



Artikel Penelitian

Reduksi Gaya Drag Silinder Sirkular dengan Penambahan Square Disturbance Body Melalui Simulasi Numerik 2D Unsteady-RANS pada Reynolds Number 34800

Rina¹, Ruzita Sumiati² Adriansyah²¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Dharma Andalas, Jl. Sawahan No. 103A, Padang, Indonesia² Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Kampus Limau Manis, Padang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 06 Agustus 2018

Revisi Akhir: 24 September 2018

Diterbitkan Online: 29 Oktober 2018

KATA KUNCI

circular cylinder

square disturbance body

drag pressure coefficient

drag force

turbulent flow

KORESPONDENSI

E-mail: rina.mesin@gmail.com

A B S T R A C T

Circular cylinder has a strong adverse pressure gradient. When a fluid flows around the circular cylinder, it will produce aerodynamics force. One of them is the drag force which strong enough. Hence, control of flow need to reduce the drag force with placed a disturbance body on the upstream side. The purpose of this study is to compare and complement the experimental research of drag reduction that has been done before. The aerodynamics characteristics of the disturbance body and cylinder are modelled in two dimensions Unsteady-RANS by using fluent with turbulent flow. It is found that the mean drag and the lift fluctuation of the cylinder can be reduced by the upstream disturbance body with the $s/D = 0.107$ (here s and D are side length of the disturbance body and the diameter of cylinder, respectively). The position of the disturbance body is varied at (α) 20° , 30° , 40° , 50° and 60° with a gap distance ($\delta = 0.4\text{mm}$). Reynolds number based on cylinder diameter $Re_D = 3.48 \times 10^4$. Fluid interaction between circular cylinder with two disturbance body can increase boundary layer transition from laminer to turbulent to produce small drag. It is found that the characteristics of the flow significantly depend on the position of disturbance body. The optimum condition for the drag force reduction is at the angle $\alpha = 30^\circ$ about 53 %.

1. PENDAHULUAN

Karakteristik aliran di sekitar *bluff body* bisa dianalisa melalui filosofi *boundary layer*. Diketahui bahwa *boundary layer* sangat berkontribusi dalam pengurangan gaya *drag* di sekitar body yang dilalui fluida karena adanya pengaruh tegangan geser. Tegangan geser pada permukaan body dipengaruhi oleh distribusi tekanan yang terjadi pada kontur body, dimana karakteristik distribusi tekanan ini dipengaruhi oleh geometri body.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada aliran yang melintasi *bluff body*, baik itu untuk kepentingan akademik maupun industri. Pengurangan drag dilakukan dengan cara memanipulasi atau mengontrol medan aliran. Penelitian terkait ini sangat besar perannya dalam hal kemajuan teknologi, karena dengan berkurangnya gaya *drag* maka bahan bangunan akan dapat diselamatkan. Bentuk *geometri body* yang sering digunakan adalah berbentuk *circular cylinder*. Gerakan fluida yang melewati *circular*

cylinder banyak kita lihat aplikasinya pada struktur bangunan-bangunan yang menggunakan bentuk-bentuk dasar *bluff body* seperti jembatan, cerobong asap, sistem perpipaan, cooling tower, tiang, struktur penyangga anjungan lepas pantai, dan lain sebagainya.

Kita ketahui bahwa, bentuk *bluff body circular cylinder* memiliki kelengkungan kontur permukaan dengan karakteristik *Adverse Pressure Gradient* (APG) yang kuat karena dominan dipengaruhi oleh *pressure drag* yang disebabkan oleh tekanan aliran pada permukaan body. Gradient tekanan yang terjadi pada permukaan body ini sangat besar sehingga mengakibatkan transisi lapis batas laminar menjadi turbulen akan lebih cepat terjadi.

Penelitian yang telah dilakukan dalam usaha pengurangan gaya *drag* dengan penambahan body pengganggu (*upstream disturbance body*) yang disusun secara tandem telah dilakukan oleh Tsutsui dan Igarashi [1], Lee, dkk [2], dan Zhang [3]. Mereka melakukan penelitian dengan bervariasi rasio jarak longitudinal antara *upstream disturbance body* dengan silinder sirkular utama (L/D), rasio diameter *upstream disturbance body* dengan diameter silinder sirkular utama (d/D) dan *Reynolds number*. *Boundary layer* yang terpecah dari kontur permukaan *disturbance body* akan membentuk *free shear layer* yang menghasilkan *discrete vortices* dan mengenai permukaan depan sirkular silinder utama. *boundary layer* pada silinder utama berinteraksi dengan *Free shear layer*. Hal ini menyebabkan transisi lapis batas laminar menjadi turbulen pada silinder utama akan lebih cepat terjadi sehingga separasi masif tertunda ke belakang, akibatnya gaya *drag* dapat direduksi.

