

Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu Berupa *Airfoil* NACA 0012, NACA 0018, NACA 0024 di Belakang Silinder Sirkular Utama

Aldiva Syawallad Akbar dan Wawan Aries Widodo

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

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

Abstrak—Mekanika fluida merupakan salah satu ilmu pengetahuan yang dekat dengan manusia. Karena adanya perhitungan yang sering dilakukan guna mengetahui karakteristik aliran. Salah satunya adalah karakteristik aliran fluida melewati sebuah silinder sirkular yang merupakan salah satu jenis dari *bluff body*. *Bluff body* dapat menghasilkan *wake* yang besar, dimana *wake* tersebut mampu membentuk gaya *drag* yang besar juga. Maka dari itu perlu adanya pengurangan gaya *drag* yang terjadi dengan cara penambahan bodi pengganggu. Penelitian ini membahas tentang pengaruh penambahan bodi pengganggu pada sebuah silinder sirkular yang tersusun tandem. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan *sub-sonic wind tunnel* berpenampang octagonal. Benda uji yang digunakan berupa silinder sirkular dengan diameter $D = 36$ mm dengan menggunakan dosi pengganggu NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 berdiameter $c = 36$ mm di sisi belakang silinder *upstream*. Pengukuran pada penelitian ini menggunakan pitot static tube, wall-pressure tap dan inclined manometer. Pengujian ini dilakukan dengan variasi jarak antara silinder utama dengan rasio $S/D = 0,2$ hingga $1,4$ dengan menggunakan bilangan Reynolds ($Re = 2,01 \times 10^4$) untuk mendapatkan *coefficient pressure* (C_p), *Coefficient Drag Pressure* (C_{DP}) yang lebih optimal dengan menggunakan jarak rasio yang berbeda pada jarak (S/D) serta dapat menghitung *Coefficient Lift Pressure* (C_{LP}). Hasil yang diperoleh dari penambahan bodi pengganggu *airfoil* NACA 0024 pada jarak (S/D) $0,2$ dapat mereduksi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) paling efektif sebesar 16%. Sedangkan reduksi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) terendah terjadi pada silinder dengan penambahan bodi pengganggu berupa *airfoil* NACA 0012 pada jarak (S/D) $1,4$ sebesar 9%. Pada penambahan bodi pengganggu berupa *airfoil* NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 pada seluruh variasi jarak didapat reduksi sebesar 44%, 48% dan 54%. Reduksi gaya *drag* paling efektif pada variasi penambahan bodi pengganggu dengan *airfoil* NACA 0024.

Kata Kunci—*Airfoil*, *Bluff Body*, Bodi Pengganggu, *Drag*, *Lift*, *Tandem*.

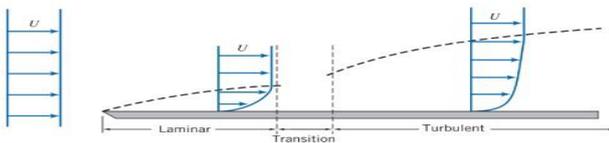
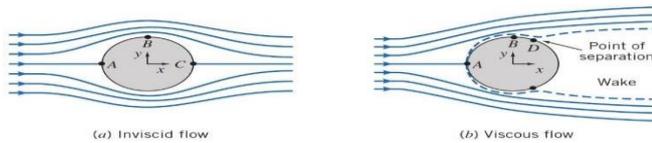
I. PENDAHULUAN

BERKEMBANGNYA ilmu teknik dalam bidang mekanika fluida sangat penting dalam bidang industri. Contohnya pada kemajuan yang terjadi dalam sektor pesawat terbang dan teknologi penerbangan. Studi mengenai aliran fluida juga semakin berkembang. Salah satunya penelitian aliran eksternal, turbulensi, dan fenomena lainnya. Aliran *incompressible* yang melintasi *bluff body* dapat disebut sebagai aliran eksternal yang dianalisa dengan teori *boundary layer*. Kemudian aliran fluida di sekitar suatu benda yang mengalir melalui fluida disebut dengan aliran eksternal *viscous*. Aliran yang mengalir melalui silinder akan mengenai

stagnation point lalu melewati *upper side* dan *lower side* permukaan silinder sirkular yang akan mengakibatkan terbentuknya *boundary layer* lalu terjadi separasi pada aliran yang dapat menimbulkan *wake* di belakang silinder.

Separasi aliran dapat mengakibatkan gaya *drag*. Semakin cepat separasi aliran terjadi. Maka *wake* akan semakin besar dan melebar sehingga gaya *drag* semakin besar. Adapun upaya yang dilakukan untuk mengurangi gaya *drag* dengan metode aliran pasif. Seperti memanjangkan bagian *downstream* dari *bluff body* yang akan memberikan kekasaran pada permukaan atau menempatkan bodi pengganggu pada bagian *downstream* dari *bluff body*. Banyak penelitian yang telah melakukan pengurangan gaya *drag*. *Drag* disebabkan oleh tubuh gertakan. *Drag* pada tubuh gertakan sejalan dengan gerakan cairan. Sang-Joon Lee, et.al. (2004) yang melakukan penelitian pada bilangan Reynolds sebesar 2×10^4 dengan benda kerja berupa silinder sirkular berdiameter $D = 30$ mm dalam pengurangan gaya *drag* menggunakan silinder sirkular tunggal dengan sebuah *control rod* yang ditempatkan di sisi *upstream*. Ia memvariasikan jarak longitudinal (L/D). Kemudian mendapatkan hasil penelitian yang menunjukkan rasio d/D pada L/D yang sama dalam mereduksi gaya *drag* terjadi hingga d/D yang sama dalam mereduksi gaya *drag* terjadi hingga $d/D = 0,233$. Jika rasio d/D lebih besar dan angka tersebut maka efektivitas dalam mereduksi gaya *drag* menjadi berkurang [1].

