

M6-014 Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Teriris Tipe-D di Dekat Dinding Datar

Triyogi Yuwono dan Wawan Aries Widodo

Laboratorium Mekanika & Mesin-mesin Fluida,
Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS – Surabaya
Kampus ITS – Keputih – Surabaya (60111)

Tel. (62) 031 5946230, Fax no. : (62) 031 5922941, e-mail : triyogi@me.its.ac.id

ABSTRAK

Aliran melalui silinder teriris tipe-D dengan sudut iris (α_s) = 65° yang diletakkan dekat dinding datar telah diteliti secara eksperimental. Silinder teriris tipe-D diletakkan sedemikian rupa di dekat dinding datar hingga permukaan teriris menghadap secara tegak lurus arah datang aliran udara. Jarak gap antara bagian bawah silinder model dengan permukaan atas dinding datar relatif terhadap diameter silinder model (G/D) divariasikan sebanyak 21 posisi, yakni : $0 \leq G/D \leq 1,333$ dengan perubahan sebesar $\Delta G/D = 0,067$. Percobaan dilakukan dalam sebuah terowongan angin subsonik sirkulasi terbuka, pada bilangan Reynolds, $Re = 5,3 \times 10^4$ (berdasarkan diameter silinder utama, D dan kecepatan aliran bebas, U_∞).

Hasil eksperimental menunjukkan bahwa keberadaan dinding datar tidak mampu menurunkan nilai koefisien pressure drag silinder teriris tipe-D dengan 65° hingga lebih rendah dari pada silinder sirkuler untuk berapapun jarak gap (G/D). Disamping itu, silinder teriris tipe-D dengan $\alpha_s = 65^\circ$ lebih kuat berinteraksi dengan dinding datar. Dimana ketika silinder sirkuler sudah tidak terpengaruh oleh keberadaan dinding datar, ternyata silinder teriris tipe-D dengan $\alpha_s = 65^\circ$ masih terpengaruh oleh keberadaan dinding datar pada G/D yang sama.

Kata kunci: dinding datar, silinder teriris- 65° , koefisien tekanan, gaya drag dan lift.

Nomenklatur

$$C_{Dp} \text{ koefisien pressure Drag} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta$$

$$C_{Lp} \text{ koefisien pressure Lift} = -\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \sin(\theta) d\theta$$

$$C_p \text{ koefisien tekanan} = (p - p_\infty) / (0,5 \rho U_\infty^2)$$

D diameter silinder (mm)

G jarak permukaan paling bawah silinder terhadap dinding datar (mm)

p tekanan pada permukaan silinder (N/m^2)

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

p_{∞}	tekanan aliran bebas	(N/m ²)
Re	bilangan Reynolds = $\rho U_{\infty} D / \mu$	
U_{∞}	kecepatan aliran bebas	(m/s)
θ_s	sudut iris	(deg.)
μ	viskositas absolut udara	(kg/m.s)
ρ	densitas udara	(kg/m ³)

1. Pendahuluan

Dalam aplikasi teknik, body berbentuk silinder sering kali digunakan, baik tunggal maupun berkelompok. Seringkali disusun sedemikian rupa sehingga berdekatan dengan bentuk body lain seperti plat datar, sebagai contoh pada penukar kalor shell-and-tube dimana pipa-pipa sebagai sisi tube dipasang dalam suatu kotak yang tersusun dari empat dinding plat datar sebagai sisi shell. Demikian juga konstruksi sistem perpipaan bawah laut yang terpasang diatas permukaan dasar laut.

Posisi dinding datar tersebut relatif terhadap pipa (body berbentuk silinder) tentu saja sangat mempengaruhi karakteristik aliran di sekitar silinder. Penelitian tentang pengaruh posisi dinding datar terhadap body berbentuk silinder telah cukup banyak dilakukan orang, seperti misalnya yang dilakukan oleh Zdravkovich (1985), atau Choi et al. (2000, 2001), atau Price et al (2002). Namun demikian seperti diketahui, penelitian mereka lebih banyak untuk bodi berbentuk silinder sirkuler atau ellips.

