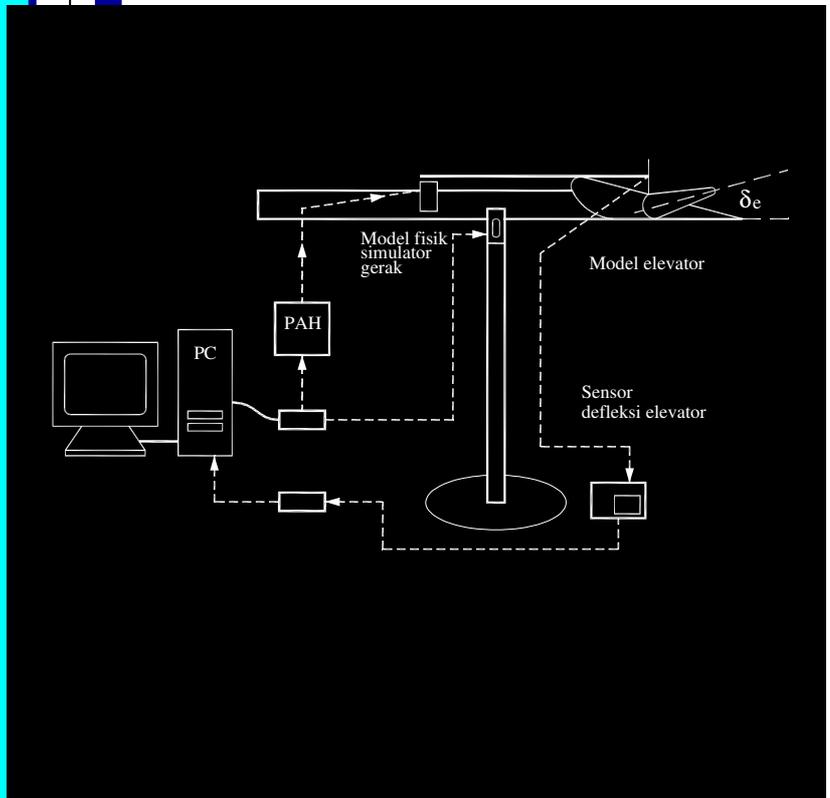


Jurnal Teknik Mesin  
Volume 22, No.1, April 2007

W  
E  
S  
E  
W



## EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua)  
A. Suwono  
D. Suharto  
K. Bagiasna  
S. D. Jenie  
S. S. Brodjonegoro  
Abdurrachim  
I. Nurhadi  
R. Suratman  
P. S. Darmanto

## MITRA BESTARI

Ign. P. Nurprasetio (ITB)  
I. S. Putra (ITB)  
A. I. Mahyuddin (ITB)  
Y. Yuwana M (ITB)  
Z. Abidin (ITB)  
P. Sutikno (ITB)  
T. Hardianto (ITB)  
T. A. F. Soelaiman (ITB)  
N. P. Tandian (ITB)  
S. Wiryolukito (ITB)  
A. Basuki (ITB)

## REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua)  
I M. Astina  
I. G. N. W. Puja  
Indrawanto  
W. Adriansyah  
A. Wibowo  
I N. Diasta

## ALAMAT REDAKSI

Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Bandung  
Jln. Ganesa 10, Bandung 40132  
Tel. :(022)-2504243  
Fax: (022)-2534099  
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id  
yadi@tu.ms.itb.ac.id

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun  
Bulan April dan Oktober.

## EDITORIAL

Makalah pertama pada Jurnal Mesin Volume 22 No. 1 ditulis oleh Bambang Widyanto dan Achmad Sambas dari Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung. Makalah ini membahas mengenai perlakuan panas (*solution treatment*) pada baja mangan austenitik. Proses perlakuan diberikan dengan mengoptimalkan temperatur pemanasan, dan waktu penahanan. Pemeriksaan terhadap hasil perlakuan dilakukan melalui pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan. Baja mangan hasil perlakuan ini mempunyai keuletan yang lebih tinggi dan tingkat ketahanan aus yang memadai.

Makalah kedua yang berjudul Optimasi Pelapisan Material Peredam Viskoelastik pada Struktur Pelat Elastik yang ditulis oleh I Wayan Suweca dan Mokhammad Nuriman Yusuf dari Fakultas Teknologi Industri ITB. Metode optimasi yang digunakan merupakan modifikasi dari algoritma SUMT (*Sequential Unconstrained Minimization Technique*). Dari hasil kajian diketahui bahwa distribusi optimum lapisan material viskoelastik pada material elastik sangat dipengaruhi oleh jenis tumpuan struktur dan jumlah modus getar yang dilibatkan dalam analisis.

Indra Herlamba Siregar dari Universitas Negeri Surabaya, dan Abdul Muis dari Politeknik Samarinda, menulis makalah ketiga yang berjudul Karakteristik Aerodinamis Dua Silider Teriris Type 1 yang Tersusun *Side by Side* pada Bilangan Reynolds Subkritis. Makalah ini berisi hasil-hasil pengamatan terhadap kondisi aliran fluida yang melintasi sepasang silinder teriris. Besaran-besaran yang dimati antara lain distribusi koefisien *drag*, dan distribusi koefisien tekanan.

Makalah keempat berjudul Kaji Numerik dan Eksperimental Penyerapan Energi Tabung Aluminium Bergalur dengan Beban Aksial ditulis oleh Bambang K. Hadi et al dari Kelompok Keahlian Struktur Ringan Fakultas Teknologi Industri ITB. Makalah ini berisi kajian kemungkinan penggunaan tabung aluminium bergalur sebagai komponen penyerap energi. Kajian dilakukan baik dengan menggunakan pendekatan analitis, numerik dengan dinamik eksplisit ABAQUS dan pengujian. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah galur semakin kecil beban peruntuhan rata-rata. Beban peruntuhan rata-rata hasil pengujian yang diperoleh selalu lebih besar dari hasil prediksi secara analitis maupun numerik.

