

STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN ALIRAN MELINTASI DUA SILINDER SINGKULAR DAN SILINDER ELIPS TERSUSUN TANDEM DAN INTERAKSINYA TERHADAP DINDING DATAR

Helmizar¹

ABSTRACT

The study was conducted to obtain information about the characteristics of fluid flow that touches the surface of the bluff body. Bluff body in the form of circular and elliptical cylinders and brought near a wall. Phenomenon found is used to predict the aerodynamic loads on the bluff body and leads to a drag reduction efforts. Elliptic cylinder and circular cylinder are arranged in tandem position with longitudinal distance ($L/D = 1.5$) and gap distance variation (G/D) between cylinders and flat wall are 0.067, 0.133, 0.2, 0.267. Fluid flow characteristics investigated experimentally on open loop wind tunnel.

The experimental results are used to explain flow interaction phenomenon which is resulted coefficient pressure distribution (C_p) on the cylinder, on the flat wall and velocity distribution on the upstream and downstream. The placement of the elliptic cylinder at $G/D = 0.267$ exhibits the lowest drag. The whole research was done on the Reynolds number 53574 based on circular cylinder diameter.

Keywords: circular cylinder, elliptic cylinder, drag force.

PENDAHULUAN

Silinder sirkular merupakan salah satu bentuk geometri *body* yang banyak digunakan pada aplikasi *engineering*. Berbagai aplikasi dari silinder sirkular yang membentuk susunan tertentu seperti susunan tandem, *in-line*, *staggered*, atau *square arrays* dan lain-lain, banyak digunakan dalam aplikasi *engineering* seperti alat penukar kalor *shell and tube* atau *tube banks*, konstruksi perpipaan bawah laut dan sebagainya. Pengaplikasian *body* berbentuk silinder tersebut secara tunggal maupun berkelompok seringkali disusun sedemikian rupa sehingga berdekatan dengan bentuk *body* yang lain seperti plat datar, seperti pada alat penukar kalor *shell and tube*, dimana sisi *tubes* atau pipa-pipa dipasang dengan susunan tertentu dalam suatu kotak yang dibatasi oleh empat dinding plat datar sebagai sisi *shell*. Demikian pula konstruksi perpipaan bawah laut yang terpasang di dasar laut. Posisi dinding datar tersebut relatif terhadap pipa (*body* yang berbentuk silinder) tentu saja sangat mempengaruhi karakteristik aliran di sekitar silinder.

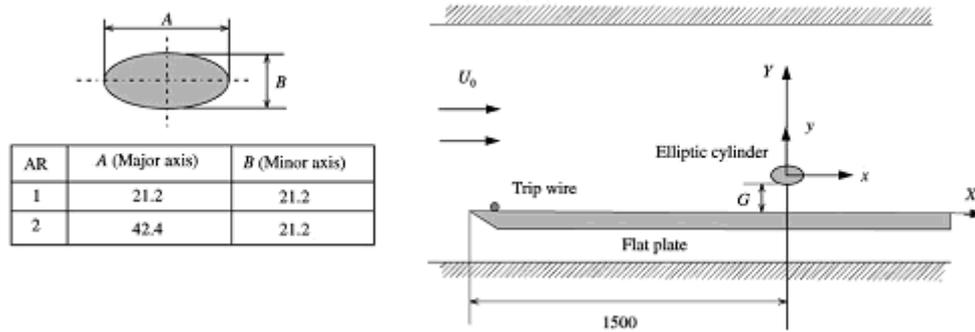
Silinder elips bisa dijadikan sebagai bentuk alternatif dari *tube* pada *heat exchanger* ataupun bentuk alternatif dari pipa-pipa penyaluran. Selain geometri, penempatan *bluff body* pada instalasi juga sangat menentukan gaya hambat yang akan dialami oleh *bluff body* tersebut. Pada aplikasi teknik seringkali diinginkan gaya *drag* yang dialami *bluff body* sekecil-kecilnya.

Dari beberapa bentuk geometri yang dapat dijadikan sebagai alternatif dalam aplikasi teknik akan menghasilkan gaya *drag* yang berbeda, seperti diketahui bahwa geometri yang memiliki gaya *drag* yang lebih kecil banyak digunakan dalam aplikasi teknik. Berdasarkan hal tersebut maka akan dilakukan penelitian untuk mengetahui pola aliran pada *bluff body* dengan memvariasikan gap antara *bluff body* terhadap permukaan dinding serta untuk mengetahui gaya *drag* yang dialami *bluff body*.

TINJAUAN PUSTAKA

Choi dan Lee, meneliti distribusi tekanan pada permukaan silinder dan permukaan dinding test section untuk silinder ($AR = 1$) serta elips ($AR = 2$).

