

PENGARUH JARAK ANTARA SILINDER TERIRIS TIPE-I SEBAGAI PENGONTROL PASIF DAN SILINDER UTAMA SIRKULER TERHADAP GAYA DRAG SILINDER UTAMA SIRKULER

Triyogi Yuwono, Raditya Joko Aryanto dan Rifki Adi Nugroho

Laboratorium Mekanika & Mesin-mesin Fluida,

Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Kampus ITS – Keputih – Surabaya (60111)

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

Abstrak

Silinder teriris tipe-I digunakan sebagai pengontrol pasif untuk mengurangi gaya-gaya aerodinamik sebuah silinder sirkular. Silinder kecil teriris dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ dan 0° (sirkuler) ditempatkan pada jarak spasi $0,8 \leq S/d \leq 2,25$, dimana permukaan irisan tegak lurus menghadap arah kecepatan aliran. Susunan tandem silinder tersebut diuji pada sebuah terowongan angin subsonik pada bilangan Reynolds, $R_e = 5,3 \times 10^4$. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa pemasangan silinder pengontrol di depan silinder sirkuler utama pada sudut stagger (α) = 0° , baik teriris ataupun tidak, akan menyebabkan terjadinya pengurangan koefisien drag dibanding bila silinder tunggal berdiri tanpa pengontrol. Namun silinder teriris tipe-I lebih efektif menyebabkan pengurangan gaya drag pada silinder utama. Dimana nilai C_{Dp} terendah diperoleh untuk silinder pengontrol teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$). Jarak penempatan silinder pengontrol di depan silinder utama juga mempengaruhi efektivitas pengurangan drag pada silinder utama. Jarak antara kedua silinder yang terlalu kecil atau terlalu besar tidak memberikan harga C_{Dp} yang paling kecil, tetapi pada jarak S/d tertentu akan memberikan reduksi drag yang maksimu atau harga C_{Dp} mencapai minimum. Hal ini berlaku baik untuk silinder pengontrol sirkuler maupun teriris tipe-I dengan sudut iris ($\theta_s = 65^\circ$).

Kata kunci : pengontrol pasif, silinder tipe-I, gaya drag, jarak antar silinder.

1. PENDAHULUAN

Aliran sekeliling silinder sirkuler telah banyak menjadi subyek penelitian, hali ini mengingat banyaknya aplikasi teknik yang menggunakan konstruksi silinder sirkuler. Oleh karenanya 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).

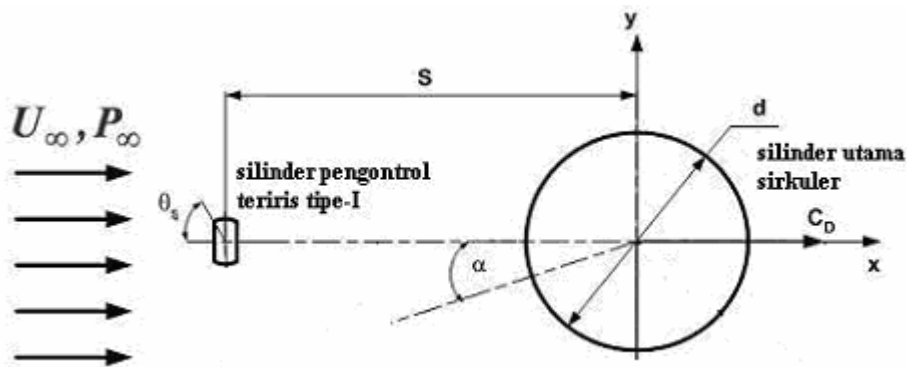
Bouak, dkk. (1998), melakukan studi secara eksperimental menggunakan silinder sirkuler kecil sebagai pengontrol pasif untuk mengurangi gaya-gaya aerodinamik pada silinder sirkuler. Makalah mereka mempresentasikan suatu eksperimen pengontrol pasif yang dibentuk melalui *wake* oleh silinder kecil yang 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*, α ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$), dengan bilangan Reynolds, $R_e = 3,2 \times 10^4$ (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 $\alpha = 4^\circ$ 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 sebagai pengontrol pasif yang diletakkan di depan silinder utama sirkuler. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh jarak antara silinder pengontrol dan silinder utama (S/d) terhadap gaya *drag* pada silinder utama.

