

STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PADA SUATU RONGGA DENGAN VARIASI DERAJAT KEVAKUMAN

Mulyono¹

ABSTRACT

In the world of industry, isolation material is often used to maintain the substance temperature in the situation cold or hot. Besides expensive and thick, the size usage of isolation material is sometimes looked less practical. To replace the isolation material function is often air cavity by low pressure or vacuum. Making degree of vacuum exist 100 % at air cavity is not easy. Usually there is still air in cavity will cause the happening of hot transfer of natural convection between both the surface of former cavity. Coefficient of convection hot transfer (h) at one cavity of besides influenced by different temperature it also influenced by cavity geometry, orient from cavity and characteristic that had by fluid, for example : pressure, temperature, specific mass, conductivities and viscosities.

Problems that arising out in this research is how is the relation coefficient of convection hot transfer (h), number Nusselt (Nu), number of Rayleigh and resistance thermal (R) with the variation of degree vacuum exist at a cavity.

Target of this research is to get the relation empirically of convection hot transfer coefficient (h), number Nusselt (Nu), number of Rayleigh and Resistance Thermal (R) with the existence of degree variation of vacuum exists at a cavity. While the benefit in this study is hamper the speed of hot transfer between systems with the media in around.

Keyword: Vacuum exists, Cavity, Coefficient of Convection hot Transfer.

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi sekarang ini, untuk mengangkut dan menyimpan zat-zat cair kriogenik yang bersuhu rendah (sampai kira-kira – 250 °C), misalnya hidrogen cair untuk waktu yang lama, telah dikembangkannya *Superisolato* (*superinsolation*).

Superisolator yang paling effectif terdiri dari lapisan-lapisan rangkap yang terbuat dari bahan yang berdaya refleksi tinggi dengan isolator-isolator sebagai pengantara. Keseluruhan sistem ini *dihampakan* agar konduksi melalui udara menjadi minimum.

Dalam dunia industri, material isolasi digunakan untuk mempertahankan temperatur zat pada keadaan dingin atau panas. Disamping mahal dan tebal ukuran penggunaan material isoalsi terkadang dipandang kurang praktis. Untuk menggantikannya fungsi material isolasi sering digunakan rongga udara bertekanan rendah atau vakum. Membuat derajat kevakuman 100 % pada rongga udara tidaklah mudah, biasanya masih adanya udara didalam rongga yang mengakibatkan terjadinya perpindahan panas

konveksi alami (natural convection) antara kedua permukaan pembentuk rongga tersebut.

Laju perpindahan panas pada suatu rongga dihitung berdasarkan hukum newton pendinginan. Sedangkan koefisien perpindahan panas konveksi (h) pada rongga dipengaruhi oleh : perbedaan temperatur dari kedua dinding pembatas, selain itu juga merupakan fungsi dari geometri rongga, orientasi dari rongga dan sifat-sifat yang dimiliki fluida.

Besarnya laju perpindahan panas antara dua permukaan yang membentuk rongga sangat dipengaruhi pula oleh kondisi sifat-sifat (properties), yaitu ; tekanan, temperatur, massa jenis, konduktivitas, viskositas dan sebagainya dari fluida yang berada di dalam rongga tersebut. Untuk mengurangi laju perpindahan panas pada suatu rongga (cavity), *cara penghampaan* (pempvakuman) merupakan suatu metode yang sangat populer didalam kehidupan sehari-hari. Cara ini sering digunakan pada termos, pelat-pelat absorber pada pemanas matahari, sebagai isolasi untuk mengurangi kehilangan panas pada reaktor nuklir, pendinginan pada tangki sampah radioaktif, ventilasi ruangan dan

¹ Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Malang, mulyono@umm.ac.id

seterusnya. Dalam eksperimen ini menggunakan tabung dalam (tetap) : 2 in, Tabung Luar : 3 in, 3.5 in dan 4 in dengan ketinggian tabung 0.3 m. perlakuan yang diberikan Tekanan kevakuman ; 20, 40 dan 60 cm hg serta temperatur pemanasan permukaan : 35, 45, 55, 65 derajat celcius . Untuk model eksperimen seperti pada gambar ; 1-1.

