

Pengaruh Sudut Stagger Silinder Teriris Tipe-I Sebagai Pengontrol Pasif Terhadap Gaya-Gaya Aerodinamik Silinder Utama Sikuler

Triyogi Yuwono dan Vendik Sudarianto

Laboratorium Mekanika Fluida & 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

Sebuah silinder teriris tipe-I telah digunakan sebagai pengontrol pasif untuk mengurangi gaya aerodinamik yang terjadi pada silinder sirkuler, akibat interaksi kedua silinder tersebut. Silinder teriris dengan sudut iris $\theta_s = 0^\circ$ (sirkular), 53° dan 65° ditempatkan pada jarak (S/D) = 1,375 dan dengan posisi sudut stagger yang berubah dalam range $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, dimana permukaan teriris menghadap tegak lurus arah aliran datang. Susunan tandem kedua silinder tersebut diuji dalam terowongan angin subsonik, pada bilangan Renolds (Re) = $5,3 \times 10^4$ (berdasarkan diameter silinder sirkular D dan kecepatan aliran bebas). Hasil eksperimen menunjukkan, bahwa pemasangan silinder pengganggu teriris tipe-I di depan silinder sirkuler utama pada posisi sudut stagger ($\alpha = 0^\circ$) memberikan reduksi gaya drag paling besar dibandingkan sudut stagger yang lain, baik untuk silinder pengganggu dengan sudut iris $\theta_s = 0^\circ$, 53° maupun 65° . Sedangkan pada posisi sudut stagger yang sama, silinder pengganggu dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ memberikan reduksi gaya drag yang relatif paling besar dibanding sudut iris lainnya. Sementara untuk gaya lift yang terjadi pada silinder utama cenderung semakin bertambah besar seiring dengan pembesaran sudut stagger hingga $\alpha = 12^\circ$. Akhirnya, silinder pengganggu dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ yang ditempatkan pada posisi sudut stagger ($\alpha = 0^\circ$) memberikan reduksi resultan gaya aerodinamik terbesar. Dimana reduksi resultan gaya aerodinamik pada silinder utama dapat mencapai 95 % dibanding dengan silinder sirkuler tunggal.

Kata kunci: pengontrol pasif, silinder teriris tipe-I, gaya drag, sudut stagger.

1. Pendahuluan

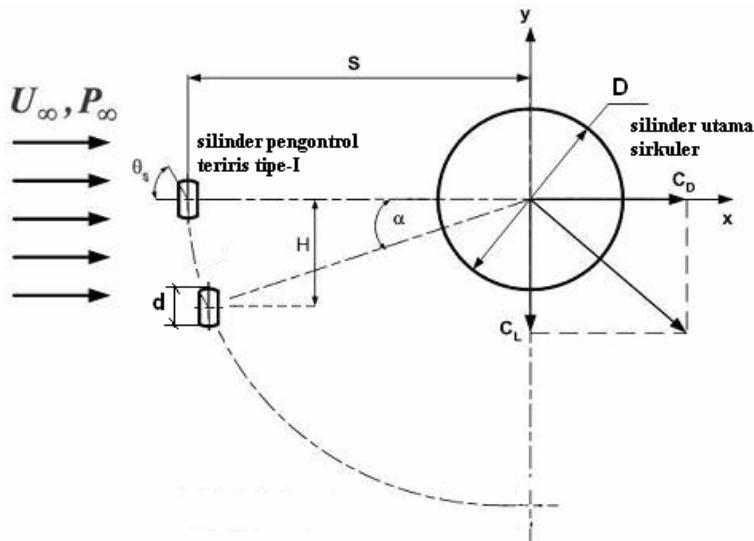
Dalam aplikasi teknik, banyak sekali konstruksi yang menggunakan silinder sirkuler, hal ini telah mendorong banyak peneliti untuk melakukan penelitian tentang aliran melintasi silinder sirkuler. Oleh karenanya, sampai saat ini penelitian aliran melintasi silinder sirkuler tetap sebagai salah satu yang penting dalam mekanika fluida. 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 oleh banyak peneliti.

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 menvariasikan : (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 ($0.5 \sim 0.55$) untuk kedua tipe model silinder, bila $\theta_s = 53^\circ$ dan $R_e > 2,5 \times 10^4$. 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 $R_e = 3,1 \times 10^4$ dan $\theta_s > 60^\circ$, nilai kedua koefisien ($-C_{pb}$) dan C_D melebihi nilainya untuk silinder sirkuler.