Makalah terakhir berjudul Pembuatan dan Pengujian Sensor Ultrasonik Sebagai *Feedback* pada Sistem Kendali Otomatik *Pitch Attitude Hold* ditulis oleh U.M. Zaeny dari Fakultas Teknologi Industri ITB. Makalah ini membahas mengenai hasil-hasil uji coba penggunaan sensor jarak ultrasonik yang diusulkan untuk digunakan sebagai alternatif pengganti *static tube* yang biasa digunakan. Usulan penggantian ini dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa *static tube* tidak bekerja cukup akurat untuk wahana yang terbang hanya beberapa meter dari permukaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik dapat diandalkan sebagai sensor jarak.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

---

# MESIN

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 22, No. 1, April 2007

ISSN 0852-6095

---

Diterbitkan oleh : Program Studi Teknik Mesin,  
Fakultas Teknologi Industri - ITB

Surat ijin : STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

---

## DAFTAR ISI

*Pengaruh waktu austenitisasi pada proses pelarutan karbida baja mangan austenitik.*

**Bambang Widyanto dan Achmad Sambas**

**1-8**

*Optimasi pelapisan material peredam viskoelastik pada struktur pelat elastik*

**I Wayan Suweca dan Mokhamad Nuriman Yusuf**

**9-20**

*Karakteristik aerodinamis dua silinder teriris type 1 yang tersusun side by side pada bilangan Reynolds subkritis.*

**Indra Herlamba Siregar dan Abdul Muis**

**21-28**

*Kaji numerik dan eksperimental penyerapan energi tabung aluminium bergalur dengan beban aksial.*

**Bambang K. Hadi, Ichsan S. Putra, David Basuki dan Yanyan Tedy S.**

**29-34**

*Pembuatan dan pengujian sensor ultrasonik sebagai feedback pada sistem kendali otomatis pitch attitude hold.*

**U.M. Zaeny, T. Indriyanto dan H. Muhammad**

**35-43**

---

# M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

*Vol. 22, No. 1, April 2007*

ISSN 0856-6095

---

# KARAKTERISTIK AERODINAMIS DUA SILINDER TERIRIS TYPE 1 YANG TERSUSUN SIDE BY SIDE PADA BILANGAN REYNOLDS SUBKRITIS

Indra Herlamba Siregar <sup>(1)</sup>, Abdul Muis <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Kampus Ketintang Surabaya, 60117, Indonesia  
email : indra\_adsite2006@yahoo.com

<sup>(2)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Samarinda, Samarinda, Indonesia  
email : muis64@yahoo.com

## Ringkasan

Penelitian karakteristik aerodinamik aliran melalui sepasang silinder teriris tipe I yang tersusun secara side by side telah dilakukan di subsonic wind tunnel tipe terbuka pada jarak celah 1,1 sampai 4 dan sudut iris 45°, 53° dan 65°. Koefisien hambatan total terlihat semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jarak celah namun untuk sudut iris 65° ditemui fenomena yang berlawanan yaitu nilai koefisien hambatan total semakin bertambah seiring bertambah besarnya jarak celah. Fenomena bias flow terjadi pada jarak sempit dan moderate kemudian aliran cenderung simetris pada jarak yang lebar. Visualisasi juga dilakukan dengan metode asap untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap mengenai karakteristik aliran pada sepasang silinder teriris tipe I.

## Abstract

Experimental studies of aerodynamics characteristics of two cylinders type I in side by side configuration at sub-critical Reynolds number were carried out at open circuit of subsonic wind tunnel. Gap of side by side configuration T/D was varied from 1.1 to 4 and sliced angle both of frontage and behind cylinder at 45°, 53° and 65°. Total drag reduce since gap of cylinders increase for sliced angle 45° and 53° but increase for sliced angle 65°. Bias flow phenomenon showed at close and moderate gap of cylinders tend to symmetries at width gap. Visualization have done with smoke method to get more information about characteristics of two cylinders type I in side by side configuration

**Keywords :** Bias flow, Visualization, Cut cylinder type I, wind tunnel.

## 1. Pendahuluan

Pengetahuan karakteristik aliran di sekitar *bluff body* dalam konfigurasi yang sederhana adalah sangat membantu untuk memahami karakteristik aliran pada konfigurasi yang lebih kompleks. Silinder sirkular adalah salah satu *bluff body* yang sering digunakan dalam bidang rekayasa struktur, beberapa sirkular silinder sering juga digunakan dalam konfigurasi berkelompok seperti pada cerobong, struktur lepas pantai, *heat exchanger*, sistem pendingin untuk pembangkit tenaga nuklir.

Adanya susunan yang berkelompok seperti dua *body* diletakkan bersisian satu dengan yang lain atau *side by side*, menimbulkan fenomena yang menarik dan tidak terduga. Hal ini dikarenakan adanya interferensi gabungan dari aliran di sekeliling struktur silinder sirkular yang berkelompok seperti akibat separasi lapisan

batas dari silinder, interaksi dari *shear layer*, *formation* dan *shedding* dari *Von Karman Vortices*, dan *wake* yang terbentuk di belakang silinder [2,4,6,7,10].

Aiba dan Watanabe [1] telah melakukan penelitian mengenai karakteristik aliran pada sebuah *bluff body* yang terpotong dari suatu silinder sirkular pada sisi depan dan belakang (tipe I) dan hanya bagian depan saja (tipe D) dengan sudut pemotongan tertentu. Hasil publikasi melaporkan bahwa dengan adanya pemotongan tersebut, pada sudut tertentu ternyata akan mempercepat terjadinya transisi *laminar boundary layer* menjadi *turbulent boundary layer*, sehingga gaya hambat (*drag*) yang timbul akan menjadi lebih kecil. Untuk tipe I sudut pemotongan optimum terjadi pada sudut pemotongan 53° dengan harga koefisien drag mendekati 50% lebih kecil daripada sudut pengirisan 0° atau tanpa pengirisan.

