

Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Teriris Tipe-D dengan sudut Pengirisan (θ_s) = 53° Tersusun Secara Side by Side di Dekat Dinding Datar.

Suprpto^{a)}, Eka Daryanto^{a)}, Triyogi Yuwono^{b)}, Wawan Aries Widodo^{b)}

^{a)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Medan
Jalan Willem Iskandar Pasar V Medan Estate- Kotak Pos No. 1589 Medan 20221

e-mail: prapto_23@yahoo.com; ekadaryanto@yahoo.co.id

^{b)}Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya
email : triyogi@me.its.ac.id ; wawanaries@me.its.ac.id

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kampus ITS, keputih, Surabaya 60111

Abstrak

Penelitian tentang aliran eksternal melintasi silinder telah banyak dilakukan dan terus dikembangkan sampai saat ini. Berbagai kajian secara eksperimental maupun simulasi numerik dengan variasi susunan silinder baik secara stagger, longitudinal, transversal maupun gabungan untuk silinder sirkular maupun silinder sirkular yang dimodifikasi bentuknya (silinder tipe D atau I) telah dilakukan guna memperoleh informasi lebih jauh mengenai karakteristik aliran yang terbentuk melalui konfigurasi silinder tersebut. Hasil Penelitian tersebut banyak diaplikasikan dalam pengembangan industri seperti konfigurasi shell and tube dalam penukar kalor, tiang pancang bangunan lepas pantai, cerobong asap dan perancangan perpipaan di laut.

Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan dua silinder teriris tipe-D dengan sudut irisan silinder (θ_s) = 53° yang disusun secara side-by-side dan diposisikan didekat dinding dengan memberikan efek gangguan dengan sebuah silinder ($D=4\text{mm}$) diujung wall yang mempunyai sudut kemiringan 30° . Konfigurasi yang dilakukan dalam eksperimental yaitu variasi jarak transversal antar kedua silinder (T/D) = 1; 1,5; 2; 3 dan 4, sedangkan variasi rasio gap antara silinder terhadap dinding (G/D) = 0, 0,5 dan 1. Karakteristik aliran yang diteliti adalah distribusi koefisien tekanan (C_p) kedua silinder dan distribusi tekanan di dinding. Seluruh eksperimental dilakukan di open-circuit subsonic wind tunnel pada bilangan Reynolds (Re_D) = $5,4 \times 10^4$ didasarkan pada diameter silinder.

Hasil penelitian untuk jarak antara silinder $T/D=1; 1,5; 2; 3$ dan 4, dengan ratio jarak gap antara silinder dan dinding silinder $G/D=0$, menunjukkan terjadinya putus (discontinuity) pada bagian yang kontak dengan dinding silinder dan disisi depan silinder mengalami kenaikan C_p dikarenakan adanya perlambatan kecepatan aliran yang di tunjukan nilai distribusi tekanan positif di bagian upper dan negatif di downstream silinder pada silinder lower. Untuk $G/D=0,5-1$ tidak lagi terjadi discontinuity distribusi tekanan pada dinding, namun shear layer dari dinding masih sangat mempengaruhi distribusi tekanan pada kedua silinder yang di indikasikan oleh distribusi tekanan silinder yang tidak simetris pada silinder upper dan lower. Ketika jarak $G/D > 3-4$ pengaruh pengaruh shear layer dari dinding sudah mulai berkurang yang diindikasikan dari perubahan distribusi tekanan pada silinder lower.

Keywords: gap, discontinuity, tipe-D, transversal, silinder teriris

Pendahuluan

Perkembangan desain konstruksi selalu diupayakan tercapai peningkatan efisiensi dan optimalisasi. Mengingat konstruksi yang aerodinamis telah banyak memberikan kontribusi dan manfaat yang besar dalam aplikasi rekayasa teknik. Pengaruh konstruksi yang aerodinamis tersebut dapat terlihat pada karakteristik aliran fluida yang melewatinya. Salah satu bentuk konstruksi yang banyak digunakan adalah silinder.

