

Studi Numerik Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular dengan Penempatan *Airfoil* NACA 0012, NACA 0018, NACA 0024 di Belakang Silinder

Sylvia Theresia Hutagalung dan Wawan Aries Widodo
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak—Salah satu fenomena yang sedang diteliti saat ini adalah aliran fluida yang melintasi susunan bluff body berbentuk silinder. Konsep boundary layer yang ditemukan oleh Ludwig Prandtl pada tahun 1904 menjadi dasar berkembangnya para peneliti melakukan analisis dan kajian mengenai topik bluff body tersebut. Penerapan bluff body pada umumnya menggunakan geometri berupa bentuk sirkular atau elips. Dalam penelitian Ludwig Prandtl, boundary layer yang terbentuk di sekitar aliran fluida dekat permukaan menyebabkan gesekan yang signifikan. Contoh pengaplikasian dalam kehidupan sehari-hari meliputi aerodinamika yakni seperti pada pesawat terbang, hidrodinamika yakni seperti aliran pada di dalam atau di luar pipa saluran air atau heat exchanger, dan sebagainya. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, hasilnya menunjukkan bahwa adanya gaya hambat yang timbul pada aliran tersebut, maka dari itu dilakukan penelitian dengan metode numerik untuk mengurangi gaya hambat pada silinder sirkular dengan penambahan airfoil di belakang silinder sirkular. Penelitian dilakukan dengan software Fluent 2021 R2 menggunakan diameter silinder sirkular, $D = 36$ mm dan chord length (c) sama sebesar 36 mm. Bilangan Reynolds sebesar, $Re = 2.01 \times 10^4$. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi jenis airfoil (NACA 0012, NACA 0018, NACA 0024) dengan variasi jarak dari trailing edge silinder sirkular utama terhadap leading edge airfoil ($S/D = 1$). Untuk penelitian secara numerik menggunakan solver dua dimensi (2D) unsteady flow dengan turbulence viscous model $k-\omega$ Shear stress transport. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa adanya penambahan airfoil di belakang silinder sirkular dapat mereduksi koefisien drag (C_D). Didapatkan reduksi koefisien drag (C_D) paling efektif dihasilkan pada konfigurasi NACA 0012 sebesar 18,5%. Sedangkan reduksi koefisien drag (C_D) terendah dihasilkan pada konfigurasi NACA 0024 sebesar 16,5%.

Kata Kunci— Bluff Body, Bodi Pengganggu, Silinder Sirkular.

I. PENDAHULUAN

DALAM dunia teknik, penerapan ilmu mekanika fluida banyak ditemui dan berperan penting. Salah satu fenomena yang sedang diteliti oleh para peneliti saat ini adalah aliran fluida yang melintasi susunan bluff body berbentuk silinder. Konsep boundary layer yang ditemukan oleh Ludwig Prandtl pada tahun 1904 (Pritchard & Leylegian, 2017) menjadi dasar berkembangnya para peneliti melakukan analisis dan kajian mengenai topik bluff body tersebut. Penerapan bluff body pada umumnya menggunakan geometri berupa bentuk sirkular atau elips. Dalam penelitian Ludwig Prandtl, boundary layer dapat dijelaskan sebagai lapisan batas yang terbentuk di sekitar aliran fluida dekat permukaan menyebabkan gesekan yang signifikan. Contoh pengaplikasian dalam kehidupan sehari-hari meliputi aerodinamika yakni seperti pada pesawat terbang, hidrodinamika yakni seperti aliran pada di dalam atau di luar

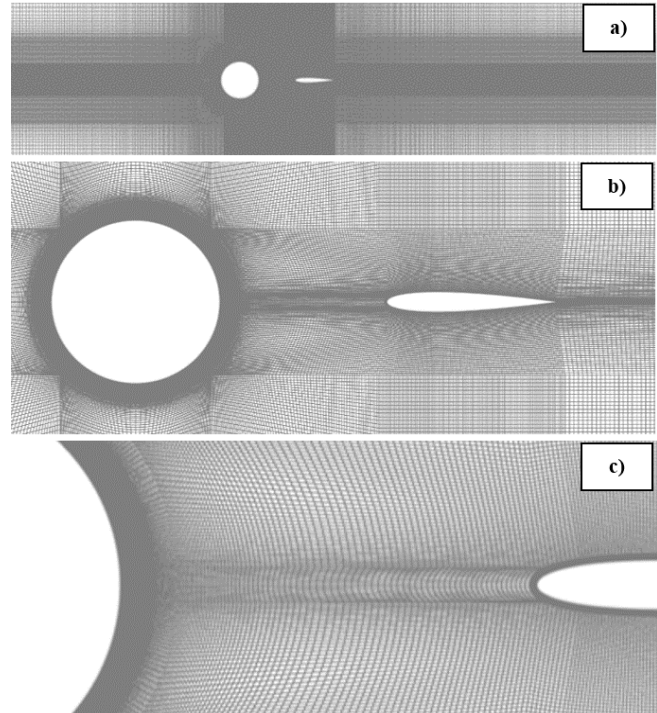
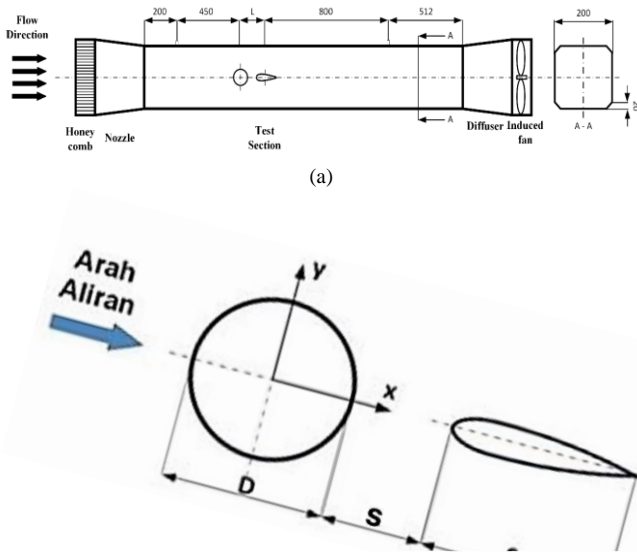
pipa saluran air atau heat exchanger, dan sebagainya.