Selanjutnya, guna mengetahui lebih jauh tentang pengaruh silinder teriris terhadap gaya-gaya aerodinamik silinder sirkuler utama, khususnya untuk silinder teriris tipe-I, maka pada penelitian ini akan digunakan silinder tipe-I sebagai pengontrol pasif. Silinder teriris tipe-I tersebut diletakkan di depan silinder utama sirkuler, dengan posisi penampang irisan tegak lurus arah kecepatan aliran dan dengan posisi sudut *stagger* (α) yang bervariasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh posisi sudut *stagger* (α) terhadap gaya aerodinamik pada silinder utama.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Skema susunan dua silinder dalam eksperimental

Gambar 1 menunjukkan skema konfigurasi kedua silinder dan parameter-parameter percobaan. Diameter silinder sirkuler utama adalah $D = 114$ mm. Tiga buah silinder kecil sebagai pengontrol, berdiameter $d = 48$ mm digunakan dalam penelitian ini, masing-masing silinder sirkuler tidak teriris ($\theta_s = 0^\circ$) dan silinder teriris tipe-I (yang dihasilkan dari silinder sirkuler yang diiris dikedua sisinya yang parallel dengan sumbu-y), dengan sudut iris $\theta_s = 53^\circ$ dan 65° . 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 kecil teriris relatif terhadap diameter silinder utama ditentukan tetap sebesar $S/D = 1,375$. Sebuah mekanisme mengijinkan pengaturan sudut *stagger* (α) dalam rentang dari 0° sampai dengan 90° . Percobaan dilakukan dalam sebuah terowongan angin subsonik sirkulasi terbuka. *Test section* dari terowongan angin berbentuk bujur sangkar berukuran $= (660 \times 660)$ 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, $R_e = 5,3 \times 10^4$ (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 menvisualisasikan aliran pada dinding silinder, digunakan metode *oil flow picture*, dengan perbandingan komposisi bahan titanium oksida : minyak kelapa : tinner B = 5 : 1 : 1.

