

PERPINDAHAN PANAS PADA PERMUKAAN LUAR PIPA DENGAN ALIRAN FLUIDA TEGAK LURUS SUMBU PIPA YANG DISUSUN SECARA ZIGZAG /STAGGERED

HM Ma'ruf*

Abstraksi

Proses perpindahan panas pada peralatan penukar kalor berlangsung secara konveksi, sehingga dalam penentuan dimensi serta susunan pipa-pipa pada peralatan tersebut sangat tergantung dari viskositas fluida disamping ketergantungannya pada sifat-sifat termal fluida tersebut (konduktivitas termal, kalor spesifik, densitas). Hal ini disebabkan karena viskositas mempengaruhi profil kecepatan, dan karena itu mempengaruhi laju perpindahan energi panas di daerah dinding.

Laju aliran massa fluida (m) yang melewati permukaan silinder yang disusun secara zigzag / staggered dari bukaan katup 2 cm hingga 10 cm cenderung mengalami kenaikan, tetapi pada bukaan katup 12 cm hingga 18 cm nilainya selalu tetap. Pada kondisi ini (bukaan katup 12 cm s/d 18 cm) nilai laju aliran massanya tercatat paling tinggi sebesar 1823,341096 kg/dt.

Kata Kunci : Penukar Kalor, Viskositas, Aliran

PENDAHULUAN

Perpindahan kalor merupakan suatu proses transfer energi yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur pada suatu sistem. Energi yang berpindah tersebut tidak dapat diukur atau diamati secara langsung tetapi pengaruhnya dapat diamati dan diukur. Proses transfer energi tersebut dapat melalui tiga cara yaitu; konduksi, konveksi dan radiasi. Salah satu aplikasi teknik perpindahan panas adalah peralatan-peralatan penukar kalor seperti; *shell and tube heat exchanger*, radiator, *condenser*, *evaporator*, dan lain sebagainya.

Proses perpindahan panas pada peralatan tersebut berlangsung secara konveksi, sehingga dalam penentuan dimensi serta susunan pipa-pipa pada peralatan tersebut sangat tergantung dari viskositas fluida disamping ketergantungannya pada sifat-sifat termal fluida tersebut (konduktivitas termal, kalor spesifik, densitas). Hal ini disebabkan karena viskositas mempengaruhi profil kecepatan, dan karena itu mempengaruhi laju perpindahan energi panas di daerah dinding.

Tujuan yang hendak dicapai adalah untuk mengetahui jumlah satuan perpindahan panas yang terjadi pada permukaan luar pipa akibat adanya aliran fluida yang melintas tegak lurus sumbu pipa yang disusun secara zigzag /staggered .

KAJIAN PUSTAKA

Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas merupakan suatu proses perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada suatu sistem. Berdasarkan konsep termodinamika energi yang berpindah itu merupakan energi kalor. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda yang lain, tetapi dapat juga meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi tertentu.

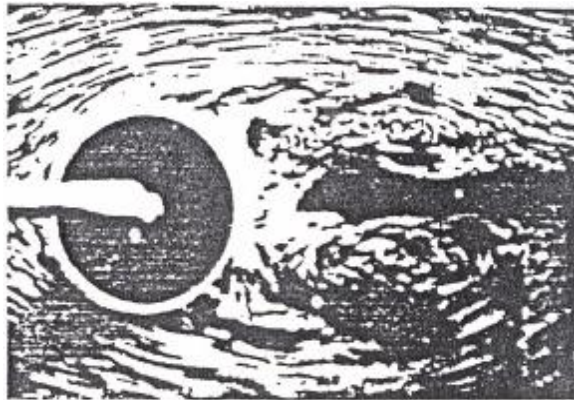
* Dosen Tetap Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

Ada tiga mekanisme yang berbeda dalam proses perpindahan panas yaitu perpindahan panas secara konveksi, perpindahan panas secara konduksi, serta perpindahan panas secara radiasi. Untuk selanjutnya hanya membahas perpindahan kalor secara konveksi.