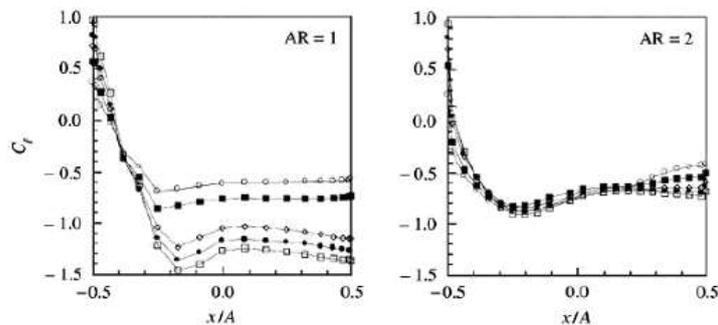
¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu



Gambar 1 Geometri benda penelitian

Pada Gambar 2 distribusi tekanan pada permukaan silinder yang merupakan sebuah fungsi dari perbandingan gap untuk kedua bentuk elips dan silinder sirkular, distribusi-distribusi tekanan menjadi simetri sebagai respon silinder akibat perbandingan gap meningkat. Ketika silinder ditempatkan di kontak ($G/B = 0$) koefisien tekanan (C_p) pada permukaan yang rendah mendekati nilai konstanta positif pada titik area permukaan angin depan ($-0.5 < x/A < 0.0$) dan sebuah nilai negatif pada permukaan yang rendah ($0.0 < x/A < 0.5$).

Distribusi tekanan pada silinder sirkular menunjukkan deviasi atau penyimpangan yang besar antara rasio gap $G/B = 0.2$ dan 0.5 , hasil ini kemungkinan mendekati perbandingan gap kritis. Pada bagian tengah dari permukaan atas tidak ada perbedaan distribusi tekanan yang signifikan.

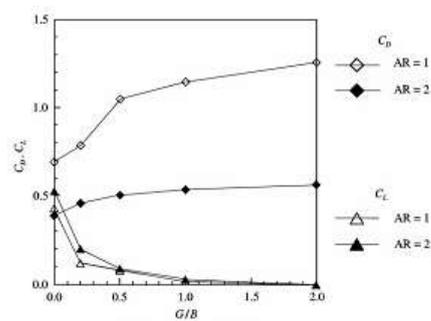


Gambar 2. Nilai C_p Pada Permukaan Elips dan Silinder Sirkular $Re = 1400$

Perubahan pada tekanan dasar, *drag* dan *lift* pada Gambar 2.3 koefisien tekanan ditentukan sebagai koefisien tekanan *trailing edge* dari silinder, tekanan dasar elips lebih kecil dari silinder sirkular pada semua perbandingan gap. Hasil ini dari data yang nyata bahwa efek dinding ini menekan pusat pusaran membesar dan kecepatan menurun, pada pusat lapisan batas gelombang mengecil dibanding silinder sirkular.

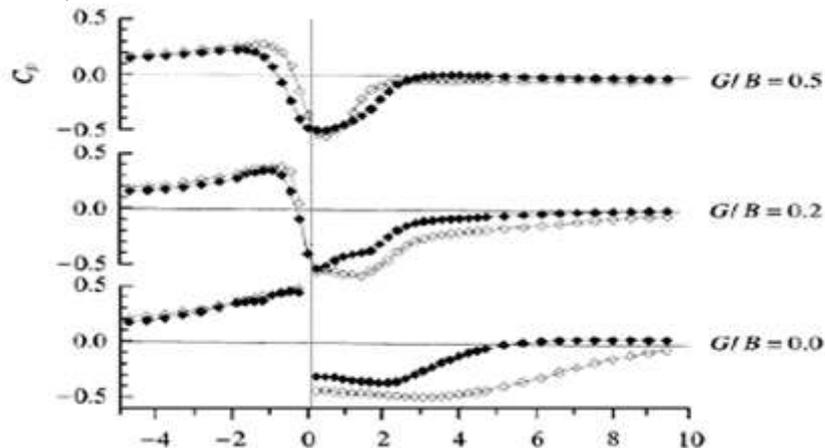
Untuk silinder sirkular $AR = 1$ tekanan dasar menurun secara drastis sebagai peningkatan perbandingan gap. Distribusi tekanan dasar memperlihatkan perubahan yang besar antara $G/B = 0.2$ dan $G/B = 0.5$. Pada $G/B = 0.5$ tekanan dasarnya turun dengan lambat dengan perbandingan gap yang meningkat. Pada kasus yang lain untuk silinder elips ($AR = 2$), tekanan menurun secara perlahan dibanding dengan silinder sirkular pada peningkatan perbandingan gap.

Koefisien *drag* diperkirakan dari data tekanan permukaan meningkat dengan perbandingan gap besar. Untuk perbandingan gap kecil dari $G/B = 0.5$ koefisien *drag* silinder elips ($AR = 2$) meningkat pelan-pelan. Pada kasus yang lain koefisien *drag* silinder sirkular meningkat secara cepat. Kurva koefisien *drag* ini mendekati nilai dari distribusi-distribusi tekanan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Variasi Drag Koefisien Dan Lift Koefisien Sebagai Fungsi Perbandingan Gap Untuk Silinder Sirkular Dan Silinder Elips

Distribusi tekanan pada *plat surface* ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai fungsi dari perbandingan gap. Dari gambar tampak bahwa pada saat $G/B = 2$ aliran dari *upstream* dipercepat dan kecepatan aliran maksimum dicapai kira-kira pada daerah $X/B = 0$, ditandai dengan nilai tekanan paling rendah. Kemudian dengan semakin membesarnya perbandingan gap, tampak aliran diperlambat ketika mendekati daerah sempit yaitu daerah $X/B = 0$. Pada saat $G/B = 0$, laju aliran dari *upstream* dihambat, hingga kira-kira pada saat $X/B = 0$, tidak ada aliran yang melalaui celah, karena aliran diblok oleh silinder.