Eksperimen yang dilakukan Amrun [3] dengan dua model silinder teriris di kedua sisi (silinder tipe I) tersebut tersusun secara *side by side* dengan bervariasi jarak antar silinder  $1,3 \leq T/D \leq 2,5$ ,  $Re$ , sudut iris ( $\theta_s$ ). Dari eksperimen ini diperoleh bahwa untuk  $\theta_s = 47^\circ$  ditemui percepatan yang paling besar terjadi pada  $T/D = 1,6$  untuk permukaan dalam (bagian celah) dan ditunjukkan dengan harga  $C_p$  yang paling besar nilai minusnya. Kemudian seiring dengan penambahan jarak celah percepatan berangsur-angsur menurun. Sedangkan untuk jarak celah yang terlalu kecil ( $T/D=1,3$ ) terjadi *blockage* yang mengurangi momentum aliran yang lewat celah.

Hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya untuk silinder sirkular teriris tipe I baik dalam silinder tunggal maupun pada susunan *side by side* menunjukkan fenomena aliran yang menarik terutama pada susunan *side by side* dimana peneli yang dilakukan oleh Amrun [3] pengukuran distribusi tekanan di permukaan silinder hanya pada satu silinder saja begitupula jarak variasi yang ditelitinya cukup sempit. Oleh karena itu penulis tertarik melanjutkan penelitian mengenai fenomena aliran yang melintasi sepasang silinder teriris tipe I yang tersusun secara *side by side* dengan rentang variasi jarak celah yang lebih lebar dan pengukuran distribusi tekanan di permukaan pada kedua silinder yang diujikan.

## 2. Metode Penelitian

Karakteristik aliran pada *body* yang terbenam dalam aliran diukur berdasarkan parameter-parameter berikut ini:

1. Koefisien tekanan ( $C_p$ ) yang diperoleh dari persamaan

$$C_p(\theta) = \frac{p(\theta) - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

dimana

$p_\infty$  = Tekanan freestream (pa)

$p(\theta)$  = Tekanan lokal (pa)

$\rho$  = Densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = Kecepatan *freestream* (m/s)

2. Koefisien Drag ( $C_D$ ) yang diperoleh dari persamaan

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

3. Koefisien Lift ( $C_L$ ) yang diperoleh dari persamaan

$$C_L = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \sin \theta d\theta$$

4. Koefisien Total ( $C_{Total}$ ) dari gaya aerodinamik

$$\text{dan arahnya } C_{Total} = \sqrt{C_D^2 + C_L^2}$$

$$\beta = \arctan \frac{C_L}{C_D}$$

Penelitian dilakukan pada terowongan angin tipe subsonic open circuit. Dimensi penampang uji panjang 1 m dan luas penampang  $0,4356 \text{ m}^2$  dengan *Aspect ratio* 1:11. bilangan Reynolds  $6,4 \times 10^4$  (berdasarkan diameter benda uji).

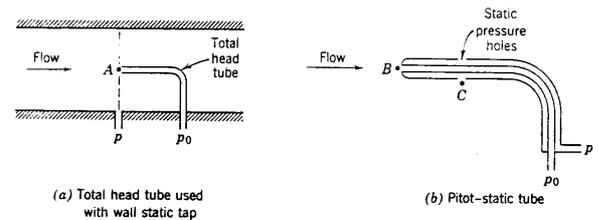


**Gambar 1.** Sketsa terowongan angin yang digunakan

Variabel yang akan diukur adalah tekanan ( $p$ ) yaitu tekanan statis ( $p_s$ ) dan tekanan stagnasi ( $p_o$ ) yang diukur pada permukaan benda uji dan tekanan stagnasi ( $p_o$ ) aliran *freestream* dengan menggunakan peralatan sebagai berikut:

### 1. Pitot Static tube

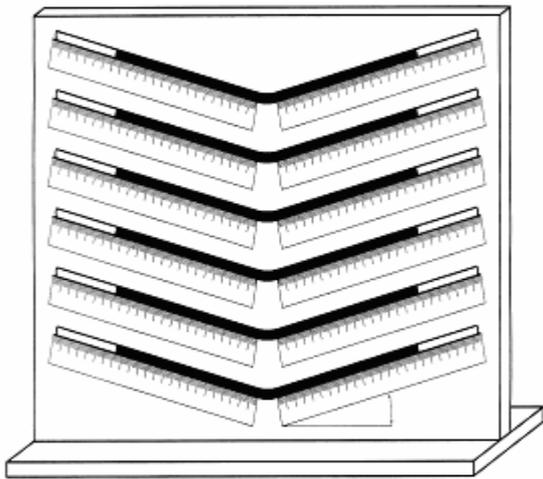
Alat ini digunakan untuk mengukur tekanan statis dan tekanan stagnasi pada penampang melintang di sepanjang saluran uji. Dari perbedaan harga kedua tekanan tersebut maka diperoleh harga dinamis. Harga tekanan dinamis ini digunakan untuk menentukan kecepatan aliran *freestream* dan profil kecepatan di belakang silinder *downstream* dalam saluran uji.



**Gambar 2.** Pengukuran tekanan stagnasi dan tekanan statis dalam saluran uji.

### 2. Manometer Tekanan

Manometer tekanan digunakan untuk mengukur tekanan *freestream*, tekanan statis kontur dan tekanan total (stagnasi) yang terjadi pada saat pengujian. Manometer tekanan ini didesain dengan kemiringan  $30^\circ$  dengan tujuan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi. Fluida yang digunakan dalam manometer ini adalah kerosine dengan *specific gravity* (SG) = 0,82

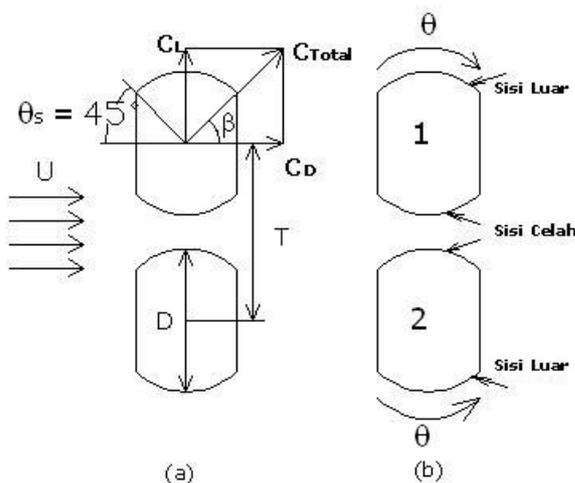


**Gambar 3.** Manometer tekanan dengan kemiringan  $30^\circ$ .

Adapun spesifikasi benda uji adalah silinder terpotong di kedua sisi (type-I) adalah:  
 Panjang (L) = 650 mm  
 Diameter (D) = 60 mm  
 Sudut iris ( $\theta_s$ ) =  $45^\circ$ ,  $53^\circ$  dan  $65^\circ$   
 Bahan = kayu  
 Pressure tap = pada sisi midspan silinder.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Sudut iris $45^\circ$