Perpindahan panas konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dengan fluida. Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua menurut cara menggerakkan alirannya, yaitu; konveksi bebas (*natural convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh perbedaan kerapatan akibat gradien suhu, maka kita berbicara tentang konveksi bebas. Bila gerakan mencampurnya partikel-partikel fluida disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti kipas atau *blower*, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Batasan yang dapat digunakan untuk membedakan konveksi paksa dan konveksi alami adalah rasio bilangan Grashof dan bilangan Reynold, jika $Gr/Re^2 \gg 1$ maka konveksi terjadi secara alami, jika $Gr/Re^2 \ll 1$ konveksi terjadi secara paksa, jika $Gr/Re^2 = 1$ konveksi terjadi secara kombinasi (sumber Frank P. Incropera, *Fundamentals of Heat Transfer*, hal 457).

Konveksi Paksa Melewati Permukaan Luar Sebuah Silinder

Pada konveksi paksa yang terjadi akibat fluida mengalir secara tegak lurus dengan sumbu silinder, titik perpisahan dari garis aliran (*stream lined body*) seringkali terletak tidak jauh dari tepi depan. Di belakang titik perpisahan lapisan batas, fluida dalam daerah dekat permukaan mengalir berlawanan dengan arah aliran utama seperti ditunjukkan dalam gambar 1. pembalikan lokal itu mengakibatkan gangguan yang menimbulkan pusaran turbulen.



Gambar 1. Pemisahan Aliran Di Belakang Sebuah Silinder

METODOLOGI PENELITIAN

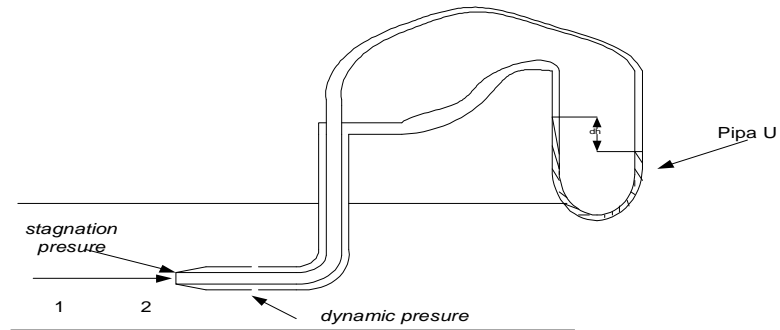
Variabel/Parameter Penelitian

Variabel/parameter penelitian yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Beda tekanan (ΔP) meliputi tekanan stagnasi dan tekanan dinamis yang dapat dicari dengan menggunakan beda ketinggian permukaan fluida pada tabung pipa U(Δh).

- b. Temperatur meliputi temperatur masuk susunan tabung, temperatur permukaan tabung, temperatur keluar rangkunan tabung
- c. Kuat arus yang digunakan pada heater yang dipasang di Sub sonic air flow bench
- d. Beda potensial yang digunakan pada heater yang dipasang di Sub sonic air flow bench

Rumus Terkait Perhitungan



Gambar 2. Posisi Tabung Pitoth

a). Kecepatan Aliran Udara Bebas(V_∞)

Kecepatan aliran udara bebas diperoleh melalui persamaan:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho_{udara}}} = \sqrt{\frac{2 \Delta H \cdot \rho_{air} \cdot g}{\rho_{udara}}} \tag{1}$$

- Dimana :
- V₁ = kecepatan bebas (m/s)
 - g = Gravitasi 9,81 m/s²
 - ρ_{air} = Densitas air 1000 kg/m³
 - ρ_{udara} = Densitas udara pada T = 30 °C = 1,1659 kg/m³
 - Δh = Beda ketinggian dalam pipa U 1,5.10⁻³ m

b). Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi dimana bilangan Reynolds menentukan apakah aliran laminar atau turbulen. Dengan adanya kecepatan aliran fluida yang telah ditentukan maka dapat dihitung besarnya bilangan dengan persamaan:

$$Re_x = \frac{V_{\infty} \cdot x}{\nu} \tag{2}$$

- Dimana :
- x = panjang karakteristik (m)
 - ν = viskositas kinematis fluida (m²/dt)
 - V_∞ = kecepatan fluida(m/dt)

