



Pengaruh Variasi Diameter *O-ring* pada Permukaan Silinder terhadap Koefisien Drag

Si Putu Gede Gunawan Tista*, Ainul Ghurri, I Ketut Suanjaya Adi Putra

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Badung-Bali, Indonesia

*Email: gunawan_tista@yahoo.com

Abstrak. Dalam aplikasi *engineering* banyak ditemukan peralatan yang menggunakan silinder, seperti tiang penyangga jembatan, cerobong asap, dan sebagainya. Peralatan-peralatan ini mengalami hembusan udara setiap saat, yang menyebabkan kekuatan konstruksinya mengalami penurunan, hal ini disebabkan adanya *drag* yang arahnya searah dengan arah aliran. Upaya yang dilakukan untuk mengurangi *drag* adalah dengan memanipulasi medan aliran fluida. Manipulasi aliran fluida dapat dilakukan secara pasif antara lain dengan menambahkan *helical strake* pada permukaan silinder, menambahkan penghalang di depan silinder dan sebagainya. Dalam penelitian ini manipulasi aliran fluida dilakukan dengan menambahkan *O-ring* pada permukaan silinder. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi diameter *O-ring* terhadap koefisien *drag*. Penelitian ini dilakukan pada sebuah *wind tunnel* yang terdiri dari blower, pipa pitot, manometer, timbangan digital, dan silinder. Penambahan *O-ring* diletakkan pada permukaan silinder dengan variasi diameter *O-ring* yaitu 3mm, 4mm, 5mm, 6mm dan jarak antar *O-ring* 30mm. Silinder diletakkan ke arah vertikal. Bilangan *Reynolds* berdasarkan diameter silinder (60mm) adalah $Re = 3,64 \times$. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan koefisien drag dibandingkan tanpa variasi *O-ring*. Nilai koefisien *drag* terendah didapat dari variasi diameter *O-ring* 5mm atau $d/D=0,08$ dengan nilai 0,650259, dimana terjadi penurunan *drag* sebesar 24,15% dibandingkan dengan silinder tanpa *O-ring*.

Kata kunci: diameter ring; gaya hambat; *O-ring*; pengurangan drag.

1 Pendahuluan

Fenomena gerakan aliran fluida melintasi suatu benda (*bluff body*) memegang peranan sangat penting dalam aplikasi *engineering* seperti pada penukar kalor, pembakaran, alat transportasi dan bangunan. Dengan demikian penelitian fenomena aliran tersebut menjadi sangat penting jika dikaitkan dengan krisis energi yang melanda dunia saat ini.

Pola aliran berbeda-beda tergantung pada geometri *bluff body* seperti silinder, segi empat, dan plat. Aliran *external viscous* yang mengalir melalui silinder akan mengalami stagnasi, lapisan batas, separasi (pemisahan) dan *wake* di belakang silinder. Untuk benda yang bergerak dalam fluida *viscous*, gaya *drag*

(gaya hambat) dan gaya *lift* (gaya angkat) erat hubungannya dengan separasi aliran [1].

Adanya separasi aliran akan menyebabkan timbulnya *wake* dibelakang silinder yang mengakibatkan *drag* (hambatan). Semakin cepat terjadinya separasi aliran, *wake* akan semakin lebar sehingga *drag* semakin besar. Oleh karena itu, diperlukan penelitian tentang metode-metode pengontrolan fluida yang bertujuan untuk menunda separasi aliran *external* fluida *viscous* yang mengalir melalui silinder agar *drag* dapat diperkecil.

Dalam aplikasi *engineering* banyak ditemukan peralatan yang menggunakan silinder, seperti tiang penyangga jembatan, cerobong asap, dan sebagainya. Peralatan-peralatan ini mengalami hembusan udara setiap saat, yang menyebabkan kekuatan konstruksinya mengalami penurunan, hal ini disebabkan adanya *drag* yang arahnya searah dengan arah aliran. Upaya yang dilakukan untuk mengurangi *drag* adalah dengan memanipulasi medan aliran fluida.

