

Studi Eksperimental Karakteristik Aliran pada Silinder Teriris Tipe-D yang Tersusun side by side akibat Pengaruh Sudut Stagger dan Jarak antara Silinder

Suprapto^{a)}, Adi Syuriadi^{a)}, Triyogi Yuwono^{b)}, Wawan Aries^{b)}

^{a)}Jurusan Teknik Mesin FTI-ITM, Medan

e-mail: prapto_23@yahoo.com ; isyur_me@yahoo.com

^{b)}Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya

email : triyogi@me.its.ac.id ; wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak

Karakteristik aliran pada silinder teriris (tipe-D) yang tersusun secara side by side akibat pengaruh sudut stagger dan jarak antara silinder disajikan dalam penelitian ini. Pengukuran pressure coefficient (C_p) dan profil kecepatan aliran dibelakang downstream cylinder serta visualisasi aliran dengan oil flow pattern, dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui karakteristik aliran melintasi dua silinder tegak teriris tipe-D yang disusun secara side-by-side, akibat pengaruh sudut iris (θ_s), jarak antara pusat kedua silinder (T/D) dan sudut pemakanan (α).

Untuk maksud tersebut, silinder sirkuler berdiameter $D = 48$ mm diiris tegak pada bagian depannya dengan masing-masing sudut iris(θ_s) = $36^\circ, 51^\circ$ dan 61° . Jarak antara pusat kedua silinder divariasikan sebesar $T/D = 1,5; 2; 2,5; 4$ dan 5 . Kedua silinder diposisikan membentuk sudut pemakanan (α) yang divariasikan sebesar : $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ dan 90° . Seluruh eksperimental dilakukan pada subsonic wind tunnel, dimana kecepatan aliran di dalam wind tunnel diatur konstan sebesar 19 m/s, atau pada bilangan Reynolds $6,0 \times 10^4$

Hasil eksperimental menunjukkan adanya interferensi antara silinder yang kuat antara silinder atas dan bawah ditunjukkan pada jarak longitudinal ($T/D \leq 2$), yang diindikasikan dengan tidak simetrisnya distribusi tekanan antara silinder atas dengan bawah.

Kata kunci : Silinder teriris tipe-D, side-by-side, sudut pemakanan (α), jarak antar silinder.

1. Pendahuluan

Dalam aplikasi engineering, bangunan dan struktur seringkali didirikan berkelompok atau dalam grup. Beban angin (wind load) yang diterima struktur menjadi salah satu faktor yang harus dipertimbangkan dalam desain yang selalu dituntut adanya peningkatan effisiensi dan optimalisasi. Seperti diketahui beban angin pada suatu struktur yang berkelompok memiliki karakteristik aerodinamik berbeda dengan struktur tunggal dengan bentuk yang sama seperti distribusi tekanan, dan pola *shedding vortex*. Ketika dua atau lebih silinder diletakan saling berdekatan, akan mempunyai fenomena yang berbeda dan lebih kompleks dibandingkan pada silinder tunggal, hal ini karena adanya interferensi gabungan dari silinder lainnya. Aliran yang melalui sebuah silinder teriris akan lebih terganggu bila dibandingkan dengan aliran yang melintasi silinder sirkuler. Gangguan tersebut akan lebih kompleks lagi bila silinder disusun secara berkelompok dan posisi bidang irisan silinder diposisikan tegak lurus dan menyudut (stagger) terhadap arah datangnya aliran. Sehingga akan mempunyai fenomena yang berbeda dengan silinder sirkuler.

Silinder sirkular adalah salah satu bentuk yang sangat populer digunakan pada rekayasa struktur. Berbagai aplikasi dari silinder sirkular yang membentuk susunan tertentu seperti in-line, staggered, atau square arrays dan lain-lain, banyak digunakan dalam aplikasi engineering seperti penukar kalor shell-and tube atau tube banks, bejana bertekanan atau reaction tower pada industri kimia, cooling tower, kabel listrik bertegangan tinggi, cerobong, struktur penyangga anjungan lepas pantai, pendinginan komponen elektronik (electronic cooling), dan sebagainya.

Aliran di sekitar grup silinder sirkular (dua silinder atau lebih) merupakan kasus-kasus yang telah banyak dipelajari oleh para peneliti. Ulasan mengenai hal tersebut diberikan oleh Chen [2], Igarashi [3], Ishigai et.al [4], Lam, K. et.al [5], Mahbub Alam et.al [6,7], Ohya et.al [8] dan Sumner et.al [9], Zdravkovich [11, 12, 13, 14]. Publikasi tersebut pada umumnya menghasilkan laporan tentang struktur (regime) aliran, mean maupun fluctuating pressure coefficient (C_p), base pressure

coefficient (C_{pb}), mean dan fluctuating drag coefficient (C_D), mean dan fluctuating lift coefficient (C_L) dan bilangan Strouhal (St) pada upstream maupun downstream cylinder.