Dalam penelitian ini nilai V merupakan kecepatan maksimum (V_{maks}) dari aliran fluida. Sedangkan x adalah diameter tabung(D_o). sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Re_{maks} = \frac{V_{Maks} \cdot D_o}{\nu_f} \quad (3)$$

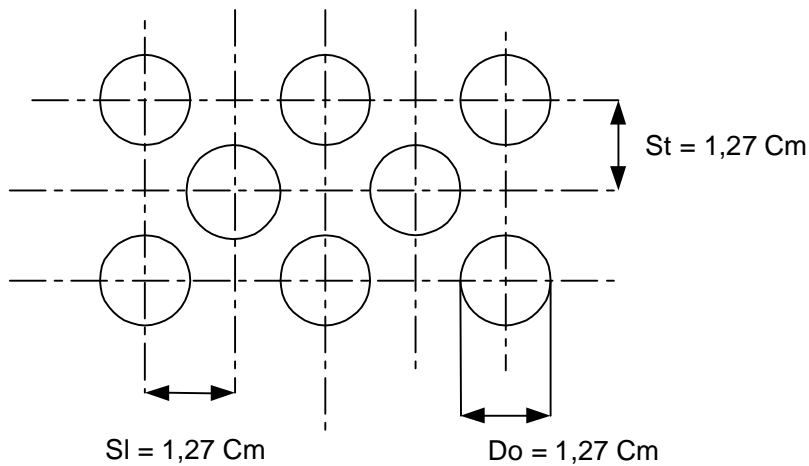
Dimana: Re_{maks} = Bilangan Reynold pada kecepatan maksimum

ν_f = Viskositas kinematis fluida pada temperatur *film* (m^2/dt)

D_o = Diameter luar tabung (m)

V_{maks} = Kecepatan maksimum fluida (m/dt)

$$V_{maks} = \left(\frac{S_T}{\sqrt{S_L^2 + S_T^2} - D_o} \right) \times V_\infty \quad (4)$$



Gambar 3. Susunan Tabung Dipasang Zigzag

1. Temperatur ruangan = $27^\circ C$
2. Jarak sumbu tabung normal (St) = 0,5inci = 1,27cm = 0,0127m
3. Jarak sumbu tabung paralel = 0,5inci = 1,27cm = 0,0127m
4. Diameter tabung = 0,5inci = 1,27cm = 0,0127m

c). **Temperatur Film**

$$T_f = \frac{1}{2} \left(\frac{T_1 + T_2}{2} + T_s \right) \quad (5)$$

d). **Modulus Nusselt**

Gabungan koefisien perpindahan panas konveksi h_c , diameter luar tabung D_o , dan konduktivitas termal fluida k_f dalam bentuk $h_c D_o / k_f$ disebut modulus Nusselt (*Nusselt Number*). Bilangan Nusselt adalah suatu besaran tanpa dimensi. koefisien perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan rumus

$$\bar{h}_c = \left(\frac{k_f}{D_o} \right) 0,33 \cdot Re_{Maks}^{0,6} Pr_f^{0,3} \quad (6)$$

Dimana : Nu = bilangan Nusselt

K_f = konduktifitas termal fluida(w/m°C)

D_o = diameter luar tabung (m)

e). Laju perpindahan panas secara konveksi.

$$q_{\text{permukaan ke fluida}} = A \cdot \bar{h}_c (T_s - T_f) = h_c \cdot \pi \cdot D_o \cdot l \cdot (T_s - T_f) \quad (7)$$

dimana: q = laju perpindahan panas secara konveksi (J/dt)

