

Pengaruh Sudut Iris Silinder Teriris Tipe-I Sebagai Pengontrol Pasif Terhadap Gaya Drag Sebuah Silinder Sirkuler untuk Posisi Pengontrol di Depan Silinder Sirkuler

Triyogi Yuwono¹⁾, Danang Suprayogi²⁾ dan Enis Spirda²⁾

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Kampus ITS, Sukolilo – Surabaya – 60111
E-mail : triyogi@me.its.ac.id

Abstract

The bluff body cut from small circular cylinder which is cut at the both sides in parallel with the-y axis was used as passive control to reduce the drag of a larger circular cylinder. The small bluff body cut is called as I-type bluff body which is interacting with the larger one. The I-type bluff body with different cutting angles of $\theta_s = 0^\circ$ (circular), 10° , 20° , 30° , 45° , 53° and 65° were located at the line-axis of circular cylinder at a spacing $S/d = 1.375$, where their cutting surface is perpendicular to free stream velocity vector. The tandem arrangement was tested in a subsonic wind tunnel at Reynolds numbers (based on diameter of circular cylinder d and free stream velocity) of $Re = 5.3 \times 10^4$. The results show that the installing of bluff bodies (circular or sliced) as passive control in front of circular cylinder has effectively reduced the drag of circular cylinder. However, I-type bluff body as passive control is more effective to reduce the drag relative to the circular one. The passive control with cutting angle $\theta_s = 65^\circ$ give more reduction drag relative to that $\theta_s = 0^\circ$ (circular), with the maximum different in C_D of about 48 %.

Keywords: passive control, I-type bluff body, drag, cutting angle.

1. PENDAHULUAN

Dalam aplikasi teknik, banyak sekali konstruksi yang menggunakan silinder sirkuler, hal ini telah mendorong banyak peneliti untuk melakukan penelitian tentang aliran melintasi silinder sirkuler. Oleh karenanya, sampai saat ini penelitian aliran melintasi silinder sirkuler tetap sebagai salah satu yang penting dalam mekanika fluida (Bouk et al. 1998). Sehingga, tetap penting untuk melanjutkan studi dengan sirkuler silinder sebagai obyek. Sebuah silinder sirkuler yang banyak digunakan dalam praktek memiliki gaya hambat (*drag*) dinamik yang besar akibat separasi yang terbentuk oleh aliran melintasi silinder tersebut. Dalam upaya mengurangi koefisien *drag* (C_D) dari sebuah silinder sirkuler, banyak metode telah dilakukan, seperti silinder dengan permukaan kasar dan lain-lain. Bagaimanapun, tidaklah mudah mendapatkan suatu permukaan kasar serta kontaminasi dalam aliran berakumulasi pada permukaan silinder (Achenbach, 1971).

Bouak, dkk. (1998), melakukan studi secara eksperimental menggunakan silinder sirkuler kecil sebagai pengontrol pasif untuk mengurangi gaya-gaya aerodinamik pada silinder sirkuler. Makalah mereka mempresentasikan suatu eksperimen pengontrol pasif yang dibentuk melalui *wake* oleh silinder kecil yang berinteraksi dengan silinder utama. Parameter penelitian mereka dibentuk dengan cara bervariasi : (i) diameter dari silinder kecil d_s terhadap sebuah silinder utama berdiameter d (7 nilai dalam rentang $= 0,047 \leq d_s/d \leq 0,125$); (ii) jarak antar pusat sumbu silinder S/d (11 nilai dalam rentang $= 1,375 \leq S/d \leq 2,5$); sudut *stagger*, ($0^\circ \leq \square \leq 90^\circ$), dengan bilangan Reynolds, $Re = 3,2 \times 10^4$ (dihitung berdasarkan diameter d dan kecepatan aliran bebas U_∞). Hasil eksperimental mereka menunjukkan bahwa rata-rata penurunan gaya hambat maksimum sekitar 48% relatif terhadap silinder tunggal (tanpa pengontrol pasif). Pada $\square = 4^\circ$ sampai 8° , dapat diamati bahwa puncak koefisien *lift* rata-rata sekitar $C_L = -0,8$. Ini disebabkan oleh *wake*

yang terbentuk oleh silinder kecil berinteraksi dengan silinder utama yang lebih besar, akibatnya *shear layer* dari silinder kecil menyentuh bagian depan permukaan silinder utama.