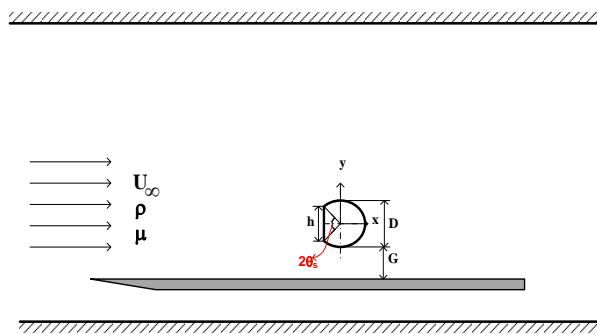
Selain bentuk silinder sirkular, Aiba S. dan H. Watanabe (1997) melakukan penelitian dengan memotong silinder sirkular pada bagian depan (tipe D) dan bagian depan dan belakang dipotong sekaligus (tipe I) dengan sudut pemotongan tertentu, dalam hal ini silinder teriris di letakkan berdiri bebas tanpa ada pengaruh dinding. Menurut penelitian mereka ternyata dengan dilakukannya pengirisan silinder, dengan sudut irisan tertentu, akan dapat menyebabkan penurunan gaya *drag* yang mungkin terjadi, dimana sudut pengirisan yang paling efektif dalam mengurangi gaya *drag* adalah sudut iris (θ_s) = 53°. Sedangkan sudut iris (θ_s) = 65° adalah sudut iris yang paling besar menimbulkan gaya *drag*, melebihi silinder sirkuler yang tidak diiris ($\theta_s = 0^\circ$). Dengan bentuk silinder teriris tipe-D, peneliti lain, yaitu Igarashi dan Shiba (2006) membuktikan bahwa silinder teriris tipe-D dengan sudut iris $\theta_s > 60^\circ$ terjadi separasi massif sejak ujung irisan dan tidak timbul separasi bubble seperti yang diamati pada $\theta_s = 53^\circ$, hal ini pulalah yang menyebabkan bahwa silinder teriris dengan $\theta_s = 53^\circ$ mempunyai gaya drag yang lebih kecil.

Dari pertimbangan tersebut diatas, bila direncanakan ke depan silinder teriris (tipe D atau I), yang dapat mempunyai gaya drag lebih besar atau lebih kecil disbanding silinder sirkuler, tergantung pada besarnya sudut iris, diaplikasikan dalam peralatan teknis, seperti dalam alat penukar kalor, maka perlu dilakukan penelitian pendahuluan tentang efek posisi dinding penukar kalor terhadap silinder teriris tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini secara khusus mempunyai fokus pada benda uji dari silinder sirkuler teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ yang diletakkan dekat dinding berupa plat datar (*end wall*). Dengan mengetahui karakteristik aliran melintasi silinder teriris tipe-D di

dekat dinding datar, maka akan dapat diketahui efektivitas penggunaan silinder teriris tipe-D pada peralatan teknis berkonstruksi dinding datar. Dengan demikian akan dapat diketahui kemungkinan peningkatan efisiensi peralatan teknik tersebut, sehingga akhirnya dapat pula diketahui kemungkinan penghematan konsumsi energi.

2. Metode Eksperimen

Gambar (1) menunjukkan skema konfigurasi silinder teriris tipe-D yang diletakkan dekat dinding datar dan parameter-parameter percobaan. Silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ dan berdiameter $D = 60$ mm diletakkan sedemikian rupa hingga salah satu bagian permukaan teriris menghadap secara tegak lurus arah datang aliran udara. Jarak gap antara bagian bawah silinder model dengan permukaan atas dinding datar relatif terhadap diameter silinder model (G/D) divariasikan sebanyak 21 posisi, yakni : $0 \leq G/D \leq 1,333$ dengan perubahan sebesar $\Delta G/D = 0,067$. Percobaan dilakukan dalam sebuah terowongan angin subsonik sirkulasi terbuka, pada bilangan Reynolds, $Re = 5,3 \times 10^4$ (berdasarkan diameter silinder utama, D dan kecepatan aliran bebas, U_∞).



Gambar (1) : Skema susunan silinder teriris tipe-D di dekat dinding

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan pengaruh posisi dinding plat datar terhadap karakteristik aliran melintasi silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ disbanding silinder sirkuler tidak teriris, termasuk gaya-gaya aerodinamik (*drag & lift*) yang mungkin terjadi, dengan cara : (i) mengukur distribusi tekanan di sekeliling permukaan silinder dan dinding plat datar, dengan menggunakan manometer miring (ii). mengukur profil kecepatan di belakang silinder dengan menggunakan tabung pitot-statik yang terhubung dengan manometer miring, dimana tabung pitot-statik ditempatkan 300 mm di belakang pusat sumbu silinder utama atau pada jarak $x/D = 5$ dan (iii). memvisualisasi aliran pada permukaan silinder dengan metode *oil flow picture* untuk perbandingan komposisi bahan titanium oksida : minyak silikon : tinner B = 5 : 1 : 1.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Distribusi Tekanan

Gambar 2 menunjukkan distribusi koefisien tekanan sekeliling silinder sirkuler utama (C_p) akibat pengaruh jarak gap antara bagian bawah silinder model dengan permukaan atas dinding datar relatif terhadap diameter silinder model (G/D) pada $Re = 5,3 \times 10^4$, dimana masing-masing dibandingkan dengan grafik C_p silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ pada posisi di tengah wind tunnel. Gambar (2a) untuk pengaruh jarak $G/D = 0$ s/d 0,400. Secara umum dapat dikatakan, bahwa