Karakteristik aliran fluida yang melewati sebuah silinder menghasilkan wake sangat besar. Pada wake yang besar membentuk gaya hambat (drag) yang besar juga, dimana gaya drag juga dipengaruhi dari posisi titik separasi aliran fluida. Selain itu, juga timbulnya tegangan geser akibat pengaruh viskositas fluida yang melewati suatu bluff body dan tegangan normal akibat pengaruh dari tekanan fluida yang melewati suatu bluff body, dengan begitu perlu dilakukan pengurangan gaya drag terhadap aliran fluida yang melewati bluff body pada suatu saluran. Untuk mereduksi gaya drag dan mengendalikan aliran, maka dari itu ditambahkan sebuah bodi pengganggu untuk mengurangi gaya drag yang terjadi. Metode tersebut dilakukan para peneliti dengan istilah passive flow control. Peneliti-peneliti terdahulu telah melakukan usaha dalam mengurangi gaya drag dengan melakukan penundaan separasi aliran.

Berdasarkan penelitian Tsutsui, et.al. (2002) mengenai pengaruh bodi pengganggu terhadap penurunan gaya hambat pada silinder sirkular. Variasi diameter bodi pengganggu sebesar ($d = 1\text{mm}-10\text{mm}$), bilangan Reynolds berkisar antara ($Re = 1,5 \times 10^4 - 6,2 \times 10^4$), dan rasio jarak ($L = 50\text{mm}-120\text{mm}$). Pengurangan koefisien drag dan koefisien drag total optimal pada ($d/D = 0,25; L/D = 2; Re < 4,1 \times 10^4$) dan ($d/D = 0,25; L/D = 1,75; Re \geq 4,1 \times 10^4$). Nilai C_D dan C_{DT} berkurang sebesar 73% dan 63% dibandingkan dengan silinder sirkular tunggal tanpa bodi pengganggu [1].

Penelitian terdahulu oleh Sang-Joon Lee, et.al. (2004) dilakukan dengan menganalisis penurunan gaya hambat pada silinder sirkular dengan menambahkan sebuah bodi pengganggu di sisi hulu (upstream) dan menggunakan bilangan Reynolds sebesar 2×10^4 dengan dimensi diameter silinder utama $D = 30$ mm. Variasi dilakukan pada diameter bodi pengganggu, yaitu d/D yang bervariasi antara 0,1333 sampai 0,267. Hasil penelitian menunjukkan terjadi penurunan tekanan yang signifikan, yang mengakibatkan gaya hambat pada silinder utama menjadi lebih rendah. Dalam penelitian ini, terdapat pengurangan gaya hambat sebesar 29% dibandingkan dengan kondisi tanpa bodi pengganggu, dengan ukuran bodi pengganggu d/D sebesar 0,2333 [2].

Studi numerik dua dimensi silinder dengan menggunakan pelat splitter dilakukan oleh Wijanarko, et.al. (2018) pada saluran sempit dengan Bilangan Reynolds $5.21 \times 10^4 \leq Re \leq 1.56 \times 10^5$. Panjang splitter plate dibuat tetap sebesar 2D. Diameter silinder yang digunakan sebesar $D = 25$ mm. Variasi tiga ketebalan pelat splitter plate yang berbeda yaitu $T/D = 0,016, 0,04, \text{ dan } 0,08$. Hasil numerik menunjukkan bahwa pelat splitter dengan $T/D 0,08$ dapat mengurangi koefisien gaya hambat secara optimal dibandingkan dengan



Gambar 2. Computational meshing a) Keseluruhan meshing system, b) Detail meshing antara silinder sirkular dan airfoil, (c) Detail meshing silinder utama dan airfoil.

ketebalan lainnya. Selain itu, penggunaan bilangan Reynolds yang lebih tinggi menghasilkan nilai kecil untuk bilangan Strouhal yang paling rendah pada T/D 0,08. Temuan penelitian menunjukkan bahwa penurunan C_{DP} pada silinder berbanding terbalik dengan peningkatan bilangan Reynolds, dan semakin besar nilai T/D , maka reduksi koefisien gaya hambat pada silinder juga semakin besar [3].

Xinyu, et.al. (2019) melakukan penelitian karakteristik aliran yang melintasi silinder sirkular dengan penambahan splitter plate pada bilangan Reynolds subkritik yaitu $5 \times 10^4 - 9 \times 10^4$ dengan variasi panjang dari splitter plate yaitu $0.5D$; $1D$; $1.5D$; $2D$; $2.5D$; $3D$; $3.5D$; $4D$. Dihadirkan bahwa dengan penambahan splitter plate, koefisien tekanan pada silinder mengalami reduksi dan meningkatkan nilai koefisien tekanan base pada silinder [4].

R. Han, et.al. (2021) telah melakukan penelitian untuk reduksi drag pada silinder sirkular tunggal berdiameter 100 mm dengan penambahan airfoil NACA 0012 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 disusun secara tandem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *primary vortex* dapat menyebabkan pengurangan yang signifikan pada koefisien drag (C_D) dari konfigurasi tandem. Pengurangan koefisien drag maksimum terjadi pada jarak $x/D = 1,6$ dan dapat mencapai lebih dari 50% [5].

Penelitian eksperimental dilakukan oleh Lefebvre, et.al, (2019) mengamati performa airfoil dari NACA 0012 ditahan pada sudut serang statis dari -20° hingga 20° di belakang silinder. Perubahan dalam struktur aliran bangun silinder mempengaruhi performa airfoil dalam interaksi silinder dan airfoil. Untuk x/D 2, karakteristik *wake* silinder menghasilkan *vortex* yang menginduksi hambatan negatif pada airfoil. Saat jarak silinder dengan airfoil bertambah yaitu x/D 3, karakteristik *wake* silinder mengalami perubahan membentuk von Kármán *vortex* yang menginduksi medan aliran berosilasi. Penelitian ini menggambarkan wawasan mendasar tentang pengaruh turbulensi terhadap kinerja airfoil dalam konteks aerodinamika [6].

