

**M6-022 SIMULASI NUMERIK ALIRAN MELINTASI DUA SILINDER TERIRIS  
TERSUSUN TANDEM DENGAN PENGARUH SIDE WALL DENGAN BERBAGAI  
JARAK GAP**

**Wawan Aries Widodo, Triyogi Yuwono, Heru Mirmanto**

Laboratorium Mekanika dan Mesin Fluida

Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS

Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

Telp. (031)5946230; Fax. (031) 5946230 email : [triyogi@me.its.ac.id](mailto:triyogi@me.its.ac.id)

**ABSTRAK**

*Simulasi numerik tentang interaksi aliran pada dua buah silinder sirkular dan dua buah silinder tipe I-65<sup>0</sup> yang masing-masing dari kedua bentuk silinder tersebut tersusun tandem dengan jarak longitudinal ( $L/D$ ) = 1,5, dan dipengaruhi oleh efek dinding (side-wall effect) dengan jarak gap ( $G/D$ ) = 0,067; 0,133; 0,2; 0,267, diteliti dengan menggunakan CFD solver FLUENT 6.2. Informasi yang diperoleh dari hasil post-processing simulasi numerik berupa data kuantitatif seperti distribusi tekanan ( $C_p$ ) kedua silinder sirkular dan dinding (side-wall), serta profil kecepatan di daerah wake downstream silinder sirkular, maupun visualisasi aliran berupa kontur kecepatan velocity pathline, dan vektor kecepatan. Interaksi aliran antara silinder sirkular dengan dinding (side-wall), memberikan informasi pengaruh blockage pada celah sempit yaitu sisi silinder bagian bawah (lower-side) dengan dinding tersebut, serta momentum aliran yang cenderung menghindari celah sempit tersebut dan terdefleksi pada sisi upper-side silinder sirkular. Seluruh simulasi numerik dilakukan pada bilangan Reynolds ( $Re_D$ )  $5,3 \times 10^4$  didasarkan pada diameter silinder.*

*Kata kunci : interaksi fluida, silinder sirkular, silinder tipe I-65<sup>0</sup>, susunan tandem, efek dinding*

**1. Pendahuluan**

Berbagai aplikasi engineering, yang berkaitan dengan bangunan atau struktur seringkali didirikan berkelompok atau dalam susunan tertentu. Beban angin (wind load) pada suatu struktur menjadi salah satu faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam desain. Seperti kita ketahui bersama bahwa beban angin pada suatu struktur yang berkelompok memiliki karakteristik berbeda dengan struktur tunggal dengan bentuk sama. Karena interferensi gabungan dari aliran di sekeliling struktur yang berkelompok menunjukkan berbagai fenomena yang menarik dan tak terduga. Hal inilah yang menjadi ketertarikan para insinyur dan peneliti dewasa ini. Silinder sirkular adalah salah satu bentuk yang sangat populer digunakan pada rekayasa struktur.

Berbagai aplikasi dari silinder sirkular yang membentuk susunan atau kelompok tertentu seperti susunan tandem, side-by-side, staggered, atau square arrays dan lain-lain, banyak digunakan dalam aplikasi rekayasa mekanikal 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 melintasi silinder sirkular yang dipengaruhi oleh dinding (side wall effect), dengan berbagai jarak gap, diteliti secara eksperimental untuk mendapatkan berbagai data kuantitatif dalam time-averaged value maupun fluctuating value (distribusi tekanan, profil kecepatan, intensitas turbulensi, Strouhal number, gaya hambat, dan gaya lift) dan kualitatif (visualisasi aliran dengan smoke flow, hydrogen bubble, particle image velocimetry (PIV)), antara lain oleh Zdravkovich [9], Lei, dkk. [6], Choi, dkk. [3], Price, dkk. [7], Wang dan Tan [8]. Penelitian dengan topik yang sama dielaborasi oleh Nishino, dkk. [4] dengan simulasi numerik menggunakan CFD solver FLUENT 6 dengan pendekatan unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes (U-RANS) dan detached-eddy simulations (DES).

Interaksi aliran antara silinder sirkular dengan dinding (side-wall), memberikan informasi pengaruh blockage pada celah sempit yaitu sisi silinder bagian bawah (lower-side) dengan dinding tersebut, serta momentum aliran yang cenderung menghindari celah sempit tersebut dan terdefleksi pada sisi upper-side silinder sirkular, yang secara kuantitatif maupun kualitatif dinformasikan secara detail oleh berbagai penelitian tersebut di atas.

