

Pengaruh Penempatan Penghalang Berbentuk Silinder Pada Posisi Vertikal Dengan Variasi Jarak Horizontal Di Depan Silinder Utama Terhadap Koefisien *Drag*

Si Putu Gede Gunawan Tista

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung

e-mail: guntista@me.unud.ac.id

Abstrak

Salah satu cara untuk menghemat energi pada pesawat terbang dan bluff body lainnya adalah dengan mengurangi drag. Drag erat hubungannya dengan separasi aliran. Semakin awal terjadi separasi maka drag semakin meningkat. Oleh karena itu upaya yang dilakukan untuk mengurangi drag adalah dengan memanipulasi medan aliran fluida. Manipulasi aliran dilakukan dengan menempatkan penghalang berbentuk segitiga di depan silinder. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh penempatan penghalang berbentuk silinder pada posisi vertikal dengan variasi jarak horizontal di depan silinder utama terhadap koefisien drag. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan pada wind tunnel, yang terdiri dari blower, pipa pitot, manometer, pipa silinder, dan silinder penghalang. Penempatan penghalang dilakukan pada posisi vertikal ($y=14$ mm) dengan variasi jarak horizontal $L/D = 1.41$, $L/D = 1.56$, $L/D = 1.72$, $L/D = 1.88$, $L/D = 2.03$, $L/D = 2.19$, dan $L/D = 2.81$, terhadap silinder utama dengan diameter silinder penghalang adalah 8 mm. Bilangan Reynolds berdasarkan diameter silinder utama ($D = 42$ mm) adalah $Re = 3.42 \times 10^4$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan koefisien drag pada saat diberi penghalang silinder dibandingkan dengan tanpa diberi penghalang. Nilai koefisien drag untuk silinder tanpa diberi penghalang yaitu 0.167. Sedangkan penurunan koefisien drag tertinggi adalah pada jarak $L/D = 1.72$ yaitu sebesar 0,0593 yang berarti besarnya penurunan koefisien drag adalah 64.5% dibandingkan dengan tanpa penghalang.

Kata Kunci : Silinder Penghalang, Posisi dan Jarak Penghalang, Separasi, Pengurangan Drag.

Abstract

One of the ways to reduce energy consumption on the air plane and the other bluff bodies are by decreasing the drag. Drag is closely related to the flow separation. The earlier separation, then the drag will increase more. Based of the fact the effort to decrease drag is conducted by manipulating the field of fluid flow. Stream manipulation was be done by installing cylindrical obstacle in front of main cylinder. The purpose of this research is to analyze the effect of placement cylindrical obstacle at vertical position in the various horizontal distance in front of main cylinder on drag coefficient. In this research, the experiment was conducted in the wind tunnel, which consisted of blower, pitot pipe, manometer, cylinder pipe, and cylinder rod. The cylindrical obstacle was positioned at vertical ($y=14$ mm) in the various horizontal distance $L/D = 1.41$, $L/D = 1.56$, $L/D = 1.72$, $L/D = 1.88$, $L/D = 2.03$, $L/D = 2.19$, and $L/D = 2.81$ by upstream from the main cylinder. Diameter cylinder obstacle was 8 mm. The Reynolds number based on the main cylinder diameter ($D = 42$ mm) was $Re = 3.42 \times 10^4$. The research results showed that the cylinder rod could decrease the drag coefficient of main cylinder. Drag coefficient for cylinder without cylinder rod was 0.167 while the biggest decrease of coefficient of drag with cylindrical obstacle was happened at $L/D = 1.72$ which was 0,0593. It means that the drag coefficient of main cylinder with cylindrical obstacle was 64.5% lower than the cylinder alone.

Keyword : cylinder obstacle, Position and distance obstacle, Separation, Drag Reduction.

1. PENDAHULUAN

Fenomena gerakan aliran fluida melintasi suatu benda (bluff body) memegang peranan penting dalam aplikasi engineering seperti pada penukar kalor, pembakaran, dan alat transportasi. Sebagai contoh, dalam dunia transportasi seperti pesawat udara, mobil atau kapal laut. Apabila *drag* yang besar dapat dikurangi maka energi yang dibutuhkan untuk bergerak dapat diperkecil, sehingga banyak sekali bahan bakar dapat dihemat [7].