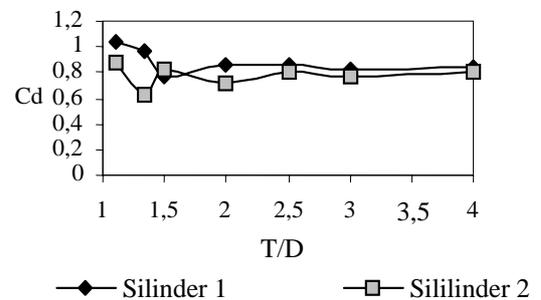


**Gambar 4.** (a) Konfigurasi side by side dari sepasang silinder teriris tipe I,  $\theta_s = 45^\circ$   
 (b) Arah pembacaan data tekanan di permukaan benda uji

Dari Gambar 4 (a) terlihat bahwa yang dimaksud dengan Sudut iris ( $\theta_s$ ) adalah setengah sudut pemotongan pada silinder, jadi untuk sudut iris  $45^\circ$  maka sudut pemotongannya sebesar  $90^\circ$  sedangkan pembacaan tekanan dari pressure tap terlihat pada gambar 4 (b), untuk silinder 1 sudut pembacaan tekanan ( $\theta$ ) dari  $0^\circ$

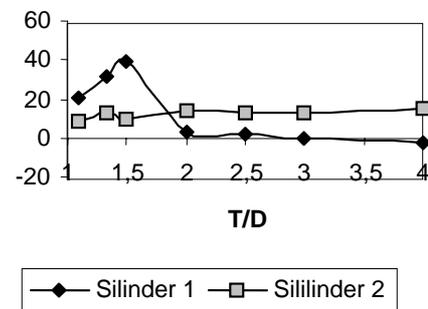
sampai dengan  $360^\circ$  mengikuti arah jarum jam sedangkan pada silinder 2 sebaliknya pembacaan tekanan ( $\theta$ ) dari  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$  berlawanan arah jarum jam. Pola pembacaan tekanan pada pressure tap berlaku untuk semua variasi T/D yang diujikan.

Penelitian sekarang ini dilakukan pada bilangan Reynolds  $6,4 \times 10^4$ . Fenomena *Bias flow* ditemui pada celah  $T/D < 3$ , hal ditandai dengan harga koefisien drag silinder atas dan silinder bawah berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 5. Arah bias ke silinder atas lihat Gambar 6, sehingga menyebabkan *wake* pada silinder atas lebih kecil daripada *wake* yang terbentuk pada silinder bawah, namun harga koefisien drag pada silinder atas lebih besar daripada silinder bawah hal ini disebabkan adanya *rolling position* dari *shear layer* dan kecepatan *wake* yang lebih tinggi kontribusi dari celah yang menyebabkan energi dari *wake* meningkat sehingga drag yang terjadi lebih besar [2].



**Gambar 5.** Distribusi koefisien drag untuk silinder teriris tipe I dengan  $\theta_s = 45^\circ$

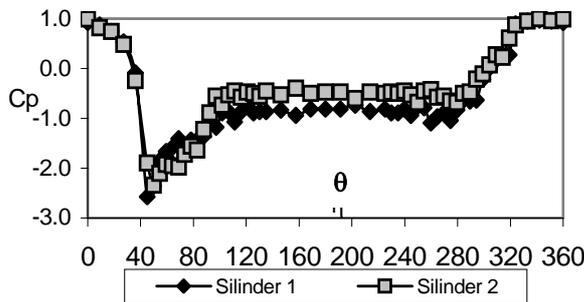
Seiring bertambahnya jarak celah maka fenomena bias menghilang, hal ini ditandai harga koefisien drag silinder 1 dan silinder 2 berimpit. Namun konfigurasi *side by side* masih berpengaruh terhadap karakteristik aliran, hal dapat terlihat dari Gambar 6 dimana arah koefisien totalnya ( $C_{total}$ ) *inward* (silinder 1 ke bawah sedangkan silinder 2 ke atas).



**Gambar 6.** Distribusi arah  $C_{Total}$  pada sepasang silinder teriris tipe I dengan  $\theta_s = 45^\circ$

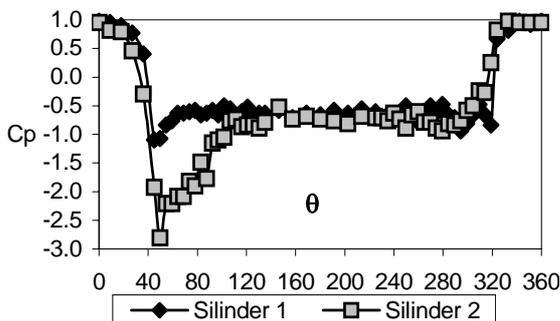
Pada jarak celah  $T/D = 1,1$  terlihat adanya efek *blokage* yang cukup kuat di celah sehingga aliran cenderung melintasi sisi luar yang ditandai dengan ditemui banyak daerah stagnasi di sisi celah.

Sedangkan pada sisi luarnya terlihat adanya percepatan yang cukup tajam yang ditandai oleh harga  $C_p$  yang lebih negatif daripada sisi celahnya lihat Gambar 7. Percepatan ini diduga karena *streamline-streamline* aliran pada daerah perubahan kontur datar ke kontur lengkung membentuk *streamtube* yang membentuk geometri nozzle. Pada jarak celah ini juga ditemui adanya fenomena *bubble separation* pada rentang  $50^\circ < \theta < 70^\circ$  yang ditandai adanya tekanan konstan. Fenomena *bubble separation* ini terjadi karena aliran yang meninggalkan permukaan datar (separasi) bertumbukkan dengan aliran bebas kemudian pulih kembali di permukaan lengkungnya dengan kondisi *boundary* layernya lebih turbulen daripada sebelumnya. Hal ini diduga karena momentum aliran sesaat meninggalkan permukaan datar lebih kecil daripada momentum aliran bebas.