Pada penelitian yang dilakukan Hwang (2007). Pengurangan hambatan pada silinder sirkular dengan menggunakan pelat pembagi ganda yang terpisah dipelajari secara numerik. Dua pelat pembagi dengan panjang yang sama dengan diameter silinder (d) ditempatkan di sepanjang garis tengah horisontal; satu di bagian *upstream* silinder dan yang lainnya di daerah dekat *wake*. Posisi mereka dijelaskan oleh rasio gap G_1/d , G_2/d , di mana G_1 mewakili celah antara titik stagnasi silinder dan tepi belakang pelat pembagi *upstream*, dan G_2 menunjukkan celah antara titik dasar silinder dan tepi depan pelat pembagi *downstream*. Gaya hambat bervariasi dengan dua rasio celah; gaya hambat memiliki nilai minimum pada satu set rasio celah tertentu untuk setiap bilangan Reynolds. Pelat pembagi hulu mengurangi tekanan stagnasi dengan gesekan, sedangkan pelat hilir meningkatkan tekanan dasar dengan menekan pelepasan pusaran. Efek gabungan ini menyebabkan pengurangan hambatan yang signifikan pada silinder. Secara khusus, hambatan meningkat tajam melewati G_2/d optimum; hal ini terkait dengan pelepasan pusaran yang dimulai kembali di daerah *wake*.

Gambar 1. Skema *boundary layer*.

Gambar 2. Ilustrasi aliran.

Kemudian D. V. Wijanarko dan W. A. Widodo (2018) Studi numerik dua dimensi silinder dengan menggunakan pelat splitter di saluran sempit diselidiki untuk nomor Reynolds $5.21 \times 10^4 \leq Re \leq 1.56 \times 10^5$. *Splitter* memiliki panjang tetap yang sama dengan silinder berdiameter $2D$, dengan $D = 25$ mm. Pelat *splitter* menggunakan tiga ketebalan pelat yang berbeda, $T/D = 0,016, 0,04, \text{ dan } 0,08$, masing-masing. Tinggi saluran, H , adalah 125 mm. Pengaruh pelat splitter pada silinder tertentu T/D menunjukkan informasi koefisien tekanan rata-rata, koefisien hambatan tekanan, frekuensi pelepasan pusaran, dan jalur kecepatan sesaat. Dari hasil numerik, $T/D 0,08$ dapat mengurangi gaya tekan tarik koefisien lebih optimal daripada yang lain. Sementara itu, bilangan Reynolds yang lebih tinggi menghasilkan *grade* kecil untuk bilangan strouhal yang paling rendah adalah $T/D 0,08$ [2].

Adapun An Xinyu, et.al. (2019) melakukan penelitian numerik aliran melewati silinder melingkar dengan *splitter* pada wilayah bilangan Reynolds subkritis $5 \times 10^4 - 9 \times 10^4$ diteliti berdasarkan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui penyelesaian persamaan *Navier-Stokes* (URANS) rata-rata Reynolds (URANS) dua dimensi yang tidak dapat dimampatkan dengan transpor tegangan geser (SST) $k-\omega$ model turbulensi. Tiga resolusi grid yang berbeda digunakan dalam studi verifikasi dan validasi model turbulensi yang diadopsi. Berbagai karakteristik fluida seperti nomor Strouhal, *lift coefficient* silinder dan *splitter* sehubungan dengan berbagai panjang *splitter* dan nomor Reynolds yang berbeda diselidiki. Terungkap bahwa rasio koefisien angkat *splitter* di atas silinder tetap mendekati 1,6 ketika panjang *splitter* adalah 1,5-4 kali diameter silinder. *Vortex shedding* sangat terhambat ketika panjang *splitter* lebih besar dari nilai kritis sekitar empat kali diameter silinder. Perbedaan fase koefisien angkat pada permukaan atas dan bawah dari *splitter* bervariasi antara -30° dan 30° . Koefisien angkat maksimal tercapai ketika panjang *splitter* sekitar 2 kali diameter silinder. Selain itu, panjang *splitter* memiliki sedikit pengaruh pada sudut pemisahan di sekitar silinder [3].

