

PENGARUH VARIASI SUDUT KEMIRINGAN SEGITIGA PENGHALANG TERHADAP KOEFISIEN *DRAG* PADA SILINDER

Si Putu Gede Gunawan Tista, Made Ricki Murti, I Wayan Sugiharta.G

Jurusan Teknik Mesin – Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung - Bali, 80362
Email:Gunawan_tista@yahoo.com

Abstrak

Upaya untuk menghemat energi pada alat transportasi seperti pesawat udara, mobil, kapal laut 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 bisa dilakukan secara pasif antara lain menempelkan sebuah sirip pada *bluff body*, melubangi *bluff body*, menambahkan spiral pada *bluff body* dan menempatkan penghalang yang lebih kecil di depan *bluff body*. Pada penelitian ini dilakukan dengan cara menempatkan penghalang berbentuk segitiga di depan silinder. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi sudut kemiringan segitiga penghalang terhadap koefisien *drag* pada silinder. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan pada wind tunnel, yang terdiri dari blower, pipa pitot, manometer, pipa silinder, dan segitiga penghalang, dengan memvariasikan sudut kemiringan segitiga penghalang mulai dari 0° , 5° , 10° , 15° , 20° . Penempatan penghalang dilakukan pada jarak 70 mm atau $L/D = 1,43$. Distribusi tekanan diperoleh dengan mengukur tekanan permukaan silinder pada 36 titik dengan interval 10° . Data yang diukur adalah tekanan permukaan silinder, tekanan statis lingkungan, dan kecepatan aliran fluida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan *drag* pada saat diberi penghalang segitiga dibandingkan dengan tanpa diberi penghalang segitiga. Nilai koefisien *drag* untuk silinder tanpa diberi penghalang yaitu 0.1276. Sedangkan penurunan koefisien *drag* tertinggi adalah pada sudut kemiringan segitiga penghalang dengan sudut $\theta = 0^\circ$ yaitu sebesar 0,0169

Kata Kunci:Separasi Aliran, Pengurangan *Drag*, Segitiga Penghalang, Sudut Kemiringan Segitiga, Silinder.

Pendahuluan

Ilmu perancangan tentang mekanika fluida telah dikembangkan melalui pemahaman mengenai sifat-sifat fluida. Dalam aplikasi *engineering* kemampuan teknis dengan memanipulasi medan aliran fluida yang melintasi benda (*bluff body*) digunakan untuk mengurangi hambatan (*drag*) untuk menghemat energi. Sebagai contoh, dalam dunia transportasi seperti pesawat udara, mobil, kapal laut. Apabila hambatan (*drag*) yang besar dapat dihindari maka energi yang dibutuhkan untuk bergerak dapat diperkecil sehingga bahan bakar yang digunakan dapat dihemat.

Dalam perkembangannya di dunia *engineering*, mekanika fluida sangat berperan penting dalam kehidupan sehari-hari. Pada dasarnya penerapan mekanika fluida sangat berkaitan dengan tingkah laku fluida yaitu statis atau dinamis. Fluida statis adalah fluida yang dalam keadaan diam, sedangkan fluida dinamis adalah fluida yang dalam keadaan bergerak. Aliran fluida dipengaruhi oleh massa jenis (densitas) dari sifat gerakan fluida maka dapat menimbulkan berbagai efek berupa bekerjanya gaya-gaya. Analisis gaya-gaya yang ditimbulkan oleh aliran sangat

penting dalam mendesain bentuk dari pesawat terbang, mobil dan lain-lain. Salah satu gaya yang ditimbulkan oleh aliran fluida adalah gaya hambat (*drag force*). Gaya hambat merupakan gaya yang berkaitan dengan massa jenis fluida, luas penampang dan kecepatan aliran fluida.

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 (Bouk et al. 1998). 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* dibelakang silinder untuk benda yang bergerak dalam fluida *viscous*, gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*) erat hubungannya dengan separasi aliran (Chew et al., 1997).