**Gambar 7.** Distribusi koefisien tekanan sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 45^\circ$  dan  $T/D = 1,1$

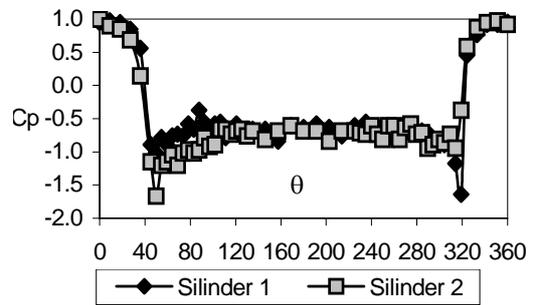
Karakteristik aliran pada jarak celah  $1,1 < T/D < 3$  hampir sama dengan karakteristik aliran pada jarak celah  $T/D = 1,1$ . Namun pada jarak celah sekarang aliran yang melintasi silinder 1 cenderung simetris hal ini terlihat dari arah koefisien *drag* totalnya yang mendekati nol (Gambar 6) dan distribusi koefisien tekanan dipermukaan silinder 1 yang hampir simetris lihat Gambar 8.



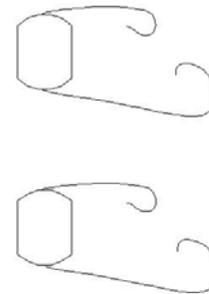
**Gambar 8.** Distribusi koefisien tekanan sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 45^\circ$  dan  $T/D = 2$

Pada jarak celah  $T/D > 3$  dimana jarak celah semakin lebar maka pengaruh *blokage* semakin melemah sehingga aliran cenderung mengalir kecelah. Namun pada celah sekarang adanya fenomena aliran mengalami percepatan disisi celahnya di permukaan silinder 1,

sebaliknya pada permukaan silinder 2 percepatan terjadi di sisi luarnya. Hal ini di duga karena *vortex street* dari sepasang silinder tipe I pada jarak sekarang dalam konfigurasi *In-phase* seperti terlihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

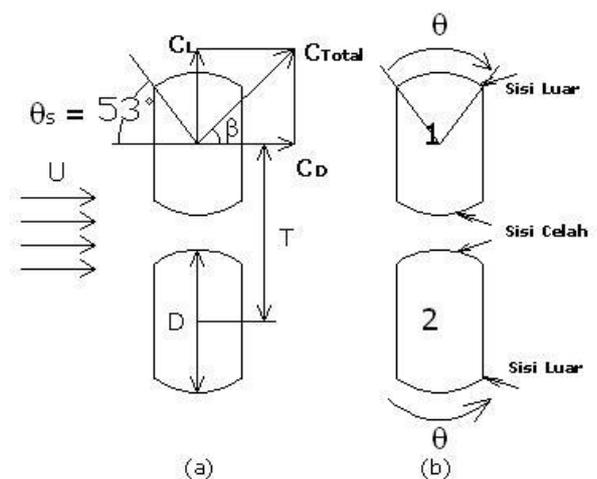


**Gambar 9.** Distribusi koefisien tekanan sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 45^\circ$  dan  $T/D = 4$



**Gambar 10.** Sketsa sinkronisasi *In-phase vortex shedding* pada jarak celah lebar

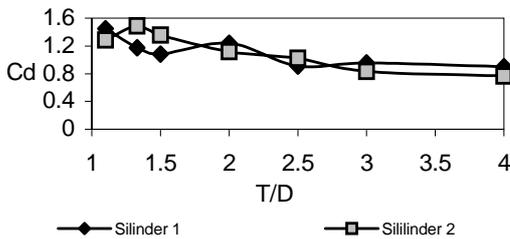
**Sudut iris  $53^\circ$**



**Gambar 11.** (a) Konfigurasi *side by side* dari sepasang silinder teriris tipe I,  $\theta_s = 53^\circ$  (b) Arah pembacaan data tekanan dipermukaan benda uji

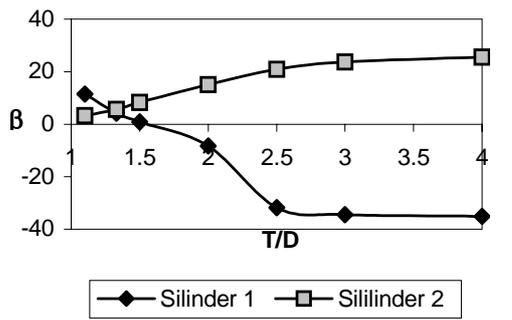
Dari Gambar 11 (a) terlihat bahwa yang dimaksud dengan Sudut iris ( $\theta_s$ ) adalah setengah sudut pemotongan pada silinder, jadi untuk sudut iris  $53^\circ$  maka sudut pemotongannya sebesar  $106^\circ$  sedangkan pembacaan tekanan *pressure tap*, untuk silinder 1 sudut pembacaan tekanan ( $\theta$ ) dari  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$  mengikuti arah jarum jam sedangkan pada silinder 2 sebaliknya pembacaan tekanan ( $\theta$ ) dari  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$  berlawanan arah jarum jam. Pola pembacaan tekanan pada *pressure tap* berlaku untuk semua variasi T/D yang diujikan lihat gambar 11 (b).

Untuk sudut iris  $53^\circ$  terlihat bahwa fenomena *bias flow* terlihat jelas pada  $1,1 < T/D < 2$  kemudian cenderung menghilang seiring bertambahnya jarak celah lihat Gambar 12.