Penelitian tentang interaksi aliran fluida dengan dua buah silinder sirkular yang tersusun secara tandem dengan berbagai variasi jarak longitudinal yang ditempatkan pada centerline wind tunnel telah diteliti secara eksperimental oleh Zdravkovich [10] dan Alam, et.al [2], dan dari kedua penelitian tersebut dihasilkan informasi penting khususnya tentang gaya hambat (drag) pada kedua silinder sirkular yang tersusun secara tandem.

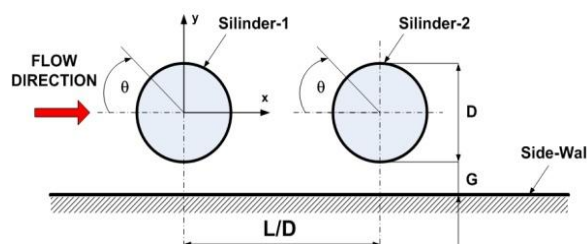
Penelitian lain yang dilakukan dalam upaya untuk mereduksi gaya hambat pada bluff body tunggal, dengan bentuk dasar silinder sirkular yang kemudian dilakukan modifikasi geometri dengan memotong sisi depan saja yang dikenal dengan silinder tipe-D dan dipotong sisi depan dan belakang sekaligus yang dikenal dengan silinder tipe-I, dilakukan secara eksperimental oleh Aiba dan Watanabe [1] serta Igarashi dan Shiba [5].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut di atas, interaksi aliran fluida dengan dua buah silinder sirkular dan dua buah silinder tipe I-65<sup>0</sup>, masing-masing tersusun tandem dengan berbagai variasi jarak longitudinal dan dipengaruhi oleh dinding (side-wall) menjadi bahasan dalam makalah ini. Simulasi numerik dengan menggunakan CFD solver Fluent 6.2 diharapkan dapat menjelaskan fenomena interaksi aliran yang terjadi pada dua bentuk bluff body yang tersusun tandem (silinder sirkular dan silinder tipe I-65<sup>0</sup>), baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Beberapa hal yang penting di dalam melakukan simulasi numerik, terutama yang dikaitkan dengan ketidakpastian dalam simulasi numerik disampaikan oleh Freitas [4], dimana untuk aliran turbulen secara umum sangat dipengaruhi oleh turbulence modelling yang digunakan, seperti RANS, U-RANS, LES, DES, kondisi batas dan kondisi awal (boundary and initial condition), serta bentuk dan kerapatan dari grid atau meshing terutama dekat solid surface, harus menjadi perhatian utama untuk menghasilkan kesesuaian fisis dengan berbagai

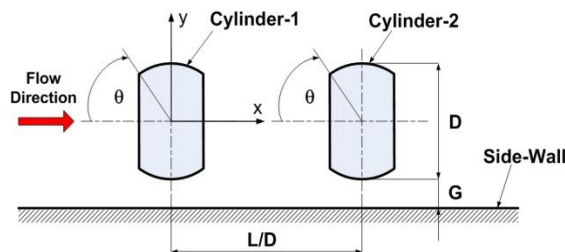
fenomena yang ditunjukkan pada penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan secara eksperimental.

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik CFD solver FLUENT 6.2 untuk mengkaji interaksi aliran yang melintasi dua bentuk silinder (silinder sirkular dan silinder tipe I-65<sup>0</sup>) yang masing-masing tersusun tandem dengan jarak longitudinal ( $L/D$ ) = 1,5, serta dipengaruhi oleh side wall dengan variasi jarak gap ( $G/D$ ) = 0,067; 0,133; 0,2 ; 0,267, yang semakin menjauhi dinding (side-wall), sebagaimana skema yang ditunjukkan pada gambar 1(a) dan (b).



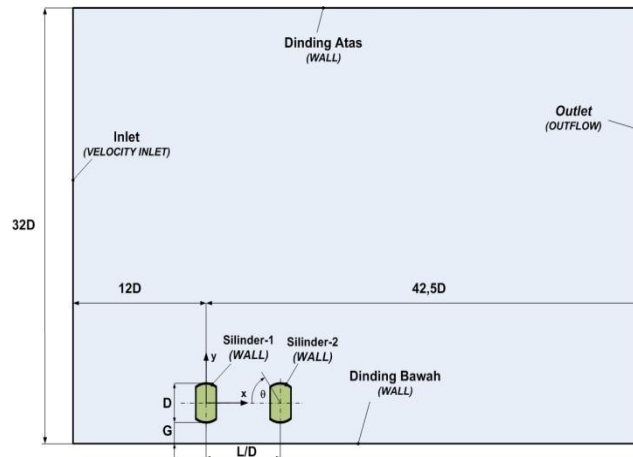
(a)



