



Karakteristik Koefisien Tahanan Aliran Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Konfigurasi Seri Dan Paralel

Nasaruddin Salam^{1*}, Rustan Tarakka¹, Jalaluddin¹, Muh. Setiawan²,
dan Andi Machfud²

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kampus Unhas Jln. Poros Malino Km.6 Bontomarannu Kabupaten Gowa, 92171

²Program Pasca Sarjana, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Unhas, Kampus Unhas Jln. Poros Malino Km.6 Bontomarannu Kabupaten Gowa, 92171

Abstrak

Tujuan penelitian ini, adalah untuk menentukan karakteristik koefisien tahanan aliran fluida melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem konfigurasi seri dan paralel (benda uji), dan menentukan nilai koefisien tahanan yang optimum melintasi benda uji tersebut. Dalam mencapai tujuan tersebut, maka metode penelitian berupa eksperimental dilakukan pada wind tunnel, untuk mengukur gaya tahanan aliran fluida. Pengukuran gaya tahanan aliran dilakukan dengan forces balance measurement. Benda uji silinder persegi 3 buah dengan ukuran panjang sisi-sisi yang sama 5 cm, dan menggunakan material acrylic dengan ketebalan 2 mm. Ketiga silinder tersebut disusun dalam konfigurasi seri dan paralel. Selanjutnya, masing-masing konfigurasi diberikan 2 model perlakuan jarak, yaitu model I jarak silinder 1 dengan silinder 2 (M) berubah sedangkan jarak silinder 2 dengan silinder 3 (N) tetap 6 cm dan model II M dan N berubah dengan jarak yang sama, kemudian diberikan perlakuan 7 tingkat kecepatan yang sama dari 8 m/s sampai dengan 20 m/s. Penelitian berlangsung pada bilangan Reynolds (Re) dari 9.395 sampai dengan 62.634, atau aliran laminar untuk aliran eksternal. Hasil eksperimen menunjukkan karakteristik koefisien tahanan (Cd) pada konfigurasi seri meningkat bila jarak tiga silinder persegi tersusun tandem diperbesar, sedangkan pada konfigurasi paralel nilai Cd menurun bila jarak diperbesar. Nilai Cd yang diperoleh pada masing-masing model konfigurasi seri dan paralel lebih kecil dibandingkan dengan nilai Cd silinder persegi tunggal.

Kata Kunci: koefisien tahanan, tandem tiga silinder persegi, konfigurasi seri dan paralel.

Abstract

The purpose of this study was to determine the characteristics of the fluid flow drag coefficient across three square cylinders arranged in series and parallel tandem configurations (specimens), and determine the optimum drag coefficient value across the specimen. In achieving these goals, the research method in the form of experimental conducted in wind tunnels, to measure the drag force of fluid flow. Measuring the flow drag force is done by forces balance measurement. Square cylindrical specimens 3 pieces with the same length of sides 5 cm, and using acrylic material with a thickness of 2 mm. The three cylinders are arranged in series and parallel configurations. Furthermore, each configuration is given 2 distance treatment models, that is, the model I distance of cylinder 1 with cylinder 2 (M) changes while the distance of cylinder 2 with cylinder 3 (N) remains 6 cm and model II M and N change at the same distance, then given the treatment of 7 equal speed levels from 8 m/s to 20 m/s. The study took place at Reynolds (Re) numbers from 9,395 to 62,634, or laminar flow for external flows. The experimental results show the characteristics of the resistance coefficient (Cd) in the series configuration increase when the distance of three square cylinders arranged in tandem is enlarged, whereas in parallel configuration the value of Cd decreases when the distance is enlarged. The Cd value obtained in each series and parallel configuration model is smaller than the single square cylinder Cd value.

* corresponding author E-mail address: nassalam.unhas@yahoo.co.id

Keywords: drag coefficient, square three-cylinder tandem, series and parallel configurations

1. PENDAHULUAN

Aliran melintasi silinder persegi tersusun tandem adalah salah satu bentuk yang sering digunakan pada rekayasa transportasi dan infrastruktur. Berbagai aplikasi dari silinder persegi yang membentuk susunan tertentu seperti, kereta api, kapal gandeng (kapal tongkang), truk gandeng, interaksi mobil di jalan tol dan struktur penyangga anjungan lepas pantai dan pelabuhan. Beban angin dan air pada suatu benda atau struktur, menjadi salah satu faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam desain. Seperti diketahui bahwa beban angin dan air pada suatu benda yang berkelompok memiliki karakteristik berbeda dengan benda tunggal dengan bentuk yang sama. Karena interferensi gabungan dari aliran di sekeliling benda yang berkelompok, menunjukkan berbagai fenomena yang menarik dan tak terduga.

