

**MODIFIKASI KARAKTERISTIK GAYA AERODINAMIKA PADA  
TANDEM SILINDER SIRKULER DENGAN PEMASANGAN SILINDER  
PENGANGGU TIPE I-65°**

**Berlian Setyo<sup>1</sup>, Gunawan Sakti<sup>2</sup>, Didi Hariyanto<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3)</sup> Politeknik Penerbangan Surabaya, Jl. Jemur Andayani I No 73, Surabaya, 60236

Email: [csetyoberlian4900@gmail.com](mailto:csetyoberlian4900@gmail.com)

**Abstrak**

Penelitian dasar ini berfokus pada upaya penurunan gaya drag sebuah pipa silinder sirkuler dengan penempatan silinder pengganggu pada area upstream. Penurunan gaya drag dilakukan untuk mengurangi pressure drag yang dialami heat exchanger. Simulasi karakteristik silinder utama dan pengganggu dimodelkan secara 2D menggunakan Ansys Fluent<sup>®</sup> dengan pemodelan *transition k-kl-omega*. Upaya penurunan gaya drag dilakukan dengan diameter silinder utama  $D = 60$  mm, dengan tipe silinder pengganggu I-65° berukuran  $d/D = 0.125$ . Jarak antar titik pusat kedua silinder adalah  $S/D=1.375$  dan Reynold number  $Re = 4.54 \times 10^4$  pada kecepatan  $U_{\infty}=12$  m/s. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini yaitu simulasi menunjukkan karakteristik gaya aerodinamika yang lebih baik yaitu adanya pengurangan koefisien drag ketika silinder utama diberi pengganggu. Parameter ukur yang dianalisis adalah coefficient of pressure, distribusi tekanan di sekitar dinding silinder utama, coefficient of lift, coefficient of drag dan visualisasi kontur kecepatan dan tekanan. Dari simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nilai nilai perubahan  $C_p$  pada bilangan Reynold  $Re= 4.54 \times 10^4$  sangat dekat dengan nilai  $C_p$  simulasi dengan Reynold  $Re= 5.3 \times 10^4$  pada percobaan susunan silinder tandem dengan pengganggu tipe I-65°. Pemasangan silinder pengganggu I-65° mengakibatkan penurunan nilai  $C_D$  rata-rata menjadi 32% dari nilai awal dan meningkatkan rata-rata  $C_L$  sebesar 51% dari nilai awal.

**Kata Kunci:** kontrol pasif, I-type bluff body, drag, distribusi tekanan

**Abstract**

This basic research is focused on reducing the drag force of a cylinder pipe by placing a distracting cylinder in the upstream area. The reduction of drag force was done to reduce pressure drag. The aerodynamic characteristics of the main cylinder and its disturbance were modeled in 2D using ANSYS Fluent<sup>®</sup> on transition k-kl-omega model. Efforts to reduce the drag force are carried out with the diameter of the main cylinder  $D = 60$  mm, with the distracting cylinder type I-65o with the diameter  $d/D = 0.125$ . The distance between the center points of the two cylinders  $S/D = 1.375$  and the Reynolds number  $Re = 4.54 \times 10^4$  at the speed  $U = 12$  m/s. The results of this study are the simulation showing characteristics of aerodynamic forces, that the drag coefficient are reduced when the distracting cylinder is set in front of the main cylinder. The measured parameters analyzed are the coefficient of pressure, pressure distribution around the main cylinder wall, the coefficient of lift, the coefficient of drag and contour visualization of pressure and velocity. From the simulations that have been carried out, it can be concluded that the value of the  $C_p$  change at Reynolds number  $Re= 4.54 \times 10^4$  is very close to the simulation  $C_p$  value with Reynold  $Re= 5.3 \times 10^4$  in the tandem cylinder arrangement experiment with type I-65° disturbance. Installation of the I-65° distraction cylinder resulted in

# PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2021

ISSN : 2548 – 8112 eISSN: 2622-8890

a decrease in the average of  $C_D$  value to 32% from the initial value and an increase in the average of  $C_L$  by 51% from the initial value.

**Keywords:** passive control, I-type bluff body, drag, pressure distribution

### PENDAHULUAN

Penelitian pada sebuah aliran udara yang melewati silinder dilakukan dengan tujuan sebagai aplikasi teknik. *Bluff body* adalah sebuah bangun geometri yang memiliki hambatan udara yang tinggi sehingga ketika diberikan aliran fluida dengan kecepatan tinggi dan menyebabkan terbentuknya *vortex*. *Vortex* adalah pusaran aliran fluida bertekanan rendah dan bersifat turbulenta. *Vortex* terjadi di daerah downstream sehingga area tersebut memiliki tekanan rendah. Karena terjadi perbedaan tekanan di daerah aliran datang dan keluar, maka terjadilah *pressure drag* yang menyebabkan *pressure drop*. Dalam pipa lurus, penurunan tekanan ini sebagian besar disebabkan oleh *Friction Effect*, sedangkan pada tikungan, penurunan tekanan disebabkan oleh kombinasi *Friction Effect*, *Secondary Flow*, dan *Separation* (Crawford, N. M., et al, 2005).