Gambar 4. Distribusi Koefisien Tekanan pada Plat Datar

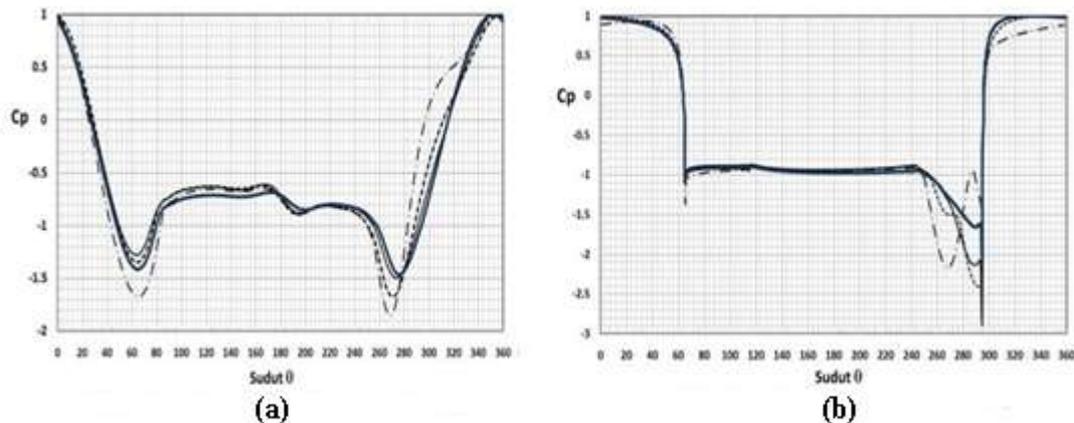
S.J. Price dkk, melakukan penelitian tentang visualisasi aliran yang melintasi silinder sirkular didekat dinding datar. Menurut penelitian mereka ternyata:

- Rasio jarak *gap* yang sangat kecil ($G/D \leq 0.125$), alirannya sangat lemah dan *vortex shedding* yang tidak teratur terjadi di sekitar *downstream* silinder. Separasi terjadi pada *upstream* dan *downstream* silinder, yang mana ukuran daerah *upstream* yang terseparasi menurun dengan semakin meningkatnya rasio *gap*.
- Rasio jarak *gap* sangat kecil ($0.25 \leq G/D \leq 0.375$), karakteristik luasan aliran sangat mirip dengan G/D yang sangat kecil. Daerah yang terseparasi pada sisi *upstream* dari silinder juga lebih kecil bila dibandingkan dengan G/D yang sangat kecil. Ketika aliran fluida yang melalui sisi celah mengalami akselerasi aliran dan *reattaches* di dinding. Terjadi pasangan antara bagian dalam *shear layer* silinder yang berbentuk *shed* dan *boundary layer* dinding dengan arah *vorticity* yang berbeda
- Rasio jarak *gap* menengah, ($0.5 \leq G/D \leq 0.75$), kedua *shear layer* sudah membentuk *vortex shedding*. Disini terjadi pengurangan ukuran daerah *upstream* yang terseparasi secara signifikan. Ukuran *vortex* aliran pada sisi *upstream* sudah sangat kecil. Pada bagian *downstream* dari silinder separasi dari dinding terjadi disekeliling formasi daerah *vortex*.
- Rasio *gap* lebar ($G/D \geq 1.0$). Pada daerah ini tidak ada separasi di *boundary layer wall*, *upstream* maupun *downstream* silinder. Sehingga aliran yang melintasi silinder tersebut sama pentingnya dengan aliran yang melintasi silinder sirkular yang terisolasi.

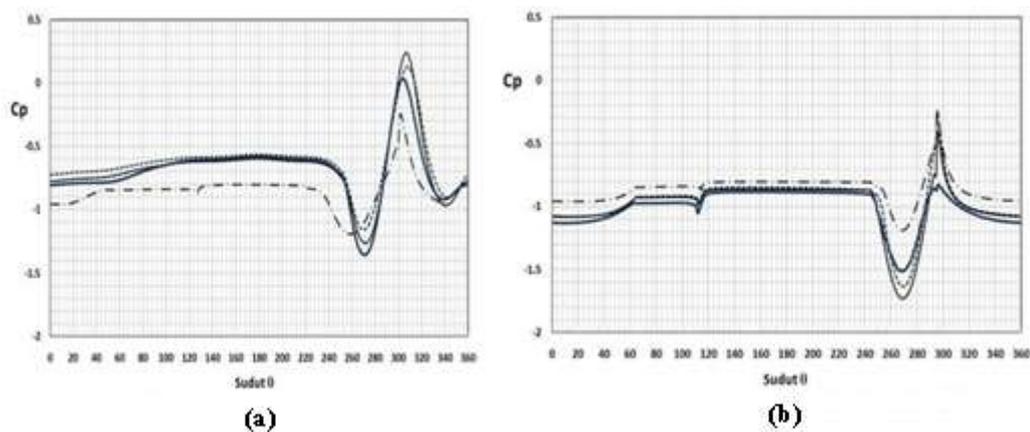
Penelitian Pendahuluan

Penelitian oleh Wawan Aries Widodo.dkk, [3] dilakukan dengan simulasi numerik CFD solver FLUENT 6.2 untuk mengkaji interaksi aliran yang melintasi dua bentuk silinder (silinder sirkular dan silinder tipe I-65°). Kedua bentuk silinder tersebut masing-masing tersusun tandem dengan jarak longitudinal (L/D) = 1,5, simulasi dijalankan dengan bilangan Reynolds (Re) = 5.3×10^4 , didasarkan pada diameter silinder. Simulasi numerik tersebut menggunakan pendekatan 2D-steady flow RANS dan turbulence modeling Reynolds Stress Models (RSM).

