

PENENTUAN BILANGAN REYNOLDS DAN JARAK MELINTANG DUA PENGHALANG SEGITIGA TERHADAP POLA DAN OSILASI ALIRAN DENGAN MENGGUNAKAN ALIRAN LAMINAR

Muh. Tekad¹⁾

Abstrak : Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh bilangan Reynolds dan perubahan jarak melintang antar penghalang segitiga terhadap pola dan osilasi aliran yang terjadi di belakang penghalang. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen pada saluran tertutup berpenampang segiempat, diberi dua penghalang berbentuk segitiga yang ditempatkan melintang terhadap aliran laminar. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur fluktuasi tegangan *vortex* yang diolah dengan menggunakan program VFFT dan secara visual dengan menggunakan kamera digital. Pengukuran dilakukan dengan variasi bilangan Reynolds 60, 120, 180, 240, 300, dan variasi jarak penghalang (Y/d) = 0,5; 1; 1,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Reynolds, bilangan Strouhal (*Str*) semakin meningkat. Bilangan *Str* mencapai nilai maksimum untuk jarak penghalang $Y/d = 0,5$ pada posisi sensor 10 mm dan 5 mm dari sumbu *channel*, untuk jarak $Y/d = 1$ pada posisi sensor 15 mm dan 5 mm, dan untuk jarak $Y/d = 1,5$ pada posisi sensor 20 mm dan 5 mm. Perubahan jarak antarpenghalang segitiga akan mempengaruhi pola dan osilasi aliran di belakang penghalang. Pada jarak $Y/d = 1,5$ terbentuk pola aliran yang berlawanan dan pada jarak $Y/d = 1$ terbentuk pola aliran transisi, sedangkan pada jarak $Y/d = 0,5$ terbentuk pola aliran yang searah.

Kata kunci: Bilangan Reynolds, Pola Aliran, Aliran Laminar, Penghalang Segitiga.

I. PENDAHULUAN

Apabila fluida mengalir melalui suatu penghalang, akan terjadi lapisan batas pada bagian kiri-kanan permukaan benda tersebut. Akibatnya, akan terjadi fluktuasi kecepatan yang mendorong terbentuknya *vortex* ke arah hilir dan akan membentuk pola aliran tertentu bergantung pada formasi letak dan jumlah penghalang serta parameter non dimensional, yaitu bilangan Reynolds (Gergova, 2002).

Pada beberapa sistem yang stabil dihindari terjadinya *vortex*, namun proses-proses tertentu seperti pada alat penukar kalor, komponen pendingin elektronik, pencampuran fluida, terjadinya *vortex* membawa efek yang menguntungkan karena dapat menghemat penggunaan energi dan mengurangi biaya produksi.

Vortex dapat terbentuk jika terdapat perbedaan tekanan yang disebabkan oleh perbedaan kecepatan antarlapisan fluida yang berdekatan, sehingga fluida tersebut mengalami torsi dan kemudian berputar. Aliran *vortex* adalah aliran melingkar di

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

sekeliling sebuah titik pusat. Partikel-partikel fluida pada aliran *vortex* adalah partikel irrotasional. Artinya, partikel tidak berputar ketika bergerak di dalam lingkaran-lingkaran sepusat terhadap sumbu *vortex* (Welty et al., 2000).

Dampak menguntungkan dari pembangkitan *vortex* ini akan maksimal jika jarak antarpenghalang di dalam saluran baik secara *longitudinal* (memanjang) maupun *transversal* (melintang) optimal (Valencia, A. 2000).

Jika ada lebih dari satu penghalang yang diletakkan pada aliran secara berjajar (*side by side*), maka pola aliran dan parameter *vortex-shedding* yang terjadi akan sangat berbeda dengan menggunakan satu penghalang. Hal ini terjadi karena aliran *vortex* bercampur sangat kompleks, bergantung pada jarak antarpenghalang (Hayashi et al., 1986). Demikian pula peningkatan bilangan Reynolds, mengakibatkan pola aliran *vortex* semakin dekat di belakang penghalang dan kontinyu, (Sahin dan Owens, 2004).