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi *pressure drag* menurut Triyogi et. al, (2009) yaitu dengan mengontrol *shear layer* yang terseparasi dari *bluff body* dengan menempatkan *small rod* pada aliran datang dari *bluff body* dan metode lainnya berupa perubahan pola aliran tergantung pada diameter *rod* dan *Reynolds number*. Lee et. al (2004) mengemukakan dua teknik untuk mengontrol aliran sehingga gaya aerodinamik drag pada *bluff body* dapat berkurang yaitu kontrol aktif dan kontrol pasif, di mana kontrol aktif didefinisikan sebagai metode kontrol aliran dengan memberikan energi eksternal melalui sebuah eksitasi akustik atau

*jet blowing*. Sedangkan kontrol pasif adalah metode kontrol aliran dengan modifikasi bentuk bodi atau memasang peralatan tambahan seperti *control rod* atau elemen kasar pada body tersebut. Dari kedua metode kontrol aliran tersebut kontrol pasif membutuhkan peralatan mekanis yang rumit sebagai suplai *external power* ke dalam aliran.

Fluida yang mengalir melewati permukaan objek lalu aliran partikel di sekeliling permukaan objek akan bergerak lebih lambat karena disebabkan gaya gesek, sehingga kecepatan aliran partikel di sekeliling objek akan bernilai nol. Sedangkan aliran partikel lain akan berinteraksi, sehingga kecepatan aliran yang menjauh dari objek akan semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh *shear stress* yang meningkat. Karena *shear stress* memengaruhi kecepatan pada setiap *layer*, *layer* tersebut dinamakan *boundary layer*. Efek dari *shear stress* memiliki peran penting dalam *flow characteristic* di sekeliling objek adalah konsep dari *boundary layer*. Koefisien drag dari sebuah objek bisa dikurangi dengan menambahkan objek kontrol pasif di depan atau di belakang objek. (Widodo dkk, 2017).

Dalam eksperimen yang dilakukan oleh Triyogi dkk. (2009), dilakukan dengan menggunakan silinder tipe I dengan sudut irisan  $\theta_s = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 53^\circ, \text{ dan } 65^\circ$  yang diletakkan di depan silinder sirkular dengan jarak  $S/d = 1.375$  dalam wind tunnel pada Reynold number  $Re = 5.3 \times 10^4$  dan kecepatan udara dijaga pada 14 m/s, dihasilkan bahwa penempatan silinder kecil di depan silinder sirkular lebih efektif dalam mengurangi gaya drag dibanding dengan

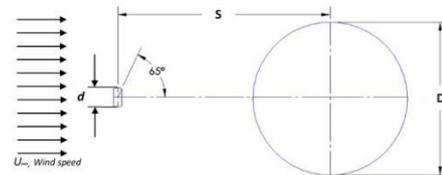
silinder sirkular tunggal tanpa kontrol pasif. Adanya silinder kecil tipe I, sirkular atau irisan ( $\theta_s = 0-65^\circ$ ) di depan silinder sirkular besar cenderung menunda separation point di bagian atas dan bawah silinder sirkular. Sebagai kontrol pasif, silinder kecil tipe-I ( $\theta_s = 0-65^\circ$ ) mempercepat transisi dari laminar menuju turbulenter layer. Silinder tipe I- $65^\circ$  memberikan pengurangan drag terbesar di antara semua silinder yang digunakan dalam investigasi tersebut. Drag pada susunan tandem menggunakan silinder tipe I- $65^\circ$  bernilai 0.52 kali dari drag silinder tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa silinder kecil tipe I- $65^\circ$  sebagai kontrol pasif pada posisi susunan sejajar  $\alpha = 0^\circ$  adalah yang paling efektif untuk mengurangi drag pada silinder sirkular besar di antara kontrol pasif silinder yang digunakan dalam percobaan tersebut.

Penelitian ini berfokus pada upaya penurunan *pressure drag* pada silinder sirkular pada kondisi *Reynolds number*  $Re = 4.54 \times 10^4$ . Jarak antar silinder diatur konstan sebesar  $1,375D$ , dengan  $D$  merupakan diameter silinder utama. Objek penelitian adalah sebuah silinder pengganggu tipe I- $65^\circ$  dengan diameter  $0.125D$  dan sebuah silinder utama. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Computational Fluid Dynamics* untuk melakukan komputasi dan analisis numerik. Hasil yang diharapkan adalah penurunan koefisien *drag* dengan penggunaan silinder pengganggu tipe I- $65^\circ$  pada *Reynold number* yang berbeda dan akan dibandingkan dengan penelitian acuan.

