

MENGUBAH POLA ALIRAN FLUIDA DENGAN VARIASI JARAK VERTIKAL BATANG PENGGANGGU UNTUK MENINGKATKAN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI

Jamal¹⁾

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jarak vertikal antar batang pengganggu silindris terhadap perpindahan panas konveksi dalam saluran segiempat pemasangan batang pengganggu silindris adalah untuk mengubah pola aliran fluidanya menjadi turbulen. Untuk menimbulkan efek turbulensi dilakukan dengan menempatkan batang pengganggu silindris yang disusun bersilangan ditengah saluran berpenampang segiempat. Perpindahan panas konveksi diperoleh dengan mengukur temperatur fluida masuk dan keluar saluran serta temperatur permukaan dinding dalam saluran. Variasi batang pengganggu yang diberikan adalah perbandingan jarak vertikal dengan diameter penghalang (B/D) sebesar 1 dan 1,5. Hasil yang diperoleh adalah semakin besar bilangan reynold bilangan Reyleigh dan Reynolds meningkat, penurunan perbandingan B/D dari 1,5 ke 1 menyebabkan bilangan Reyleigh menurun dan Reynolds meningkat, semakin kecil jarak vertikal antar batang pengganggu, menyebabkan perpindahan panas konveksi semakin meningkat.

Kata Kunci: Konveksi, turbolen, batang silindris.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karena sumber daya energi semakin berkurang dan mahal, maka banyak dilakukan kegiatan penelitian yang bertujuan untuk penghematan energi. Khusus dibidang teknologi penukar kalor, cara pemakaian energi secara efisien diwujudkan dalam bentuk kegiatan penelitian yang bertujuan untuk menemukan cara peningkatan perpindahan panas khususnya konveksi.

Peningkatan perpindahan panas konveksi dapat dilakukan dengan membangkitkan turbulensi pada aliran fluida dalam saluran. Upaya untuk pembangkitan turbulensi dapat dilakukan dengan memberikan gangguan terhadap aliran dalam saluran.

Salah satu upaya untuk membangkitkan turbulensi aliran adalah berupa pemasangan batang pengganggu silindris yang disusun bersilangan dengan variasi jarak vertikal. Seberapa besar pengaruh variasi jarak vertikal antar batang pengganggu silindris terhadap perpindahan panas konveksi dalam saluran segiempat akan diteliti dalam penelitian ini.

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

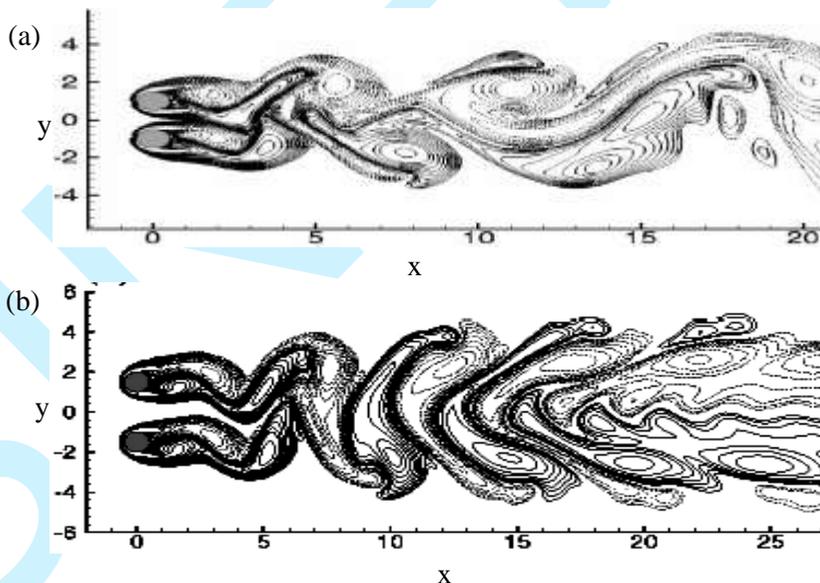
1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jarak vertikal antar batang pengganggu silindris terhadap perpindahan panas konveksi dalam saluran segiempat.

