

Studi Numerik 2D-URANS Pengaruh Jarak Gap antara Inlet Disturbance Body dan Permukaan Silinder Upstream terhadap Karakteristik Aliran melintasi Dua Silinder Sirkular Tersusun Tandem

Aida Annisa Amin Daman^{1,a*}, Wawan Aries Widodo^{2,b}

¹Laboratorium Mekanika dan Mesin-Mesin Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

email: aianinda@gmail.com, wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak

Silinder sirkular merupakan geometri umum yang sering dijumpai pada aplikasi teknik. Peletakan susunan silinder sirkular dalam bidang teknik harus memperhatikan karakteristik yang dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak gap antara *Inlet Disturbance Body (IDB)* dan silinder *upstream* terhadap karakteristik aliran melintasi dua silinder sirkular tersusun tandem. Hal yang dibahas meliputi distribusi koefisien tekanan, koefisien drag, dan visualisasi aliran. Penelitian dilakukan melalui simulasi numerik 2D pada kondisi *unsteady* dengan model turbulen k- ω SST. Diameter dua silinder sirkular utama yaitu 25 mm, sedangkan diameter *IDB* sebesar 4 mm. *IDB* diletakkan pada sisi *upstream* baik *lower side* maupun *upper side* dengan membentuk sudut terhadap sumbu horizontal silinder *upstream*. Variasi sudut *IDB* yaitu 30° dan 60° , sedangkan variasi jarak gap permukaan *IDB* dan permukaan silinder *upstream* yaitu 0.6 mm dan 1.0 mm. Jarak *inlet* dan *outlet* terhadap sumbu silinder *upstream* berturut-turut yaitu 8D dan 50D. *Blockage ratio* dalam penelitian ini sebesar 20% dan jarak antara sumbu silinder *upstream* terhadap sumbu silinder *downstream* (L) yaitu 2D. Model turbulen yang digunakan adalah k- ω SST. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai koefisien drag pada sudut *IDB* 30° merupakan yang paling rendah daripada nilai koefisien drag pada sudut *IDB* 60° . Untuk variasi jarak gap, nilai koefisien drag tertinggi pada 0.6 mm.

Kata kunci : silinder sirkular, *IDB*, koefisien tekanan, koefisien drag

Latar belakang

Penelitian mengenai aliran melintasi silinder sirkular telah banyak dilakukan mengingat silinder sirkular merupakan geometri yang sering digunakan dalam dunia teknik. Beberapa penelitian bertujuan untuk mereduksi gaya drag dengan cara mengubah geometri silinder sirkular, meningkatkan kekasaran permukaan, maupun menambah pengganggu yang diletakkan pada daerah *upstream*. Penelitian untuk mengurangi koefisien drag dengan menggunakan silinder pengganggu tunggal dilakukan oleh *Lee, dkk* [1]. Silinder pengganggu diletakkan pada daerah *upstream* silinder sirkular utama. Rasio diameter silinder pengganggu terhadap diameter silinder utama divariasikan mulai d/D 0.133 sampai d/D 0.267. Hasil yang diperoleh, pengurangan koefisien drag optimum yaitu sebesar 29% terjadi pada susunan dengan d/D 0.233. *Alam, dkk* [2] melakukan penelitian dengan menggunakan dua silinder pengganggu di daerah *upstream* silinder utama. *Blockage ratio* pada penelitian ini yaitu 4%. Variasi sudut yaitu 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , dan 60° , sedangkan jarak gap silinder pengganggu

dengan permukaan silinder utama sebesar 0.4 mm. Hasil yang diperoleh yaitu reduksi koefisien drag terbesar terjadi pada susunan dengan sudut pengganggu 30° .