2. METODE EKSPERIMEN

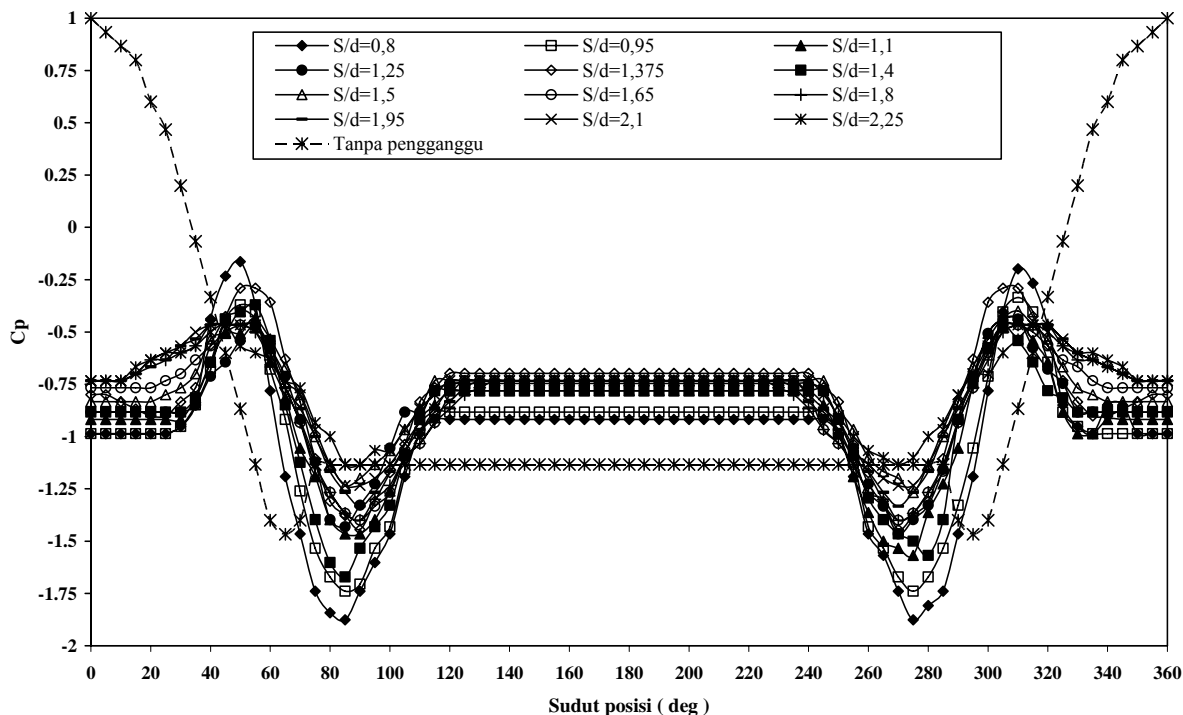
Gambar 1 menunjukkan skema konfigurasi kedua silinder dan parameter-parameter percobaan. Diameter silinder sirkuler utama adalah $d = 114$ mm. Dua buah silinder kecil sebagai pengontrol, berdiameter $d_s = 48$ mm digunakan dalam penelitian ini, masing-masing silinder sirkuler tidak teriris ($\theta_s = 0^\circ$) dan silinder teriris tipe-I dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$. 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 bervariasi antara $0,8 \leq S/d \leq 2,25$. Percobaan dilakukan dalam sebuah terowongan angin subsonik sirkulasi terbuka. Test section dari terowongan angin berbentuk bujur sangkar berukuran = (660 x 660) mm dan panjang = 1500 mm. Kecepatan aliran bebas dalam terowongan angin untuk percobaan ini diatur sama dengan 7,3 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 456 mm di belakang pusat sumbu silinder utama atau pada jarak $x/d = 4$. Disamping itu, untuk memvisualisasikan aliran pada dinding silinder, digunakan metode *oil flow picture*, dengan perbandingan komposisi bahan titanium oksida : minyak kelapa : tinner B = 5 : 1 : 1.