Penelitian yang dilakukan oleh J. N. Lefebvre dan A. R. Jones (2019) mengamati performa airfoil dari NACA 0012 ditahan pada sudut serang statis dari -20° hingga 20° setelah silinder sirkular diselidiki secara eksperimental. Beban udara rata-rata waktu diukur untuk memvariasikan aliran silinder-airfoil jarak, x/D (berdasarkan diameter silinder D), bersama dengan gambar partikel rata-rata waktu dan fase. Perubahan dalam struktur aliran bangun silinder mengatur kinerja airfoil dalam interaksi silinder-airfoil. Untuk $x/D 2$, susunan bangun silinder adalah sepasang *vortisitas counter* berputar dalam konfigurasi berdampingan yang menginduksi hambatan

negatif pada airfoil. Saat jarak silinder dengan airfoil meningkat menjadi $x/D 3$, susunan bangun silinder menjadi jalan pusaran von Kármán yang menginduksi medan aliran berosilasi. Pusaran terdepan terbentuk di atas NACA 0012 sebagai konsekuensi dari wake silinder dan *delay airfoil stall*. Karya ini memberikan wawasan mendasar tentang seberapa besar skala turbulen mempengaruhi kinerja airfoil dalam konteks aerodinamika [4].

Kemudian terdapat juga R. Han, et.al. (2021) melakukan penelitian pada silinder sirkular tunggal berdiameter 100 mm dengan penambahan *airfoil* NACA0012 pada $Re = 5000$ [5]. *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. Didapatkan bahwa *primary vortex* dapat mengakibatkan penurunan yang signifikan pada koefisien *drag* konfigurasi tandem. Reduksi koefisien *drag* maksimal terjadi pada $X/D = 1.6$ dapat mencapai lebih dari 50%.

Maka dilakukan penelitian secara eksperimental terbaru terhadap aliran yang melintasi bodi pengganggu (BP). *Airfoil* NACA 0012 NACA 0018 dan NACA 0024 salah satu model sayap simetris klasik pada pesawat dengan *airfoil* dinamis menggunakan metode pengurangan *drag* di sisi silinder *upstream* dan *downstream*. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan menggunakan terowongan angin (*wind tunnel*) tipe *open circuit subsonic*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tinjauan Pustaka

Dalam penelitian ini terdapat beberapa aspek yang perlu dijelaskan: *airfoil*, *boundary layer*, aliran silinder sirkular, aliran *inviscid* dan *viscous*, tekanan, *pressure coefficient*, *drag*, dan *lift*.

1) Airfoil

Salah satu bentuk dari aerodinamika yang dapat berguna untuk dapat memberikan gaya angkat terhadap bodi lainnya Ketika melintasi fluida yang mengalir. *Airfoil* pada pesawat adalah sebuah bentuk sayap pesawat yang dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) atau biasa disebut juga sebagai efek aerodinamika ketika melewati suatu aliran. Sayap pesawat terbang dapat melintang pada sumbu y . Di bidang xz dapat dialiri udara dengan kecepatan V paralel. *Airfoil* dapat dilihat pada bagian potongan sayap pesawat terbang yang terpotong oleh sumbu xz . Bentuk geometri aerodinamika dapat diartikan sebagai *airfoil* yang dapat menghasilkan gaya angkat yang besar dengan gaya hambatan yang sangat kecil ketika melalui fluida. Gaya angkat yang telah dihasilkan dan besar dengan gaya hambat yang kecil. *Airfoil* dapat dipilih sebagai komponen sayap pesawat terbang. Kemudian gaya angkat dan gaya hambat dari sayap pesawat terbang bergantung pada bentuk geometris *airfoil*.

2) Boundary Layer

Teori lapis batas menjelaskan ketika fluida melintasi sebuah permukaan dan mengalami gesekan antara permukaan benda padat dengan fluida tersebut akan membentuk sebuah lapis batas. Kemudian ada istilah *freestream* yang berarti adanya fluida yang dekat dengan permukaan padat lalu terjadi gesekan yang besar sehingga daerah yang semakin jauh dari

permukaan benda padat tidak dipengaruhi oleh gaya gesek. Kemudian gradien tekanan, kekasaran permukaan, perpindahan panas, freestream disturbance, dan body forces menjadi factor yang mempengaruhi transisi lapis batas. Lapisan batas dapat berkembang pada lapisan yang Panjang dan pada dasarnya berada pada permukaan plat datar biasa terjadi di kehidupan nyata. Untuk aliran incompressible di atas plat datar halus memiliki gradien tekanan nol dan membuat tidak terjadinya perpindahan panas. Adanya ilustrasi teori lapis batas seperti Gambar 1 [6].

3) Aliran Silinder Sirkular

Aliran yang melintasi silinder sirkular dipengaruhi oleh besarnya bilangan Reynold semakin a) besar bilangan maka aliran akan semakin turbulen dan momentum yang dimiliki fluida juga semakin besar. Pada turbulent boundary layer, kecepatan fluida yang dekat permukaan mempunyai nilai lebih besar daripada laminar boundary layer. Untuk mengetahui bilangan Reynolds pada silinder sirkular dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{\rho U D}{\mu}$$

4) Aliran Inviscid dan Viscous

Aliran *inviscid* dan *viscous* diberikan pada Gambar 2 [6]. Adanya perbedaan dari aliran *inviscid* dan *viscous*. Aliran *inviscid* biasa dapat diilustrasikan ketika adanya aliran fluida tanpa ada gesekan terhadap dinding permukaan silinder sirkular atau pengaruh viskositas fluida tidak dapat memberi pengaruh pada aliran fluida. Dengan begitu nilai koefisien viskositas dapat diasumsikan nol ($\mu = 0$). Pada kenyataannya tidak ada nilai nol dalam koefisien viskositas. Dan karena itu pada kondisi tertentu tidak ada pengaruh pada sifat fluida sehingga dapat diabaikan.