Penelitian yang hampir sama dilakukan pula oleh *Daman* [3] namun dengan *blockage ratio* yang lebih besar, yaitu 20% dan dengan susunan silinder sirkular secara tandem. Penelitian dilakukan secara eksperimen maupun numerik dengan penambahan *IDB* pada sudut 30° dan 60° dengan jarak antara *IDB* terhadap permukaan silinder *upstream* yaitu 0.4 mm. Penggunaan sudut *IDB* pada 30° mampu mereduksi koefisien drag pada silinder *upstream* saja, sedangkan untuk reduksi koefisien drag optimum silinder *Downstream* terjadi pada penggunaan sudut *IDB* 60° .

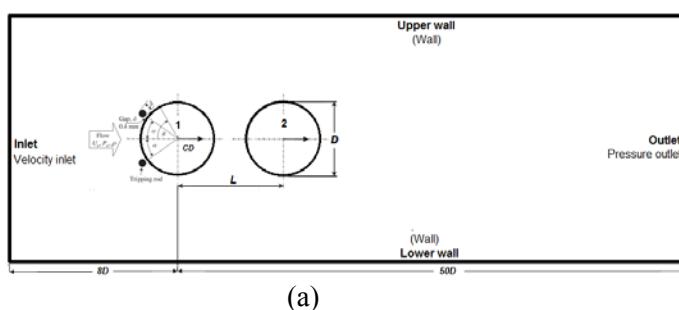
Dari penelitian tersebut, dikembangkan penelitian yang memvariasikan jarak gap antara *IDB* dengan silinder utama *upstream* melalui simulasi numerik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pertambahan jarak gap tersebut terhadap karakteristik aliran melintasi dua silinder sirkular tersusun secara tandem khususnya pada nilai koefisien drag. Hasil

penelitian juga membandingkan hasil koefisien drag yang diperoleh secara numerik oleh *Daman* [3] yaitu pada jarak gap 0.4 mm. Hasil yang ditampilkan berupa distribusi koefisien tekanan, koefisien drag, dan visualisasi aliran.

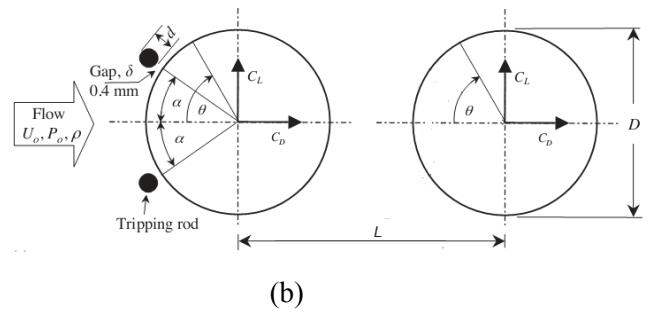
Metodologi

Penelitian dilakukan melalui simulasi numerik 2D pada kondisi *unsteady*. Diameter dua silinder sirkular utama yaitu 25 mm, sedangkan diameter *IDB* sebesar 4 mm. *IDB* diletakkan pada sisi *upstream* baik *lower side* maupun *upper side* dengan membentuk sudut terhadap sumbu horizontal silinder *upstream*. Variasi sudut *IDB* yaitu 30° dan 60° , sedangkan variasi jarak gap permukaan *IDB* dan permukaan silinder *upstream* yaitu 0.6 mm dan 1.0 mm. Jarak *inlet* dan *outlet* terhadap sumbu silinder *upstream* berturut-turut yaitu 8D dan 50D seperti yang terlihat pada gambar 1. *Blockage ratio* dalam penelitian ini sebesar 20%. Jarak antara sumbu silinder *upstream* terhadap sumbu silinder *downstream* (*L*) yaitu 2D. Model turbulen yang digunakan adalah $k-\omega$ SST. *Meshting* yang digunakan mengacu pada penelitian *Daman* [3] yang menggunakan *IDB* dengan jarak gap 0.4 mm terhadap permukaan silinder *upstream* secara eksperimen maupun numerik.