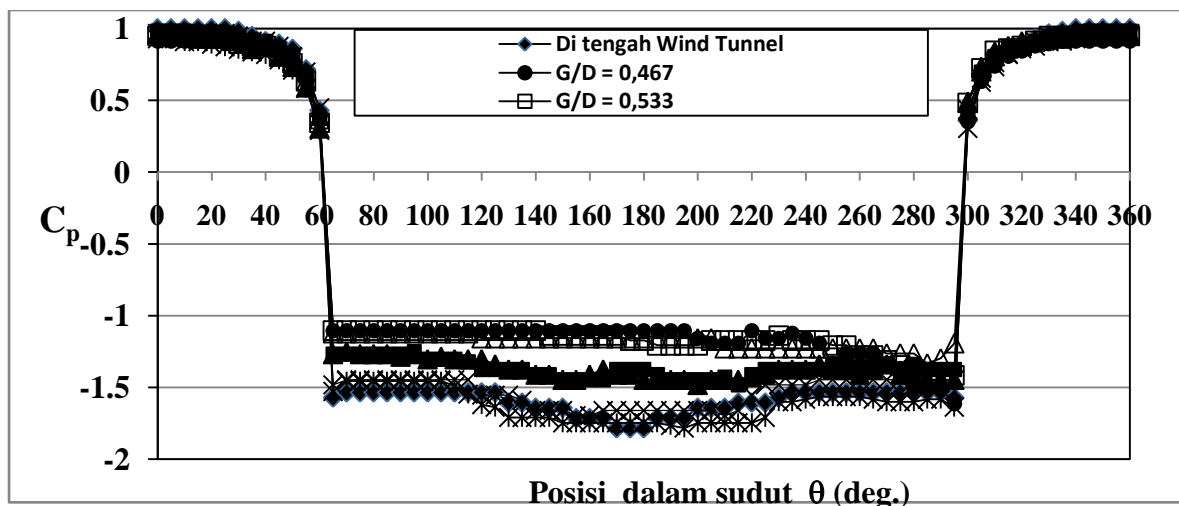
Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

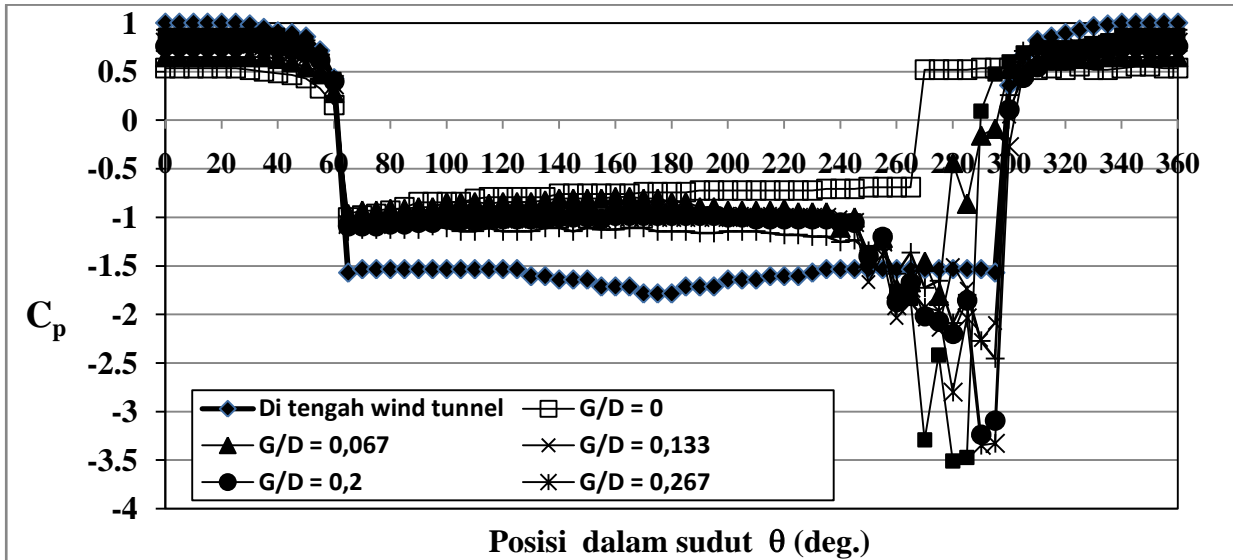
bila silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ di dekatkan dengan dinding, maka distribusi C_p menjadi tidak simetris, yang ditandai pula dengan tidak adanya titik stagnasi pada bidang iris silinder. Ini disebabkan oleh hambatan aliran yang timbul di sisi bawah akibat adanya celah sempit antara silinder dengan dinding datar. Ini mengakibatkan aliran cenderung lebih memilih bergerak ke sisi atas. Banyaknya jumlah masa aliran yang mengalir ke sisi atas ini mengakibatkan energi *free steam* kurang mampu membuat aliran *attach* kembali pada bodi silinder dan akhirnya terseparasi masif sejak ujung irisan silinder. Sementara itu, aliran di sisi bawah cenderung lebih sedikit dan adanya dinding menyebabkan streamline aliran tidak begitu lebar membuka, akibatnya lebih mudah untuk kembali *attach* pada dinding silinder sehingga terbentuk separasi *bubble* sebelum akhirnya terseparasi masif di belakang. Hal ini tidak akan terjadi bila silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ tidak diletakkan dekat dinding datar.