Adanya separasi aliran akan menyebabkan timbulnya *wake* dibelakang silinder yang mengakibatkan hambatan (*drag*). 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 eksternal fluida *viscous* yang mengalir melalui silinder agar *drag* dapat diperkecil. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi sudut kemiringan segitiga penghalang terhadap koefisien *drag* yang terjadi pada silinder. Berbagai 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 ($D = 30 \text{ mm}$) adalah sekitar $Re = 20000$. Maksimum pengurangan koefisien total *drag* dari seluruh sistem meliputi silinder utama dan batang kontrol sekitar 25%.

Tsutsui & Igarashi (2002), mengkaji aliran sekitar silinder dengan menempatkan batang kecil pada *upstream* dari silinder. Diameter silinder adalah $D = 40 \text{ mm}$, dan diameter batang d rentangnya dari 1 sampai 10 mm. Angka Reynold 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 (1997), Mengkaji aliran sekitar Prisma segiempat dengan menempatkan batang kecil di depan prisma (*upstream*). 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. Pengurangan *drag* luar biasa didapat untuk bermacam-macam sudut serang. Besarnya pengurangan *drag* adalah 40% dibandingkan dengan silinder halus.

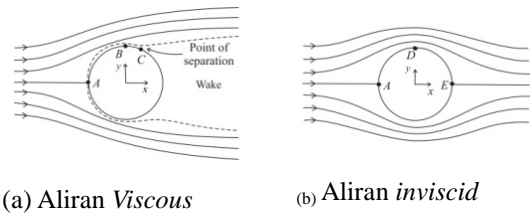
Sutardi & Ching (1999), mengkaji pertumbuhan lapisan batas turbulen di belakang sebuah alur melintang yang berpenampang bujur sangkar. Dari hasil kajian ini diperoleh hasil bahwa ada suatu lonjakan tegangan geser pada lokasi sedikit di belakang alur melintang. Di belakang lonjakan tegangan geser itu kemudian disusul dengan penurunan tegangan geser yang lebih rendah dari nilai pada kasus permukaan halus (tanpa alur). Selanjutnya, tegangan geser itu kembali seperti halnya pada permukaan halus. Dari hasil integrasi tegangan geser pada dinding (τ_w) sepanjang permukaan uji, diperoleh hasil bahwa terjadi kenaikan gaya seret sebesar $\pm 1\%$ untuk kasus lapis batas turbulen dengan $Re_\theta = 1000$. Untuk kasus $Re_\theta = 3000$, integrasi tersebut menunjukkan bahwa gaya seret yang terjadi pada permukaan yang beralur sama

besar dengan gaya seret yang terjadi pada permukaan halus.

Bouk, at al. (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).

Dasar Teori

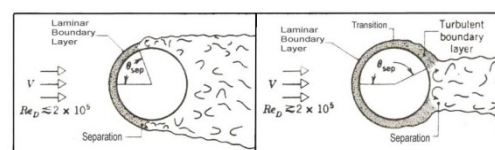
Aliran inkompresibel melintasi silinder dapat dilihat pada gambar 1.



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 *boundarylayer*. 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.

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



Gambar 2. Pengaruh turbulensi pada separasi (Incropera & DeWitt, 1981).

Karena momentum fluida dalam lapisan batas turbulen lebih besar dari pada 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 $\theta \approx 140^\circ$.

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/m²)
- P_o = Tekanan statik (N/m²)
- U_o = Kecepatan aliran bebas (m/s)
- ρ = Densitas udara (kg/m³)

Koefisien drag yang bekerja pada silinder utama diperoleh dengan mengintegalkan tekanan permukaan pada silinder (Lee, *et al.*, 2004) :