Hasil penelitian ini menunjukkan distribusi koefisien tekanan (Cp) untuk silinder-1, pada Gambar 5 (a) dan 5 (b), bahwa aliran fluida cenderung memilih untuk menghindari hambatan pada sisi celah, meskipun akselerasi pada sisi bawah silinder-1 pada berbagai variasi jarak gap (G/D) jauh lebih tinggi, terutama ketika aliran melintasi silinder tipe I-65°. Fenomena interaksi aliran fluida pada silinder-1, untuk silinder sirkular sangatlah berbeda jika dibandingkan dengan silinder tipe I-65°. Sedikitnya momentum aliran di sisi bawah dan dengan bentuk kontur lengkung silinder sirkular, hal ini menyebabkan aliran selalu melekat (*attach*) atau tertuntun mengikuti kelengkungan kontur permukaan silinder sirkular hingga akhirnya terseparasi masif di sekitar posisi sudut 240°.



Gambar 5 Distribusi Koefisien Tekanan (Cp) *Upstream Cylinder* (Silinder-1) (a) Silinder Sirkular (b) Silinder Tipe I-65°



Gambar 6. Distribusi Koefisien Tekanan (Cp) *Downstream Cylinder* (Silinder-2) (a) Silinder Sirkular (b) Silinder Tipe I-65°

Distribusi koefisien tekanan (Cp), pada silinder-2, baik pada silinder sirkular maupun silinder tipe I-65°, ditunjukkan Gambar 6 (a) dan (b). Seluruh variasi jarak gap (G/D), menunjukkan momentum fluida yang terseparasi masif dari silinder-1 melingkupi kontur permukaan silinder-2, sehingga tekanan pada kontur permukaan silinder-2 hampir semuanya berharga negatif. Adanya puncak (*peak*) pada grafik distribusi koefisien tekanan (Cp) pada sisi celah silinder-2, pada kisaran sudut $300^\circ < \theta < 320^\circ$ untuk silinder sirkular, dan kisaran sudut

$280^\circ < \theta < 300^\circ$ untuk silinder tipe I-65°, hal tersebut mengindikasikan adanya fenomena *reattachment*, pada kontur permukaan bagian depan silinder-2, tepatnya di posisi sekitar 310° untuk silinder sirkular dan 295° untuk silinder tipe I-65°.

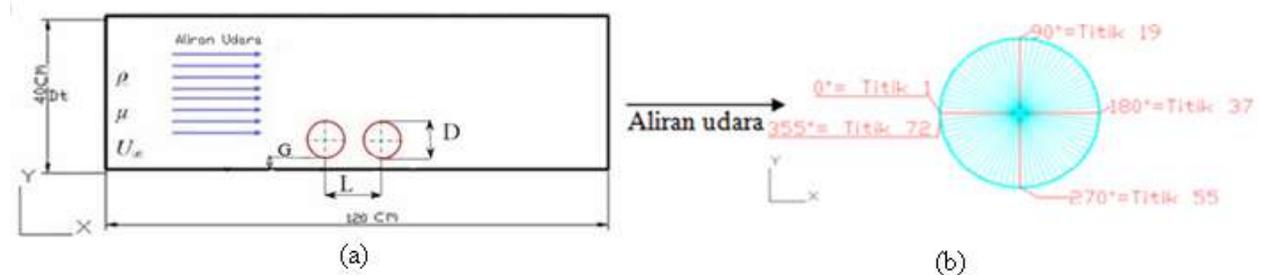
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan meletakkan model uji berupa silinder elips dan silinder sirkular di daerah test section dari wind tunnel. *Wind tunnel* yang dipakai dalam penelitian ini yaitu *wind tunnel* jenis *open loop* seperti Gambar 7.

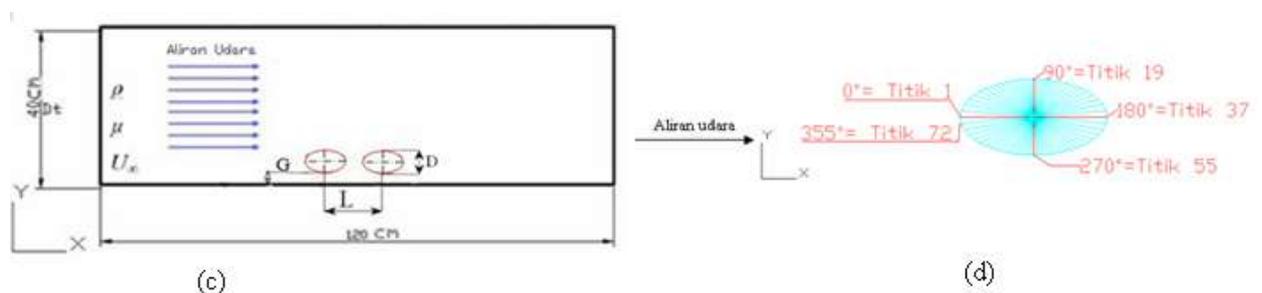


Gambar 7. *Open Loop Wind Tunnel*

Model uji



Gambar 8. (a) Posisi Silinder Sirkular Dalam *Test Section* Tampak Samping (b) Posisi Penomoran *Pressure Tap* Silinder Sirkular