Silinder sirkular adalah salah satu bentuk yang sangat populer digunakan pada rekayasa struktur. Berbagai

aplikasi dari silinder sirkular yang membentuk susunan tertentu seperti in-line, staggered, atau square arrays dan lain-lain, banyak digunakan dalam aplikasi engineering seperti penukar kalor shell and tube atau tube banks, bejana bertekanan atau reaction tower pada industri kimia, cooling tower, kabel listrik bertegangan tinggi, cerobong, struktur penyangga anjungan lepas pantai, pendinginan komponen elektronik (electronic cooling), dan sebagainya.

Dalam aplikasi teknik, body berbentuk silinder tersebut baik tunggal maupun berkelompok seringkali

disusun sedemikian rupa sehingga berdekatan dengan bentuk body lain seperti plat datar, sebagai contoh pada penukar kalor *shell-and-tube* dimana pipa-pipa sebagai sisi *tube* dipasang dalam suatu kotak yang tersusun dari empat dinding plat datar sebagai sisi *shell*. Demikian juga konstruksi sistem perpipaan bawah laut yang terpasang diatas permukaan dasar laut. Posisi dinding datar tersebut relatif terhadap pipa (body berbentuk silinder) tentu saja sangat mempengaruhi karakteristik aliran disekitar silinder. Penelitian tentang pengaruh posisi dinding datar terhadap body berbentuk silinder telah cukup banyak dilakukan orang, seperti misalnya yang dilakukan oleh **Zdravkovich (1985)**, atau **Choi & Lee (2000, 2001)**.

Namun demikian seperti diketahui, penelitian mereka lebih banyak untuk bodi berbentuk silinder sirkuler atau ellips. Seperti diketahui, bluff body yang sering digunakan dalam praktek mempunyai gaya hambat dinamis (*dynamic drag*) yang besar akibat separasi aliran melintasi silinder. Banyak studi atau penelitian tentang *dynamic drag* yang berhubungan dengan bluff body yang ditempatkan secara transversal terhadap arah aliran, seperti penelitian yang dilakukan oleh **Goldstein (1965)**, **Sovran dkk. (1978)**, dan **Bearman (1980)**. Untuk sirkular silinder yang diletakkan melintang terhadap aliran, mempunyai koefisien drag (C_D) sebesar sekitar 1,2 dalam range bilangan Reynolds (Re) antara 10.000 s/d 100.000, dimana Re ditentukan berdasarkan diameter silinder (d) dan kecepatan rata-rata aliran (U_∞).

Pengurangan harga C_D dapat dilakukan dengan cara menambah kekasaran permukaan silinder, untuk harga range Re tersebut, seperti dilakukan oleh **Achenbach (1971)**, dan **Herry OK. & Y. Triyogi (1999)**. Menurut **Achenbach (1971)**, sebenarnya tidak terlalu mudah membuat kekasaran permukaan pada silinder sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan penurunan koefisien drag silinder tersebut, terutama pada silinder yang berukuran sirkuler.

Selain bentuk silinder sirkular, **Aiba S. dan H. Watanabe (1997)** melakukan penelitian dengan memotong silinder sirkular pada bagian depan (tipe-D) dan bagian depan dan belakang dipotong sekaligus (tipe-I) dengan sudut pemotongan tertentu. Pemotongan yang dilakukannya bertujuan untuk mempercepat transisi aliran laminar menjadi turbulen. Seperti kita ketahui bersama bahwa aliran turbulen lebih mampu mengatasi terjadinya separasi yang diakibatkan adanya adverse pressure gradient maupun gesekan pada permukaan silinder tersebut. Dengan tertundanya separasi lebih ke belakang, maka *wake* yang terjadi menjadi sempit, sehingga gaya hambat (*drag*) akan menjadi semakin kecil pula.