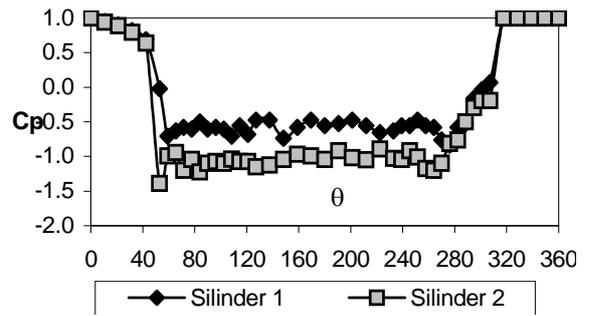
**Gambar 12.** Distribusi koefisien drag untuk silinder teriris tipe I dengan  $\theta_s = 53^\circ$

Dari Gambar 13 terlihat bahwa pada sudut iris  $53^\circ$  terlihat arah koefisien *drag* totalnya ( $C_{total}$ ) cenderung inward (silinder 1 ke bawah sedangkan silinder 2 ke atas) pada  $T/D > 1,5$ . Hal ini diduga menyebabkan terjadinya percepatan di sisi celah pada pada jarak ini, sehingga aliran pada permukaan silinder tipe I di sisi celah lebih turbulen yang menyebabkan drag yang terbentuk lebih kecil.



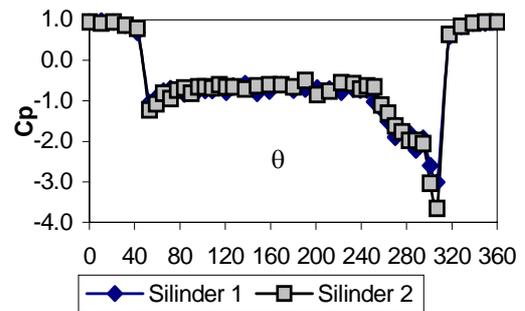
**Gambar 13.** Distribusi arah  $C_{Total}$  pada sepasang silinder teriris tipe I dengan  $\theta_s = 53^\circ$

Dari hasil penelitian untuk sudut iris  $53^\circ$  karakteristik aliran berdasarkan pola distribusi tekanan dipermukaan benda uji terbagi menjadi dua pola aliran dimana untuk aliran  $T/D < 2$  ditemui fenomena *bias flow* yang ditandai dengan harga koefisien tekanan di daerah wake yang berbeda [7]. Pada jarak ini efek *blokage* lebih lemah daripada sudut iris  $45^\circ$  sehingga aliran yang melintasi frontal silinder uji terbagi seimbang di dua sisi seperti ditunjuk pada Gambar 14.

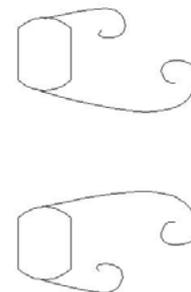


**Gambar 14.** Distribusi koefisien tekanan sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 53^\circ$  dan  $T/D = 1,5$

Sedangkan untuk jarak celah  $T/D \geq 2$  aliran banyak melintasi daerah celah yang ditandai dengan harga  $C_p$  lebih negatif di sisi celahnya daripada sisi luarnya Hal ini diduga bentuk sinkronisasi *vortex shedding* membentuk *antiphase* lihat Gambar 15 dan Gambar 16. Selain itu ditemuinya titik stagnasi yang lebih dari satu di kedua sisi silinder I.



**Gambar 15.** Distribusi koefisien tekanan sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 53^\circ$  dan  $T/D = 4$ .

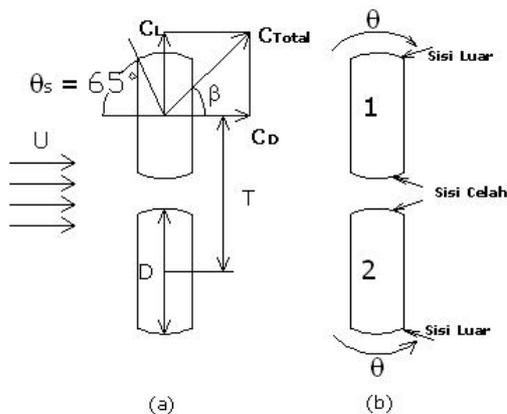


**Gambar 16.** Sketsa sinkronisasi *anti-phase vortex shedding* pada jarak celah lebar

### Sudut iris 65

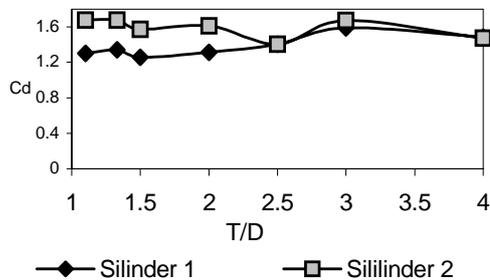
Dari Gambar 17 (a) terlihat bahwa yang dimaksud dengan sudut iris ( $\theta_s$ ) adalah setengah sudut pemotongan pada silinder, jadi untuk sudut iris  $65^\circ$  maka sudut pemotongannya sebesar  $130^\circ$  sedangkan pembacaan tekanan *pressure tap*, untuk silinder 1 sudut pembacaan

tekanan ( $\theta$ ) dari  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$  mengikuti arah jarum jam sedangkan pada silinder 2 sebaliknya pembacaan tekanan ( $\theta$ ) dari  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$  berlawanan arah jarum jam. Pola pembacaan tekanan pada *pressure tap* berlaku untuk semua variasi T/D yang diujikan lihat Gambar 17 (b).

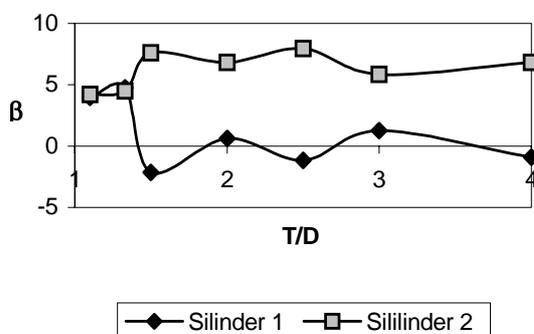


**Gambar 17.** (a) Konfigurasi *side by side* dari sepasang silinder teriris tipe I,  $\theta_s = 65^\circ$   
(b) Arah pembacaan data tekanan dipermukaan benda uji

Pada sudut iris  $65^\circ$  terlihat bahwa fenomena *bias flow* terlihat jelas pada  $T/D < 2,5$ , kemudian fenomena tersebut menghilang seiring bertambahnya jarak celah lihat Gambar 18. Sedangkan arah koefisien *drag* totalnya ( $C_{total}$ ) cenderung berubah-ubah dari ke arah atas baik silinder 1 maupun silinder 2, kemudian inward lihat gambar 19.