Penelitian tentang usaha-usaha pembangkitan *vortex* terus dilakukan, khusus penggunaan panghalang, baik secara eksperimental, numerik, maupun teoritis. Zdravkovich (1977) meneliti pencampuran aliran di antara dua silinder yang ditempatkan secara beragam dengan variasi jarak antarsilinder dan bilangan Reynolds. Kesimpulannya ialah jika jarak pisahnya semakin kecil, arus yang mengalir melalui dua silinder akan dibelokkan ke satu sisi atau dibelokkan secara seimbang ke kedua sisinya.

Suzuki et al. (1993) yang meneliti aliran laminar di dalam saluran yang melewati penghalang segiempat dengan variasi dimensi penghalang (d/H), menjelaskan bahwa aliran laminar di dalam saluran yang melewati penghalang menyebabkan gerakan silang aliran *vortex* pada setiap bilangan Reynolds (Re) dan menimbulkan ketidakstabilan aliran. Spektrum frekuensi osilasi sangat bergantung pada fluktuasi kecepatan dan variasi dimensi (d/H) yang akan berpengaruh terhadap bilangan Strouhal.

Penelitian pada aliran laminar yang melewati dua penghalang segi empat yang dipasang sejajar (G/d) dilakukan Valencia (2000). Hasil penelitian menunjukkan semakin besar G/d , nilai koefisien drag menurun dan frekuensi osilasi aliran meningkat.

Penelitian-penelitian di atas menunjukkan bahwa masih sedikit perhatian yang diberikan untuk penghalang yang berbentuk segitiga. Berdasarkan pemikiran dan uraian di atas, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh bilangan Reynolds dan perubahan jarak melintang antarpenghalang terhadap pola dan osilasi aliran di belakang penghalang segitiga. Penelitian ini akan dilakukan pada saluran tertutup berpenampang segi empat yang diberi dua penghalang segi tiga, yang ditempatkan saling berjajar/melintang terhadap aliran laminar.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Peralatan uji pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1, yaitu sebuah saluran dengan dimensi panjang ($L = 500$ mm), lebar ($W = 80$ mm), dan tinggi ($H = 17$ mm). Katup air yang masuk dan keluar dari saluran uji dapat diatur sedemikian rupa untuk memvariasikan kapasitas/debit air (Q). Dengan demikian bilangan Reynolds (Re) dapat divariasikan, dengan menggunakan rumus:

$$Re = \frac{V_{\infty} \cdot Dh}{\nu} \quad (1)$$

dengan:

$$Dh = \text{diameter hidrolis penghalang (m)}$$

$$= \frac{4 \cdot A (\text{luas penampang penghalang})}{\text{keliling penghalang}}$$

$$V_{\infty} = \text{kecepatan aliran bebas (m/s)}$$

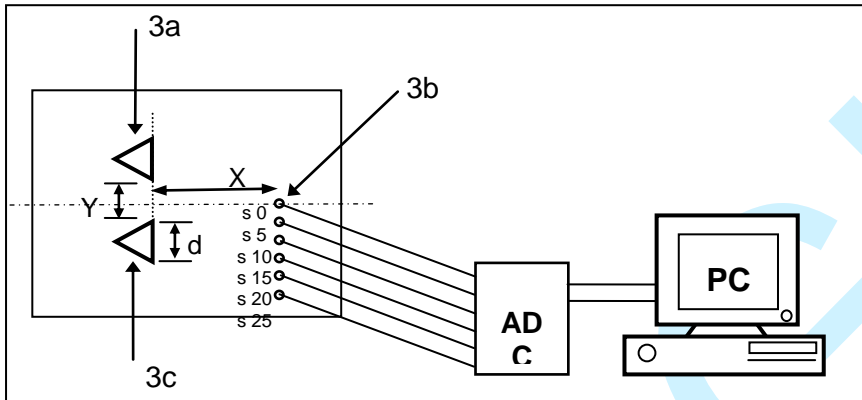
$$\nu = \text{viskositas kinematik (m}^2\text{/s)}$$

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimen. Variabel bebasnya adalah bilangan Reynolds (Re) dan jarak melintang antar penghalang (Y/d). Variabel terikatnya adalah frekuensi osilasi aliran, yaitu bilangan Strouhal (Str).