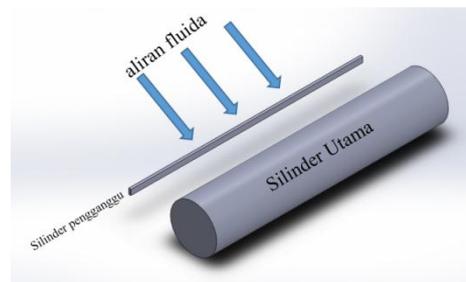
## METODE

Silinder utama memiliki diameter  $D = 60$  mm. Itu dipasang dengan jarak  $600$  mm dari titik pusatnya ke saluran masuk. Saluran masuk akan memberikan aliran udara dengan kecepatan  $12$  m/s. Setelah data selesai dihitung, perhitungan akan dilakukan

kembali dengan penambahan pemasangan silinder tipe I- $65^\circ$ . Potongan silinder tipe I- $65^\circ$  adalah silinder melingkar dengan diameter  $d = 7,5$  mm yang dipotong di kedua sisi sejajar dengan sumbu  $y$ . Jarak antara pusat kedua silinder adalah  $S = 82,5$  mm.



Gambar 1 Aliran udara yang melintas di silinder dengan memasang silinder tipe I

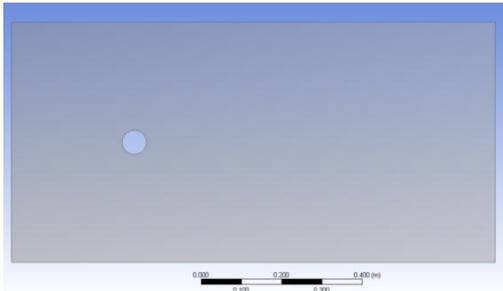


Gambar 2 Gambaran susunan silinder utama dan silinder pengganggu tipe I- $65^\circ$  secara isometris

Keterangan :

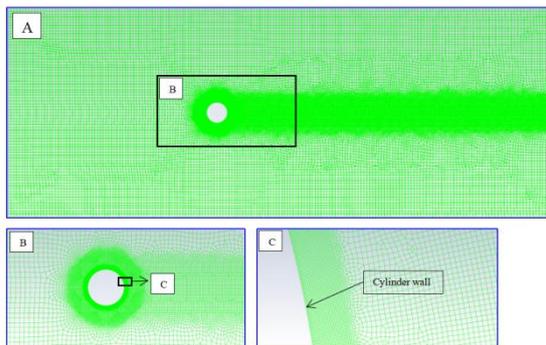
- $D$  : Diameter silinder utama (60 mm)
- $d$  : diameter silinder pengganggu ( $0.125D = 7.5$  mm)
- $S$  : Jarak antar pusat silinder utama dan pengganggu ( $1.375D = 82.5$ mm)
- $U$  : kecepatan udara (12 m/s)

Langkah pertama yang dilakukan adalah menggambar geometri objek dengan aplikasi *SolidWorks 2020* lalu disimpan dalam format *IGS* sehingga bisa diimpor ke *DesignModeler* aplikasi *ANSYS 2020R1* untuk menentukan kondisi *boundary layer*.



Gambar 3 *Boundary Condition*

Langkah selanjutnya yaitu membuat *meshing* permukaan dengan tipe *face meshing*, *quadrilateral* dengan *grading* pada arah vertikal dan horizontal dengan distribusi *mesh* yang semakin rapat pada dinding silinder untuk memberi efek adanya *wall function*.



Gambar 4 *Meshing* silinder sirkular dengan menggunakan tipe *mesh quadrilateral*

Selanjutnya, kembali ke kolom *project*, pilih menu *Setup*, masukkan *double precision* dan *2D*. Lanjutkan ke bagian *Solution*. Check *mesh* lalu input jenis *flow transient*. Masukkan model energy *Viscous (k- $\omega$ -3 equation)*, material berupa udara (*air*) dengan nilai *density* ( $\rho$ ) = 1,1726 kg/m<sup>3</sup> dan *dynamic viscosity* ( $\mu$ ) = 1,8586 x 10<sup>-5</sup> kg/m.s. Input *Operating conditions* dengan *operating pressure* sebesar 101325 pascal. Masukkan *Solution* yaitu menggunakan *discretization standard* untuk *pressure*, *second-order upwind* untuk *momentum*, *Pressure Velocity Coupling* adalah *COUPLE*.