1.3 Tinjauan Pustaka

Penelitian perpindahan panas konveksi dengan menggunakan batang penghalang telah dilakukan oleh Kustanto (2001), dengan menggunakan batang pengganggu berpenampang bulat dan dipasang ditengah saluran vertikal dan disusun sejajar arah aliran dengan memvariasikan perbandingan jarak antara batang pengganggu dengan diameternya ($S/D=2$ dan $S/D=4$). Pemasangan batang pengganggu meningkatkan laju perpindahan panas konveksi peningkatan lebih besar terjadi pada $S/D=2$ dibandingkan $S/D=4$.

Penelitian untuk mengubah pola aliran fluida dari laminar menjadi turbulen telah dilakukan oleh Kang (2003), yang meneliti pola aliran fluida yang terjadi pada bilangan Reynolds rendah ($40 \leq Re_{dp} \leq 160$). Pengamatan dilakukan dengan memvariasikan perbandingan jarak permukaan antar silinder dengan diameternya ($g^* < 5$). Hasil pengamatan diperoleh bahwa pola aliran dipengaruhi oleh bilangan Reynolds dan jarak antara silinder dimana terjadinya aliran turbulen, dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Pola Aliran Pada $Re_{dp} = 100$; $g^* = 1$ (a); $g^* = 2$ (b) (Kang, 2003)

Penelitian ini dilakukan pada daerah masuk termal. Perpindahan panas yang terjadi dapat dilihat pada gambar 2, yaitu:

- a. Perpindahan panas konveksi dari aliran air ke permukaan dinding dalam (Holman, 1993):

$$Q_{cv} = h.A_p . \bar{T}_{\infty} - T_{d \text{ --}} \quad (1)$$

Karena terdapat temperatur aliran bebas (*free stream*) maka $T_{\infty} = T_{fi}$ sehingga (Cengel, 1997):

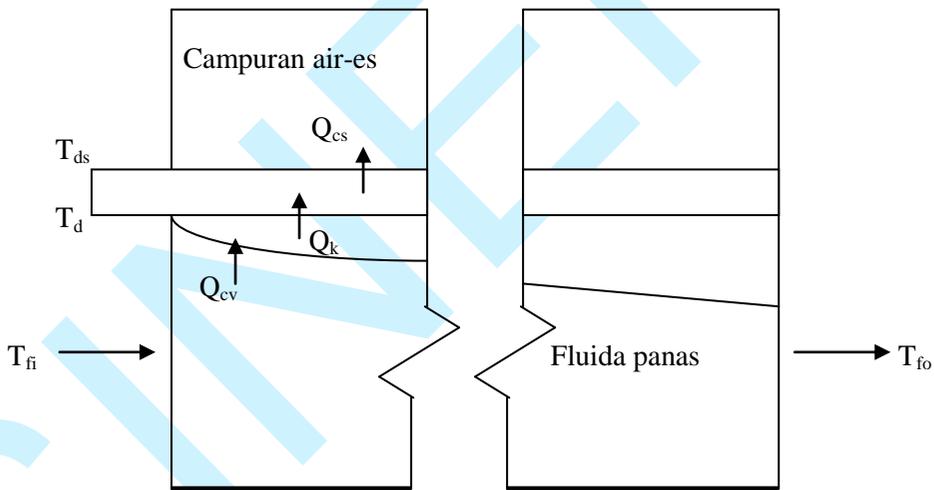
$$Q_{cv} = h.A_p . \bar{T}_{fi} - T_{d \text{ --}} \quad (2)$$

- b. Perpindahan panas konduksi dari permukaan dinding dalam ke permukaan dinding luar (Holman, 1993):

$$Q_k = \frac{k_d . A_p . \bar{T}_{d \text{ --}} - T_{ds \text{ --}}}{t} \quad (3)$$