Dari uraian diatas, permasalahannya adalah : bagaimanakah pengaruh dan korelasi empiris derajat kevakuman terhadap bilangan Nusselt, Rayleigh1 dan aspek ratio rongga.

Tujuan penelitian adalah : menganalisa hubungan derajat kevakuman terhadap bilangan Nusselt dan Rayleigh serta mendapatkan hubungan empiris biangan Nusselt, rayleigh dan aspek ratio rongga.

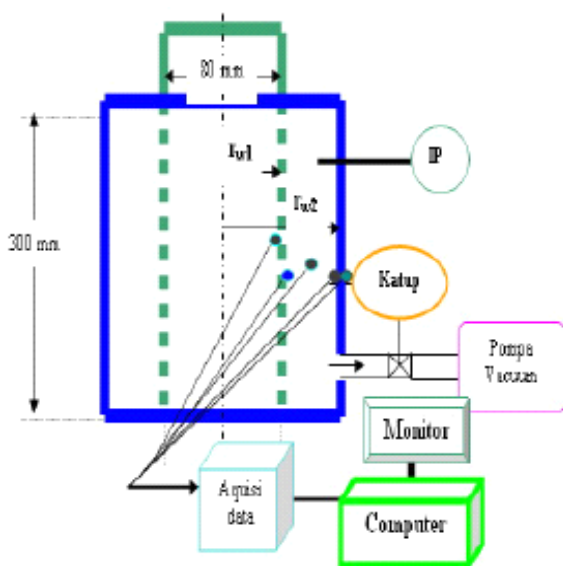
2. METODE PENELITIAN

2.1. Variabel penelitian

Analisa proses perpindahan panas konveksi alamiah dalam tabung annulus yang diberikan perlakuan berupa variasi derajat kevakuman, dilakukan analisa dimensional dengan pendekatan "DALIL π BUCKINGHAM" atau Buckingham method, yang mana akan didapatkan suatu fungsi-fungsi tanpa dimensi. Berikut persamaan fungsi koefisien perpindahan panas konveksi alamiah yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel adalah sebagai berikut ;

atau

$$f \{h, \delta, k, Cp, \mu, \rho, p, \beta g(T_s - T_f)\} = 0 \quad \dots (3-2)$$



Gambar 1-1: Model Eksperimen

Dengan menggunakan dimensi MLtT (massa, panjang, waktu dan temperatur) akan didapat grup parameter tanpa dimensi dari fungsi diatas, yaitu :

$$1. \pi_1 = f(h, \delta^{a1}, k^{b1}, \mu^{c1}, p^{d1}, \rho^{e1}) \approx \text{bilangan Nusselt} \quad \dots (3-3)$$

$$2. \pi_2 = f(Cp, \delta^{a2}, k^{b2}, \mu^{c2}, p^{d2}, \rho^{e2}) \approx \dots \text{bilangan Prandtl} \quad \dots (3-4)$$

$$3. \pi_3 = f(\beta g(T_s - T_f), \delta^{a3}, k^{b3}, \mu^{c3}, p^{d3}, \rho^{e3}) \approx \text{bil. Grashoft} \quad (3-5)$$

$$4. \pi_4 = \left(\frac{L}{\delta}\right) \approx \text{aspek ratio rongga} \quad \dots (3-6)$$

sehingga didapatkan persamaan koefisien perpindahan panas konveksi alamiah dalam bentuk variabel tanpa dimensi sebagai berikut :

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4) \quad , \text{ atau :}$$

$$Nu = f\left(\text{Pr}, Gr_\delta, \frac{L}{\delta}\right) \quad \dots (3-7)$$

atau :

$$Nu = f\left(Ra_\delta, \frac{L}{\delta}\right) \quad \dots (3-8)$$

Dari analisa dimensi diperoleh koefisien perpindahan panas (variabel tetap) konveksi alamiah sebagai fungsi dari *bilangan Rayleigh*, *aspek ratio rongga*, seperti diuraikan pada persamaan (3-8).