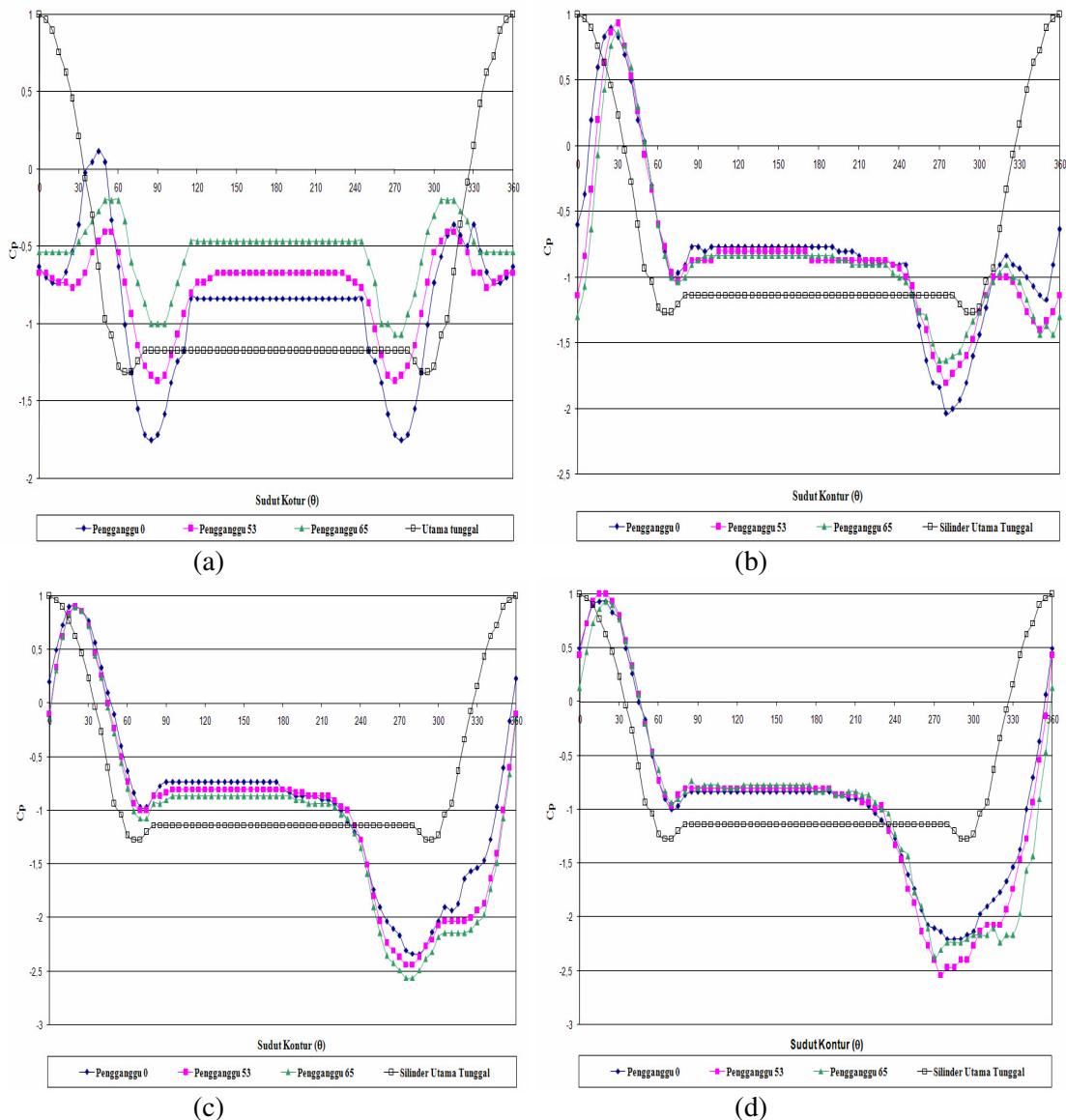
3. Hasil Dan Diskusi

Distribusi Tekanan

Gambar 2 menunjukkan distribusi koefisien tekanan sekeliling silinder sirkuler utama (C_p) akibat pengaruh posisi silinder pengontrol yang membentuk sudut stagger (α) terhadap axis silinder utama, untuk variasi sudut iris silinder pengontrol pada $Re = 5,3 \times 10^4$. Gambar (2a) menunjukkan pengaruh sudut iris silinder pengontrol yang diletakkan pada posisi sudut stagger ($\alpha = 0^\circ$). Secara umum dapat dikatakan, bahwa untuk semua sudut iris dari silinder pengontrol yang diletakkan pada sudut stagger ($\alpha = 0^\circ$, mempunyai distribusi C_p cenderung simetri antara sisi bawah dan sisi atas dari silinder utama. Grafik C_p dari silinder utama menunjukkan bahwa titik stagnasi pada silinder utama tidak tampak, hal ini disebabkan momentum fluida yang mengalir terhalang oleh adanya silinder pengontrol yang ada di depan silinder utama. *Wake* dari silinder pengontrol akan melingkupi bagian depan permukaan silinder utama, *shear layer* dari silinder pengontrol akan *attach* pada bagian depan silinder utama. Posisi *attchement* cenderung lebih ke belakang bila silinder pengontrol teriris dibanding bila silinder pengontrol sirkuler tidak teriris. Dimana untuk silinder pengontrol sirkuler ($\theta_s = 0^\circ$) posisi *attachment* di sisi atas silinder utama pada $\theta = 45^\circ$, untuk silinder pengontrol teriris ($\theta_s = 53^\circ$) pada $\theta = 55^\circ$ dan untuk silinder pengontrol teriris ($\theta_s = 65^\circ$) pada $\theta = 60^\circ$. Kondisi ini cenderung menyebabkan lebih tertundanya titik separasi sehingga menyebabkan *wake* yang terbentuk lebih sempit dan pada akhirnya akan mengurangi gaya *drag* yang terjadi.