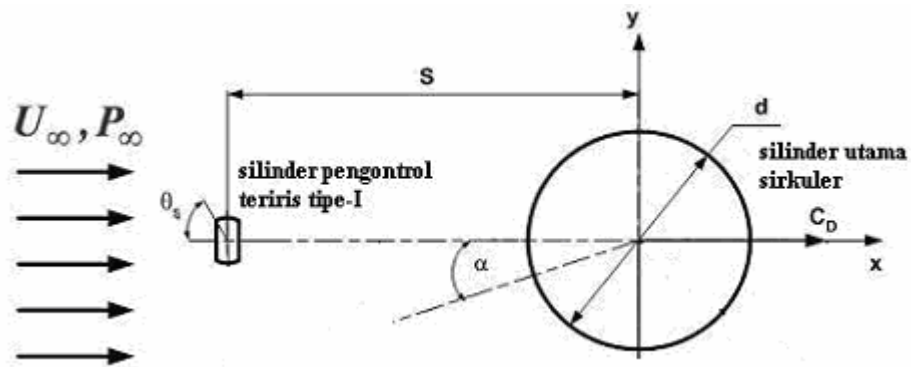
Aiba, dan Watanabe (1997), telah melakukan studi karakteristik aliran dari suatu *bluff body* yang diiris dari sebuah silinder sirkuler. Ada dua tipe model yang digunakan dalam studi mereka. Model pertama adalah tipe-I, yang dihasilkan dari silinder sirkuler yang diiris dikedua sisinya yang parallel dengan sumbu-y, dan model kedua adalah tipe-D yang hanya diiris di bagian depannya saja. Mereka menggunakan 2(dua) nilai diameter d , 20 mm dan 30 mm. Model dengan diameter $d = 20$ mm digunakan untuk pengukuran koefisien *base pressure* ($-C_{pb}$), dan dengan $d = 30$ mm untuk C_D . Mereka menggunakan sudut iris (θ_s) sebesar $0^\circ \leq \theta_s \leq 72,5^\circ$ untuk setiap tipe. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa, (i) karakteristik aliran adalah *singular* pada sekitar sudut iris $\theta_s = 53^\circ$, dan $-C_{pb}$ mencapai minimum (0.5 ~ 0.55) untuk kedua tipe model silinder, bila $\theta_s = 53^\circ$ dan $Re > 2,5 \times 10^4$. Pada sekitar $\theta_s = 53^\circ$ pula nilai C_D untuk setiap model adalah minimum dan mencapai sekitar 50% dari nilainya untuk silinder sirkuler. Hasil penelitian mereka juga menunjukkan bahwa untuk $Re = 3,1 \times 10^4$ dan $\theta_s > 60^\circ$, nilai kedua koefisien ($-C_{pb}$) dan C_D melebihi nilainya untuk silinder sirkuler. Mereka juga menyatakan bahwa bila kelengkungan dari aliran bertegangan geser (*shear flow*) dari permukaan normal menuju aliran uniform sama dengan silinder sirkuler, maka *shear layer* yang terseparasi dari permukaan normal menyentuh pada permukaan sirkuler dan berubah menjadi suatu lapis batas turbulen sepanjang permukaan sirkuler.

Berdasarkan pada dua penelitian tersebut diatas, Triyogi Yuwono dkk. (1993) melakukan penelitian tentang pengaruh silinder pengontrol teriris tipe-D terhadap gaya-gaya aerodinamik silinder sirkuler utama. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa pemasangan silinder kecil teriris tipe-D (silinder sirkuler yang diiris pada salah satu sisi) sebagai pengontrol pasif, dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ pada posisi $S/d = 1,625$ di depan silinder sirkuler yang berukuran lebih besar, dapat mengurangi gaya hambat silinder sirkuler utama hingga 44 % dibanding bila silinder utama sirkuler berdiri tunggal tanpa silinder pengganggu. Selanjutnya, guna mengetahui lebih jauh tentang pengaruh silinder teriris terhadap gaya-gaya aerodinamik silinder sirkuler utama, maka pada penelitian ini akan digunakan silinder tipe-I (silinder sirkuler yang diiris pada kedua sisinya) sebagai pengontrol pasif yang diletakkan di depan silinder utama sirkuler. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh sudut iris (θ_s) dari silinder pengontrol terhadap gaya *drag* pada silinder utama. Diduga, untuk silinder pengontrol tipe-I dengan sudut iris tertentu, yang mempunyai gaya *drag* lebih besar dibanding silinder sirkuler tidak teriris, akan lebih efektif menimbulkan *shear layer* yang datang pada silinder utama dan mempengaruhi distribusi tekanan di sekeliling silinder sirkuler utama. Akibatnya proses separasi akan terganggu, sehingga gaya *drag* silinder utama akan menurun.