Ketika suatu fluida mengalir melalui suatu benda, sebagai contoh silinder persegi, maka akan terjadi kehilangan energi akibat adanya gaya tahanan yang ditimbulkan oleh pengaruh lapisan batas dan oleh adanya pemisahan aliran [1]. Dalam kategori pertama, tahanan disebabkan secara langsung oleh efek-efek viskos jadi oleh tegangan tangensial dan disebut tahanan viskos atau tahanan gesek. Kategori ke dua, walaupun secara tak langsung disebabkan oleh viskositas, namun disebabkan karena pengaruh tekanan, jadi karena gaya-gaya normal dan disebut tahanan bentuk atau tahanan tekanan. Hal ini merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi industri transportasi dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistemnya. Untuk mengurangi kehilangan energi ini, bisa dirancang suatu bentuk penampang melintang benda secara tepat, sehingga aliran fluida dapat melintasi benda tanpa terjadi pemisahan aliran dan menghasilkan aliran yang seragam setelah melewati benda tersebut.

Upaya mengurangi gaya tahanan telah dilakukan banyak peneliti. Penelitian tersebut berisi tentang cara mengurangi gaya tahanan pada silinder yang tersusun tunggal ataupun tersusun secara tandem dengan berbagai metode. Pengaruh pemasangan batang kontrol kecil pada *upstream* dari silinder dengan fokus pada karakteristik *drag* dan struktur aliran. Bilangan Reynolds berdasarkan ukuran diameter silinder utama (30 mm) adalah sekitar $Re = 20.000$. Maksimum pengurangan koefisien total *drag* dari seluruh sistem meliputi silinder utama dan batang kontrol sekitar 25%. Selain itu Lee, *et.al.* (2004), juga melakukan penelitian dengan memvariasikan nilai L/D dan d/D yang menghasilkan turunya *coefficient of drag total* dari sistem. Dari penelitian ini didapatkan pula rasio diameter batang pengganggu yang ideal sebagai *small control rod*, yaitu pada rasio $d/D = 0.233$, serta peletakan *small control rod* ini pada perbandingan jarak dengan diameter silinder atau $L/D = 2.0 - 2.08$ [2].

Karakteristik aerodinamis aliran akibat interaksi dua silinder persegi yang dipasang tandem pada aliran laminer atau bilangan Reynolds rendah, pusaran aliran dipengaruhi oleh besarnya bilangan Reynolds, sedangkan aksi gaya-gaya berbeda antara *up-stream cylinder* dibandingkan *down-stream cylinder*, hal ini berakibat pada perbedaan karakteristik nilai koefisien tahanan [3].

Reduksi gaya hambat terhadap silinder sirkular pada aliran udara diteliti oleh Tsutsui dan Igarashi (2002). Pada penelitian ini, Tsutsui dan Igarashi memasang batang pengganggu yang dipasang pada bagian *upstream* silinder. Dari penelitian Tsutsui dan Igarashi didapatkan bahwa, pola aliran akan berubah tergantung dari diameter pengganggu, jarak maupun bilangan Reynolds. Diameter silinder benda uji adalah 40 mm, dan diameter batang rentangnya dari 1 sampai 10 mm. Bilangan Reynolds didasarkan pada diameter silinder adalah dari 1.5×10^4 sampai dengan 6.2×10^4 . Pengurangan total *drag* yang meliputi *drag* dari batang adalah 63% dibandingkan dengan yang satu silinder [4].

Hubungan tandem silinder sirkular dengan silinder persegi dalam saluran *wind tunel* setinggi H, kemudian secara bergantian diletakkan pada sisi *upstream*. Jarak antara kedua silinder divariasikan dengan perbandingan S/d dari 0 sampai 10. Hasil penelitian Daloglu (2008) menunjukkan bahwa karakteristik penurunan tekanan dipengaruhi oleh perbandingan diameter kedua silinder dan perbandingan jarak silinder dengan diameter silinder sirkular (S/d). Dari penelitian Daloglu (2008) diperoleh hasil yang optimum pada $S/d = 1.0 - 1.5$ yaitu, nilai penurunan tekanan terkecil untuk semua perlakuan perubahan diameter, posisi dan bilangan Reynolds [5].

Pengaruh interferensi dua silinder persegi yang dipasang tandem. Perlakuan yang diberikan adalah dengan merubah perbandingan jarak kedua silinder (L) dengan lebar silinder (d) atau merubah besarnya L/d dari 2 sampai dengan 7 dan parameter geser tak-berdimensi (K) dari 0.0 sampai dengan 4, pada bilangan Reynolds (Re) yang tetap sebesar 100. Hasil penelitian Lankadasu dan Vengadesan (2008), menunjukkan bahwa parameter K dan L/d sangat berpengaruh terhadap besarnya bilangan Strouhal (St) [6].