5) Tekanan

Tekanan terdiri dari tiga macam, yaitu tekanan statis, tekanan stagnasi, dan tekanan dinamis. Tekanan statis merupakan tekanan yang diukur dengan alat ukur tekanan yang memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan aliran fluida. Tekanan ini semakin menurun sepanjang aliran karena adanya gesekan, dan besarnya sama pada tiap titik di potongan penampang aliran. Tekanan stagnasi dapat didefinisikan sebagai tekanan yang diukur pada daerah dimana aliran fluida diperlambat hingga nol dengan proses perlambatan tanpa gesekan. Tekanan yang diukur pada titik stagnasi, dimana kecepatan aliran fluida diperlambat sampai berhenti tanpa proses gesekan (*frictionless*).

Pada aliran *incompressible*, persamaan *Bernoulli* dapat digunakan untuk menghubungkan perubahan kecepatan dan tekanan sepanjang sebuah *streamline*. Dengan mengabaikan ketinggian, maka persamaan *Bernoulli* dituliskan menjadi:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{U^2}{2} = \text{konstan}$$

Pengukuran tekanan stagnasi (P_0) dimana kecepatan bernilai nol dan $z_0 = z$ maka persamaan Bernoulli di atas dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_0 = P + \frac{1}{2} \rho U^2$$

Tekanan dinamis merupakan selisih antara tekanan stagnasi dengan tekanan statis.

$$P_0 - P = \frac{1}{2} \rho U^2$$

6) Pressure Coefficient

Pressure coefficient adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbedaan atau selisih antara tekanan statis lokal dan tekanan statis *freestream* yang di nondimensionalisasi oleh tekanan dinamis *freestream*. *Pressure coefficient* dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_k - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

7) Drag

Komponen gaya pada benda yang bekerja sejajar dengan arah gerak relatif disebut dengan *drag*. Sedangkan untuk gaya drag sendiri dapat diartikan sebagai gaya yang ditimbulkan oleh tegangan geser pada suatu permukaan benda yang dilintasi fluida. *Drag force* (gaya drag) terjadi ketika adanya interaksi antara benda dengan fluida yang melintasinya. Gaya *drag* memiliki dua gaya yaitu gaya gesek dan gaya normal. Dari kedua gaya tersebut dapat di proyeksikan ke arah *vertical* dan *horizontal* sehingga dapat menghasilkan resultan dari kedua sumbu yang sejajar dengan arah kecepatan, maka koefisien *drag* dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

8) Lift

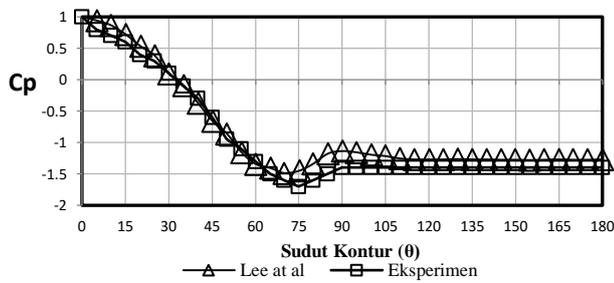
Gaya aerodinamis yang arahnya tegak lurus terhadap arah aliran fluida merupakan pengertian dari gaya *lift*. Penyebab terjadinya gaya *lift* adalah terjadinya perbedaan tekanan antara aliran yang melewati bagian atas benda dengan tekanan aliran yang melewati bagian bawah benda. Untuk menentukan *lift* suatu benda biasanya digunakan parameter tak berdimensi yang disebut dengan *lift coefficient* (C_L). *Lift coefficient* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil analisa dan diskusi dari data hasil eksperimen untuk variasi yang telah disebutkan pada bab sebelumnya. Hasil yang akan ditunjukkan diperoleh dari pengujian eksperimen dengan pengukuran statis pada permukaan silinder (*upstream*). Dari hasil tersebut akan diolah sehingga memperoleh distribusi koefisien tekanan (C_p) pada sebuah silinder sirkular, distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}), distribusi koefisien *lift pressure* (C_{LP}), dan profil kecepatan dibelakang silinder sirkular.

Penulisan pada bab ini dimulai dari pembahasan validasi silinder sirkular tunggal, dilanjutkan dengan pembahasan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada sebuah silinder sirkular tersusun tandem tanpa bodi pengganggu dan bodi pengganggu kontur 0° , 90° , dan 270° . Selanjutnya ditampilkan koefisien *drag pressure* (C_{DP}) dan koefisien *lift pressure* (C_{LP}), serta profil kecepatan. Sebagian hasil yang ditampilkan untuk perbandingan variasi rasio jarak (S/D) =



Gambar 3. Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular utama sebagai validasi eksperimen.