2. METODE EKSPERIMEN

Gambar 1 menunjukkan skema konfigurasi kedua silinder dan parameter-parameter percobaan. Diameter silinder sirkuler utama adalah $d = 60$ mm. Tujuh buah silinder kecil sebagai pengontrol tipe-I, berdiameter $d_s = 7,5$ mm, dengan sudut iris masing-masing $\theta_s = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 53^\circ$ and 65° digunakan dalam penelitian ini. Sebagai pengontrol pasif, silinder kecil tersebut diletakkan sedemikian rupa hingga salah satu bagian permukaan teriris menghadap secara tegak lurus arah datang aliran udara. Jarak antar pusat sumbu silinder relatif terhadap diameter silinder utama ditentukan tetap sebesar $S/d = 1,375$. Suatu mekanisme memungkinkan posisi sudut *stagger* (\square) diatur dari 0° hingga 90° relatif terhadap arah kecepatan datang aliran udara. Percobaan dilakukan dalam sebuah terowongan angin subsonik sirkulasi terbuka. Terowongan angin tersebut mempunyai ukuran panjang = 2980 mm dengan *test section* berbentuk bujur sangkar berukuran = (300 x 300) mm dan panjang = 450 mm. Kecepatan aliran bebas dalam terowongan angin untuk percobaan ini diatur sama dengan 14 m/s, yang setara dengan bilangan Reynolds, $Re = 5,3 \times 10^4$ (berdasarkan diameter d dan kecepatan aliran bebas U_∞). Distribusi tekanan sekeliling silinder sirkuler utama diukur dengan menggunakan manometer miring. Profil kecepatan di belakang silinder utama diukur dengan

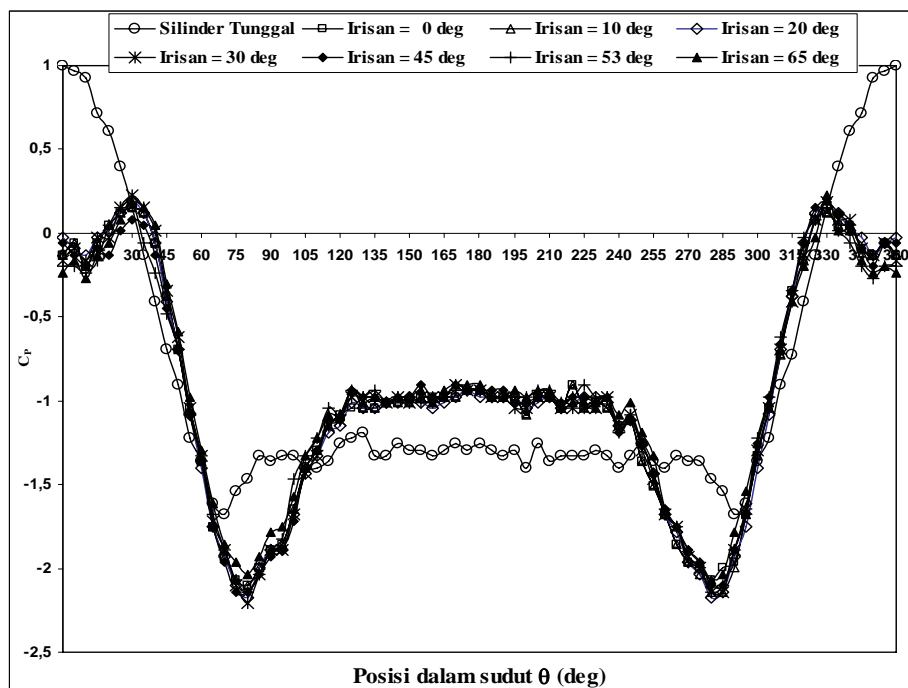
menggunakan tabung pitot-statik yang terhubung dengan manometer miring, dimana tabung pitot-statik ditempatkan 18 cm di belakang pusat sumbu silinder utama atau pada jarak $x/d = 3$. Gaya hambat dari silinder utama diukur dengan menggunakan timbangan gaya aerodinamik (*aerodynamic force balance*) yang mempunyai ketelitian sebesar 0,01 N. Disamping itu, untuk memvisualisasikan aliran pada dinding silinder, digunakan metode *oil flow picture*, dengan perbandingan komposisi bahan titanium oksida : minyak kelapa : minyak silikon : tinner A = 3 : 40 : 6 : 2, dan juga visualisasi dengan menggunakan metode asap pada $Re = 1,4 \times 10^3$.



Gambar 1. Skema susunan dua silinder dalam eksperimental

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Distribusi Tekanan



Gambar 2. Distribusi tekanan sekeliling silinder utama untuk varisasi sudut iris silinder pengontrol, pada $Re = 5,3 \times 10^4$ dan untuk sudut stagger ($\square = 0^\circ$).