Kajian tentang aliran melintasi bluff body, utamanya dilakukan dalam upaya untuk mereduksi gaya-gaya aerodinamik, salah satunya adalah upaya mereduksi gaya hambat (drag force). Pada bluff body berbentuk silinder sirkular, salah satu metoda yang dilakukan adalah memodifikasi geometri yaitu dengan melakukan pemotongan pada bagian depan (silinder tipe-D) serta bagian depan dan belakang sekaligus dengan sudut pemotongan tertentu (silinder tipe-I), sebagaimana dilakukan oleh Aiba dan Watanabe [1]. Pada bentuk silinder tunggal, baik untuk tipe-D maupun tipe-I menunjukkan bahwa pada sudut pemotongan (θ_s) = 53°, reduksi gaya hambat yang ditunjukkan dengan harga koefisien drag (C_D) mencapai 50% jika dibandingkan silinder sirkular tunggal pada bilangan Reynolds yang sama.

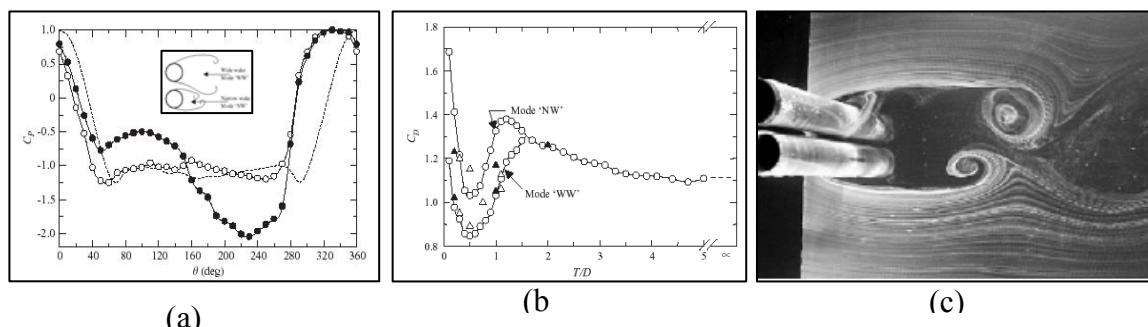
Aiba dan Watanabe [1997] melakukan penelitian mengenai karakteristik aliran pada sebuah *bluff body* yang terpotong dari suatu silinder sirkular pada sisi bagian depan dan belakang (tipe I) dan hanya bagian depan saja (tipe D) dengan sudut pemotongan tertentu. Hasil penelitian mereka menjelaskan bahwa tujuan dari pemotongan dengan berbagai sudut tertentu adalah untuk mempercepat terjadinya daerah transisi aliran *laminar* menjadi *turbulent*, dimana diketahui bahwa aliran turbulen lebih mampu mengatasi terjadinya separasi yang diakibatkan adanya *pressure gradient* maupun gesekan pada permukaan silinder tersebut, sehingga separasi semakin kebelakang dan wake yang terjadi semakin kecil sehingga gaya hambat (*drag*) akan menjadi lebih kecil pula.

Ibnu dan Triyogi [1999], melakukan penelitian pada silinder sirkuler yang dipotong pada bagian depan type (D) tunggal pada berbagai sudut pemotongan dengan variasi *Renolds Number*, menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian yang dilakukan *Aiba dan Watanabe*.

Tina dan triyogi [2001] melakukan penelitian pada silinder teiris tunggal dengan variasi sudut serang menunjukkan untuk tingkat pengirisan tertentu mampu menunda terjadinya separasi.

Wawan dan Triyogi [10] dalam penelitiannya menjelaskan tentang karakteristik aliran yang melintasi dua silinder dengan susunan *side-by-side* ($T/D = 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3$), baik untuk silinder sirkular maupun silinder tipe-D dengan sudut iris (θ_s) = 36°, 53°, dan 66°. Karakteristik aliran yang diamati yaitu pengaruh jarak transversal (T/D) terhadap masing-masing bentuk silinder serta pengaruh sudut iris (θ_s) pada setiap jarak transversal (T/D) pada bilangan Reynolds (Re) = $6,9 \times 10^4$. Pada jarak transversal ($T/D \leq 2$) pada silinder sirkular maupun silinder tipe-D menunjukkan adanya fenomena *biased flow* yang diindikasikan dengan harga *pressure coefficient* (C_p) kedua silinder yang tidak berhimpit antara silinder atas dengan silinder bawah, serta *wake* di belakang kedua silinder yang tidak sama lebarnya, hal tersebut ditunjukkan dengan profil kecepatan (u/U_{max}), khususnya pada silinder tipe-D dengan sudut iris (θ_s) = 66°.