2.2. Peralatan Eksperimen

Eksperimen ini dilakukan untuk mendapatkan hubungan secara empiris antara koefisien perpindahan panas konveksi alamiah (bilangan Nusselt) terhadap bilangan Prandtl, bilangan Grashoft dengan melakukan perlakuan berupa variasi derajat kevakuman (tekanan rendah) dan aspek ratio diameter tabung/rongga.

Peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut :

1. Barometer vacuum , untuk mengukur tekanan vacuum
2. Thermometer biasa, untuk mengukur temperatur ruangan
3. Tabung annulus dari bahan baja carbon chrom , sebagai obyek penelitian.
4. Thermokopel/sensor Type lm-35 ; untuk mengukur temperatur dinding tabung.
5. Pompa vakum (yang digunakan untuk AC), untuk memvakumkan tabung annulus/ rongga.

6. Acquisisi data, difungsikan untuk merekam input data dari sensor atau termokople, yang merubah input panas menjadi volt selanjutnya menjadi data temperatur.
7. Seperangkat komputer (PC), untuk menampilkan data hasil proses dari data aquisisi.
8. Katup, untuk membuka dan menutup aliran udara ke rongga .
9. Fluida kerja, tabung dalam berupa es dan tabung luar berupa udara.

Untuk mengukur temperatur pada sejumlah titik pada dinding tabung digunakan thermokopel type lm-35 yang dihubungkan dengan data aquisisi yang telah dikalibrasi, selanjutnya dihubungkan ke seperangkat komputer untuk membaca data temperatur.

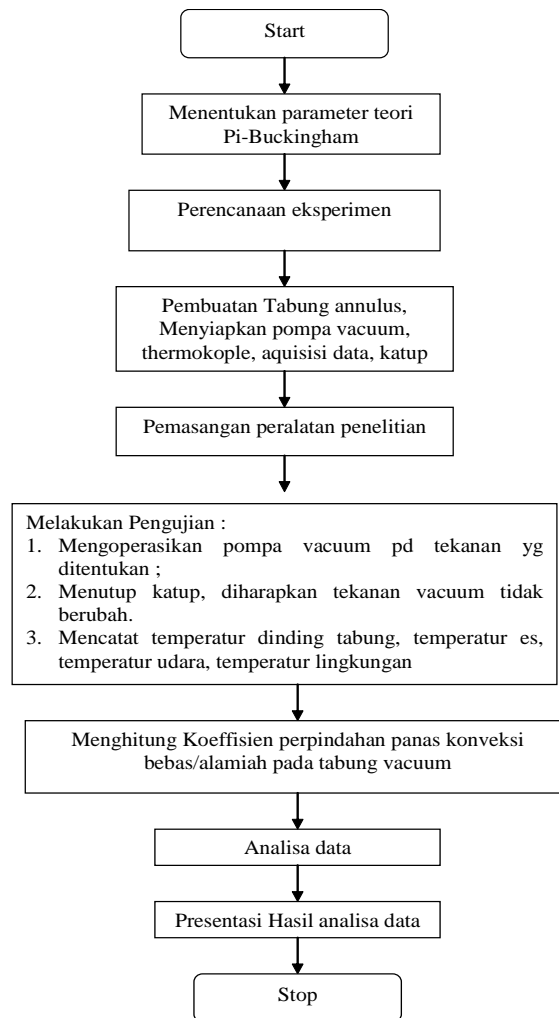
2.3. Prosedur Percobaan

Untuk melakukan penelitian dan pengambilan data, dilakukan langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

