

# Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular Tunggal dengan Penambahan *Airfoil* NACA0012; NACA0018; NACA0024 di Belakang Silinder Sirkular Utama pada Jarak Longitudinal (S/D) 1.6

Nivana Hafizah dan Wawan Aries Widodo

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: wawanaries@me.its.ac.id

**Abstrak**—Ilmu mekanika fluida merupakan salah satu ilmu pengetahuan yang fenomenanya kerap berkaitan dengan kehidupan manusia. Salah satunya fenomena aliran fluida melintasi suatu *bluff body*. Dalam aplikasi *engineering* fenomena ini memegang peranan penting seperti pada konstruksi pipa bawah laut, jembatan, dan *tube* pada *heat exchanger*. *Bluff body* dapat menghasilkan *wake* yang besar, salah satunya adalah silinder. Silinder memiliki profil geometri yang bersifat *strong adverse pressure* yang menghasilkan *wake* yang besar sehingga berdampak pada dihasilkannya gaya hambat (*drag*) yang besar pada silinder. Oleh karena itu perlu untuk dilakukan pengurangan gaya hambat pada silinder dengan penambahan bodi pengganggu atau biasa disebut dengan metode *passive flow control*. Eksperimental ini dilakukan pada *sub-sonic wind tunnel* berdimensi (H = 200 mm; W = 200 mm; L = 2000 mm), silinder sirkular utama berdiameter (D = 36 mm) dengan penambahan *airfoil* dengan *chord length* (c = 36 mm). Variasi simetris *airfoil* (NACA0012, NACA0018, NACA0024) dengan variasi jarak longitudinal (S/D) 1.6 pada bilangan Reynolds  $2.01 \times 10^4$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular tunggal mampu mereduksi gaya *drag* yang bekerja pada silinder sirkular utama. Reduksi gaya *drag* ini diindikasikan oleh penurunan koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) pada silinder sirkular utama. Pada eksperimen ini, didapatkan reduksi koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) paling optimal terjadi pada konfigurasi dengan *airfoil* NACA0024 pada jarak longitudinal (S/D) 1.6 dengan reduksi sebesar 13%.

**Kata Kunci**—*Airfoil*, *Bluff Body*, *Drag Force*, *Pressure Drag*, *Sub-sonic Wind Tunnel*.

## I. PENDAHULUAN

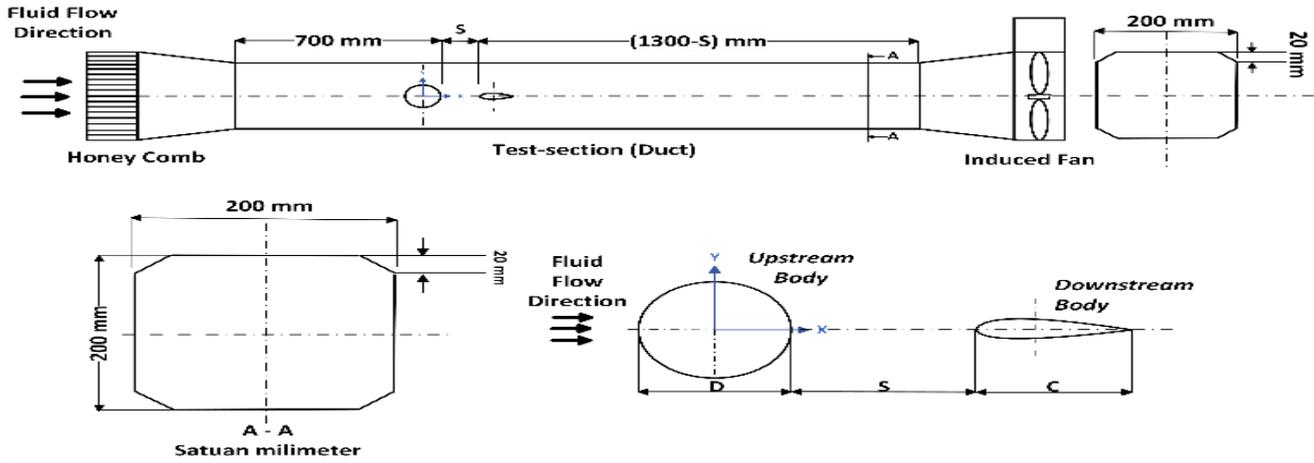
ALIRAN fluida yang melintasi suatu *bluff body* merupakan salah satu fenomena dalam ilmu mekanika fluida. Fenomena ini kerap ditemukan dan memegang peranan penting dalam aplikasi *engineering* seperti pada konstruksi pipa bawah laut, jembatan, dan *tube* pada *heat exchanger*. *Bluff body* sendiri merupakan topik yang berkembang setelah adanya penemuan konsep *boundary layer* (lapis batas) pada tahun 1904 oleh Ludwig Prandtl [1]. Dalam penemuannya tersebut dijelaskan bahwa *bluff body* yang dilintasi oleh fluida akan membentuk *boundary layer*. *Boundary layer* merupakan lapisan yang terbentuk di sekitar permukaan padat yang dilintasi oleh aliran fluida.