Penggunaan silinder sirkuler sebagai silinder pengganggu di depan 2 silinder persegi tersusun tandem. Dari penelitian Salam, *et.al* (2017) didapatkan bahwa, pada perbandingan jarak silinder pengganggu dengan diameter silinder tandem (L/D) sebesar 0.43 dan perbandingan diameter silinder pengganggu dengan

diameter silinder tandem (d/D) sebesar 0.14, diperoleh penurunan koefisien tahanan (C_d) sebesar 21.596 % [7].

Sampai saat ini, penelitian aliran melintasi silinder, tetap sebagai salah satu yang penting dalam mekanika fluida. Selain itu, mengapa penting untuk melakukan studi dengan silinder sebagai obyek, karena proyeksi bentuk silinder dapat diaplikasikan pada berbagai benda atau peralatan yang digunakan di industri khususnya dalam bidang transportasi, maupun pada masyarakat. Pada bilangan $Re = 10^5$, koefisien tahanan (C_d) silinder persegi tunggal sebesar 2.10 sangat besar bila dibandingkan dengan silinder sirkular yang hanya sebesar 1.17 [8].

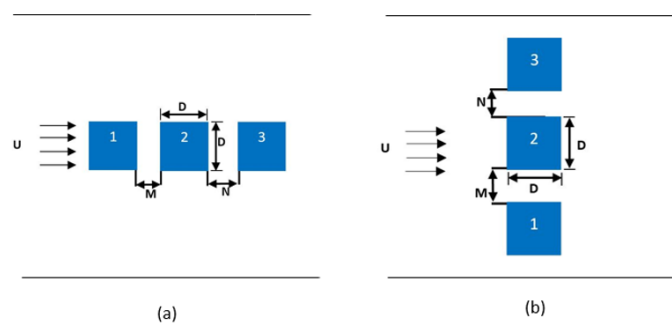
Berdasarkan teori dan hasil penelitian tersebut di atas, maka untuk mereduksi koefisien tahanan suatu benda atau silinder sirkular dan silinder persegi adalah dengan mentandemkannya atau menempatkan silinder pengganggu di depan silinder tersebut dan merubah jarak serta diameternya. Yang menjadi pertanyaan adalah, apakah bila silinder persegi ditandemkan dengan 2 silinder persegi lainnya atau tandem 3 silinder persegi dengan konfigurasi seri dan paralel, koefisien tahanannya menurun. Pertanyaan selanjutnya, berapakah besarnya reduksi koefisien tahanan silinder persegi bila tersusun tandem. Untuk itu, tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik koefisien tahanan aliran fluida melintasi tiga buah silinder persegi tersusun tandem konfigurasi seri dan paralel, serta menentukan nilai koefisien tahanan yang optimum melintasi tandem konfigurasi tersebut.

2.METODE PENELITIAN

Benda uji berbentuk silinder persegi yang disusun tandem tiga buah dalam konfigurasi seri dan paralel, sebagaimana dalam gambar (1) di bawah ini. Perlakuan yang diberikan adalah dengan merubah jarak ketiga silinder persegi yang tersusun tandem sebanyak 7 tingkat (0; 1; 2; 3; 4; 5; dan 6) cm untuk konfigurasi seri maupun untuk konfigurasi paralel, kemudian dialiri udara 7 tingkat kecepatan aliran (U) yang sama, yaitu (8; 10; 12; 14; 16; 18 dan 20) m/s. Perlakuan jarak ketiga silinder sebanyak 2 model, yaitu sebagai berikut:

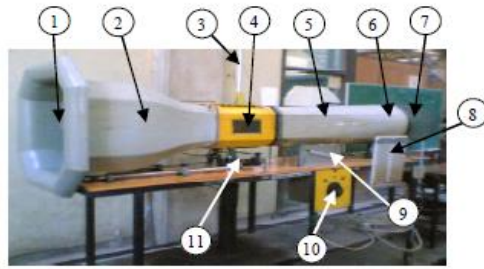
1. Model I, jarak antara silinder 1 dengan silinder 2 (M) berubah, sedangkan jarak antara silinder 2 dengan silinder 3 (N) tetap sebesar 6 cm.
2. Model II, jarak M dan N berubah secara bersamaan dengan jarak yang sama besarnya.