Shear layer tersebut akan terpisah menjadi dua, *forward shear layer* dan *backward shear layer*. Kedua *shear layer* tersebut akan mengalami percepatan, pada *backward shear layer* akan mengalami percepatan sampai pada tekanan minimumnya dan kemudian terjadi perlambatan karena adanya gesekan dengan dinding silinder utama dan *adverse pressure gradient*, ketika momentum fluida sudah tidak mampu lagi melawan gesekan dan *adverse pressure gradient* tersebut, maka terjadi separasi masif. Sementara untuk *forward shear layer* setelah mengalami percepatan sampai pada tekanan minimumnya akan mengalami perlambatan dan akan terseparasi meninggalkan kontur silinder utama, *shear layer* tersebut akan kembali menuju bagian belakang silinder pengontrol (*back flow*), karena adanya *back flow* tekanan pada bagian belakang silinder pengontrol menjadi lebih besar.

Gangguan dari *wake* silinder pengontrol terhadap silinder utama ini menyebabkan titik separasi pada silinder utama lebih jauh tertunda ke belakang, dan *wake* silinder utama juga menjadi lebih sempit. Hal ini kemungkinan akan menyebabkan penurunan gaya *drag* silinder utama apabila dibandingkan dengan silinder utama tunggal tanpa pengontrol. Harga C_p pada silinder utama simetri, hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada gaya lift yang bekerja dan hanya gaya *drag* saja yang bekerja.



Gambar 2. Distribusi tekanan sekeliling silinder utama untuk variasi sudut iris (θ_s) dengan $R_e = 5,3 \times 10^4$ untuk silinder pengganggu : a). $\alpha = 0^\circ$, b). $\alpha = 5^\circ$, c). $\alpha = 10^\circ$ dan d). $\alpha = 12^\circ$.

Gambar (2b) menunjukkan grafik $C_p = f(\theta)$ untuk variasi sudut iris silinder pengontrol pada posisi sudut *stagger* (α) = 5° . Terlihat bahwa grafik C_p cenderung tidak simetri antara sisi atas dan sisi bawah, akibat posisi silinder pengontrol pada sudut *stagger* (α) = 5° . Ketidaksimetrian distribusi C_p ini akan menyebabkan timbulnya gaya *lift* pada silinder utama. Tekanan maksimum pada silinder utama untuk penggunaan ketiga silinder pengontrol hampir mempunyai harga yang sama. Posisi *reattachment* pada silinder utama sangat dipengaruhi oleh lebar *wake* dari silinder pengontrol, dimana silinder pengontrol dengan sudut iris (θ_s) = 65° mempunyai *wake* yang paling lebar dibandingkan silinder pengontrol sirkular dan silinder pengontrol dengan sudut iris (θ_s) = 53° , sehingga posisi *reattachment* dari silinder pengontrol sudut iris (θ_s) = 65° pada silinder utama paling jauh dari posisi $\theta = 0^\circ$. Pada silinder susunan, sisi atas silinder utama mengalami percepatan aliran yang lebih tajam bila dibandingkan dengan silinder utama tunggal. Untuk silinder susunan, gradient kecepatan aliran terbesar dimiliki oleh silinder utama dengan silinder pengontrol sirkular. Hal tersebut sangat dipengaruhi oleh lebar *wake* silinder pengontrol. Pada silinder pengontrol sirkular mempunyai area *wake* yang paling sempit, sehingga *stream tube* yang terbentuk pada sisi atas silinder utama juga paling sempit, gradient percepatan aliran akan terjadi lebih tajam.