Silinder merupakan salah satu profil dari *bluff body* yang menghasilkan *wake* yang sangat besar atau disebut memiliki *strong adverse pressure*. Karakteristik aliran yang melintasi sebuah silinder dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya

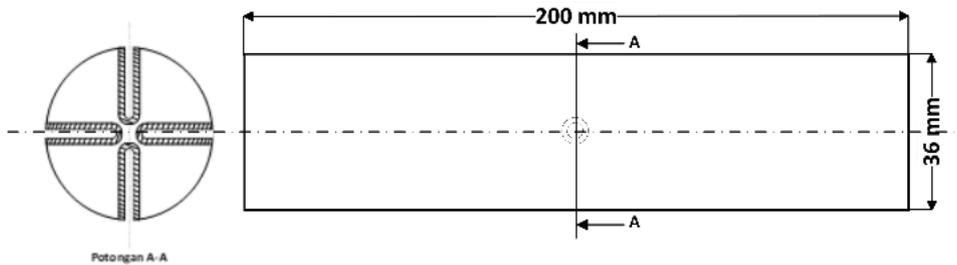
viskositas, *adverse pressure gradient*, dan kekasaran permukaan. *Wake* yang lebar dapat menyebabkan besarnya gaya hambat (*drag*) yang terjadi pada silinder. Selain itu juga tegangan geser dari aliran juga memicu terbentuknya *shear layer* antar aliran yang melemahkan kecepatan aliran fluida yang melintasi silinder. Dengan begitu perlu dilakukan pengurangan gaya *drag* terhadap aliran fluida yang melintasi silinder. Dalam ilmu mekanika fluida, terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengurangi gaya *drag* pada suatu *bluff bodies* yaitu *active flow control* dan *passive flow control*. Dibandingkan dengan *active flow control*, metode *passive flow control* lebih mudah untuk diterapkan yaitu dengan melakukan modifikasi pada silinder atau penambahan bodi pengganggu pada silinder. Berdasarkan penelitian terdahulu, metode ini efektif untuk mengurangi gaya *drag* pada silinder.

Studi eksperimental yang telah dilakukan oleh Sang-Joon Lee, et.al. (2004), yaitu silinder sirkular dengan *inlet disturbance body* berupa *control rod* pada bilangan Reynolds  $2 \times 10^4$ . Silinder utama berdiameter (D) = 30 mm dengan kecepatan *freestream* pada saluran ( $U_\infty$ ) = 10 m/s [2]. Variasi dari diameter *control rod* ( $d$ ) = 0.133 D – 0.267D, jarak antara pusat *control rod* dengan pusat silinder utama (L/D) = 1.5 – 4.0. Profil aliran yang terbentuk menyebabkan penurunan nilai ( $C_P$ ) dan ( $C_D$ ) pada silinder serta sistem keseluruhan. Maksimum reduksi koefisien gaya *drag* pada silinder utama sebesar 29% terhadap silinder tunggal pada variasi Lc/D = 2.083, d/D = 0.233.

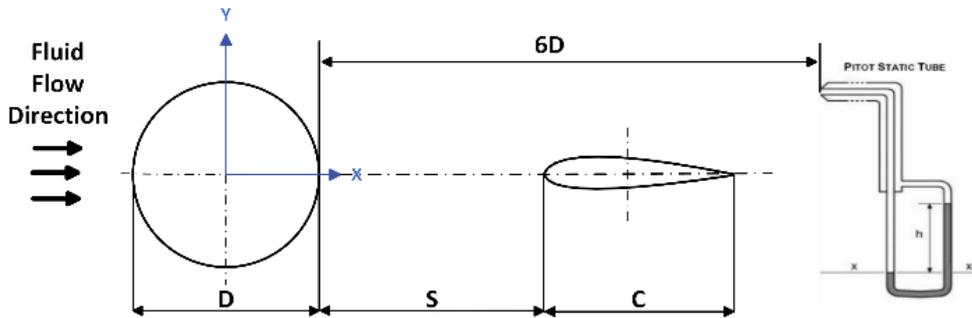
Studi numerik juga dilakukan oleh D. V. Wijanarko, et. Al. (2018) pada silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate*. Bilangan Reynolds yang dipilih untuk penelitian adalah  $5.21 \times 10^4 \leq Re \leq 1.56 \times 10^5$ . Tiga ketebalan berbeda digunakan pada *splitter plate*, yakni T/D = 0.016, 0.04, dan 0.08 dengan diameter silinder (D) = 25 mm. Didapatkan bahwa penurunan ( $C_{DP}$ ) pada silinder berbanding terbalik dengan kenaikan bilangan Reynolds dan semakin besar nilai T/D maka reduksi koefisien gaya hambat terhadap silinder yang dihasilkan akan semakin besar [3]. Penelitian numerik lainnya oleh X. An, et.al. (2019) terkait karakteristik aliran yang melintasi silinder sirkular dengan penambahan *splitter plate* pada bilangan Reynolds subkritis yaitu  $5 \times 10^4 - 9 \times 10^4$  dengan variasi panjang dari *splitter plate* yaitu 0.5D; 1D; 1.5D; 2D; 2.5D; 3D; 3.5D; 4D. Dihasilkan bahwa dengan penambahan *splitter plate*, koefisien tekanan ( $C_P$ ) pada silinder mengalami reduksi serta peningkatan nilai koefisien