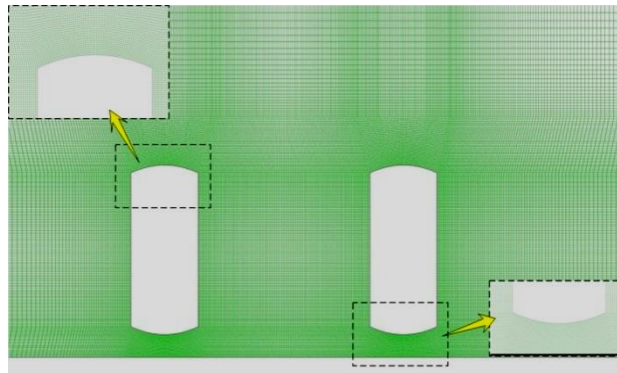
(b)

Gambar 1. Skematik dua buah silinder tandem dengan pengaruh dinding (side-wall effect) (a) Silinder Sirkular; (b) Silinder tipe I-65<sup>0</sup>.

Domain dari simulasi numerik dari kedua silinder serta bentuk meshing 2D-quadrilateral-map, yang digunakan ditunjukkan masing-masing pada gambar 2(a) dan (b). Pada sisi inlet diinput-kan uniform velocity inlet dan pada sisi outlet adalah outflow. Simulasi dijalankan dengan bilangan Reynolds ( $Re_D$ ) =  $5,3 \times 10^4$ , didasarkan pada diameter silinder. Simulasi numerik tersebut menggunakan pendekatan 2D-steady flow dan turbulence modeling Reynolds Stress Models (RSM).



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Domain dari simulasi numerik; (b) bentuk meshing adalah dua dimensi (2D) - quadrilateral-map.

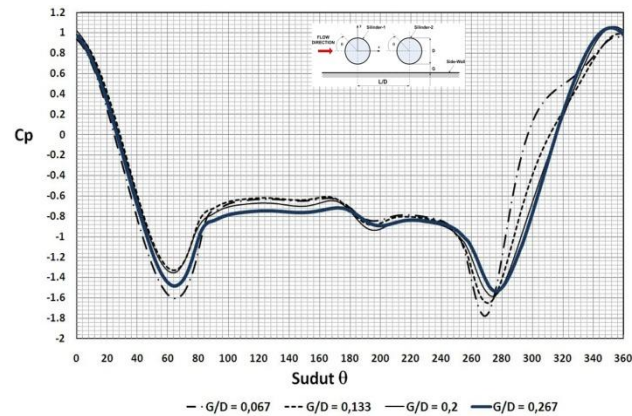
Hasil post-processing dari simulasi numerik dengan CFD solver FLUENT 6.2, yaitu berupa data kuantitatif dan kualitatif. Koefisien distribusi tekanan ( $C_p$ ) pada kontur permukaan kedua silinder (silinder sirkular dan silinder tipe I-65<sup>0</sup>), serta pada dinding bawah (side-wall) adalah data kuantitatif, sedangkan visualisasi aliran berupa velocity pathline, kontur kecepatan, dan kontur intensitas turbulensi merupakan data kualitatif. Kedua data tersebut akan saling melengkapi fenomena interaksi aliran pada yang menuju sisi upper side maupun lower side silinder 1 dan silinder 2, serta aliran pada daerah wake kedua silinder tersebut.

### 3. Hasil dan Pembahasan

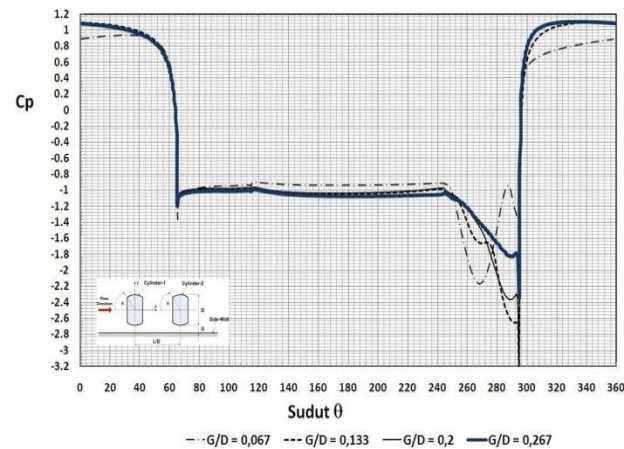
Interaksi aliran fluida yang dikarakteristikan dengan distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada kontur permukaan dua buah silinder sirkular maupun dua buah silinder tipe I-65<sup>0</sup>, maupun kontur permukaan dinding (side-wall), ditampilkan dalam gambar 3, 4, 5, dan 6. Koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada kontur permukaan sebagaimana tersebut di atas merupakan formulasi dengan mengolah hasil post-processing simulasi numerik dengan CFD solver FLUENT 6.2 yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_p = (p_c - p_\infty) / \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 \quad (1)$$