Alam,M.M (2003) dalam penelitiannya gambar (1) menunjukkan distribusi tekanan (C_p) pada jarak $T/D = 0,1$ yang merupakan daerah *bistable* atau dikenal sebagai fenomena *biased flow* yang ditandai dengan lebar *wake* yang tidak sama antara silinder atas dengan silinder bawah. Seperti kita ketahui bersama bahwa *wake* yang lebar di belakang silinder berarti drag yang terjadi lebih besar, namun demikian hal tersebut tidak terjadi pada dua silinder dengan susunan *side-by-side*, khususnya pada jarak transversal (T/D) yan kecil atau berada pada daerah *bistable*, justru *wake* di belakang silinder yang sempit (*narrow wake*) drag yang terjadi lebih besar jika dibandingkan dengan *wake* yang lebar (*wide wake*) pada silinder lainnya.



Gambar (1). (a) Distribusi tekanan (C_p) untuk $T/D = 0,1$; ●' Wide Wake (WW); ○ 'Narrow Wake (NW)'(b) koefisien drag (C_d) (c). Visualisasi Aliran (Alam, M.Metal.al ., 2003)

Berdasarkan susunan dari dua silinder sirkular dengan side-by-side Zdravkovizch [1989] mengklasifikasikan menjadi empat kelompok regime aliran sebagai berikut :

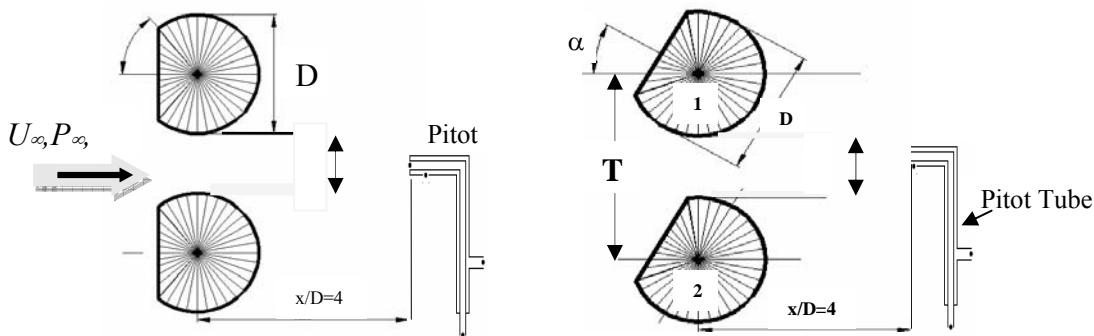
- Pada jarak tanpa celah ($T/D = 1$), membentuk vortex street tunggal pada downstream dan kedua silinder memiliki sifat bluff body tunggal.
- Pada jarak celah yang sempit ($1,2 < T/D < 2,2$), aliran pada celah akan dibelokkan pada salah satu sisi, wake yang lebar dan sempit terbentuk di belakang silinder. Aliran pada celah tersebut terseparasi lebih ke belakang dibandingkan dengan pada sisi yang berdekatan dengan freestream, hal tersebut dikarenakan tingginya momentum aliran yang melewati celah, sehingga fluida pada daerah tersebut lebih mampu melawan gesekan dan adverse pressure gradient, dan daerah wake yang terbentuk lebih sempit.
- Pada jarak celah yang lebar ($2,5 < T/D < 4$), pada downstream silinder terbentuk sepasang vortex street.
- Pada jarak celah lebar ($T/D > 4$), aliran di sekitar masing-masing silinder sama dengan yang terjadi pada silinder tunggal.

Summer et.al [1999], melakukan visualisasi aliran pada silinder sirkular dengan susunan *side-by-side* pada water tunnel dengan berbagai variasi bilangan *Reynolds* dan Jarak antara silinder (T/D) menunjukkan Visualisasi aliran yang menggambarkan fenomena aliran sebagaimana diklasifikasikan oleh *Zdravkovich* [1989] di atas.

Hasil penelitian-penelitian sebelumnya hanya dilakukan pada silinder teriris tunggal ataupun berkelompok baik susunan *side by side* dan *tandem*, dan bidang iris menyudut konvergen dan divergen. Oleh karena itu dalam penelitian ini, menarik untuk melanjutkan penelitian yang telah ada khususnya untuk kasus konfigurasi dua silinder teriris tipe-D yang disusun secara side by side, akibat pengaruh sudut iris, jarak antar silinder dan sudut stagger yang sama (posisi sejajar) untuk setiap silinder. Sejauh ini, karakteristik aliran udara melintasi susunan tersebut belum pernah dilakukan, sehingga menarik untuk diteliti lebih jauh.