Gambar 1. Skema eksperimen.



Gambar 2. Skema pengukuran tekanan pada kontur silinder sirkular utama.



Gambar 3. Skema pengukuran distribusi kecepatan pada downstream body. tekanan ( $C_p$ ) base pada silinder. Sehingga dengan penambahan *splitter plate* efektif untuk mereduksi *pressure drag* pada silinder [4].

Penelitian terkait silinder sirkular tunggal yang tersusun tandem dengan *airfoil* telah dilakukan oleh R. Han, et.al. (2021). Silinder sirkular berdiameter 100 mm tersusun tandem dengan *airfoil* NACA0012 pada  $Re = 5000$ . *Chord length airfoil* terhadap diameter silinder bernilai 1 dengan variasi jarak ( $x/D = 1; 1.5; 1.75; 2.5$ ). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui reduksi gaya *drag* pada silinder dengan penambahan *airfoil* yang 2 disusun secara tandem. Didapatkan bahwa *primary vortex* dapat mengakibatkan penurunan yang signifikan pada koefisien *drag* dengan konfigurasi tandem. Reduksi koefisien *drag* maksimal terjadi pada  $X/D = 1.6$  dapat mencapai lebih dari 50% [5].

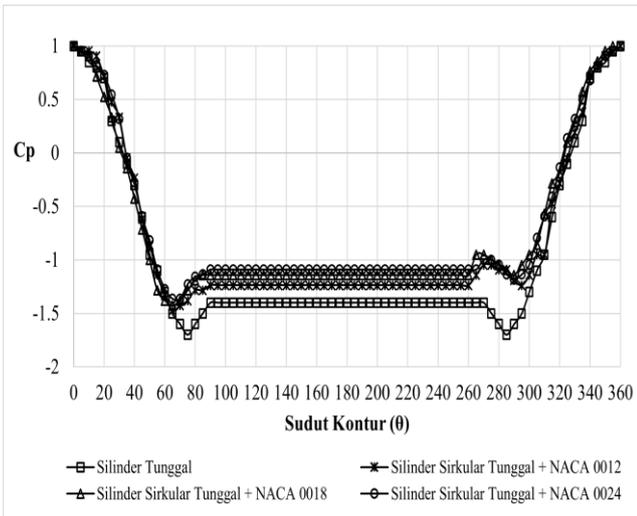
Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan bodi pengganggu seperti *splitter plate* di belakang silinder sirkular dapat mereduksi gaya *drag* yang bekerja pada silinder sirkular utama. Tetapi, fenomena yang terjadi berbeda dengan penambahan bodi pengganggu di bagian depan silinder sirkular. Dimana, reduksi gaya *drag* terjadi tanpa tertundanya titik separasi pada silinder sirkular utama. Melainkan dengan termodifikasinya distribusi *base pressure* dan kecepatan aliran pada *wake* dari silinder sirkular

utama sehingga gaya *drag* yang bekerja pada silinder sirkular utama dapat tereduksi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk menganalisis karakteristik aliran pada silinder sirkular tunggal dengan penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular utama yang bertujuan untuk mengoptimalkan reduksi gaya *drag* yang bekerja pada silinder sirkular utama.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Skema Penelitian

