

## Pengaruh Alur Berbentuk Segi Empat Pada Permukaan Silinder Terhadap Koefisien Drag Dengan Variasi Diameter Silinder

Si Putu Gede Gunawan Tista <sup>1,a\*</sup>, Wayan Nata Septiadi <sup>2,b</sup>, I Putu Doni Pradana <sup>3,c</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran Bali Indonesia

<sup>a</sup>email: [Gunawan\\_tista@yahoo.com](mailto:Gunawan_tista@yahoo.com), <sup>b</sup>email: [wayan.nata@gmail.com](mailto:wayan.nata@gmail.com)

### Abstrak

Dalam aplikasi engineering, banyak dijumpai peralatan yang menggunakan silinder seperti cerobong asap, tiang penyangga jembatan, tiang pancang pengeboran minyak lepas pantai dan sebagainya. Peralatan-peralatan ini mengalami *drag* akibat adanya hembusan udara yang mengalir melaluiinya. Adanya *drag* akan menyebabkan kekuatan konstruksi peralatan tersebut berkurang. Salah satu upaya untuk mengurangi *drag* adalah dengan membuat alur berbentuk segi empat pada permukaan silinder. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh alur berbentuk segi empat pada permukaan silinder terhadap koefisien *drag* dengan variasi diameter silinder. Penelitian ini dilakukan pada *wind tunnel* yang terdiri dari blower, pipa pitot, U manometer, *inclined* manometer, neraca digital, silinder. Silinder diletakkan vertikal dengan variasi diameter silinder yaitu: 48 mm, 60 mm dan 77 mm. Jarak antar alur adalah 30 mm, lebar alur 3 mm dan dalamnya 2 mm. Kecepatan aliran udara yang digunakan adalah 8,8 m/s. Distribusi tekanan diperoleh dengan mengukur tekanan permukaan silinder pada 36 titik dengan interval 10°. Pengukuran gaya *drag* diperoleh dengan menggunakan neraca digital yaitu dengan mencatat besarnya massa , lalu mengalikan dengan gravitasi didapat gaya *drag*. Hasil penelitian menunjukkan, terjadi penurunan *drag* dibandingkan tanpa alur. Penurunan *drag* terbesar terjadi pada  $D/d = 13,31$  atau diameter silinder  $D = 48$  mm dengan nilai  $CD = 0,3602$ , besarnya penurunan yaitu 21,57% dibandingkan silinder tanpa alur.

**Kata kunci:** silinder beralur segi empat, Diameter silinder, koefisien *drag*

### Pendahuluan

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

Aliran *eksternal 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) and gaya *lift* (gaya angkat) erat hubungannya dengan separasi aliran (Chew et al., 1997).

Adanya separasi aliran akan menyebabkan timbulnya *wake* di belakang silinder yang

mengakibatkan *drag* (hambatan). Semakin cepat terjadinya separasi aliran, *wake* akan semakin lebar sehingga *drag* semakin besar.

Dalam dunia transportasi seperti pesawat udara, mobil atau kapal laut, *drag* yang besar dihindari, karena energi atau tenaga yang dibutuhkan untuk bergerak menjadi lebih besar. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi *drag*, diantaranya dengan membuat *body* yang *streamline* atau memanipulasi medan aliran. Sebagai contoh, jika *drag* dari mobil dan bangunan dapat dikurangi maka banyak biaya bahan bakar dan material yang dapat dihemat (Tsutsui dan Igarasi, 2002).

Dalam aplikasi teknik, banyak sekali konstruksi yang menggunakan silinder, seperti: cerobong asap, tiang penyangga jembatan, tiang pancang pengeboran minyak

lepas pantai dan sebagainya.. Peralatan-peralatan ini mengalami *drag* akibat adanya hembusan udara yang mengalir melaluiinya. Adanya *drag* akan menyebabkan kekuatan konstruksi peralatan tersebut berkurang. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi *drag*. Salah satu upaya untuk mengurangi *drag* adalah dengan membuat alur berbentuk segi empat pada permukaan silinder. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh alur berbentuk segi empat pada permukaan silinder dengan variasi diameter silinder.