Gambar 2 menunjukkan distribusi koefisien tekanan sekeliling silinder sirkuler utama (C_p), sebagai fungsi dari posisi pada dinding silinder utama dalam sudut (\square). Dimana C_p diukur pada $Re =$

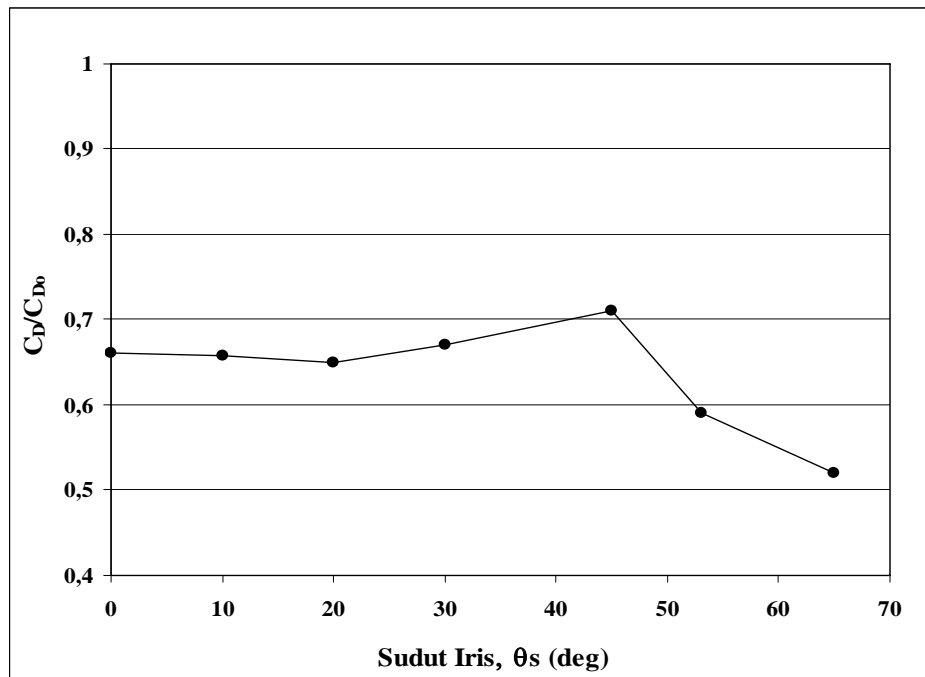
$5,3 \times 10^4$, akibat pengaruh sudut iris dari silinder pengontrol yang bervariasi sebesar $\alpha_s = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 53^\circ$, dan 65° . Dimana silinder pengontrol diletakkan di depan silinder utama, dengan jarak antar pusat sumbu silinder tetap sebesar $S/d = 1,375$, dimana sumbu penghubung antara pusat silinder lurus horizontal (sudut *stagger*, $\alpha = 0^\circ$).

Terlihat pada Gambar 2, bahwa pengukuran distribusi tekanan dengan menggunakan tabung pitot-statik yang terhubung dengan manometer miring, memberikan nilai C_p untuk semua sudut iris silinder pengontrol hampir sama atau sulit untuk bisa dibedakan satu sama lain. Tetapi secara umum dapat dikatakan, bahwa distribusi C_p simetri antara sisi bawah dan sisi atas dari silinder utama, dan pemasangan berbagai tipe silinder pengontrol menyebabkan silinder utama kehilangan titik stagnasi ($C_p = 1$) akibat tertutup oleh silinder pengontrol. Distribusi C_p mempunyai titik puncak pada sekitar posisi $\alpha = 30^\circ$ dan 330° , titik puncak ini diduga menunjukkan adanya *reattachment* dari *shear layer* yang terseparasi dari silinder pengontrol. Selanjutnya pada posisi puncak C_p atau yang juga menunjukkan posisi *reattachment*, aliran terpisah menjadi dua *shear layer*. Satu *shear layer* akan bergerak ke belakang (selanjutnya disebut sebagai *backward shear layer*), dan akan terseparasi pada posisi sekitar $\alpha = 125^\circ$ dan 235° di bagian belakang silinder utama (*backward separation point*). Sedangkan *shear layer* yang lain akan mengalir menuju ke depan (selanjutnya disebut sebagai *forward shear layer*) dan akan terseparasi pada posisi mulai sekitar $\alpha = 5^\circ$ dan 355° di bagian depan dari silinder (*forward separation point*). Fenomena ini juga diamati oleh Tsutsui dkk (2002) dan mereka menyebutnya sebagai *quasi-static vortex*, atau Sang-Joon Lee dkk. (2004) menyebutnya sebagai *cavity mode*.

Pada daerah sebelum *reattachment*, nilai C_p mencapai maksimum sebesar antara 0,1 – 0,2. Untuk sudut iris $\alpha_s = 53^\circ$, nilai C_p mencapai terendah sebesar -2,14 yang terjadi pada posisi $\alpha = 80^\circ$ (280°). Relatif terhadap silinder tunggal, penempatan silinder pengontrol di depan silinder utama, baik teriris atau tidak ($\theta_s = 0^\circ-65^\circ$), cenderung memperlambat terjadinya separasi aliran pada dinding bagian belakang (*backward separation*) dari silinder utama, baik di sisi permukaan bawah ataupun atas silinder utama. Ini mungkin menunjukkan bahwa sebagai pengontrol pasif aliran, silinder kecil ($\theta_s = 0^\circ-65^\circ$), telah mampu mempengaruhi karakteristik lapis batas aliran pada permukaan silinder utama, dibanding bila silinder tunggal tanpa pemasangan pengontrol.