2. Metode penelitian

Gambar 2 menunjukkan skema konfigurasi silinder dan parameter-parameter percobaan. Diameter silinder adalah $D = 48$ mm, dengan sudut iris yang divariasikan sebesar $\theta_s = 36^\circ, 51^\circ$ dan 61° digunakan dalam penelitian ini. Masing-masing silinder mempunyai panjang $L = 660$ mm. Seluruh silinder ditempatkan sedemikian rupa hingga bagian permukaan datar membentuk sudut pemakanan, $\alpha=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$, dan 90° terhadap arah aliran. Jarak transversal antara pusat kedua silinder dalam konfigurasi *side-by-side* relatif terhadap diameter (T/D) divariasikan sebesar $T/D = 1,5; 2; 2,5; 4$ dan 5 . Susunan silinder diletakkan dalam terowongan angin subsonik tipe terbuka, yang mempunyai ukuran *test section* sebesar $= 1500$ mm (L) x 660 mm (H) x 660 mm (E). Kecepatan aliran bebas ditetapkan sebesar 19 m/s, setara dengan bilangan *Reynolds*, $Re = 6,0 \times 10^4$ (berdasarkan diameter D dan kecepatan aliran bebas U_∞). Distribusi tekanan ditengah *span* sekitar silinder diukur dengan menggunakan manometer miring, dengan memasang sejumlah *pressure tap* setiap silinder. Profil kecepatan di belakang susunan silinder diukur dengan menggunakan tabung pitot-statik yang terhubung dengan manometer miring, dimana tabung pitot-statik ditempatkan di belakang sumbu silinder pada jarak $x/D = 4$. Untuk menvisualisasikan aliran pada dinding silinder, digunakan metode *oil flow pattern*, dengan cara melapisi permukaan silinder dengan kertas *asturo black* kemudian permukaan kertas tersebut di olesi campuran : Minyak nabati : Serbuk Titanium : Silicone Oil : Tinner type B dengan komposisi berat campuran : 6:2:2:2.

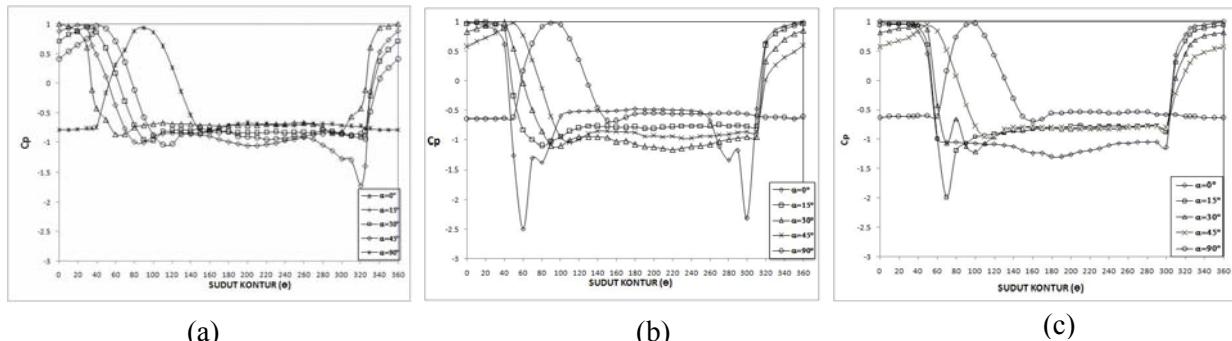


Gambar 2. Sketsa eksperimental Dua Silinder Tegak Teriris (Tipe-D). dengan susunan side-by-side: (a). sudut pemakanan (angle of attack ($\alpha = 0^\circ$)) dan (b). $\alpha = 30^\circ$

3. Hasil Eksperimen dan Diskusi

3.1. Distribusi Tekanan

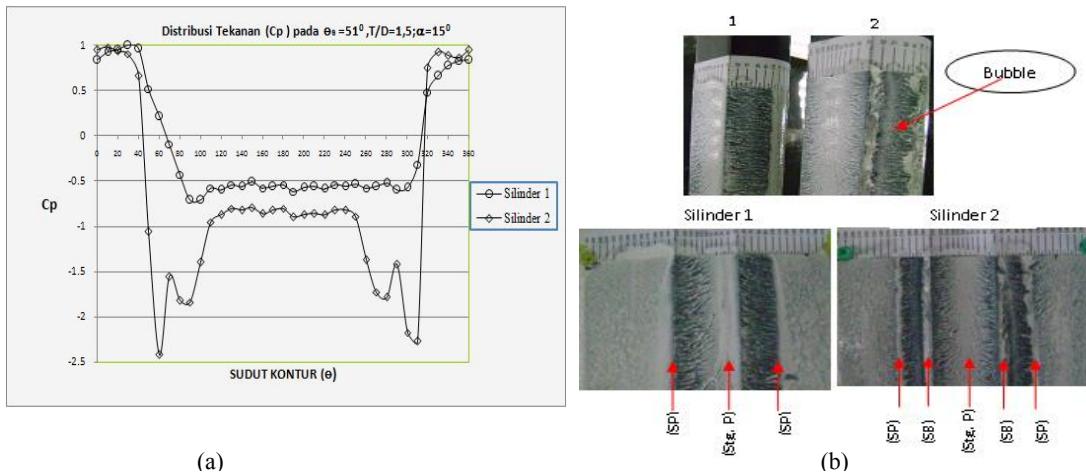
Hasil percobaan pada silinder tunggal (silinder sirkular maupun silinder tipe-D) ditampilkan dalam satu grafik distribusi tekanan (C_p) sepanjang kontur silinder. Grafik dari silinder tunggal ini digunakan sebagai pembanding pada silinder dengan susunan *side-by-side* baik pada silinder atas (1) maupun silinder bawah(2).