1. Mempersiapkan tabung annulus, thermokople, barometer, es, pompa vacuum dan kompucter selanjutnya alat tersebut diset sedemikian rupa.
2. Operasikan pompa vakum hingga mencapai tekanan vakum yang telah ditentukan .
3. Bila tekanan vakum (tekanan yang direncanakan) telah tercapai, selanjutnya katup ditutup sedemikian rupa agar tidak berhubungan dengan lingkungan.
4. Mencatat seluruh data yaitu: temperatur dinding, tekanan vacuum, temperatur udara vacuum, temperatur es, temperatur lingkungan semuanya dicatat oleh data aquisisi yang dihubungkan ke kompucter .
5. Ulangi point (3), dengan tekanan vacuum yang lain dan seterusnya.

Diameter tabung dalam (D1) Es	Diameter tabung Luar (D2).. udara	Temperatur Tabung Luar (C)	Tekanan Vacuum Udara Absolut (Pabs)
50.8 mm/ 0.0508 m	76.2 mm/0.0762 m	28 ⁰ C	560 torr/ -20 cm Hg
	88.90 mm/0.0889 m	35 ⁰ C	360 torr/ -40 cm Hg
	101.6 mm/0.1016 m	45 ⁰ C	160 torr/ -60 cm Hg
		55 ⁰ C	
		65 ⁰ C	

2.4. Diagram Alir Prosedur Penelitian



3.5. Tempat dan Waktu Kegiatan/ Penelitian

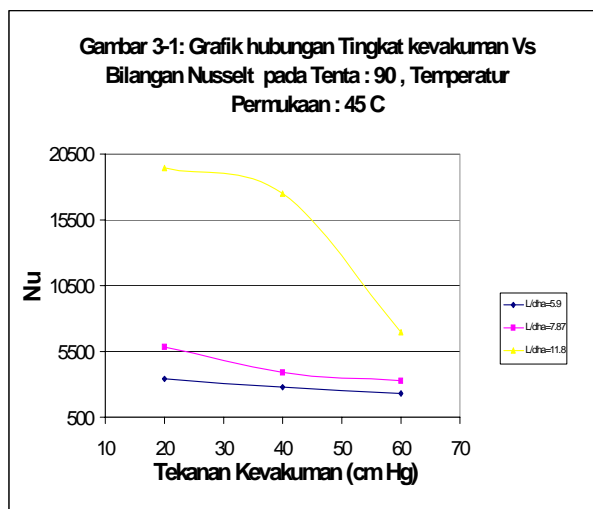
Tempat penelitian dilakukan di laboratorium Konverg Energi/Perpindahan Panas Universitas Muhammadiyah Malang.

No	Jenis Kegiatan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Tahap persiapan	X	X						
2	Pelaksanaan Penelitian			X	X				
3	Analisa Data					X	X		
4	Penulisan laporan							X	X

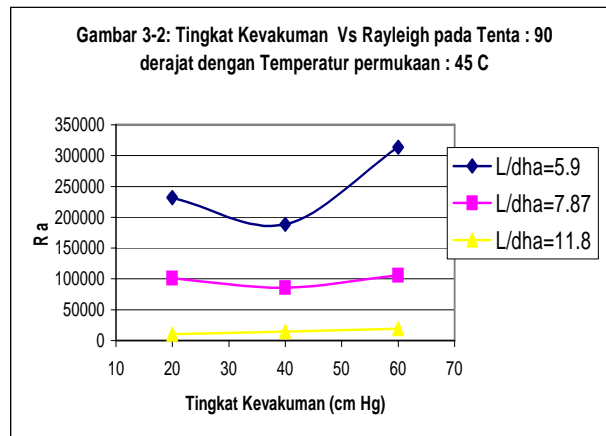
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Derajat Kevakuman Terhadap Bilangan Nusselt dan Bilangan Rayleigh

Gambar 3-1 menunjukkan hubungan antara derajat/tingkat kevakuman terhadap Bilangan Nusselt adanya variasi aspek ratio rongga ($\frac{L}{\delta}$) pada Tenta (posisi) : 90 derajat dan Temperatur permukaan : 45 ° C.