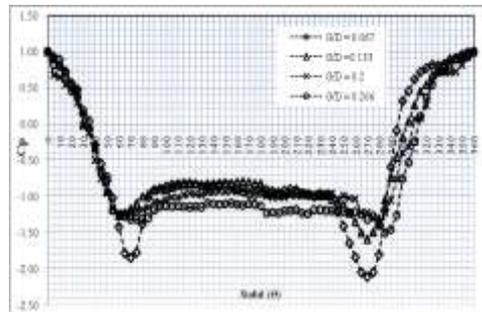
Gambar 9. (c) Posisi Silinder Elips Dalam *Test Section* Tampak Samping (d) Posisi Penomoran *Pressure Tap* Silinder Elips

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) Permukaan *Upstream* Silinder Sirkular

Distribusi koefisien tekanan (C_p) pada permukaan silinder sirkular *upstream* ditampilkan pada Gambar 10. Secara umum distribusi koefisien tekanan (C_p) tekanan pada permukaan *upstream* silinder sirkular menunjukkan mula-mula aliran menerpa permukaan silinder pada sudut 0° dan terjadilah tekanan stagnasi yang ditandai dengan nilai $C_p = 1$. Kemudian aliran berakselerasi atau mengalami percepatan hingga kecepatan maksimum pada sudut kisaran 70° ditandai dengan nilai C_p yang paling kecil, peristiwa ini dikenal dengan istilah *favorable*

pressure gradient dimana terjadi penyempitan *streamtube*. Setelah itu *streamtube* mulai membuka sehingga aliran mulai mengalami kenaikan tekanan sekaligus dengan penurunan kecepatan yang ditandai dengan kenaikan nilai C_p , peristiwa ini dikenal dengan *adverse pressure gradient*. Selanjutnya aliran terus melambat dimana momentum fluida pada sisi *freestream* tidak mampu melawan tekanan balik dan terjadi pemisahan *boundary layer* antara atas dan bawah. Setelah peristiwa *adverse pressure gradient*, aliran mengalami separasi masif dimana terlihat nilai C_p hampir konstan dari sudut $80^\circ < \Theta < 180^\circ$. Pada kasus idealnya bahwa aliran dibelakang silinder aliran akan benar-benar separasi artinya nilai C_p akan konstan tetapi pada penelitian ini hal tersebut tidak terwujud.

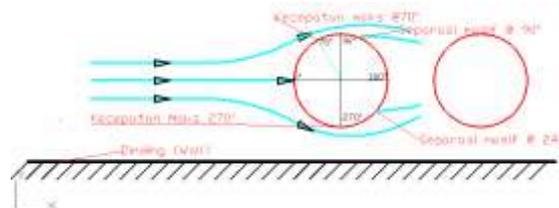


Gambar 10. Grafik Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) *Upstream* Silinder Sirkular

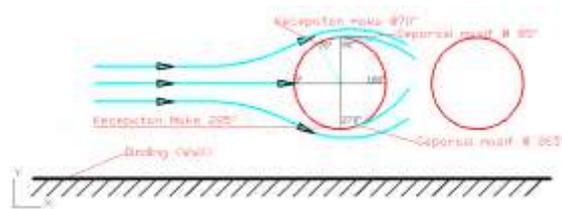
Peristiwa yang sama terjadi pada permukaan bawah silinder sirkular *upstream* atau pada sekitar sudut $360^\circ > \Theta > 300^\circ$, dimana aliran mulai menimpa silinder sirkular pada titik stagnasi atau pada sudut 360° dan menunjukkan nilai $C_p = 1$. Kemudian aliran berakselerasi hingga kecepatan maksimum pada sudut 270° . Tetapi akibat adanya dinding yang memblok aliran seperti terlihat pada Gambar 4.2 mengakibatkan *streamline* antara permukaan atas dan bawah tidak simetri sehingga terlihat jelas perbedaan nilai C_p permukaan *upstream* silinder sirkular dimana nilai C_p pada permukaan bawah lebih kecil dibandingkan dengan nilai C_p permukaan bagian atas.

Pada bagian jarak gap terkecil ($G/D = 0.067$) terjadi peningkatan kecepatan yang tinggi dibandingkan dengan jarak gap yang lainnya. Hal ini disebabkan *streamtube* yang terjadi pada posisi $G/D = 0.067$ memiliki penampang terkecil disaat melintasi celah sehingga kecepatan sangat tinggi. Kemudian aliran mengalami perlambatan kecepatan ditandai *streamtube* semakin melebar dan membentuk pola divergen sehingga nilai C_p semakin meningkat hingga sudut 240° , kemudian terjadi separasi masif.

Gambar 11a dan 11b, ilustrasi aliran yang terjadi pada silinder sirkular *upstream* menunjukkan adanya ketidaksimetrian *streamline* sehingga terlihat nilai C_p antara permukaan atas lebih tinggi daripada nilai C_p permukaan bawah dan semakin sempit G/D maka separasi semakin tertunda pada bagian bawah, hal ini terlihat dimana untuk $G/D 0.067$ separasi terjadi pada sudut 240° , dan pada $G/D = 0.267$ separasi terjadi pada sudut 265° . Banyaknya momentum aliran ke sisi atas (*upper side*) silinder sirkular justru menyebabkan aliran lebih cepat lepas dari permukaan dibanding pada sisi bawah.