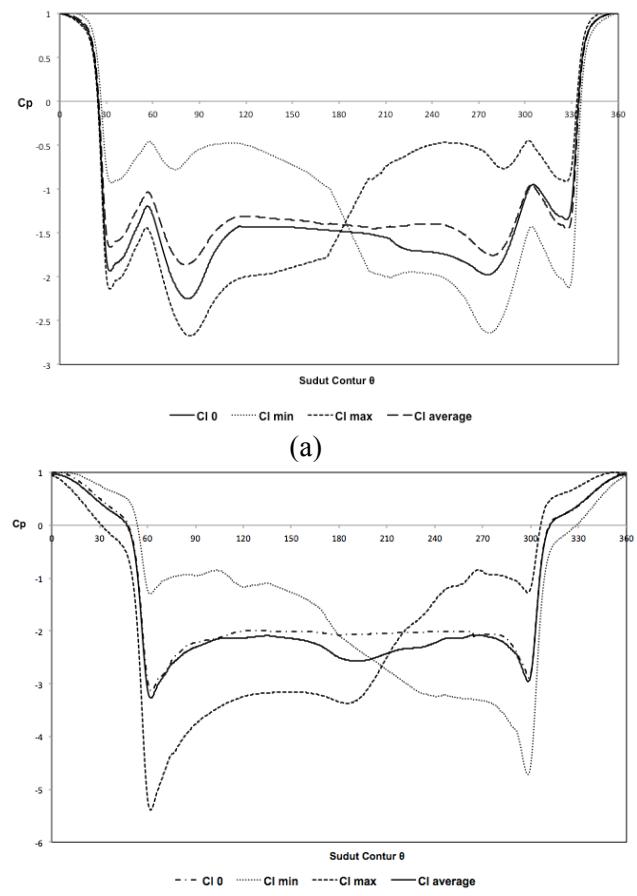
Simulasi dengan kondisi *unsteady* digunakan untuk mengetahui distribusi koefisien tekanan dari waktu ke waktu. Pengambilan distribusi koefisien tekanan dilakukan pada saat grafik koefisien lift bernilai maximum, nol, dan minimum. Dari tiga kondisi tersebut diambil nilai rata-rata distribusi koefisien tekanan kemudian dibandingkan dengan nilai distribusi koefisien tekanan yang diperoleh saat koefisien lift bernilai nol seperti yang terlihat pada gambar 2.



(a)



Gambar 1. Skema Penelitian (a) domain dan letak susunan, (b) detail susunan



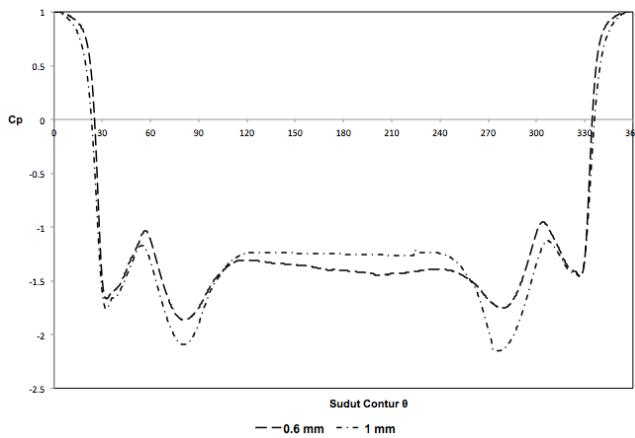
Gambar 2. Distribusi koefisien tekanan dengan sudut (a) IDB 30° , (b) IDB 60°

Gambar 2 menunjukkan empat grafik yang diambil ketika grafik koefisien lift menunjukkan nilai nol, maksimum, minimum, dan nilai rata-rata. Terlihat bahwa nilai koefisien lift rata-rata mendekati nilai koefisien lift yang diambil saat grafik koefisien lift bernilai nol. Oleh karena itu, hasil distribusi koefisien tekanan selanjutnya menggunakan nilai average.