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, maka dilakukan penelitian terbaru terhadap aliran yang melintasi silinder sirkular dengan menempatkan airfoil di belakang silinder. Penelitian ini dilakukan secara studi numerik

menggunakan bantuan aplikasi Ansys Fluent untuk meneliti fenomena yang terjadi dan aliran fluida beserta gaya hasil aerodinamik yang terdapat pada analisis tersebut.

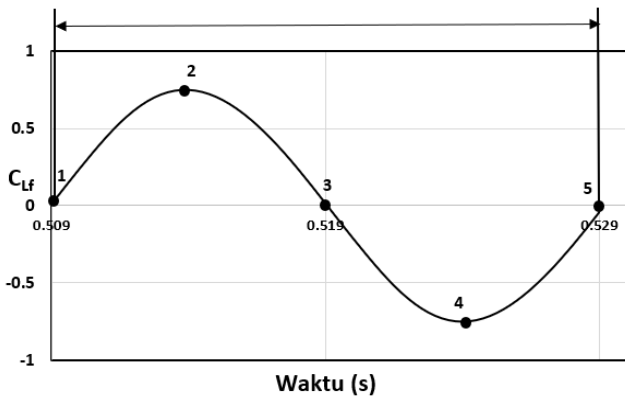
II. URAIAN PENELITIAN

A. Penyelesaian Numerik

Dalam melakukan penyelesaian numerik terdapat tiga proses yang dilakukan yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. Pada tahap *pre-processing*, langkah awal yang dilakukan adalah membuat model silinder sirkular dengan airfoil. Dengan jarak longitudinal antara silinder sirkular dengan airfoil sebesar $(S/D) = 1$. Selain itu, ketebalan airfoil divariasikan yaitu NACA0012, NACA0018, NACA0024. Penjelasan tentang ukuran dan model yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan keterangan, Diameter Silinder Sirkular (D) = 36 mm, Chord airfoil (c) = 36 mm, Jarak (S) = 1D mm.

Setelah membuat model geometri simulasi, langkah berikutnya adalah melakukan *meshing*. *Meshing* merupakan proses yang digunakan untuk membagi model solid menjadi elemen-elemen kecil sehingga perhitungan dan iterasi simulasi dapat dilakukan dengan lebih mudah. Sebelum melakukan *meshing* pada suatu model, terlebih dahulu harus didefinisikan kondisi batasnya agar iterasi dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Hasil *meshing* ini dapat ditunjukkan lebih jelas pada Gambar 2.

Kemudian, untuk proses selanjutnya adalah *post-processing*, yaitu tahap dalam memaparkan hasil simulasi dan analisis dari tahap sebelumnya. Hasil simulasi berupa data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif adalah koefisien tekanan (C_p), fluktuatif nilai koefisien hambat (C_{Df}), fluktuatif nilai koefisien angkat (C_L), Strouhal Number (St), *Shape Factor* (H). Data kualitatif adalah kontur tekanan statis, kontur kecepatan yang dipadu dengan *streamline*, dan kontur *vorticity magnitude*. Langkah berikutnya dalam proses



Gambar 5. Grafik CL pengambilan nilai rata-rata dalam satu periode.

adalah tahap pengolahan (*processing*) yang melibatkan beberapa langkah, seperti skala dan pemeriksaan (*scale and check*), pemilihan solusi (*solver*), memasukkan model, menentukan material, menginputkan kondisi batas (*boundary conditions*), menggunakan metode solusi, melakukan inisialisasi, dan perhitungan (*calculation*). Dalam penelitian ini, energi dimatikan karena analisis tidak mempertimbangkan perpindahan panas.

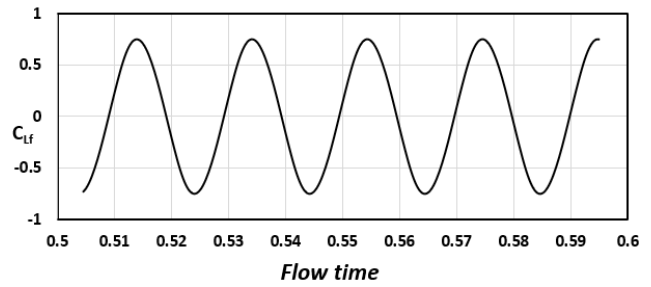
Untuk model viskositas yang digunakan dalam simulasi adalah $k-\omega$ *Shear stress transport* (SST), karena $k-\omega$ SST merupakan kombinasi akurat dari model $k-\omega$ *Standard* yang sesuai di dekat dinding dengan model $k-\epsilon$ *Standard* yang sesuai di area yang lebih jauh dari dinding. Model $k-\omega$ SST juga lebih andal untuk berbagai jenis aliran daripada model $k-\omega$ *Standard*, termasuk aliran dengan tekanan yang berlawanan (*adverse pressure gradient*).

Material yang digunakan dalam simulasi memiliki suhu 300 K, densitas $1,225 \text{ kg m}^{-3}$, dan viskositas $1,7894 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$. Parameter-input yang digunakan meliputi kecepatan inlet, dengan magnitudo kecepatan sebesar 8,717 m/s. Intensitas turbulen sebesar 0,5%. Panjang Skala Turbulen (*turbulent length scale*) digunakan sebesar 0,07D (dengan D merupakan diameter dari silinder sirkular). Metode yang diterapkan dalam simulasi adalah *Pressure-Velocity Coupling* dengan skema SIMPLE. *Spacial Discretization* untuk tekanan menggunakan metode *Second Order*, sementara untuk momentum, turbulensi kinetik, dan laju dissipasi spesifik menggunakan metode *Second Order Upwind*. Formulasi *transient* diterapkan menggunakan metode *Second Order Implicit*. Inisialisasi awal dilakukan menggunakan metode *hybrid initialization*. Sebelum memulai proses iterasi pada aliran yang mengalir melintasi silinder sirkular, langkah *Time Step Size* sebesar 0,0005 digunakan untuk menghadapi perubahan yang terjadi dalam analisis analisis *transient*.