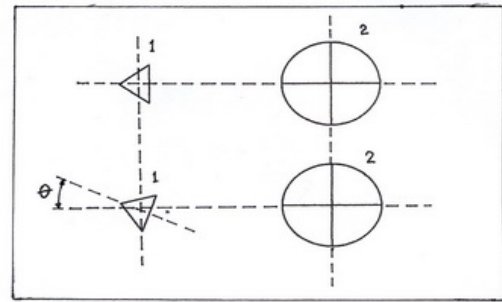
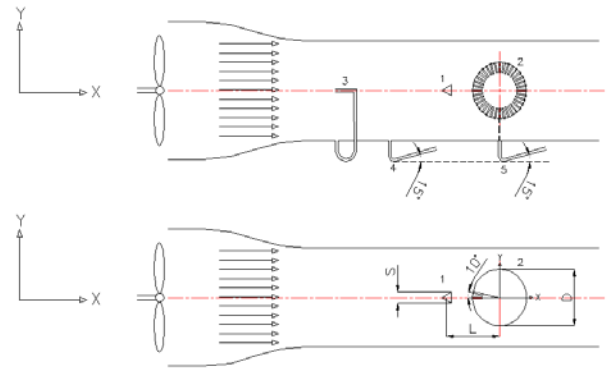
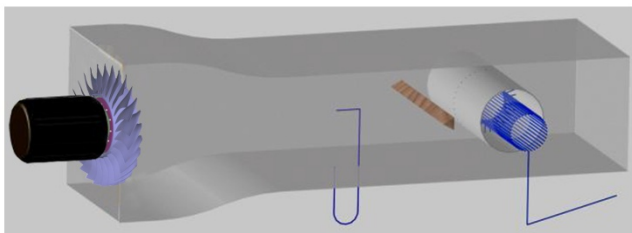
$$C_D = \int \frac{(P - P_o) dA}{\frac{1}{2} \rho U_o^2 DC} \quad (2)$$

dengan :

- P = Tekanan permukaan silinder (N/m²)
- P_o = Tekanan statis (N/m²)
- C = Panjang silinder (m)
- D = Diameter silinder (m)
- U_o = Kecepatan aliran bebas (m/s)
- ρ = densitas udara (kg/m³)

Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : lorong udara (wind tunnel), pipa pitot, manometer, silinder utama, silinder penghalang, dan blower. Adapun susunan alat uji adalah seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran Pada Wind Tunnel

Keterangan gambar :

1. Penghalang berbentuk segitiga
2. Silinder
3. Pitot pengukur tekanan total
4. Inclined manometer tekanan statis
5. Inclined manometer tekanan permukaan sekeliling silinder.

Cara Kerja Dan Teknik Pengambilan Data

Aliran udara yang dihembuskan oleh blower mengalir dalam wind tunnel dan melintasi penghalang berbentuk segitiga sama sisi dengan variasi sudut kemiringan segitiga dan mengenai silinder. 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 (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

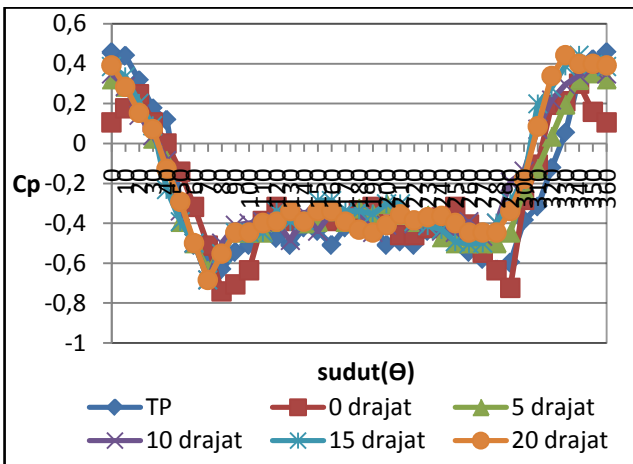
Prosedur pengambilan data dilaksanakan setelah menentukan atau mengatur semua instrumen yang mendukung dalam proses pengambilan data.

Langkah-langkah yang diambil antara lain :

1. Meletakkan silinder dan segitiga penghalang 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 sudut kemiringan segitiga , dilakukan dengan mengambil data pada permukaan silinder.
5. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasi sudut kemiringan segitiga penghalang pengujian baik tanpa penghalang maupun dengan penghalang segitiga. Dilakukan juga pengambilan data untuk kecepatan aliran bebas di depan dari saluran subsonik dan juga pengukuran tekanan statik.