Dalam aplikasi teknik, banyak sekali konstruksi yang menggunakan silinder, hal ini telah

mendorong banyak peneliti untuk melakukan penelitian tentang aliran melintasi silinder. Oleh karenanya, sampai saat ini penelitian aliran melintasi silinder tetap sebagai salah satu yang penting dalam mekanika fluida [1]. Sehingga, penting untuk melakukan studi dengan silinder sebagai obyek.

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) dan gaya *lift* (gaya angkat) erat hubungannya dengan separasi aliran [2]

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.

Pada umumnya, teknik pengontrolan aliran fluida pada benda tumpul (*bluff body*) diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu metode pengontrolan pasif dan aktif. Metode pengontrolan aktif mengontrol aliran fluida dengan cara mensuplai energi dari luar seperti penambahan hembusan jet, sedangkan metode pengontrolan pasif mengontrol aliran fluida dengan cara memodifikasi bentuk *bluff body* dengan cara menempatkan alat tambahan seperti batang pengontrol atau dengan menempelkan elemen tambahan ke *bluff body* untuk menambah kekasaran permukaan. Metode pengontrolan aktif memerlukan peralatan yang kompleks untuk mensuplai energi dari luar kepada aliran. Oleh karena itu, metode pengontrolan pasif lebih mudah untuk diaplikasikan.

Besarnya pengaruh dari parameter – parameter diatas penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan menempatkan penghalang pada posisi vertikal. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh penempatan penghalang berbentuk silinder pada posisi vertikal dengan variasi jarak horisontal di depan silinder utama terhadap koefisien *drag*.

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

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 $d/D = 0,233$.

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

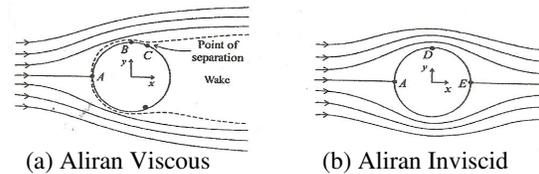
drag dari batang adalah 63% dibandingkan dengan yang satu silinder.

Bouk, dkk (1998), melakukan studi eksperimental menggunakan silinder kecil sebagai pengontrol pasif untuk mengurangi gaya *drag* pada silinder utama. Hasil eksperimental mereka menunjukkan bahwa rata-rata penurunan gaya hambat maksimum sekitar 48% relatif terhadap silinder tunggal (tanpa pengontrol pasif).

2. DASAR TEORI

2.1. Aliran Melintasi Silinder

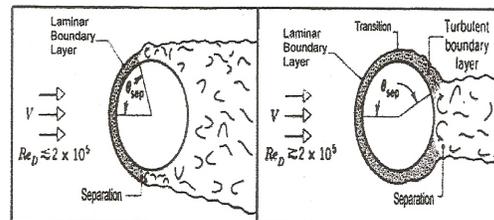
Aliran inkompresibel melintasi silinder dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kualitatif aliran pada suatu silinder [3]

Gambar 1.a. menunjukkan aliran viscous pada suatu silinder, *streamlines* adalah simetris. Titik A adalah titik stagnasi yang 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*. Diantara 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 dibelakang silinder berakibat makin besar gaya seret aliran silinder terhadap silinder. Aliran *inviscid* digambarkan pada Gambar 1b. 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.

Pengaruh turbulensi pada separasi aliran yang melintasi silinder dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh turbulensi pada separasi [4]

Karena momentum fluida dalam lapisan batas turbulen lebih besar daripada lapisan batas laminar, maka kemampuannya untuk melawan tegangan geser lebih besar sehingga akan lebih mampu untuk menunda yang menyebabkan separasi, itu layak untuk mengharapkan transisi. Jika $RE_D \leq 2 \times 10^5$, lapisan batas tetap laminar, dan separasi terjadi pada $\theta \approx 80^\circ$. tetapi, jika $RE_D \geq 2 \times 10^5$, terjadi transisi lapisan batas, dan separasi ditunda sampai $\theta \approx 140^\circ$.

2.2. Koefisien Drag

Drag yaitu hambatan dari aliran pada suatu benda. *Drag* ini merupakan hambatan dari gerakan suatu benda dan hambatan ini dapat terjadi juga pada dinding pipa tempat mengalirnya fluida. Energi harus diberikan untuk mengatasi *drag* serta untuk mempertahankan gerakan relatif antara benda dan aliran fluida serta untuk menghambat terjadinya deformasi pada suatu benda yang disebabkan *drag*.