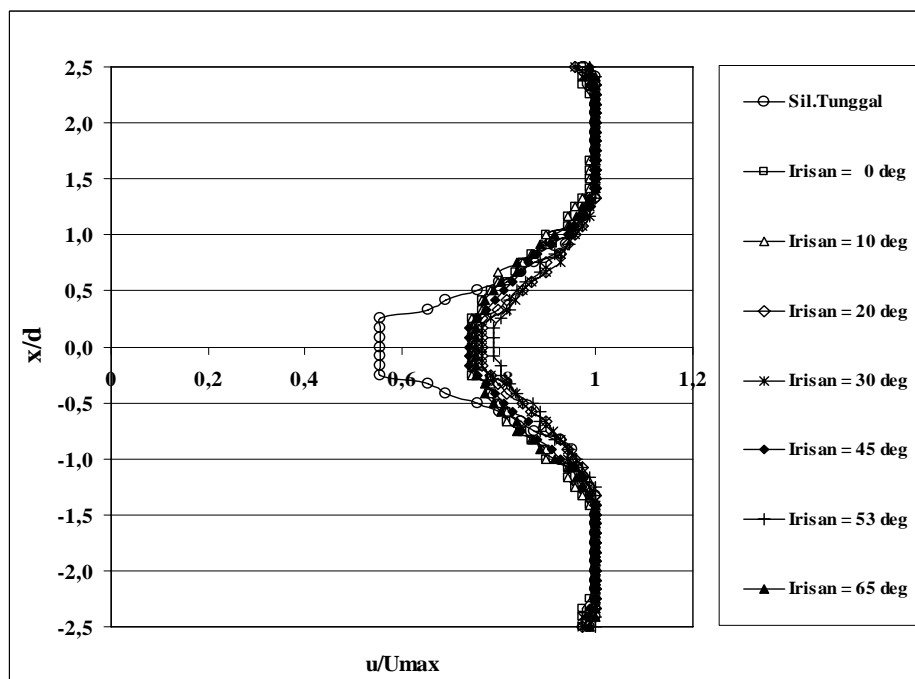
3.2. Koefisien Drag

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran koefisien drag silinder utama dengan pengontrol relatif terhadap bila silinder utama berdiri tunggal tanpa pengontrol (C_D/C_{D0}) pada $Re = 5,3 \times 10^4$, untuk variasi sudut iris silinder pengontrol ($\alpha_s = 0^\circ - 65^\circ$). Pada Gambar 3, terlihat bahwa dengan pemasangan silinder pengontrol, baik teriris ataupun tidak, akan menyebabkan terjadinya pengurangan koefisien drag dibanding bila silinder tunggal berdiri tanpa pengontrol. Dimana nilai C_D/C_{D0} terendah diperoleh untuk sudut iris $\alpha_s = 65^\circ$, yang mencapai 0,52. Ini berarti bahwa pemasangan silinder pasif kontrol teriris, pada posisi $\alpha = 0^\circ$, telah cukup efektif mengurangi gaya *drag* hingga sebesar 48 % dibanding bila tidak menggunakan silinder pengontrol. Hal ini kembali menegaskan bahwa pemasangan silinder teriris kecil sebagai pengontrol pasif telah mempengaruhi karakteristik lapis batas aliran pada permukaan silinder utama dan akan berakibat pada penundaan terjadinya separasi, sehingga *wake* yang terbentuk di belakang silinder akan cenderung lebih sempit, yang pada akhirnya akan menghasilkan gaya *drag* yang lebih rendah. Penting juga untuk dicatat, bahwa secara umum sudut iris silinder pengontrol $\theta_s = 53^\circ$ kurang efektif mengurangi koefisien *drag* dibanding $\theta_s = 65^\circ$. Ini disebabkan oleh karena silinder dengan sudut iris $\theta_s = 53^\circ$ mempunyai C_D terendah, seperti yang dinyatakan oleh Aiba dkk (1997). Seperti diketahui bahwa C_D terendah disebabkan oleh lebar daerah *wake* dibelakang silinder yang tersempit pula. Akibatnya, pada posisi sudut *stagger* tersebut, *shear layer* yang datang dari silinder teriris dengan $\theta_s = 53^\circ$ kurang efektif mempengaruhi aliran pada sekitar silinder utama, dibanding $\theta_s = 65^\circ$, dengan perbedaan maksimum mencapai 13,5 %.



Gambar 3. Evolusi koefisien *drag* silinder utama relatif terhadap silinder tunggal sebagai fungsi dari sudut iris (\square_s) pada $Re = 5,3 \times 10^4$.