Benda uji silinder persegi dibuat 3 (tiga) buah yang lebar, tinggi dan panjangnya sama atau diameternya (D) sama yaitu sebesar 5 cm. Material yang digunakan dalam pembuatan benda uji tersebut adalah *acrylic* dengan ketebalan 2 mm. Diameter benda uji sebesar 5 cm, disesuaikan dengan ukuran *wind tunnel*, karena untuk mendapatkan data hasil pengujian yang baik, maka perbandingan luas penampang benda uji dengan luas penampang saluran atau seksi uji *wind tunnel* tidak boleh lebih besar dari 1:3. Gambar (1) berikut ini, memperlihatkan posisi ketiga silinder persegi tersusun tandem dalam konfigurasi seri dan paralel.



Gambar 1. Benda uji silinder persegi yang disusun tandem tiga buah dalam konfigurasi (a) seri dan (b) paralel.

Peralatan yang digunakan adalah peralatan pengujian standar internasional yang ada di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Terowongan angin (*wind tunnel*) yang digunakan dalam eksperimen ini, adalah terowongan angin kecepatan rendah (*low speed wind tunnel*) adalah buatan Plint & Partners LTD Engineers [9], dimana kecepatan aliran udara yang dialirkan melalui seksi uji (300 mm x 300 mm) maksimum 22 m/s. Peralatan ini dilengkapi dengan pengukuran gaya tahanan aliran atau peralatan *forces balance measurement* dan pengukuran kecepatan aliran berupa *pitot tube* yang dilengkapi manometer.



Keterangan gambar (2):

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. <i>Prototipe screen</i> | 7. Motor listrik |
| 2. <i>Efuser</i> | 8. Manometer |
| 3. Tabung pitot | 9. Flowmeter |
| 4. Seksi uji | 10. Regulator tegangan |
| 5. <i>Difuser</i> | 11. Pengukur gaya tahanan |
| 6. Fan | |

Gambar 2. Terowongan angin (*low speed wind tunnel*) untuk pengukuran gaya tahanan aliran [9]

Untuk menentukan nilai koefisien tahanan dan menggambarkan karakteristik aliran fluida melintasi silinder persegi, maka digunakan rumus:

Bilangan Reynolds (Re) [10],

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

Adapun yang dimaksud beberapa variabel dalam persamaan (1), adalah kecepatan aliran udara sebelum benda uji (U), diameter hidraulik silinder persegi (D) dan viskositas kinematis udara (ν).

Sedangkan untuk menentukan Koefisien tahanan (C_d), maka digunakan rumus [10],

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho_{ud} \cdot U^2 \cdot A} \quad (2)$$

Adapun yang dimaksud beberapa variabel dalam persamaan (2), adalah gaya tahanan eksperimen (F_d), luas permukaan frontal silinder persegi (A) dan massa jenis udara (ρ_{ud}).

Nilai viskositas kinematis dan massa jenis udara, ditentukan berdasarkan kondisi temperatur dan tekanan dalam ruangan laboratorium, yang diukur dengan menggunakan termometer dan barometer.

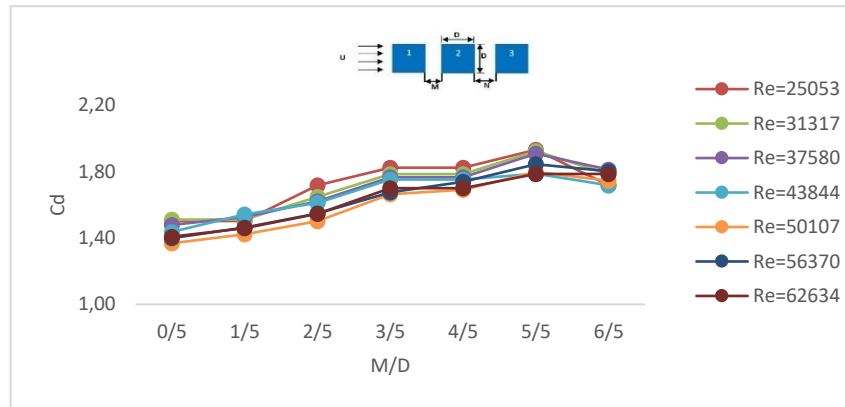
Berdasarkan panjang sisi silinder persegi sebesar 5 cm dan perlakuan kecepatan aliran udara dari 8 m/s sampai dengan 20 m/s, maka eksperimen berlangsung dalam daerah aliran laminar atau $Re < 10^5$ untuk aliran eksternal, yaitu pada bilangan Reynolds yang dihitung berdasarkan diameter silinder persegi. Kecepatan aliran dipertahankan dalam kondisi konstan pada setiap tingkat kecepatan, dan perlakuan kecepatan untuk masing-masing konfigurasi dan model sebanyak 7 tingkat kecepatan sebagaimana disebutkan di atas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran Udara Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Konfigurasi Seri