Studi eksperimental dilakukan pada *sub-sonic, open circuit wind tunnel* berpenampang *octagonal* yang berukuran  $2L \times 0.2W \times 0.2H$  dalam satuan ( $m^3$ ). Kecepatan udara pada *freestream* bernilai 8.71 m/s . Bilangan Reynolds ( $Re = \frac{U_\infty D}{\nu}$ ) berdasarkan dengan diameter silinder sirkular utama ( $D = 36$  mm) bernilai  $2.01 \times 10^4$ . *Chord airfoil* berbanding satu terhadap diameter silinder sirkular ( $C/D = 1$ ) dengan *spanwise* senilai 200 mm. Silinder sirkular tersusun tandem dengan *airfoil* dimana *airfoil* diletakkan di belakang silinder sirkular utama (*downstream body*). Gambar 1 merupakan skema instalasi benda uji dengan gambar tampak samping yang berupa silinder sirkular tunggal yang disusun secara tandem dengan *airfoil* yang diletakkan di belakang silinder



Gambar 4. Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan silinder sirkular tunggal dengan keseluruhan variasi penambahan *airfoil*.

utama.

Parameter-parameter yang berpengaruh terhadap karakteristik dari aliran fluida yang melintasi silinder sirkular utama, diantaranya massa jenis fluida ( $\rho$ ), viskositas fluida ( $\mu$ ), kecepatan fluida ( $U_\infty$ ), diameter silinder ( $D$ ), maksimum *thickness airfoil* ( $t$ ), serta jarak antara *leading edge symmetrical airfoil* dengan silinder sirkular ( $S$ ). Pada studi eksperimen yang dilakukan, dilakukan variasi terkait perbandingan ketebalan maksimum *airfoil* terhadap diameter dari silinder sirkular ( $t/D$ ) dengan tiga jenis standar *airfoil* simetris, diantaranya NACA0012; NACA0018; NACA0024. Studi eksperimen dilakukan pada jarak longitudinal ( $S/D$ ) 1.6.

**B. Metode Pengukuran**

Pengukuran pada penelitian ini terdiri dari pengukuran tekanan pada kontur silinder sirkular utama dan penguruan distribusi kecepatan pada konfigurasi silinder sirkular dan *airfoil* NACA0012; NACA0018; NACA0024 yang tersusun tandem, diberikan pada Gambar 2. Distribusi tekanan pada silinder sirkular utama diambil dengan menggunakan *pressure tap* yang berada pada kontur silinder sirkular yang kemudian dihubungkan dengan menggunakan pipa ke *inclined* manometer dengan kemiringan  $15^\circ$ . Fluida kerja yang digunakan merupakan *gear oil* dengan *specific gravity* bernilai 0.804.

Distribusi kecepatan atau *velocity profile* dilihat dari *velocity magnitude* pada belakang silinder sirkular utama yang tersusun tandem dengan bodi pengganggu *airfoil* berupa ( $y/h$  dan  $U/U_{max}$ ) pada jarak  $6D$ . Data yang diambil merupakan data tekanan statis dan tekanan stagnasi yang diolah menjadi tekanan dinamis. Pengukuran *velocity magnitude* dilakukan dengan menggunakan *pitot static tube* yang kemudian dihubungkan dengan menggunakan pipa ke *inclined manometer*. Gambar 3 merupakan instalasi pengambilan data *velocity profile* pada eksperimen ini.

Hasil pengambilan data akan diolah dan dianalisis sehingga dapat menghasilkan nilai distribusi koefisien tekanan ( $C_P$ ), koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ), koefisien *lift pressure* ( $C_{LP}$ ), dan profil kecepatan pada *downstream body*.

Koefisien tekanan ( $C_P$ ) pada kontur permukaan silinder sirkular utama diambil setiap  $5^\circ$  yang dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$C_P = \frac{P_C - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho U^2} \tag{1}$$

Di mana  $C_P$  adalah koefisien tekanan,  $P_C$  adalah tekanan statis pada kontur silinder ( $N/m^2$ ),  $P_\infty$  adalah tekanan statis pada *freestream* ( $N/m^2$ ),  $\frac{1}{2}\rho U^2$  adalah tekanan dinamis pada *freestream* ( $N/m^2$ ).

Koesifisen *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) dihitung pada silinder sirkular utama yang dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$C_{DP} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_P(\theta) \cos(\theta) d\theta \tag{2}$$

$$C_{DP} = \frac{1}{2} I \tag{3}$$

Koesifisen *lift pressure* ( $C_{LP}$ ) dihitung pada silinder sirkular utama yang dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$C_{DP} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_P(\theta) \sin(\theta) d\theta \tag{4}$$

$$C_{DP} = \frac{1}{2} I \tag{5}$$

Persamaan dapat diselesaikan dengan metode numerik aturan Simpson 1/3 segmen berganda yang dirumuskan dalam persamaan 6 sebagai berikut:

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

Di mana  $C_{DP}$  adalah koefisien *drag pressure*,  $C_{LP}$  adalah koefisien *lift pressure*,  $a = 0$ ,  $b = 2\pi$ ,  $n$  adalah jumlah data,  $f(x_i)$  adalah perkalian dari fungsi data gasal dimana  $i = 1,3,5,\dots,n - 1$ , dan  $f(x_j)$  adalah Perkalian dari fungsi data genap dimana  $j = 1,3,5,\dots,n - 2$ .