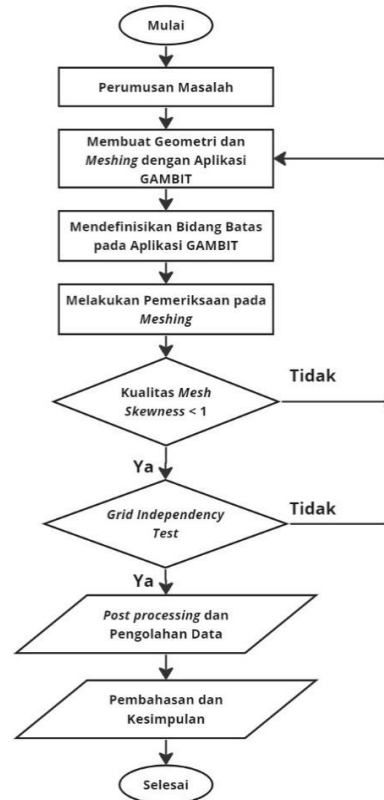
$$\lambda = T = \text{periode} = 1/f$$

Untuk *post-processing*, data yang diambil terdiri dari dua jenis, yaitu data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif mencakup berbagai parameter seperti koefisien tekanan (C_p), fluktuasi nilai koefisien *drag* (C_{Di}), fluktuasi nilai koefisien *lift* (C_{Lf}), *Strouhal Number* (St), dan *Shape Factor* (H). Sementara itu, data kualitatif mencakup kontur tekanan statis, kontur kecepatan yang digambarkan melalui garis arus (*streamline*), dan kontur *vorticity magnitude*.

Untuk mendapatkan nilai koefisien tekanan dan profil



Gambar 3. Grafik C_{Lf} silinder sirkular tanpa bodi pengganggu.



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

kecepatan, digunakan metode *instantaneous time* dengan mengambil rata-rata nilai dari lima titik dan menghentikan iterasi pada titik-titik tersebut, diberikan pada Gambar 3. Perhitungan rata-rata koefisien tekanan menggunakan rumus khusus.

Sedangkan untuk menghitung *Strouhal number*, digunakan grafik fluktuasi koefisien lift. Perhitungannya melibatkan persamaan khusus yang memungkinkan untuk mendapatkan nilai *Strouhal number*.

$$C_p = \frac{C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + C_{p4} + C_{p5}}{5} \tag{1}$$

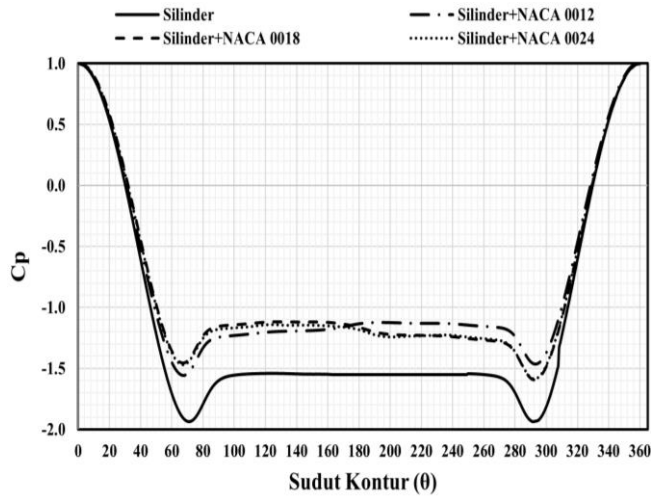
$$\text{Periode} = \frac{T_n - T_1}{\text{Shedding cycle}} \tag{2}$$

$$f = \frac{1}{\text{Periode}} \tag{3}$$

$$St = \frac{f \cdot D}{u} \tag{4}$$

Dari grafik C_{Lf} pada Gambar 4, didapat perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Periode} = \frac{(0,595 - 0,504)}{4,5} = 0,0202 \text{ s/siklus} \tag{5}$$



Gambar 6. Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* pada variasi S/D 1.

$$f = \frac{1}{0,0202} = 49,50 \text{ Hz} \tag{6}$$

$$St = \frac{49.50 \text{ Hz} \cdot 0,036 \text{ m}}{8,717 \text{ m/s}} = 0,204 \tag{7}$$

B. Flowchart Penelitian

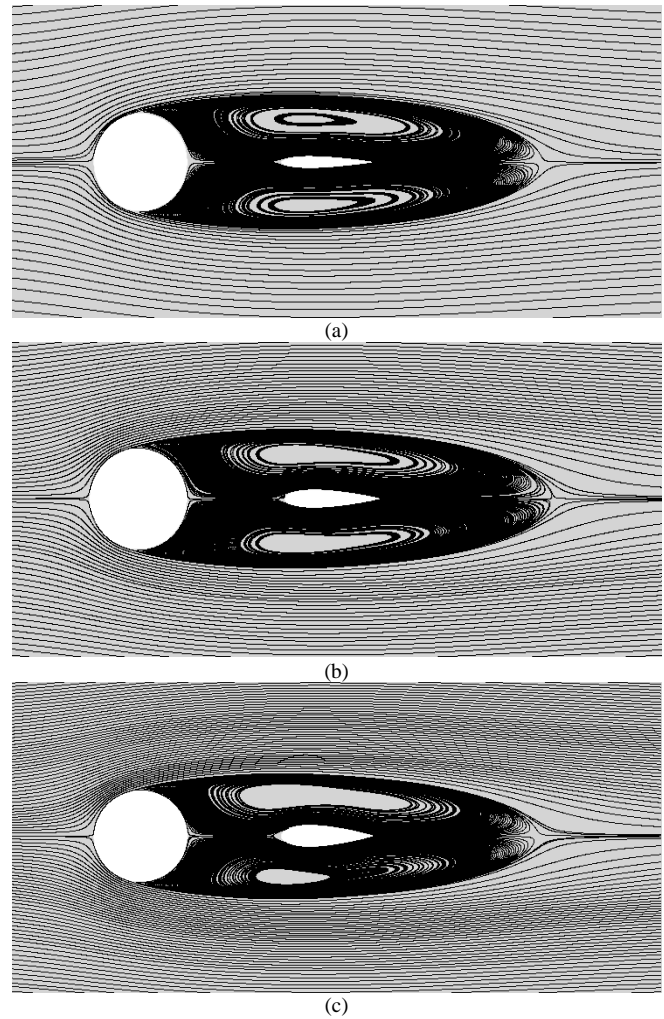
Pada penelitian ini terdapat skema penelitian yang dijelaskan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 5.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Airfoil NACA0012, NACA0018, NACA0024 pada S/D 1