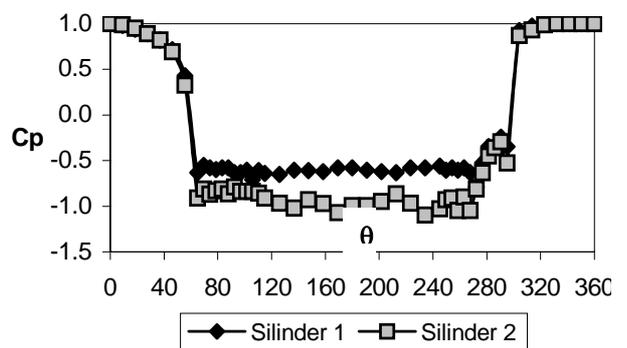


**Gambar 18.** Distribusi koefisien *drag* untuk silinder teriris tipe I dengan  $\theta_s = 65^\circ$



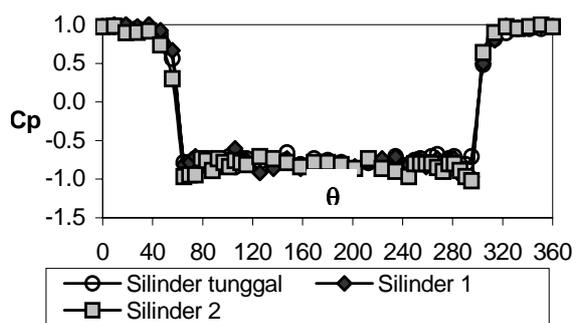
**Gambar 19.** Distribusi arah  $C_{Total}$  pada sepasang silinder teriris tipe I dengan  $\theta_s = 65^\circ$

Seiring bertambah besarnya irisan pada celah sempit, maka aliran di sisi luar silinder ketika aliran meninggalkan permukaan irisan langsung terseparasi, hal ini diduga semakin besar irisan maka momentum alirannya semakin besar pula sehingga ketika aliran lepas dari permukaan irisan memasuki daerah sirkularnya langsung terseparasi disebabkan momentum aliran dari daerah irisan lebih besar daripada momentum aliran bebas. Fenomena ini diindikasikan dengan pola distribusi tekanan dipermukaan silinder yang konstan yaitu pada daerah  $\theta > 60^\circ$ . Sedangkan di sisi celah akibat adanya fenomena *bias flow* dimana wake silinder 1 lebih besar daripada silinder 2 menyebabkan aliran yang lepas dari silinder 2 kembali pulih di permukaan celah silinder 2 sebelum terjadi separasi *massive*, hal ini ditandai dengan adanya fenomena *bubble separation*  $290^\circ < \theta < 30^\circ$  lihat Gambar 20.



**Gambar 20.** Distribusi koefisien tekanan sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 65^\circ$  dan  $T/D = 1,1$ .

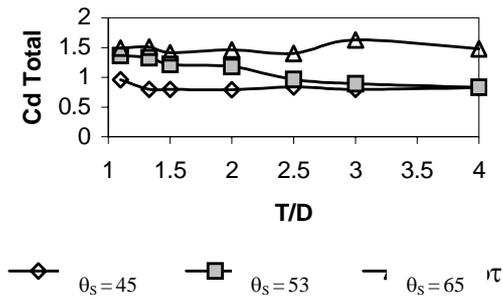
Sedangkan pada jarak celah yang lebar fenomena aliran menuju fenomena aliran yang melintasi silinder tunggal tipe I terutama pada celah  $T/D = 4$  lihat Gambar 21.



**Gambar 21.** Distribusi koefisien tekanan sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 65^\circ$  dan  $T/D = 4$

### Koefisien drag total

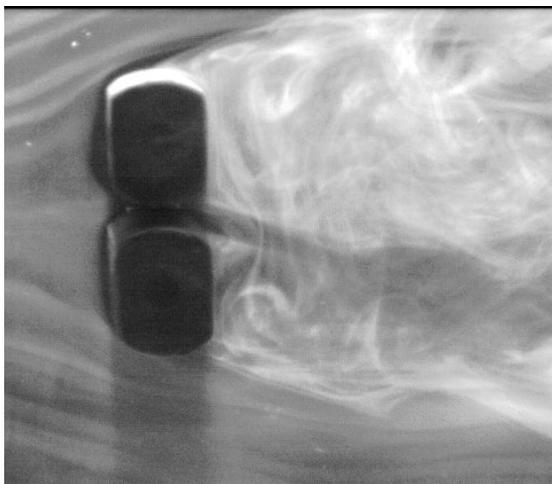
Sayers [8] telah mendefinisikan total *drag* sebagai nilai rata-rata dari drag masing-masing silinder. Dari gambar 22 terlihat bahwa total *drag* semakin besar seiring bertambah besarnya irisan. Begitupula pengaruh jarak celah semakin besar jarak celah total drag semakin turun kecuali pada sudut iris  $65^\circ$  total *drag* relatif sama untuk semua jarak celah.



**Gambar 22.** Distribusi koefisien total *drag* untuk silinder teriris tipe I untuk semua sudut iris.

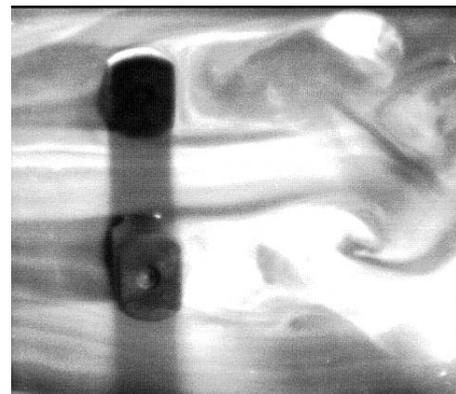
### Visualisasi

Pada Gambar 23 untuk celah  $T/D = 1,1$  terlihat pada celah sempit pengaruh efek *blokage* yang kuat, namun dengan adanya celah dapat memberikan ruang bagi aliran masuk di daerah *downstream* dari pasangan silinder yang menyebabkan *streamwise* dan bentuk *vortex* lebih panjang di daerah wake daripada dua silinder yang kontak satu sama lainnya. Biasanya lebarnya *wake* yang terbentuk tergantung dari seberapa besar aliran terdefleksi pada saat memasuki daerah celah sempit [7]. Pada celah ini pola aliran hampir sama dengan pola aliran silinder teriris tipe I tunggal, sehingga terlihat dari Gambar 22 untuk sudut iris  $65^\circ$  pada celah ini total *drag*nya paling besar.