dimana  $p_c$  adalah tekanan pada kontur silinder sirkular atau kontur permukaan dinding,  $p_\infty$  adalah tekanan statis pada free-stream, dan  $\frac{1}{2} \rho U_\infty^2$  adalah tekanan dinamik pada free-stream. Selanjutnya ditampilkan pula data kualitatif dari hasil post-processing simulasi numerik yang berupa visualisasi aliran dalam bentuk velocity pathline dan velocity vector ditampilkan dalam gambar 7 dan 8, yang digunakan untuk melengkapi informasi tentang interaksi antara dua buah silinder sirkular maupun dua buah silinder tipe I-65<sup>0</sup> yang tersusun tandem yang dilewati aliran fluida pada upper-side maupun lower side kontur permukaan silinder tersebut.



(a)



(b)

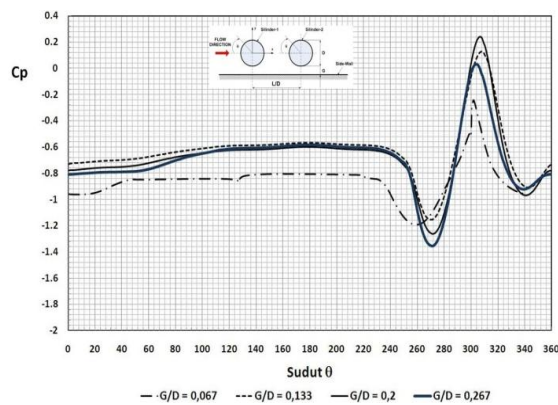
Gambar 3. Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) silinder-1

(a) silinder sirkular ; (b) silinder tipe I-65<sup>0</sup>

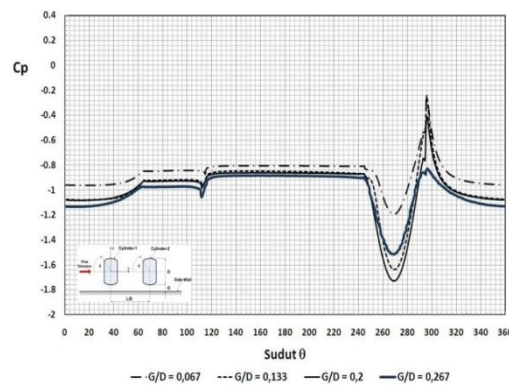
Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada silinder-1, pada gambar 3(a) maupun 3 (b), menunjukkan bahwa aliran cenderung memilih untuk menghindari hambatan pada sisi celah, meskipun akselerasi pada lower side silinder-1 pada berbagai variasi jarak gap ( $G/D$ ) jauh lebih tinggi, terutama ditunjukkan pada silinder tipe I-65<sup>0</sup>, yaitu pada upper side silinder tipe I-65<sup>0</sup> (silinder-1), dimana momentum aliran fluida yang sebagian besar terdefleksi langsung terparasi masif pada ujung pemotongan dan momentum fluida pada sisi free-stream tidak

mampu mendorong fluida untuk attach pada kontur permukaan lengkung silinder tipe I-65<sup>0</sup>, namun sebaliknya pada lower side silinder tipe I-65<sup>0</sup> momentum aliran yang terdefleksi pada sisi celah lebih lemah, sedangkan momentum aliran dari free-stream yang memasuki sisi celah sangat tinggi, hal ini menyebabkan momentum fluida yang terdefleksi pada sisi celah attach kembali pada kontur permukaan (lower side). Fenomena interaksi aliran fluida pada silinder-1, pada silinder sirkular sangatlah berbeda jika dibandingkan dengan silinder tipe I-65<sup>0</sup>, adalah dari efek blockage yang jauh lebih kuat, ketika momentum fluida melalui sisi celah lebih ditunjukkan oleh silinder tipe I-65<sup>0</sup>.

Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Alam, dkk [2003], yang menyatakan bahwa pada jarak longitudinal hingga  $L/D < 1,5$ , fenomena shear layer yang terseparasi dari silinder-1 yang kemudian mengenai silinder-2 dan terdefleksi kembali ke depan dan mengenai kembali sisi belakang silinder-1, yang disebut sebagai forward shear layer, terjadi pada seluruh jarak gap ( $G/D$ ) pada silinder sirkular tersusun tandem, hal tersebut ditunjukkan pada gambar 3(a) di kisaran sudut  $170^0 < \theta < 200^0$ .



(a)



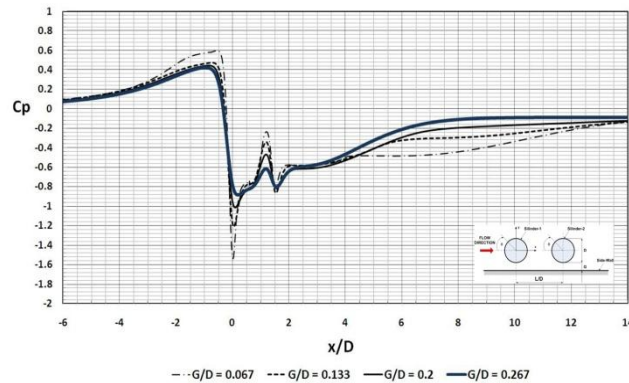
(b)

Gambar 4. Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) silinder-2

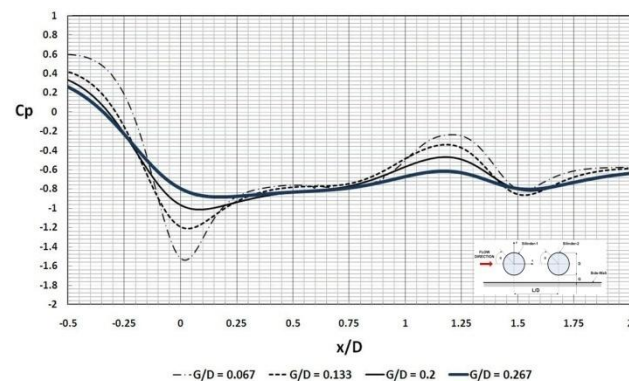
(a) silinder sirkular ; (b) silinder tipe I-65<sup>0</sup>.



Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ), pada silinder-2, baik pada silinder sirkular maupun silinder tipe I-65<sup>0</sup>, sebagaimana ditunjukkan gambar 4(a) dan (b), pada jarak longitudinal ( $L/D$ ) yang sempit ( $L/D=1,5$ ), dengan seluruh jarak gap ( $G/D$ ) menunjukkan bahwa momentum fluida yang terseparasi masif dari silinder-1 menimbulkan wake yang melingkupi kontur permukaan silinder-2, sehingga tekanan pada kontur permukaan silinder -2 hampir semuanya berharga negatif. Keberadaan puncak (peak) pada distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada sisi celah silinder -2, kisaran sudut  $300^0 < \theta < 320^0$  untuk silinder sirkular, dan kisaran sudut  $280^0 < \theta < 300^0$  untuk silinder tipe I-65<sup>0</sup>, mengindikasikan adanya reattachment pada kontur permukaan sisi celah silinder-2 dari shear layer yang terseparasi dari silinder-1.



(a)



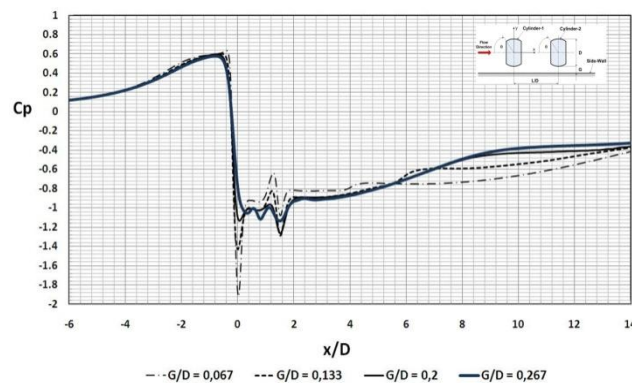
(b)

Gambar 5. Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) (a) sepanjang kontur permukaan dinding (side-wall); (b) tepat di bawah kedua silinder sirkular.