- c. Perpindahan panas konveksi dari permukaan dinding luar ke air dingin, adalah (Holman, 1993):

$$Q_{cs} = h_s . A_p . \bar{T}_{ds \text{ --}} - T_{s \text{ --}} \quad (4)$$



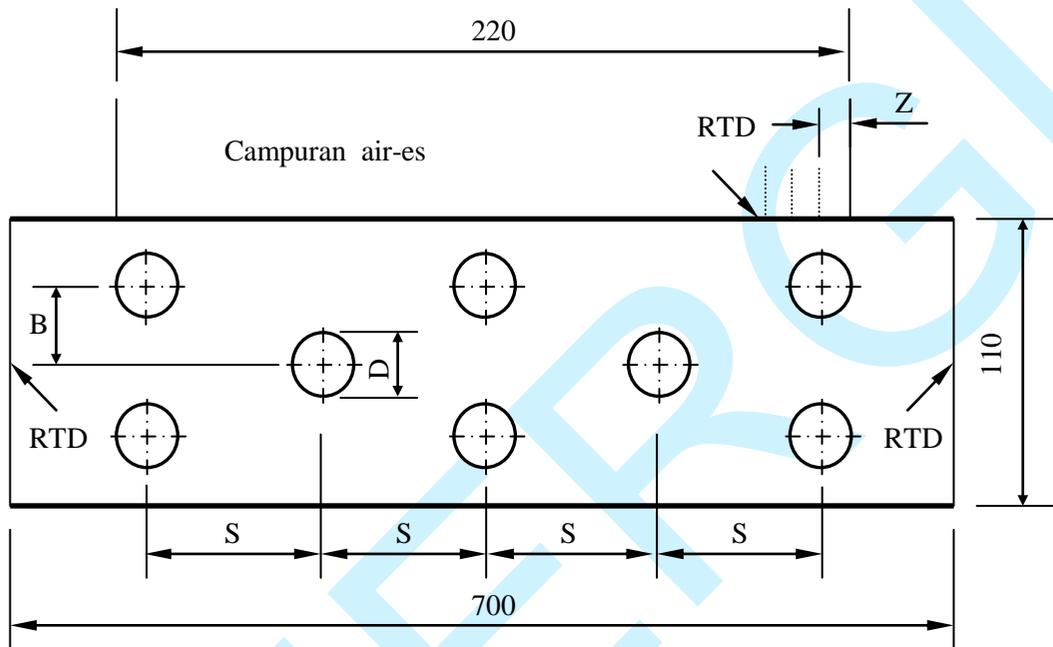
Gambar 2. Proses Perpindahan Panas Pada Saluran

Laju perpindahan panas dapat diketahui dari besarnya perubahan panas yang dikandung oleh fluida. Yaitu (Incropera, 1990):

$$Q = \dot{m} . C_p . \bar{T}_{fi} - T_{fo \text{ --}} \quad (5)$$

Dengan keseimbangan energi dan asumsi bahwa aliran steady dan isolasi sempurna, maka diperoleh hubungan:

