Studi Eksperimen Pengaruh *Upstream Disturbance Body* Terhadap Gaya Hambat Silinder Tunggal Dan *Pressure Drop* Saluran

Saiful Ma'arif dan Dr. Wawan Aries Widodo
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail : wawanaries@me.its.ac.id

***Abstrak*—Dalam dunia otomotif, gaya *drag* cenderung dihindari karena dianggap merugikan. Gaya *drag* dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu intensitas turbulensi aliran, geometri suatu benda, kekasaran permukaan dan lain-lain. Intensitas turbulensi aliran yang melintasi benda dapat dipengaruhi pengganggu yang berada di depan permukaan benda tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh silinder pengganggu terhadap gaya *drag* silinder tunggal dan juga *pressure drop* saluran. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen. Benda uji yang digunakan berupa silinder sirkular berdiameter (*D*) 25 mm yang disusun secara tandem terhadap *Upstream Disturbance Bodi* (*UDB*) berbentuk silinder sirkular. Diameter *UDB* (*d*) yaitu 4 mm dan 8 mm. Variasi jarak antar silinder *L/D* 1,25-3,00 dengan interval 0,25. Bilangan *Reynolds* (Re_{Dh}) yang digunakan dalam pengambilan data *pressure drop* $7{,}37\times10^4$; $8{,}04\times10^4$; $9{,}38\times10^4$; $1{,}07\times10^5$; $1{,}2\times10^5$. Sedangkan untuk pengambilan data koefisien tekanan dan perhitungan koefisien drag secara eksperimen digunakan Re_{Dh} $7{,}37\times10^4$ pada *L/D* 1,75 untuk *d/D* 0,16, *L/D* 2,0 untuk *d/D* 0,32 dan Re_{Dh} $1{,}07\times10^5$ pada *L/D* 1,25 untuk *d/D* 0,16 maupun 0,32. Untuk penelitian eksperimen, susunan benda uji diuji pada *wind tunnel* dengan dimensi 200 mm × 200 mm × 1800 mm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan *UDB* tidak dapat menurunkan *pressure drop* silinder tunggal. Nilai *pressure drop* susunan terendah yaitu 1,2 kali nilai *pressure drop* silinder tunggal terjadi pada variasi *L/D* 1,25 dan *d/D* 0,32. Pada susunan ini pula, koefisien drag tekanan silinder turun sebesar 42% dari koefisien drag tekanan silinder tunggal.**

Kata Kunci*— bilangan *Reynolds*, koefisien *drag*, silinder sirkular, *UDB

I. PENDAHULUAN

Bluff body yang dilingkupi fluida akan mengalami gaya akibat interaksi dengan fluida. Untuk aliran dua dimensi gaya-gaya yang sejajar dengan arah aliran fluida disebut gaya *drag*, sedangkan gaya yang tegak lurus terhadap arah aliran dinamakan gaya *lift*, dimana dalam kebanyakan kasus adanya gaya *drag* tidaklah diinginkan. Kedua gaya tersebut sangatlah dipengaruhi oleh letak titik separasi pada body.

Beberapa hal yang dapat mempengaruhi gaya *drag* yaitu intensitas turbulensi, geometri benda, kekasaran permukaan, adanya *disturbance body* dan *blockage ratio*. Penelitian mengenai pengurangan gaya *drag* pada silinder sirkular tunggal dilakukan oleh **Lee, dkk** [3] dengan menggunakan kawat pengganggu di daerah *upstream*, silinder utama. Variasi diameter pengganggu terhadap diameter silinder utama yang digunakan *d/D* 0.133 sampai 0.267. Koefisien drag silinder sirkular utama berkurang sebesar 29% ketika menggunakan diameter kawat pengganggu *d* = 7 mm (*d/D* = 0.233). **Hariyanto** [2] meneliti *pressure drop* pada saluran dengan silinder pengganggu di depan silinder utama secara tandem. Rasio diameter silinder pengganggu terhadap silinder utama bervariasi yaitu *d/D* 0,32; 0,16; 0,1. Hasil yang diperoleh penggunaan rasio *d/D* 0,32 menghasilkan nilai *pressure drop* terendah.

Dari penelitian tersebut, maka muncul pemikiran untuk melakukan penelitian mengenai reduksi gaya fluida pada silinder sirkular tunggal dengan pengganggu yang diletakkan di daerah *upstream* silinder sirkular utama. Dari penelitian ini dilihat pengaruh beberapa variasi susunan terhadap distribusi koefisien tekanan (C_p), koefisien *drag* (C_D) dan *pressure drop* pada saluran.

II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimen pada sebuah wind tunnel dengan dimensi 200 mm × 200 mm × 1800 mm. *Upstream Disturbance Body* (*UDB*) diletakkan di daerah *upstream* silinder sirkular utama berdiameter 25 mm seperti yang terlihat pada gambar 1. Rasio diameter *Upstream Disturbance Body* (*UDB*) (*d/D*) yaitu 0,16 dan 0,32, sedangkan rasio jarak antar silinder (*L/D*) divariasikan dari 1,5 hingga 3,0 dengan interval 0,25. Bilangan *Reynolds* yang digunakan untuk memperoleh nilai *pressure drop* yaitu berturut-turut dari $7{,}37\times10^4$; $8{,}04\times10^4$; $9{,}38\times10^4$; $1{,}07\times10^5$; $1{,}2\times10^5$ berdasar diameter hidrolik Re_{Dh}. Sedangkan dalam pengambilan data distribusi tekanan digunakan bilangan *Reynolds* dimana terjadi nilai *pressure drop* tertinggi dan terendah.

Pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran tekanan statis *inlet* dan *outlet* saluran, pengukuran tekanan statis permukaan *midspan* silinder sirkular utama, dan pengukuran tekanan dinamis didaerah *downstream* silinder utama. Pengukuran tekanan statis *inlet* dan *outlet* saluran diolah menjadi data *pressure drop*, tekanan statis permukaan *midspan* silinder sirkular utama diolah menjadi data distribusi koefisien tekanan (Cp) sebagai berikut:

$$Cp = \left(p_C - p_\infty\right) \Big/ \tfrac{1}{2}\rho U_\infty^2 \qquad (1)$$

dimana p_c merupakan tekanan permukaan silinder, p_∞ merupakan tekanan aliran *freestream*, sedangkan $\tfrac{1}{2}\rho U_\infty^2$ merupakan tekanan dinamik aliran *freestream*.

Dari distribusi koefisien tekanan diperoleh data koefisien drag tekanan melalui persamaan berikut:

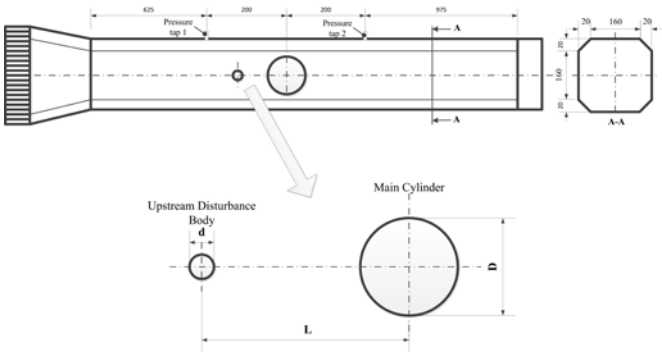
$$C_d = \frac{1}{2}\int_0^{2\pi} C_p(\theta)\cos(\theta)\,d\theta \qquad (2)$$

persamaan tersebut dapat diselesaikan menggunakan metode numerik *Simpson 1/3 segmen berganda*, yaitu :

$$I \cong \underbrace{(b-a)}_{lebar}\frac{f(x_o)+4\sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i)+2\sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j)+f(x_n)}{\underbrace{3n}_{Tinggi\ rata-rata}} \qquad (3)$$

dimana

- b = 2☐ dan a = 0
- $f(\times_0)$ = Cp(0)cos(0)
- $f(\times_n)$ = Cp(2π) cos (2π)
- n = jumlah data
- $f(\times_i)$ adalah perkalian dari fungsi data gasal dimana i = 1,3,5 …n-1.
- $f(\times_j)$ adalah perkalian dari fungsi data genap dimana j = 2,4,6 …..n-2.



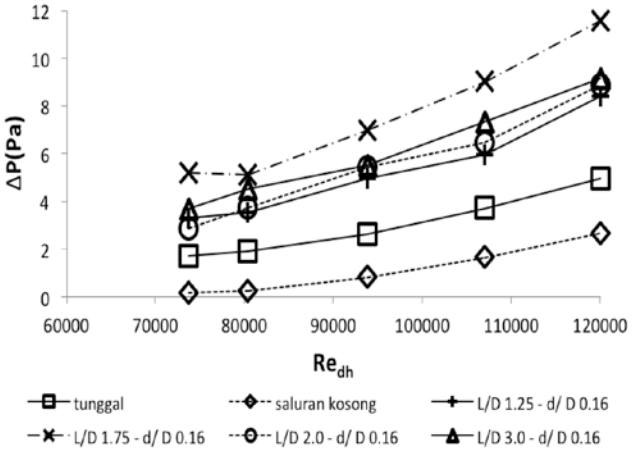
Gambar 1. Instalasi Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

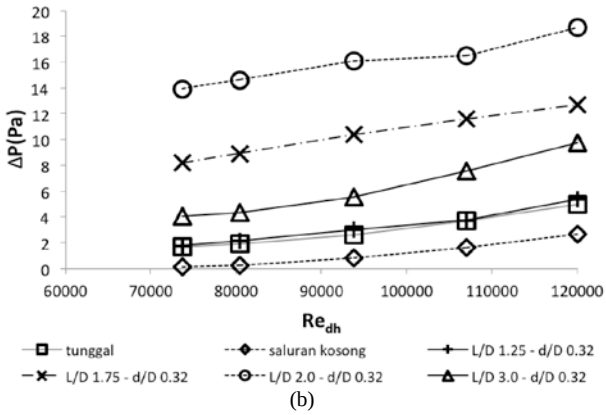
Pada bab ini dibahas mengenai hasil yang diperoleh secara eksperimen. Hasil penelitian yang diperoleh berupa *pressure drop*, distribusi koefisien tekanan, profil kecepatan dan nilai koefisien drag.