Gambar 1. Skema susunan dua silinder dalam eksperimental

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Distribusi Tekanan

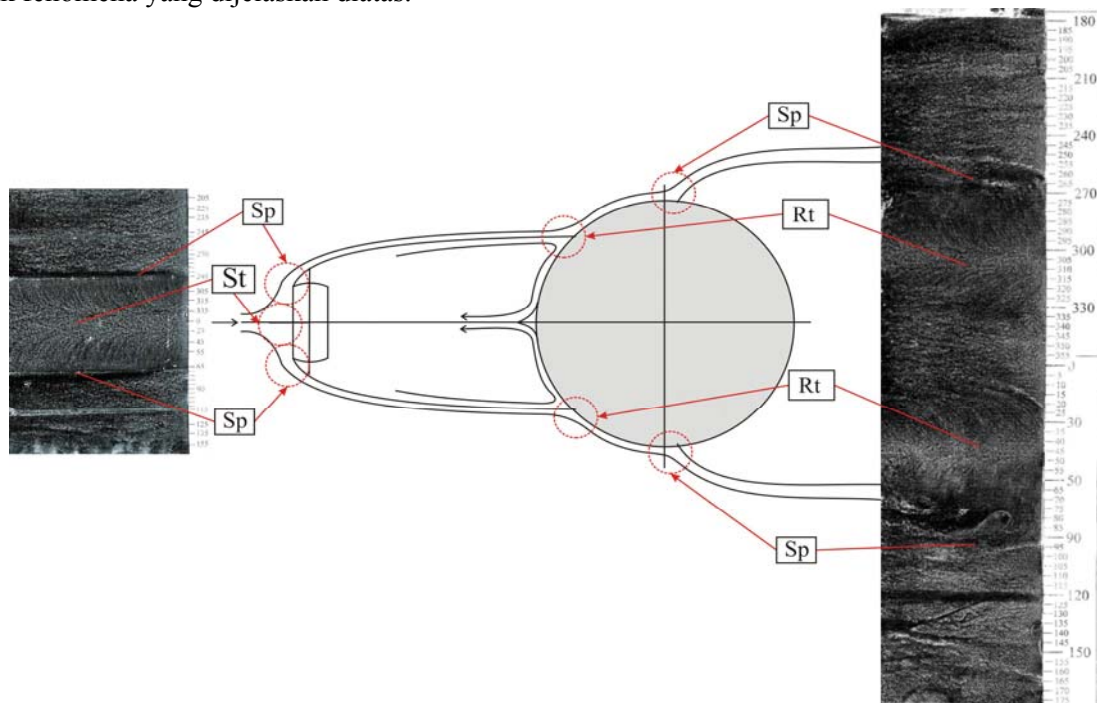


Gambar 2. Distribusi tekanan sekeliling silinder utama untuk silinder pengganggu teriris tipe-I dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$, pada variasi jarak (S/d) dan pada $Re = 5,3 \times 10^4$

Gambar 2 menunjukkan distribusi koefisien tekanan sekeliling silinder sirkuler utama (C_p), sebagai fungsi dari posisi pada dinding silinder utama dalam sudut (θ). Dimana C_p diukur pada $Re = 5,3 \times 10^4$, akibat pengaruh jarak sumbu pusat antara silinder utama dan silinder pengontrol teriris (S/d). Dimana silinder pengganggu teriris tipe-I dengan sudut iris ($\theta_s = 65^\circ$).