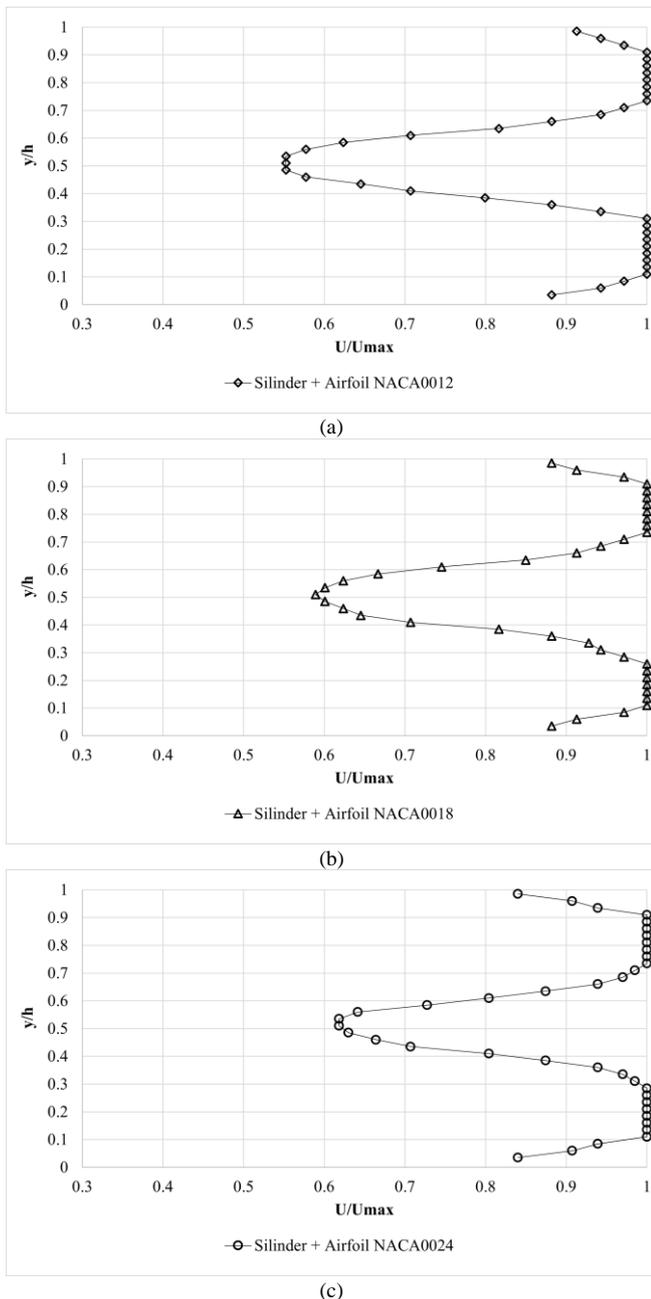
**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai distribusi tekanan statis sepanjang kontur silinder sirkular utama dan distirbusi kecepatan pada *downstream body*. Analisis karakteristik aliran dilakukan dengan melakukan penambahan *airfoil* NACA0024 di belakang silinder sirkular tunggal pada jarak longitudinal ( $S/D$ ) 1.6 tersusun tandem. Hasil data eksperimen kemudian dianalisis sehingga didapatkan nilai distribusi koefisien tekanan ( $C_P$ ), koesifisen *drag pressure* ( $C_{DP}$ ), koefisien *lift pressure* ( $C_{LP}$ ), dan profil kecepatan pada *downstream body*.

**A. Coefficient Pressure ( $C_P$ )**

Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan distribusi tekanan pada silinder sirkular tunggal dengan keseluruhan variasi standar *airfoil* pada jarak longitudinal ( $S/D$ ) 1.6. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular mampu untuk menaikkan nilai distribusi tekanan pada daerah separasi (*base pressure*) pada silinder sirkular. Dimana hal ini mengindikasikan bahwa dengan penambahan *airfoil*, tekanan yang terjadi pada daerah separasi bernilai lebih besar dibandingkan dengan silinder sirkular tunggal.