Terlihat bahwa untuk $G/D \leq 0,600$ distribusi C_p masih terlihat belum simetri dan di duga masih terdapat separasi *bubble* di sisi bawah silinder. Ini menunjukkan bahwa sampai dengan $G/D = 0,600$ pengaruh dinding datar terhadap karakteristik silinder masih terjadi. Selanjutnya bila G/D semakin diperbesar ($G/D > 0,600$) distribusi C_p cenderung semakin simetri antara sisi bawah dan sisi atas permukaan silinder. Bahkan cenderung mendekati nilai distribusi C_p untuk silinder teriris yang di letakkan di tengah wind tunnel, yaitu untuk $G/D = 0,8$ dan $0,867$. Hal ini dikarenakan celah antara silinder dan dinding semakin lebar, sehingga hambatan aliran di sisi bawah semakin berkurang. Akibatnya aliran semakin terdistribusi merata antara yang melalau sisi bawah dan sisi atas, ini mengakibatkan distribusi C_p cenderung semakin simetri dan mendekati nilai C_p dari silinder yang di letakkan di tengah wind tunnel.

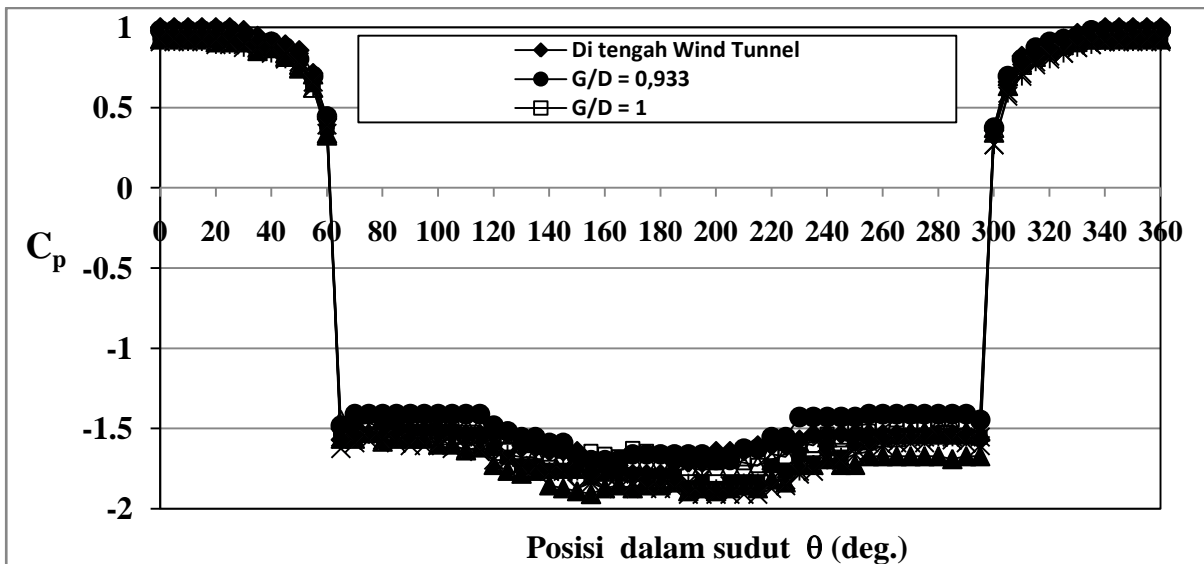
Gambar 2(c) menunjukkan distribusi C_p untuk pengaruh jarak $G/D = 0,933$ s/d $1,333$. Terlihat bahwa bila G/D semakin besar, distribusi C_p cenderung semakin simetri antara sisi bawah dan sisi atas permukaan silinder, dengan nilai C_p yang semakin mendekati C_p silinder yang diletakkan di tengah *wind tunnel*. Ini menunjukkan bahwa pada jarak tersebut, kehadiran dinding datar semakin tidak berpengaruh lagi terhadap karakteristik aliran melintasi silinder.