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

Tsutsui & Igarashi (2002), mengkaji aliran sekitar silinder dengan menempatkan batang kecil pada *upstream* dari silinder . Diameter silinder adalah  $D = 40$  mm, dan diameter batang  $d$  rentangnya dari 1 sampai 10 mm. Jarak antara sumbu silinder dan batang,  $L$  adalah 50 – 120 mm. Angka Reynold didasarkan pada  $D$  rentang dari  $1,5 \times 10^4$  sampai  $6,2 \times 10^4$ . Terjadi dua pola aliran dengan dan tanpa *vortex shedding* dari batang. Pola aliran berubah tergantung pada diameter batang, posisi, dan angka Reynold. Kondisi optimum dari pengurangan *drag* adalah pada  $d/D = 0,25$ ,  $L/D = 1,75 – 2,0$ . Pada kondisi ini *vortex* tidak tumpah dari batang dan lapisan geser dari batang menempati muka depan dari silinder. Pengurangan total *drag* yang meliputi *drag* dari batang adalah 63% dibandingkan dengan yang satu silinder.

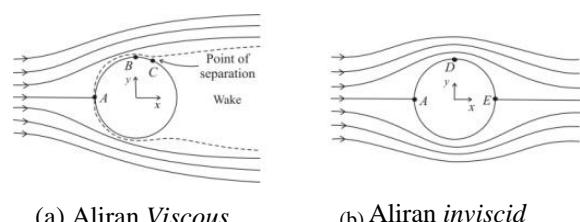
Lim & Lee (2003), membahas aliran disekitar silinder yang dikontrol dengan membuatkan alur tipe -U pada permukaan silinder untuk mengurangi *drag*. Gaya *drag* dan statistik turbulensi dari *wake* dibelakang silinder diukur untuk bilangan Reynolds berdasarkan diameter silinder ( $D = 60$  mm) dalam range  $R_{eD} = 8 \times 10^3 - 1,4 \times 10^5$ . Alur tipe -U mengurangi koefisien *drag* yang bekerja pada silinder 18,6% dibandingkan dengan silinder *smooth*.

Lee, *et al.* (2004), meneliti pengaruh pemasangan batang kontrol kecil pada *upstream* dari silinder dengan fokus pada karakteristik *drag* dan struktur aliran. Bilangan Reynold berdasarkan silinder utama ( $D = 30$  mm) adalah sekitar  $Re = 20000$ . Diameter batang kontrol diubah-ubah dari 4 sampai 8, sedangkan panjang jarak puncak  $L$  adalah 45, 50, 55, 60, 62,5, 65, 70, 90, 105, dan 120 mm. Pengurangan koefisien *drag* dari silinder utama adalah 29% dari kasus tanpa batang kontrol. Maksimum pengurangan koefisien total *drag* dari seluruh sistem meliputi silinder utama dan batang kontrol sekitar 25% pada rasio jarak puncak  $L/D = 1,833$  dengan diameter batang kontrol  $d/D = 0,233$ .

Lim & Lee (2004), membahas aliran disekitar silinder bulat yang dikontrol dengan menempelkan O ring untuk mengurangi gaya *drag* pada silinder. Gaya *drag*, kecepatan *wake* dan intensitas turbulensi diukur pada bilangan Reynolds dalam *range*  $R_{eD} = 7,8 \times 10^3 \sim 1,2 \times 10^5$  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  $R_{eD} = 1,2 \times 10^5$ , dibandingkan silinder halus. Tetapi, pemasangan gelang O dengan diameter lebih besar dari pada  $d = 0,067D$  hanya sedikit mengurangi *drag*.