Gambar 11. (a) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Sirkular *Upstream* $G/D = 0.067$

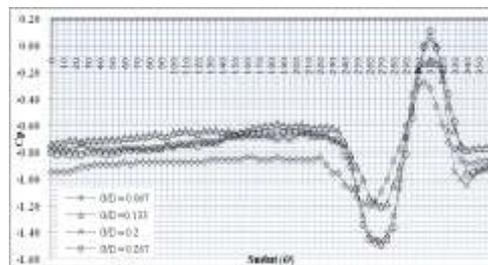


Gambar 11. (b) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Sirkular *Upstream* $G/D = 0.267$

Distribusi Koefisien Tekanan Permukaan (C_p) *Downstream* Silinder Sirkular

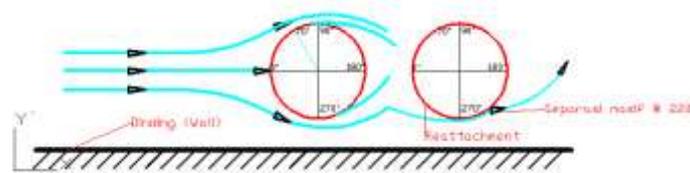
Akibat momentum aliran yang terseparasi masif dari silinder *upstream* pada Gambar 12 terlihat secara umum distribusi koefisien tekanan (C_p) yang terjadi pada permukaan silinder *downstream* hampir merata dan berharga negatif yang menunjukkan terjadinya separasi masif pada sudut 0° sampai sudut 180° .

Secara umum bahwa pada semua variasi G/D sekitar sudut $335^\circ < \theta < 360^\circ$ aliran separasi yang berasal dari belakang silinder *upstream* kemudian *streamline* mulai melebar ditandai dengan *adverse pressure gradient* yaitu peningkatan nilai C_p tetapi adanya vektor kecepatan aliran yang tinggi dari depan silinder mengakibatkan momentum fluida menghantam aliran sehingga separasi tertunda ditandai dengan adanya separasi *bubble* pada 310° hal ini menunjukkan fenomena *reattachment*.

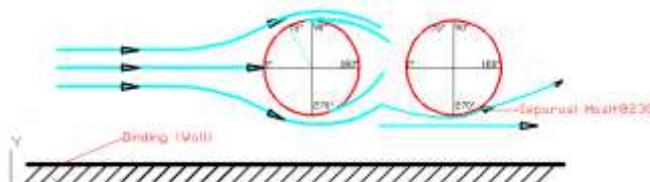


Gambar 12. Grafik Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) *Downstream* Silinder Sirkular

Kemudian dengan adanya penyempitan *streamtube* sehingga aliran mengalami peningkatan kecepatan ditunjukkan dengan nilai C_p semakin menurun hingga kecepatan maksimum pada sudut 270° . Kemudian *streamline* membentuk pola divergen ditandai nilai C_p yang membesar hingga akhirnya separasi pada sudut sekitar 230° . Pada Gambar 13a dan 13b menunjukkan semakin sempit jarak gap maka separasi semakin tertunda pada bagian bawah, hal ini terlihat bahwa untuk $G/D = 0,067$ separasi terjadi pada sudut 220° dan pada $G/D = 0.267$ separasi terjadi pada sudut 230° .



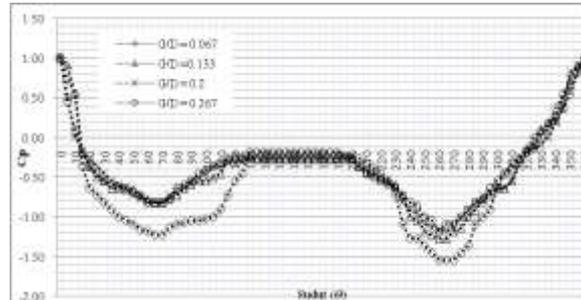
Gambar 13. (a) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Sirkular *Downstream* $G/D = 0.067$



Gambar 13. (b) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Sirkular *Downstream* $G/D = 0.267$

Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) Permukaan *Upstream* Silinder Elips

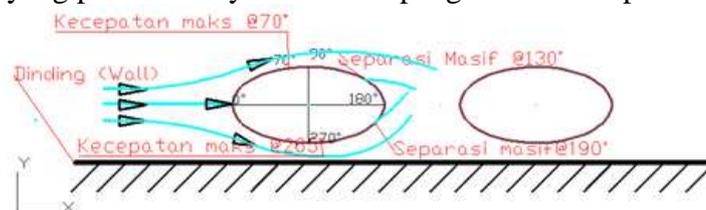
Interaksi aliran fluida terhadap elips yang dikarakteristikan dengan distribusi koefisien tekanan (C_p) yang melintasi permukaan lengkung silinder elips dengan *axis ratio* ($AR = 2$) ditunjukkan pada Gambar 14. Aliran mula-mula menerpa silinder elips pada titik stagnasi ditandai dengan nilai $C_p = 1$ pada sudut 0° . Kemudian fluida mengalir mengikuti permukaan elips dan terjadi peningkatan kecepatan ditandai dengan penurunan nilai C_p hingga berakselerasi maksimum pada sudut 70° . Aliran kemudian mengalami *adverse pressure gradient* ditandai dengan peningkatan nilai C_p dan *streamline* yang divergen. Fenomena ini berbeda dengan fenomena yang terjadi pada silinder sirkular dimana separasi pada silinder elips lebih tertunda akibat bentuk *streamlining body* yang lebih halus, sehingga aliran lebih mengikuti permukaan, sedangkan pada silinder sirkular *streamline* yang terbentuk lebih divergen sehingga separasi terjadi lebih cepat.