III. 1. Data *Pressure Drop* pada variasi bilangan *Reynolds*

Data *pressure drop* diambil untuk saluran kosong, saluran dengan silinder tunggal dan saluran dengan silinder dan *Upstream Disturbance Body* (*UDB*) seperti yang terlihat pada gambar 2. Gambar 2(a) merupakan grafik *pressure drop* terhadap bilangan *Reynolds* pada variasi *d/D* = 0,16, sedangkan gambar 2(b) merupakan grafik *pressure drop* terhadap bilangan *Reynolds* pada variasi *d/D* = 0,32. Gambar 2(a) dan 2(b) menunjukkan trend yang sama, yaitu nilai *pressure drop* semakin tinggi seiring bertambahnya bilangan *Reynolds*. Untuk gambar 2(a) nilai *pressure drop* terendah terjadi pada *L/D* 1,25 di setiap bilangan *Reynolds* kemudian nilai *pressure drop* meningkat hingga mencapai nilai tertinggi yaitu pada susunan *L/D* 1,75. Kemudian nilai *pressure drop* menurun kembali seiring bertambahnya jarak *L/D*. Pada gambar 2(b) Peningkatan *pressure drop* terjadi pada rentang *L/D* 1,25 hingga *L/D* 2,0, kemudian terjadi penurunan *pressure drop* untuk *L/D* 2,0-3,0. Nilai *pressure drop* susunan *L/D* 1,25 hampir sama dengan nilai *pressure drop* silinder tunggal dengan selisih nilai terbesar yaitu sekitar 15%. Hal ini menunjukkan karakteristik aliran pada susunan *L/D* 1,25 memiliki karakteristik yang hampir sama dengan karakteristik aliran melintasi silinder tunggal. *Wake* yang terbentuk pada *L/D* 1,25 hampir sama dengan silinder tunggal seakan-akan *wake Upstream Disturbance Body (UDB)* melingkupi silinder utama dan membentuk *cavitation mode* [3]. *Pressure drop L/D* 3,0 bernilai sekitar dua kali dari nilai *pressure drop L/D* 1,25 pada setiap bilangan *Reynolds*. Nilai *pressure drop L/D* 3,0 merupakan nilai yang paling mendekati nilai *pressure drop L/D* 1,25 daripada nilai *pressure drop* pada susunan yang lain. Hal ini terjadi disebabkan karakteristik aliran pada *L/D* 3,0 hampir sama dengan *L/D* 1,25. Untuk *L/D* 3,0, interaksi *shear layer* dari *Upstream Disturbance Body (UDB)* tidak memberi efek agitasi yang signifikan terhadap lapis batas silinder utama.



(a)



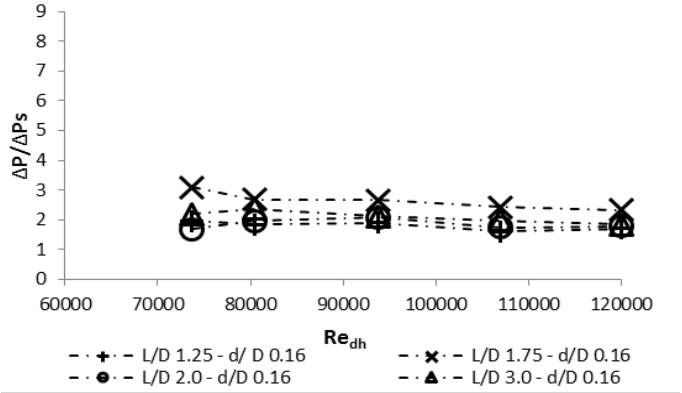
(b)

Gambar 2. Grafik *Pressure Drop* terhadap bilangan *Reynolds* untuk (a) *d/D* = 0,16; (b) *d/D* = 0,32

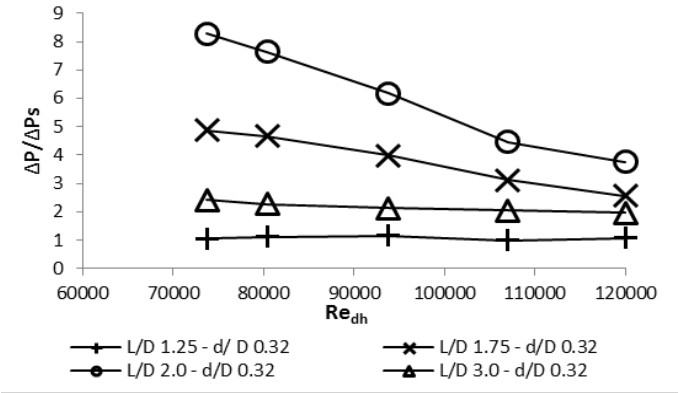
Data *pressure drop* pada variasi rasio diameter *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* dan variasi jarak *L/D* dibagi terhadap *pressure drop* saluran dengan silinder tunggal dapat dilihat pada gambar 3. Dari hasil pembagian dapat diperoleh informasi mengenai susunan yang menghasilkan data *pressure drop* hampir sama dengan *pressure drop* silinder tunggal dan

juga informasi mengenai susunan yang menghasilkan data *pressure drop* yang paling tinggi.