Hasil Dan Pembahasan

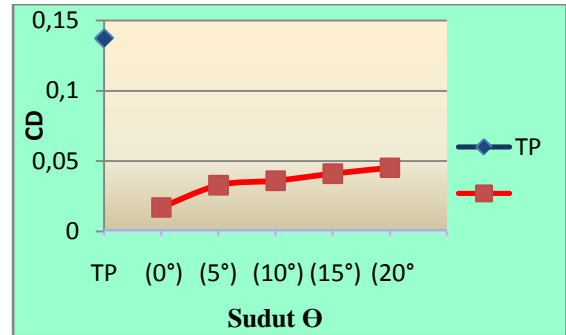
Hasil penelitian dengan variasi sudut kemiringan segitiga 0°, 5°, 10°, 15° dan 20°. Sedangkan kecepatan aliran udara $U_o = 6.2479$ m/s, dengan bilangan Reynold $Re = 18.100$, adalah seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Koefisien Tekanan (C_p) terhadap sudut silinder (θ) dengan Variasi Sudut Kemiringan Segitiga Penghalang.

Pada gambar 4. menunjukkan hubungan koefisien tekanan (C_p) terhadap sudut kemiringan segitiga penghalang, dengan tanpa penghalang dan penghalang, pada kemiringan sudut segitiga masing-masing 0°, 5°, 10°, 15° dan 20°. Terlihat terjadi

penurunan tekanan yang lebih tajam dibandingkan dengan tanpa penghalang yaitu sampai mencapai $C_p = -0.7,4102$. Tekanan stagnasi tidak lagi pada sumbu silinder tetapi sudah bergeser sesuai dengan besarnya sudut segitiga penghalang. Titik separasi juga berubah antara dengan penghalang dan tanpa penghalang sesuai dengan sudut segitiga penghalang. Pada tanpa penghalang separasi terjadi kira-kira pada sudut 110° sedangkan dengan penghalang pada variasi sudut segitiga penghalang 0°, 5°, 10°, 15° dan 20° separasi bisa ditunda, terjadi pada sudut 120° sampai 130°.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Koefisien Drag (C_D) terhadap Sudut Kemiringan Segitiga Penghalang dengan Penghalang dan Tanpa Penghalang Segitiga.

Pada gambar 5. Menunjukkan hubungan koefisien drag (C_D) terhadap sudut kemiringan segitiga dengan penghalang dan tanpa penghalang. Terlihat bahwa semakin besar sudut kemiringan segitiga penghalang koefisien drag semakin besar namun masih lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penghalang. Hal ini disebabkan pada sudut kemiringan segitiga yang semakin besar terjadi kehilangan energi kinetik atau kehilangan momentum yang lebih besar, sehingga ketika melintasi silinder separasi terjadi sedikit lebih awal karena tidak mampu mengatasi tegangan geser yang terjadi dan wake sedikit lebih besar dibandingkan dengan sudut kemiringan segitiga yang lebih kecil. Penurunan koefisien drag terbesar terjadi pada sudut kemiringan segitiga penghalang 0° dengan nilai koefisien drag $C_D = 0.0169$. Besarnya penurunan koefisien drag dibandingkan dengan tanpa penghalang adalah 86.76 %.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Adanya segitiga penghalang mampu menurunkan koefisien drag.

2. Semakin besar sudut kemiringan segitiga penghalang 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] Incropera, F. P. & D. P. DeWitt. 1981. Fundamentals Of Heat And Mass Transfer, John Wiley & Sons, New York, 1981.
- [5] 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.
- [6] Sutardi & C. Y. Ching, Pertumbuhan Lapis Batas Turbulen Di Belakang Sebuah Alur Melintang Yang Berpenampang Bujur Sangkar, *Jurnal TeknikMesin ITS*, 26 (3)(1999): 162-168
- [7] 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.
- [8] Yajima, Y & O. Sano, 1996. A Note On The Drag Reduction Of a Circular Cylinder Due To Double Rows Of Holes, *Fluid Dynamics Research*, 18(1996): 237 – 243.
- [9] Bouak, F, and Lemay, J, (1998), *Passive Control of the Aerodynamics Forces Acting on a Circular Cylinder*, *ExperimentalThermal and Fluid Science*, 16, pp. 112-121.