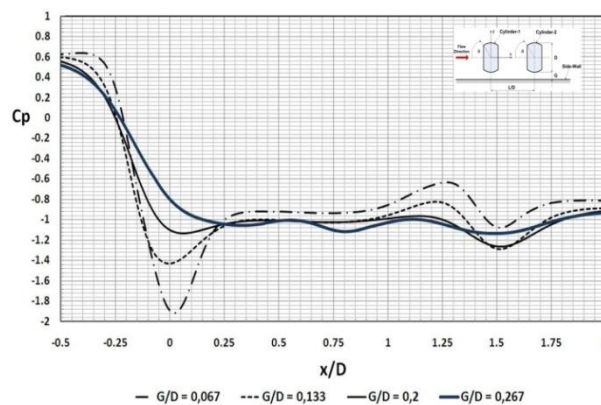
Evolusi tekanan pada permukaan dinding (side-wall) yang didekatkan dua silinder sirkular tandem ( $L/D=1,5$ ) dengan berbagai jarak gap ditunjukkan pada gambar 5(a) dan(b), sedangkan didekatkan dengan dua silinder tipe I-65<sup>0</sup> tandem ditunjukkan pada gambar 6(a) dan (b). Puncak-puncak (peak) dari distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) mengindikasikan deselerasi maksimum sesaat momentum fluida akan memasuki sisi celah silinder-1 maupun silinder-2, terutama ditunjukkan pada  $G/D=0.067$  (celah tersempit). Kondisi tersebut menunjuk-

bahwa blockage effect yang sangat besar menjadikan sebagian besar momentum fluida terdefleksi pada sisi upper (upper-side) kedua silinder.

Akselerasi maksimum pada sisi celah silinder-1 (silinder sirkular maupun silinder tipe I-65<sup>0</sup>) berturut-turut ditunjukkan dengan gap terkecil hingga terbesar. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah harga akselerasi maksimum terjadi tidak pada celah tersempit antara silinder sirkular dengan side-wall ( $x/D=0$ ), namun sedikit bergeser ke kanan atau dengan kata lain vena contracta terjadi tidak pada  $x/D=0$ . Bertambahnya jarak gap ( $G/D$ ) menjadikan akselerasi maksimum pada sisi celah pada silinder-1 maupun silinder-2 tidak berbeda jauh, hal tersebut nampak pada jarak gap  $G/D=0,267$  (ditunjukkan pada gambar 5(b) dan (6(b))), hal tersebut berarti blockage effect sudah mulai bekurang.



(a)



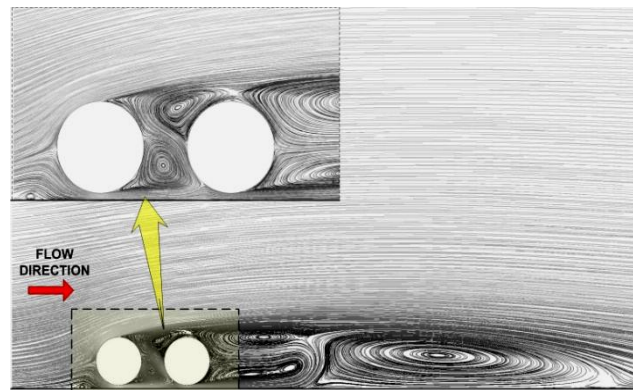
(b)

Gambar 6. Distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) (a) sepanjang kontur permukaan dinding (side-wall); (b) tepat di bawah kedua silinder tipe I-65<sup>0</sup>.

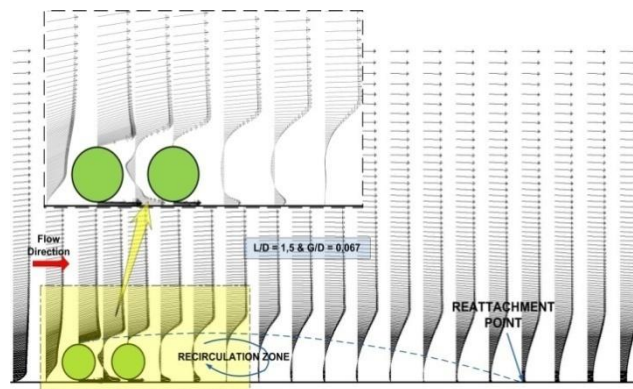
Setelah momentum aliran meninggalkan sisi celah, proses pressure recovery dari tekanan pada kontur permukaan (side-wall) terjadi sekitar  $x/D=8$  pada jarak gap ( $G/D$ ) = 0,2 dan 0,267, namun pada jarak gap yang lebih sempit ( $G/D$ ) = 0,067 dan 0,133 proses pressure recovery terjadi lebih jauh hingga  $x/D = 14$  untuk susunan silinder sirkular tandem (gambar 5(a)), sedangkan pada silinder tipe I-65<sup>0</sup> (gambar 6(a)), proses pressure recovery untuk jarak ( $G/D$ ) = 0,2 dan 0,267 terjadi hingga  $x/D=10$ , sedangkan pada jarak gap ( $G/D$ ) = 0,067 dan 0,133



