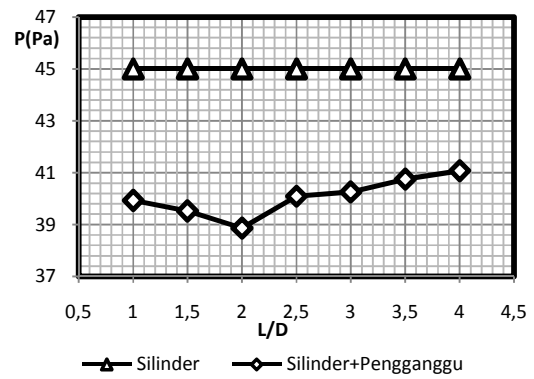
*Pressure drop* pada saluran dengan silinder terjadi karena pengaruh gaya hambat yang terjadi pada silinder. Dengan adanya silinder, maka aliran fluida menjadi lebih terhambat ketika melewati saluran. Dan hambatan dari silinder inilah yang mengakibatkan timbulnya *pressure drop* pada saluran sebagaimana ditunjukkan pada grafik.

3.2 *Pressure Drop Saluran dengan Silinder dan Bodi pengganggu*

a. Pada  $Re_{Dh} = 1 \times 10^5$



Gambar 4.5 Grafik *pressure drop* fungsi rasio gap (L/D) pada saluran kosong, saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder + bodi pengganggu pada  $Re_{Dh} = 10^5$



Gambar 4.6 Grafik *pressure drop* fungsi rasio gap (L/D) pada saluran kosong, saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder + bodi pengganggu pada  $Re_{Dh} = 1,28 \times 10^5$

Pada gambar 4.5 grafik ditunjukkan *pressure drop* fungsi rasio gap (L/D) pada saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder ditambah bodi pengganggu pada *Reynolds number* berbasis diameter hidrolis  $1 \times 10^5$ .

Dari grafik 4.5 dapat dibandingkan nilai *pressure drop* pada saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder ditambah bodi pengganggu. Dari grafik ini terlihat perbedaan antara *pressure drop* pada saluran dengan silinder dan *pressure drop* pada saat aliran melintasi silinder ditambah bodi pengganggu. Perbedaannya adalah nilai *pressure drop* yang diakibatkan oleh aliran yang melintasi silinder ditambah bodi pengganggu lebih kecil daripada *pressure drop* yang terjadi bila aliran melintasi saluran dengan silinder saja. Berdasarkan beberapa teori yang telah dikaji pada tinjauan pustaka, nilai *pressure drop* pada aliran yang melintasi silinder ditambah bodi pengganggu akan lebih kecil bila dibandingkan dengan saluran dengan silinder saja. Dengan adanya bodi pengganggu diharapkan mampu meningkatkan intensitas turbulensi yang dapat meningkatkan suplai momentum sehingga dapat mengurangi gaya hambat. Dengan berkurangnya gaya hambat, maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin kecil. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bodi pengganggu mampu menurunkan *pressure drop* secara efektif pada *Reynolds number*  $1 \times 10^5$ .

Pada gambar 4.5 juga ditunjukkan pengaruh dari variasi rasio jarak gap antara silinder dan bodi pengganggu. Dari masing-masing rasio jarak gap dapat menimbulkan *pressure drop* yang berbeda. Tren yang terjadi adalah *pressure drop* menurun hingga rasio 2 dan kemudian meningkat hingga rasio 4. Dari hasil eksperimen ini, didapat kesimpulan bahwa rasio jarak gap kritis atau rasio jarak gap yang mampu memberikan *pressure drop* terkecil adalah pada rasio jarak gap bernilai 2.