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai perbandingan yang paling rendah terjadi pada susunan L/D 1,25, sedangkan yang tertinggi pada L/D 1,75. Hal ini menunjukkan bahwa untuk susunan L/D 1,25 memiliki nilai *pressure drop* yang mendekati nilai *pressure drop* silinder tunggal. Selain itu jika dilihat dari pengaruh bilangan *Reynolds*, terlihat bahwa untuk setiap grafik memiliki nilai minimum pada bilangan *Reynolds* $1{,}07 \times 10^5$. Sedangkan untuk bilangan *Reynolds* yang paling rendah yaitu $7{,}37 \times 10^4$ memiliki nilai perbandingan yang tertinggi. Dapat dilihat bahwa pada *Re* rendah, selisih antara *pressure drop* silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu sangat besar.



(a)



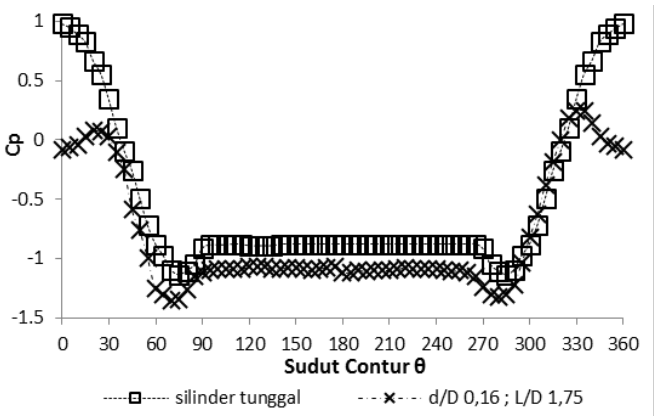
(b)

Gambar 3 Grafik perbandingan nilai *pressure drop* susunan terhadap nilai *pressure drop* silinder tunggal untuk *Upstream Disturbance Body (UDB)* (a) *d/D* = 0,16 dan (b) *d/D* = 0,32

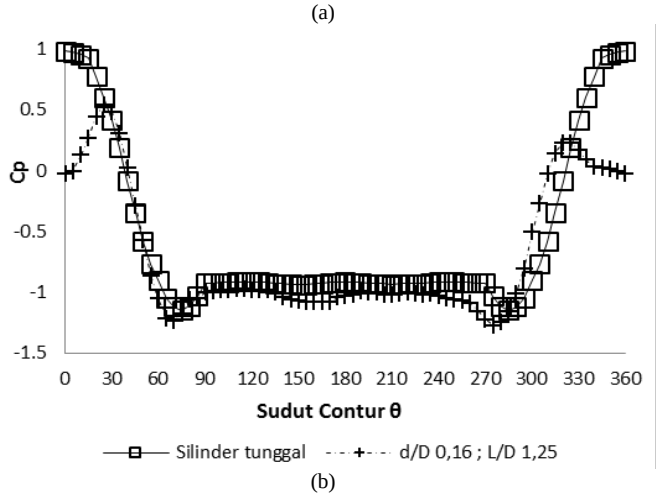
Untuk pengganggu *d/D* = 0,16, nilai perbandingan tertinggi dan nilai perbandingan terendah berturut-turut terjadi pada susunan L/D 1,75 dengan nilai Re $7{,}37 \times 10^4$ dan susunan L/D 1,25 dengan Re $1{,}07 \times 10^5$. Sedangkan untuk pengganggu *d/D* = 0,32, nilai perbandingan tertinggi dan nilai perbandingan terendah berturut-turut terjadi pada susunan L/D 3,0 dengan nilai Re $7{,}37 \times 10^4$ dan susunan L/D 1,25 dengan Re $1{,}07 \times 10^5$. Dari hasil nilai tertinggi dan terendah ini, kemudian dilakukan pengambilan data distribusi koefisien tekanan silinder dan profil kecepatan dibelakang susunan silinder yang dibahas pada subbab selanjutnya.

III.2 Distribusi Koefisien Tekanan Silinder pada *d/D* = 0,16

Pada subbab ini dibahas distribusi koefisien tekanan pada *d/D* 0,16. Dari gambar 3(a) diperoleh nilai *pressure drop* tertinggi pada susunan *L/D* = 1,75 dan bilangan *Reynolds* $7{,}37 \times 10^4$ dan nilai *pressure drop* terendah pada susunan *L/D* 1,25 dan bilangan *Reynolds* $1{,}07 \times 10^5$. Gambar 4(a) menunjukkan perbandingan distribusi koefisien tekanan silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 untuk *L/D* = 1,75 dan bilangan *Reynolds* $7{,}37 \times 10^4$. Untuk silinder tunggal, titik stagnasi terjadi pada sudut 0^0, yang ditandai dengan nilai koefisien tekanan 1. Setelah titik stagnasi, grafik distribusi koefisien tekanan mengalami penurunan hingga mencapai nilai minimum. Hal ini menandakan bahwa kecepatan aliran semakin cepat hingga mencapai kecepatan maksimum pada sudut 75^0 untuk *upper side* dan 285^0 untuk *lower side*. Kemudian aliran mengalami perlambatan dan terseparasi yang ditandai oleh distribusi koefisien tekanan mulai sama pada sudut 90^0.