Hasil

Hasil simulasi yang diperoleh berupa grafik distribusi koefisien tekanan, nilai koefisien drag,

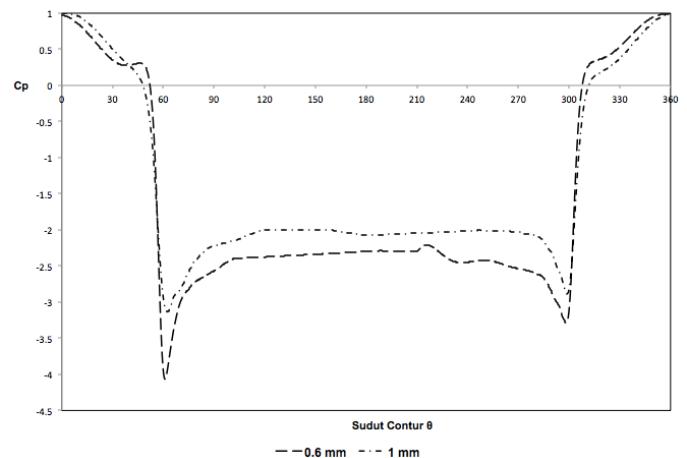
dan visualisasi aliran berupa *pathline*. Data hasil distribusi koefisien tekanan silinder *upstream* dengan menggunakan $IDB 30^0$ dapat dilihat pada gambar 3. Gambar 3 menunjukkan distribusi koefisien tekanan dengan $IDB 30^0$ pada jarak gap silinder pengganggu yaitu 0.6 mm dan 1 mm. Tren kedua grafik hampir sama, namun nilai C_p paling minimum terjadi pada jarak 1 mm. Titik stagnasi terjadi pada sudut 0^0 , dan letak titik separasi kedua susunan hampir sama yaitu sekitar sudut 115^0 .



Gambar 3. Distribusi koefisien tekanan dengan sudut $IDB 30^0$ pada dua variasi jarak

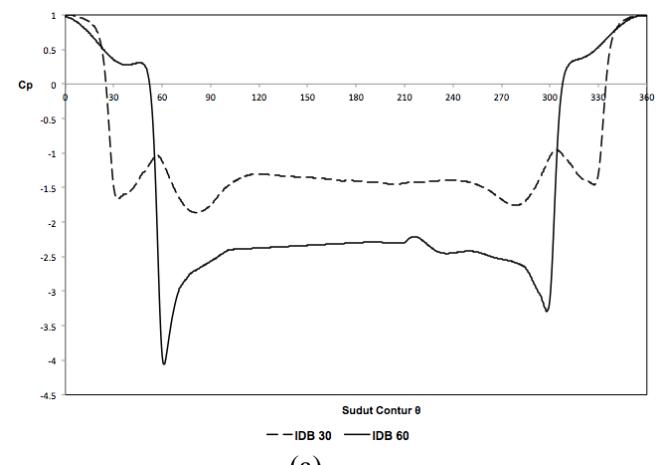
Sedangkan hasil distribusi koefisien tekanan pada sudut $IDB 60^0$ dapat dilihat pada gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada perbedaan pada nilai *base pressure*. Nilai *base pressure* jarak 0.6 mm lebih kecil daripada nilai *base pressure* jarak 1 mm. menurut **Weidman** [4] dalam penelitiannya mengenai *blockage ratio*, nilai *base pressure* yang makin kecil menunjukkan bahwa nilai koefisien drag makin besar. Hal ini dapat dilihat pada tabel 1.

Setelah titik stagnasi, aliran tidak mengalami percepatan yang signifikan. Hal ini karena aliran mengalami hambatan akibat adanya celah antara *IDB* dan permukaan silinder utama. Setelah melewati celah, aliran mengalami percepatan yang signifikan hingga mencapai kecepatan maksimum yang ditandai dengan nilai koefisien tekanan minimum pada sudut 62^0 . Kecepatan maksimum bergeser beberapa derajat dari celah tersempit disebabkan adanya fenomena *vena contracta*. Celah tersempit terbentuk akibat interaksi *boundary layer* silinder utama dengan *boundary layer* *IDB* pada sudut 62^0 .