$$Q = Q_{cv} = Q_k = Q_{cs} \quad (6)$$

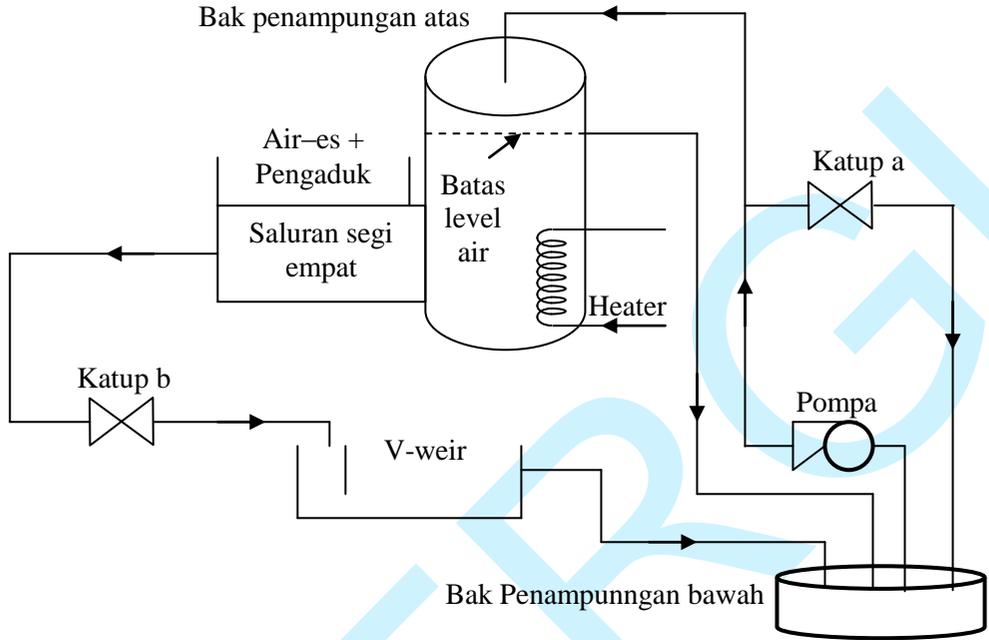


Gambar 3. Skema Saluran Segi Empat Dengan Batang Pengganggu

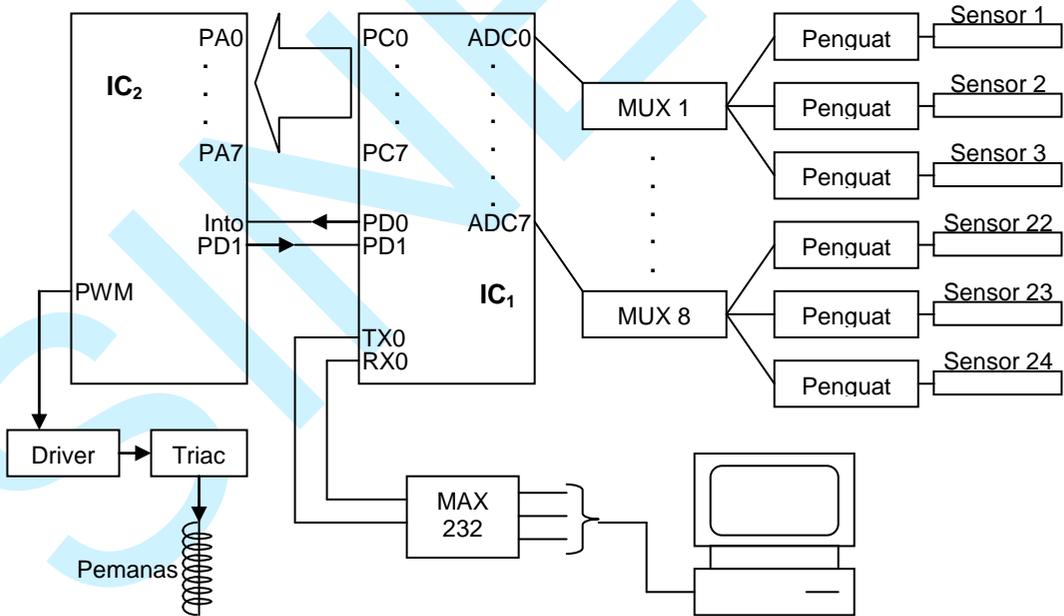
II. METODE PENELITIAN

Saluran segi empat berukuran panjang 700 mm, lebar 200 mm dan tinggi 110 mm. Dinding atas dengan tebal 8 mm disentuhkan dengan campuran air-es sedangkan dinding yang lain diisolasi. Skema saluran dapat dilihat pada Gambar 3. Variasi pemasangan batang pengganggu ada 2 yaitu $B/D=1$ dan $B/D=1,5$ dengan $S/D=2$.