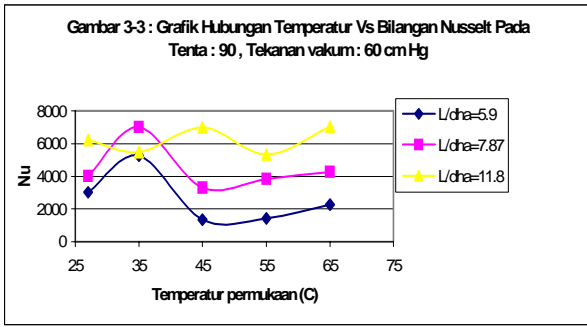
Dari grafik diatas, dapat dijelaskan bahwa tingkat/derajat kevakuman semakin besar maka harga bilangan Nusselt semakin menurun. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besar derajat kevakuman akan memberikan harga kerapatan jenis udara dalam rongga semakin besar. Dengan kerapatan jenis semakin besar akan memberikan arti pada pergerakan fluida semakin lambat, sehingga akan mempengaruhi selisih kerapatan jenis free stream dengan kerapatan jenis mula-mula ($\rho_{\infty} - \rho$). Untuk aspek ratio rongga ($\frac{L}{\delta}$) yang besar atau rongga tipis akan memberikan selisih kerapatan yang kecil sehingga mengakibatkan pergerakan fluida (gaya apung) dan harga bilangan nusselt yang kecil begitu juga sebaliknya. Dari gambar 3-1, aspek ratio rongga (= 5.90) mempunyai harga bilangan Nusselt lebih kecil dibandingkan aspek ratio yang lain, dengan adanya tingkat kevakuman.



Gambar 3-2, merupakan grafik hubungan derajat kevakuman terhadap Bilangan Rayleigh pada Tenta (posisi) ; 90 ° dengan temperatur permukaan 45 C. Dari gambar dijelaskan bahwa semakin besar tingkat kevakuman pada rongga, harga bilangan nusselt cenderung naik. Bagi aspek ratio rongga semakin kecil ($\frac{L}{\delta} = 5.90$) atau rongga besar mempunyai bilangan Rayleigh yang paling besar. Hal ini disebabkan bila tekanan kevakuman dinaikkan maka kerapatan akan naik, sehingga kecepatan fluida /udara dalam rongga menjadi sangat kecil. Kecepatan fluida bergerak dipengaruhi oleh perbedaan kerapatan free stream dengan fluida di dinding. Terjadinya perbedaan kerapatan disebabkan oleh kondisi temperatur permukaan dinding (T_{w2-in}). Untuk aspek ratio rongga semakin besar () atau ketebalan rongga adalah tipis, maka harga bilangan Rayleigh semakin kecil, hal ini terjadi karena lapisan batas termal yang terbentuk adalah tipis sehingga perbedaan temperatur free stream dengan temperatur dinding () adalah kecil. Akibat perbedaan temperatur yang kecil sehingga harga bilangan grashof juga kecil, sehingga bilangan Rayleigh juga kecil pula/rendah. Karena bilangan Rayleigh merupakan fungsi dari bilangan grashof dan Prandtl.

3.2. Pengaruh Variasi Temperatur Permukaan terhadap Bilangan Nusselt dan Rayleigh.

Gambar 3-3: menunjukkan hubungan antara variasi temperatur Permukaan terhadap Bilangan nusselt pada Tenta (posisi) : 90 ° dengan Tekanan kevakuman : 60 cm Hg (160 torr).