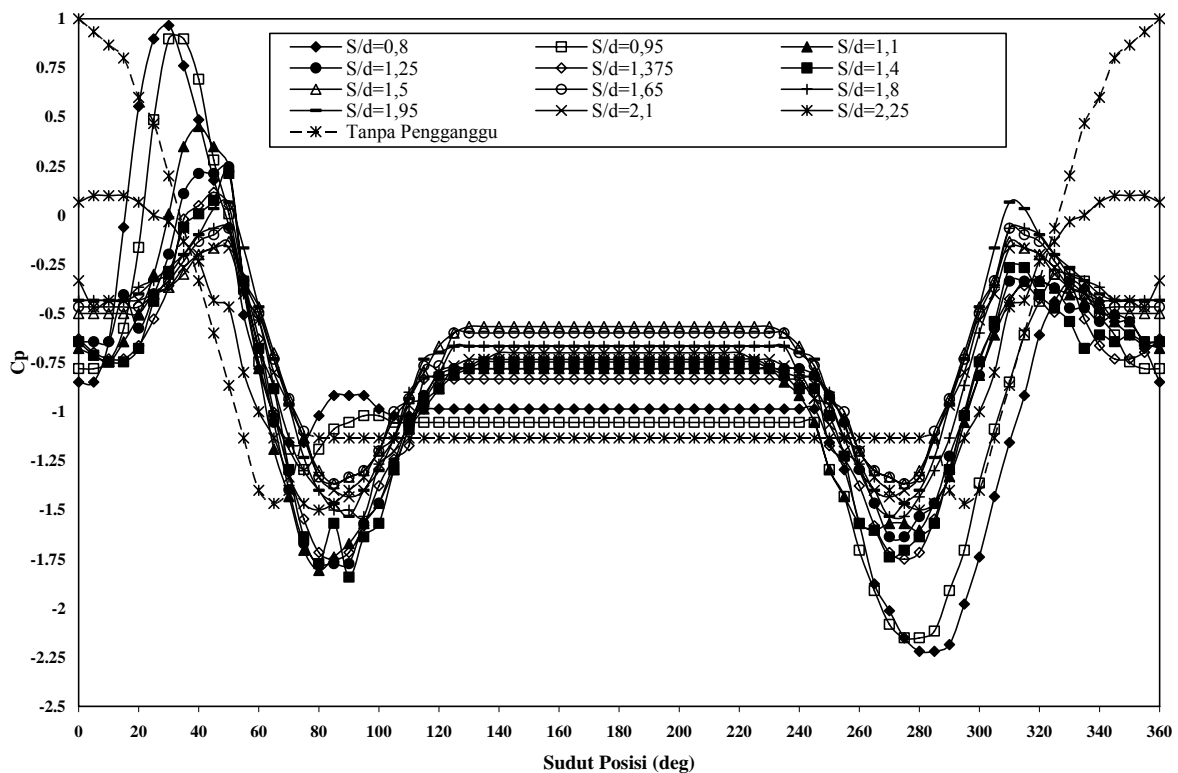
Terlihat pada Gambar 2, bahwa pengukuran distribusi tekanan dengan menggunakan tabung pitot-statik yang terhubung dengan manometer miring, memberikan nilai C_p untuk semua sudut iris silinder pengontrol hampir sama atau sulit untuk bisa dibedakan satu sama lain. Tetapi secara umum dapat dikatakan, bahwa distribusi C_p simetri antara sisi bawah dan sisi atas dari silinder utama. Ini kemungkinan akibat distribusi C_p silinder pengontrol yang juga cenderung simetri berapapun jarak S/d ,

dimana posisi titik separasi dari silinder pengontrol teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$) yang selalu tetap simetri, yakni pada sesaat setelah ujung irisan sekitar posisi sudut $\theta = 65^\circ$. Pemasangan silinder pengontrol pada jarak $0,8 \leq S/d \leq 2,25$ terhadap silinder utama menyebabkan silinder utama kehilangan titik stagnasi ($C_p = 1$) akibat tertutup oleh silinder pengontrol. Distribusi C_p mempunyai titik puncak pada sekitar posisi $\theta = 50^\circ$ dan 310° , 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 $\theta = 120^\circ$ dan 240° 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 $\theta = 10-25^\circ$ dan $335-310^\circ$ di bagian depan dari silinder (*forward separation point*). Dimana semakin besar S/d posisi *forward separation point* akan semakin menuju titik $\theta = 0^\circ$ atau 360° . 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*, khususnya pada jarak S/d yang dekat. Gambar 3 merupakan hasil visualisasi untuk fenomena yang dijelaskan diatas.