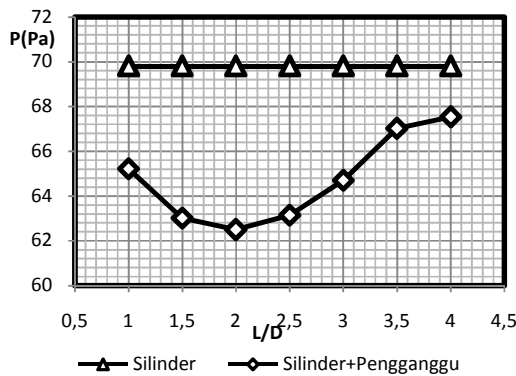
b. Pada  $Re_{Dh} = 1,28 \times 10^5$

Pada gambar 4.6 ditunjukkan *pressure drop* fungsi rasio gap (L/D) pada saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder ditambah bodi pengganggu pada *Reynolds number* berbasis diameter hidrolis  $1,28 \times 10^5$ .

Dari gambar 4.6 dapat dibandingkan nilai *pressure drop* pada saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder ditambah bodi pengganggu. Dari grafik ini terlihat perbedaan antara *pressure drop* pada saluran dengan silinder dan *pressure drop* pada saat aliran melintasi silinder ditambah bodi pengganggu. Perbedaannya adalah nilai *pressure drop* yang diakibatkan oleh aliran yang melintasi silinder ditambah bodi pengganggu lebih kecil daripada *pressure drop* yang terjadi bila aliran melintasi saluran dengan silinder saja. Berdasarkan beberapa teori yang telah dikaji pada tinjauan pustaka, nilai *pressure drop* pada aliran yang melintasi silinder ditambah bodi pengganggu akan lebih kecil bila dibandingkan dengan saluran dengan silinder saja. Dengan adanya bodi pengganggu diharapkan mampu meningkatkan intensitas turbulensi yang dapat meningkatkan suplai momentum sehingga dapat mengurangi gaya hambat. Dengan berkurangnya gaya hambat, maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin kecil. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bodi pengganggu mampu menurunkan *pressure drop* secara efektif pada *Reynolds number*  $1,28 \times 10^5$ .

Pada gambar 4.6 juga ditunjukkan pengaruh dari variasi rasio jarak gap antara silinder dan bodi pengganggu. Dari masing-masing rasio jarak gap dapat menimbulkan *pressure drop* yang berbeda. Tren yang terjadi adalah *pressure drop* menurun hingga rasio 2 dan kemudian meningkat hingga rasio 4. Dari hasil eksperimen ini, didapat kesimpulan bahwa rasio jarak gap kritis atau rasio jarak gap yang mampu memberikan *pressure drop* terkecil adalah pada rasio jarak gap bernilai 2.

c. Pada  $Re_{Dh} = 1,56 \times 10^5$



Gambar 4.7 Grafik *pressure drop* fungsi rasio gap (L/D) pada saluran kosong, saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder + bodi pengganggu pada  $Re_{Dh} = 1,56 \times 10^5$

Pada gambar 4.7 ditunjukkan *pressure drop* fungsi rasio gap (L/D) pada saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder ditambah bodi pengganggu pada *Reynolds number* berbasis diameter hidrolis  $1,56 \times 10^5$ .

Dari gambar 4.7 dapat dibandingkan nilai *pressure drop* pada saluran dengan silinder dan saluran dengan silinder ditambah bodi pengganggu. Dari grafik ini terlihat perbedaan antara *pressure drop* pada saluran dengan silinder dan *pressure drop* pada saat aliran melintasi silinder ditambah bodi pengganggu. Perbedaannya adalah nilai *pressure drop* yang diakibatkan oleh aliran yang melintasi silinder ditambah bodi pengganggu lebih kecil daripada *pressure drop* yang terjadi bila aliran melintasi saluran dengan silinder saja. Berdasarkan beberapa teori yang telah dikaji pada tinjauan pustaka, nilai *pressure drop* pada aliran yang melintasi silinder ditambah bodi pengganggu akan lebih kecil bila dibandingkan dengan saluran dengan silinder saja. Dengan adanya bodi pengganggu diharapkan mampu meningkatkan intensitas turbulensi yang dapat meningkatkan suplai momentum sehingga dapat mengurangi gaya hambat. Dengan berkurangnya gaya hambat, maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin kecil. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bodi pengganggu mampu menurunkan *pressure drop* secara efektif pada *Reynolds number*  $1,56 \times 10^5$ .