Metode pengambilan data terdiri atas dua langkah yaitu dengan cara visual dan dengan cara pengukuran

Metode pengambilan data secara visual, berupa data gambar yang dapat merekam pola aliran air setelah melewati penghalang dengan menggunakan kamera digital. Metode ini dilakukan sebagai langkah awal untuk menentukan jarak dan jumlah sensor yang digunakan.

Metode pengambilan data secara pengukuran, dengan menggunakan ADC yang terhubung dengan komputer, data yang diambil berupa fluktuasi tegangan direkam oleh komputer (gambar 1). Pengambilan data dilakukan setelah aliran pada jaringan mengalir selama kurang lebih 15 menit, setelah aliran *steady*. Pengukuran dilakukan dengan variasi bilangan Re yaitu: 60, 120, 180, 240, dan 300, serta variasi jarak antar penghalang (Y/d) yaitu: 0,5; 1; dan 1,5.



Gambar 1. Skema Seksi Uji

Keterangan :

3a = Penghalang 1

3b = sensor tegangan

3c = penghalang 2

ADC = Analog to Digital Converter

PC = Unit computer

X = Variasi jarak antara penghalang dan sensor

Y = Variasi jarak antar penghalang

d = sisi penghalang = 1 cm

s 0 = posisi sensor 0 mm dari sumbu *channel*

s 5 = posisi sensor 5 mm dari sumbu *channel*

s 10 = posisi sensor 10 mm dari sumbu *channel*

s 15 = posisi sensor 15 mm dari sumbu *channel*

s 20 = posisi sensor 20 mm dari sumbu *channel*

s 25 = posisi sensor 25 mm dari sumbu *channel*

Data fluktuasi tegangan yang direkam oleh komputer selanjutnya dianalisis dengan menggunakan *software* VFFT. *Software* VFFT ini digunakan untuk mengolah data teks sehingga diperoleh grafik hubungan power spektrum dengan frekuensi. Untuk mengatur tampilan dan mencetak grafik, data teks pada program VFFT dikonversikan ke dalam *Microsoft Excel Worksheet*. Untuk mendapatkan nilai frekuensi *vortex*, yaitu bilangan *Strouhal* (*Str*), data frekuensi (Hz) tersebut diolah dengan persamaan:

$$Str = \frac{f \cdot Dh}{V_{\infty}} \quad (\text{Potter, 1997}) \quad (2)$$

dengan f adalah frekuensi osilasi aliran (Hz)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai frekuensi (Hz) yang diperoleh dari grafik power spectrum disajikan pada tabel berikut.

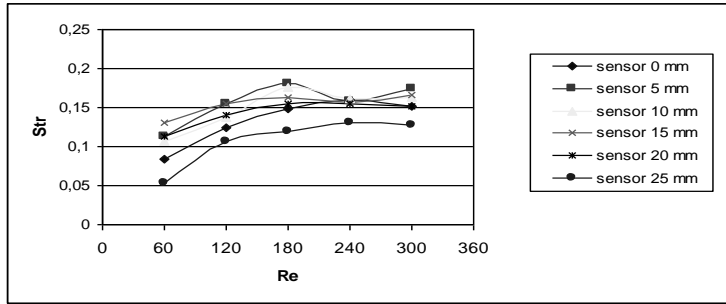
Tabel 1. Nilai Frekuensi (f) Menurut Variasi Jarak antar Penghalang (Y/d)