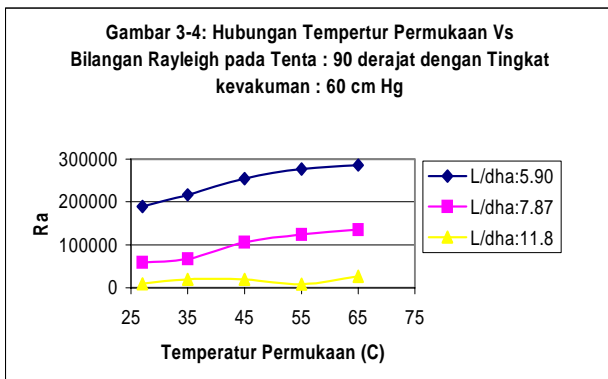


Dari gambar 3-3, dapat disampaikan bahwa semakin besar temperatur pada variasi aspek ratio ($\frac{L}{\delta}$) yang rendah diperoleh harga bilangan Nusselt semakin turun. Hal ini disebabkan karena perbedaan antara free stream temperatur dengan temperatur dinding untuk aspek ratio rongga kecil (ketebalan rongga besar) mempunyai pengaruh terhadap besar kecilnya bilangan nusselt. Semakin besar ketebalan rongga maka bilangan nusselt semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Sehingga dapat disimpulkan harga bilangan nusselt semakin kecil bila derajat kevakuman dinaikkan dan aspek ratio diperkecil.

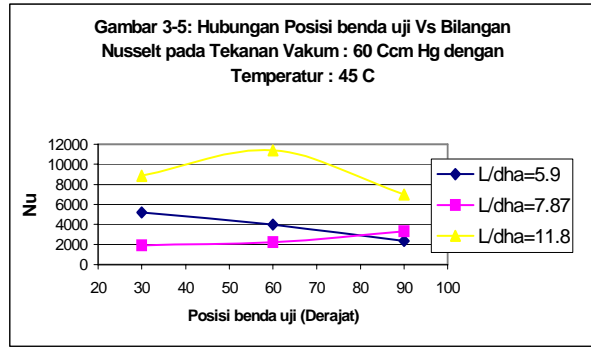
Gambar 3-4, merupakan grafik hubungan antara temperatur terhadap Bilangan Rayleigh pada Tenta : 90° dengan Tekanan Kevakumana : 60 cm Hg (160 torr). Dari gambar tersebut disampaikan bahwa semakin besar temperatur permukaan dan aspek ratio semakin besar, diperoleh harga Bilangan Rayleigh semakin menurun.

Hal ini disebabkan karena aspek ratio rongga besar (tebal rongga tipis), terbentuknya lapisan termal juga tipis, akibatnya perbedaan temperatur antara free stream temperatur dan dinding ($T_{w2-in} - T_\infty$) menjadi kecil dan bilangan Rayleigh menjadi kecil pula. Karena harga Rayleigh dipengaruhi oleh bilangan Grashof dan bilangan grashof merupakan fungsi dari perbedaan temperatur

$$(T_{w2-in} - T_\infty).$$

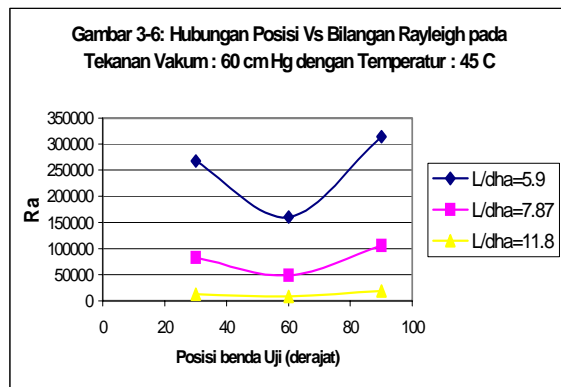


3.4. Pengaruh Variasi Posisi terhadap Bilangan Nusselt dan Rayleigh.



Gambar 3-5: merupakan Hubungan antara variasi Posisi terhadap Bilangan nusselt pada Tekanan kevakuman : 60 cm Hg (160 torr) dengan temperatur permukaan : 45 C. Dari gambar tersebut dapat disampaikan bahwa semakin besar posisi, harga bilangan Nusselt menurun pada variasi aspek ratio rongga. Hal ini disebabkan, karena perbedaan kerapatan fluida yang menyebabkan gaya apung pada rongga semakin tidak merata, sehingga berakibat terhadap kecepatan fluida pada rongga dan tidak meratanya temperatur pada rongga tersebut. Melihat pada gambar tersebut dapat disimpulkan posisi yang memberikan bilangan nusselt yang rendah adalah Tenta (posisi) ; 90° dan pada aspek ratio rongga