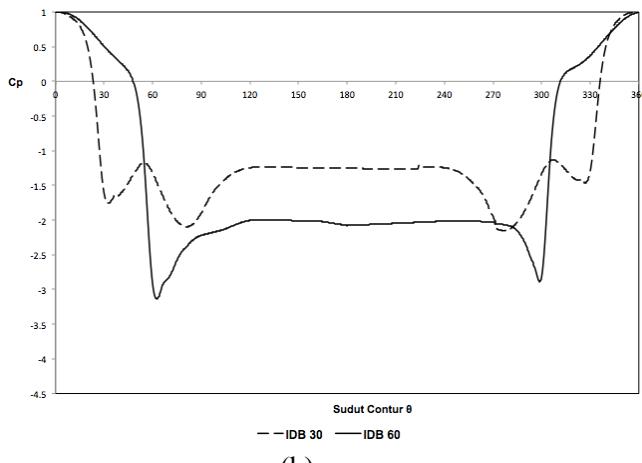


Gambar 4. Distribusi koefisien tekanan dengan sudut $IDB 60^0$ pada dua variasi jarak

Perbedaan antara distribusi koefisien tekanan sudut $IDB 30^0$ dan 60^0 dapat dilihat pada gambar 5. Gambar 5a menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada sudut $IDB 30^0$ dan 60^0 dengan jarak gap 0.6 mm. Sedangkan gambar 5b menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada sudut $IDB 30^0$ dan 60^0 dengan jarak gap 1 mm. Titik stagnasi gambar 5 terjadi pada sudut 0^0 . Perbedaan terlihat pada aliran setelah melalui celah *IDB*. Susunan dengan sudut $IDB 30^0$, mengalami *bubble separation* setelah melewati celah *IDB*. Hal ini ditandai dengan adanya fluktuasi pada grafik distribusi koefisien tekanan $IDB 30^0$. Sedangkan pada $IDB 60^0$, aliran langsung terseparasi sesaat setelah melewati celah *IDB*. Titik separasi pada $IDB 30^0$ lebih tertunda daripada titik separasi pada $IDB 60^0$.



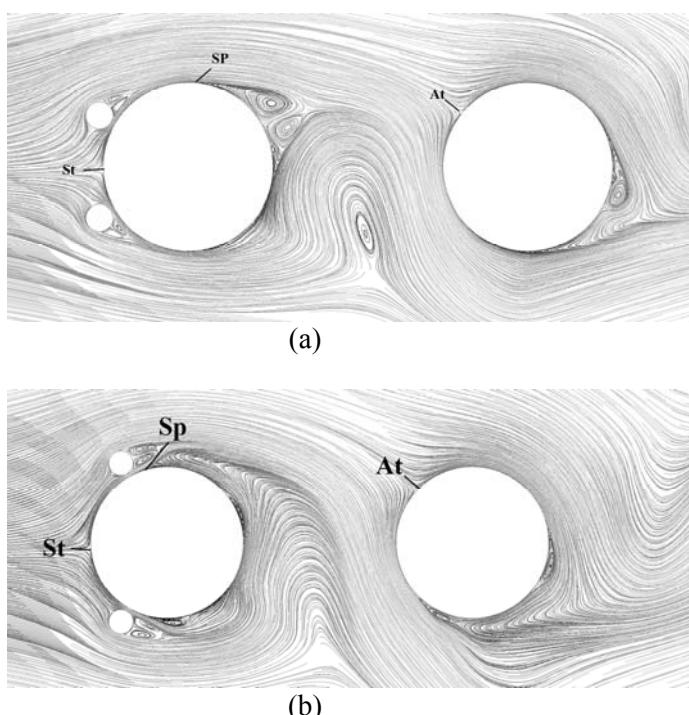
(a)



(b)

Gambar 5. Perbandingan distribusi koefisien tekanan dengan sudut IDB 30° dan 60° pada jarak (a) 0.6 mm; (b) 1 mm