J.H. Choi dan S.J. Lee (2000), melakukan penelitian mengenai pengaruh dinding terhadap aliran fluida yang melalui sebuah silinder sirkuler maupun

ellips pada sebuah boundary layer turbulen. hasil penelitian didapatkan bahwa harga koefisien *lift* (C_L) dan koefisien *drag* (C_D) mengalami perubahan seiring dengan perubahan harga G/B .

S. J. Price dkk (2002) melakukan penelitian tentang visualisasi aliran yang melintasi silinder sirkular di dekat dinding datar. Hasil penelitian menunjukkan untuk rasio 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 dan terjadi fenomena *blockage*.

Sedangkan untuk rasio gap menengah ($0,5 \leq G/D \leq 0,75$) *shear layer* sudah mulai membentuk *vortex shedding* dan 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 di sekeliling formasi daerah *vortex* dan separasi ini nampak berpasangan secara periodik dengan *vortex shedding* dari silinder. Pada kondisi gap diperbesar ($G/D \geq 1,0$) pada daerah ini tidak ada separasi di *boundary layer* dinding, *upstream* maupun *downstream* silinder. Sehingga, aliran yang melintasi silinder tersebut sama pentingnya dengan aliran yang melintasi silinder sirkular yang terisolasi.

Ryan, triyogi (2008), melakukan penelitian pada silinder teriris tipe-D didekat dinding dengan memvariasikan jarak antara gap, hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak gap antara silinder dan dinding mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap distribusi tekanan dan terbentuknya buble separation. **Elyus (2009)** adalah mengenai studi eksperimental tentang pengaruh dinding terhadap karakteristik aliran fluida melintasi silinder teriris tipe-D ($\theta_s = 65^\circ$).

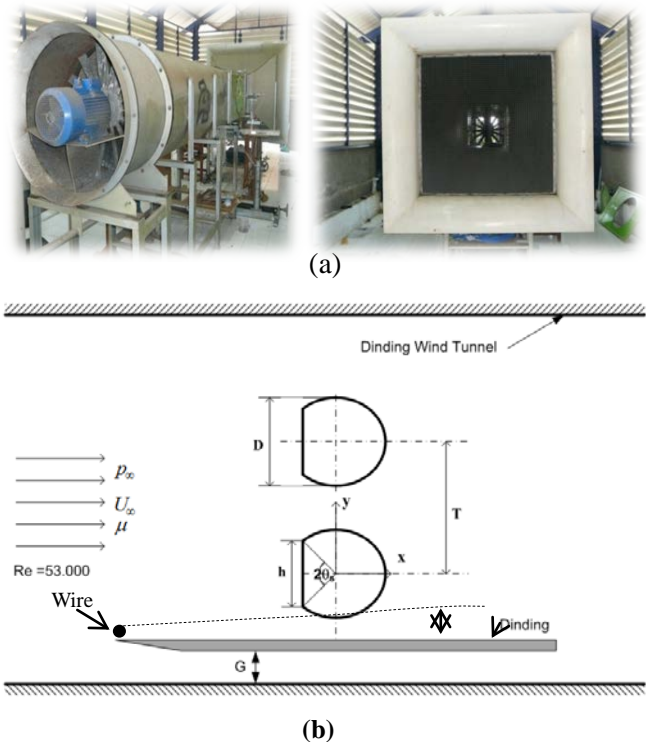
Dari pertimbangan tersebut diatas, bila direncanakan ke depan silinder teriris (tipe D atau I), yang terbukti mampu mengurangi gaya drag yang melintasinya, diaplikasikan dalam peralatan teknis, seperti dalam alat penukar kalor *shell and tube*, maka perlu dilakukan penelitian pendahuluan tentang efek posisi dinding *shell* terhadap silinder teriris tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini secara khusus mempunyai fokus pada benda uji dari 2(dua) buah silinder sirkuler teriris tipe-D yang diletakkan dekat dinding berupa plat datar, dimana kedua silinder disusun secara *side-by-side* maupun *tandem* yang diletakkan dekat plat/dinding datar. Dengan mengetahui karakteristik aliran melintasi silinder teriris tipe-D di dekat dinding datar, maka akan dapat diketahui efektivitas penggunaan silinder teriris tipe-D pada peralatan teknis berkonstruksi dinding datar. Dengan demikian akan dapat diketahui kemungkinan peningkatan efisiensi peralatan teknik tersebut, sehingga akhirnya dapat pula diketahui kemungkinan penghematan konsumsi energi.