3.3. Profil Kecepatan Aliran di belakang Silinder Utama

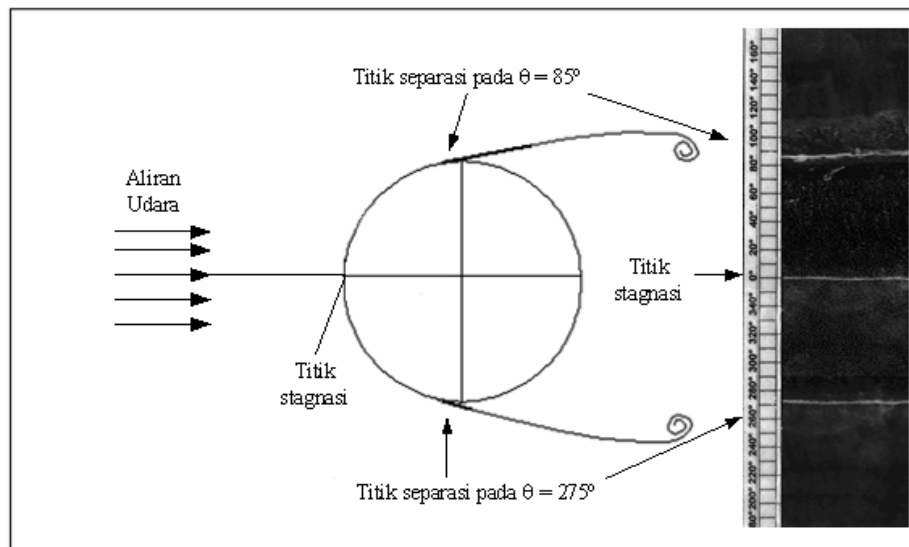


Gambar 4. Profil kecepatan dibelakang silinder utama pada $Re = 5,3 \times 10^4$ dalam variasi sudut iris silinder pengontrol (\square_s).

Profil kecepatan aliran di belakang silinder utama ditunjukkan pada Gambar 4. Profil kecepatan diukur dengan menggunakan tabung pitot-statik yang diletakkan di belakang silinder utama pada jarak 18 cm dari sumbu silinder utama atau sejauh $x/d = 3$.

Gambar 4, menunjukkan variasi profil kecepatan di belakang silinder utama terhadap sudut iris silinder pengontrol (θ_s), untuk sudut stagger (\square) = 0° dan $Re = 5,3 \times 10^4$. Profil kecepatan terlihat simetri. Ini menunjukkan bahwa bentuk *wake* juga cenderung simetri, sehingga hanya mungkin terjadi gaya *drag*. Hasil juga menunjukkan bahwa lebar *wake* dari susunan tandem lebih kecil dari pada silinder tunggal. Hal ini akan berakibat pada menurunnya harga C_D , seperti telah dikonfirmasi oleh hasil pengukuran gaya *drag* secara langsung yang ditunjukkan pada Gambar 3 diatas.

3.4. Visualisasi Aliran

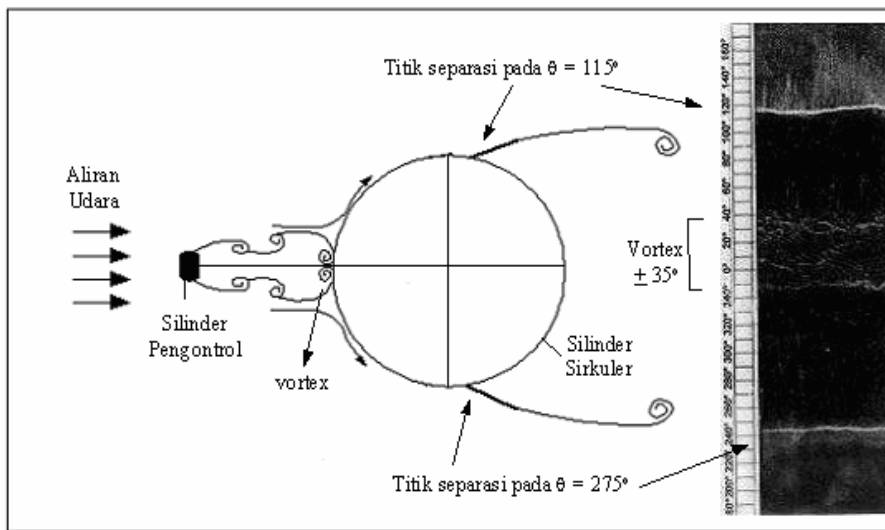


Gambar 5. Visualisasi aliran pada dinding silinder utama tanpa silinder pengontrol dengan menggunakan *oil flow picture* pada $Re = 5,3 \times 10^4$.

Gambar 5 dan 6 menunjukkan visualisasi aliran pada dinding silinder utama dengan metode *oil flow picture*, dimana hasil foto dari goresan aliran pada dinding silinder yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6, berturut-turut untuk silinder sirkuler tunggal (tanpa silinder pengontrol) dan dengan silinder pengontrol yang mempunyai sudut iris (\square_s) = 65° , dimana pengontrol diletakkan pada posisi sudut *stagger* $\square = 0^\circ$ dan aliran udara pada $Re = 5,3 \times 10^4$.