(a)



(b)



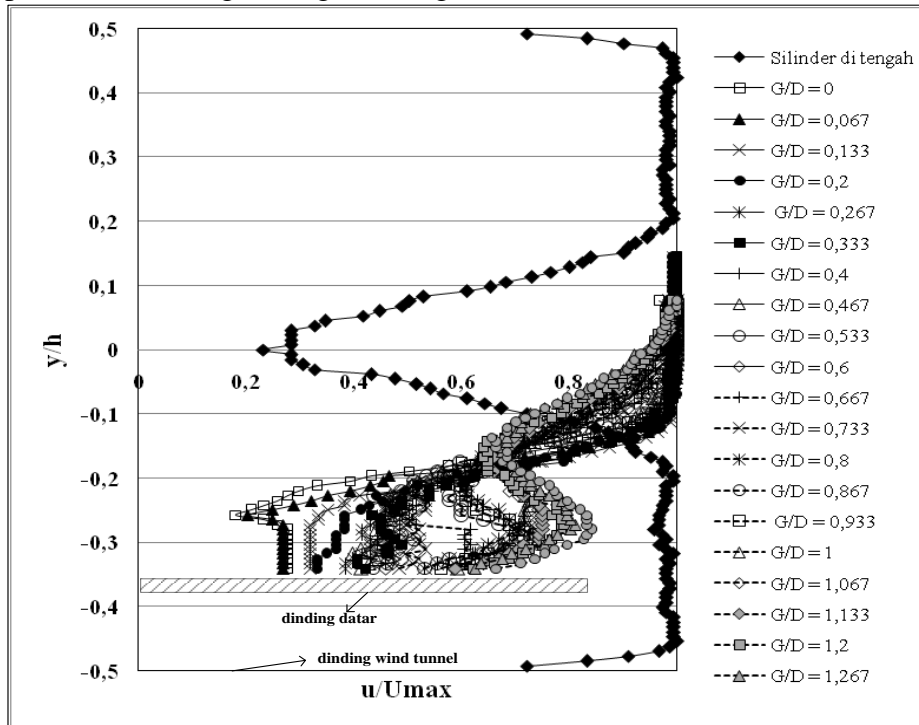
(c)

Gambar (2): Distribusi tekanan pada dinding silinder teriris tipe-D dengan $\alpha_s = 65^\circ$ untuk $Re = 5,3 \times 10^4$ akibat pengaruh perubahan jarak gap G/D : (a). $0 \leq G/D < 0,400$; (b). $0,433 \leq G/D \leq 0,867$; (c). $0,933 \leq G/D \leq 1,333$.

3.2. Profil Kecepatan

Gambar (3) menunjukkan profil kecepatan di belakang silinder untuk perubahan jarak gap G/D yang dibandingkan dengan profil kecepatan bila silinder di letakkan di tengah wind tunnel dan

tanpa adanya dinding datar. Profil kecepatan diukur pada jarak $x/D = 5$ pada bilangan $Re = 5,3 \times 10^4$. Dari hasil tersebut secara umum dapat dikatakan bahwa kehadiran dinding dekat silinder menyebabkan difisit momentum terjadi pada celah antara silinder dengan dinding datar. Hal ini akibat *blockage* yang terjadi pada celah tersebut. Bila silinder semakin dijauhkan dari dinding, maka momentum aliran pada celah berangsur-angsur pulih kembali dan kecepatan cenderung mendekati kecepatan aliran bebas. Ini berarti bahwa pengaruh dinding berangsur-angsur melemah dan *blockage* pada celah berangsur-angsur mengecil.

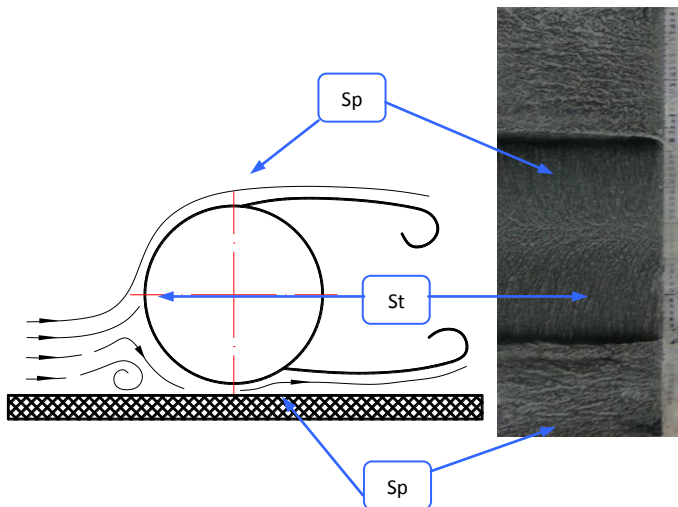


Gambar (3): Profil kecepatan aliran di belakang silinder teriris tipe-D di dekat dinding datar akibat pengaruh jarak gap G/D , pada $Re = 5,3 \times 10^4$.