(a)



(b)

Gambar 4 Distribusi koefisien tekanan silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 : (a) *L/D* 1,75 pada Re $7{,}37 \times 10^4$, (b) *L/D* 1,25 pada Re $1{,}07 \times 10^5$

Sedangkan untuk distribusi koefisien tekanan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 pada jarak L/D 1,75, titik stagnasi tidak berada pada sudut 0^0. Hal ini menunjukkan bahwa silinder utama dipengaruhi oleh *wake Upstream Disturbance Body (UDB)*. Titik puncak yang terdapat pada

sudut 20^0 untuk *upper side* dan 335^0 untuk *lower side* menandakan bahwa terjadi titik *attachment* dari *shear layer* yang terlepas dari *Upstream Disturbance Body (UDB)*. Setelah titik *attachment* aliran mengalami percepatan hingga kecepatan maksimum pada sudut 70^0 dan kemudian mengalami perlambatan lagi hingga terjadi separasi pada sudut 95^0.

Pada gambar 4(b) dapat dilihat perbandingan distribusi koefisien tekanan silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 untuk *L/D* = 1,25 dan bilangan *Reynolds* $1{,}07\times10^5$. Untuk silinder tunggal, titik stagnasi terjadi pada sudut 0^0, yang ditandai dengan nilai koefisien tekanan sebesar 1. Setelah titik stagnasi, grafik distribusi koefisien tekanan mengalami penurunan hingga mencapai nilai minimum. Hal ini menandakan bahwa kecepatan aliran semakin cepat hingga mencapai kecepatan maksimum pada sudut 75^0 untuk *upper side* dan 285^0 untuk *lower side*. Kemudian aliran mengalami perlambatan dan terseparasi yang ditandai oleh distribusi koefisien tekanan mulai sama pada sudut 90^0.

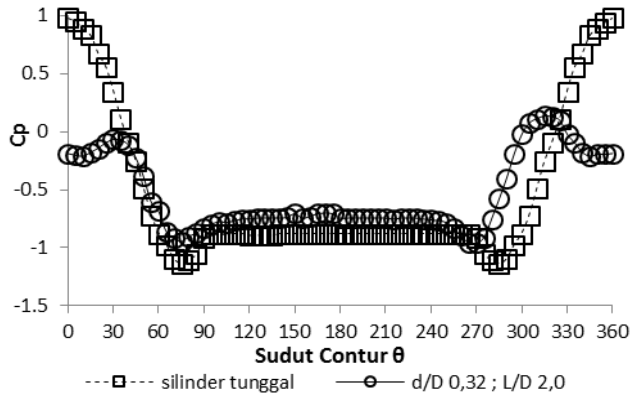
Untuk silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 yang diletakkan pada sisi *upstream*, masih dipengaruhi *wake Upstream Disturbance Body (UDB)*. Hal ini ditandai adanya titik puncak pada grafik distribusi koefisien tekanan gambar 4(b) yang mengindikasikan adanya *shear layer* yang terseparasi dari *Upstream Disturbance Body (UDB)* mengalami *attachment* pada kontur permukaan silinder utama. Titik *attachment* terjadi pada sudut 25^0. Setelah mengalami titik *attachment*, aliran mengikuti kontur kearah *downstream* dan *upstream*. Aliran yang mengalir kearah *downstream* mengalami kecepatan maksimum pada sudut 70^0. Aliran mengalami perlambatan dan terseparasi pada sudut 95^0. Sedangkan aliran yang mengarah pada *upstream*, mengalami separasi pada sudut 0^0.

III.3 Distribusi Koefisien Tekanan Silinder pada *d/D* = 0,32

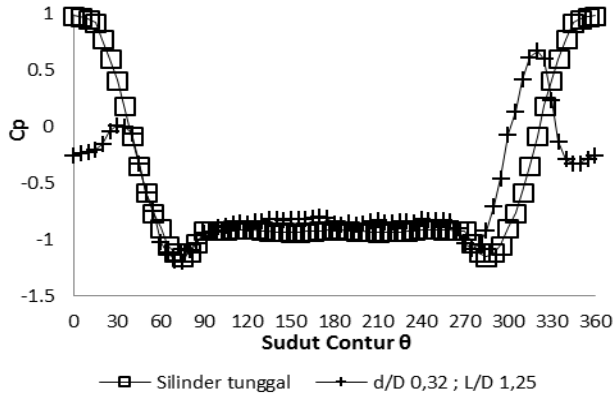
Distribusi koefisien tekanan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 pada bilangan *Reynolds* $7{,}37 \times 10^4$ ditunjukkan pada gambar 5(a). Distribusi koefisien tekanan silinder tunggal pada gambar 5(a) samadengan yang tertera pada gambar 4. Untuk silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 pada susunan *L/D* 2,0 terlihat bahwa hampir keseluruhan nilai distribusi koefisien tekanan berada pada nilai negative. Hal ini mengindikasikan bahwa silinder utama terlingkupi oleh *wake Upstream Disturbance Body (UDB)*.

Shear layer yang terlepas dari permukaan *Upstream Disturbance Body (UDB)* mengalami *re-attachment* pada permukaan silinder utama pada sudut 315^0 yang ditunjukkan titik puncak pada gambar 5(a). *Shear layer* yang mengalami *re-attachment* akan terbagi menjadi dua aliran yaitu aliran yang kearah *upstream* dan aliran kearah *downstream*. Aliran kearah *downstream* mengalami kecepatan maksimum pada sudut 75^0 pada *upper side* dan 265^0 pada *lower side*, kemudian aliran terseparasi pada sudut 115^0 dan sudut 235^0 untuk *upper side* dan *lower side*. Sedangkan separasi untuk aliran kearah *upstream* terjadi pada sudut 10^0 dan 345^0 untuk *upper side* dan *lower side*.