Pada gambar 4.7 juga ditunjukkan pengaruh dari variasi rasio jarak gap antara silinder dan bodi pengganggu. Dari masing-masing rasio jarak gap dapat menimbulkan *pressure drop* yang berbeda. Tren yang terjadi adalah *pressure drop* menurun hingga rasio 2 dan kemudian meningkat hingga rasio 4. Dari hasil eksperimen ini, didapat kesimpulan bahwa rasio jarak gap kritis atau rasio jarak gap yang mampu memberikan *pressure drop* terkecil adalah pada rasio jarak gap bernilai 2.

#### 4. Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dalam penelitian ini adalah :

1. *Pressure drop* dari aliran mengalami peningkatan

seiring dengan meningkatnya *Reynolds number*.

2. Peletakan bodi pengganggu di depan silinder dapat mereduksi nilai *pressure drop* dari aliran dengan efektif.
3. Variasi rasio jarak gap antara silinder dengan bodi pengganggu (L/D) memberikan pengaruh terhadap nilai *pressure drop* yang terjadi. Adapun tren yang terjadi untuk nilai *pressure drop* terhadap variasi rasio jarak gap antara silinder dan bodi pengganggu pada setiap *Reynolds number* yang diuji adalah terjadi penurunan dari rasio 1,0 hingga 2,0 lalu kemudian meningkat hingga rasio 4,0. Namun nilai *pressure drop* dari masing-masing variasi masih tetap lebih kecil apabila dibandingkan dengan silinder saja.
4. Nilai *pressure drop* terkecil didapatkan pada setiap *Reynolds number* yang diuji adalah pada rasio jarak gap 2,0. Adapun nilai *pressure drop* yang didapat untuk aliran melewati silinder dengan bodi pengganggu dengan rasio jarak gap 2,0 pada  $Re_{Dh} = 1 \times 10^5$  adalah 19.310 Pa, pada  $Re_{Dh} = 1,28 \times 10^5$  adalah 38.867 Pa, dan  $Re_{Dh} = 1,56 \times 10^5$  adalah 62.496 Pa.
5. Tabel 1 *Pressure drop* saluran dengan silinder

$Re_{Dh}$	$\Delta P$ (Pa)
$10^5$	24.868
$1.28 \times 10^5$	45.006
$1.56 \times 10^5$	69.811

Tabel 2 *Pressure drop* saluran dengan silinder dan bodi pengganggu

L/D	P(Pa) pada $Re_{Dh} = 10^5$	P(Pa) pada $Re_{Dh} = 1,28 \times 10^5$	P(Pa) pada $Re_{Dh} = 1,56 \times 10^5$
1.0	19.892	39.931	65.215
1.5	19.633	39.521	63.014
2.0	19.310	38.867	62.496
2.5	19.374	40.095	63.144
3.0	20.346	40.258	64.697
3.5	21.187	40.749	67.028
4.0	23.518	41.077	67.546

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah robbil ‘alamin, artikel ilmiah ini telah selesai disusun oleh penulis. Penulis A.M.M. mengucapkan terima kasih kepada Bpk. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. atas bimbingan yang telah diberikan hingga penelitian ini dapat terselesaikan. Penulis juga berterima kasih kepada rekan kerja dalam penelitian ini yaitu Ivan Armendy. Selain itu, ucapan terima kasih juga diberikan kepada pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan namanya satu per satu yang mungkin secara tidak langsung telah membantu dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lee, S.J., Lee, S.I., & Park, C.W., *Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod*, Fluid Dynamic Research, Vol.34, 233-250, (2004).
- [2] Tsutsui, T., & Igarashi, T., *Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Vol.90, 527-541, (2002).
- [3] Weidman, P.D., Tesis: *Wake Transition and Blockage Effect on Cylinder base Pressure*, California Institute of Technology, Pasadena, 1968.
- [4] Bell, W.H., *Turbulence vs Drag – some further consideration*, Ocean Engineering, Vol.10, No.1, PP, 47-63, (1983).
- [5] Daloglu, A., *Pressure drop in a channel with cylinder in tandem arrangement*, International Communication in Heat and Mass Transfer, Vol.35, 76-83, (2008).