$$\left(\frac{L}{\delta}\right) : 5.90 .$$



Gambar 3-6, menunjukkan Hubungan antara Posisi benda uji terhadap Bilangan Rayleigh dengan adanya variasi aspek ratio rongga. Dari gambar tersebut dapat disampaikan bahwa semakin besar Tenta (posisi), diperoleh harga Bilangan Rayleigh kecenderungan semakin besar.

Hal ini disebabkan karena tidak meratanya temperatur dalam rongga, sehingga mengakibatkan kecepatan aliran fluida, dan akan menyebabkan perbedaan kerapatan jenis fluida dalam rongga. Akibat perbedaan kerapatan jenis ini menyebabkan

gaya apung (gaya bodi). Gaya apung ini dapat menentukan gradient temperatur pada rongga, sehingga menyebabkan timbulnya lapisan batas termal. Untuk aspek ratio rongga semakin besar (tebal rongga tipis) maka tebal lapisan batas adalah kecil sehingga perbedaan temperatur dinding dengan free stream temperatur dalam rongga semakin kecil. Perbedaan temperatur dinding bagian dalam dengan temperatur free stream kecil akan berakibat terhadap kecilnya bilangan Rayleigh, begitu juga untuk aspek ratio rongga besar akan menghasilkan bilangan Rayleigh yang besar pula.

Studi eksperimen ini bertujuan untuk mencari hubungan empiris dari variabel aspek ratio rongga ($\frac{L}{\delta}$), Bilangan Rayleigh terhadap Bilangan Nusselt dengan adanya variasi derajat kevakuman pada rongga. Bentuk rumus empiris yang akan dicari adalah sebagai berikut :

$$Nu = C (Ra_{\delta})^m \left(\frac{L}{\delta}\right)^n$$

Dengan menggunakan metode Regresi (program excel) akan diperoleh model yang menggambarkan hubungan Variabel aspek ratio rongga ($\frac{L}{\delta}$), bilangan Rayleigh terhadap bilangan Nusselt sebagai berikut :

$$\log Nu = \log C + m \log Ra_{\delta} + n \log \frac{L}{\delta}$$

- Dimana : Nu = bilangan Nusselt
- Ra_{δ} = bilangan Rayleigh pada rongga
- $\frac{L}{\delta}$ = aspek ratio rongga
- m, n = konstanta eksponensial
- C = konstanta

Sehingga persamaan korelasi empiris Bilangan Nusselt yang merupakan suatu fungsi Bilangan Rayleigh dan aspek ratio rongga tanpa dimensi adalah sebagai berikut :

Konstanta	Derajat kevakuman (cm Hg)		
	20 cm Hg atau 560 torr	40 cm Hg atau 360 torr	60 cm Hg atau 160 torr
C	1	8.2148 x 10 ¹⁹	1.923 x 10 ¹⁴⁵
m	0.1114	-2.2255	-16.5630
N	3.5838	-5.9589	-65.8549

Apabila ditulis kembali rumus-rumus empiris yang didapatkan adalah sebagai berikut :

❖ Untuk Derajat Kevakuman = 20 cm Hg atau 560 torr ;

$$Nu = (Ra_{\delta})^{0.1114} \cdot \left(\frac{L}{\delta}\right)^{3.5838}$$

❖ Untuk Derajat Kevakuman = 40 cm Hg atau 360 torr ;