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh posisi dinding plat datar terhadap karakteristik aliran melintasi 2 (dua) buah silinder teriris tipe-D yang tersusun *secara side-by-side* dengan cara mengukur distribusi tekanan silinder dan dinding.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida jurusan Teknik Mesin Institut Sepeuluh Nopember Surabaya (ITS). Gambar 1 menunjukkan skema konfigurasi silinder dan parameter-parameter percobaan. Diameter silinder adalah $D = 60$ mm, dengan sudut iris yang divariasikan sebesar $\theta_s = 53^\circ$ digunakan dalam penelitian ini. Masing-masing silinder mempunyai panjang $L = 600$ mm. Jarak transversal antara pusat kedua silinder dalam konfigurasi *side-by-side* relatif terhadap diameter (T/D) divariasikan sebesar $T/D = 1,5; 2,3$ dan 4.

Diameter wire $d=4$ mm, diletakan tepat di ujung wall silinder yang mempunyai sudut 30° , hal ini bertujuan untuk menghasilkan tebal turbulen boundary layer. Sedangkan jarak antara silinder dengan dinding ($G/D=0, 0,5$ dan 1). Susunan silinder diletakkan dalam terowongan angin subsonik tipe terbuka, yang mempunyai ukuran *test section* sebesar = 1500 mm (L) x 660 mm (H) x 660 mm (E).



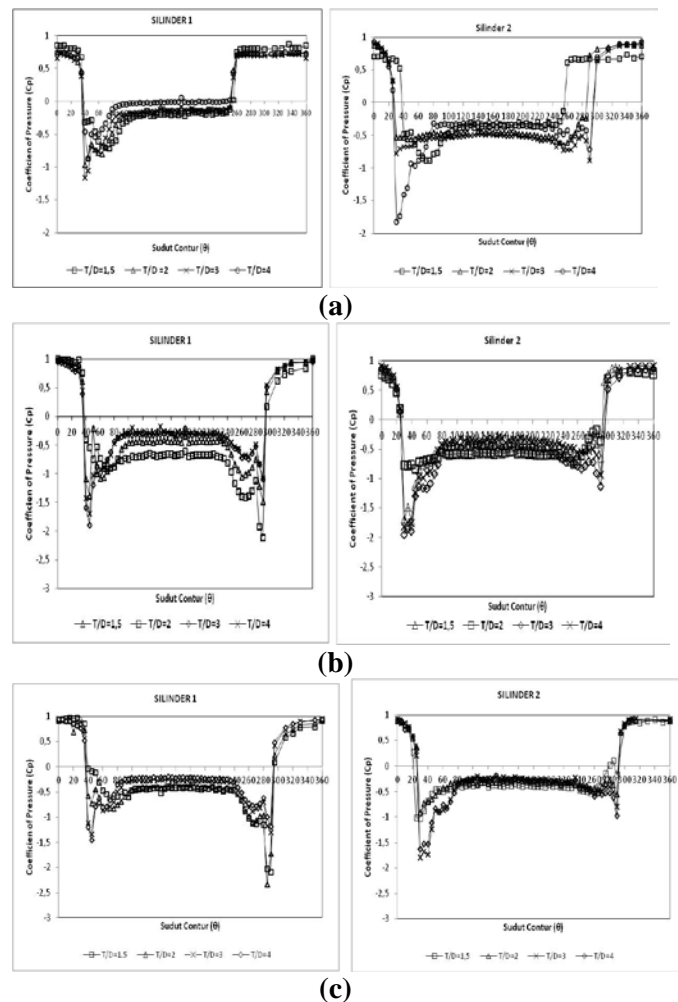
Gambar 1. (a) Wind Tunnel (b) Skema penelitian