Hasil eksperimen aliran udara melintasi tandem tiga silinder persegi konfigurasi seri dengan perlakuan model I terhadap diameter silinder persegi (M/D) sebanyak 7 tingkat perbandingan jarak M dengan D , dan 7 tingkat kecepatan, menghasilkan koefisien tahanan aliran (C_d) sebagaimana ditunjukkan dalam tabel (1) berikut ini. Perubahan M/D mempengaruhi besarnya C_d pada semua tingkat bilangan Reynolds (Re). Hasil koefisien tahanan aliran maksimal pada $M/D = 6/5$, untuk $Re = 25053$ nilai $C_d = 1.72$ sedangkan untuk $Re = 62634$ nilai $C_d = 1.79$. Hasil ini nilainya lebih kecil dibandingkan dengan nilai silinder persegi tunggal bila dibandingkan dengan nilai C_d terkecil yang diperoleh, yaitu sebesar $C_d = 1.37$ pada $M/D = 0/5$, maka mereduksi tahanan aliran udara sebesar 34.76 %. Nilai C_d terkecil pada $M/D = 0/5$. Hasil ini, menunjukkan bahwa pada saat silinder 1 dengan silinder 2 berimpit, maka pemisahan aliran diperlambat sehingga lapisan batas mengecil dan vorteks aliran udara setelah melintasi silinder 2 teredam dengan penempatan silinder 3 pada bagian belakang. Perbedaan nilai antara C_d terbesar dan terkecil, menunjukkan pengaruh perubahan jarak silinder 1 di depan silinder 2, dan jarak penempatan silinder 3 terhadap silinder 2 yang konstan cukup besar dan hal ini membuktikan bahwa silinder persegi tersusun tandem konfigurasi seri lebih mereduksi tahanan aliran udara bila dibandingkan silinder tunggal.

Gambar 3. berikut ini, menunjukkan koefisien tahanan akan meningkat bila M/D diperbesar, karakteristik ini sama untuk seluruh tingkat bilangan Reynolds. Namun demikian, pada M/D yang sama nilai koefisien tahanan akan menurun bila bilangan Reynolds meningkat. Bentuk kurva untuk setiap tingkat Re polanya cenderung sama, dan kurva garis paling bawah atau nilai C_d terkecil adalah pada $Re = 50107$. Karakteristik ini tentunya berpengaruh terhadap profil aliran fluida yang melewati benda uji, yaitu bila koefisien tahanan kecil maka tebal lapisan batas semakin tipis, dan pemisahan aliran semakin ke hilir, sehingga vorteks aliran setelah melewati benda uji semakin tenang. Gambar karakteristik koefisien tahanan dari tabel (1), ditunjukkan pada gambar (3) berikut ini:



Gambar 3. Hubungan antara M/D dengan koefisien tahanan aliran (C_d) tandem tiga selinder persegi konfigurasi seri perlakuan model I pada 7 tingkat bilangan Reynolds (Re)

Perubahan M/D dan N/D secara bersamaan mempengaruhi besarnya C_d pada semua tingkat bilangan Reynolds. Hasil koefisien tahanan aliran terkecil diperoleh sebesar $C_d = 1.18$ pada M/D dan $N/D = 0/5$ serta bilangan $Re = 25083$. Hasil ini nilainya lebih kecil dibandingkan nilai silinder persegi tunggal atau reduksi tahanan sebesar 43.81 %. Dari kedua model untuk tandem konfigurasi seri, ternyata perlakuan model II mengalami reduksi atau penurunan C_d yang lebih besar. Nilai C_d terkecil pada M/D dan $N/D = 0/5$, menunjukkan bahwa pada saat silinder 1, silinder 2, dan silinder 3 berimpit, maka pemisahan aliran lebih diperlambat sehingga lapisan batas lebih mengecil dan vorteks aliran udara setelah melintasi benda uji teredam atau lebih tenang.