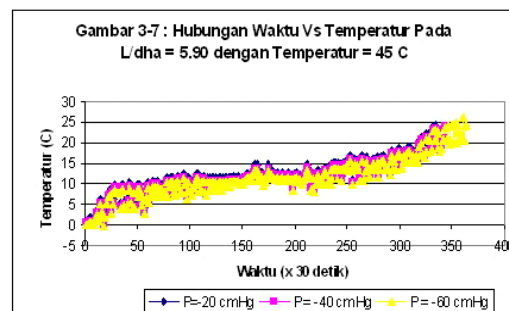
$$Nu = 8.2148 \times 10^{19} (Ra_{\delta})^{-2.2255} \cdot \left(\frac{L}{\delta}\right)^{-5.9589}$$

❖ Untuk Derajat Kevakuman = 60 cm Hg atau 160 torr ;

$$Nu = 1.923 \times 10^{145} (Ra_{\delta})^{-16.5630} \cdot \left(\frac{L}{\delta}\right)^{-65.8549}$$

Dari model persamaan korelasi empiris tersebut diatas, didapatkan besarnya koefisien determinasi sebesar 96.4 yang berarti bahwa keragaman data yang diterangkan oleh model adalah sebesar 96.4, ini mempunyai arti bahwa model yang diteliti sudah cukup baik/signifikan.

4.5.. Validasi Eksperimen



Untuk memberikan satu argumentasi terhadap pengaruh derajat kevakuman dalam rongga, validasi yang digunakan adalah mengamati temperatur yang terjadi selama es mencair (waktu yang dibutuhkan). Gambar dibawah ini menjelaskan seberapa besar waktu yang digunakan untuk mencair dari dengan adanya variasi derajat kevakuman. Dari gambar 3-7 : diperoleh bahwa Tekanan Kevakuman = -60 cm Hg, mempunyai waktu yang lebih lama dari es mencair, hal ini disebabkan semakin tekanan kevakuman meningkat tingkat hambatan termal di rongga semakin besar, sehingga arus temperatur menuju ruang es terhambat. Selain itu dengan derajat kevakuman yang besar akan mengakibatkan perubahan kerapatan jenis menjadi besar dan kecepatan aliran fluida menjadi lambat akibatnya gaya apung yang terjadi dirongga lemah, begitu juga gaya apung yang mengakibatkan arus konveksi disebut gaya bodi menjadi kecil pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, Andrian, (1993), *Heat Transfer*, John Willey & Sons, Singapore.
- Brodkey, Robert S, (1998), *Transport Phenomena*, McGraw-Hill, Singapore.
- Chang S.W. dkk, (1999), *An Eksperiment Study Of Heat Transfer In Reciprocating Square Duct Fitted with Ribs Skewed to the Flow*, Journal of Heat Transfer, vol. 121 pp. 232-236.
- Campo A, Zamora B, (2000), *Enhanced Natural Convection in a Vertical Rectangular Cavity on Account of the Mixing of Two Pure Gases*, ASME.
- De Witt, Incropera, (1996), *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Willy & Sons, Singapore.
- Darling R B, (2002), *Vacuum Systems*, Journal Home page.
- Fox w, R. Mc Donald, Alan T, (1994), *Introduction to Fluid Mechanics*, John Willey & Sons, Singapore.
- Holman J P, (1988), *Perpindahan kalor*, Terjemahan Djasifi E, Erlangga, Jakarta.
- Laccarino g, Ooi A, (1998), *Heat Transfer Predictions in Cavities*, Center for Turbulent Research, University of New South Wales, Australia.
- Oronzio Manca, dkk, (2002), *Effect on Natural Convection of the distance Between an Inclined Discretely Heated Plate and a Parallel Shroud Below*, Journal Heat Transfer, ASME
- Ousthuizen H Patrick, David Naylor, (1999), *An Introduction to Convective Heat Transfer Analysis*, McGraw-Hill, Singapore.
- Roth A, (1989), *Vacuum Technologi*, North Holland, Amsterdam.
- Setterfield Barry, (2002), *Exploring The Vacuum*, Journal of Theoritis, Journal home Page.