proses pressure recovery terjadi pada  $x/D=14$ . Semakin jauh letak proses pressure recovery tekanan pada kontur permukaan plat datar (side-wall) mengindikasikan bahwa zona resirkulasi pada gap yang sempit cukup panjang, sehingga reattachment terjadi hingga pada posisi  $x/D=14$ .



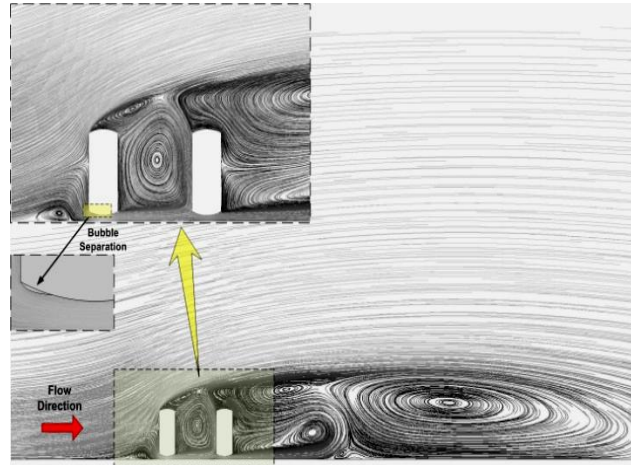
(a)



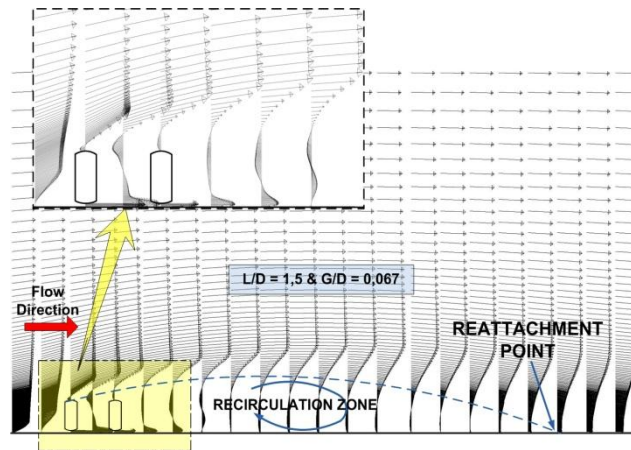
(b)

Gambar 7. Visualisasi aliran dua silinder sirkular tersusun tandem  $L/D = 1,5$  dan  $G/D = 0,067$   
(a) velocity pathline (b) velocity vector

Berbagai harga kuantitatif yang ditunjukkan pada gambar 3, 4, 5 dan 6, diperkuat dengan informasi hasil post-processing berupa visualisasi aliran velocity pathline maupun velocity vector, yang ditunjukkan dengan gambar 7(a) dan (b) untuk silinder sirkular dengan susunan tandem, serta gambar 8(a) dan (b) untuk silinder tipe I-65<sup>0</sup> dengan susunan tandem, keduanya untuk konfigurasi jarak longitudinal dan jarak gap  $L/D=1,5$  dan  $G/D=0,067$ .



(a)



(b)

Gambar 8. Visualisasi aliran dua silinder tipe I-65<sup>0</sup> tersusun tandem  $L/D=1,5$  dan  $G/D = 0,067$   
(a) velocity pathline (b) velocity vector

Berdasarkan visualisasi aliran tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan interaksi aliran fluida dengan dua buah bentuk silinder yang tersusun tandem (sirkular dan silinder tipe I-65<sup>0</sup>) dengan pengaruh plat datar (side-wall), terlihat dari velocity pathline (gambar 7(a) dan 8(a)) bahwa pada longitudinal gap ( $L/D$ ) = 1,5 shear layer yang terseparasi dari silinder-1 melingkupi silinder-2, terbentuknya aliran sekunder yang terbentuk di depan silinder-1 yang mengindikasikan kuatnya blockage pada sisi celah, terutama ditunjukkan oleh silinder tipe I-65<sup>0</sup>, sehingga sebagian besar momentum fluida memilih hambatan yang terkecil untuk menjauhi sisi celah, kondisi tersebut menyebabkan terjadinya separasi bubble pada lower-side silinder tipe I-65<sup>0</sup>, akibat lemahnya momentum fluida yang terdefleksi di sisi celah yang didorong oleh momentum free-stream untuk attach pada kontur permukaan lengkung silinder tipe I-65<sup>0</sup>.