0,2 dan 1,4, sedangkan sebagiannya terdapat pada bagian lampiran.

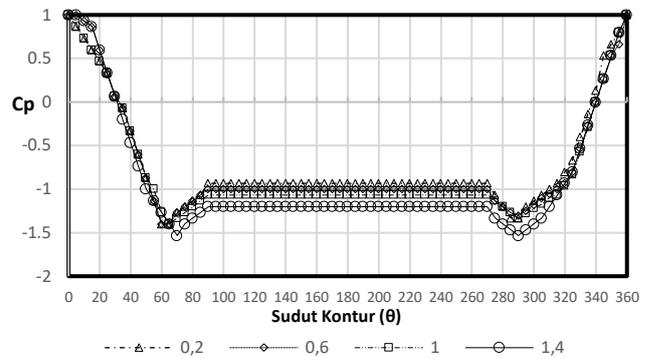
A. Analisa Validasi Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Silinder Sirkular Utama

Perbandingan yang digunakan dengan cara membandingkan nilai distribusi koefisien tekanan pada silinder tunggal studi eksperimen pada bilangan *Reynolds* sebesar $2,2 \times 10^4$ berdiameter 25 mm, dan dibandingkan dengan nilai distribusi koefisien tekanan pada silinder tunggal studi eksperimen pada bilangan *Reynolds* sebesar $2,01 \times 10^4$ yang dilakukan oleh Sang-Joon Lee, et.al. (2004). Nilai distribusi koefisien tekanan studi eksperimen yang dilakukan, didapatkan dari pembacaan tekanan statis pada 4 *pressure tap* silinder sirkular yang diletakkan pada sudut kontur 0° , 90° , 180° , 270° , dan data diambil setiap perubahan sudut θ sebesar 5° menggunakan manometer dengan kemiringan 15° [1]. Data tersebut diolah menggunakan persamaan 3.1, sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 3.

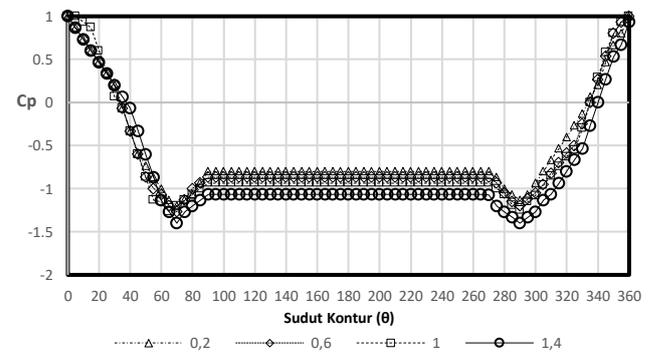
Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua data. Pada hasil eksperimen dan Sang-Joon Lee, et.al. (2004) sama – sama memiliki titik stagnasi pada 0° . Hasil eksperimen aliran fluida mengalami peningkatan kecepatan yang signifikan pada 10° hingga didapati kecepatan maksimum pada 75° , sedangkan pada didapati peningkatan kecepatan aliran fluida yang signifikan pada 20° hingga didapati kecepatan maksimum pada 70° [1]. Kemudian aliran sama – sama mengalami perlambatan aliran fluida akibat terdapat *adverse pressure* dengan meningkatnya nilai distribusi koefisien tekanan sampai aliran tidak mampu untuk melawan *adverse pressure* dan gesekan sehingga terjadi separasi dengan nilai distribusi koefisien tekanan mulai *steady* pada 90° untuk eksperimen yang dilakukan dan Lee (2004). Nilai distribusi koefisien tekanan dipengaruhi oleh bilangan *Reynolds* dan kecepatan *free-stream* aliran yang melalui silinder sirkular tunggal.

B. Analisa Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Silinder Sirkular yang terusun secara Tandem dengan Variasi Penambahan Bodi Pengganggu

Tren grafik koefisien tekanan (C_p) yang hampir sama pada silinder *upstream* dengan penambahan bodi pengganggu berupa NACA 0012 dan NACA 0024 dengan jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1,0; dan 1,4, diberikan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Posisi letak titik stagnasi berada tepat pada sudut 0° dimana memiliki nilai distribusi koefisien tekanan sebesar satu. Setelah titik stagnasi, aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_p). Pada variasi jarak (S/D) 0,2 percepatan terjadi hingga sudut 60° (*upper side*) dan 290° (*lower side*), untuk



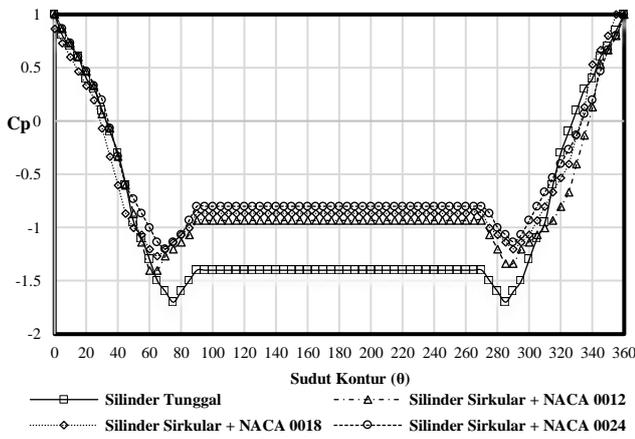
Gambar 4. Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu berupa NACA 0012.