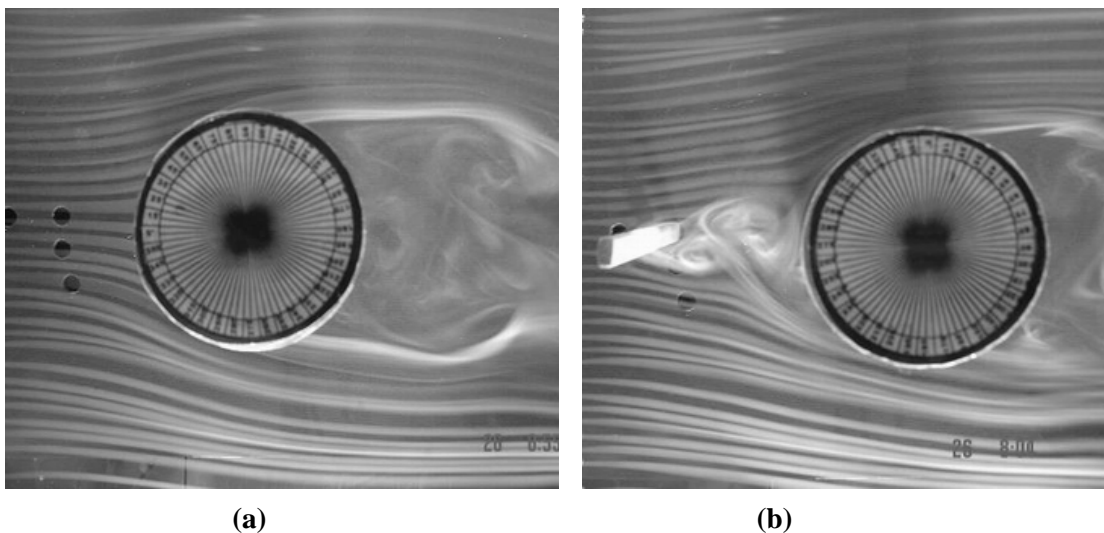
Pada Gambar 5, terlihat bahwa pada silinder tunggal titik stagnasi terletak pada posisi $\square = 0^\circ$, sedangkan letak titik separasinya pada $\square = 85^\circ$ pada sisi atas dan $\square = 275^\circ$ pada sisi bawah. Hasil ini menunjukkan bahwa *streamline* melintasi silinder sirkuler tunggal adalah simetri sehingga *wake* yang dihasilkan juga simetri.

Bila di depan silinder sirkuler dipasang sebuah silinder teriris pengontrol tipe-I dengan sudut iris $\square_s = 65^\circ$, seperti terlihat pada Gambar 6, terjadi perubahan karakteristik aliran dibanding bila silinder sirkuler tunggal tanpa silinder pengontrol. Secara umum dapat dikatakan, bahwa *streamline* aliran simetri antara sisi bawah dan sisi atas dari silinder utama, dan pemasangan silinder pengontrol di depan silinder utama menyebabkan silinder utama kehilangan titik stagnasi akibat tertutup oleh silinder pengontrol. Pada sekitar posisi $\square = 30^\circ$ dan 330° , diduga menunjukkan adanya *reattachment* dari *shear layer* yang terseparasi dari silinder pengontrol. Selanjutnya pada posisi *reattachment* tersebut, aliran terpisah menjadi dua *shear layer*. Satu *shear layer* akan bergerak ke belakang (*backward shear layer*), dan akan terseparasi pada posisi sekitar $\square = 115^\circ$ dan 245° di bagian belakang silinder utama (*backward separation point*). Posisi separasi ini lebih mundur dibanding bila silinder utama tanpa dipengaruhi silinder teriris pengontrol. Sedangkan *shear layer* yang lain akan mengalir menuju ke depan (*forward shear layer*) dan juga akan terseparasi, membentuk *vortex* atau yang oleh Tsutsui dkk. (2002) disebut sebagai *quasi-static vortex*. Fenomena ini juga diamati pada hasil pengukuran C_p secara langsung, seperti telah didiskusikan diatas.



Gambar 6. Visualisasi aliran pada dinding silinder utama dengan silinder teriris $\alpha_s = 65^\circ$ dengan menggunakan *oil flow picture* pada $Re = 5,3 \times 10^4$.

Dalam penelitian ini juga dilakukan visualisasi aliran dengan metode asap, dalam terowongan angin yang lain dengan yang digunakan untuk pengukuran. Gambar 7 (a) dan (b), adalah hasil visualisasi aliran dengan metode asap, berturut-turut untuk silinder sirkuler tunggal (tanpa silinder pengontrol) dan dengan silinder pengontrol yang mempunyai sudut iris (α_s) = 65° , dan aliran udara pada bilangan Reynolds, $Re = 1,4 \times 10^3$.