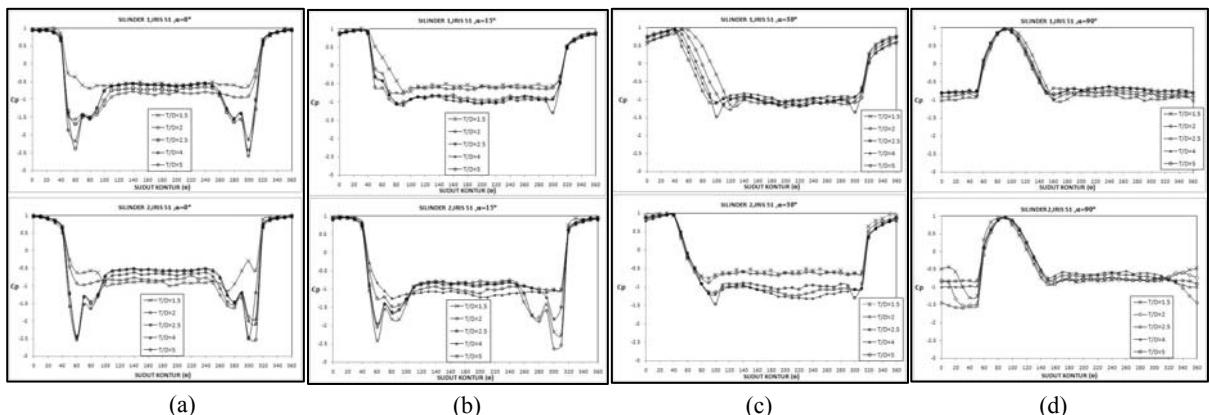
Gambar 3. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) silinder tunggal teriris (a) $\theta_s = 36^\circ$. (b) $\theta_s = 51^\circ$. (c) $\theta_s = 61^\circ$.

Gambar (3), menunjukkan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada kontur silinder untuk setiap sudut pengirisan (θ_s) dan variasi sudut pemakanan (α). Pada silinder dengan sudut pengirisan $\theta_s = 51^\circ$ dan pada posisi sudut pemakanan $\alpha=0^\circ$, menunjukkan posisi separasi jauh lebih ke belakang jika dibandingkan dengan $\theta_s = 36^\circ$ dan 61° . Hal ini kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya separasi bubble. Pada pemberian *angle of attack* ($\alpha = 5-45^\circ$) kondisi stagnasi masih terjadi pada permukaan irisan silinder, sedangkan untuk ($\alpha = 90^\circ$) titik stagnasi berada pada kontur lengkung silinder.

Gambar 4 (a) dan (b) menunjukkan fenomena *biased flow* yaitu wake yang lebih lebar (wide wake) terjadi pada silinder 1, sedangkan pada silinder 2, wake yang terjadi lebih sempit (narrow wake). Hasil ini seperti yang juga ditemukan oleh Zdravkovich [1982,1984,1989] dan Sumner et.al [1999] maupun Alam, M.M et.al [2003], dimana mereka menyatakan bahwa pada jarak tranversal $1,2 < T/D < 2,2$ pola aliran yang melintasi dua silinder dengan susunan *side-by-side* cenderung asimetris atau dikenal sebagai *biased flow*. Ini dikarakteristikkan sebagai *wide-wake region* yang lebar pada salah satu silinder dan *near-wake region* yang sempit terbentuk di belakang silinder lainnya.



Gambar 4. (a). Grafik koefisien tekanan (C_p) pada silinder irisan D- 51° ($T/D=1,5$) dengan sudut serang ($\alpha= 15^\circ$). (b) hasil visualisasi aliran dengan *Oil Flow Picture*.



Gambar 5. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) silinder tunggal teriris tipe D ($\theta_s=51^\circ$) susunan side by side dengan variasi jarak antara silinder (T/D) dan sudut pemakanan
 (a) $\alpha=0^\circ$ (b) $\alpha=15^\circ$ (c) $\alpha=30^\circ$ (d) $\alpha=90^\circ$.