Pada subbab ini ditampilkan data kuantitatif yaitu distribusi koefisien tekanan dan kualitatif hasil simulasi pada silinder sirkular utama dengan penambahan *airfoil* NACA 0012; NACA0018; NACA 0024 pada jarak longitudinal (S/D) 1. Distribusi koefisien tekanan pada permukaan silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* pada jarak longitudinal (S/D) 1 ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 menunjukkan tren grafik distribusi koefisien tekanan yang hampir sama untuk ketiga variasi *standard airfoil*. Pada jarak longitudinal (S/D) 1 aliran yang melintasi silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* NACA 0012, NACA 0018, NACA 0024 memiliki titik stagnasi yang sama dengan nilai C_p 1 pada sudut 0° . Lalu, aliran mengalami percepatan ditunjukkan pada grafik distribusi dengan menurunnya nilai C_p hingga titik percepatan maksimumnya. Pada variasi NACA 0012 titik maksimum percepatan berada pada sudut 70° dengan nilai C_p -1.5 (*upperside*) dan 290° dengan nilai C_p -1.44 (*lowerside*). Menurunnya nilai C_p yang menunjukkan percepatan aliran diakibatkan aliran yang mengenai permukaan silinder setelah melewati titik stagnasi dipaksa terus mengalir melintasi area permukaan silinder sehingga aliran yang terhimpit membentuk seperti *nozzle* mengalami percepatan hingga di titik maksimumnya yaitu aliran sudah tidak mengalami percepatan dimana pada daerah ini dinamakan *favorable pressure gradient*.

Kemudian aliran mengalami perlambatan hingga mencapai titik dimana momentum aliran sudah tidak mampu melawan *shear stress* dan *adverse pressure* yang menyebabkan terjadinya separasi. Separasi pada aliran ditunjukkan pada



Gambar 7. Velocity pathline aliran melintasi silinder dengan penambahan *airfoil* S/D 1 (a) NACA 0012 (b) NACA 0018 (c) NACA 0024.

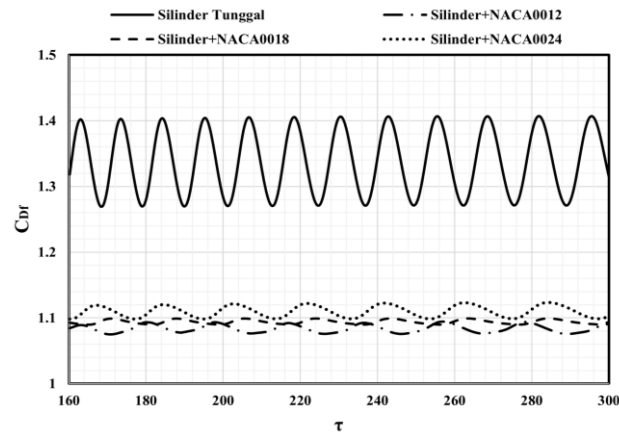
grafik dengan tidak berubah nya nilai C_p secara drastis. Pada variasi dengan penambahan *airfoil* NACA 0012, separasi aliran mulai berlangsung dari sudut 90° (*upperside*) dan 270° (*lowerside*) dengan nilai *base coefficient pressure* atau seringkali disebut sebagai C_p base dari silinder sebesar -1.2. Selanjutnya, pada variasi penambahan *airfoil* NACA 0018, separasi aliran mulai berlangsung dari sudut 90° (*upperside*) dengan nilai C_p base sebesar -1.2 dan 270° (*lowerside*) dengan nilai C_p base sebesar -1.3. Separasi aliran pada variasi penambahan *airfoil* NACA 0024 mulai berlangsung dari sudut 90° (*upperside*) dengan nilai C_p base sebesar -1.19 dan 270° (*lowerside*) dengan nilai C_p base sebesar -1.3. Pada variasi *airfoil* NACA 0018 dan NACA 0024 menunjukkan perbedaan antara *upperside* dan *lowerside*, hal tersebut terjadi karena pada jarak (S/D) 1 penambahan *airfoil* NACA 0018 dan NACA 0024 menghasilkan gaya *lift*. Namun adanya gaya *lift* ini belum tentu efektif untuk mereduksi gaya *drag*, hal ini dapat ditunjukkan pada subbab selanjutnya yang membahas koefisien *drag*.

Pada Gambar 7 (a), (b), dan (c), menunjukkan *velocity pathline* pada silinder sirkular dengan penambahan *airfoil*. Aliran yang terjadi mengalami separasi pada sudut yang cenderung sama dengan silinder sirkular tunggal. Namun karena adanya *airfoil* maka terjadi pengurangan *vortex* pada daerah *wake* sehingga daerah *wake* lebih sempit dibandingkan silinder tunggal. Penambahan *airfoil* pada jarak S/D 1 tidak terjadi *bubble separation* di sepanjang aliran.

Tabel 1.

Perbandingan nilai koefisien *lift*, koefisien *drag*, dan angka *strouhal*

No.	Variasi NACA	Silinder utama		
		C_L	C_D	S_r
1	Silinder Tunggal	0	1,329	0,24
2	NACA 12	0,001	1,083	0,147
3	NACA 18	-0,027	1,094	0,145
4	NACA 24	0,031	1,110	0,147



Gambar 9. Grafik fluktuatif koefisien drag (C_{DF}) pada silinder utama S/D 1. Titik *attachment* aliran berada di belakang silinder sirkular dan *airfoil*.