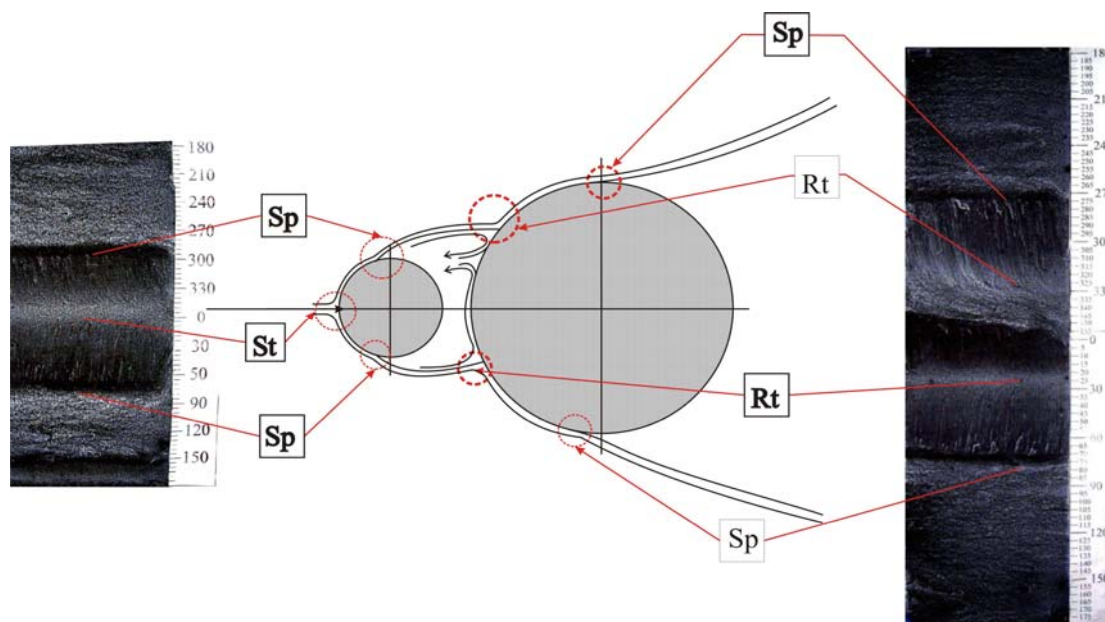
Gambar 3. Hasil visualisasi untuk $S/d=1,375, \theta_s=65^\circ$, dan $Re=5,3 \times 10^4$
(St = titik stagnasi, Sp = separasi massive; Rt = reattachment)

Pada jarak antar kedua silinder yang paling dekat ($S/d = 0,8$), nilai C_p mencapai maksimum pada $C_p = -0,16$ s/d $-0,2$ yang terjadi pada posisi $\theta = 50^\circ$ (310°) dan sekaligus mencapai nilai terendah pada $C_p = -0,187$, yang terjadi pada posisi $\theta = 85^\circ$ (275°). Jika dibandingkan dengan silinder tunggal, penempatan silinder pengontrol teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$) di depan silinder utama, 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 teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$) telah mampu mempengaruhi karakteristik lapis batas aliran pada permukaan silinder utama, dibanding bila silinder tunggal tanpa pemasangan pengontrol.



Gambar 4. Distribusi tekanan sekeliling silinder utama untuk silinder pengganggu sirkuler dengan ($\theta_s = 0^\circ$), pada variasi jarak (S/d) dan pada $Re = 5,3 \times 10^4$

Gambar 4 menunjukkan distribusi koefisien tekanan sekeliling silinder sirkuler utama (C_p), sebagai fungsi dari posisi pada dinding silinder utama dalam sudut (θ). Dimana C_p diukur pada $Re = 5,3 \times 10^4$, akibat pengaruh jarak sumbu pusat antara silinder utama dan silinder pengontrol sirkuler ($\theta_s = 0^\circ$). Pada Gambar 4 terlihat, bahwa hasil pengukuran distribusi tekanan di sekeliling silinder utama menunjukkan distribusi C_p yang tidak simetri antara sisi bawah dan sisi atas, terutama bila posisi silinder pengontrol cukup dekat terhadap silinder utama ($S/d < 1,5$), seperti diilustrasikan pada gambar 5, yang merupakan hasil visualisasi lairan dengan menggunakan *oil flow picture*. Ini kemungkinan disebabkan oleh semakin tidak simetrinya distribusi C_p silinder pengontrol bila jaraknya semakin dekat dengan silinder utama. Bagaimanapun, kehadiran silinder pengontrol sirkuler di depan silinder utama menyebabkan silinder utama kehilangan titik stagnasi ($C_p = 1$) akibat tertutup oleh silinder pengontrol. Pada jarak S/d yang moderat ($1,5 \leq S/d \leq 2,1$), distribusi C_p mempunyai titik puncak pada sekitar posisi $\theta = 50^\circ$ dan 310° , titik puncak ini menunjukkan adanya *reattachment* dari *shear layer* yang terseparasi dari silinder pengontrol. Selanjutnya setelah terjadi *reattachment*, aliran terpisah menjadi dua *shear layer*. Satu *shear layer* akan bergerak ke belakang membentuk *backward shear layer* dan akan terseparasi pada posisi sekitar $\theta = 125^\circ$ dan 235° di bagian belakang silinder utama. Sedangkan *shear layer* yang lain akan mengalir menuju ke depan membentuk *forward shear layer* dan akan terseparasi pada posisi mulai sekitar $\theta = 20^\circ$ dan 340° di bagian depan dari silinder, yang oleh Sang-Joon Lee dkk. (2004) disebut sebagai *cavity mode*. Pada jarak S/d yang semakin besar ($S/d > 2,1$), nilai C_p pada posisi $\theta = 0^\circ$ semakin membesar, dimana Sang-Joon Lee dkk. (2004) menyebutnya sebagai *impingement mode*.