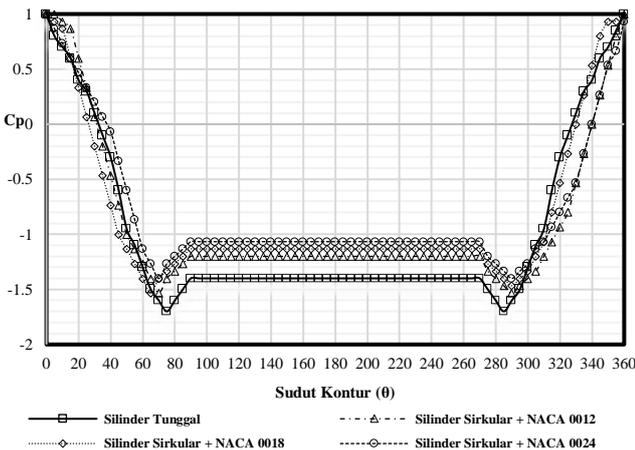
Gambar 5. Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu berupa NACA 0024.

variasi jarak (S/D) 0,6 terjadi percepatan aliran hingga sudut 60° (*upper side*) dan 285° (*lower side*). Selanjutnya pada variasi jarak (S/D) 1 percepatan terjadi hingga sudut 65° (*upper side*) dan 290° (*lower side*) dan variasi jarak (S/D) 1,4 percepatan terjadi hingga sudut 70° (*upper side*) dan 285° (*lower side*). Percepatan yang terjadi karena aliran melalui daerah *favorable* yang kemudian nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) mengalami kenaikan Kembali dikarenakan aliran melalui *adverse pressure*.

Tren grafik koefisien tekanan (C_p) yang hampir sama pada silinder *upstream* dengan penambahan bodi pengganggu berupa NACA 0024 dengan jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1,0; dan 1,4. Posisi letak titik stagnasi berada tepat pada sudut 0° dimana memiliki nilai distribusi koefisien tekanan sebesar satu. Setelah titik stagnasi, aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya nilai distribusi koefisien tekanan (C_p). Adapun perbedaan dari masing-masing variasi jarak yang terlihat pada *coefficient base pressure* atau nilai tekanan yang berada pada sepanjang daerah separasi aliran. Dimana *coefficient base pressure* tertinggi berada pada konfigurasi jarak (S/D) 0,2 sedangkan nilai *coefficient base pressure* terendah berada pada konfigurasi jarak (S/D) 1,4. Kemudian dapat dilihat bahwa pada jarak (S/D) 0,2 memiliki nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang paling tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya dan pada jarak (S/D) 1,4 memiliki nilai distribusi koefisien tekanan (C_p) yang paling rendah. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa adanya penambahan bodi pengganggu berupa *airfoil* NACA 0024 paling optimal untuk mereduksi gaya *drag* pada jarak (S/D) 0,2. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa pada jarak (S/D) $> 0,2$ kemampuan untuk mereduksi gaya *drag* pada silinder sirkular utama akan semakin berkurang.



Gambar 6. Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu dengan menggunakan variasi jarak (S/D) 0,2.



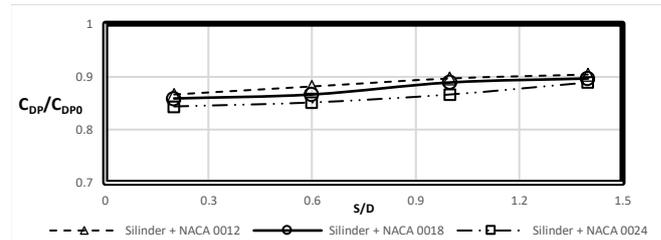
Gambar 7. Grafik distribusi koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu dengan menggunakan variasi jarak (S/D) 1,4.

C. Analisa Pengaruh Penambahan Bodi Pengganggu Terhadap Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) pada Sebuah Silinder Sirkular yang tersusun secara Tandem menggunakan variasi jarak.

Pada bagian ini akan ada penjelasan mengenai analisa pengaruh penambahan bodi pengganggu berupa NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 terhadap distribusi nilai koefisien tekanan (C_p) pada variasi jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1; dan 1,4 dengan bilangan *Reynolds* sebesar $2,01 \times 10^4$, diberikan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Perbedaan dalam pengaruh penggunaan variasi *airfoil* pada silinder sirkular utama akan menghasilkan perbedaan distribusi koefisien tekanan yang terjadi pada silinder sirkular utama. Pada penambahan *airfoil* di belakang silinder sirkular akan menghasilkan tren distribusi koefisien tekanan yang memiliki nilai yang lebih tinggi daripada silinder sirkular tunggal. Dapat dilihat bahwa penambahan *airfoil* NACA 0024 memiliki pengaruh yang paling optimal dalam meningkatkan nilai distribusi koefisien tekanan pada silinder sirkular utama dengan nilai distribusi tekanan pada daerah yang mengalami separasi sebesar -0,80. Peningkatan yang terjadi dalam nilai *coefficient base pressure* yang paling rendah terjadi pada variasi penambahan dengan *airfoil* NACA 0012. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketebalan *airfoil* yang digunakan akan menyebabkan semakin besar pengaruhnya terhadap peningkatan nilai distribusi koefisien tekanan pada silinder sirkular utama.