B. Koefisien Drag (C_D) pada Silinder Utama

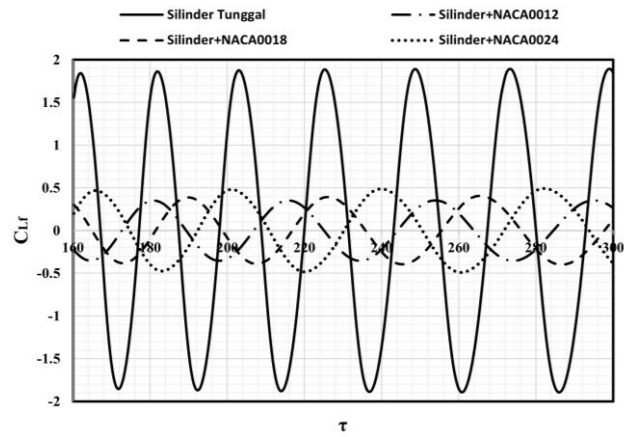
Pada subbab ini menampilkan data kuantitatif koefisien drag (C_D) yang dihasilkan silinder utama. Pembahasan dilakukan dengan menampilkan data koefisien drag (C_D) tiap konfigurasi dengan variasi NACA 0012, 0018, dan 0024, pada jarak longitudinal S/D = 1 yang ditunjukkan pada Tabel 1. Kemudian grafik fluktuatif koefisien drag (C_{DF}) tiap konfigurasi dibandingkan dengan silinder tunggal pada Gambar 8. untuk mengetahui pengaruh penambahan *airfoil* simetris NACA 0012, 0018, dan 0024 terhadap fluktuasi koefisien drag (C_D) silinder utama.

Pada Gambar 8. ditampilkan data kuantitatif grafik fluktuatif koefisien drag (C_D). Grafik fluktuatif koefisien drag (C_D) pada silinder sirkular utama menunjukkan pengaruh variasi jarak longitudinal (S/D) pada silinder sirkular utama dengan penambahan *airfoil*. Grafik fluktuatif koefisien drag (C_D) dari konfigurasi penambahan *airfoil* NACA 0012 di belakang silinder sirkular utama pada S/D = 1 paling efektif untuk mereduksi gaya hambat dengan reduksi gaya hambat sebesar 18,5%.

Data kuantitatif grafik fluktuatif koefisien *lift* (C_L) ditampilkan pada Gambar 9. Pada Gambar 9, grafik fluktuatif koefisien *lift* (C_L) pada silinder sirkular utama dengan penambahan *airfoil* NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 menunjukkan grafik fluktuatif menghasilkan rentang lebih kecil dibandingkan silinder tunggal semua variasi *airfoil*. Nilai koefisien *lift* (C_L) pada silinder utama dengan penambahan *airfoil* terjadi peningkatan yang tidak terlalu besar karena penempatan *airfoil* pada sudut serang 0° sehingga aliran yang melintas antara *upper side* dan *lower side* cenderung simetris.

C. Analisis Strouhal Number pada Silinder Utama

Berdasarkan Tabel 1, nilai angka Strouhal mengalami penurunan dibandingkan silinder sirkular tunggal. Hasil ini



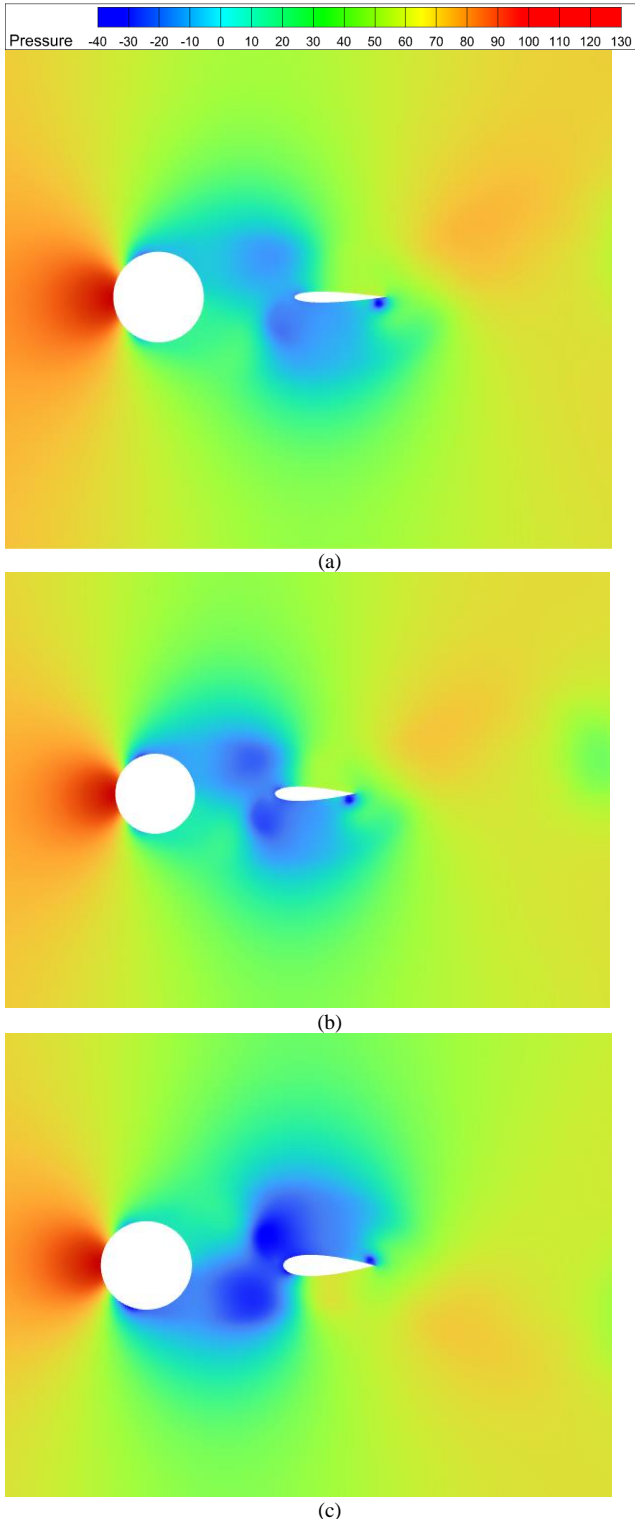
Gambar 8. Grafik fluktuatif koefisien drag (C_{Lr}) pada silinder utama S/D 1. menjelaskan bahwa reduksi koefisien drag mempunyai fluktuasi koefisien *lift* yang cenderung semakin kecil sehingga nilai angka Strouhal mengalami reduksi seiring koefisien drag. Menurunnya angka Strouhal mengindikasikan berkurangnya frekuensi dari vortex shedding pada aliran melintasi silinder sirkular. (Alam, et al., 2003) menyebutkan bahwa frekuensi *vortex shedding* dihitung berdasarkan lebar dari *shear layer* yang bergantung pada titik separasi aliran. Maka lebar dari *shear layer* separasi berkurang.