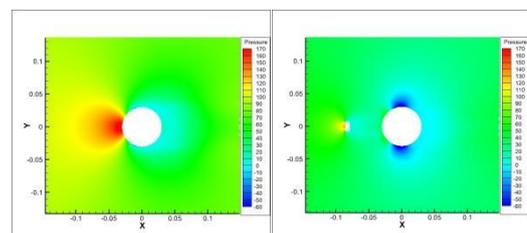
Lakukan *Initialize* yang dihitung dari *input* pada *reference value* yaitu *velocity inlet*

pada pilihan *hybrid initialization*. Pilih menu *Adapt* dan masukkan *x min*, *x max*, *y min*, *y max*, *z min*, *z max*. Masukkan *Reference Value* dari arah inlet. Pada menu *Solve* pilih *display* adalah *Velocity Magnitude*. Masuk ke menu *Monitor Residual* dan atur *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi sebesar 10<sup>-6</sup> untuk *residual energy*.

Lakukan proses *iteration* sampai mencapai *convergence criterion* sebesar 10<sup>-6</sup>. Setelah selesai, lanjutkan ke tahap *Post Processing* merupakan penampilan hasil yang telah diperoleh.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

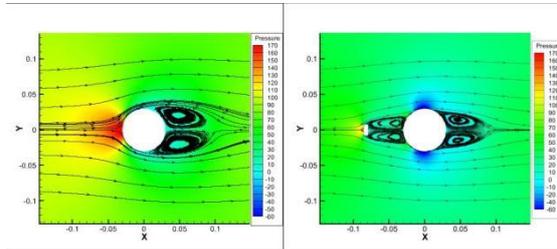
Perbandingan kontur tekanan antara silinder tunggal sebelum dan sesudah pemasangan silinder I-65<sup>0</sup> *upstream* silinder utama dapat ditunjukkan pada gambar 4.2. Kontur tekanan ini memperlihatkan adanya perbedaan tekanan di area *upstream* dan *downstream* di mana area yang berwarna merah menunjukkan tekanan yang tinggi yaitu di area aliran datang atau *upstream* dan area dengan warna biru menunjukkan area bertekanan rendah yaitu di area arah aliran pergi atau *downstream*. Perbedaan tekanan antara area *downstream* dan area *upstream* inilah yang disebut sebagai *pressure drag*.



Gambar 5 Kontur tekanan silinder tunggal (kiri) dan silinder dengan pemasangan pengganggu silinder tipe I-65 (kanan) untuk  $Re = 4.54 \times 10^4$ , dengan jarak antar pusat  $S/D = 1.375$ .

Hasil analisis kualitatif dari kontur tekanan ini adalah adanya penyempitan area bertekanan rendah dan area bertekanan tinggi masing-masing pada area *downstream* dan *upstream* silinder utama sebagai dampak

penempatan silinder I-65<sup>0</sup> sebagai kontrol pasif aliran *upstream* silinder utama. Sehingga penempatan silinder I-65<sup>0</sup> terbukti mampu menurunkan *pressure drag* pada silinder utama.



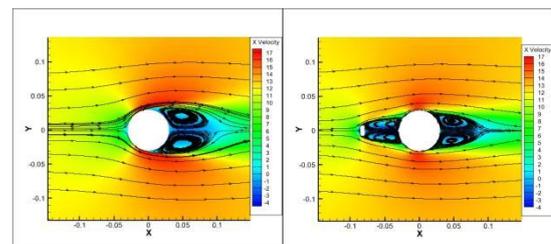
Gambar 6 *Streamline* kontur tekanan silinder tunggal (kiri) dan silinder dengan pemasangan pengganggu silinder tipe I-65<sup>0</sup> (kanan) untuk  $Re = 4.54 \times 10^4$ , dengan jarak antar pusat  $S/D = 1.375$

Gambar 6 menunjukkan *overlay streamline* aliran yang melewati silinder tunggal dan silinder dengan penempatan *bluff body* tipe I-65<sup>0</sup>. Pada konfigurasi silinder tunggal *freestream* aliran akan jatuh tepat di *stagnation point* dinding lingkaran depan dan mengalami stagnasi. Untuk aliran di sekitarnya yang mengalir di permukaan dinding silinder disebut *laminar boundary layer*. Karena adanya *adverse pressure gradient* aliran tersebut mulai kehilangan momentum dan terseparasi lepas dari permukaan dinding silinder untuk membentuk *turbulent boundary layer*. Aliran ini akan membentuk *wake* di belakang silinder, di mana pada gambar 4.3 *wake area* mempunyai tekanan yang rendah. Sebagai akibatnya terjadi perbedaan tekanan yang besar antara area *downstream* dengan area *upstream* sehingga *pressure drag* membesar.