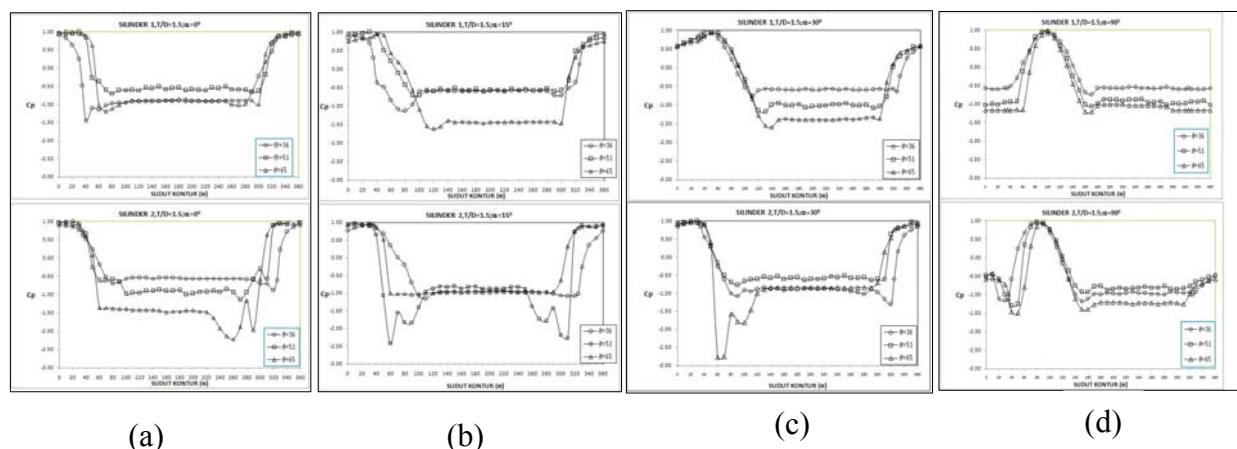
Gambar 5 (a), (b) dan (c) menunjukkan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder teriris tipe D ($\theta_s=51^\circ$) susunan *side by side* dengan variasi sudut pemakanan (a) $\alpha=0^\circ$ (b) $\alpha=15^\circ$ (c) $\alpha=90^\circ$. Pada gambar 5 (a), yakni pada jarak $T/D = 1,5$ dan $\alpha=0^\circ$ menunjukkan tidak terbentuk separasi bubble yang terjadi pada silinder 1 dan 2. Hal ini mengindikasikan adanya *effect blockage* yang kuat pada daerah celah. Sementara pada jarak $T/D=2 ; 2,5 ; 4$ dan 5 pada silinder 1 dan 2 terbentuk separasi bubble, ini menunjukkan bahwa *effect blockage* mulai berkurang.

Sementara pada posisi sudut pemakanan ($\alpha=15^\circ$) yaitu pada $T/D = 1,5 ; 2$ dan $2,5$ fenomena *biased flow* sangat jelas terlihat dari letak titik separasi antara silinder 1 dan 2. Adanya separasi bubble yang terjadi hanya pada silinder 2 yaitu celah bagian dalam dan luar silinder, hal ini dikarenakan pada sisi celah aliran mengalami percepatan yang sangat besar (*sharply accelerated flow*). Percepatan aliran ini diduga karena pada daerah celah ada dua kontur yang berbeda yaitu bidang lengkung sirkuler silinder dan bidang datar irisan silinder. Bidang lengkung silinder 1 pada daerah celah bagian dalam diduga mampu memberikan kontribusi terbentuknya bubble di silinder 2.

Adanya pengaruh variasi sudut pemakanan yang lebih besar terlihat dari letak titik stagnasi dan distribusi tekanan (C_p) yang terjadi pada silinder 1 dan 2 . Pada sudut pemakanan ($\alpha=0^\circ$ dan 15°) terbentuk separasi bubble sedangkan untuk sudut pemakanan

$(\alpha)=30^\circ, 45^\circ$ dan 90° tidak terbentuk separasi bubble. Tidak terbentuknya separasi bubble pada sudut pemakanan $(\alpha)=30^\circ, 45^\circ$ dan 90° diduga karena permukaan iris yang semakin miring mengakibatkan aliran semakin mudah melintasi permukaan iris dengan percepatan yang lebih rendah dibanding pada $\alpha = 0^\circ$ dan 15° (pada sisi luar silinder 1 dan sisi dalam silinder 2) yang mengakibatkan *massive separation* di ujung irisan.