Kecepatan aliran bebas ditetapkan sebesar 19 m/s, setara dengan bilangan Reynolds, $Re = 5.3 \times 10^5$ (berdasarkan diameter D dan kecepatan aliran

bebas $U_\infty = 14$ m/s). Distribusi tekanan ditengah *span* sekeliling setiap silinder diukur dengan menggunakan pressure transduser dengan memasang sejumlah *pressure tap* setiap silinder begitu juga dengan distribusi tekanan di dinding silinder.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian yang ditampilkan dalam makalah ini adalah distribusi tekanan (C_p) pada permukaan silinder tipe-D dan dengan sudut pengirisan $\theta_s = 53^\circ$ dan distribusi tekanan pada dinding. Hasil pengukuran disitribusi tekanan adalah sebagai fungsi dari gap ratio dan jarak antara silinder yang disusun secara *side-by-side* dengan variasi jarak ($1 < T/D < 4$) dan jarak gap ($0 < G/D < 1$). Gambar 2 menunjukkan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jarak posisi silinder di letakan menempel dipermukaan dinding ($T/D=1.5, 2, 3, 4, G/D=0, 0.5, 1$).

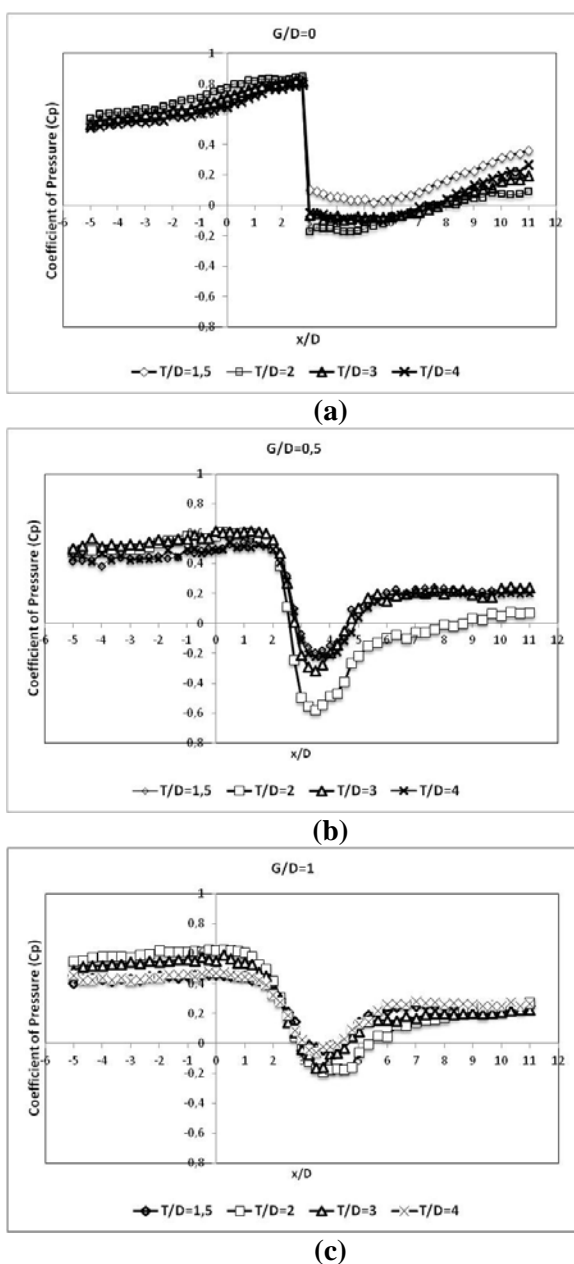


Gambar 2. Distribusi Tekanan (C_p) pada silinder (a). $G/D=0$; (b). $G/D=0.5$; (c). $G/D=1$