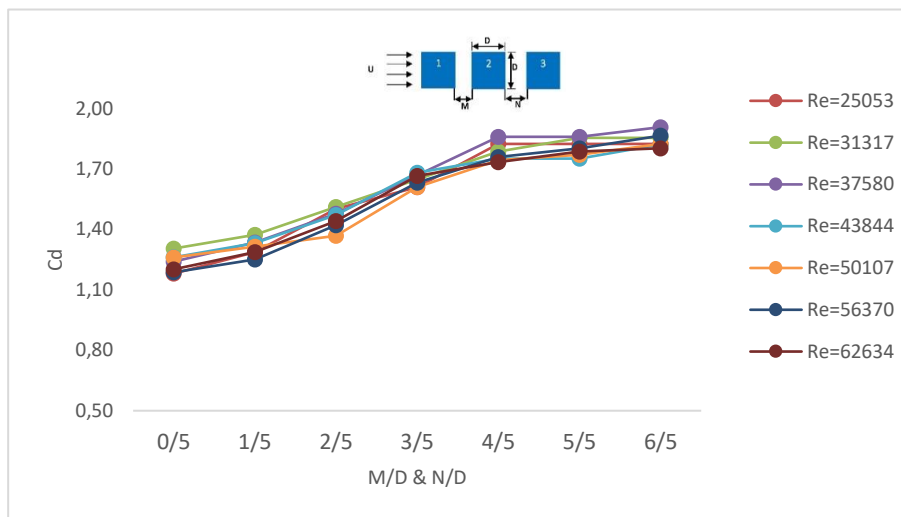
Gambar (4), menunjukkan koefisien tahanan akan meningkat bila M/D dan N/D diperbesar secara bersamaan, karakteristik ini sama untuk seluruh tingkat bilangan Reynolds. Namun demikian, pada M/D dan N/D yang sama, nilai koefisien tahanan akan menurun bila bilangan Reynolds meningkat. Bentuk kurva untuk setiap tingkat Re polanya cenderung sama, dan kurva garis paling bawah atau nilai C_d terkecil adalah cenderung pada $Re = 56370$ atau polanya sama dengan konfigurasi seri perlakuan model I. Karakteristik kedua model tersebut, berpengaruh terhadap profil aliran fluida yang melintasi benda uji, yaitu bila koefisien tahanan kecil maka tebal lapisan batas aliran udara semakin tipis, pemisahan aliran semakin ke hilir dan vorteks aliran setelah melintasi benda uji semakin tenang. Gambar karakteristik koefisien tahanan ditunjukkan pada gambar 4.

Aliran Udara Melintasi Tiga Silinder Persegi Tersusun Tandem Konfigurasi Paralel

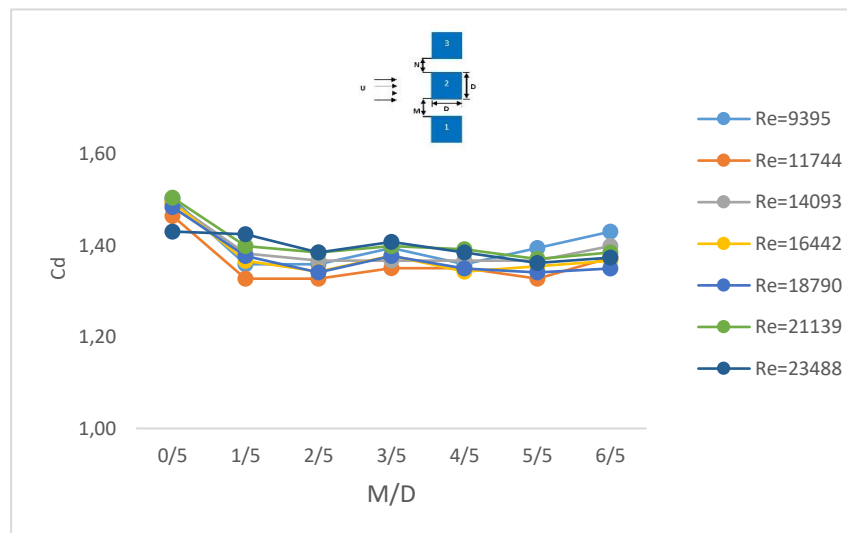
Hasil eksperimen aliran udara melintasi tandem tiga silinder persegi konfigurasi paralel dengan perlakuan model I terhadap diameter silinder persegi (M/D) sebanyak 7 tingkat perbandingan jarak M dengan D dan 7 tingkat kecepatan, menghasilkan koefisien tahanan aliran (C_d) sebagaimana ditunjukkan dalam tabel (3) berikut ini. Perubahan M/D mempengaruhi besarnya C_d pada semua tingkat bilangan Reynolds (Re). Hasil koefisien tahanan aliran maksimal pada $M/D = 0/5$, untuk $Re = 9395$ nilai $C_d = 1.50$ sedangkan untuk $Re = 23488$ nilai $C_d = 1.43$. Hasil ini nilainya lebih kecil dibandingkan nilai silinder persegi tunggal bila dibandingkan dengan nilai C_d terkecil yang diperoleh, yaitu sebesar $C_d = 1.33$ maka reduksi tahanan sebesar 36.67 %. Nilai C_d terbesar pada $M/D = 0/5$, menunjukkan bahwa pada saat silinder 1 dengan silinder 2 berimpit, maka pemisahan aliran lebih cepat sehingga lapisan batas lebih besar dan vorteks aliran udara setelah melintasi silinder 2 bergolak dan penempatan silinder 3 pada bagian samping kurang mampu meredam aliran udara. Perbedaan nilai antara C_d terbesar dan terkecil, menunjukkan pengaruh perubahan jarak silinder 1 di samping silinder 2, dan jarak penempatan silinder 3 terhadap silinder 2 yang konstan cukup

besar dan hal ini membuktikan bahwa silinder persegi tersusun tandem konfigurasi paralel lebih mereduksi tahahana aliran udara bila dibandingkan silinder tunggal.