Re	jarak antar penghalang Y = 0,5d					
	s 0	s 5	s 10	s 15	s 20	s 25
60	0,14	0,19	0,18	0,22	0,19	0,09
120	0,42	0,52	0,46	0,52	0,47	0,36
180	0,75	0,91	0,89	0,82	0,78	0,6
240	1,07	1,06	1,09	1,05	1,04	0,88
300	1,28	1,47	1,37	1,4	1,27	1,07
Re	jarak antar penghalang Y = 1d					
	s 0	s 5	s 10	s 15	s 20	s 25
60	0,18	0,21	0,2	0,26	0,24	0,19
120	0,42	0,59	0,52	0,59	0,55	0,4
180	0,8	0,97	0,92	0,94	0,85	0,69
240	1,11	1,13	1,19	1,11	1,25	1
300	1,39	1,59	1,39	1,34	1,4	1,28
Re	jarak antar penghalang Y = 1,5d					
	s 0	s 5	s 10	s 15	s 20	s 25
60	0,21	0,25	0,24	0,27	0,26	0,2
120	0,51	0,61	0,58	0,58	0,55	0,44
180	0,85	1	0,9	0,87	1,02	0,76
240	1,15	1,37	1,21	1,3	1,32	0,94
300	1,45	1,72	1,41	1,52	1,7	1,28

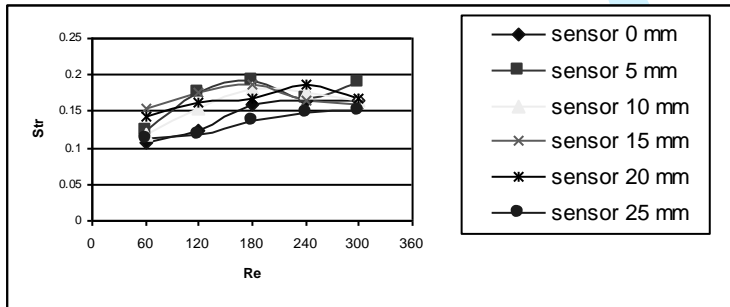
Sumber: Hasil pengukuran (data diolah).

a. Pengaruh bilangan Reynolds terhadap frekuensi vortex

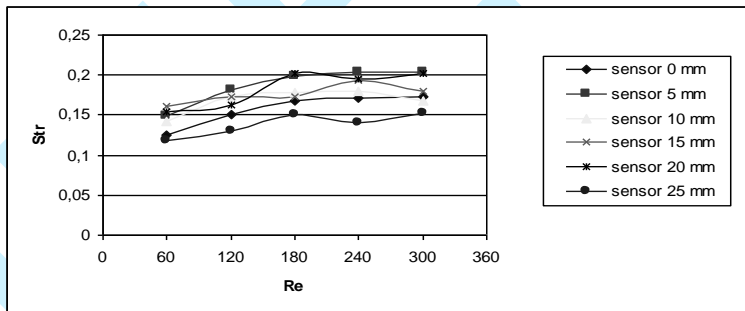
Nilai frekuensi yang ditunjukkan pada tabel 1 diubah menjadi bilangan Str dengan menggunakan persamaan (2), kemudian diolah menjadi grafik untuk proses analisis.



Gambar 2. Grafik hubungan Str Vs Re dengan $Y=0,5d$



Gambar 3. Grafik hubungan Str Vs Re dengan $Y=1 d$



Gambar 4. Grafik hubungan Str Vs Re dengan $Y=1,5d$

Pada gambar 2 hingga 4 terlihat bahwa bilangan Str meningkat dengan meningkatnya bilangan Re. Hal ini dapat terjadi karena aliran yang melewati penghalang akan mengalami ketidakstabilan, menyebabkan terjadinya osilasi aliran secara periodik ke arah hilir, ketidakstabilan diperkuat dengan meningkatnya aliran kecepatan, sehingga frekuensi osilasi juga meningkat yang menunjukkan *vortex* (Str) semakin kuat.

Pada gambar 2 dengan $Y = 0,5d$ terlihat bahwa bilangan Str yang paling tinggi terjadi pada posisi sensor 10 mm dan 5 mm dari sumbu *channel*. Hal ini terjadi karena pada posisi sensor tersebut terletak di belakang sudut penghalang segitiga,

ketidakstabilan arus yang mengakibatkan terbentuknya serangkaian pusaran transversal (*vortex*) terjadi di belakang sudut penghalang (Amon et al., 1996). Pada daerah ini karena osilasi yang terjadi terus-menerus, nilai frekuensinya akan mendekati nilai *Tollmien-Schlichting*, yaitu aliran yang berosilasi sebagai akibat resonansi yang terjadi pada frekuensi naturalnya. Keadaan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan fluktuasi kecepatan dan energi kinetik osilasi aliran belum mendapat perlawanan dari gaya *viscous*, sehingga peningkatan ketidakstabilan aliran akan meningkatkan frekuensi osilasi, yang menunjukkan bilangan Str meningkat.