Perbedaan antara tekanan tinggi di daerah stagnasi di depan dengan tekanan di daerah belakang memberikan sumbangan seretan yang besar, yang disebut drag tekanan. Ini ditambahkan pada integrasi tegangan geser atau *drag* gesekan benda tadi yang lebih rendah, dengan kata lain koefisien drag dapat dibagi dalam dua macam :

1. Koefisien drag yang disebabkan oleh perbedaan tekanan antara bagian di depan dan di belakang bodi di sebut *pressure drag*.
2. Koefisien drag yang disebabkan oleh gesekan permukaan bodi dengan fluida disebut *friction drag*

Persamaan koefisien drag pada suatu penghalang [6]:

$$C_D = C_{D, tek} + C_{D, gesekan} \quad (1)$$

Untuk C_D , gesekan karena kecil diabaikan maka :

$$C_D = \frac{Drag}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (2)$$

Keterangan :

- Drag = Gaya drag (N)
- ρ = Densitas fluida (kg/m^3)
- U = Kecepatan aliran (m/s)
- A = Luas penghalang (m^2)

Sedangkan persamaan koefisien tekanan adalah [5] :

$$C_p = \frac{P - P_o}{\frac{1}{2} \rho U_o^2} \quad (3)$$

Dengan :

- P = Tekanan permukaan (N/m^2)
- P_o = Tekanan statik lingkungan (N/m^2)
- U_o = Kecepatan aliran bebas (m/s)
- ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

Koefisien drag yang bekerja pada silinder utama diperoleh dengan mengintegalkan tekanan permukaan pada silinder [5]:

$$C_D = \int \frac{(P - P_o) dA}{\frac{1}{2} \rho U_o^2 DC} \quad (4)$$

Dengan :

- P = Tekanan permukaan silinder (N/m^2)
- P_o = Tekanan statik (N/m^2)
- C = Panjang silinder (m)
- D = Diameter silinder (m)
- U_o = Kecepatan aliran bebas (m/s)
- ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

3. METODE PENELITIAN

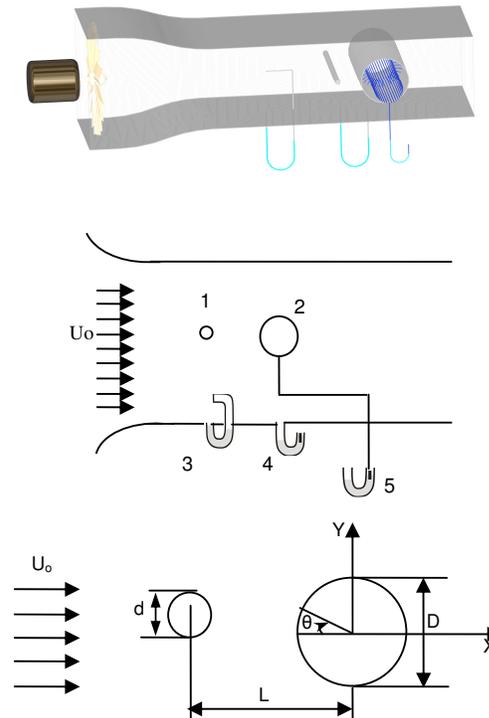
3.1. Alat Uji

Peralatan yang digunakan dalam penelitian

adalah:

1. Lorong Udara (wind tunnel)
2. Pipa Pitot
3. Manometer
4. Segitiga Penghalang
5. Silinder
6. Blower

Adapun susunan alat uji pada gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran Pada *Wind Tunnel*

Keterangan gambar :

1. Penghalang berbentuk silinder
2. Silinder utama
3. Pitot pengukur tekanan total
4. Manometer tekanan statis
5. Manometer tekanan permukaan sekeliling silinder

Cara Kerja Dan Teknik Pengambilan Data

Aliran udara yang dihembuskan oleh blower mengalir dalam *wind tunnel* dan melintasi silinder