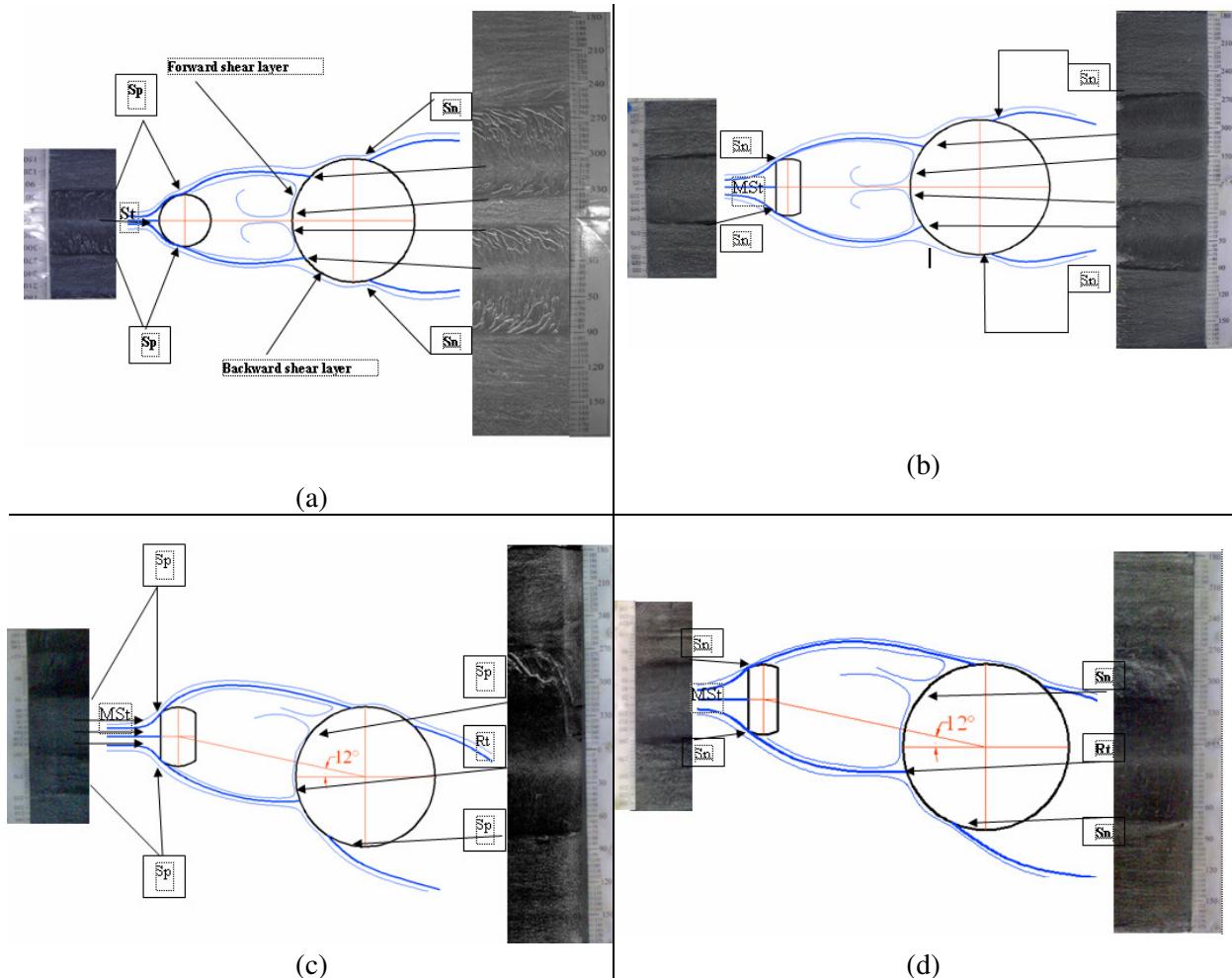
Gambar (2c) memperlihatkan distribusi C_p silinder utama dengan penempatan silinder pengontrol pada sudut stagger $\alpha = 10^\circ$ untuk variasi sudut iris silinder pengontrol. Terlihat bahwa akibat penempatan silinder pengontrol pada sudut stagger $\alpha = 10^\circ$, titik stagnasi bergeser ke sisi bawah silinder utama baik pada $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_s = 53^\circ$ maupun $\theta_s = 65^\circ$, apabila dibandingkan dengan silinder utama tunggal. Hal ini diduga *wake* dari silinder pengontrol pada sudut *stagger* (α) = 10° ini masih cukup besar mempengaruhi silinder utama. *Freestream* terdefleksi melewati sisi bawah silinder utama, efek celah yang dibentuk pada susunan ini belum terlihat. Tampak pada grafik bahwa harga C_p min pada silinder utama dengan penggunaan silinder pengontrol $\theta_s = 65^\circ$ menunjukkan harga yang paling negatif dibandingkan dengan $\theta_s = 0^\circ$ dan $\theta_s = 53^\circ$. Hal ini dikarenakan semakin besar sudut iris, *wake* yang dihasilkan oleh silinder pengontrol tersebut semakin lebar. Semakin lebarnya *wake* yang dihasilkan oleh silinder pengontrol ini akan memberikan interferensi yang besar terhadap silinder utama.