A = luas perpindahan panas (m^2) = $\pi \cdot D_o \cdot l$

\bar{h}_c = koefisien perpindahan panas konveksi (J/dt.m²°C)

T_s = temperatur permukaan (°C)

T_f = temperatur fluida (°C)

D_o = Diameter Pipa luar (m)

L = Panjang pipa (m)

f). Laju Aliran Massa Fluida

Laju aliran massa fluida dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m = \rho_{\text{aliran udara masuk}} \cdot V_{\text{aliran udara bebas}} \cdot A \quad (8)$$

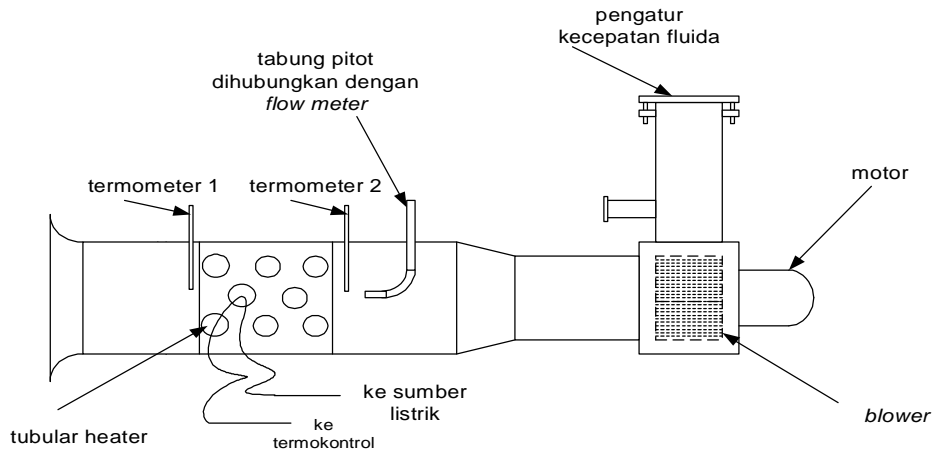
dimana : $\rho_{\text{aliran udara masuk}}$ = massa jenis aliran berdasarkan temperatur masuk susunan tabung (kg/m³)

$V_{\text{aliran udara bebas}}$ = kecepatan aliran udara bebas (m/dt)

A = luas penampang aliran (m²)

Tabel 1. Hasil Pengujian Rata-Rata Pada Bukaannya Katup 2 – 18 cm :

No	Bukaan Katup (cm)	I (ampere)	Beda Potensial Listrik (volt)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T _s (°C)
1.	2	1,9	220	27	47,0833	131,6667
2.	4	1,8	220	27	45,0833	131,3333
3.	6	1,8	220	26	42	131,5
4.	8	1,7	205	26	42,25	131,5
5.	10	2,4	220	25,5	45,3333	131,5
6.	12	2,4	215	26	46	131,3333
7.	14	2,4	215	26	47,1666	131,5
8.	16	2,4	215	26	50,3333	131,3333
9.	18	2,4	215	26	52,8333	131,5