Gambar 2a. menunjukkan distribusi tekanan pada permukaan silinder untuk ($G/D=0$; $T/D = 1.5, 2, 3, 4$) yang tidak simetris di sisi lower dan upper pada silinder 1. Hal ini dikarenakan pengaruh jarak gap

yang sempit yang membuat efek blockage aliran sehingga pada kondisi ini aliran cukup lemah dan membuat cepat terseparasi. Namun ini tidak terjadi pada silinder 2, aliran yang melewati celah antara silinder memberikan tambahan momentum aliran sehingga dapat menunda terjadinya separasi lebih awal.

Selain itu ketika jarak antara silinder di perlebar, pada sisi lower dan upper silinder terbentuk bubble separation. Adanya bubble separation ini dapat menunda terjadinya seperasi lebih awal. Pada variasi $G/D=0.5$ dan $T/D=1.5, 2, 3, 4$ menunjukkan pengaruh dinding mulai melemah yang diindikasikan pada sisi lower dan upper silinder terlihat akselerasi aliran yang tajam dan terjadi bubble separation di sisi celah. Namun hal ini tidak terjadi pada silinder 2.



Gambar 3. Distribusi tekanan pada permukaan pelat (a) $G/D=0$; (b) $G/D=0.5$; (c) $G/D=1$

Ketika jarak gap perbesar ($G/D=1$) terlihat pada gambar c, semakin jauh jarak silinder dengan dinding maka hambatan atau *blockage* yang terjadi di depan silinder semakin kecil sehingga aliran yang melalui sisi celah semakin banyak. Dengan aliran yang semakin cepat maka tekanan yang terukur akan semakin kecil sehingga semakin mendekati kondisi dinding tanpa silinder didekatnya. Akselerasi aliran yang terjadi di celah antara silinder lebih tajam di bandingkan di celah, hal ini di karenakan adanya aliran dari celah gab sebagian masuk kesisi celah antara silinder, sehingga akan menambah massa dan momentum aliran. Hal ini dapat terlihat dari distribusi tekanan aliran di permukaan silinder dan terbentuknya bubble separation di sisi upper silinder 1 dan lower silinder 2.

Meskipun pada bagian *base pressure* masih terlihat sedikit perbedaan, namun tidak terlalu signifikan. Harga distribusi tekanan pada setiap variasi jarak gap ini juga relatif sama pada silinder 2. Hal ini menandakan bahwa pengaruh *boundary layer* dinding terhadap karakteristik aliran fluida yang melintasi silinder sudah mulai berkurang.

Distribusi tekanan pada permukaan pelat ditunjukkan pada gambar 3 (a,b,c) sebagai fungsi jarak gap. Ketika silinder kontak langsung dengan permukaan pelat ($G/D=0$) gambar 4(a), terlihat adanya *discontinuity* atau putus distribusi tekanan permukaan dinding pada bidang yang bersentuhan langsung. Pada sisi depan silinder seluruhnya bernilai positif dan nilai negatif terjadi hampir di belakang silinder pada jarak tertentu. Hal ini dikarenakan adanya perlambatan aliran disebabkan adanya efek blockage aliran, sehingga terjadi penurunan kecepatan dan kenaikan tekanan. Dengan meningkatnya ratio jarak gap yang lebih besar tidak terjadi lagi *discontinuity* distribusi tekanan pada dinding, dengan semakin besar rasio gap ini, juga didapatkan bahwa distribusi tekanan yang ada pada dinding semakin mendekati distribusi tekanan pada saat tanpa silinder dan adanya efek blockage aliran.