3.3. Visualisasi Aliran

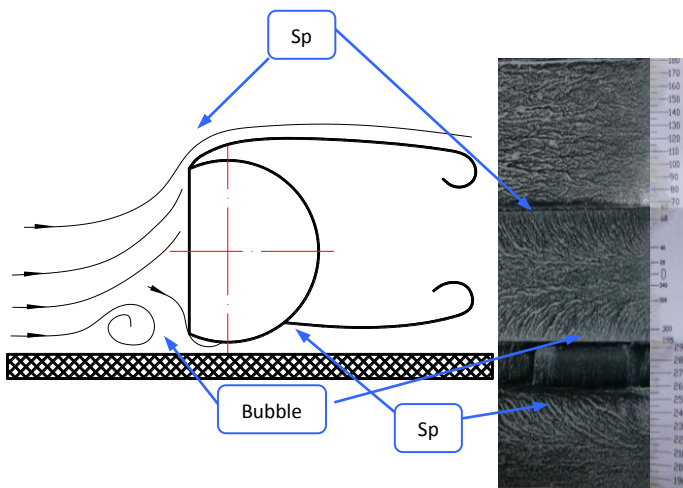
Gambar (4) menunjukkan hasil visualisasi aliran melintasi silinder sirkular di dekat dinding datar pada $G/D = 0,067$ untuk bilangan $Re = 5,3 \times 10^4$.

Pada gambar (4) terlihat bahwa pada jarak $G/D = 0,067$ aliran tidak simetri antara sisi bawah dan sisi atas. Akibat adanya hambatan di sisi bawah cenderung menyebabkan aliran lebih memilih mengalir ke atas. Ini menyebabkan titik stagnasi cenderung bergeser ke bawah titik $\square = \emptyset$. Aliran yang lebih banyak mengalir ke sisi atas menyebabkan streamline di sisi atas ini membuka hingga terjadi separasi massif yang lebih cepat. Sementara di sisi bawah, jumlah aliran yang sedikit serta adanya dinding datar menyebabkan aliran lebih mudah mengikuti kontur sehingga separasi massif terjadi lebih ke belakang,



Gambar (4) : Visualisasi aliran melintasi silinder sirkuler di dekat dinding datar pada jarak $G/D = 0,067$ untuk $Re = 5,3 \times 10^4$.

Keadaan tersebut berbeda dengan yang terjadi pada silinder teriris tipe-D dengan $\alpha_s = 65^\circ$. Banyaknya aliran yang memilih menuju sisi atas menyebabkan tidak adanya titik stagnasi pada bidang datar irisan. Dengan momentum yang lebih besar menyebabkan aliran tidak dapat *attach* pada dinding silinder sehingga terseparasi masif sejak ujung irisan. Pada sisi bawah, sedikitnya jumlah aliran dan adanya dinding datar menyebabkan streamline lebih mudah menyentuh permukaan silinder hingga terjadilah *bubble separation*, sebelum akhirnya terjadi separasi masif di bagian belakang, seperti ditunjukkan pada gambar (5). Hal mana ini tidak akan terjadi bila silinder tidak teriris.

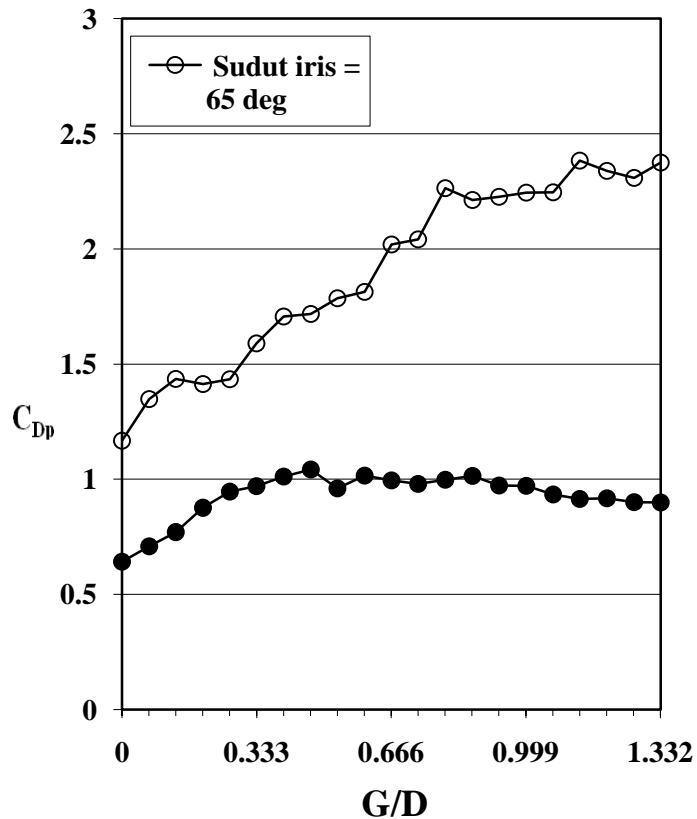


Gambar (5) : Visualisasi aliran melintasi silinder teriris tipe-D dengan $\alpha_s = 65^\circ$ di dekat dinding datar pada jarak $G/D = 0,067$ untuk $Re = 5,3 \times 10^4$.