Pada gambar 4. Air dipompa dari bak bawah ke bak atas, dan diatur debit aliran airnya dengan katup a. Untuk menjaga level air tetap konstan pada bak atas dibuatkan saluran pembuangan. Pada bak atas, air dipanaskan dengan heater hingga temperatur $\approx 50^{\circ}\text{C}$. Selama dipanaskan, air dialirkan ke saluran segiempat dan diatur debitnya dengan katup b.



Gambar 4. Skema Alat Uji



Gambar 5. Skema Pengambilan Data

Laju aliran massa air yang sesuai dengan dengan bilangan Reynolds diukur dengan menggunakan V-weir. Sedangkan temperatur diukur dengan menggunakan *Resistance temperature detectors* (RTD) tipe CRZ-1632-B.

Jumlah sensor RTD yang digunakan adalah sebanyak 24 buah. Temperatur air masuk saluran diukur dengan dua buah RTD dan keluar saluran diukur dengan satu buah RTD. Temperatur campuran air-es diukur menggunakan dua buah RTD sedangkan temperatur dinding bagian dalam saluran diukur dengan 19 buah RTD pada 19 titik yang berbeda disepanjang saluran segi empat, dengan jarak yang sama antar setiap titiknya.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan 2 buah *micro controller*, dengan cara RTD dirangkai dengan ADC pada *micro controller* utama (IC_1) dan diakses kekomputer, untuk menjaga temperatur fluida masuk saluran konstan maka data temperatur pemanas dari *micro controller* utama dikirim ke *micro controller* pemanas (IC_2) dan program *fuzzy logic* yang dimasukkan dalam *micro controller* pemanas digunakan untuk mengontrol temperatur fluida masuk saluran agar konstan, seperti terlihat pada gambar 5.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran penelitian adalah berupa data temperatur untuk setiap kondisi penelitian, dan ditampilkan dalam bentuk tabel, yaitu:

Tabel 1. Data temperatur dinding saluran berbatang pengganggu dengan $B/D=1$

Re Temp	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	Temperatur Pengukuran									
T_d	15.35	15.75	16.42	16.71	17.15	17.36	17.80	17.99	18.15	18.38
T_{fi}	50.29	50.29	50.12	49.82	49.75	49.85	49.81	49.88	49.88	49.95
T_{fo}	47.51	47.78	47.66	47.81	47.77	47.97	47.93	48.22	48.29	48.41
T_s	1.99	1.89	1.88	2.09	2.11	2.11	2.20	1.97	2.00	2.01

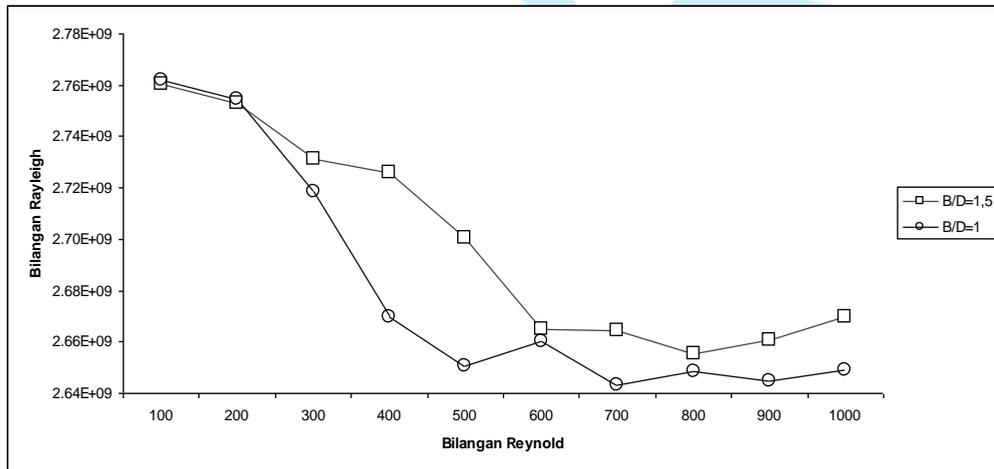
Tabel 2. Data temperatur dinding saluran berbatang pengganggu dengan $B/D=1,5$