Visualisasi aliran velocity vector untuk menjelaskan evolusi kecepatan fluida yang melintasi kedua bentuk silinder tersebut, sebelum melalui kedua silinder, diantara kedua silinder, hingga melewati kedua silinder tersebut, backflow yang muncul diantara kedua

silinder, maupun setelah melewati kedua silinder tersebut, dapat digunakan untuk memperkuat informasi data kuantitatif yang ditunjukkan gambar 5(a) dan 6(a), mengenai letak terjadinya proses pressure recovery yaitu setelah aliran melewati daerah resirkulasi (recirculation zone) hingga mengalami proses reattachment.

## 4. Kesimpulan

Bedasarkan informasi yang dihasilkan baik dari data kuantitatif (distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ )), maupun visualisasi aliran dari hasil post-processing simulasi numerik dengan pemodelan turbulen 2D-steady Reynolds Stress Model (RSM) dua buah silinder tersusun tandem masing-masing berbentuk silinder sirkular dan silinder tipe I-65<sup>0</sup> dengan pengaruh dinding (side-wall), dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Jarak gap yang sempit ( $G/D$ ) menjadikan momentum fluida lebih cenderung menghindari sisi celah sempit antara silinder dengan dinding (side-wall), terutama ditunjukkan pada silinder tipe I-65<sup>0</sup>.
2. Blockage effect yang kuat diakibatkan oleh jarak gap kecil ( $G/D=0,067$ ), menjadikan akselerasi makin kuat ketika melewati silinder-1, namun akselerasi melemah ketika melewati silinder-2.
3. Proses pressure recovery setelah momentum fluida melewati kedua silinder terjadi setelah melewati recirculation zone, untuk  $G/D=0,067$  dan  $0,133$  terjadi hingga  $x/D=14$ , dan untuk  $G/D=0,2$  dan  $0,267$  proses recovery terjadi hingga  $x/D=10$ .

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada DP2M Ditjend Dikti yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Strategis Nasional 2009.

## Daftar Pustaka

1. Aiba, S. dan Watanabe, H., 1997, **Flow Characteristics of a Bluff Body Cut From a Circular Cylinder**, *Journal of Fluids Engineering*, volume 119, 453-457.
2. Alam, M.M., Moriya, M., Takai, K., Sakamoto, H., 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* Volume 91, pp.139-154.
3. Choi, J.H. and Lee, S.J, 2000, **Ground Effect of Flow Around an Elliptic Cylinder in a Turbulent Boundary Layer**, *Journal of Fluids and Structures*, volume 14, 697-709.
4. Freitas, J.C, (1999), The Issue of Numerical Uncertainty, 2<sup>nd</sup> International Conference on CFD in the Minerals and Process Industry.
5. Igarashi, T., dan Shiba, Y., 2006, **Drag Reduction for D-shape and I-shape Cylinder**, *JSME International Journal, Seri B*, Volume 49, No. 4.

6. Lei, C., Cheng, L., Kavanagh, K., 1999. Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, *Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics*, Volume 80, 263–286.
7. Price, S.J., Sumner, D., Smith, J.G., Leong, K., and Paidoussis, M.P., 2002, **Flow Visualization around a Circular Cylinder Near To a Plane Wall**, *Journal of Fluids and Structures*, Volume 16 (2), 175-191.
8. Wang, X.K., Tan, S.K., 2008, **Near-wake flow characteristics of a circular cylinder close to a wall**, *Journal of Fluids and Structures* Volume 24, Issue 5, Pages 605-627.
9. Zdravkovich, M.M, 1985, **Forces on a Circular Cylinder Near a Plane Wall**, *Applied Ocean Research*, Vol 7, No.4, University of Salford, Salford-UK.
10. Zdravkovich, M.M, 1987, **The Effects of Interference Between Circular Cylinders in Cross Flow**, *Journal of Fluids and Structures*, vol. 1, 239-261
11. Nishino, T., Roberts, G.T., X. Zhang, X., 2008, **Unsteady RANS and detached-eddy simulations of flow around a circular cylinder in ground effect**, *Journal of Fluids and Structures* 24, pp. 18–33