Manipulasi aliran fluida dapat dilakukan secara pasif antara lain dengan menambahkan *helical strake* pada permukaan silinder, menambahkan penghalang di depan silinder dan sebagainya. Dalam penelitian ini manipulasi aliran fluida dilakukan dengan menambahkan *O-ring* pada permukaan silinder. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi diameter *O-ring* terhadap koefisien *drag*.

Berbagai penelitian tentang *drag* yang mendukung penelitian ini antara lain :

Lee, et al. meneliti pengaruh pemasangan batang kontrol kecil pada *upstream* dari silinder dengan fokus pada karakteristik *drag* dan struktur aliran. [2] Bilangan Reynold berdasarkan silinder utama ($D = 30$ mm) adalah sekitar $Re = 20000$. Maksimum pengurangan koefisien total *drag* dari seluruh sistem meliputi silinder utama dan batang kontrol sekitar 25%.

Lim & Lee membahas aliran disekitar silinder bulat yang dikontrol dengan menempelkan *O-ring* untuk mengurangi gaya *drag* pada silinder. [3] Gaya *drag*, kecepatan *wake* dan intensitas turbulensi diukur pada bilangan Reynolds dalam range $Re_D = 7,8 \times 10^3 \sim 1,2 \times 10^5$ dengan variasi kombinasi diameter dan jarak puncak antara *O-ring* yang berdekatan. Didapatkan hasil silinder yang dipasang dengan diameter *O-ring* $d = 0,0167D$ pada interval puncak dari *PPD* (jarak dari puncak ke puncak) $= 0,165D$ menunjukkan maksimum pengurangan *drag* sekitar 9% pada $Re_D = 1,2 \times 10^5$, dibandingkan silinder halus. Tetapi, pemasangan gelang O dengan diameter lebih besar dari pada $d = 0,067D$ hanya sedikit mengurangi *drag*.

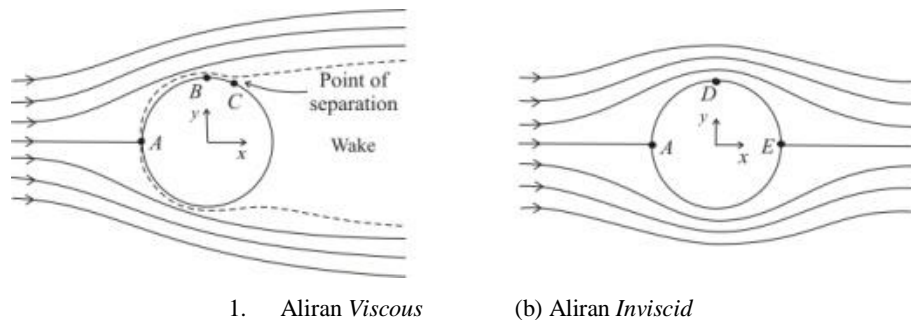
Tsutsui & Igarashi (2002), mengkaji aliran sekitar silinder dengan menempatkan batang kecil pada *upstream* dari silinder.[4] Diameter silinder adalah $D = 40$ mm, dan diameter batang d rentangnya dari 1 sampai 10 mm.. Angka Reynolds didasarkan pada D rentang dari $1,5 \times 10^4$ sampai $6,2 \times 10^4$. Pengurangan total *drag* yang meliputi *drag* dari batang adalah 63% dibandingkan dengan yang satu silinder.

Igarashi mengkaji aliran sekitar Prisma segiempat dengan menempatkan batang kecil di depan prisma (*upstream*).[5] Panjang sisi prisma D adalah 30 mm dan bilangan Reynold Re adalah $3,2 \times 10^4$. Pada jarak kritis $G_c = D + 4,5d$, *vortex* dari batang hilang. *Drag* dari prisma menurun sekitar 50% pada $G > G_c$ dan 70% pada $G \leq G_c$.

Yajima & Sano (1996) mengkaji aliran sekitar silinder dengan melubangi sepanjang silinder dalam dua baris yang dibuat melintang diameter silinder. [6] Pengurangan *drag* luar biasa didapat untuk bermacam-macam sudut serang. Besarnya pengurangan *drag* adalah 40% dibandingkan dengan silinder halus.