Gambar 5.(d) menunjukkan distribusi koefisien tekanan (C_p) dengan sudut pemakanan $(\alpha)=90^\circ$ dengan variasi jarak antara silinder. Semakin besar sudut pemakanan menyebabkan aliran mudah terseparasi, hal ini diakibatkan karena permukaan irisan silinder membentuk bidang datar. Pada jarak celah yang sempit ($T/D=1,5 ; 2$ dan $2,5$) *shear layer* yang terseperasi dari silinder 1 pada sisi celah bagian dalam akan *reattachment* pada bidang datar silinder 2 yang ditandai adanya perbedaan nilai distribusi tekanan sepanjang bidang datar silinder.



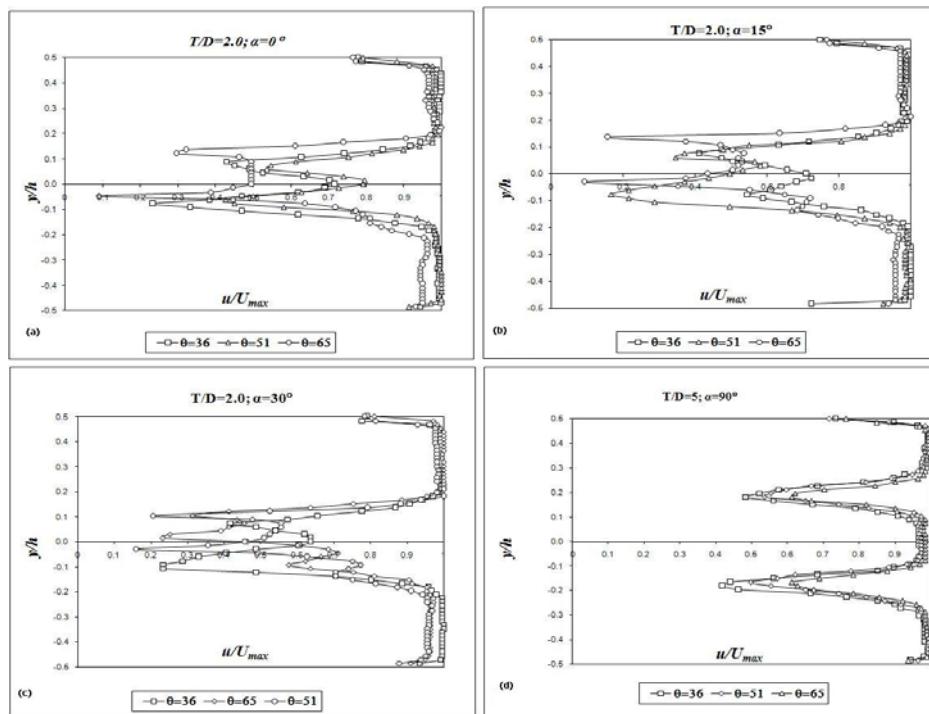
Gambar 6. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) silinder teriris tipe D ($\theta_s=36^\circ, 51^\circ$ dan 61°) susunan side by side $T/D=1,5$ (a) $\alpha=0^\circ$ (b) $\alpha=15^\circ$ (c) $\alpha=15^\circ$ (d) $\alpha=90^\circ$.

Fenomena *biased flow* terjadi pada susunan *side-by-side* dengan jarak transversal (T/D) =1,5 seperti ditunjukkan pada gambar 6(a), (b), (c), dan (d). Dimana ditunjukkan oleh distribusi koefisien tekanan (C_p) sepanjang kontur dari silinder 1 maupun silinder 2 yang tidak sama. Kondisi yang demikian disebut sebagai kondisi *biased flow*, yang berubah-ubah dengan cepat (intermittently) dari silinder 1 ke silinder 2 atau sebaliknya.

Pada gambar 6 (a) terlihat bahwa pada sudut pemakanan $(\alpha) = 0^\circ$ pada jarak $T/D=1,5$ sudut pengirisan cukup berpengaruh terhadap *pressure coefficient* aliran yang terjadi. Ini ditandai oleh letak titik separasi dan koefisien *base pressure* yang berbeda. Pada silinder 1 menunjukkan koefisien *base pressure* (C_{pb}) paling rendah terjadi pada silinder $\theta_s = 51^\circ$, sedangkan pada silinder 2 menunjukkan letak separasi yang lebih tertunda dibandingkan pada sudut irisan ($\theta_s = 36^\circ, 65^\circ$). Gambar 6(b). menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada $\alpha = 15^\circ$ untuk berbagai sudut irisan silinder. Pada silinder 1 ($\theta_s = 36^\circ$ dan 51° , nampak koefisien *base pressure* (C_{pb}) berhimpit (sama) pada nilai ($C_{pb} = -1,00$) sedangkan pada silinder 2 koefisien *base pressure* (C_{pb}) antara silinder (θ_s) 36° dan 65° berhimpit.Untuk $\theta_s = 61^\circ$, nampak letak titik separasi di sisi celah silinder 1 lebih mundur kebelakang dibandingkan separasi bagian celah silinder 1 untuk sudut iris silinder ($\theta_s = 36^\circ$ dan 51°). Namun tidak pada silinder 2 pada sisi celah bagian dalam separasi massive terjadi lebih awal dibandingkan pada sudut pengirisan ($\theta_s = 36^\circ$ dan 51° . Gambar 6. (b) terlihat pola distribusi tekanan yang sama pada semua sudut pengirisan baik pada silinder 1 dan silinder 2.