Pada gambar 3 dengan $Y = 1,0$ d tampak bahwa bilangan Str mencapai nilai maksimum pada posisi sensor 15 mm dan 5 mm dari sumbu *channel*, sedangkan pada gambar 4 dengan $Y = 1,5$ d tampak bahwa bilangan Str mencapai nilai maksimum pada posisi sensor 20 mm dan 5 mm dari sumbu *channel*.

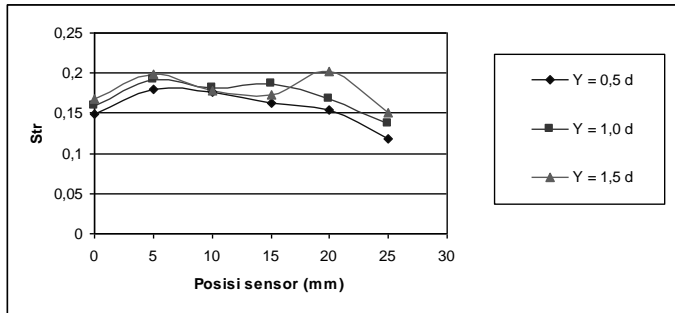
b. Pengaruh perubahan jarak melintang terhadap pola aliran

Pada aliran dengan bilangan Re 180, pusaran-pusaran yang terjadi semakin kuat, aliran turbulensi sudah terbentuk di belakang penghalang. Hal ini terjadi karena dengan meningkatnya bilangan Re, ketidakstabilan semakin kuat sehingga fluktuasi kecepatan meningkat yang menimbulkan pembalikan arah aliran fluida di belakang penghalang, dan menyebabkan gangguan-gangguan sehingga pusaran turbulen terbentuk. Tampak juga bahwa semakin besar jarak antarpenghalang, pusaran yang timbul semakin meningkat. Hal ini dapat terjadi karena pada perbatasan antarpenghalang terbentuk lapisan batas yang cukup tebal, cukup efektif memblokir aliran yang akan melalui celah penghalang, sehingga pada jarak celah yang kecil, fluida hanya mengalir secara aksial atau dibelokkan (Yuwono, et al., 2001). Hal ini juga terjadi karena adanya *blockage effect* antarpenghalang, yaitu aliran tidak dapat bebas mengalir melalui jarak antaranya, sehingga dengan semakin besar jarak antarpenghalang, aliran dapat melewati celah dan akan mengganggu aliran di sampingnya. Pusaran paling kuat terjadi pada variasi jarak penghalang $Y = 1,5d$; olakan sudah berinteraksi antara fluida bagian tengah dan bagian tepi; pusaran pada sebelah bawah dan sebelah atas penghalang menukar fluida yang terdapat di pusat atau inti dengan fluida yang terletak di dekat dinding saluran. Secara bergiliran, lapisan pusaran (*vortex*) akan lepas dan digantikan oleh arus dari permukaan bawah penghalang. Pergerakan ini melalui saluran secara diagonal dan menyapu permukaan atas dari penghalang berikutnya secara teratur dan bergantian dari kedua sisi yang berlawanan.