Model konfigurasi *bluff body* yang disusun secara tandem juga digunakan oleh Daloglu [4] dalam penelitiannya. Dia menggunakan *square cylinder* yang ditempatkan pada sisi upstream dan *circular cylinder* pada sisi downstream. Variasi yang dilakukan adalah besarnya diameter sirkular silinder ($D=d$, $D=2d$, $D=3d$), dan rasio jarak longitudinal antara *square cylinder* pada sisi upstream dengan *circular cylinder* terhadap

diameter *circular cylinder* (S/d). Hasil penelitiannya menjelaskan bahwa variasi jarak antar silinder memberikan pengaruh terhadap reduksi gaya *drag*, yaitu pada ratio jarak 1-1,5. Informasi lain yang dapat dilihat adalah *square cylinder* mempunyai nilai *pressure drop* lebih besar dari pada nilai *circular cylinder*.

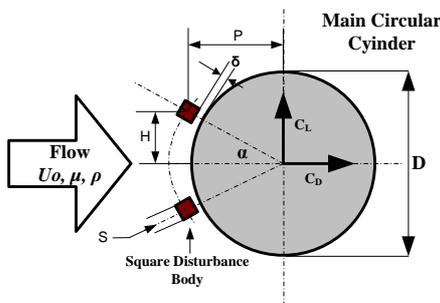
Alam, dkk [5] dan Putra [6], menggunakan 2 buah body pengganggu masing-masing *circular cylinder* dan *square cylinder*, dengan variasi sudut pengganggu tertentu. Penelitian mereka menyebutkan bahwa penambahan body pengganggu pada sisi *upstream* silinder utama pada sudut tertentu memberikan pengaruh terhadap pengurangan gaya *drag*. Nilai optimum dalam pencapaian pengurangan gaya *drag* adalah pada sudut $\alpha=30^\circ$. Hal ini disebabkan pada sudut tersebut separasi masif tertunda sangat signifikan, ini terjadi karena adanya *reattachment* aliran pada silinder utama akibat dari penambahan *disturbance body*. Sedangkan pada sudut $\alpha=60^\circ$ tidak memberikan kontribusi dalam pengurangan gaya *drag*, karena aliran setelah melewati silinder pengganggu langsung terpecah tanpa terdefleksi kembali ke silinder utama. Kemudian Weidman [7] dan Bell [8] meneliti pengaruh rasio dimensi *bluff body* dengan luasan saluran (*blockage effect*) terhadap kecepatan fluida dan koefisien hambatan. Kecepatan *free stream* akan meningkat karena adanya *blockage effect*. Dari hasil penelitian tersebut, mereka mengatakan bahwa semakin besar nilai *blockage effect* maka koefisien *drag* (C_d) akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena dinding *wind tunnel* mengalami peningkatan dalam kecepatan *free stream* yang disebabkan oleh *solid blockage* yang juga berpengaruh terhadap pertumbuhan *wake*.

Freitas [9] merekomendasikan beberapa hal penting dalam melakukan simulasi numerik, yaitu *turbulent modeling* seperti RANS, URANS, LES, DES, *boundary condition*, *initial condition*, bentuk dan kerapatan meshing (*grid independence*) terutama di daerah dekat dinding (*solid surface*), sehingga didapatkan hasil yang sesuai dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya.

Dari beberapa penelitian tersebut, pembahasan tentang terjadinya peningkatan intensitas turbulensi dari *free shear layer* yang terseparasi dari body pengganggu yang kemudian melekat kembali (*attach*) pada kontur silinder utama di dalam medan *free stream* belum dibahas lebih rinci, sehingga perlu dibahas lebih lanjut dengan menampilkan kontur visualisasi aliran pada simulasi numeric menggunakan *software* FLUENT 6.3.26.