Gambar (2d) memperlihatkan distribusi C_p silinder utama dengan penempatan silinder pengontrol pada sudut stagger $\alpha = 12^\circ$ untuk variasi sudut iris silinder pengontrol. Pada $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_s = 53^\circ$ dan $\theta_s = 65^\circ$ titik stagnasi bergeser lebih ke sisi bawah silinder utama apabila dibandingkan silinder utama tunggal, hal ini dikarenakan efek nosel pada celah yang mungkin timbul antara silinder pengontrol dan silinder utama pada sisi atas silinder utama. Akibat efek celah tersebut fluida yang awalnya cenderung bergerak ke bawah akan terhisap ke atas, sehingga sebuah *streamline* menumbuk pada sisi bawah silinder utama secara tegak lurus dan terbentuklah titik stagnasi.

Visualisasi Aliran

Gambar 3 menunjukkan hasil visualisasi aliran menggunakan metode *oil flow picture* pada dinding silinder utama untuk $Re = 5,3 \times 10^4$. Terlihat pada posisi sudut stagger (α) = 0° , posisi stagnasi pada silinder utama tidak tampak, ini akibat tertutup oleh silinder pengontrol di depan silinder utama (gambar 3a & 3b). Shear layer yang terlepas dari silinder pengontrol akan *attach* pada silinder utama. Shear layer tersebut akan terpisah menjadi dua, *forward shear layer* dan *backward shear layer*. Kedua *shear layer* tersebut akan mengalami percepatan, pada *backward shear layer* akan mengalami percepatan sampai pada tekanan minimumnya dan kemudian terjadi perlambatan karena adanya gesekan dengan dinding silinder utama dan *adverse pressure gradient*. Ketika momentum fluida sudah tidak mampu lagi melawan gesekan dan *adverse pressure gradient* tersebut, maka terjadi separasi masif. Sementara untuk *forward shear layer* setelah mengalami percepatan sampai pada tekanan minimumnya akan mengalami perlambatan dan akan terseparasi meninggalkan kontur silinder utama, *shear layer* tersebut akan kembali menuju bagian belakang silinder pengontrol (*back flow*), karena adanya *back flow* tekanan pada bagian belakang silinder pengontrol menjadi lebih besar.

Bila sudut *stagger* (α) diperbesar memungkinkan kecenderungan posisi titik stagnasi bergeser ke sisi bawah (gambar 3c & 3d). Hal ini dikarenakan efek nosel pada celah yang mungkin timbul antara silinder pengontrol dan silinder utama pada sisi atas silinder utama. Akibat efek celah tersebut fluida yang awalnya cenderung bergerak ke bawah akan terhisap ke atas, sehingga sebuah *streamline* menumbuk pada sisi bawah silinder utama secara tegak lurus dan terbentuklah titik stagnasi pada sisi bawah silinder utama.



Gambar 3. Visualisasi aliran dengan metode *oil flow picture* : a). $\theta_s = 0^\circ$ & $\alpha = 0^\circ$, b). $\theta_s = 65^\circ$ & $\alpha = 0^\circ$, c). $\theta_s = 53^\circ$ & $\alpha = 12^\circ$ dan d). $\theta_s = 65^\circ$ & $\alpha = 12^\circ$ untuk $Re = 5,3 \times 10^4$. (St = titik stagnasi, Sp = titik separasi, Rt = titik reattachment).