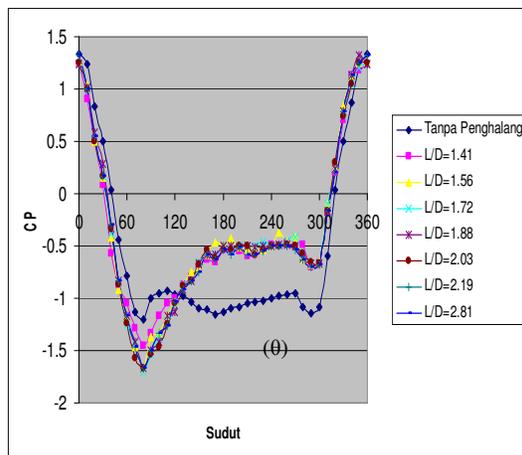
penghalang dengan diameter 8 mm yang diletakkan pada posisi vertikal ($y = 14$ mm) dan mengenai silinder utama berdiameter 32 mm. Permukaan silinder utama dilubangi sebanyak 36 lubang dengan diameter lubang 1 mm, dan dihubungkan dengan selang berdiameter 2 mm ke manometer U berdiameter 6 mm, untuk mengukur tekanan permukaan (P) (alat ukur 5). Pembacaan manometer dilakukan secara manual. Kecepatan aliran udara wind tunnel diukur dengan pipa pitot (3) dengan diameter pipa 2 mm yang membaca tekanan total, sedangkan alat ukur (4) yang dihubungkan dengan selang berdiameter 2 mm untuk mengukur tekanan statis (P_o) yang juga dibaca secara manual. Kecepatan udara bebas U_o diproses dari tekanan dinamik yakni selisih antara tekanan total dan tekanan statik.

Prosedur Pengambilan Data

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

Langkah-langkah yang diambil antara lain:

1. Meletakkan silinder utama pada posisi $y=0$ dan silinder penghalang pada posisi vertikal ($y=14$ mm) di dalam *wind tunnel* di depan saluran subsonik
2. Menghidupkan blower
3. Setelah blower berjalan stasioner dilakukan pengambilan data
4. Pengambilan data distribusi tekanan dengan variasi jarak penghalang berbentuk silinder dalam arah horizontal, dilakukan dengan mengambil data pada permukaan silinder utama dengan interval 10° , juga pengambilan data kecepatan aliran bebas di depan dari saluran subsonik, demikian juga pengukuran tekanan statik.



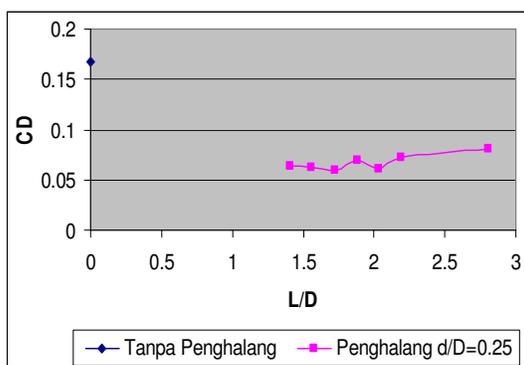
Gambar 4. Grafik Hubungan Koefisien Tekanan (C_p) Terhadap Sudut Silinder (θ) dengan tanpa Penghalang dan dengan Penghalang Pada Posisi Vertikal ($y=14$) dan Variasi Jarak Kearah Horisontal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dengan kecepatan udara bebas $U_o = 15.492$ m/s dengan bilangan Reynold $Re = 3.42 \times 10^4$ adalah seperti terlihat pada gambar 4