2 Dasar Teori

Aliran inkompresibel melintasi silinder dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Gambar kualitatif aliran pada suatu silinder (Fox, 1985).

Pada Gambar 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 $PC > PB$. 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*. Makin besar *wake* makin besar terjadi perbedaan gaya di

depan dan di belakang silinder berakibat makin besar gaya seret aliran terhadap silinder. Aliran *inviscid* digambarkan pada Gambar 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.

Pada penelitian ini perhitungan koefisien tekanan digunakan persamaan [2] :

$$C_p = \frac{P - P_o}{\frac{1}{2} \rho U_o^2} \quad (1)$$

dengan :

ρ = Densitas udara (kg/m³)

U_o = Kecepatan aliran bebas (m/s)

P = Tekanan permukaan (N/m²)

P_o = Tekanan *static* lingkungan (N/m²)

Koefisien *drag* yang bekerja pada silinder utama diperoleh dengan mengintegrasikan tekanan permukaan pada silinder [3] :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_o^2 A} \quad (2)$$

dengan :

ρ = Densitas udara (kg/m³)

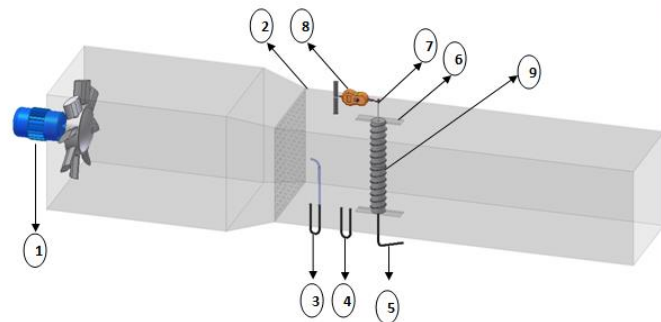
F_D = Gaya *drag* (N)

U_o = Kecepatan aliran bebas (m/s)

A = Luasan frontal (m²)

3 Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : lorong udara (*wind tunnel*), pipa pitot, manometer, silinder, timbangan digital dan *blower*. Adapun susunan alat uji adalah seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema instalasi penelitian

Keterangan :

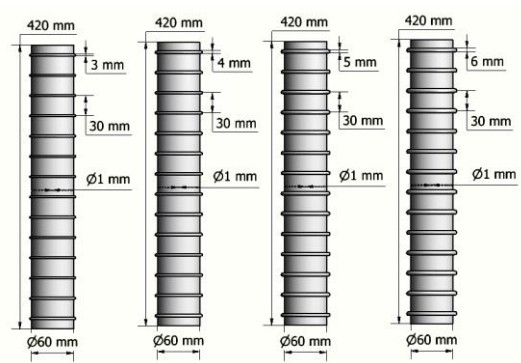
- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1. <i>Blower</i> | 6. Rel/lintasan |
| 2. Penyearah | 7. Tuas |
| 3. Pipa pitot | 8. Timbangan digital |
| 4. Manometer U | 9. Benda uji |
| 5. <i>Inclined</i> manometer | |

4 Cara Kerja dan teknik Pengambilan Data

Aliran udara yang dihembuskan oleh blower mengalir dalam *wind tunnel* melintasi penyearah (2) dan melintasi benda uji (silinder berisi *O-ring*) (9). Silinder yang digunakan pipa PVC jenis AW, Permukaan silinder dilubangi sebanyak 36 lubang dengan diameter 1 mm, dan dihubungkan dengan selang berdiameter 2 mm ke *inclined manometer*. Pemasangan *pressure tube* dilakukan pada keliling silinder pada bagian tengah. Posisi tiap titik dari *pressure tube* berjarak 10° dari titik pusat, sehingga akan diperoleh 36 titik *pressure tube* pada silinder.