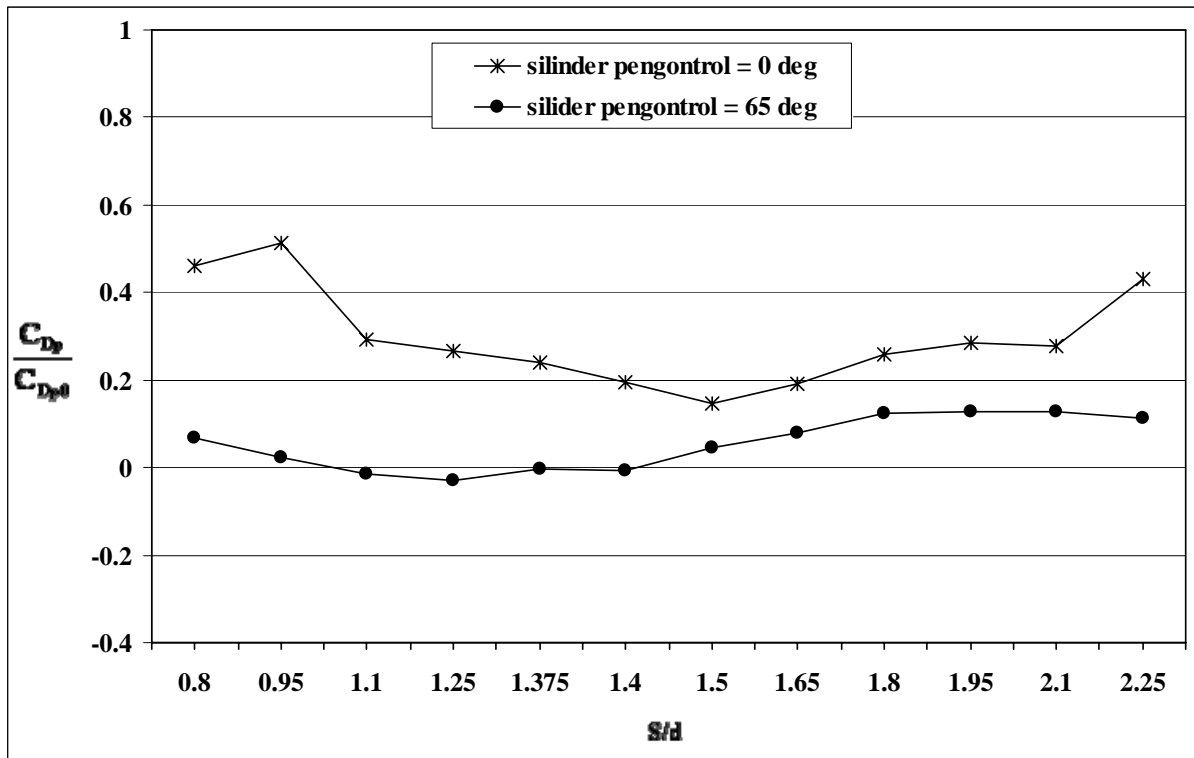


Gambar 5. Hasil visualisasi untuk $S/d=0,8$; $\theta_s=65^\circ$, dan $Re=5,3 \times 10^4$
(St = titik stagnasi, Sp = separasi massive; Rt = reattachment)