Dengan adanya penempatan silinder I-65<sup>0</sup> akan melepaskan *shear layer* yang akan mengalami *re-attachment* pada dinding permukaan silinder, sehingga separasi aliran akan sedikit tertunda ke belakang menyebabkan luas pembentukan *wake* di area *downstream* yang bertekanan rendah semakin

menyempit. Selain itu juga area diantara silinder utama dan silinder I-65<sup>0</sup> akan mengalami penurunan tekanan dan mengakibatkan selisih tekanan antara area *downstream* dengan area *upstream* silinder utama akan mengalami penurunan, maka *pressure drag* turun.

Gambar 7 menunjukkan *overlay streamline* aliran udara pada kontur kecepatan untuk kedua konfigurasi yang diuji pada  $Re = 4.54 \times 10^4$ . Area yang berwarna biru menunjukkan area dengan kecepatan rendah dan adanya *backflow* yang ditunjukkan dengan adanya arah *streamline* dan kecepatan negatif. Perbandingan kontur kecepatan ini menunjukkan adanya fenomena separasi yang tertunda dikarenakan pemasangan silinder tipe I-65<sup>0</sup> *upstream* silinder utama. Pada daerah *reattachment* kecepatan udara semakin rendah, sampai dengan aliran *laminar sublayer*, kemudian kecepatan udara kembali meningkat ketika terjadi separasi dari dinding silinder utama.

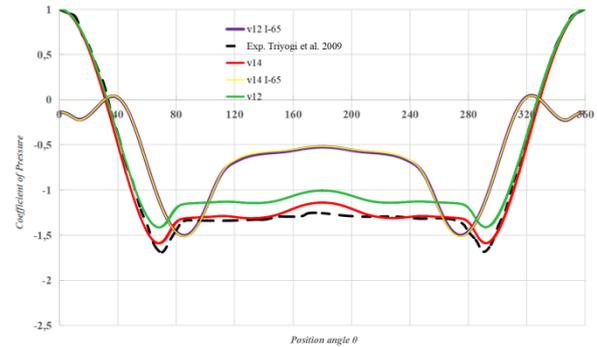


Gambar 6 *Streamline* kontur kecepatan silinder tunggal (kiri) dan silinder dengan pemasangan pengganggu silinder tipe I-65 (kanan) untuk  $Re = 4.54 \times 10^4$ , dengan jarak antar pusat  $S/D = 1.375$

Gambar 7 menunjukkan distribusi tekanan pada dinding silinder tunggal dan silinder dengan penempatan *bluffbody* tipe I-65<sup>0</sup> pada Reynolds Number  $Re = 4.54 \times 10^4$ . Dari hasil simulasi numerik ini ditemukan bahwa dengan bilangan Reynold tersebut distribusi tekanan pada silinder tunggal masih mendekati data eksperimen dari Triyogi *et al.* 2009. Dengan adanya silinder tipe I-65<sup>0</sup> menurunkan *coefficient of pressure* di area

*upstream* dan menaikannya pada area *downstream*. Grafik distribusi koefisien tekanan ini juga dapat digunakan untuk menentukan titik *reattachment* dan *separation* di permukaan dinding silinder utama pada kedua eksperimen yang dilakukan.

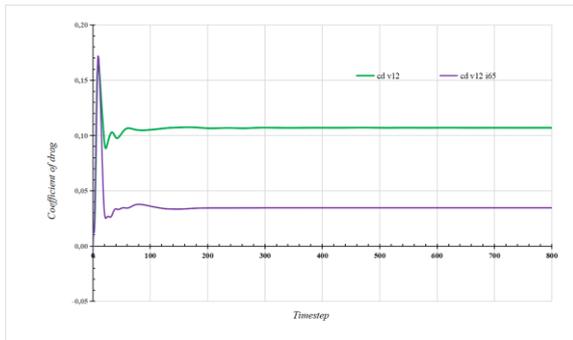
Dari grafik dapat terlihat bahwa hasil eksperimen dengan Reynolds Number  $Re = 4.54 \times 10^4$  baik pada silinder utama sebelum dan sesudah ditambahkan silinder pengganggu menghasilkan nilai *coefficient of pressure* yang hampir berimpit dengan hasil eksperimen *Triyogi et al.* 2009. Titik *reattachment* untuk konfigurasi silinder tandem berada masing-masing di derajat  $\theta = 35^\circ$  dan  $\theta = 325^\circ$ . Untuk titik separasi ditentukan dengan distribusi koefisien tekanan yang konstan karena *laminar boundary layer* sudah terseparasi dari permukaan silinder untuk membentuk *turbulence boundary layer*. Dari grafik ini, titik separasi silinder tunggal terjadi pada posisi  $\theta = 85^\circ$  dan  $\theta = 275^\circ$ , sedangkan untuk silinder tandem tipe I-65<sup>0</sup> *separation point* terjadi pada posisi  $\theta = 120^\circ$  dan  $\theta = 240^\circ$ . Sehingga dapat disimpulkan dengan penempatan silinder pengganggu tipe I-65<sup>0</sup> dengan diameter  $d/D = 0.125$  mampu menunda titik separasi masing-masing sejauh  $35^\circ$  ke arah *downstream*. Selain itu, dari grafik ini juga dapat menunjukkan adanya penurunan selisih nilai distribusi koefisien tekanan antara bagian *upstream* silinder dan bagian *downstream* silinder. Sehingga penempatan silinder tipe I-65<sup>0</sup> ini mampu menurunkan nilai *pressure of drag*.