Pada gambar 4. memperlihatkan distribusi koefisien tekanan C_p pada sekeliling permukaan silinder utama (θ) pada $d/D = 0.25$ posisi $y = 14$ mm. Simbul (♦) pada gambar 4. merupakan tanpa penghalang, tekanan terbesar pada titik stagnasi (sudut $\theta = 0^\circ$) pada $C_p = 1.33$, setelah stagnasi, cenderung penurunan tekanannya rendah pada sudut $\theta = 80^\circ$ dengan $C_p = -1.208$, akibat peningkatan kecepatan aliran setelah stagnasi rendah. Kemudian tekanan meningkat sampai $\theta = 110^\circ$ pada $C_p = -0.9249$, karena kecepatan aliran menurun. Simbul (■) pada gambar 4. merupakan jarak $L/D = 1.41$, tekanan stagnasi cenderung turun sedikit (sudut $\theta = 0^\circ$) pada $C_p = 1.233$. Setelah stagnasi tekanannya turun cukup tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 80^\circ$ dengan $C_p = -1.499$, karena kecepatan aliran meningkat. Kemudian tekanan meningkat sampai sudut $\theta = 160^\circ$ pada $C_p = -0.633$, karena kecepatan aliran menurun, setelah itu tekanan turun, namun meningkat lagi pada sudut $\theta = 180^\circ$ dengan $C_p = -0.533$, hal ini kemungkinan disebabkan adanya vortek dibelakang silinder. Sedangkan pada sisi sebelah kanan penurunan tekanan tidak lebih rendah dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 290^\circ$ dengan $C_p = -0.699$. Simbul (Δ) pada gambar 4. merupakan jarak $L/D = 1.56$, tekanan stagnasi cenderung turun sedikit (sudut $\theta = 0^\circ$) pada $C_p = 1.267$. Setelah stagnasi tekanan turun lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 80^\circ$ pada $C_p = -1.667$, karena kecepatan aliran meningkat. Kemudian tekanan meningkat sampai sudut $\theta = 170^\circ$ pada $C_p = -0.467$, karena kecepatan aliran menurun. Setelah itu tekanan turun, namun meningkat lagi pada sudut $\theta = 190^\circ$ dengan $C_p = -0.433$, hal ini disebabkan adanya vortek dibelakang silinder. Sedangkan pada sisi sebelah kanan penurunan tekanan tidak lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 290^\circ$ dengan $C_p = -0.683$. Simbul (\times) pada gambar 4. merupakan jarak $L/D = 1.72$, tekanan stagnasi cenderung turun sedikit (sudut $\theta = 0^\circ$) pada $C_p = 1.233$. Setelah stagnasi tekanan turun lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 80^\circ$ pada $C_p = -1.699$, karena kecepatan aliran meningkat. kemudian tekanan meningkat sampai sudut $\theta = 160^\circ$ pada $C_p = -0.583$, karena kecepatan aliran menurun. Setelah itu tekanan konstan, namun meningkat lagi hingga sudut $\theta = 180^\circ$ dengan $C_p = -0.499$, hal ini disebabkan adanya vortek dibelakang silinder. Sedangkan pada sisi sebelah kanan penurunan tekanan tidak lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 290^\circ$ dengan $C_p = -0.667$. Simbul (\times) pada gambar 4. merupakan jarak $L/D = 1.88$, tekanan stagnasi cenderung turun sedikit (sudut $\theta = 0^\circ$) pada $C_p = 1.233$. Setelah stagnasi tekanan turun lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 80^\circ$ pada $C_p = -1.667$, karena kecepatan

aliran meningkat. kemudian tekanan meningkat sampai sudut $\theta = 160^\circ$ pada $C_p = -0.583$, karena kecepatan aliran menurun, sedangkan pada sisi sebelah kanan penurunan tekanan tidak lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut 290° dengan $C_p = -0.667$. Simbul (●) gambar 4. merupakan $L/D = 2.03$, tekanan stagnasi cenderung turun sedikit (sudut $\theta = 0^\circ$) pada $C_p = 1.249$. Setelah stagnasi tekanan turun lebih tajam pada sudut $\theta = 80^\circ$ pada $C_p = -1.499$, karena kecepatan aliran meningkat. Kemudian tekanan meningkat sampai sudut $\theta = 160^\circ$ pada $C_p = -0.533$, karena kecepatan aliran menurun, sedangkan pada sisi sebelah kanan penurunan tekanan tidak lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 290^\circ$ dengan $C_p = -0.658$. Simbul () pada gambar 4.11 merupakan $L/D = 2.19$, tekanan pada titik stagnasi cenderung turun sedikit (sudut $\theta = 0^\circ$) pada $C_p = 1.325$. Setelah stagnasi tekanan turun lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 80^\circ$ pada $C_p = -1.667$, karena kecepatan aliran pada meningkat. Kemudian tekanan meningkat sampai sudut $\theta = 160^\circ$ pada $C_p = -0.583$, karena kecepatan aliran menurun, setelah itu tekanan turun, namun meningkat lagi hingga sudut $\theta = 180^\circ$ dengan $C_p = -0.533$. Sedangkan pada sisi sebelah kanan penurunan tekanan tidak lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut 290° dengan $C_p = -0.699$. Simbul (–) pada gambar 4.11 merupakan jarak $L/D = 2.81$, tekanan pada titik stagnasi cenderung sedikit turun (sudut 0°) pada $C_p = 1.325$. Setelah stagnasi tekanan turun terjadi pada sudut $\theta = 80^\circ$ pada $C_p = -1.667$, karena kecepatan aliran meningkat pada titik stagnasi, tekanan meningkat sampai sudut $\theta = 170^\circ$ pada $C_p = -0.667$, karena kecepatan aliran menurun, sedangkan pada sisi sebelah kanan penurunan tekanan tidak lebih tajam dari tanpa penghalang pada sudut $\theta = 290^\circ$ dengan $C_p = -0.725$.