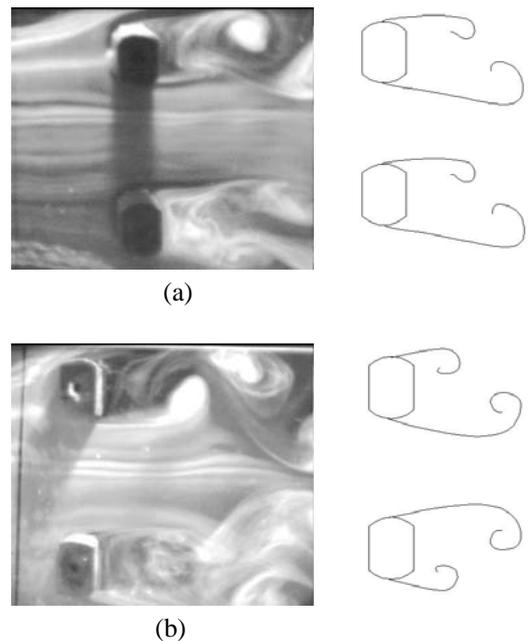
**Gambar 23.** Visualisasi aliran melintasi sepasang silinder teriris tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 65^\circ$ ,  $T/D = 1,1$  dan  $Re = 1500$ .

Seiring bertambahnya jarak celah maka efek *blokage* yang terjadi semakin lemah sehingga banyak aliran yang melintasi sisi celah, namun pada celah ini masih terlihat fenomena *bias flow* dengan defleksi yang kecil seperti terlihat pada Gambar 24.



**Gambar 24.** Visualisasi aliran melintasi sepasang silinder tipe I pada susunan *side by side* dengan  $\theta_s = 65^\circ$ ,  $T/D = 2$  dan  $Re = 1500$ .

Pada jarak celah yang lebar konfigurasi *side by side* berpengaruh terhadap pola aliran yang melintasi sepasang silinder teriris tipe I dimana *sheeding vortex* bersinkronisasi dalam pola aliran *in phase* untuk sudut iris  $45^\circ$  dan *antiphase* untuk sudut iris  $53^\circ$  seperti terlihat pada Gambar 25. Sedangkan sudut iris  $65^\circ$  pada jarak celah lebar pola alirannya masing-masing silinder seperti silinder tunggal sudut iris  $65^\circ$ .



**Gambar 25.** Visualisasi dan skets pola aliran yang melintasi sepasang silinder teriris tipe I pada susunan *side by side* pada  $T/D = 4$  dan  $Re = 1500$  (a)  $\theta_s = 45^\circ$  (b)  $\theta_s = 53^\circ$

### KESIMPULAN

Dari hasil Pengujian pada silinder teriris tipe I pada aliran subkritis dengan susunan *side by side* terlihat bahwa semakin besarnya sudut pengirisan maka total drag yang dihasilkan semakin besar. Sebaliknya semakin besar jarak celah total drag yang dihasilkan umumnya semakin kecil. Pada celah sempit ditemui fenomena *bias flow* pada semua sudut pengirisan yang diujikan.

Sedangkan pada celah lebar pengaruh konfigurasi *side by side* masih terlihat kecuali pada sudut iris  $65^\circ$ . Untuk sudut iris  $45^\circ$  pada celah lebar bentuk sinkronisasi *vortex sheddingnya in-phase* sedangkan pada sudut iris  $53^\circ$  sinkronisasi *vortex shedding* anti-phase.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. S. Aiba dan H. Watanabe, Flow Characteristics of Bluff Body Cut From a Circular Cilinder. *ASME Journal of Fluid Engineering*, 119, 453-454, 1997.
2. M.M. Alam, M. Moriya dan H. Sakamoto, Aerodynamics Characteristics of Two Side by Side Circular Cylinders and Aplication of Wavelet Analysis on the Switching Phenomenon, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 18, 325-346, 2003.
3. R. Amrun, *Studi eksperimental karakteristik Aliran melintasi Dua Sirkular Silinder Tegak Teriris di Kedua Sisi Yang Tersusun secara Transversal*, Tugas Akhir ITS, Surabaya 2002
4. P. W. Bearman dan A.J. Wadcock. The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream, *Journal of Fluid Mechanics*, 61, 499-511. 1973
5. A.T. Sayers, Flow Interference Between Four Equispaced Cylinders When Subjected to a Cross S Flow, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 31, 9-28, 1998.
6. D. Sumner, S. Wong, S.J. Price dan M.P. Paidoussis, Two and three side-by-side circular cylinders in steady cross-fow, *Proceedings of the 16th Canadian Congress of Applied Mechanics*, 1, pp. 273-274, 1997
7. D. Sumner, S. Wong, S.J. Price dan M.P. Paidoussis, Fluid Behavior of Side-by- Side Circular Cylinder in Steady Cross – Flow, *Journal of Fluids and Structures*, 13, 309-338, 1999
8. A.T. Sayers, Flow Interference Between Four Equispaced Cylinders When Subjected to a Cross S Flow, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 31, 9-28, 1988
9. C.H.K. Williamson, Evolution of a single wake behind a pair of bluff bodies, *Journal of Fluid Mechanics*, 159, 1-18, 1985
10. M. M. Zdravkovich dan D.L. Priden, Interference between Two Cylinders Series of Unexpected Discontinuities, *J. Wing Eng. and Ind. Aerodynamics*, 2, 255-270, 1997.