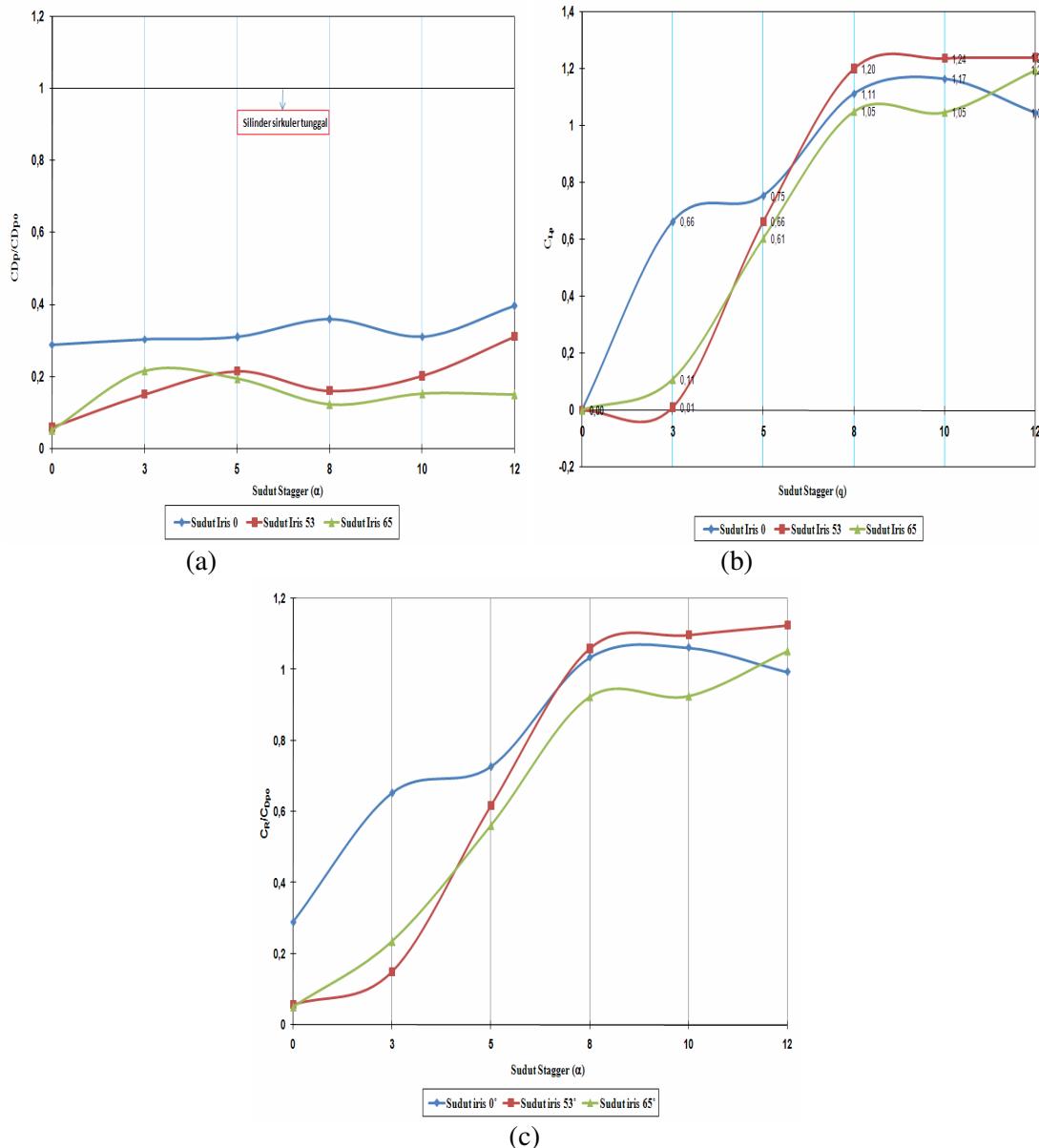
Koefisien Drag dan Lift.

Gambar 4 menunjukkan evolusi koefisien gaya-gaya aerodinamik (*drag* dan *lift*) sebagai fungsi dari sudut *stagger* (α) untuk bilangan $Re = 5,3 \times 10^4$. Dimana gambar 4a untuk koefisien *pressure drag* silinder utama dengan pengontrol dibanding koefisien *pressure drag* dari silinder utama berdiri tunggal tanpa pengontrol (C_{Dp}/C_{Dp0}), gambar 4b untuk koefisien *pressure lift* (C_{Lp}), dan gambar 4c untuk resultan dari koefisien *pressure drag* dn koefisien *pressure lift* (C_R).

Pada Gambar 4a 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. Penggunaan silinder pengontrol teriris tipe-I ($\theta_s = 65^\circ$) secara umum lebih efektif mengurangi koefisien *pressure drag* dibanding silinder pengontrol sirkuler atau teriris tipe-I ($\theta_s = 53^\circ$). 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 ($\theta_s = 0^\circ$) atau teriris tipe-I ($\theta_s = 53^\circ$).