Aliran yang melintasi silinder sirkular utama dengan



Gambar 5. Velocity profile pada jarak longitudinal (S/D) 1.6 pada variasi (a) silinder sirkular dengan airfoil NACA0012; (b) silinder sirkular dengan airfoil NACA0018; (c) silinder sirkular dengan airfoil NACA0024.

penambahan *airfoil* pada ketiga variasi *standard airfoil* yaitu NACA0012; NACA0018; NACA0024 memiliki titik stagnasi pada sudut 0° dengan nilai  $C_p$  1. Kemudian aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai  $C_p$  sampai dengan titik percepatan maksimumnya. Pada variasi penambahan *airfoil* NACA0012 titik maksimum percepatan berada pada sudut 65° dengan nilai  $C_p$  -1.476 (*upper side*) dan 295° dengan nilai  $C_p$  -1.238 (*lower side*). Selanjutnya, pada variasi penambahan *airfoil* NACA0018 titik maksimum percepatan berada pada sudut 70° dengan nilai  $C_p$  -1.429 (*upper side*) dan 295° dengan nilai  $C_p$  -1.143 (*lower side*). Variasi penambahan *airfoil* NACA0024 memiliki titik maksimum percepatan pada sudut 70° dengan nilai  $C_p$  -1.364 (*upper side*) dan 290° dengan nilai  $C_p$  -1.182 (*lower side*). Percepatan aliran yang melintasi silinder sirkular utama terjadi karena aliran dari titik stagnasi dipaksa untuk melintasi area dari permukaan silinder yang menyebabkan aliran berbentuk seperti *nozzle* hingga sampai di kecepatan

Tabel 1.  
Koefisien *drag pressure* pada keseluruhan variasi

Variasi	Koefisien Drag Pressure ( $C_{DP}$ )
Silinder sirkular Tunggal	1.33
Silinder Sirkular Tunggal + <i>Airfoil</i> NACA0012	1.25
Silinder Sirkular Tunggal + <i>Airfoil</i> NACA0018	1.17
Silinder Sirkular Tunggal + <i>Airfoil</i> NACA0024	1.16

Tabel 2.  
Koefisien *lift pressure* pada keseluruhan variasi

Variasi	Koefisien Lift Pressure ( $C_{LP}$ )
Silinder sirkular Tunggal	0.000
Silinder Sirkular Tunggal + <i>Airfoil</i> NACA0012	0.062
Silinder Sirkular Tunggal + <i>Airfoil</i> NACA0018	0.040
Silinder Sirkular Tunggal + <i>Airfoil</i> NACA0024	0.074

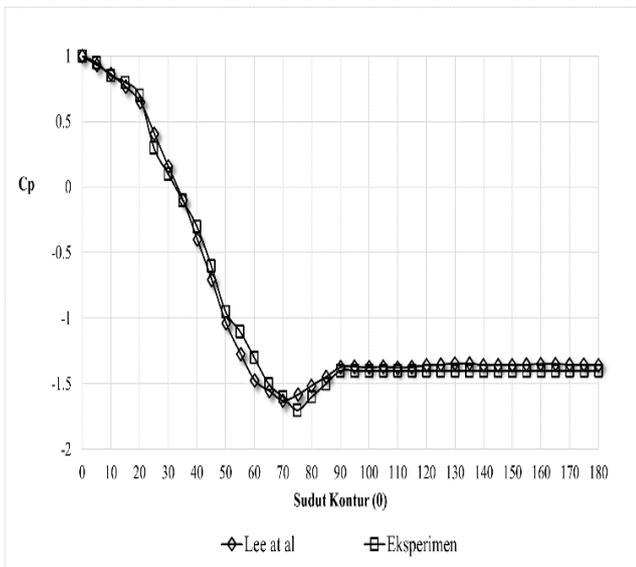
maksimum dari aliran dimana daerah lintasan aliran ini dinamakan sebagai daerah *favorable pressure gradient*.

Setelah itu aliran mengalami perlambatan aliran kembali hingga sampai titik dimana momentum aliran sudah tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* yang dinamakan sebagai titik separasi masif. Separasi pada aliran terjadi karena aliran sudah tidak mampu melawan *adverse pressure* dan *shear stress* yang diindikasikan dengan stabilnya nilai  $C_p$  dan nilai *adverse pressure gradient* lebih dari nol. Pada variasi dengan penambahan *airfoil* NACA0012, separasi aliran mulai berlangsung dari sudut 90° (*upper side*) dan 260° (*lower side*) dengan nilai *base coefficient pressure* atau seringkali disebut sebagai  $C_p$  base dari silinder sebesar -1.238. Selanjutnya, pada variasi penambahan *airfoil* NACA0018, separasi aliran mulai berlangsung dari sudut 90° (*upper side*) dan 265° (*lower side*) dengan nilai  $C_p$  sebesar -1.143. Separasi aliran pada variasi penambahan *airfoil* NACA0024 mulai berlangsung dari sudut 90° (*upper side*) dan 260° (*lower side*) dengan nilai  $C_p$  sebesar -1.091.