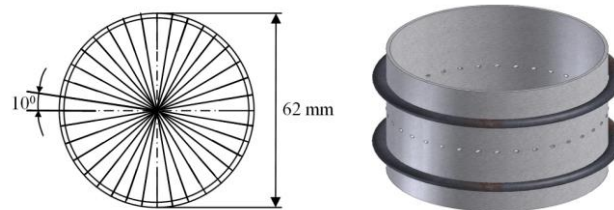
Untuk mengukur tekanan permukaan (P) (alat ukur 5), pembacaan manometer dilakukan secara manual. Kecepatan aliran udara *wind tunnel* diukur dengan pipa pitot (3) yang membaca tekanan total, sedangkan alat ukur (4) yang dihubungkan dengan selang berdiameter 2 mm untuk mengukur tekanan statis lingkungan (P_o) yang juga dibaca secara manual. Kecepatan udara bebas U_o diproses dari tekanan dinamik yakni selisih antara tekanan total dan tekanan statik. Untuk mendapatkan gaya *drag* digunakan timbangan digital (8) yang mencatat besarnya massa, gaya *drag* didapat dengan mengalikan massa dengan gravitasi.

Berikut adalah gambar detail dari benda uji Gambar 3.



Gambar 3 Detail benda uji dengan variasi diameter *O-ring* 3, 4, 5, dan 6 mm.

Pada Gambar 4 adalah detail 36 lubang pengujian C_p .



Gambar 4 Detail 36 lubang pengujian C_p

5 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dilaksanakan setelah menentukan atau mengatur semua instrumen yang mendukung dalam proses pengambilan data.

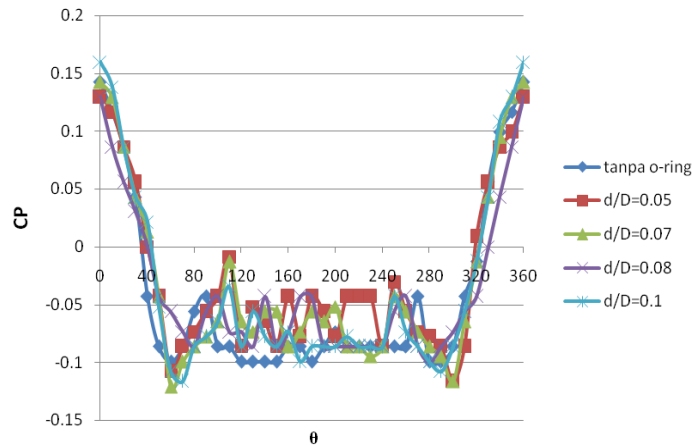
Langkah-langkah yang diambil antara lain :

1. Meletakkan silinder dalam posisi vertikal di dalam *wind tunnel* di depan dari saluran subsonik.
2. Menghidupkan *blower*
3. Setelah *blower* berjalan stasioner dilakukan pengambilan data
4. Pengambilan data distribusi tekanan dengan variasi diameter *O-ring* dilakukan dengan mengambil data pada permukaan silinder.
5. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap posisi pengujian baik tanpa *O-ring* maupun dengan *O-ring*. Dilakukan juga

pengambilan data untuk kecepatan aliran bebas di depan dari saluran subsonik dan juga pengukuran tekanan statik.

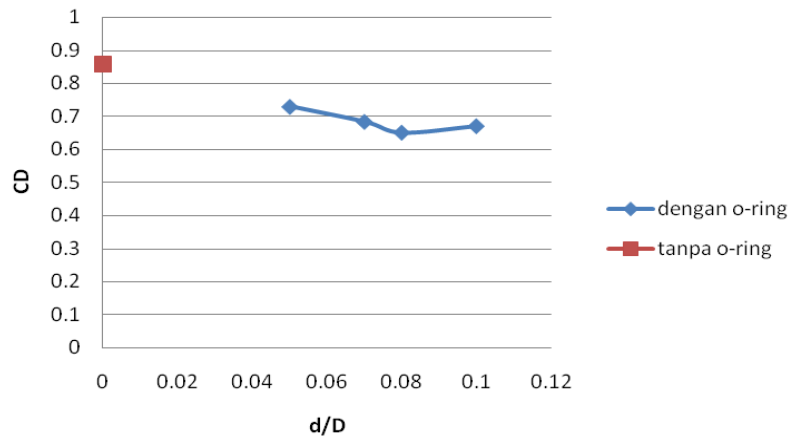
6 Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian dengan variasi diameter *O-ring* 3 mm, 4mm, 5mm, dan 6 mm, pada bilangan Reynold $Re = 3,64 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:



Gambar 5 Grafik hubungan koefisien tekanan (C_p) terhadap sudut silinder (θ) dengan *O-ring* dan tanpa *O-ring*.