Gambar 7 Grafik *coefficient of pressure* terhadap *position angle* untuk silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu I-65<sup>0</sup>, pada  $Re = 4.54 \times 10^4$ .

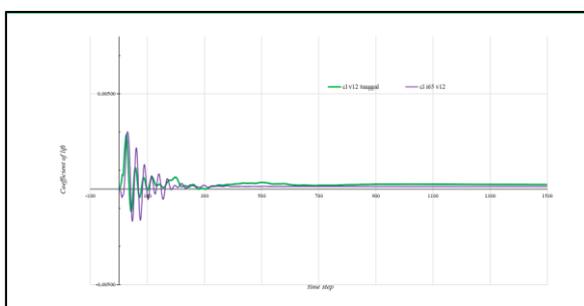
Dalam suatu artikel, kadang-kadang tidak bisa dihindari pengorganisasian penulisan hasil penelitian ke dalam “anak subjudul”. Berikut ini adalah cara menuliskan format pengorganisasian tersebut, yang di dalamnya menunjukkan cara penulisan hal-hal khusus yang tidak dapat dipisahkan dari sebuah artikel.

Gambar 8 menunjukkan adanya penurunan terhadap *coefficient of drag* pada konfigurasi silinder tandem jika dibandingkan dengan silinder tunggal. Fluktuasi nilai  $C_D$  dari kedua susunan silinder terjadi ketika *timestep* kurang dari 100 pada silinder tunggal dan *timestep* di bawah 200 untuk silinder dengan pengganggu tipe I-65<sup>0</sup>. Untuk silinder tunggal, nilai  $C_D$  mulai stabil pada *timestep* 100 dan seterusnya dengan nilai rata-rata 0,1. Sedangkan untuk silinder dengan pengganggu nilai  $C_D$  mulai stabil pada *timestep* 200 dan seterusnya dengan nilai rata-rata 0,035. Dari gambar ini disimpulkan bahwa penempatan silinder I-65<sup>0</sup> *upstream* silinder utama cenderung menurunkan *coefficient of drag* menjadi sekitar tiga kali lipat lebih kecil jika dibandingkan dengan konfigurasi silinder tunggal pada Reynolds number  $Re = 4.54 \times 10^4$ .



Gambar 8 Grafik perubahan *coefficient of drag* terhadap *timestep* silinder tunggal dan silinder tandem pada  $Re = 4.54 \times 10^4$ .

Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan nilai *coefficient of lift* untuk susunan silinder tunggal dan silinder tandem tipe I-65°. Dari gambar ini terlihat bahwa penempatan silinder tipe I-65° menghasilkan peningkatan pada nilai *coefficient of lift* pada konfigurasi silinder tunggal. Fluktuasi nilai  $C_L$  dari kedua susunan silinder terjadi ketika *timestep* kurang dari 700 pada silinder tunggal dan *timestep* di bawah 500 untuk silinder dengan pengganggu tipe I-65°. Untuk silinder tunggal, nilai  $C_L$  mulai stabil pada *timestep* 700 dan seterusnya. Sedangkan untuk silinder dengan pengganggu tipe I-65° nilai  $C_L$  mulai stabil pada *timestep* 500 dan seterusnya.



Gambar 9 Grafik perbandingan *coefficient of lift* sebagai fungsi dari *timestep* untuk silinder tunggal dan silinder tandem pada  $Re = 4.54 \times 10^4$ .

Tabel 4.1 menunjukkan hasil simulasi *transient* untuk masing-masing koefisien drag dan koefisien lift pada  $Re = 4.54 \times 10^4$ . Kedua konfigurasi silinder masing-masing

diambil nilai rata-rata secara menyeluruh 1500 *timestep* dan setiap rentang 100 *timestep* kemudian ditentukan perubahan *coefficient of drag* dan *lift* dalam persentase. Nilai rata-rata *coefficient of drag* konfigurasi silinder dengan instalasi *bluffbody* I-65° pada rentang *timestep* 0-1500, menunjukkan adanya penurunan menjadi 32% dibandingkan silinder tunggal. Sedangkan nilai rata-rata *coefficient of lift* konfigurasi silinder dengan instalasi *bluffbody* I-65° pada rentang *timestep* 0-1500, menunjukkan adanya penurunan nilai koefisien *lift* menjadi 63% dibandingkan dengan susunan silinder tunggal.