B. Velocity Profile

Gambar 5 (a), (b), (c) menunjukkan grafik distribusi kecepatan pada variasi konfigurasi *airfoil* NACA0012; NACA0018; NACA0018 pada jarak longitudinal (S/D) 1.6. Distribusi kecepatan diukur menggunakan *pitot static tube* pada *downstream body* pada jarak 6D dari silinder sirkular utama. Data diambil secara vertikal pada garis tengah setiap 5 mm ketinggian dari bagian atas hingga bawah terowongan angin. Kemudian data tersebut akan diolah sehingga menghasilkan *velocity magnitude* yang menunjukkan *velocity profile* dari konfigurasi variasi tersebut.

Variasi silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* NACA0012 memiliki defisit momentum yang paling besar diantara ketiga variasi standar *airfoil* yang digunakan dengan nilai  $U/U_{max}$  sebesar 0.58 dan pada variasi silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* NACA0024 memiliki defisit momentum yang paling kecil dengan nilai  $U/U_{max}$  sebesar 0.64. Maka dari itu, perbedaan ketebalan *airfoil* yang digunakan cukup signifikan mempengaruhi distribusi kecepatan dan besar defisit momentum yang bekerja pada



Gambar 6. Grafik perbandingan distribusi koefisien tekanan silinder sirkular tunggal eksperimen dengan penelitian.

susunan tersebut. Semakin besar defisit momentum yang dihasilkan, maka mengindikasikan semakin besar gaya *drag* yang bekerja pada konfigurasi tersebut.

### C. Coefficient Drag Pressure

Nilai distribusi koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) dan koefisien *lift pressure* didapatkan dari hasil pengolahan nilai distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada silinder sirkular utama. Sedangkan nilai dari koefisien *drag total* didapatkan dari hasil pengolahan distribusi kecepatan pada susunan variasi tersebut. Tabel 1 merupakan nilai koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) pada keseluruhan variasi eksperimen.

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular utama mampu mereduksi koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) yang bekerja pada silinder sirkular utama dengan penambahan *airfoil* NACA0012 mereduksi sebesar 6%, *airfoil* NACA0018 mereduksi sebesar 12%, dan *airfoil* NACA0024 mereduksi sebesar 13%. Pada keseluruhan variasi yang dilakukan pada eksperimen, didapatkan bahwa reduksi koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) paling optimal terjadi pada variasi silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* NACA0024 dengan reduksi 13%.

### D. Coefficient Lift Pressure

Gaya *lift* yang bekerja pada silinder disebabkan karena *wake* dari silinder dipengaruhi oleh profil dari *airfoil* sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan distribusi tekanan yang terjadi pada *upper side* dan *lower side* silinder sirkular utama.

Berdasarkan Tabel 2, nilai koefisien *lift pressure* ( $C_{LP}$ ) positif mengindikasikan terjadinya *lift force* pada silinder sirkular utama dan sebaliknya, nilai koefisien *lift pressure* ( $C_{LP}$ ) negatif mengindikasikan terjadinya *down force* pada silinder sirkular utama. Pada keseluruhan variasi standar *airfoil* dihasilkan bahwa penambahan *airfoil* NACA0024 di belakang silinder sirkular pada jarak longitudinal ( $S/D$ ) 1.6 menghasilkan gaya *lift* yang paling besar dengan nilai koefisien *lift pressure* ( $C_{LP}$ ) sebesar 0.074. Pada dasarnya profil geometri dari *airfoil* simetris memiliki nilai koefisien *lift pressure* ( $C_{LP}$ ) yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis *airfoil* lainnya, dikarenakan perbedaan tekanan yang relatif kecil pada simetris *airfoil*. *Airfoil* simetris dirancang untuk

tidak menghasilkan gaya *lift* yang besar berbeda dengan *airfoil* asimetris yang memang dirancang untuk menghasilkan gaya *lift* yang besar.

### E. Diskusi

Gambar 6 menunjukkan perbandingan distribusi tekanan pada silinder sirkular tunggal dari eksperimen ini dan eksperimen yang telah dilakukan oleh. Validasi dilakukan dengan perbandingan nilai dari distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada silinder sirkular tunggal pada eksperimen ini yaitu pada bilangan Reynolds  $2.01 \times 10^4$  dengan silinder sirkular berdiameter 36 mm, pada *subsonic windtunnel* berdimensi  $0.2H \times 0.2W \times 2L$  dalam satuan ( $m^3$ ) dengan eksperimen yang dilakukan oleh Sang-Joon Lee, et.al. (2004) pada bilangan Reynolds  $2 \times 10^4$  dengan silinder sirkular berdiameter 25 mm pada *subsonic windtunnel* berdimensi  $0.6H \times 0.72W \times 6L$  ( $m^3$ ) [2].