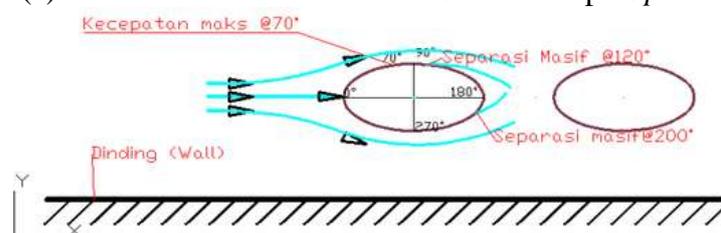
Gambar 14. Grafik Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) *Upstream* Silinder Elips

Pada bagian bawah silinder elips mula-mula aliran yang menerpa permukaan elips pada titik stagnasi ditandai dengan nilai $C_p = 1$ pada sudut 360° . Adanya dinding dibawah silinder elips mengakibatkan aliran mengalami kecepatan yang sangat tinggi hingga kecepatan maksimum pada sudut sekitar 265° . Hal ini ditunjukkan dengan nilai C_p lebih jauh menurun dibandingkan dengan nilai C_p pada permukaan bagian atas silinder elips. Fenomena peningkatan kecepatan pada $G/D = 0.067$ lebih jelas dari pada $G/D = 0.133, 0.2, 0.267$. Kemudian aliran melintasi celah atau gap dan tiba-tiba dibiarkan sehingga terbentuk *streamtube* yang semakin melebar ditandai dengan nilai C_p yang semakin meningkat, aliran selanjutnya mengalami separasi masif dibelakang silinder elips.

Secara umum untuk jarak $G/D = 0.133, 0.2, 0.267$ menunjukkan penurunan dan kenaikan nilai C_p relatif sama. Pada pengujian yang sama untuk $G/D = 0,067$, ternyata nilai C_p lebih kecil. Fenomena tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 15a dan 15b, dimana pada Gambar terlihat adanya pengaruh dinding terhadap kesimetrian *streamline* aliran fluida yang melintasi permukaan silinder elips yang pada akhirnya akan mempengaruhi nilai C_p .



Gambar 15. (a) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Elips *Upstream* $G/D 0.067$

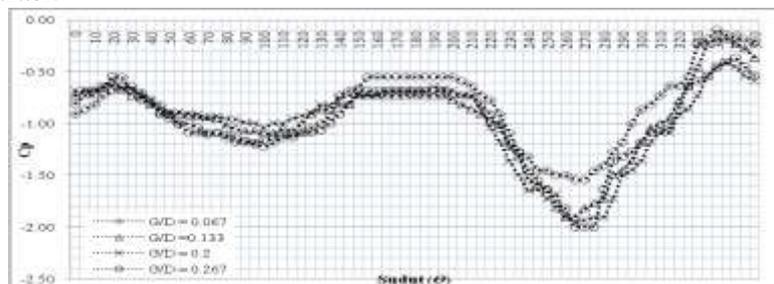


Gambar 15. (b) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Elips *Upstream* $G/D 0.267$

Pada daerah *trailing edge* untuk silinder elips dengan berbagai variasi G/D, menunjukkan karakteristik aliran yang tipikal, hal ini ditunjukkan separasi yang terjadi pada $G/D = 0.067$ lebih tertunda dibandingkan dengan $G/D = 0.267$. Kondisi tersebut disebabkan keberadaan silinder elips yang lebih dekat dengan dinding. Semakin sempit G/D maka separasi semakin tertunda. Apabila dibandingkan separasi yang terjadi pada silinder elips dengan separasi yang terjadi pada silinder sirkular terlihat bahwa separasi terjadi lebih dulu pada silinder sirkular. Hal ini diakibatkan oleh geometri silinder elips yang lebih lengkung, sehingga pola *streamline* yang terbentuk pada elips tidak begitu divergen atau menyebar.

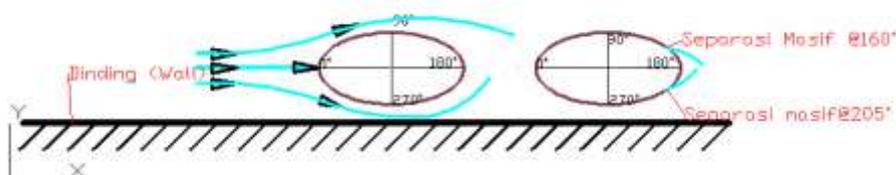
Distribusi Koefisien Tekanan Permukaan (C_p) *Downstream* Silinder Elips