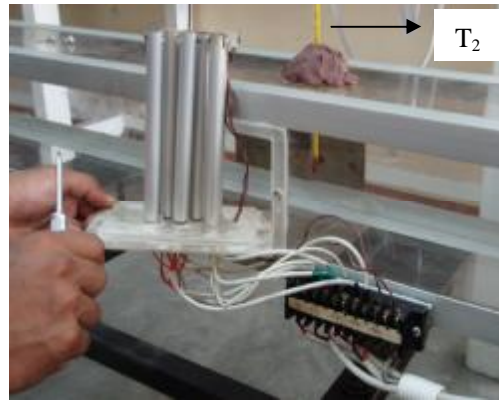


Gambar 5. Skema Alat Uji

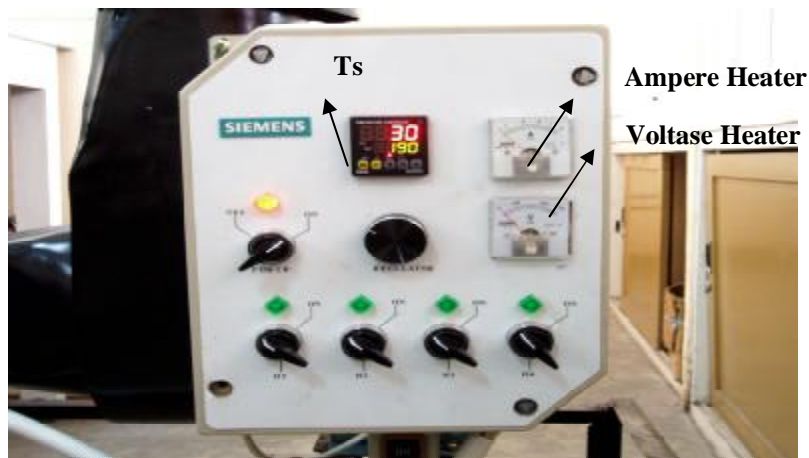
Gambar Alat Uji



Gambar 6. Wind Tunnel



Gambar 7. Heater/Pemanas



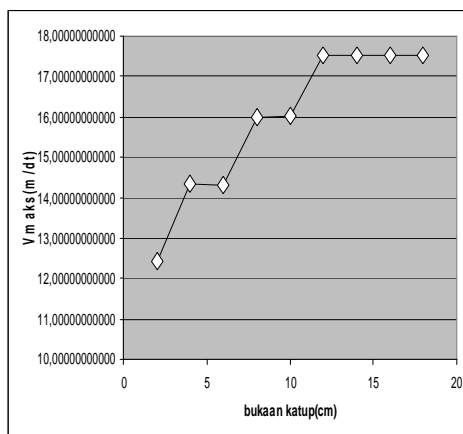
Gambar 8. Kotak Control Heater

Dengan menggunakan persamaan diatas dapat dilihat tabel hasil perhitungan:

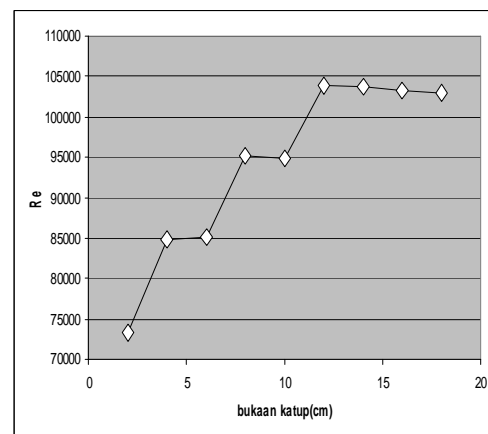
Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan

No	Bukaan katup (cm)	dh (m)	volt	Ampere	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	TS (°C)	T _{film} (°C)	u (m ² /dt)	K _f (W/m ² °C)	Pr	V _∅ (m/dt)	V _{maks} (m/dt)
1	2	0,0015	220	1,9	27	47,083	131,66	84,3541	2,1516E-06	0,03056	0,69582	5,14125	12,41209
2	4	0,002	220	1,8	27	45,083	131,33	83,6875	2,14475E-06	0,03051	0,69593	5,93661	14,33225
3	6	0,002	220	1,8	26	42	131,5	82,75	2,13511E-06	0,03044	0,69608	5,93047	14,31742
4	8	0,0025	205	1,7	26	42,25	131,5	82,8125	2,13575E-06	0,03045	0,69607	6,63046	16,00736
5	10	0,0025	220	2,4	25,5	45,333	131,5	83,4583	2,14239E-06	0,03049	0,69596	6,63390	16,01565
6	12	0,003	215	2,4	26	46	131,33	83,6666	2,14453E-06	0,03051	0,69593	7,26331	17,53519
7	14	0,003	215	2,4	26	47,1666	131,5	84,0416	2,14839E-06	0,03053	0,69587	7,26331	17,53519
8	16	0,003	215	2,4	26	50,333	131,33	84,75	2,15567E-06	0,03059	0,69576	7,26331	17,53519
9	18	0,003	215	2,4	26	52,833	131,5	85,4583	2,16295E-06	0,03064	0,69564	7,26331	17,53519