3.2. Profil Kecepatan Aliran di Daerah Wake

Profil kecepatan dibelakang silinder diukur pada posisi $x/D = 4$ dari pusat silinder. Pada posisi tersebut aliran dibelakang diasumsikan parallel, hal ini diperkuat dari hasil penelitian **Zdrakovich [1984]** dan **Law dan Ko (2001)**. Pada Gambar 7, ditunjukkan profil kecepatan aliran (u/U_{max}) di daerah wake (*downstream* dari silinder 1 dan silinder 2), pada silinder tegak teriris (tipe-D) dengan sudut iris (θ_s) = 36° ; 51° ; 61° pada jarak transversal (T/D) = 1,5 dengan variasi sudut pemakanan (α) = 0° ; 15° ; 30° ; 45° dan 90° . Pengukuran profil kecepatan ini dimaksudkan untuk lebih meyakinkan keberadaan fenomena *biased flow* sebagaimana yang ditunjukkan oleh pengukuran *mean pressure coefficient* (C_p) pada penjelasan di atas. Gambar 7 (a),(b) dan (c) menunjukkan profil wake pada beberapa sudut pengirisan dan sudut pemakanan pada $T/D = 2$. Dari gambar tersebut mengindikasikan *biased flow* ditunjukkan dari *wake* yang tidak simetris dan aliran cenderung terdefleksi keatas. Sedangkan semakin besar jarak antara silinder ($T/D = 5$) fenomena bias flow sudah menghilang yang ditandai dengan *wake* yang terjadi simetris seperti ditunjukkan pada gambar 7 (d).



Gambar 7. Profil Kecepatan Aliran (u/U_{max}) Dua Silinder dengan Susunan Side-by-Side ($T/D = 2$).

4. Penutup

Dari hasil diskusi diatas, dapat dicatat bahwa beberapa hal penting sebagai berikut :

- Pada $\alpha = 0^\circ$ dan $T/D = 1,5$ terjadi *biased flow*, dimana terbentuk *wide-wake* dan *near-wake* di belakang kedua silinder. Ini menunjukkan adanya interaksi yang kuat antara kedua silinder.
- Untuk silinder dengan sudut iris $\theta_s = 51^\circ$ yang disusun secara *side-by-side* pada $T/D > 1,5$ dan $\alpha = 0^\circ$, menunjukkan kecenderungan terbentuknya separasi *bubble* di kedua sisi kedua silinder, sehingga mengakibatkan lebar *wake* yang lebih sempit.

- Dengan sudut pemakanan α yang semakin besar, terjadi kecenderungan terbentuknya separasi masif di ujung irisan luar.

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]. Igarashi, T., 1984, "Characteristic of Flow Around Two Circular Cylinder Arranged in Tandem (2nd report)", *Bulletin of the JSME* 27, 2380-2387.
- [4]. Mahmud Alam, Md., 2003, "Fluctuating fluid forces acting on two circular cylinders in a tandem arrangement at a subcritical Reynolds Number", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91, 139-154
- [5]. Norberg, C.,(2001), "Flow Around a Circular Cylinder: Aspects of Fluctuating lift", *Journal of Fluids and Structures*, **15**, pp. 459-469.
- [6]. Summmer, D., Wong, S.S.T., Price S.J., Paidoussis, M.P., 1999, "Fluid Behaviour of Side-by-Side Circular Cylinder in Steady Cross – Flow", *Journal of Fluids Structures* 13, 309-338
- [7]. Tina & Triyogi., 2001, "Studi eksperimental karakteristik boundary layer pada silinder teriris", *Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin* , FTI, ITS
- [8]. 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.
- [9]. Zdravkovich M.M., 1984, "Classification of Flow-Induced Oscillations of Two Parallel Circular Cylinders in Various Arrangement", *International Symposium on Flow-Induced Vibration*, Vol.2, ASME, pp.1-18
- [10]. Zdravkovich M.M., 1982, "Flow-Induced Oscillations of Two Interfering Circular Cylinders", Int. Conf. On Flow-Induced Vibrations in Fluid Engineering", *Reading England*, Sept.14-16,1982, Paper No.D2
- [11]. Zdravkovich M.M., 1988, "Review of Interference – Induced Oscillations in Flow Past Two Parallel Circular Cylinders in Various Arrangements," *Journal Wind Eng. Ind. Aerodynamic*, 28, pp. 183-200