Tabel 1 Perubahan nilai *coefficient of drag* untuk simulasi silinder tunggal dan silinder tandem tipe I-65° pada  $Re = 4.54 \times 10^4$

Timestep	Cd		Δ(%)
	Sil. Tunggal	Sil. I-65	
0-1500	0,106663456	0,035279968	33%
0-100	0,164048242	0,04528896	28%
100-200	0,10681971	0,034120612	32%
200-300	0,106755162	0,03450683	32%
300-400	0,106975146	0,034592685	32%
400-500	0,107045948	0,034599793	32%
500-600	0,106989537	0,034600915	32%
600-700	0,107007671	0,034600704	32%
700-800	0,106986087	0,034600764	32%
800-900	0,106993606	0,034600963	32%
900-1000	0,107028386	0,034601188	32%
1000-1100	0,107046924	0,034601304	32%
1100-1200	0,107052339	0,034601261	32%
1200-1300	0,107054562	0,034601072	32%
1300-1400	0,10705506	0,03460085	32%
1400-1500	0,107053789	0,034600697	32%
Average			<b>32%</b>

Tabel 2 Perubahan nilai *coefficient of lift* untuk simulasi silinder tunggal dan silinder tandem tipe I-65° pada  $Re = 4.54 \times 10^4$

Timestep	Cl		Δ(%)
	Sil. Tunggal	Sil. I-65	
0-1500	0,00026284	0,000165115	63%
0-100	0,000481333	0,000425854	88%
100-200	0,00033687	0,000136942	41%
200-300	0,000159523	0,000158609	99%
300-400	0,000174157	0,000148256	85%
400-500	0,0003069	0,000144496	47%
500-600	0,000291073	0,000145345	50%

600-700	0,000207386	0,000145821	70%
700-800	0,000209871	0,000145596	69%
800-900	0,000244458	0,000145477	60%
900-1000	0,000264783	0,000145418	55%
1000-1100	0,000265842	0,000145361	55%
1100-1200	0,000259796	0,000145381	56%
1200-1300	0,000253589	0,000145419	57%
1300-1400	0,000247121	0,000145417	59%
1400-1500	0,000242036	0,000145473	60%
Average			<b>63%</b>

## PENUTUP

### Simpulan

Berikut hasil simulasi dan analisis perubahan nilai koefisien *drag* dan *lift* pada silinder tandem dengan menempatkan silinder pengganggu tipe I-65° di area *upstream* dengan bilangan *Reynold*  $Re= 4.54 \times 10^4$  diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model viscosity transtition k-kl-omega (3 equations) adalah pemodelan dalam simulasi yang paling mendekati eksperimen Triyogi et al. (2009) dengan kondisi bilangan *Reynold*  $Re= 5.3 \times 10^4$ .
2. Dengan adanya penempatan silinder I-65° akan melepaskan *shear layer* yang akan mengalami *re-attachment* pada dinding permukaan silinder, sehingga separasi aliran akan sedikit tertunda ke belakang menyebabkan luas pembentukan *wake* di area *downstream* yang bertekanan rendah semakin menyempit. Selain itu juga area diantara silinder utama dan silinder I-65° akan mengalami penurunan tekanan dan mengakibatkan selisih tekanan antara area *downstream* dengan area *upstream* silinder utama akan mengalami penurunan, maka *pressure drag* turun.
3. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa pada silinder pengganggu tipe I-65° dapat mengurangi *drag* pada kondisi bilangan *Reynold*  $Re= 5.3 \times 10^4$  juga terjadi ketika eksperimen dilakukan dengan bilangan *Reynold*  $Re= 4.54 \times 10^4$ .

4. Pada grafik  $C_p$ , terlihat bahwa nilai perubahan  $C_p$  pada bilangan *Reynold*  $Re= 4.54 \times 10^4$  sangat dekat dengan nilai  $C_p$  simulasi dengan *Reynold*  $Re= 5.3 \times 10^4$  baik pada percobaan susunan silinder tunggal maupun silinder tandem dengan pengganggu tipe I-65°. Baik titik separation maupun re-attachment yang terjadi pada silinder tunggal dengan atau tanpa silinder pengganggu tipe I-65° posisinya hampir mirip dengan selisih yang sangat kecil terhadap posisi titik-titik tersebut pada saat kondisi eksperimen diberikan nilai bilangan *Reynold*  $Re= 5.3 \times 10^4$ .

5. Pemasangan silinder pengganggu I-65° mengakibatkan penurunan nilai  $C_D$  rata-rata menjadi 32% dari nilai awal dan menurunkan rata-rata  $C_L$  menjadi sebesar 63% dari nilai awal.