### 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  $P_C > P_B$ . 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*. 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 (Lee, *et al.*, 2004):

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

dengan :

$P$  = Tekanan permukaan ( $N/m^2$ )

$P_o$  = Tekanan statik ( $N/m^2$ )

$U_o$  = Kecepatan aliran bebas ( $m/s$ )

$\rho$  = Densitas udara ( $kg/m^3$ )

Untuk mendapatkan koefisien drag ( $CD$ ) digunakan persamaan (Lim & Lee, 2004) :

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

Keterangan :

$F_D$  = Gaya drag (N)

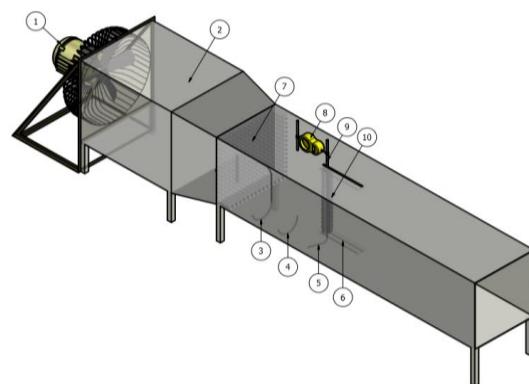
$\rho$  = Densitas udara ( $kg/m^3$ )

$$U_o = \text{Kecepatan aliran udara bebas (m/s)}$$

$$A = \text{Luas frontal (m}^2\text{)}$$

### Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : lorong udara (*wind tunnel*), pipa pitot, U manometer, *inclined* manometer, silinder beralur, blower, neraca digital. Adapun skema instalasi penelitian adalah seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Skema instalasi penelitian

Keterangan :

- |                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 1. Blower             | 6. Rel/lintasan   |
| 2. Wind tunnel        | 7. Penyearah      |
| 3. Pipa Pitot         | 8. Neraca digital |
| 4. U Manometer        | 9. Tuas           |
| 5. Inclined Manometer | 10. Benda uji     |

### Cara Kerja dan Teknik Pengambilan Data

Setelah instalasi terpasang, pertama hidupkan blower (1), aliran udara yang dihembuskan mengalir dalam *wind tunnel*, melintasi penyearah (7) agar aliran udara dalam *wind tunnel* (2) mengalir rata ke seluruh bagian dalam *wind tunnel*. Untuk mengukur kecepatan aliran udara digunakan pipa pitot (3) dengan diameter selang 2 mm yang membaca tekanan total, sedangkan alat ukur (4) yang dihubungkan dengan selang berdiameter 2 mm untuk mengukur tekanan statis ( $P_o$ ) yang dibaca secara manual. Kecepatan udara bebas  $U_o$  diperoleh dari tekanan dinamik yakni selisih antara tekanan total dan tekanan statis.

Selanjutnya pengukuran tekanan statis pada permukaan silinder untuk mendapatkan harga

koefisien tekanan ( $C_p$ ), dimana untuk pengukuran tekanan pada permukaan silinder, silinder dilubangi sebanyak 36 titik dengan jarak antar lubang  $10^\circ$  dengan diameter lubang 1 mm dan dihubungkan dengan selang berdiameter 2 mm ke inclined manometer berdiameter 2 mm, untuk mengukur tekanan permukaan (P) digunakan alat ukur (5).

Untuk mengukur gaya  $drag$  ( $F_D$ ) digunakan neraca digital. Aliran udara yang dihembuskan mengalir dalam *wind tunnel*, melintasi penyebar (7) agar aliran udara dalam *wind tunnel* mengalir uniform ke seluruh bagian dalam *wind tunnel*. Setelah melewati penyebar udara melintasi benda uji (10) yang pada bagian atas dan bawahnya sudah terpasang rel/lintasan (6), agar benda uji dapat bergerak ke belakang setelah terkena hembusan udara, sehingga tuas (9) yang terpasang dibagian atas benda uji dapat mendorong neraca digital (8) yang terpasang pada bagian atas *wind tunnel*, lalu neraca digital akan mencatat besarnya massa, untuk mendapatkan besar gaya  $drag$  ( $F_D$ ), maka massa dikalikan gravitasi..