Untuk distribusi koefisien tekanan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 dan jarak *L/D* 1,25 pada bilangan *Reynolds* $1{,}07 \times 10^5$ dapat dilihat pada gambar 5(b). Penjelasan mengenai distribusi koefisien tekanan silinder tunggal pada bilangan *Reynolds* $1{,}07 \times 10^5$ telah dijelaskan pada gambar 4. Titik puncak pada sudut 315^0 merupakan titik *attachment shear layer* yang terlepas dari *Upstream Disturbance Body (UDB)*. Titik separasi aliran *downstream* terjadi pada sudut 105^0 dan 255^0 untuk *upper side* dan *lower side*.



(a)



(b)

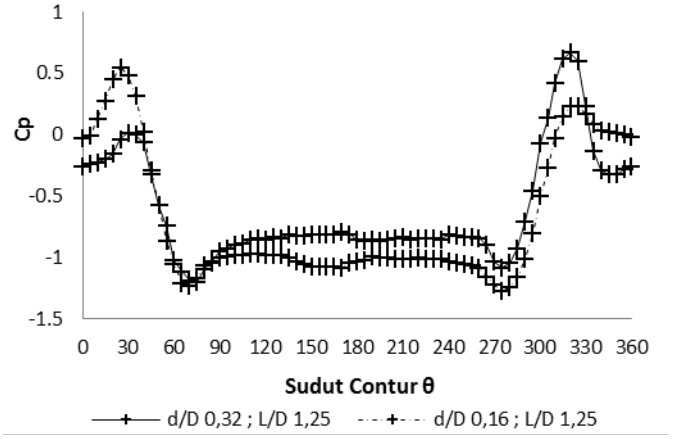
Gambar 5 Distribusi koefisien tekanan silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 (a) *L/D* 2,0 pada Re $7{,}37 \times 10^4$, (b) *L/D* 1,25 pada Re $1{,}07 \times 10^5$

Sedangkan separasi untuk aliran kearah *upstream* terjadi pada sudut 5^0 dan 355^0 untuk *upper side* dan *lower side*. Separasi aliran silinder sirkular dengan *Upstream Disturbance Body (UDB)* lebih tertunda daripada separasi aliran melintasi silinder sirkular tunggal. Hal ini disebabkan *shear layer* yang terseparasi dari *Upstream Disturbance Body (UDB)* mampu meningkatkan intensitas turbulensi momentum aliran fluida yang *attach* pada permukaan siinder sirkular. Peningkatan intensitas turbulensi ini mengakibatkan momentum fluida lebih mampu untuk menahan tegangan geser dan *adverse pressure* sehingga titik separasi lebih tertunda daripada titik separasi silinder tunggal.

III.4 Distribusi Koefisien Tekanan silinder dengan pengganggu L/D 1,25 pada Re $1{,}07 \times 10^5$

Subbab ini merupakan pembahasan mengenai pengaruh dari variasi *d/D* = terhadap distribusi koefisien tekanan silinder utama. Distribusi koefisien tekanan yang dibahas hanya pada variasi jarak *L/D* 1,25 dengan bilangan *Reynolds*

yang tetap yaitu 1,07 × 10^5 seperti yang terlihat pada gambar 6. Pada gambar 6 terlihat kedua grafik memiliki trend yang sama. Titik *attachment* pada *d/D* = 0,16 lebih kearah *upstream* daripada titik *attachment* pada *d/D* = 0,32. Hal ini disebabkan karena *wake* yang terbentuk dari *Upstream Disturbance Body (UDB)* dengan *d/D* = 0,32 lebih lebar daripada *wake Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,16. Energi aliran *freestream* lebih mudah untuk menekan *shear layer Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,16 sehingga titik *attachment* terjadi lebih kearah *upstream.*



Gambar 6 Perbandingan Distribusi koefisien tekanan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 dan *d/D* = 0,32 pada *Re* 1,07 × 10^5

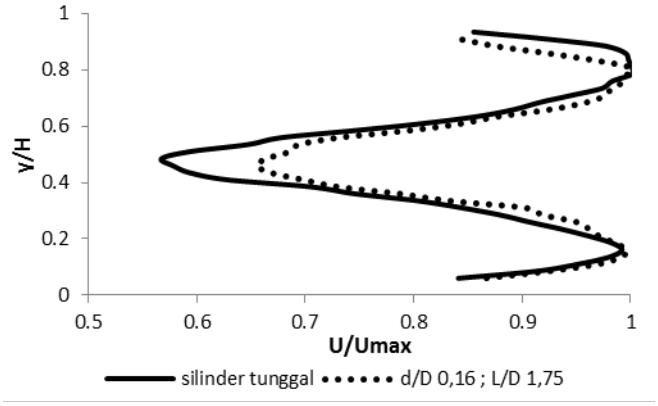
Sedangkan untuk sudut terjadinya kecepatan maksimum terlihat sama antara kedua grafik tersebut. Untuk titik separasi, terjadi perbedaan sekitar 5^0-15^0. Separasi lebih cepat terjadi pada susunan dengan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,16. Perbedaan yang juga terlihat yaitu pada nilai *base pressure*. Nilai *base pressure* untuk susunan *d/D* = 0,32 lebih tinggi daripada nilai *base pressure* susunan *d/D* = 0,16.