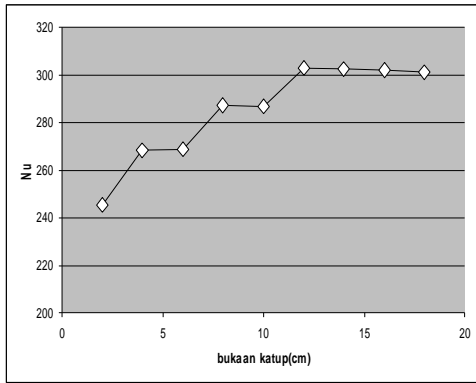
Re	Nu	h (W/m ² °C)	q (Watt)	m (kg/dt)
73263,42624	245,581683	546,6659584	465,881816	1287,96261
84867,64028	268,243300	644,5057483	506,782235	1487,21112
85162,4952	268,819465	644,4533928	507,384140	1488,75177
95185,92073	287,377951	689,0469051	542,493026	1664,47508
94940,05618	286,919564	689,0041981	542,459403	1663,61405
103844,0124	302,770186	727,4272256	571,984340	1823,34109
103657,678	302,436277	727,2715328	572,587631	1823,34109
103307,5314	301,808152	726,979794	571,632520	1823,34109
102959,7423	301,183392	726,6910992	572,130650	1823,34109



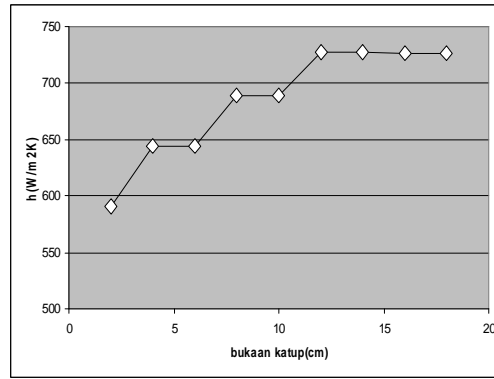
Grafik 1. Hubungan Bukaan Katup dengan Kecepatan maksimum



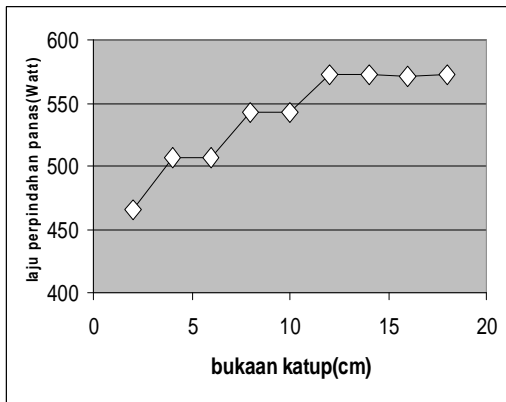
Grafik 2. Hubungan Bukaan Katup dengan Bilangan Reynold



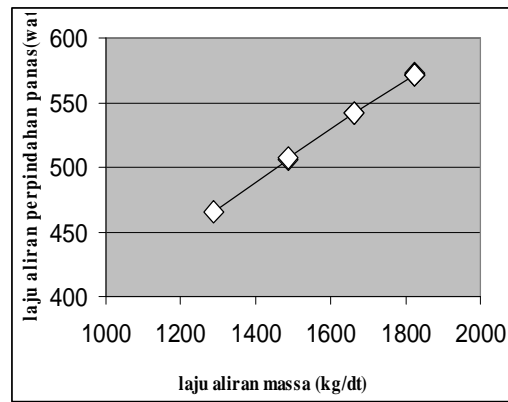
Grafik 3. Hubungan Bukaan Katup dengan Bilangan Nu Koefisien