Gambar 5. Grafik Hubungan Koefisien Drag (CD) terhadap Jarak Horizontal (L/D), dengan penghalang (pada $d/D=0.25$) dan tanpa penghalang pada posisi Vertikal ($y=14$)

Gambar 5. menunjukkan grafik hubungan Koefisien drag (CD) terhadap jarak penghalang (L/D) dengan penghalang dan tanpa penghalang.

Adanya penghalang menyebabkan terjadi penurunan koefisien drag yang lebih besar dibandingkan tanpa penghalang. Hal ini disebabkan dengan adanya penghalang menyebabkan pola aliran berubah menjadi turbulen dan juga timbul vortek, yang mengakibatkan kecepatan aliran atau momentum meningkat sehingga mampu mengatasi tegangan geser yang terjadi dan separasi aliran bisa ditunda. Semakin jauh jarak penghalang, semakin besar koefisien drag, hal ini disebabkan semakin jauh jarak penghalang terjadi kehilangan energi kinetik yang cukup besar sehingga kecepatan aliran melintasi silinder menjadi rendah. Pada jarak dari $L/D=1.41$, 1.56, 1.72. koefisien drag cenderung turun hal ini disebabkan terjadi kenaikan kecepatan aliran yang melintasi silinder akibat pola aliran yang turbulen dan juga timbul vortek. Pada jarak $L/D=1.88$, koefisien drag meningkat, pada fase ini mulai terjadi penurunan energi kinetik karena jarak semakin jauh, sehingga kecepatan aliran melintasi silinder rendah. Namun pada jarak $L/D=2.03$ koefisien drag turun lagi, hal ini mungkin disebabkan adanya vortek dibelakang silinder yang cukup besar mendorong silinder ke depan. Pada jarak $L/D=2.19$ dan $L/D=2.81$ koefisien drag cenderung meningkat, karena semakin jauh jarak penghalang terjadi kehilangan energi kinetik yang cukup signifikan sehingga kecepatan aliran melintasi silinder rendah. Penurunan koefisien drag terbesar terjadi pada jarak penghalang $L/D=1.72$ dengan nilai koefisien drag $CD=0.0593$, dengan prosentase penurunan koefisien drag sebesar 64.5% dibandingkan tanpa penghalang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Adanya penghalang menyebabkan koefisien drag mengalami penurunan dibandingkan tanpa penghalang
2. Semakin jauh jarak penghalang dari silinder utama koefisien drag semakin meningkat
3. Koefisien drag terkecil terjadi pada jarak penghalang $L/D=1.72$, besarnya prosentase penurunan 64.5% dibandingkan tanpa penghalang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bouak, F., and Lemay, J, (1998), *Passive Control of the Aerodynamics Forces Acting on a Circular Cylinder*, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 16, pp. 112-121.
- [2] Chew, Y.T. L S Pan, & T S Lee. (1997), *Numerical Simulation of the Effect of a Moving Wall on Separation of Flow Past a Symmetrical Aerofoil*, Ameche, 212.
- [3] Fox, Robert W, McDonald. (1994), *Introduction to Fluid Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, INC.

- [4] Incropera, F. P. & D. P. Dewitt. (1981), *Fundamental of Heat and mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York.
- [5] Lee, S., S.Lee, & C. Park. (2004). *Reducing The Drag on a Circular Cylinder by Upstream Installation of a Small Control Rod*, Fluid Dynamics Research, 34:233-250.
- [6] White, F.M, 1999. *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill, Inc. New York
- [7] Tsutsui, T. & T. Igarashi, 2002. Drag Reduction of a Circular Cylinder in an Air-Stream, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **90**: 527-541.