Pada gambar visual tampak adanya pusaran di sebelah atas penghalang dan menunjukkan pola aliran *anti-phase* (berlawanan). Hal ini disebabkan oleh adanya percepatan fluida yang terjadi di antarpenghalang. Pada jarak penghalang $Y = 0,5d$ dan $Y = 1d$ olakannya hampir sama terkonsentrasi pada bagian tengah. Pusaran cenderung menukar fluida yang terdapat di pusat dengan fluida yang terletak di sirip belakang penghalang dan membentuk pola aliran *in-phase* (searah) dan transisi. Hal ini disebabkan oleh arus yang mendapat percepatan merupakan arus pada celah

29 Muh. Tekad, Penentuan Bilangan Reynolds Dan Jarak Melintang Dua Penghalang Segitiga Terhadap Pola Dan Osilasi Aliran Dengan Menggunakan Aliran Laminar

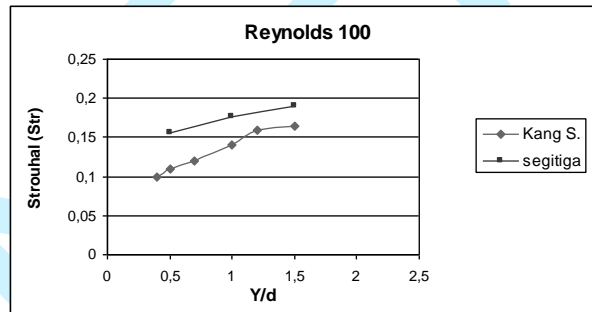
antarpenghalang dan dinding saluran. Keadaan tersebut diperjelas dari hasil pengukuran yang diperlihatkan pada gambar 5.



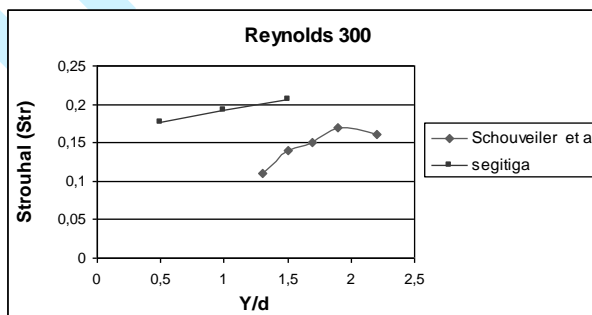
Gambar 5. Grafik Str Vs Sensor Pada Re 180

Pada gambar 5 terlihat bahwa kurva jarak penghalang $Y = 1,5d$ berada paling atas dan mengalami fluktuasi frekuensi yang besar pada setiap sensor. Hal ini berarti bahwa olakan sudah berinteraksi antara fluida bagian tengah dan bagian tepi, sedangkan kurva pada jarak penghalang $Y = 0,5d$ dan $Y = 1d$, fluktuasi frekuensi hampir merata pada setiap sensor.

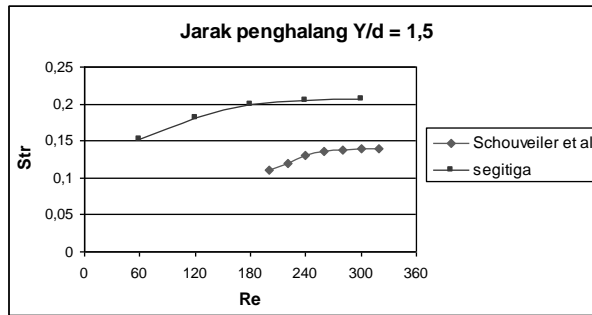
c. Perbandingan Penelitian



Gambar 6. Grafik St Vs Y/d pada Re 100



Gambar 7. Grafik Str Vs Y/d pada Re 300



Gambar 8. Grafik Str Vs Re

Kang (2003) melakukan simulasi mengenai karakteristik aliran yang melewati dua silinder melintang, pada $40 \leq Re \leq 160$ dan $Y/d < 2$. Schouveiler et al. (2002) melakukan eksperimen mengenai interaksi aliran yang melewati dua penghalang berbentuk bola yang dipasang melintang, pada $200 \leq Re \leq 350$ dan $Y/d < 2$. Gambar 6 hingga 8 menunjukkan perbandingan kedua penelitian tersebut dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini. Kedua penelitian tersebut memiliki kesamaan (kecenderungan) dengan hasil penelitian ini.

Gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar penghalang ($Y/d < 2$), bilangan Strouhal semakin meningkat, walaupun terdapat perbedaan pada nilai kedua peneliti tersebut. Hal ini disebabkan oleh perbedaan geometri penghalang yang digunakan. Begitupun pada gambar 8, memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan aliran (Re), sehingga bilangan Str semakin meningkat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi bilangan Reynolds pola aliran yang terjadi di belakang penghalang semakin turbulen dan meningkatkan frekuensi osilasi, sehingga bilangan Strouhal semakin meningkat. Bilangan Str mencapai nilai paling tinggi untuk jarak (celah) $Y = 0,5d$ terletak pada posisi sensor 10 mm dan 5 mm dari sumbu *channel*, untuk celah $Y = 1d$ terletak pada posisi sensor 15 mm dan 5 mm, dan untuk celah $Y = 1,5d$ terletak pada posisi sensor 20 mm dan 5 mm. Perubahan jarak penghalang segitiga akan mempengaruhi pola dan osilasi aliran di belakang penghalang. Pada jarak antar penghalang $Y = 1,5d$ terbentuk pola aliran yang berlawanan (*anti-phase pattern*), pada jarak $Y = 1d$ terbentuk pola aliran transisi, dan pada jarak $Y = 0,5d$ terbentuk pola aliran yang searah (*in-phase pattern*).

V. DAFTAR PUSTAKA

- Amon CH, D. Mujandar, and DP. Sekulic. 1992. Numerical and Experimental Studies of Self-Sustained Oscillatory Flow in Communicating Channels. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 35: 3115-3129
- Gergova, M. 2002. "Evaluation of Improved Boundary Conditions for the Lattice Boltzmann Approach: Investigation of the Laminar vortex Street behind a Circular Cylinder". *Thesis*. Institute of Fluid Mechanics University Erlangen-Nuremberg.
- Hayashi, M., and A. Sakurai. 1986. Wake interference of a row of normal flat plates arranged side by side in a uniform flow. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 164, pp.1-25.
- Kang, S. 2003. Characteristics of Flow Over Two Circular Cylinders in a Side-by-Side Arrangement at Low Reynolds Numbers. *Journal Physics of Fluids*,. Vol. 15, No. 9, pp. 2486-2498.
- Potter, C. 1997. *Mechanics of Fluid*, Second Edition. New Jersey:Prentice-Hall International, INC.
- Sahin, M. and R.G.Owens. 2004. A Numerical Investigation of Wall Effects up to High Blockage Ratios on Two-Dimensional Flow Past a Confined Circular Cylinder. *Journal physics of fluids*, vol 16 (5): 1 – 15.
- Schouveiler L., A. Brydon, T. Lewekw, and MC. Thompson. 2002. Interactions of the Wakes of Two Spheres Placed Side by Side. *Conf. On Bluff Body Wakes and Vortex-Induced Vibrations*, Port Douglas, Australia 17-20 December.
- Susuki, H., Y. Inoue, T. Nishimura, K. Fukutani, and K. Suzuki. 1993. Unsteady Flow in Channel Obstructed by a Square Rod (Crisscross Motion of Vortex). *Int. Journal Heat and Fluid Flow*, Vol. 14, No. 1, March.
- Valencia, A. 2000. Laminar Flow Past Square Bars Arranged Side by Side in a Plane Channel, Departamento de Ingenieria Mecanica Universidad de Chile, Santiago. E-mail: alvalenc@cec.uchile.cl.
- Welty J.R., W. Charles, R. Wilson, and R. Gergory. 2000. *Dasar-Dasar Fenomena Transport*, Vol. 1 Edisi Ke-4. Penerbit Erlangga.

Yowono T., B. Utomo, M. Yuniarto dan P. Satyo. 2002. Studi Eksperimental tentang Pengaruh Aliran Fluida pada Susunan Louver Fin terhadap Laju Perpindahan Kalor. *Majalah Iptek, Jurusan Teknik Mesin, FTI ITS*, Vol. 12, No. 3, Agustus, pp. 155-162.

Zdravkovich, M.M. 1977 Review of Flow Interaction Between Two Circular Cylinders in Various Arrangements. *ASME Journal of Fluids Engineering*, Vol. 99, pp.618-632.