III.5 Profil Kecepatan pada *Re* 7,37 × 10^4

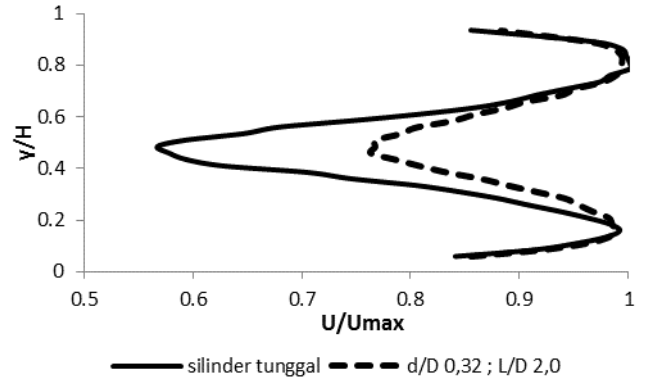
Profil kecepatan susunan silinder dengan nilai perbandingan tertinggi pada subbab III.1 ditampilkan pada gambar 7. Gambar 7(a) merupakan profil kecepatan silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 pada *L/D* 1,75. Sedangkan gambar 7(b) merupakan profil kecepatan silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 pada *L/D* 2,0.

Nilai *U/Uma*× silinder tunggal baik gambar 7(a) maupun gambar 7(b) pada dinding bawah (*y/H* = 0,01) sebesar 0,61 kemudian meningkat seiring makin tingginya jarak terhadap dinding bawah. Nilai *U/Uma*× tertinggi yaitu 1 terjadi pada *y/H* = 0,135. Setelah mencapai kecepatan maksimum, terjadi penurunan kecepatan hingga 0,57 pada *y/H* 0,48 dan meningkat lagi hingga *y/H* 0,81. Grafik terlihat hampir simetri antara dinding bawah ke *center line* dan dari *center line* ke dinding atas.

Adanya pengurangan nilai *U/Uma*× pada range 0,13 < *y/H* < 0,82 mengindikasikan *wake* yang terbentuk dibelakang susunan silinder. Pada gambar 4.11a, untuk profil kecepatan dibelakang susunan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16 memiliki trend yang sama dengan profil kecepatan silinder tunggal. Perbedaan terjadi pada nilai *U/Uma*× minimum, yaitu nilai *U/Uma*× minimum pada silinder tunggal lebih rendah daripada nilai *U/Uma*× minimum pada silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16. Hal ini menandakan bahwa defisit momentum susunan dengan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,16 lebih rendah dari defisit momentum silinder tunggal.



(a)



(b)

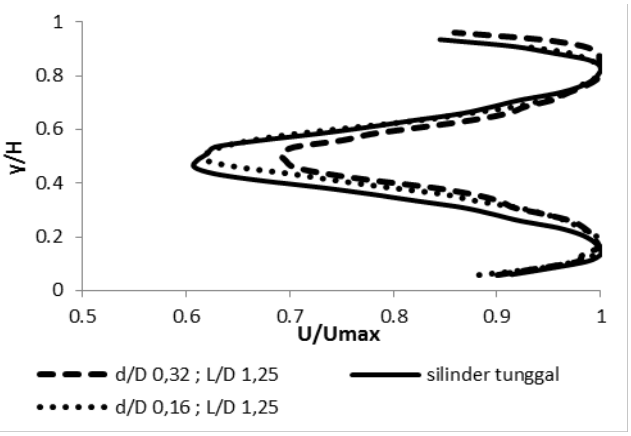
Gambar 7 Profil kecepatan dibelakang susunan silinder dengan pengganggu (a) *d/D* = 0,16 dan (b) *d/D* = 0,32 pada *Re* 7,37 × 10^4

Sedangkan gambar 7(b) merupakan profil kecepatan silinder tunggal dan susunan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 pada bilangan *Reynolds* 7,37 × 10^4. Range pengurangan kecepatan (U/Uma×) pada susunan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 juga terjadi pada 0,13 < *y/H* < 0,82. Nilai *U/Uma*× terendah yaitu 0,76, lebih tinggi daripada nilai *U/Umax* silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,16. Hal ini menunjukkan bahwa defisit momentum yang terjadi pada susunan silinder dengan pengganggu *d/D* = 0,32 lebih rendah dan mendekati nilai *U/Umax*.

III.6 Profil Kecepatan pada Re 1,07 × 10^5

Profil kecepatan pada *L/D* 1,25 untuk dua variasi *Upstream Disturbance Body (UDB)* ditunjukkan gambar 8. Pada gambar 8, terlihat nilai *U/Uma*× minimum dari silinder tunggal, silinder dengan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,16 dan silinder dengan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,32 pada bilangan *Reynolds* berturut-turut yaitu 0,6; 0,62; dan 0,69. Nilai *U/Uma*× minimum terjadi pada *y/H*

0,485. Sedangkan range terjadinya pengurangan kecepatan terjadi pada 0,135 < *y/H* < 0,35. Profil kecepatan ini menunjukkan besar defisit momentum yang terjadi. Pada susunan *d/D* = 0,32 tersirat bahwa defisit momentum aliran fluida paling rendah daripada susunan silinder tunggal dan *d/D* = 0,16. Defisit momentum yang rendah ini memberikan hipotesa bahwa nilai koefisien drag tekanan pada susunan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,32 juga rendah.