2. METODOLOGI

Karakteristik aerodynamics dari silinder dan pengganggu dimodelkan secara Numerik 2D *Unsteady-RANS* menggunakan Turbulen Model *Shear-Stress-Transport (SST) k- ω* pada saluran sempit. Geometri body yang disimulasikan adalah *circular cylinder* sebagai *main bluff body* dengan diameter 37.5 mm, 2 buah *square cylinder* sebagai body pengganggu dengan panjang sisi 4 mm ($s/D=0.107$) yang ditempatkan di sisi depan *main bluff body*. Sudut body pengganggu yang digunakan adalah $\alpha=20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ dan 60° dengan jarak gap $\delta=0,4$ mm. *Reynolds Number* digunakan berdasarkan diameter silinder, yaitu 3.48×10^4 .



Gambar 1. Skema geometri silinder sirkular dengan *square disturbance body*

Hasil post-processing dari simulasi numeric dengan CFD solver FLUENT 6.3.26 menghasilkan data kuantitatif maupun kualitatif (visualisasi aliran). Koefisien tekanan adalah data kuantitatif yang merupakan pembagian dari tekanan statis dibagi dengan tekanan dinamik seperti diuraikan pada persamaan berikut:

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

dimana p_c adalah tekanan pada kontur silinder sirkular, p_∞ adalah tekanan statis pada *free-stream*, dan $\frac{1}{2} \rho U_\infty^2$ adalah tekanan dinamik pada *free-stream*.

Koefisien *pressure drag* (C_{dp}) diperoleh dengan mengintegrasikan koefisien tekanan (C_p) kontur permukaan silinder.

$$C_{dp} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta \quad (2)$$

Untuk mendapatkan harga koefisien *drag pressure* (C_{dp}) maupun koefisien *drag total* (C_{DT}) dapat diselesaikan dengan metoda numerik aturan *Simpson 1/3 segmen berganda* yang dirumuskan pada persamaan (3) berikut :

$$I \cong (b-a) \frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n} \quad (3)$$

dimana :

- $b = 2\pi$ dan $a = 0$, $f(x_0) = C_p(0) \cos(0)$ dan $f(x_n) = C_p(2\pi) \cos(2\pi)$ untuk menyelesaikan persamaan (3.3).
- $f(x_i)$ adalah perkalian dari fungsi data gasal dimana $i = 1,3,5 \dots n-1$.
- $f(x_j)$ adalah perkalian dari fungsi data genap dimana $j = 2,4,6 \dots n-2$.
- $n =$ jumlah data.

Kemudian data kualitatif berupa visualisasi aliran yaitu kontur velocity pathline dan velocity vector. Kedua hasil post processing kuantitatif dan kualitatif akan saling melengkapi untuk menjelaskan fenomena aliran pada silinder sirkular dengan penambahan *square disturbance body*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Distribusi Koefisien Tekanan dan Visualisasi Aliran

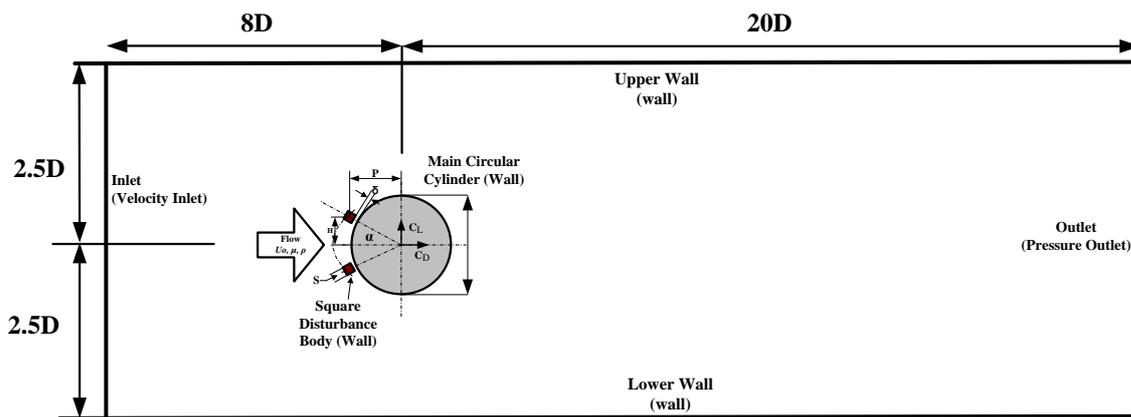
Untuk melihat perubahan yang terjadi di sepanjang kontur permukaan silinder mulai dari titik stagnasi, *bubble separation*, transisi laminar ke turbulen sampai akhirnya terseparasi massif akan dianalisa

melalui grafik koefisien tekanan yang ditunjukkan pada Gambar 4.