Secara umum untuk setiap penggunaan silinder pengontrol, baik teriris maupun tidak, nilai C_{Dp}/C_{Dp0} cenderung tetap untuk setiap posisi sudut *stagger* silinder pengontrol. Dimana harga C_{Dp}/C_{Dp0} terkecil diperoleh oleh penggunaan silinder pengontrol teriris $\theta_s = 65^\circ$ yang diletakkan pada posisi sudut *stagger* $\alpha = 0^\circ$, dimana nilai C_{Dp}/C_{Dp0} mencapai 5%. Dengan kata lain, penggunaan silinder pengontrol teriris $\theta_s = 65^\circ$ pada posisi $\alpha = 0^\circ$ telah mampu mengurangi koefisien *pressure drag* sebesar 95% dari koefisien *pressure drag* silinder utama tunggal tanpa pengontrol.



Gambar 4. Evolusi koefisien gaya-gaya aerodinamik pada silinder utama sebagai fungsi dari sudut stagger (α) untuk $R_e = 5,3 \times 10^4$: (a) koefisien *pressure drag* silinder utama dengan silinder pengontrol dibanding koefisien *pressure drag* silinder utama tunggal (C_{Dp}/C_{Dp0}), (b). koefisien *pressure lift*, dan (c). resultan koefisien *pressure drag* dan koefisien *pressure lift*.

Pada gambar 4b terlihat bahwa penempatan silinder pengontrol posisi sudut *stagger* $\alpha = 0^\circ$ terbukti tidak menimbulkan *lift*. Bila α diperbesar *lift* berangsur-angsur muncul membesar hingga

sudut *stagger* mencapai $\alpha = 8^\circ$. Hal ini disebabkan oleh distribusi tekanan pada silinder utama yang tidak simetri akibat keberadaan silinder pengontrol pada posisi sudut *stagger* tersebut. Bila selanjutnya sudut *stagger* terus diperbesar hingga $\alpha > 8^\circ$ ternyata *lift* cenderung tetap. Ini berarti bahwa pembesaran sudut *stagger* pada posisi $\alpha > 8^\circ$ sudah tidak efektif lagi menaikkan *lift*.

Gambar 4c menunjukkan grafik resultan koefisien *pressure drag* dan koefisien *pressure lift* (C_R) dari silinder utama sebagai fungsi dari sudut *stagger* (α) untuk variasi sudut iris silinder pengontrol pada bilangan $Re = 5,3 \times 10^4$. Dari grafik tersebut terlihat bahwa, secara umum, nilai C_R naik sejalan dengan kenaikan α . Silinder pengontrol teriris dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ praktis memiliki C_R yang paling kecil dibanding silinder pengontrol lainnya. Silinder pengontrol dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ yang ditempatkan pada posisi sudut *stagger* ($\alpha = 0^\circ$) memberikan reduksi resultan gaya aerodinamik terbesar, dimana reduksi tersebut dapat mencapai 95 % dibanding dengan silinder sirkuler tunggal.

3. Kesimpulan

Dari hasil diskusi diatas, dapat dicatat bahwa pemasangan silinder pengontrol teriris tipe-I di depan silinder sirkuler utama pada posisi sudut *stagger* ($\alpha = 0^\circ$) memberikan reduksi gaya *drag* paling besar dibandingkan sudut *stagger* yang lain, baik untuk silinder pengontrol dengan sudut iris $\theta_s = 0^\circ$, 53° maupun 65° . Sedangkan pada posisi sudut *stagger* yang sama, silinder pengontrol dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ memberikan reduksi gaya *drag* yang relatif paling besar dibanding sudut iris lainnya. Sementara untuk gaya *lift* yang terjadi pada silinder utama cenderung semakin bertambah besar seiring dengan pembesaran sudut *stagger* hingga $\alpha = 12^\circ$. Akhirnya, silinder pengontrol dengan sudut iris $\theta_s = 65^\circ$ yang ditempatkan pada posisi sudut *stagger* ($\alpha = 0^\circ$) memberikan reduksi resultan gaya aerodinamik terbesar. Dimana reduksi resultan gaya aerodinamik pada silinder utama dapat mencapai 95 % dibanding dengan silinder sirkuler tunggal.

Daftar Pustaka

- Achenbach, E., (1971), "Influence of Surface Roughness on the Cross-Flow around a Circular Cylinder", *Journal of Fluid Mechanics*, **46**, pp. 321-335.
- 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.
- 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.
- 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.
- Triyogi, Y. 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.
- 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.
- 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.
- 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.