### Saran

1. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya memiliki banyak variasi parameter dan variabel bebas untuk dikaji. Pengembangan dapat diberikan dengan variasi perbandingan ukuran silinder utama dengan silinder pengganggu, tipe fluida yang mengalir, serta posisi dan sudut silinder pengganggu terhadap silinder utama.
2. Diharapkan untuk melakukan kajian yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan sifat dan hasil penelitian ( $C_p$ ,  $C_L$ , dan  $C_D$ ) dalam kondisi input satu variabel dengan variabel lainnya.
3. Diharapkan untuk memperbanyak studi literatur sebagai rujukan dan pembandingan dalam penelitian selanjutnya.

### DAFTAR PUSTAKA

Referensi / acuan utama yang digunakan dalam penelitian ialah jurnal nasional /

**PROSIDING**  
**SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2021**

ISSN : 2548 – 8112 eISSN: 2622-8890

internasional dan proceeding. Semua referensi sebaiknya *up-to-date* dengan perkembangan keilmuan dan ditulis dengan menggunakan Vancouver style. Silahkan menggunakan format – format yang telah disediakan dalam template makalah ini :

**Jurnal:**

- [1] Achenbach, E. Influence of surface roughness on the cross-flow around a circular cylinder J. Fluid Mech., 1971, 46, 321–335.
- [2] Anderson, J. D. (2017). Fundamentals of Aerodynamics.
- [3] ANSYS Inc. 2013. ANSYS Fluent Meshing User’s Guide. U.S.A.
- [4] Catalano, Pietro & Wang, Meng & Iaccarino, Gianluca & Moin, Parviz. (2003). Numerical simulation of the flow around a circular cylinder at high Reynolds numbers. International Journal of Heat and Fluid Flow.
- [5] Chung, T. (2002). Computational Fluid Dynamics. Cambridge: Cambridge University Press.
- [6] E.L. Houghton, P.W. Carpenter, Steven H. Collicott, Daniel T. Valentine, Chapter 1 - Basic Concepts and Definitions, Aerodynamics for Engineering Students (Sixth Edition), Butterworth-Heinemann. 2013: 1-68.
- [7] Igarashi, Tamotsu & Shiba, Yoshihiko. (2006). Drag Reduction for D-Shape and I-Shape Cylinders. Jsme International Journal Series B-fluids and Thermal Engineering - JSME INT J SER B. 49.
- [8] Jiao, H., & Wu, G. X. (2018). Analysis of fluctuating force acting on two cylinders in different arrangements through lattice Boltzmann method. Journal of Fluids and Structures,
- [9] Lee, S. J., Lee, S. I., & Park, C. W. (2004). Reducing the drag on a circular cylinder by the upstream installation of a small control rod. Fluid dynamics research, 34(4), 233-250.
- [10] Mainil Afdhal, K. (2012). Analisis Pengaruh Perbandingan Diameter Minor Dan Mayor Elips Terhadap Koefisien Drag Menggunakan Program CFD. Institut Teknologi Padang.
- [11] Muhajir, K. J. T. M. (2012). Pengaruh Viskositas terhadap Aliran Fluida Gas-Cair melalui Pipa Vertikal dengan Perangkat Lunak Ansys Fluent 13.0. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- [12] Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2006). Fundamentals of fluid mechanics. Hoboken, NJ, J. Wiley & Sons.
- [13] Rr. Sri Poernomo Sari. 2013. Distribusi Temperatur Aliran Fluida Dan Analisis Nilai Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Pada Heat Exchanger Tipe Counterflow Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma.
- [14] Sakamoto, H., Tan, K., Haniu, H., 1991. An optimum suppression of fluid forces by controlling a shear layer separated from a square prism. J. Fluids Eng. 113, 183–189.
- [15] Triyogi, Y., Suprayogi, D., & Spirda, E. (2009). Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of an I-type bluff body as a passive control. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 223(10), 2291-2296.
- [16] Tsutsui, T. & Igarashi, T.. (2002). Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics - J WIND ENG IND AERODYN. 90. 527-541. 10.1016/S0167-6105(01)00199-4.
- [17] White, Frank M. 1999. Fluid mechanics. Boston, Mass: WCB/McGraw-Hill.

- [18] Wijanarko, Diastian & Widodo, Wawan. (2013). Studi Numerik Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular Tunggal Dengan Bodi Pengganggu Berbentuk Silinder Sirkular Pada Saluran Sempit Berpenampang Bujur Sangkar.
- [19] Zhu, H., Zhao, H., & Zhou, T. (2019). Direct numerical simulation of flow over a slotted cylinder at low Reynolds number. *Applied Ocean Research*, 87, 9-25.