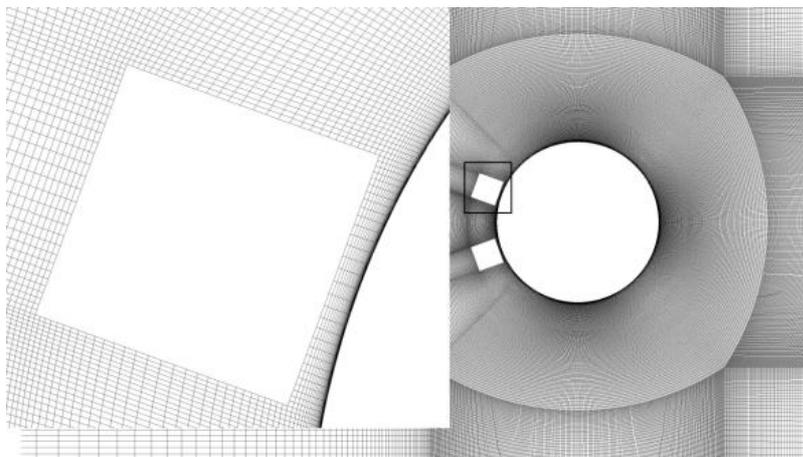
Pada Gambar 4 dilihat adanya perbedaan akselerasi maksimum yang terjadi pada setiap pergeseran sudut SDB (*Square Disturbance Body*). Semakin besar pergeseran sudut SDB, maka akan semakin meningkat *adverse pressure gradient* yang terjadi. Hal ini disebabkan karena *free shear layer* yang terseparasi dari body pengganggu (SDB) tidak lagi attach pada permukaan silinder, dikarenakan terbentuknya *bubble separation* pada permukaan body pengganggu. Hal ini mengakibatkan terjadi devisit momentum pada daerah ini sehingga tidak mampu lagi attach pada permukaan silinder utama akan tetapi langsung terseparasi massif, sehingga membentuk *stream tube* yang semakin lebar akibatnya terjadi

peningkatan *adverse pressure gradient* (Gambar 5). Hal ini mengakibatkan separasi massif terjadi lebih awal. Fenomena ini terjadi pada konfigurasi silinder dengan SDB ($\alpha = 50^\circ$ dan 60°), dengan $C_{p_{min}}$ berturut-turut sekitar -4.2 dan -5.3.

Sedangkan pada konfigurasi sudut SDB $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 30^\circ$ dan $\alpha = 40^\circ$, separasi masif terjadi lebih lambat dibandingkan dengan silinder tunggal, dimana separasi pada silinder tunggal terjadi pada sudut kontur $\theta \approx 95^\circ$. Sedangkan konfigurasi sudut SDB $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 30^\circ$ dan $\alpha = 40^\circ$ separasi masif baru terjadi berturut-turut pada sudut $\theta \approx 100^\circ$, $\theta \approx 103^\circ$ dan $\theta \approx 97^\circ$, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