Re Temp	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	Temperatur Pengukuran									
T_d	15.26	15.53	15.94	16.31	16.62	16.99	17.19	17.41	17.60	17.79
T_{fi}	50.26	50.25	50.14	50.16	50.02	49.83	49.86	49.83	49.90	50.00
T_{fo}	47.48	47.79	47.95	48.14	48.14	48.07	48.12	48.17	48.43	48.56
T_s	1.77	1.89	1.75	1.94	2.10	2.20	2.22	2.03	1.93	1.91

Keterangan : T_d = Temperatur rata-rata dinding dalam saluran ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{fi} = Temperatur air masuk saluran ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{fo} = Temperatur air keluar saluran ($^{\circ}\text{C}$)
 T_s = Temperatur campuran air-es ($^{\circ}\text{C}$)

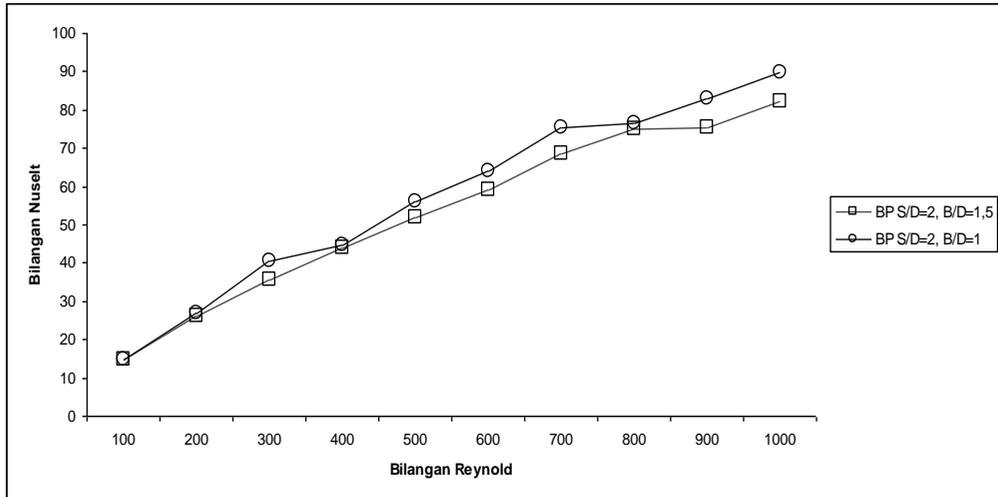
3.2 Pembahasan

Pada gambar 6. dengan naiknya bilangan Reynolds maka bilangan Rayleigh cenderung turun. Penurunan rata-rata untuk semua kondisi penelitian adalah sebesar 0,41 % dan terbesar pada bilangan Reynolds 200 ke 300 yaitu turun 1,06 %, sedangkan perubahan bilangan Reynolds 900 ke 1000 terjadi peningkatan 0,26 %. Dengan meningkatnya bilangan Reynolds berarti laju aliran air semakin cepat sehingga partikel air yang memiliki berat jenis berbeda dan bergerak karena pengaruh gravitasi akan terbawa oleh aliran air yang semakin cepat sehingga kurva bilangan Rayleigh akan berkurang. Dengan demikian semakin besar konveksi paksa maka konveksi alamiah akan semakin kecil.



Gambar 6. Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Terhadap Bilangan Rayleigh

Perubahan jarak vertikal antar batang pengganggu pada gambar 6 dari $B/D=1,5$ ke $S/D=1$ maka bilangan Rayleigh akan turun 0,68 %.