Gambar (5) berikut ini, menunjukkan koefisien tahanan akan menurun bila M/D diperbesar, karakteristik ini sama untuk seluruh tingkat bilangan Reynolds. Demikian pula, pada M/D yang sama nilai koefisien tahanan akan mengalami fluktuasi bila bilangan Reynolds meningkat. Bentuk kurva untuk setiap tingkat Re polanya cenderung sama, dan kurva garis paling bawah atau nilai C_d terkecil adalah pada $Re = 11744$. Karakteristik ini tentunya berpengaruh terhadap profil aliran fluida yang melintasi benda uji, yaitu bila koefisien tahanan kecil maka tebal lapisan batas semakin tipis, dan pemisahan aliran semakin ke hilir, sehingga vorteks aliran setelah melewati benda uji semakin tenang. Gambar karekeristik koefisien tahanan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Hubungan antara M/D & N/D dengan koefisien tahanan aliran (C_d) tandem tiga selinder persegi konfigurasi seri perlakuan model II pada 7 tingkat bilangan Reynolds (Re)

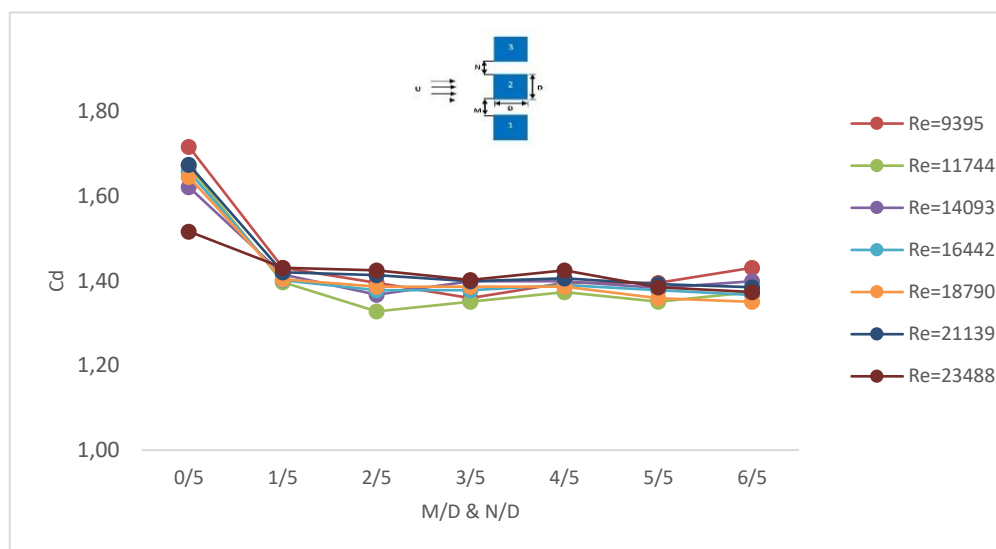


Gambar 5. Hubungan antara M/D dengan koefisien tahanan aliran (C_d) tandem tiga selinder persegi konfigurasi paralel perlakuan model I pada 7 tingkat bilangan Reynolds (Re)

Perubahan M/D dan N/D secara bersamaan mempengaruhi besarnya C_d pada semua tingkat bilangan Reynolds. Hasil koefisien tahanan aliran terkecil diperoleh sebesar $C_d = 1.33$ pada M/D dan $N/D = 2/5$, dan bilangan $Re = 11744$. Hasil ini nilainya lebih kecil dibandingkan nilai silinder persegi tunggal, atau reduksi

tahanan sebesar 36.67 %. Dari kedua model untuk tandem konfigurasi paralel, ternyata perlakuan model I dan model II mengalami reduksi atau penurunan C_d terkecil yang sama besar. Nilai C_d terkecil pada M/D dan $N/D = 2/5$, menunjukkan bahwa pada saat silinder 1, silinder 2, dan silinder 3 berjarak 2 cm, maka pemisahan aliran lebih diperlambat sehingga lapisan batas lebih tipis dan vorteks aliran udara setelah melintasi benda uji teredam atau lebih tenang.

