

## **Analisa Perpindahan Panas konveksi pada Kotak Rongga Vakum untuk Menyimpan Ikan**

Mulyono  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Malang  
Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang  
Telp. : 0341-464318, Pes. 128  
e-mail : [mulyono@umm.ac.id](mailto:mulyono@umm.ac.id)  
[mulyono010866@gmail.com](mailto:mulyono010866@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Dalam dunia industri, material isolasi sering digunakan untuk mempertahankan temperatur zat pada keadaan dingin atau panas. Disamping mahal dan tebal ukuran penggunaan material isolasi terkadang dipandang kurang praktis. Untuk menggantikan fungsi material isolasi sering digunakan rongga udara bertekanan rendah atau vakum. Membuat derajat kevakuman 100 % pada rongga udara tidaklah mudah. Biasanya masih adanya udara di dalam rongga akan mengakibatkan terjadinya perpindahan panas konveksi alami (natural convection) antara kedua permukaan pembentuk rongga tersebut. Koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) pada suatu rongga selain dipengaruhi oleh perbedaan temperatur juga dipengaruhi oleh geometri rongga, orientasi dari rongga dan sifat-sifat yang dimiliki oleh fluida, antara lain : tekanan, temperatur, massa jenis, konduktivitas dan viskositas.

Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah bagaimanakah pengaruh variasi derajat kevakuman dan ratio rongga terhadap laju perpindahan Panas konveksi alamiah pada suatu rongga.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan harga tekanan Vakum yang sesuai sebagai isolator dalam suatu rongga. Sedangkan manfaat dalam studi ini adalah untuk menghambat laju perpindahan panas antara sistem terhadap media sekelilingnya.

Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa dengan derajat kevakuman  $-60$  cm Hg diperoleh harga laju perpindahan Panas konveksi alamiah lebih rendah dibandingkan dengan derajat kevakuman  $-20$  cm Hg dan  $-40$  cm Hg. Ini memberikan arti bahwa derajat kevakuman  $-60$  cm Hg mempunyai hambatan termal lebih besar (isolator) dibandingkan dengan derajat kevakuman  $-20$  cm Hg dan  $-40$  cm Hg.

Kata kunci : *Derajat Kevakuman, Kotak Vakum, laju perpindahan panas konveksi alamiah, aspek ratio rongga*

## PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi sekarang ini, untuk mengangkut dan menyimpan zat-zat cair kriogenik yang bersuhu rendah (sampai kira-kira  $-250^{\circ}\text{C}$ ), misalnya hidrogen cair untuk waktu yang lama, telah dikembangkannya *Superisolator* (*superinsolation*). Superisolator yang paling efektif 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 (*Wang QW dkk, 2000*).

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 (*Barry, 2002*).

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* (*pemvakuman*) 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 seterusnya (*Laccarino, 1998*).

Kondisi gas yang berada pada suatu rongga akan mempunyai konsekuensi terhadap kondisi fisik zat/fluida yang ada didalamnya. Ini mempunyai korelasi besar terhadap fenomena koefisien perpindahan panas konveksi alamiah antar gas/zat dalam rongga dengan sekelilingnya (*Wang QW dkk, 2000*). Maka dengan ini dapat kita rumuskan masalah sebagai berikut :

Bagaimanakah pengaruh derajat kevakuman terhadap laju perpindahan panas konveksi alamiah pada suatu rongga (Kotak Vakum) dengan aspek ratio  $\frac{L}{\delta} = 11.8$  ?, dan Bagaimanakah hubungan antara variasi derajat Kevakuman dengan bilangan Nusselt, bilangan Rayleigh dan tahanan termal ?