3.4. Gaya Drag dan Lift

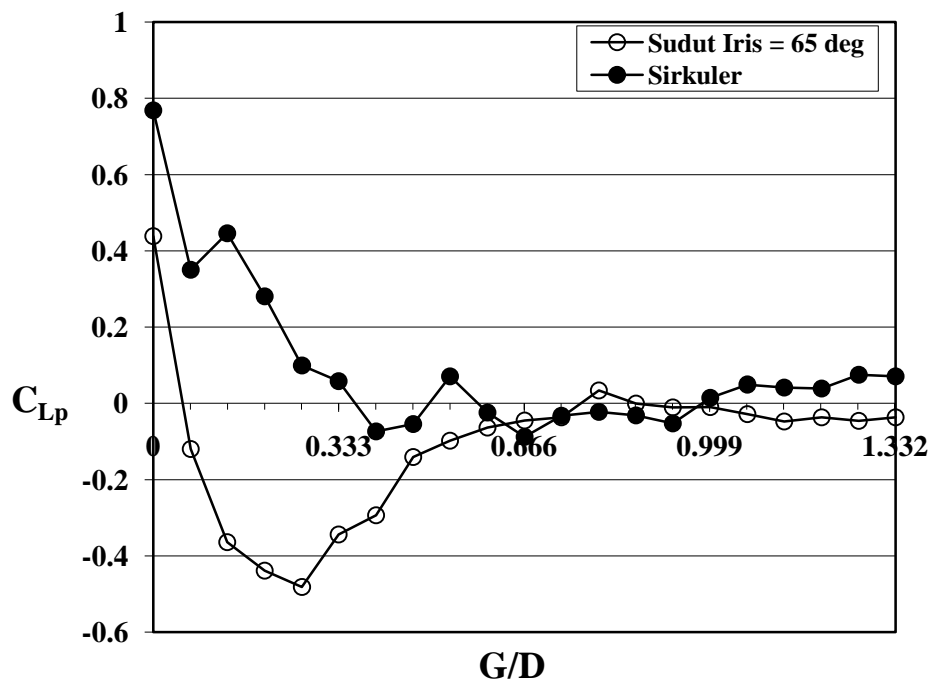
Gambar (6) menunjukkan grafik koefisien *pressure drag* (C_{Dp}) sebagai fungsi dari jarak gap (G/D) untuk silinder sirkuler dan teriris tipe-D 65° , pada bilangan $Re = 5,3 \times 10^4$. Dari gambar (6)

secara umum dapat dikatakan bahwa C_{Dp} silinder teriris tipe-D 65° lebih besar dari pada silinder sirkuler. Seperti diketahui, Aiba dan Watanabe (1997) telah membuktikan bahwa silinder teriris tipe-D 65° , yang diletakkan ditengah *wind tunnel*, mempunyai koefisien drag yang paling besar dibanding silinder teriris tipe-D lainnya ataupun silinder sirkuler. Ini menunjukkan bahwa kehadiran dinding datar di dekat silinder teriris tipe-D 65° tetap tidak mampu menurunkan nilai koefisiennya sehingga lebih rendah dari pada nilai koefisien drag silinder sirkuler.



Gambar (6) : Perbandingan koefisien pressure drag silinder sirkuler dan teriris tipe-D 65° untuk perubahan jarak gap.

Di sisi lain, gambar (6) juga menunjukkan bahwa bila jarak gap (G/D) semakin besar nilai C_{Dp} silinder (0° maupun 65°) mula-mula naik hingga harga G/D tertentu kemudian cenderung konstan. Ini menunjukkan bahwa kehadiran dinding datar di dekat silinder (0° maupun 65°) cenderung menurunkan koefisien *drag* silinder sampai pada G/D tertentu. Lebih lanjut dapat didiskusikan bahwa untuk silinder sirkuler nilai C_{Dp} naik bila G/D diperbesar hingga $G/D = 0,4$ sebelum akhirnya konstan bila G/D dinaikkan. Sedangkan untuk silinder teriris tipe-D 65° nilai C_{Dp} akan cenderung konstan bila $G/D > 0,8$. Ini berarti silinder teriris tipe-D 65° lebih terpengaruh oleh keberadaan dinding datar pada jarak G/D yang lebih jauh (sampai dengan $G/D \leq 0,8$) dibanding silinder sirkuler yang hanya sampai dengan $G/D \leq 0,4$. Hal ini dikarenakan silinder teriris tipe-D dengan $\theta = 65^\circ$ mempunyai drag terbesar (Aiba dan Watanabe, 1997), dimana *drag* terbesar diakibatkan oleh *wake* terlebar. Dengan *wake* lebar maka silinder teriris tipe-D dengan $\theta = 65^\circ$ akan masih lebih terpengaruh oleh keberadaan dinding datar bila dibandingkan dengan silinder sirkuler pada jarak yang sama terhadap dinding.