Perbedaan tren antara kedua eksperimen ini dapat disebabkan oleh *blockage effect*. *Blockage ratio* pada eksperimen ini bernilai 18.4% dimana *blockage ratio* pada eksperimen ini jauh lebih besar daripada *blockage ratio* pada eksperimen Sang-Joon Lee, et.al. (2004) yang bernilai 4.2% [2]. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya oleh G.S. West, et.al. (1982) terkait pengaruh *tunnel blockage* dan aspek rasio pada aliran yang melintasi silinder sirkular, *blockage ratio* kurang dari 6% efek dari *blockage ratio* pada distribusi tekanan dan koefisien *drag* pada silinder tidak terlalu signifikan sedangkan pada nilai *blockage ratio* lebih dari 6%, *blockage ratio* berpengaruh secara signifikan pada peningkatan koefisien *drag* dan penurunan *base pressure* pada aliran yang melintasi silinder sirkular [6].

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai karakteristik aliran yang melintasi silinder sirkular tunggal dengan penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular utama dengan variasi *airfoil* NACA0012; NACA0018; NACA0024 pada jarak longitudinal ( $S/D$ ) 1.6 didapatkan beberapa kesimpulan. (1) Grafik nilai distribusi koefisien tekanan ( $C_p$ ) dengan penambahan *airfoil* menunjukkan ketidaksimetrisan antara permukaan atas (*upper side*) dan permukaan bawah (*lower side*) silinder sirkular utama dengan penambahan *airfoil* NACA0024 paling optimal dalam menaikkan nilai distribusi koefisien tekanan pada daerah separasi (*base pressure*). (2) Penambahan *airfoil* NACA0012; NACA0018; NACA0024 di belakang silinder sirkular pada jarak longitudinal ( $S/D$ ) 1.6 mampu mereduksi gaya *drag* yang bekerja pada silinder sirkular utama dimana berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan *airfoil* NACA0024 pada jarak longitudinal ( $S/D$ ) 1.6 paling optimal mereduksi koefisien *drag pressure* ( $C_{DP}$ ) yang bekerja pada silinder sirkular utama dengan reduksi sebesar 13% dengan nilai koefisien *lift pressure* ( $C_{LP}$ ) sebesar 0.074. (3) Berdasarkan hasil pengamatan profil kecepatan yang dilakukan pada bidang vertikal menunjukkan bahwa, luas daerah *wake* pada konfigurasi dengan *airfoil* NACA0024 cenderung lebih sempit dimana mengindikasikan defisit momentum dan gaya *drag* yang paling kecil daripada variasi standar *airfoil* NACA0012 dan *airfoil* NACA0018.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. J. Pritchard and J. C. Leylegian, *Introduction to Fluid Mechanics*. USA: John Wiley & Sons, 2011. ISBN: 9780470547557
- [2] S.-J. Lee, S.-I. Lee, and C.-W. Park, "Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod," *Fluid Dyn. Res.*, vol. 34, no. 4, pp. 233–250, 2004, doi: 10.1016/j.fluidyn.2004.01.001.
- [3] D. V. Wijanarko and W. A. Widodo, "Numerical Study of Passive Control Flow on Cylinder by Splitter Plate in Narrow Channel," in *3rd International Conference on Mechanical Engineering (ICOME 2017)*, 2018, pp. 1–6. doi: 10.1063/1.5046223.
- [4] X. An, B. Song, W. Tian, and C. Ma, "Numerical research of flow past a circular cylinder with splitter plate at a subcritical reynolds number region," *J Shanghai Jiaotong Univ Sci*, vol. 24, no. 1, pp. 113–121, 2019, doi: 10.1007/s12204-019-2045-y.
- [5] R. Han, W. Liu, X. L. Yang, and X. H. Chang, "Effect of NACA0012 airfoil pitching oscillation on flow past a cylinder," *Energies*, vol. 14, no. 17, p. 5582, 2021, doi: 10.3390/en14175582.
- [6] G. S. West and C. J. Apelt, "The effects of tunnel blockage and aspect ratio on the mean flow past a circular cylinder with Reynolds numbers between  $10^4$  and  $10^5$ ," *J. Fluid Mech.*, vol. 114, pp. 361–377, 1982, doi: 10.1017/S0022112082000202.