Pada jarak gap ($G/D=0.5$), terlihat pada gambar 4b, adanya akselerasi aliran yang tajam di depan silinder hal ini disebabkan adanya celah aliran antara silinder dengan dinding silinder yang menghasilkan kecepatan maksimum pada daerah tersebut menyebabkan penurunan distribusi tekanan di dinding. Hal itu mengindikasikan bahwa dengan semakin jauh jarak antara silinder dengan dinding, atau rasio gap yang semakin besar, maka pengaruh dari silinder terhadap distribusi tekanan pada dinding semakin berkurang.

Kesimpulan

1. Pada jarak gap yang sempit ($G/D=0$) terjadi blockage aliran dan aliran tersebut masuk kesisi celah antara silinder upper silinder 1 dan lower silinder 2 dan memberikan energi tambahan pada aliran. Besarnya energi ini mampu menunda separasi aliran dan membentuk bubble separation.
2. Untuk gab yang moderat ($G/D=0.5$) aliran yang masuk disisi celah antara dinding dan sisi lower silinder 1 energi aliran terlalu lemah, sehingga aliran mudah terseperasi dan masih ada pengaruh hambatan aliran.
3. Untuk gab yang diperlebar ($G/D=1$) aliran lebih mudah mengalir lewat sisi celah karena hambatan (blockage effect) semakin berkurang.

Ucapan Terima kasih

Kami ucapkan terimakasih kepada :

1. Dikti sebagai pemberi bantuan hibah pekerti
2. Jurusan Teknik Mesin ITS
3. Jurusan Teknik mesin Unimed
4. Lembaga Penelitian (LEMLIT) Unimed

Nomenklatur

G	Gap (mm)
Cp	Coeffisien Tekanan
T	Tranversal (mm)
D	Diameter Silinder (mm)
<i>Greek letters</i>	
μ	viscosity
<i>Subsripts</i>	
U_{∞}	Kecepatan aliran freestream (m/s)
θ_s	Sudut pengirisan ($^{\circ}$)
P_{∞}	Tekanan freestream (Pa)

Referensi

- Aiba, S. dan Watanabe, H., 1997, **Flow Characteristics of a Bluff Body Cut From a Circular Cylinder**, *Journal of Fluids Engineering*, Vol 119, 453-457.
- Bao, F and Dallmann, 2004. **Sowe Physical Aspects Of Separation Bubble On A Rounded Backward Facing Step**. *Aerospace Science And Technology* 8, 83-91
- Choi, J.H. and 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.
- C. Lei, L. Cheng, S.W. Armfield, K. Kavanagh, **Vortex Shedding Suppression For flow Over A Circular Cylinder Near A Plane Boundary**. *Ocean Engineering* 27 (2000) 1109-1127
- Elyus, D. E, 2009, **Studi Eksperimental Tentang Pengaruh dinding Terhadap Karakteristi Aliran fluida Melintasi Silinder Teriris Tipe D pada lapis batas Laminar dan Turbulent**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- G. Buresti and A. Lanciotti, **Mean and fluctuating forces on a cylinder in cross -flow near a plane surface**. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* , 41-44 (1992) 639-650
- Price, S.J., Sumner, D., Smith, J.G., Leong, K., and Paidoussis, M.P., 2002, **Flow Visualization around a Circular Cylinder Near To a Plane Wall**, *Journal of Fluids and Structures*, Vol 16 (2), 175-191.
- Ryan, A. 2008, **Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Dinding Terhadap Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder Teriris Tipe-D**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zdravkovich, M.M, 1985, **Forces on a Circular Cylinder Near a Plane Wall**, *Applied Ocean Research*, Vol 7, No.4, University of Salford, Salford-UK.
- Zdravkovich M.M., Priden, 1997, **“Interference between Two Cylinders, “ Series of Unexpected Discontinuities”**, *Journal Wing Eng. Ind Aerodynamics*, 2,255-270.