Gambar 8 Profil kecepatan dibelakang susunan silinder dengan pengganggu pada *Re* 1,07 × 10^5

III.7 Koefisien Drag Tekanan

Nilai distribusi koefisien tekanan diolah sehingga diperoleh nilai koefisien drag tekanan seperti yang ditunjukkan tabel 1. Nilai koefisien drag tekanan digunakan untuk mengetahui gaya hambat yang terjadi pada silinder utama. Dari tabel 1 dapat dilihat pada bilangan *Reynolds* 7,37 × 10^4 nilai koefisien drag tekanan tertinggi terjadi pada silinder tunggal. Penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,16 didaerah *upstream* dapat menurunkan nilai koefisien drag tekanan menjadi 0,83. Sedangkan penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,32 didaerah *upstream* dapat menurunkan nilai koefisien drag tekanan menjadi 0,55.

Tabel 1.
Nilai koefisien drag tekanan silinder

Re	Susunan	Cdp
7,37 × 10^4	Tunggal	1,04
	d/D = 0,16 ; L/D 1,75	0,83
	d/D = 0,32 ; L/D 2,0	0,55
1,07 × 10^5	Tunggal	1,11
	d/D = 0,16 ; L/D 1,25	0,93
	d/D = 0,32 ; L/D 1,25	0,64

Hal yang sama ditunjukkan pada bilangan *Reynolds* 1,07 × 10^5. Nilai koefisien tekanan silinder tunggal merupakan nilai yang tertinggi yaitu 1,11. Kemudian koefisien tekanan menurun dengan penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB)*. Nilai koefisien tekanan dengan penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,16 dan *d/D* = 0,32 berturut-turut yaitu 0,93 dan 0,64. Secara keseluruhan, penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB)* dapat mengurangi nilai koefisien drag tekanan. Pada bilangan *Reynolds* yang sama dan jarak *L/D* yang sama, penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB)* yang dapat menurunkan koefisien drag tekanan optimum yaitu dengan penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB) d/D* = 0,32. Hal ini sesuai dengan analisa profil kecepatan yang menunjukkan bahwa profil kecepatan dengan penambahan *Upstream Disturbance Body (UDB)* 0,32 memiliki defisit momentum yang rendah sehingga mengindikasikan nilai kofisien drag tekanan pada susunan ini juga rendah.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi diameter pengganggu dan jarak *UDB* terhadap silinder utama yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai *pressure drop* tertinggi terjadi pada susunan *L/D* 2 dengan variasi pengganggu *d/D* 0,32 pada setiap bilangan *Reynolds*. Peningkatan *pressure drop* pada susunan ini terhadap silinder tunggal yaitu berkisar 4 sampai 5 kali.
2. Nilai *pressure drop* terendah terjadi pada susunan *L/D* 1,25 dengan variasi pengganggu *d/D* 0,32 pada setiap bilangan *Reynolds*. Peningkatan *pressure drop* pada susunan ini terhadap silinder tunggal cukup rendah yaitu berkisar 1,2 kali.
3. Pada bilangan *Reynolds* 1,07 × 10^5 dan *L/D* 1,25, penambahan pengganggu *d/D* 0,32 dapat menurunkan koefisien drag sebesar 42%.
4. Penurunan koefisien drag tekanan sebesar 47% terjadi pada susunan dengan penambahan *UDB L/D* 2,0 dan *d/D* 0,32 pada bilangan *Reynolds* 7,37 × 10^4.
5. Susunan yang terbaik pada penelitian ini yaitu susunan dengan pengganggu *d/D* 0,32 pada bilangan *Reynolds* 1,07 × 10^5 dan jarak *L/D* 1,25 dimana nilai koefisien drag silinder utama turun 42%, dan peningkatan *pressure drop* tidak terlalu signifikan yaitu hanya sebesar 1-1,2 kali *pressure drop* silinder tunggal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Wawan Aries Widodo selaku dosen pembimbing penulis atas segala ilmu dan saran yang telah diberikan. Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada Bapak Sutardi, Bapak Nur Ikhwan dan Ibu Vivien Suphandani atas saran yang diberikan saat menjadi penguji pada seminar dan sidang Tugas Akhir penulis.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bearman, P.W., and Morel, T. 1983. *Effect of Free Stream Turbulence on the Flow around Bluff Bodies.* Prog. Aerospace 20, 97-123.

[2] Hariyanto, Pratista .2011. *Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Disturbance Body terhadap Karakteristik Aliran yang Melintasi Sebuah Silinder Sirkular yang Tersusun secara Tandem dalam Saluran Sempit Berpenampang Bujur Sangkar*. ITS.

[3] Lee, Sang-Joon., Sang-Ik Lee, Cheol-Woo Park. 2004. *Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod*. Fluid Dynamics Research 34, 233-250.
[4] Tsutsui, T., T. Igarashi. 2002. *Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream.* Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 90, 527-541.
[5] Weidman, P.D. 1968. Tesis: *Wake Transition and Blockage Effect on Cylinder base Pressure*. California Institute of Technology, Pasadena.