3.2. Koefisien Drag

Gambar 6 menunjukkan hasil perhitungan koefisien *pressure drag* silinder utama dengan pengontrol relatif terhadap bila silinder utama berdiri tunggal tanpa pengontrol (C_{Dp}/C_{Dp0}) pada $Re = 5,3 \times 10^4$, sebagai fungsi dari jarak antara kedua silinder relatif terhadap diameter silinder utama (S/d), untuk silinder pengontrol teriris tipe-I dengan $\theta_s = 65^\circ$ dan silinder pengontrol sirkuler ($\theta_s = 0^\circ$). Pada Gambar 6, terlihat bahwa dengan pemasangan silinder pengontrol, baik teriris ataupun tidak, akan menyebabkan terjadinya pengurangan koefisien *pressure drag* dibanding bila silinder tunggal berdiri tanpa 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. Dimana penggunaan silinder pengontrol teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$) terbukti lebih efektif mengurangi koefisien *pressure drag* dibanding silinder pengontrol sirkuler. Ini disebabkan oleh karena silinder dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ mempunyai C_D terbesar, seperti yang dinyatakan oleh Aiba dkk (1997). Seperti diketahui bahwa C_D terbesar disebabkan oleh lebar daerah *wake* dibelakang silinder yang terlebar pula. Akibatnya, pada posisi sudut *stagger* tersebut, *shear layer* yang datang dari silinder teriris dengan $\theta_s = 65^\circ$ lebih efektif mempengaruhi aliran pada sekitar silinder utama, dibanding silinder sirkuler tidak teriris ($\theta_s = 0^\circ$).

Secara umum untuk setiap penggunaan silinder pengontrol, baik teriris maupun tidak, nilai C_{Dp}/C_{Dp0} akan semakin menurun bila jarak S/d semakin diperbesar hingga mencapai jarak S/d tertentu dan kemudian nilai C_{Dp}/C_{Dp0} naik kembali bila S/d semakin diperbesar. Dimana pada penggunaan silinder pengontrol sirkuler nilai C_{Dp}/C_{Dp0} terendah diperoleh untuk jarak $S/d = 1,5$ yang mencapai 0,147, sedangkan pada penggunaan silinder pengontrol teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$) nilai C_{Dp}/C_{Dp0} terendah diperoleh untuk jarak $S/d = 1,25$ yang mencapai -0,029. Fenomena ini menunjukkan optimasi jarak pemasangan silinder pengontrol di depan silinder utama. Dimana bila S/d terlalu dekat atau terlalu jauh *shear layer* dari silinder pengontrol kurang efektif mempengaruhi aliran di sekitar silinder utama bila dibandingkan dengan pemasangan S/d yang tepat pada jarak optimumnya tertentu.



Gambar 6. Evolusi koefisien *drag* silinder utama relatif terhadap silinder tunggal sebagai fungsi dari jarak antara kedua silinder relatif terhadap diameter silinder utama (S/d) pada $Re = 5,3 \times 10^4$.

4. KESIMPULAN

Dari hasil diskusi diatas, dapat dicatat bahwa pemasangan silinder pengontrol di depan silinder sirkuler utama pada sudut *stagger* (α) = 0° , baik teriris ataupun tidak, akan menyebabkan terjadinya pengurangan koefisien *drag* dibanding bila silinder tunggal berdiri tanpa pengontrol. Namun silinder teriris tipe-I lebih efektif menyebabkan pengurangan gaya *drag* pada silinder utama. Dimana nilai C_{Dp} terendah diperoleh untuk silinder pengontrol teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$). Jarak penempatan silinder pengontrol di depan silinder utama juga mempengaruhi efektivitas pengurangan *drag* pada silinder utama. Jarak antara kedua silinder yang terlalu kecil atau terlalu besar tidak memberikan harga C_{Dp} yang paling kecil, tetapi pada jarak S/d tertentu akan memebrikan reduksi *drag* yang maksimu atau harga C_{Dp} mencapai minimum. Hal ini berlaku baik untuk silinder pengontrol sirkuler maupun teriris tipe-I dengan sudut iris ($\theta_s = 65^\circ$).

5. 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 an 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]. Pasad, A. and Williams, C.H.K., 1997, "A method for the reduction of bluff body drag", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic* 69-71 (1997), pp. 155-167.

- [7]. 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.
- [8]. 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.
- [9]. Norberg, C., (2001), "Flow Around a Circular Cylinder: Aspects of Fluctuating lift", *Journal of Fluids and Structures*, **15**, pp. 459-469.
- [10]. Raditya Joko, A., 2007, "Studi Eksperimental tentang karakteristik aliran fluida melintasi silinder sirkuler dengan pengganggu silinder teriris tipe-I: Studi kasus untuk variasi rasio jarak (0,8 – 1,4)", Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
- [11]. Rifki Adi, N., 2007, "Studi Eksperimental tentang karakteristik aliran fluida melintasi silinder sirkuler yang diganggu oleh silinder teriris tipe-I: Studi kasus untuk pengaruh jarak antara kedua silinder (1,5 – 2,5)", Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
- [12]. 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.
- [13]. 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.