Tabel 1.
Nilai Koefisien drag pressure (C_{DP}) pada seluruh variasi eksperimen

| Variasi | Koefisien Drag Pressure (C_{DP}) | | |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Silinder Sirkular+ NACA 0012 | Silinder Sirkular+ NACA 0018 | Silinder Sirkular+ NACA 0024 |
| S/D 0,2 | 1,15 | 1,14 | 1,12 |
| S/D 0,6 | 1,17 | 1,15 | 1,13 |
| S/D 1 | 1,19 | 1,18 | 1,15 |
| S/D 1,4 | 1,20 | 1,19 | 1,18 |



Gambar 8. Grafik distribusi koefisien drag pressure silinder sirkular 0024 yang tersusun secara tandem dengan bodi pengganggu berupa NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024.

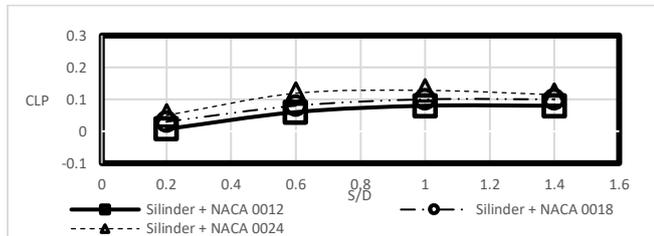
D. Analisa Distribusi Koefisien Drag Pressure (C_{DP}) dan Koefisien Lift Pressure (C_{LP}), pada Silinder Sirkular yang tersusun secara Tandem.

1) Distribusi Koefisien Drag Pressure (C_{DP}) pada Silinder Sirkular dengan Penambahan Bodi Pengganggu yang tersusun secara Tandem

Distribusi koefisien drag pressure (C_{DP}) pada silinder sirkular dengan bodi pengganggu berupa NACA 0024 memiliki nilai tertinggi untuk setiap variasi jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1; dan 1,4 dibandingkan dengan silinder yang menggunakan bodi pengganggu berupa NACA 0012, dan NACA 0018. Nilai distribusi koefisien drag pressure (C_{DP}) terendah berada pada silinder dengan NACA 0012 untuk variasi setiap jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1; dan 1,4 tersebut menunjukkan bahwa aliran yang melalui silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu NACA 0012 mengalami kenaikan pada setiap variasi jarak (S/D) 0,2 sampai 1,4. Kemudian hal itu juga terjadi pada silinder dengan NACA 0018, dan NACA 0024. Dimana tren grafik pada setiap bertambahnya jarak mengalami kenaikan. Semua hasil distribusi koefisien *drag pressure* (C_{DP}) silinder sirkular dengan penambahan bodi pengganggu yang tersusun secara tandem telah dibuat tabel seperti pada Tabel 1. Kemudian dibuat grafik seperti pada Gambar 8.

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan bodi pengganggu NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 menyebabkan peningkatan nilai koefisien drag pressure pada silinder sirkular. Pengaruh tersebut terjadi pada semua variasi jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1; dan 1,4. Distribusi koefisien *drag pressure* pada konfigurasi silinder tandem dengan bodi pengganggu untuk silinder sirkular menunjukkan pola yang hampir menyerupai untuk setiap variasi jaraknya.

Lalu karena nilai koefisien *drag pressure* silinder sirkular mengalami peningkatan pada setiap konfigurasi jarak S/D 0,2 hingga 1,4. Ditandai dengan adanya nilai *base pressure* dari konfigurasi jarak S/D 0,6 lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi jarak S/D 1. Seperti pada konfigurasi jarak S/D 1 yang lebih tinggi dari konfigurasi jarak S/D 1,4. Setelah itu nilai koefisien drag pressure mengalami penurunan menuju nilai terendah yaitu pada konfigurasi jarak S/D 1,4. Kemudian didapatkan kesimpulan bahwa pengaruh



Gambar 9. Grafik distribusi koefisien lift pressure silinder sirkular yang tersusun secara tandem dengan bodi penggangu NACA 0012, NACA 0018 dan NACA 0024.

penambahan bodi penggangu NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 memberikan dampak pada silinder sirkular. Pada silinder sirkular dengan NACA 0012 mengalami peningkatan. Begitu pula pada silinder sirkular dengan NACA 0018, dan NACA 0024.