Grafik 4. Hubungan Bukaan Katup dengan Perpindahan Panas Konveksi



Grafik 5. Hubungan Bukaan Katup Dengan Laju Perpindahan Konveksi



Grafik 6. hubungan laju aliran massa dengan laju perpindahan panas

Pembahasan

- a). Grafik hubungan antara bukaan katup dengan kecepatan maksimum, bilangan Re, angka Nussel, koefisien konveksi dan laju perpindahan panas. Dari grafik didapatkan bahwa nilai kecepatan maksimum dari fluida semakin meningkat dengan semakin besarnya bukaan katup. Hal ini disebabkan karena berkurangnya hambatan yang dialami oleh fluida pada saat fluida melewati celah katup (lihat grafik-1), dengan bertambahnya bukaan katup menyebabkan semakin meningkatnya kecepatan fluida yang akan mempengaruhi bilangan Reynold (lihat grafik-2).
- b). Peningkatan bilangan Reynold menunjukkan semakin turbulensinya suatu aliran fluida maka bilangan Nusselt juga semakin meningkat (lihat grafik-3). Meningkatnya bilangan Nusselt juga akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi (lihat grafik-4).

c). Dari grafik hubungan laju aliran massa fluida dengan perpindahan panas dapat diketahui bahwa semakin besar laju aliran massa maka perpindahan panas juga semakin besar hal ini disebabkan karena laju aliran massa fluida sangat bergantung dari kecepatan fluida semakin tinggi kecepatan fluida maka semakin tinggi pula laju aliran massanya yang pada akhirnya akan meningkatkan laju perpindahan panas.

Pada kondisi-kondisi tertentu bukaan katup tidak mempengaruhi besarnya nilai koefisien perpindahan panas konveksi serta laju perpindahan panas, hal ini disebabkan karena hambatan yang dialami fluida yang mengalir tersebut besarnya cenderung sama pada bukaan katup tertentu, seperti pada bukaan katup 4 Cm s/d 6 cm dan 10 Cm s/d 12 cm.

SIMPULAN

Setelah melakukan pengujian perpindahan panas secara konveksi paksa, ada dua hal yang dapat disimpulkan yaitu:

1. Bilangan Nussel (Nu) = 302,7701861, koefisien konveksi (h) = 727,4272256571 W/m².°C dan laju perpindahan kalor (q) = 9843409 watt merupakan nilai yang terbesar pada bukaan katup setinggi 12 cm pada tabung yang disusun secara zigzag / *staggered*.
2. Laju aliran massa fluida (m) yang melewati permukaan silinder yang disusun secara zigzag / *staggered* dari bukaan katup 2 cm hingga 10 cm cenderung mengalami kenaikan, tetapi pada bukaan katup 12 cm hingga 18 cm nilainya selalu tetap. Pada kondisi ini (bukaan katup 12 cm s/d 18 cm) nilai laju aliran massanya tercatat paling tinggi sebesar 1823,341096 kg/dt.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapman, Alan J., 1989, *Heat Transfer*, Fourth Edition, New York: Macmillan Publishing Co.
- Frank, M. White. 1990. *Fluids Mechanics*. Fourth edition. New York: Mc. Graw Hill.
- Holman, J. P. 1986. **Perpindahan Kalor**. Terjemahan oleh E. Jasfi. 1993. Jakarta: Erlangga
- Incropera Frank and De Witt, David, 1981. *Fundamentals of Heat Transfer*. New York: John Willey & Sons, inc.
- Kreith, Frank and Black, William Z., 1980, *Basic Heat Transfer*, New York: Harper & Row Publisher.
- Kreith, Frank, 1994, **Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas**, Terjemahan oleh Arko Prijono., Jakarta: Erlangga.