Fenomena yang terjadi pada permukaan silinder elips *downstream* dikarakteristikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 16 Pada jarak longitudinal ($L/D = 1.5$) aliran yang terseparasi masif dari silinder elips *upstream* mengakibatkan *freestream flow* silinder *downstream* terganggu. Secara umum untuk semua jarak gap diperoleh nilai C_p yang diperoleh berharga negatif. Fenomena tersebut dimulai dengan *streamtube* yang membuka pada sudut 0° hingga pada sudut 20° yang menunjukkan *adverse pressure gradient* ditandai nilai C_p yang meningkat tetapi karena dihantam oleh aliran *upstream* sehingga aliran *reattachment*. Kemudian terjadi pengecilan *streamtube* pada bagian atas silinder elips yang ditunjukkan terjadinya kecepatan aliran yang tinggi hingga kecepatan maksimum yang sejalan dengan penurunan nilai C_p pada sudut 30° sampai pada sudut sekitar 90° . Aliran kemudian mengalami perlambatan kecepatan ditandai *streamtube* melebar, peristiwa ini ditunjukkan oleh nilai C_p yang semakin meningkat atau terjadi *adverse pressure gradient* yaitu pada sudut sekitar 90° sampai 140° hingga aliran separasi.

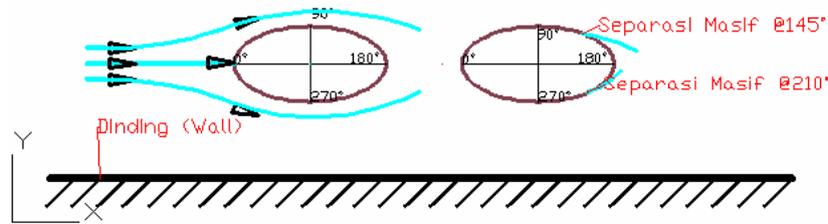


Gambar 16. Grafik Distribusi Koefisien Tekanan (C_p) *Downstream* Silinder Elips

Secara umum penurunan nilai C_p terjadi pada semua variasi gap. Aliran yang terseparasi masif dari silinder-1 pada $L/D = 1.5$ diteruskan hingga aliran mengalami peningkatan nilai C_p pada sudut sekitar 340° kemudian karena momentum aliran pada bagian bawah yang besar menghantam aliran diatas terjadi separasi *bubble* yang ditandai aliran *reattachment* pada sudut 340° . Fenomena pada posisi 330° sampai 265° adalah terjadi kecepatan sangat tinggi dibandingkan dengan kecepatan yang terjadi pada permukaan atas silinder elips ditunjukkan nilai C_p yang lebih kecil hal ini diakibatkan adanya dinding yang memblok aliran. Setelah mencapai titik akselerasi maksimum pada sudut 270° aliran dibiaskan keatas sehingga *streamtube* mengecil, yang menandakan kecepatan menurun dan nilai C_p semakin meningkat pada sudut $200 < \theta < 260$, hingga aliran terseparasi. Pada Gambar 17a dan 17b terlihat bahwa pada jarak gap 0.067 dibandingkan jarak gap yang lainnya, separasi lebih tertunda yang diakibatkan posisi silinder elips yang lebih dekat dengan dinding.



Gambar 17. (a) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Elips *Downstream* $G/D = 0.067$



Gambar 17. (b) Aliran Melintasi Permukaan Silinder Elips *Downstream* $G/D = 0.267$

KESIMPULAN

Berdasarkan data kuantitatif (distribusi koefisien tekanan (C_p)), nilai gaya *drag* (F_D) yang diperoleh dari dua silinder tersusun tandem pada dinding datar (*flat wall*) dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Gap yang sempit (G/D) menjadikan momentum fluida lebih cenderung menghindari sisi celah sempit antara silinder dengan dinding datar terutama ditunjukkan pada silinder sirkular untuk $G/D = 0.067$ lebih divergen ditandai nilai C_p konstan yang lebih cepat terjadi yaitu pada $90 < \Theta < 240$.
2. Keberadaan separasi masif pada kontur permukaan silinder elips, secara keseluruhan memberikan kontribusi dalam mereduksi gaya hambat (*drag*) secara khusus terlihat bahwa separasi pada silinder elips untuk $G/D 0.067$ lebih tertunda, terjadi pada $130 < \Theta < 190$ dibandingkan separasi yang terjadi pada silinder sirkular untuk $G/D = 0.067$, terjadi pada $90 < \Theta < 140$.

DAFTAR PUSTAKA

- Choi, J.H. & Lee, S.J., 2000, "Ground Effect of Flow Around an Elliptic Cylinder in a Turbulent Boundary Layer", *Journal of Fluids And Structures*, Vol. 14, 697-709
- Prince, dkk. 2002. "Flow Visualization Around a Circular Cylinder Near to a Plane Wall" *Journal of Fluids and Structures*. Vol 16 (2), 175-191.
- Widodo, Wawan Aries., Yuwono, Triyogi & Mirmanto, Heru., 2010, "Studi komparasi simulasi numerik aliran melintasi dua silinder teriris (tipe I-65⁰) dan dua silinder sirkular tersusun tandem ($L/D=1,5$) akibat pengaruh Dinding datar pada berbagai jarak Gap (G/D)", *Journal Teknik Mesin*, Vol. 10, 90-98.
- Fox, W. Robert., Mc Donald, Alan T, and Pritchard, Philip J., 2004, *Introduction to fluids Mechanics*, 6th edition, Jhon Wiley and Sons, Inc., New York