Gambar 7. Visualisasi aliran dengan menggunakan asap pada $Re = 1,4 \times 10^3$: (a). tanpa silinder pengontrol, (b). dengan silinder pengontrol teriris tipe-I ($\alpha_s = 65^\circ$).

Pada Gambar 7 (a), dapat dilihat bahwa pada silinder tunggal letak titik stagnasi tepat pada $\theta = 0^\circ$, sedangkan letak titik separasi sisi atas terjadi pada $\theta = 90^\circ$ dan letak titik separasi sisi bawah pada $\theta = 270^\circ$ sehingga bisa dilihat bahwa *wake* yang terbentuk simetri. Sedangkan bila di depan silinder diletakkan silinder pengontrol teriris tipe-I dengan sudut iris $\alpha_s = 65^\circ$, seperti dapat dilihat pada Gambar 7 (b), tampak bahwa tidak terjadi titik stagnasi pada silinder utama dan terjadi *vortex* yang terbentuk akibat interaksi antara kedua silinder. Titik separasi dibagian belakang (*backward separation point*) cenderung lebih mundur dibanding bila silinder tanpa pengontrol, serta pada posisi

yang relatif simetri sehingga menghasilkan *wake* yang relatif simetri pula. Hal ini selaras dengan hasil pengukuran C_p maupun hasil visualisasi aliran dengan menggunakan metode *oil flow picture*, seperti telah didiskusikan diatas.

4. KESIMPULAN

Dari hasil diskusi diatas, dapat dicatat bahwa pemasangan silinder pengontrol di depan silinder sirkuler utama pada sudut *stagger* ($\alpha = 0^\circ$, baik teriris ataupun tidak, akan menyebabkan terjadinya pengurangan koefisien *drag* dibanding bila silinder tunggal berdiri tanpa pengontrol. Namun silinder teriris lebih efektif menyebabkan pengurangan gaya *drag* pada silinder utama. Dimana nilai C_D terendah diperoleh untuk silinder pengontrol teriris dengan sudut iris $\alpha_s = 65^\circ$, yang mencapai 0,52 kali C_{D0} . Ini berarti bahwa pemasangan silinder teriris tipe-I ($\alpha_s = 65^\circ$) sebagai pengontrol pasif di depan silinder utama, telah cukup efektif mengurangi gaya *drag* hingga sebesar 48 %, dibanding bila tidak menggunakan silinder pengontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Achenbach, E., (1971), "Influence of Surface Roughness on the Cross-Flow around a Circular Cylinder", *Journal of Fluid Mechanics*, **46**, pp. 321-335.
- [2]. Aiba, S., and Watanabe, H., (1997), "Flow Characteristics of a Bluff Body Cut From a Circular Cylinder", *Journal of Fluids Engineering*, **119**, pp. 453-457.
- [3]. Aiba, S., and Watanabe, H., (1998), "Fluid Dynamic Drag on Axially Symmetrical Bluff Body Consisting of a Plane Surface and a Spherical Surface", *Journal of Fluids Engineering*, **120**, pp. 851-853.
- [4]. Bouak, F., and Lemay, J., (1998), "Passive Control of The aerodynamic Forces Acting on a Circular Cylinder", *Experimental Thermal and Fluid Science*, **16**, pp. 112-121.
- [5]. Bouak, F., and Lemay, J., (2000), "Reduction of Unsteady Lift and Drag Forces on a Circular Cylinder by a Passive Control", Proc. *FLUCOME 2000*, Sherbrooke, 13-17 August 2000.
- [6]. Triyogi, T. and Budiono, (2003), "The Effect of Cutting angle of a Bluff Body Cut from a Circular Cylinder as Passive Control to Reduce Aerodynamics Forces on a Circular Cylinder", Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2003, Unand-Padang.
- [7]. Triyogi, Y. and Nuh., M., (2003), "Using of a Bluff Body Cut from a Circular Cylinder as a Passive Control to Reduce Aerodynamic Forces on a Circular Cylinder", *Proceedings of the International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion 2003*, Bali-Indonesia, December 7 – 11, 2003.
- [8]. Norberg, C., (2001), "Flow Around a Circular Cylinder: Aspects of Fluctuating lift", *Journal of Fluids and Structures*, **15**, pp. 459-469.
- [9]. Sang-Joon Lee, Sang-Ik Lee and Cheol-Woo Park, (2004), "Reducing the Drag on a Circular Cylinder by Upstream Installation of Small Control Rod", *Fluid Dynamics Research, the Japan Society of Fluid Mechanics*, pp. 1-18.
- [10]. Tsutsui, T., and Igarashi, T., (2002), "Drag Reduction of a Circular Cylinder in an Air-Stream", *Experimental Thermal and Fluid Science*, **90**, pp. 527-541.