Gambar 6, menunjukkan koefisien tahanan akan menurun bila M/D dan N/D diperbesar secara bersamaan, karakteristik ini sama untuk seluruh tingkat bilangan Reynolds. Namun demikian, pada M/D dan N/D yang sama, nilai koefisien tahanan akan cenderung menurun bila bilangan Reynolds meningkat. Bentuk kurva untuk setiap tingkat Re polanya cenderung sama, dan kurva garis paling bawah atau nilai C_d terkecil adalah pada $Re = 11744$ atau polanya sama dengan konfigurasi paralel perlakuan model I. Karakteristik kedua model tersebut, berpengaruh terhadap profil aliran fluida yang melintasi benda uji, yaitu bila koefisien tahanan kecil maka tebal lapisan batas semakin tipis, pemisahan aliran semakin ke hilir dan vorteks aliran setelah melintasi benda uji semakin tenang. Gambar karakteristik koefisien tahanan, ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara M/D & N/D dengan koefisien tahanan aliran (C_d) tandem tiga selinder persegi konfigurasi paralel perlakuan model II pada 7 tingkat bilangan Reynolds (Re)

Berdasarkan hasil dan pembahasan tersebut di atas, maka susunan silinder persegi konfigurasi seri dan paralel pada kedua model perlakuan, mereduksi tahanan aliran udara rata-rata sebesar 38.41 % dibandingkan dengan silinder tunggal, dan rata-rata koefisien tahanan aliran udara terkecil sebesar $C_d = 1.30$, pada rentang nilai bilangan Reynolds $Re = 9.395$ sampai dengan 62.634 .

4. KESIMPULAN

1. Karakteristik koefisien tahanan aliran fluida melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem konfigurasi seri model I maupun model II meningkat bila M/D dan N/D diperbesar, sedangkan pada konfigurasi paralel model I dan model II menurun bila M/D dan N/D diperbesar.
2. Nilai koefisien tahanan yang optimum melintasi tiga silinder persegi tersusun tandem, pada masing-masing konfigurasi adalah sebagai berikut:
3. Konfigurasi seri model I $C_d = 1.37$ dan mereduksi tahanan aliran udara sebesar 34.76 %, sedangkan pada model II $C_d = 1.18$ dan mereduksi tahanan aliran udara 43.81 %.
4. Konfigurasi paralel model I dan model II nilainya sama yaitu $C_d = 1,33$ dan mereduksi tahanan aliran udara sebesar 36,67 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menghaturkan terima kasih dan penghargaan, kepada Universitas Hasanuddin karena penelitian ini dibiayai melalui skema Penelitian Dasar Universitas (PDU) Tahun Anggaran 2019, yang dikelola oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Hasanuddin. Demikian pula, kepada Kepala dan

Staf Laboratorium Mekanika Fluida Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang memberikan izin dan membantu pelaksanaan penelitian ini.

REFRENSI

1. Salam N., Umar Muh. Noor dan Sidiq Ibnu, *Analisis Eksperimental dan Simulasi Numerik Karakteristik Aliran Fluida melalui Silinder Persegi dan Segitiga*, Proceedings Seminar Nasional Thermofluid VI, Jurusan Teknik Mesin & Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, ISSN: 2355-6927, halaman 98-104 (2014)
2. Lee, S., S. Lee, and C. Park, *Reducing the Drag on a Circular Cylinder by Upstream Installation of a Small Control Rod*, Fluid Dynamics Research, 34:233-250 (2004)
3. Etminan A., M. Moosavi and N. Ghaedsharafi, *Characteristics of Aerodynamics Forces Acting on Two Square Cylinders in the Streamwise Direction and its Wake Patterns*, Advances in Control, Chemical Engineering, Civil Engineering and Mechanical Engineering ISBN: 978-960-474, pp. 209-217 (2011)
4. Tsutsui, T. and T. Igarashi, *Drag Reduction of a Circular Cylinder in an Air-Stream*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90: 527-541 (2002)
5. Daloglu, A., *Pressure Drop in a Channel with Cylinder in Tandem Arrangement*, International Communication in Heat and Mass Transfer, Vol.35, 76-83 (2008)
6. Lankadasu A. and Vengadesan S., *Interference Effect of Two Equal-Sized Square Cylinders in Tandem Arrangement: with Planar Shear Flow*, International Journal for Numerical Methodes in Fluids. DOI: 10.1002/flid.1670 (2007)
7. Salam, N., Tarakka, R., Jalaluddin, and Bachmid, R., *The effect of the Addition of Inlet Disturbance Body (IDB) to Flow Resistance Through the Square Cylinders Arranged in Tandem*, International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.), Vol. 11, No. 3, pp. 181-190 (2017)
8. Munson, Bruce R., Young Donald F., and Okiishi Theodore H., *Fundamental of Fluid Mechanics*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc (2003)
9. Plint & Partner LTD Engineer, *Manual Educational Wind Tunnel*, England (1982)
10. Cengel Yunus A., and Cimbala John M., *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*, Published by The Mc Graw-Hill Companies, Inc. New York (2006)