Gambar 7. Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Terhadap Bilangan Nuselt

Pada gambar 7., dengan bertambahnya bilangan Reynolds maka bilangan Nuselt akan meningkat. Peningkatan rata-rata untuk semua kondisi penelitian adalah 23,54 % dan terbesar pada bilangan Reynolds 100 ke 200 yaitu naik 79,83 %, terkecil pada bilangan Reynolds 800 ke 900 yaitu naik 4,27 %. Bilangan Nuselt yang merupakan laju perpindahan panas konveksi rata-rata akan meningkat dengan bertambahnya bilangan Reynolds karena laju aliran air yang semakin cepat menyebabkan lapisan batas termal akan semakin tipis sehingga jarak daerah perpindahan panas konveksi akan semakin dekat mengakibatkan laju perpindahan panas konveksi rata-rata semakin besar.

Perubahan jarak vertikal antar batang pengganggu dari B/D=1,5 ke B/D=1 maka bilangan Nuselt akan mengalami kenaikan sebesar 6,47 %.

Dari hubungan bilangan Reynolds terhadap bilangan Grashof, dan terhadap bilangan Nuselt rata-rata dan dengan logaritma serta *Multiple Linear Resregion* diperoleh Persamaan empiris setiap kondisi penelitian, yaitu:

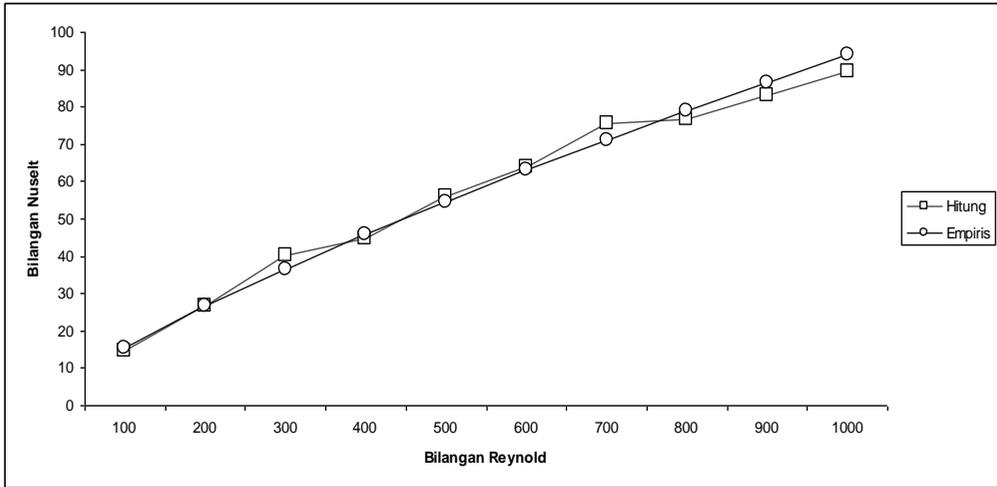
- Untuk saluran dengan B/D=1

$$Nu = 0,6706 \cdot Re^{0,7810} \cdot Ra^{-0,0209}$$

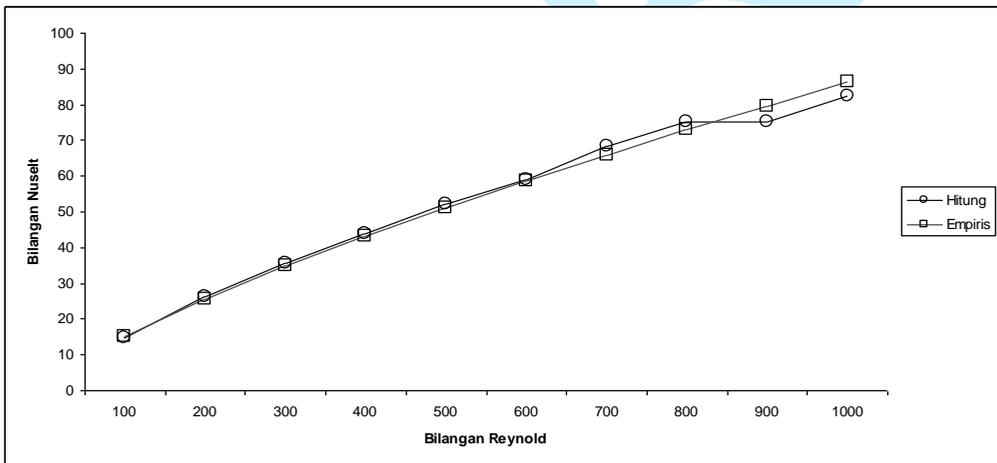
- Untuk saluran dengan B/D=1,5

$$Nu = 0,2217 \cdot Re^{0,7520} \cdot Ra^{0,0354}$$

Hubungan empiris bilangan Reynolds dengan bilangan Nuselt dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 8.



a. Variasi B/D=1



b. Variasi B/D=1,5

Gambar 8. Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Terhadap Bilangan Rayleigh

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu Semakin besar bilangan Reynolds menyebabkan bilangan Rayleigh cenderung mengalami penurunan, dengan penurunan rata-rata sebesar 0,41 %, peningkatan bilangan Reynolds juga menyebabkan bilangan Nuselt mengalami peningkatan, yang

berarti perpindahan panas konveksi semakin besar, dengan peningkatan rata-rata sebesar 23,54 %.