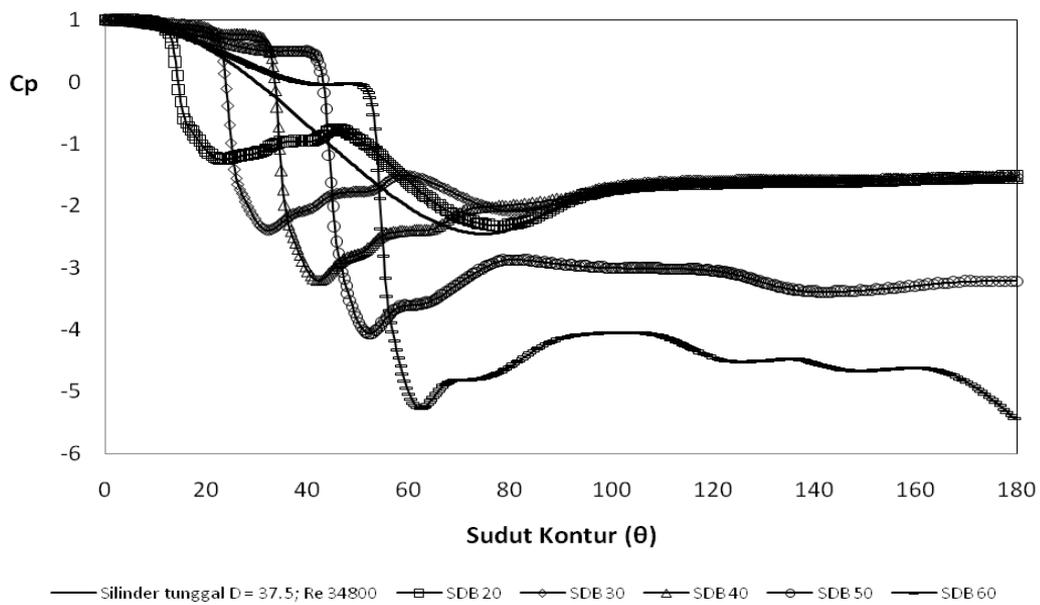
Gambar 2. Domain simulasi numerik



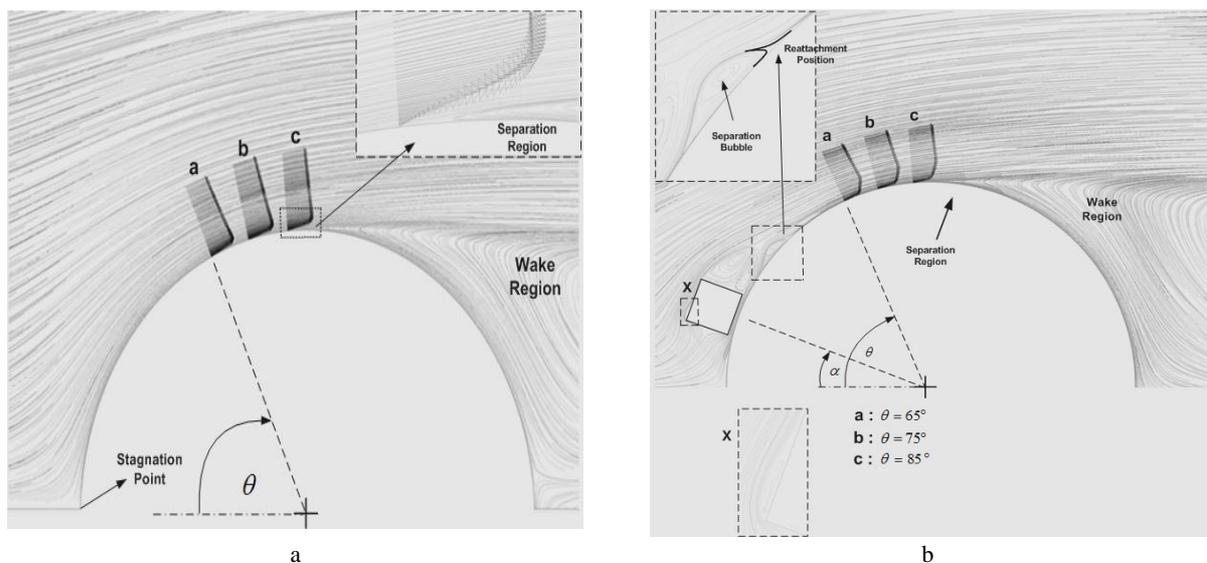
Gambar 3. Meshing quadrilateral map

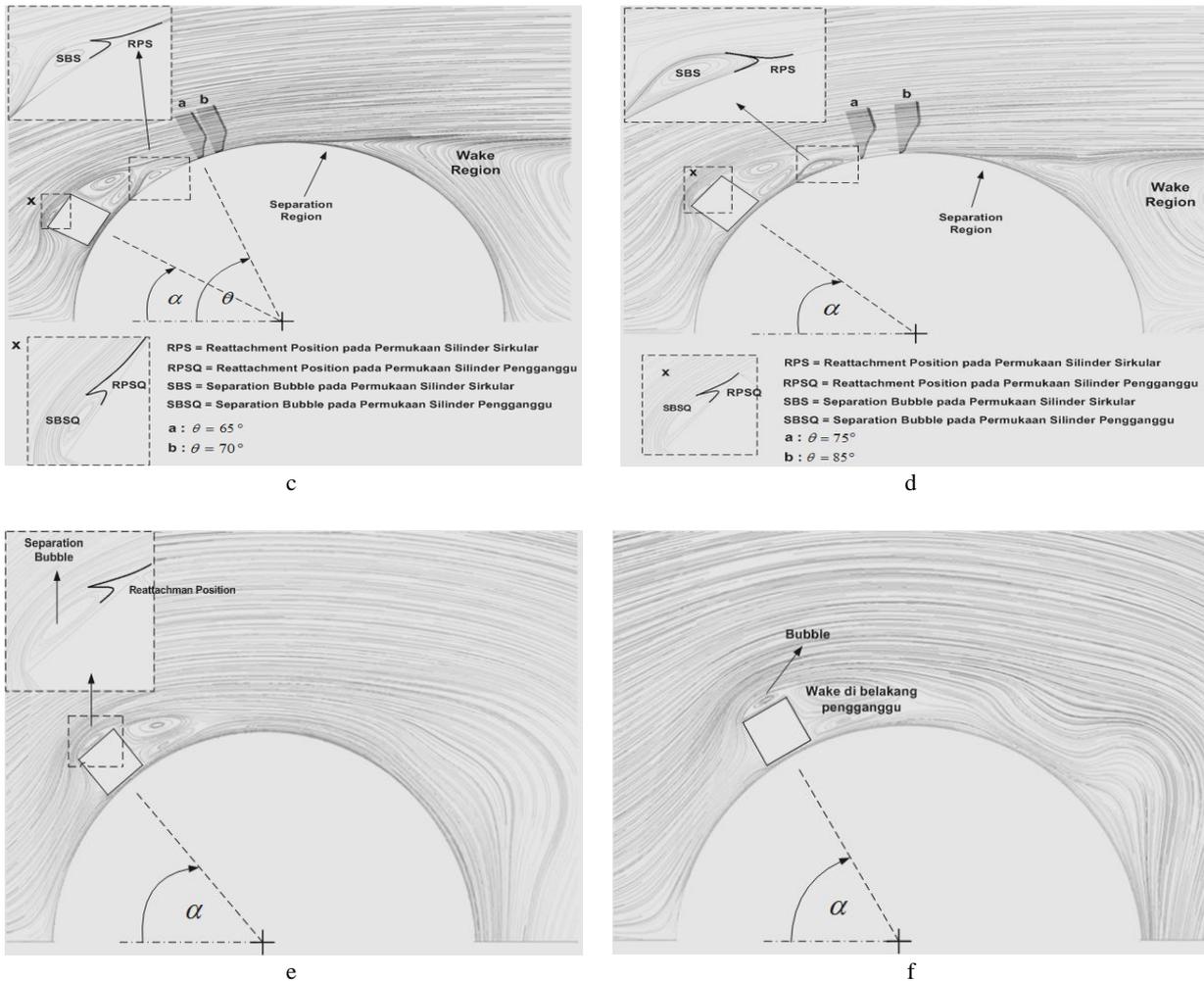
Peak yang terbentuk pada grafik koefisien tekanan (Gambar 4) pada SDB $\alpha = 20^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ dan $\alpha = 40^\circ$ mengindikasikan adanya *bubble separation*. Momentum fluida yang terdefleksi dari bodi pengganggu (SDB) berinteraksi dengan momentum fluida pada *free stream*. Hal ini mengakibatkan terjadinya penambahan momentum sehingga aliran mampu attach pada kontur permukaan silinder sekitar sudut $\theta \approx 80^\circ$, $\theta \approx 85^\circ$ dan $\theta \approx 78^\circ$ (berturut-turut pada SDB $\alpha = 20^\circ$, α

$= 30^\circ$ dan $\alpha = 40^\circ$). Bertambahnya momentum pada daerah ini, mampu melawan *adverse pressure gradient* dan *shear stress* yang terjadi sehingga transisi aliran berubah lebih cepat ke turbulen. Akan tetapi pada sudut $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 40^\circ$ hanya sedikit mampu melawan *shear stress* dan *adverse pressure gradient* yang terjadi sehingga aliran langsung terseparasi massif.