D. Analisa Kontur Tekanan Statis Aliran Melintasi Silinder Sirkular Tunggal dan dengan Penambahan Airfoil Simetris NACA 0012; NACA 0018; NACA 0024

Dengan menampilkan kontur tekanan statis aliran yang melintasi silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* pada jarak S/D = 1 pada Gambar 10. (a) NACA 0012; (b) NACA 0018 dan (c) NACA 0024. Dapat dilihat perbandingan tekanan statis antara silinder sirkular tunggal dan silinder sirkular dengan adanya penambahan *airfoil* di belakang silinder. Untuk semua konfigurasi menunjukkan kontur yang cenderung sama. Pada titik stagnasi silinder sirkular pada sudut 0° ditunjukkan dengan zona merah atau zona tekanan tertinggi. Pada variasi NACA 0024 kontur tekanan statis di sekitar silinder dan *airfoil* cenderung menghasilkan zona biru yang lebih dominan dibandingkan dengan NACA 0012. Hal ini dikarenakan pada *airfoil* lebih tebal aliran lebih dipengaruhi oleh banyak hal, seperti geometri *airfoil* dan silinder, interaksi antara fluida dan permukaan *airfoil* serta silinder utama yang berdekatan sehingga *wake* masih melingkupi daerah *airfoil*. Faktor tersebut menyebabkan perubahan distribusi tekanan statis yang lebih signifikan.

E. Analisa Kontur Kecepatan Aliran Melintasi Silinder Sirkular Tunggal dan dengan Penambahan Airfoil Simetris NACA 0012; NACA 0018; NACA 0024

Pada Gambar 11. data kualitatif yaitu kontur *velocity magnitude* menunjukkan perubahan kontur kecepatan aliran melintasi silinder dengan penambahan *airfoil*. Ditunjukkan untuk semua variasi terjadi perlambatan kecepatan hingga titik minimum pada sudut 0° silinder sirkular. Ketika aliran sudah melewati titik stagnasi, aliran mengalami percepatan. Akibat transisi kecepatan ini, timbul *shear stress* dan *adverse pressure* yang membuat aliran mengalami perlambatan. Ketika aliran tidak mampu melawan *shear stress* dan *adverse pressure* maka terjadilah separasi aliran yang ditandai dengan zona berwarna biru.

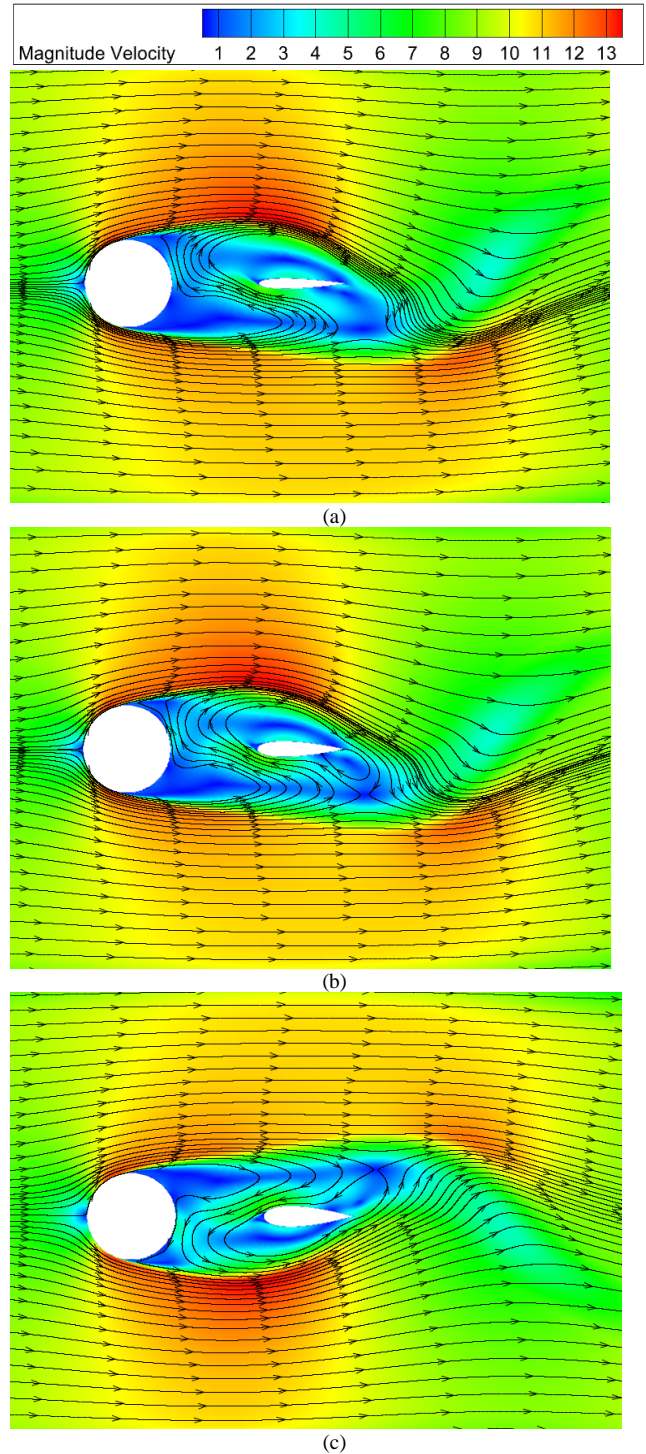


Gambar 11. Kontur tekanan statis pada silinder sirkular dengan penambahan airfoil jarak $S/D = 1$ (a) NACA 0012; (b) NACA 0018 dan (c) NACA 0024.

Pada Gambar 11. terlihat perbedaan akibat variasi *airfoil* dimana indikasi zona berwarna biru yang semakin memudar pada NACA 0024.