Untuk mengetahui profil aliran yang melintasi susunan silinder, dapat dilihat pada visualisasi aliran gambar 6. Sedangkan detail aliran silinder *upstream* dapat dilihat pada gambar 7. Gambar 6 menunjukkan *pathline* aliran pada susunan silinder tandem. Titik stagnasi ditunjukkan dengan simbol *St* dan terjadi pada sudut 0° baik pada gambar 6a dan 6b. Simbol *SP* menunjukkan titik separasi aliran dan *At* merupakan titik attachment aliran.

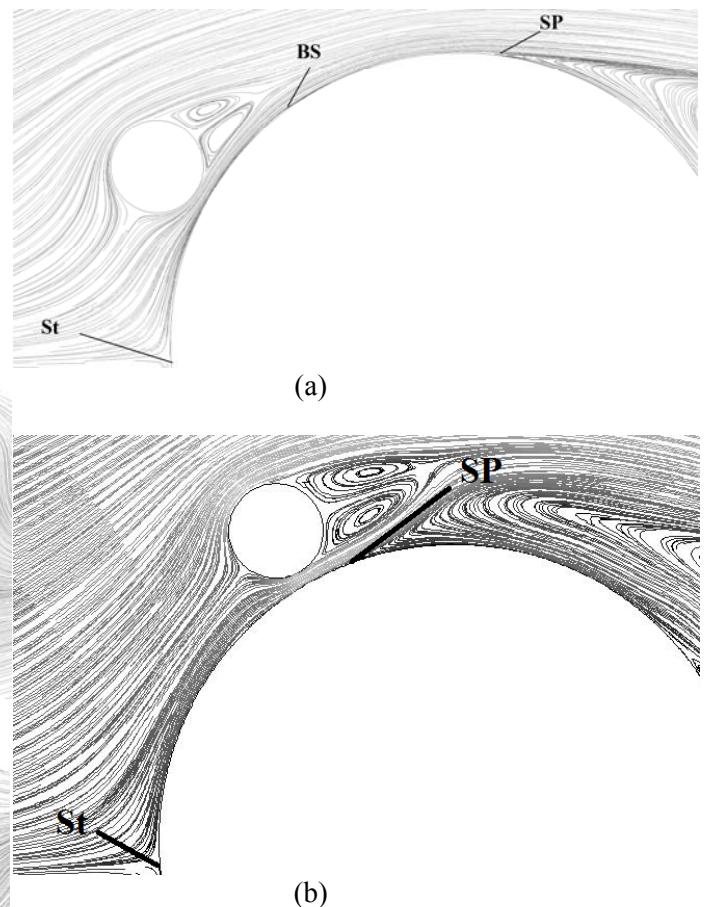


Gambar 6. Visualisasi aliran dengan sudut IDB : (a) 30° dan (b) 60°

Untuk mengetahui profil aliran yang melintasi susunan silinder, dapat dilihat pada visualisasi aliran gambar 6. Sedangkan detail aliran silinder

upstream dapat dilihat pada gambar 7. Gambar 6 menunjukkan *pathline* aliran pada susunan silinder tandem. Titik stagnasi ditunjukkan dengan simbol *St* dan terjadi pada sudut 0° baik pada gambar 6a dan 6b. Simbol *SP* menunjukkan titik separasi aliran dan *At* merupakan titik attachment aliran.

Letak titik separasi pada silinder *upstream* dapat dilihat pada gambar 7. Gambar 7a terdapat *BS* (*bubble separation*) dibelakang *IDB*. Hal ini yang mengakibatkan distribusi koefisien tekanan pada gambar 3 terdapat fluktuasi. Adanya *BS* juga mengakibatkan titik separasi aliran silinder *upstream* *IDB* 30° lebih tertunda daripada separasi aliran silinder *upstream* *IDB* 60° . Gambar 7b menunjukkan bahwa aliran langsung terseparasi sesaat setelah melewati sisi celah *IDB*.