Gambar 4. Perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder dengan variasi sudut SDB

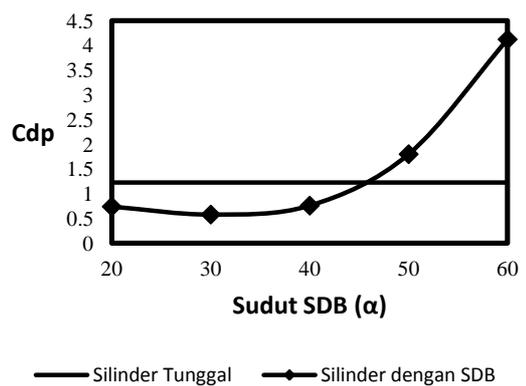




Gambar 5. Visualisasi aliran *velocity pathline* dan *velocity vector*. (a) Silinder tunggal ; (b) SDB $\alpha = 20^\circ$; (c) SDB $\alpha = 30^\circ$; (d) SDB $\alpha = 40^\circ$; (e) SDB $\alpha = 50^\circ$; (f) SDB $\alpha = 60^\circ$

3.2 Koefisien Drag Pressure (C_{dp})

Drag salah satunya disebabkan oleh tekanan aliran pada permukaan silinder. *Drag* akibat tekanan dapat diketahui melalui nilai koefisien *drag pressure* (C_{dp}). Grafik koefisien *drag pressure* (C_{dp}) dapat dilihat pada Gambar 6. Dari grafik dapat dilihat bahwa silinder dengan SDB ($\alpha = 30^\circ$) paling optimum dalam usaha mereduksi gaya *drag* akibat tekanan dengan nilai $C_{dp} = 0.58$.



Gambar 6. Grafik koefisien drag pressure (C_{dp}) silinder tunggal dan silinder dengan SDB

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah diuraikan diatas, ada beberapa kesimpulan yang dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Penggunaan *Square Disturbance Body (SDB)* dapat mereduksi gaya *drag*, akan tetapi terbatas hanya penggunaan sudut SDB $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ dan 40° , lebih dari itu sudah tidak memberikan kontribusi dalam pengurangan gaya *drag*.
2. Pada silinder dengan SDB ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ dan 40°) transisi aliran terjadi lebih cepat terjadi sehingga aliran lebih lambat terseparasi masif.
3. Silinder dengan SDB ($\alpha = 30^\circ$) merupakan sudut pengganggu yang paling optimum dalam usaha mereduksi gaya *drag* yaitu sebesar 53%.

pengganggu berbentuk square cylinder”, *Tesis*, Institut Teknologi Sepuluh, 2013

- [7] P.D. Weidman, Wake transition and blockage effect on cylinder base pressure, *Tesis*, California Institute of Technology, Pasadena, 1968.
- [8] W.H. Bell, “Turbulence vs drag-some further consideration,” *Ocean Engineering*. Vol. 10, No. 1, PP, 47-63, 1983.
- [9] M. Ozgoren, Flow structure in the downstream of square and circular cylinders, Celcuk University, Faculty of Engineering, Turkey, 2005.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Tsutsui, T. Igarashi, “Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream”, *Jurnal of wind engineering and industrial aerodynamics* Vol. 90, 527-541, 2002.
- [2] S.S. Lee, S.I. Lee, C.W. Park, “Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod,” *Fluid dynamics research*, Vol. 34, 233-250. 2004.
- [3] P.F. Zhang, J.J. Wang, L.X. Huang, “Numerical simulation of flow around cylinder with an upstream rod in tandem at low Reynolds number”, *Applied Ocean Research* 28, 183-192, 2006.
- [4] A. Daloglu, “Pressure drop in a channel with cylinders in tandem arrangement”, *International Communication in Heat and Mass Transfer* 35, 76-83, 2008.
- [5] M.D. Alam, H. Sakamoto, M. Moriya, “Reduction of fluid forces acting on a single circular cylinder and two circular cylinders by using tripping rods”, *Journal of fluids and structures* Vol. 18, 347-366, 2003.
- [6] R.P. Putra, “Reduksi gaya hambat pada silinder sirkular dan reduksi pressure drop pada saluran sempit berpenampang bujur sangkar dengan menggunakan batang