Gambar (7) : Perbandingan koefisien pressure lift silinder sirkuler dan teriris tipe-D 65° untuk perubahan jarak gap.

Gambar (7) menunjukkan grafik koefisien *pressure lift* (C_{Lp}) sebagai fungsi dari jarak gap (G/D) untuk silinder sirkuler dan teriris tipe-D 65°, pada bilangan $Re = 5,3 \times 10^4$. Dari gambar (7) secara umum dapat dikatakan bahwa pada jarak G/D yang semakin besar dinding datar cenderung semakin tidak mempengaruhi karakteristik silinder. Ini berarti aliran cenderung semakin simetri antara sisi bawah dan atas, akibatnya gaya lift semakin melemah dan pada akhirnya tidak ada gaya lift. Untuk silinder sirkuler gaya lift pada awalnya berharga positif, kemudian semakin menurun seiring dengan bertambahnya jarak gap hingga $G/D = 0,533$, setelah itu C_{Lp} cenderung konstan. Sedangkan untuk silinder teriris tipe-D 65°, pada awalnya C_{Lp} berharga positif, namun untuk $0 < G/D \leq 0,667$ gaya lift berbalik arah, sebelum akhirnya konstan mendekati nol. Keadaan ini menunjukkan perbedaan karakteristik aliran antara melewati silinder sirkuler dan silinder teriris tipe-D 65°. Dimana pada silinder sirkuler, pada $G/D \leq 0,533$, separasi masif pada permukaan bawah cenderung terjadi lebih maju menyebabkan blockage kuat di sisi celah antara silinder dan dinding datar, akibatnya tekanan menjadi lebih besar di sisi bawah dibanding sisi atas sehingga timbul lift positif keatas. Sementara untuk silinder teriris tipe-D 65°, bubble separasi yang muncul di dekat iris menyebabkan separasi masif terjadi lebih ke belakang, sehingga di sisi celah lebih memungkinkan terjadinya aliran. Ini mengakibatkan tekanan di sisi bawah cenderung lebih kecil dibanding di sisi atas, akibatnya terjadi lift yang cenderung negatif menuju bawah.

4. Kesimpulan dan Saran

Dari diskusi hasil-hasil eksperimen diatas akhirnya dapat disimpulkan bahwa :

- keberadaan dinding datar tidak mampu menurunkan nilai koefisien pressure drag silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ hingga lebih rendah dibanding silinder sirkuler untuk berapapun jarak gap (G/D).

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ lebih kuat berinteraksi dengan dinding datar. Dimana ketika silinder sirkuler sudah tidak terpengaruh oleh keberadaan dinding datar, ternyata silinder teriris tipe-D dengan $\theta_s = 65^\circ$ masih terpengaruh oleh keberadaan dinding pada G/D yang sama.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada *IMHERE Project* yang telah membiayai penelitian ini melalui Program *Research Grant*.

Daftar Pustaka

- [1]. Aiba, S., dan Watanabe, H., *Flow Characteristics of Bluff Body Cut from a Circular Cylinder*, ASME Journal of Fluid Engineering, 119 (1997) 453-454.
- [2]. Aiba, S., *Fluid Dynamic Drag on Axially Symmetrical Bluff Body Consisting of a Plane Surface and a Spherical Surface*, ASME Journal of Fluid Engineering, 120 (1998) 851-853.
- [3]. Andriyono, I., *Studi Eksperimental tentang Pengaruh Tingkat Sudut Pengirisan pada Silinder Bulat terhadap Gaya Drag*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, 1999.
- [4]. Choi, J.H. dan Lee, S.J., *Ground Effect of Flow Around An Elliptic Cylinder in A Turbulent Boundary Layer*, Journal of Fluids and Structure, 4 (2000) 697-709.
- [5]. Choi, J.H. dan Lee, S.J., *Flow Characteristics Around An Inclined Elliptic Cylinder in A Turbulent Boundary Layer*, Journal of Fluids and Structure, 15 (2001) 1123-1135.
- [6]. Price, S.J., Summer, D., Smith, J.G., Leong, K., dan Paidoussis, M.P., *Flow Visualization Around A Circular Cylinder Near to A Plane Wall*, Journal of Fluids and Structures, 16/2 (2002) 175-191.
- [7]. Zdravkovich, M.M., *Forces on Circular Cylinder Near A Plane Wall*, Applied Ocean Research, 7/4 (1985) 197 – 201.
- [8]. Zdravkovich, M.M., *Review of Interference-Induced Oscillations in Flow Past Two Parallel Circular Cylinders in Various Arrangements*, Journal Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 28 (1988) 183-200.