Selain adanya pengaruh jarak terhadap kemampuan sebuah *airfoil* dalam mereduksi koefisien *drag pressure* pada silinder sirkular utama, perbedaan jenis *airfoil* yang dipakai pada suatu tertentu juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap reduksi koefisien *drag pressure* pada silinder sirkular utama. Berdasarkan Gambar 8 pada suatu jarak tertentu terlihat bahwa pada penambahan *airfoil* NACA 0024 dengan ketebalan yang paling besar memiliki kemampuan mereduksi koefisien *drag pressure* yang paling optimal dan penambahan dengan NACA 0012 yang merupakan *airfoil* dengan ketebalan paling kecil memiliki kemampuan reduksi *drag pressure* yang tidak terlalu signifikan. Oleh karena itu, pada suatu jarak tertentu penambahan bodi penggangu berupa *airfoil* dengan ketebalan yang semakin besar pada silinder sirkular tunggal dapat mereduksi gaya *drag* yang bekerja pada silinder sirkular utama dengan semakin optimal.

Kemudian pada seluruh variasi yang dilakukan secara eksperimen, didapatkan reduksi koefisien *drag pressure* paling optimal terjadi pada variasi silinder sirkular dengan penambahan *airfoil* NACA 0024 pada jarak (S/D) 0,2 dengan kemampuan reduksi sebesar 16%. Sebaliknya, variasi silinder sirkular dengan penambahan bodi penggangu berupa *airfoil* NACA 0012 pada jarak (S/D) 1,4 terjadi reduksi paling kecil dengan kemampuan reduksi sebesar 9%. Hasil ini juga dipengaruhi oleh distribusi koefisien tekanan (C_p) dan koefisien *base pressure* (C_{BP}). Dimana pada nilai koefisien *base pressure* (C_{BP}), yang lebih tinggi maka memiliki nilai koefisien *drag pressure* (C_{DP}) yang lebih rendah. Begitu pula sebaliknya.

2) Distribusi Koefisien Lift Pressure pada Silinder Sirkular yang Tersusun Tandem dengan Bodi Penggangu

Pada sub bab ini akan ada analisis mengenai pengaruh penambahan bodi penggangu berupa *airfoil* NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 di belakang silinder sirkular utama dengan variasi jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1; dan 1,4. Namun pada silinder sirkular tunggal tidak memiliki gaya *lift* yang bekerja dengan koefisien *lift pressure* sebesar nol. Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada penambahan bodi penggangu berupa *airfoil* di belakang silinder sirkular utama tidak memiliki pengaruh yang signifikan ataupun besar terhadap gaya *lift* yang bekerja pada silinder sirkular utama dengan nilai koefisien *lift pressure* pada keseluruhan variasi mendekati nol. Kemudian didapatkan nilai distribusi koefisien lift pressure pada silinder dengan NACA 0012 dengan variasi jarak (S/D) 0,2; 0,6; 1; 1,4 dengan hasil koefisien *lift pressure* yang positif bernilai sebesar 0,007; 0,064, 0,093, 0,087.

Kemudian dari Gambar 9 yang didapatkan hasil secara eksperimen ini didapatkan nilai koefisien *lift pressure* tertinggi terdapat pada variasi silinder sirkular dengan penambahan bodi penggangu berupa NACA 0024 pada jarak (S/D) 1 dengan nilai koefisien *lift pressure* sebesar 0,128. Kemudian nilai koefisien *lift pressure* positif mengindikasikan terjadinya *lift force* pada silinder sirkular utama dan sebaliknya. Pada dasarnya profil geometri dari sebuah *airfoil* simetris tidak memiliki nilai koefisien *lift pressure* yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis *airfoil* lainnya karena perbedaan tekanan yang terjadi relatif kecil pada *airfoil* simetris. *Airfoil* simetris dirancang untuk tidak menghasilkan gaya *lift* yang besar berbeda dengan *airfoil* asimetris yang memang dirancang untuk menghasilkan gaya *lift* yang besar.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan bodi penggangu terhadap karakteristik aliran melalui sebuah silinder sirkular yang tersusun secara tandem menunjukkan kesimpulan sebagai berikut. (1) Pengaruh penambahan bodi penggangu pada konfigurasi silinder yang tersusun secara tandem pada *wind tunnel* berpenampang *octagonal* terhadap penurunan nilai *coefficient drag pressure* yang efektif terjadi pada konfigurasi silinder dengan bodi penggangu yang diletakkan pada belakang silinder sirkular utama dengan semua variasi jarak (S/D) 0,2. (2) Penambahan bodi penggangu NACA 0024 efektif mempengaruhi distribusi nilai koefisien tekanan. Terjadi percepatan aliran yang sedang mengalami separasi karena pengaruh dari ketebalan dan konfigurasi jarak yang dipakai pada silinder dengan bodi penggangu NACA 0024. (3) Dengan adanya penambahan bodi penggangu NACA 0012, NACA 0018, dan NACA 0024 juga menyebabkan kenaikan nilai koefisien *drag pressure* yang selaras dengan bertambahnya variasi jarak. (4) Pengambilan profil kecepatan dilakukan pada bidang *vertical* yang menunjukkan bahwa luas daerah *wake* pada konfigurasi silinder yang tersusun secara tandem dengan bodi penggangu dengan jarak (S/D) 1,4 cenderung lebih sempit dibandingkan dengan konfigurasi yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [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] P. J. Pritchard and J. C. Leylegian, *Introduction to Fluid Mechanics*. USA: John Wiley & Sons, 2011. ISBN: 9780470547557.