### Prosedur Pengambilan Data

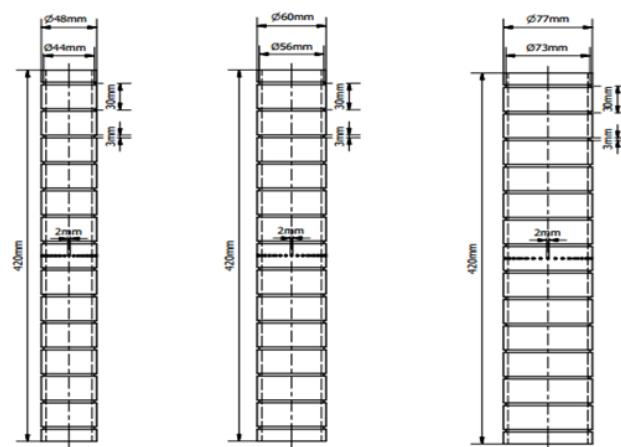
Prosedur pengambilan data dilaksanakan setelah menentukan atau mengatur semua instrumen yang mendukung dalam proses pengambilan data.

Langkah-langkah yang diambil antara lain :

1. Meletakkan silinder pada posisi vertikal di dalam *wind tunnel*, yang dilakukan bertahap yaitu silinder tanpa alur dan silinder beralur.
2. Menghidupkan blower
3. Setelah blower berjalan stasioner dilakukan pengambilan data
4. Pengambilan data distribusi tekanan pada silinder tanpa alur dan beralur, dilakukan dengan mengambil data di permukaan silinder sebanyak 36 titik dengan interval  $10^\circ$ .
5. Pengambilan data untuk mendapatkan gaya  $drag$  dilakukan dengan mencatat massa pada masing-masing silinder dengan neraca digital, baik silinder tanpa alur maupun silinder beralur.
6. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap pengujian, baik silinder

tanpa alur maupun beralur. Dilakukan juga pengambilan data untuk kecepatan aliran bebas di depan dari saluran subsonik dan juga pengukuran tekanan statis lingkungan.

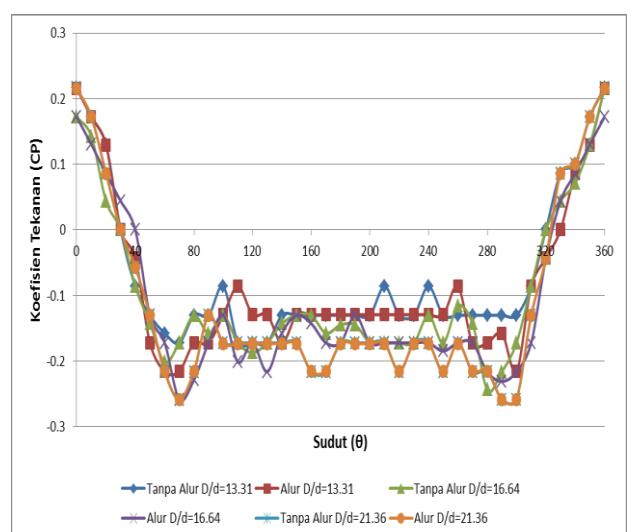
Gambar benda uji dengan variasi diameter silinder seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Benda Uji dengan variasi diameter yaitu : 48 mm, 60 mm, dan 77 mm

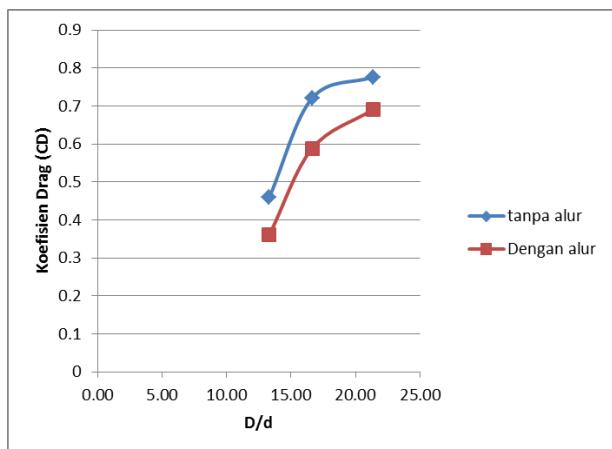
### Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian pada silinder tanpa alur dan silinder beralur, pada kecepatan aliran udara  $U_0 = 8,8$  m/s, dengan bilangan Reynolds  $Re = 3.64 \times 10^4$  adalah seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Grafik hubungan koefisien tekanan (CP) terhadap sudut ( $\theta$ )