Gambar 7. Visualisasi aliran silinder *upstream* dengan sudut IDB : (a) 30° dan (b) 60°

Pada tabel 1 hasil koefisien *pressure drag* (C_{dp}) penelitian dibandingkan dengan hasil koefisien *pressure drag* (C_{dp}) penelitian yang telah dilakukan **Daman** [3]. Nilai C_{dp} diperoleh melalui integrasi nilai koefisien tekanan, sebagai berikut :

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

dimana p_c merupakan tekanan permukaan silinder, p_∞ merupakan tekanan aliran *freestream*, sedangkan $\frac{1}{2} \rho U_\infty^2$ merupakan tekanan dinamik aliran *freestream*.

Sedangkan untuk memperoleh profil kecepatan pada daerah *wake* silinder *downstream* digunakan *pitot static tube* yang diletakkan pada jarak $4D$ dari sumbu silinder *downstream*. Data lain yang diperoleh yaitu koefisien drag (C_d) yang merupakan integrasi dari nilai koefisien tekanan (C_p), sebagai berikut :

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

persamaan tersebut dapat diselesaikan menggunakan metode numerik *Simpson 1/3 segmen berganda*, yaitu :

$$I \approx \underbrace{\frac{(b-a)}{3n}}_{\text{lebar}} \underbrace{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}_{\text{Tinggi rata-rata}} \quad (3)$$

dimana

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

Tabel 1. Nilai Koefisien drag tekanan (Cdp)

Sudut IDB	Penelitian	Cdp silinder Upstream
30°	Daman [3] (0.4 mm)	0.4
	Present Study (0.6 mm)	1.08
	Present Study (1 mm)	0.75
60°	Daman [3] (0.4 mm)	1.55
	Present Study (0.6 mm)	2.29
	Present Study (1 mm)	2.01

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa baik IDB 30° maupun 60° , nilai koefisien drag silinder *upstream* terendah terjadi pada jarak gap 0.4 mm. Nilai koefisien drag tertinggi terjadi pada jarak gap 0.6 mm kemudian turun lagi ketika jarak gap makin besar yaitu 1 mm. Secara keseluruhan, nilai Cdp pada susunan IDB 30° lebih rendah daripada nilai Cdp pada susunan IDB 60° . Hal ini

disebabkan titik separasi silinder *upstream* susunan IDB 30° lebih tertunda seperti yang terlihat pada gambar 5 dan gambar 7.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa penggunaan IDB 30° dapat mereduksi secara optimum nilai koefisien drag silinder *upstream* dibandingkan nilai koefisien drag silinder tunggal yang bernilai 1.2. Sedangkan penggunaan IDB 60° tidak dapat mereduksi koefisien drag, melainkan meningkatkan nilai koefisien drag. Jarak gap optimum mereduksi koefisien drag terjadi pada jarak 0.4 mm. Nilai koefisien drag tertinggi terjadi pada jarak gap 0.6 mm dan IDB 60° .

Referensi

- [1] Lee, Sang-Joon., Sang-Ik Lee, Cheol-Woo Park. 2004. Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod. *Fluid Dynamics Research* 34, 233-250
- [2] Alam, M. M., H. Sakamoto, M. Moriya. 2003. Reduction of fluid forces acting on a single circular cylinder and two circular cylinders by using tripping rods. *Journal of Fluids and Structures* 18, 347-366
- [3] Daman, A.A. Amin. 2014. Studi Eksperimen dan Numerik 2D *Unsteady-RANS* Pengaruh *Inlet Disturbance Body* terhadap Karakteristik Aliran Melintasi Dua Silinder Sirkular yang Tersusun secara Tandem pada Saluran Sempit (*Blockage Ratio 20%*). ITS
- [4] Weidman, P.D. 1968. *Wake Transition and Blockage Effect on Cylinder base Pressure*, Tesis, California Institute of Technology, Pasadena