Pada Gambar 5. menunjukkan grafik hubungan koefisien tekanan (C_p) terhadap sudut (θ) pada titik pengujian, baik silinder tanpa *O-ring* maupun dengan *O-ring*. Pada Gambar 5 terlihat tekanan dari titik stagnasi menurun karena kecepatan aliran meningkat, penurunan terjadi sampai pada sudut 70° . Kemudian tekanan meningkat karena kecepatan aliran turun, lalu terjadi separasi aliran. separasi aliran terjadi pada sudut $\theta = 90^\circ$ untuk tanpa *O-ring*, dan untuk silinder dengan *O-ring* terjadi pada $\theta = 100^\circ - 110^\circ$. Penundaan separasi aliran pada silinder dengan *O-ring* disebabkan karena aliran melalui jarak antar *O-ring* atau luasan yang sempit kecepatannya meningkat, sehingga momentum aliran cukup besar untuk mengatasi gradien tekanan balik. Penundaan separasi yang paling besar terjadi pada silinder dengan *O-ring* $d/D = 0,08$ atau $d = 5$ mm separasi terjadi pada sudut $\theta = 110^\circ$. Hal ini disebabkan pada *O-ring* dengan ukuran $d/D = 0,08$ atau $d = 5$ mm momentum aliran paling mampu untuk mengatasi gradien tekanan balik.



Gambar 6 Grafik hubungan CD terhadap diameter O -ring (d/D)

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan koefisien *drag* (CD) terhadap perbandingan diameter O -ring dengan panjang diameter silinder (d/D) baik tanpa O -ring maupun dengan O -ring. Pada gambar 6 menunjukkan terjadi penurunan koefisien *drag* pada silinder dengan O -ring dibandingkan dengan tanpa O -ring. Pada silinder dengan O -ring penurunan koefisien *drag* terjadi sampai $d/D = 0,08$, namun meningkat pada $d/D = 0,1$. Penurunan koefisien *drag* terjadi karena kecepatan pada jarak antar O -ring semakin meningkat sehingga energi kinetik ataupun momentum aliran cukup mampu untuk mengatasi gradien tekanan balik. Penurunan *drag* terbesar terjadi pada $d/D = 0,08$ atau $d = 5$ mm dengan nilai $CD = 0,650259$. Besarnya penurunan *drag* adalah 24,15% dibandingkan silinder tanpa O -ring.

7 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Adanya O -ring pada permukaan silinder mampu menurunkan koefisien *drag* dibandingkan tanpa O -ring
2. Terjadi penurunan koefisien *drag* sampai pada diameter O -ring $d/D = 0,08$ atau $d = 5$ mm namun meningkat kembali pada diameter O -ring $d/D = 0,1$ atau $d = 6$ mm

Referensi

- [1] Chew, Y T., L S Pan, & T S Lee, *Numerical Simulation Of The Effect Of a Moving Wall On Separation Of Flow Past a Symmetrical Aerofoil*, ImechE, 212, 1997.

- [2] Lee, S., S. Lee, & C. Park, *Reducing The Drag On a Circular Cylinder by Upstream Installation Of a Small Control Rod*, FluidDynamics Reseach , 34(2004): 233-250.
- [3] Lim, H.C.&Lee S.J., *Flow Control of Circular Cylinder With O-Rings* .Fluid Dynamics Research, 35 (2004): 107 – 122
- [4] Tsutsui, T. & T. Igarashi, *Drag Reduction of a Circular Cylinder in an Air-Stream*.Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90(2002): 527-541.
- [5] Igarashi, T., *Drag Reduction Of a Square Prism by Flow Control Using a Small Rod*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 69 – 71(1997), 141 – 153.
- [6] Yajima, Y & O. Sano, *A Note On The Drag Reduction Of a Circular Cylinder Due To Double Rows Of Holes*. Fluid Dynamics Research, 18(1996): 237 – 243.