Pada gambar 4. menunjukkan grafik hubungan koefisien tekanan (CP) terhadap sudut ( $\theta$ ) pada titik pengujian, baik silinder tanpa alur maupun dengan alur. Pada gambar 4 terlihat tekanan dari titik stagnasi menurun karena kecepatan aliran meningkat, penurunan terjadi sampai pada sudut  $70^\circ$ . Kemudian tekanan meningkat karena kecepatan aliran turun, lalu terjadi separasi aliran. separasi aliran terjadi pada sudut  $\theta = 80^\circ$  untuk tanpa alur, dan untuk silinder beralur terjadi pada  $\theta = 100^\circ - 110^\circ$ . Penundaan separasi aliran pada silinder beralur disebabkan karena aliran melalui alur atau luasan yang sempit kecepatannya meningkat, sehingga momentum aliran cukup besar untuk mengatasi tegangan geser yang terjadi. Penundaan separasi yang paling besar terjadi pada silinder beralur  $D/d=13.31$  atau  $D = 48$  mm, separasi terjadi pada sudut  $\theta = 110^\circ$ . Hal ini disebabkan dengan diameter yang paling kecil luas permukaan yang bergesekan semakin kecil, sehingga momentum aliran ataupun energi kinetik aliran cukup besar untuk mengatasi gesekan.



Gambar 5. Grafik hubungan koefisien drag (CD) terhadap perbandingan diameter silinder dengan panjang diagonal alur (D/d)

Pada gambar 5 menunjukkan grafik hubungan koefisien drag terhadap perbandingan diameter silinder dengan panjang diagonal alur (D/d) baik tanpa alur

maupun dengan alur. Pada gambar 5 menunjukkan terjadi penurunan koefisien *drag* pada silinder beralur, semakin besar diameter silinder atau D/d, koefisien *drag* semakin besar. Peningkatan koefisien *drag* ini disebabkan karena pada diameter silinder yang semakin besar luas permukaan yang bergesekan semakin besar, sehingga momentum aliran ataupun energi kinetik aliran berkurang untuk mengatasi gesekan yang terjadi. Oleh karena itu, separasi aliran lebih cepat dibandingkan dengan diameter yang lebih kecil, sehingga wake lebih lebar dan perbedaan tekanan di depan dengan dibelakang silinder menjadi lebih besar. Penurunan koefisien *drag* terbesar terjadi pada  $D/d=13,31$  atau diameter 48 mm dengan nilai  $CD = 0,3602$ , besarnya penurunan yaitu 21,57% dibandingkan silinder tanpa alur.

## Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Adanya alur pada permukaan silinder mampu menurunkan koefisien *drag*
2. Semakin besar diameter silinder koefisien *drag* semakin besar

## 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] Fox, R. W., *Introduction To Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- [3] 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.
- [4] Lee, S., S. Lee, & C. Park., *Reducing The Drag On a Circular Cylinder by Upstream Installation Of a Small Control Rod*, *Fluid Dynamics Research*, 34(2004): 233-250.
- [5] Lim, H.C.&Lee S.J., *Flow Control of Circular Cylinder With O-Rings*. *Fluid Dynamics Research*, 35 (2004): 107 – 122
- [6] H.-C.Lim, S.-J.Lee (2003), *PIV measurement s of near wake behind a U-grooved cylinder*, *journal of fluid and structures* 18 (2003) 1 19-130.
- [7] Tsutsui, T. & T. Igarashi, *Drag Reduction of a Circular Cylinder in an Air-Stream*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*

*mics*, 90(2002): 527-541.

- [8] 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.