Perubahan jarak vertikal antar batang pengganggu dari $B/D=1,5$ ke $B/D=1$, menyebabkan bilangan Rayleigh mengalami penurunan, dengan penurunan rata-rata sebesar 0,68 %. Perubahan jarak vertikal antar batang pengganggu dari $B/D=1,5$ ke $B/D=1$ juga menyebabkan bilangan Nusselt mengalami peningkatan, dan meningkatkan laju perpindahan panas konveksi dengan kenaikan rata-rata sebesar 6,47 %.

Bentuk persamaan hubungan empiris yang diperoleh untuk setiap kondisi penelitian, adalah pada untuk $B/D=1$ diperoleh hubungan $Nu = 0,6706 \cdot \overline{Re}^{0,7810} \cdot Ra^{-0,0209}$ sedangkan untuk $B/D=1,5$ diperoleh hubungan $Nu = 0,2217 \cdot \overline{Re}^{0,7520} \cdot Ra^{0,0354}$

V. SARAN

1. Karena terdapat beberapa jenis penelitian untuk meningkatkan perpindahan panas konveksi, maka perlu dilakukan penelitian dengan mengkombinasikan satu penelitian dengan penelitian lain.
2. Perlu dilakukan pengkajian secara simulasi numerik.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Saiful. 2001. *Studi Eksperimental dan Analisis Perpindahan Panas Konveksi Terhadap Pengaruh Variasi Diameter Hidroulik dan Jarak Batang Pengganggu Profil Square Rod di Dalam Saluran Segi Empat*, Tesis. Surabaya: ITS.
- Cengel, A.Y. 1997. *Heat Transfer: A Practical Approach*, USA: McGraw Hill.
- Holman, J.P. & Djasifi, E. 1993. *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Erlangga.
- Incropera, P.F. & DeWitt, P.D. 1990. *Introduction To Heat Transfer*, Singapura: John Wiley & Sons.
- Kang, S. 2003. Characteristic of Flow Over Two Circular Cylinders in a Side by Side Arrangement at Low Reynolds Number, *Journal Physics of Fluids*, Vol.15, No.9, p.2486-2498.
- Kustanto, M.N. 2001. *Perpindahan panas konveksi pada saluran segi empat dengan batang pengganggu berpenampang bulat pada bilangan Reynolds rendah dan $L/D = 2$* , Tesis. Surabaya: ITS.

Suyitmedi. 1997. *Studi Peningkatan Perpindahan Kalor Konveksi dengan Cara Penyisipan Kawat Spiral pada Aliran dalam Pipa*, Tesis. Yogyakarta:UGM.

SINERGI