F. Diskusi

Data kualitatif kontur *turbulent intensity* untuk konfigurasi NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 ditunjukkan pada Gambar 12. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan *turbulent intensity* pada aliran dan pengaruhnya terhadap reduksi koefisien *drag*. Pada gambar 9 ditunjukkan bahwa semakin besar ketebalan dari *airfoil* maka turbulensi aliran semakin berkurang. Oleh karena itu dapat disimpulkan

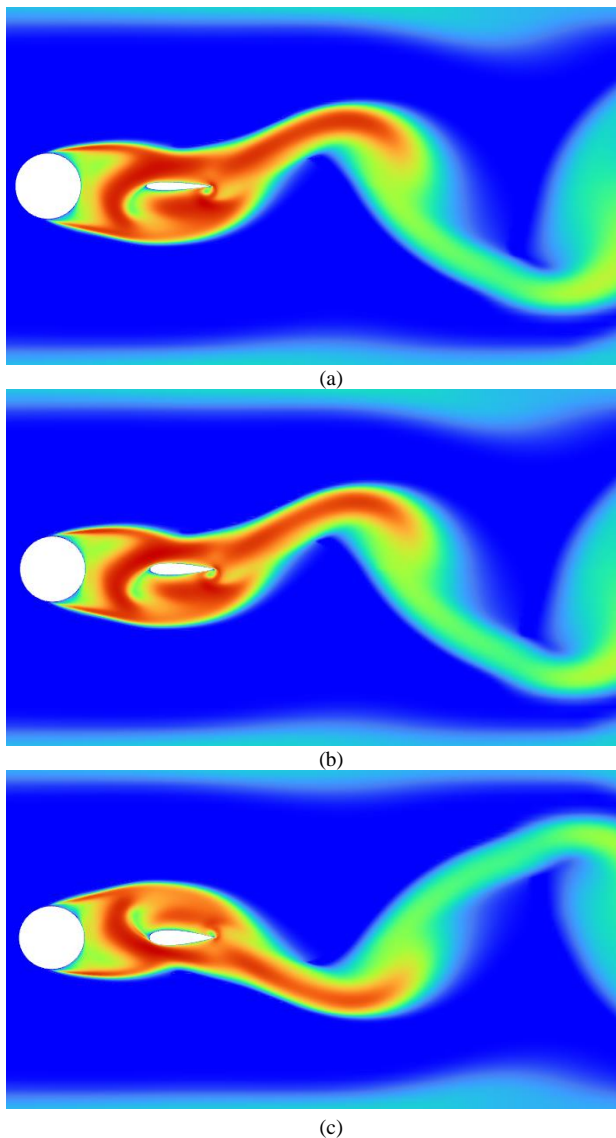


Gambar 10. Kontur *velocity magnitude* pada silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* jarak $S/D = 1$ (a) NACA 0012; (b) NACA 0018 dan (c) NACA 0024.

bahwa dengan adanya penambahan *airfoil* mampu mereduksi koefisien *drag* dengan mengurangi pembentukan *vortex* yang terjadi pada daerah *wake*.

IV. KESIMPULAN

Penelitian mengenai pengaruh penambahan bodi pengganggu *airfoil* terhadap karakteristik aliran melintasi silinder sirkular yang tersusun tandem dengan berbentuk *airfoil* dengan variasi NACA 0012; NACA 0018; NACA 0024 pada jarak antar trailing edge *airfoil* dan diameter silinder sirkular $S/D = 1$. Pada bilangan Reynolds yaitu $2,1 \times 10^4$ telah dilakukan secara numerik dengan aliran *steady*



Gambar 12. Kontur *turbulent intensity* silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* S/D 1 (a) NACA 0012 (b) NACA 0018 (c) NACA 0024.

menggunakan model $k-\omega$ Shear stress transport (SST). Kesimpulan berikut dapat ditarik dari hasil penelitian ini: (1) Penambahan *airfoil* di belakang silinder untuk semua variasi *airfoil* simetris (NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024) mempengaruhi distribusi tekanan (C_p) pada silinder utama dengan menaikkan *base pressure* dibandingkan silinder sirkular tunggal. (2) Nilai koefisien *drag* (C_D) mengalami

penurunan pada semua variasi penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular. Pada konfigurasi NACA 0012 menghasilkan reduksi koefisien *drag* (C_D) paling optimal sebesar 18,5%. Sedangkan reduksi koefisien *drag* (C_D) terendah terjadi pada konfigurasi NACA 0018 sebesar 11,3%. (3) Silinder sirkular dengan adanya penambahan *airfoil* di belakang menyebabkan timbulnya koefisien *lift* (C_L). Pada konfigurasi NACA 0024 menghasilkan koefisien *lift* (C_L) terbesar yaitu 0,031. Sedangkan pada NACA 0018 menghasilkan koefisien *lift* (C_L) bernilai negatif yaitu -0,027, hal ini terjadi akibat timbulnya *downforce* pada aliran. (4) Angka Strouhal silinder sirkular tunggal mengalami penurunan akibat adanya penambahan *airfoil*. Angka Strouhal terbesar sebesar 0,145 pada konfigurasi NACA 0018. Menurunnya angka Strouhal dengan adanya penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular mengindikasikan berkurangnya frekuensi *vortex shedding*. (5) Data kualitatif kontur tekanan statis menjelaskan bahwa dengan penambahan *airfoil* di belakang silinder, tekanan terbesar berada pada bagian depan silinder sirkular yang kemudian berkurang pada daerah belakang silinder ditandai dengan zona biru. Sedangkan untuk kontur kecepatan aliran menjelaskan bahwa dengan penambahan *airfoil* dapat mengurangi pembentukan *vortex* pada daerah *wake* sepanjang aliran melintasi silinder sirkular.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Tsutsui and T. Igarashi, "Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 90, no. 4–5, pp. 527–541, 2002, doi: 10.1016/S0167-6105(01)00199-4.
- [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), Surabaya, Indonesia*, 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] J. N. Lefebvre and A. R. Jones, "Experimental investigation of airfoil performance in the wake of a circular cylinder," *AIAA J.*, vol. 57, no. 7, pp. 2808–2818, 2019, doi: 10.2514/1.J057468.