Sedangkan Tujuan dari penelitian ini adalah : Untuk mendapatkan harga tekanan kevakuman yang sesuai sebagai Insulator dalam suatu rongga (kotak Vakum), dan Untuk mendapatkan sejauhmana hubungan/korelasi variasi derajat kevakuman terhadap bilangan Nusselt dan bilangan Rayleigh

**METODE PENELITIAN**

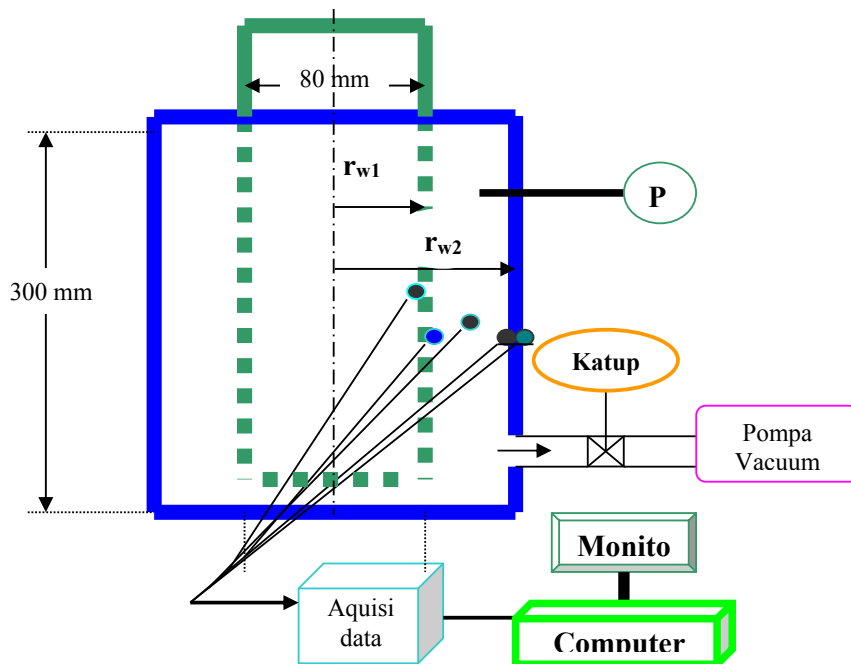
**Variabel Penelitian**

Analisa proses perpindahan panas konveksi alamiah dalam tabung annulus, dilakukan dengan analisa dimensional dengan pendekatan “DALIL  $\mathcal{N}$  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 (Brodkley, 1998) ;

$$h = f \{ \delta, k, C_p, \mu, \rho, p, \beta g(T_s - T_f) \} \dots\dots\dots (1)$$

atau

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



**Gambar : Skema Eksperimen Kotak Rongga Vakum**

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

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

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

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

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

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

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

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

atau :

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

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

**Peralatan Eksperimen**

Eksperimen ini dilakukan untuk mendapatkan hubungan secara empiris/Korelasi variabel 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 rongga (diameter tabung).

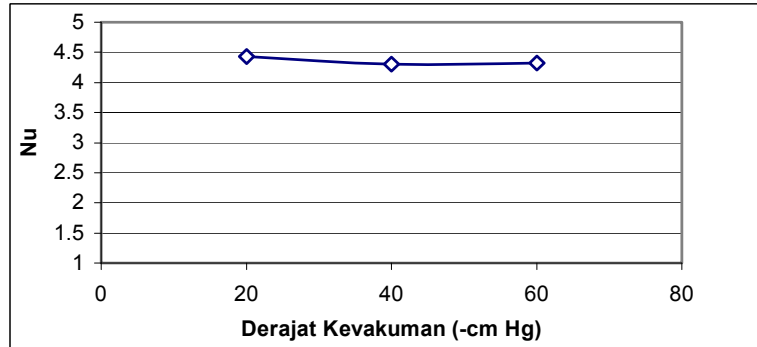
Peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut :

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 menvakumkan tabung annulus/rongga.
6. Acquisisi data, difungsikan untuk merekam input data dari sensor atau termokopel, 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.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hubungan Derajat Kevakuman Terhadap Bilangan Nusselt dan Bilangan Rayleigh**



Gambar 1 :  
 Hubungan Derajat kevakuman terhadap Bilangan Nusselt Pada  
 Posisi benda uji = 90<sup>0</sup> dan Temperatur Permukaan = 45 °C

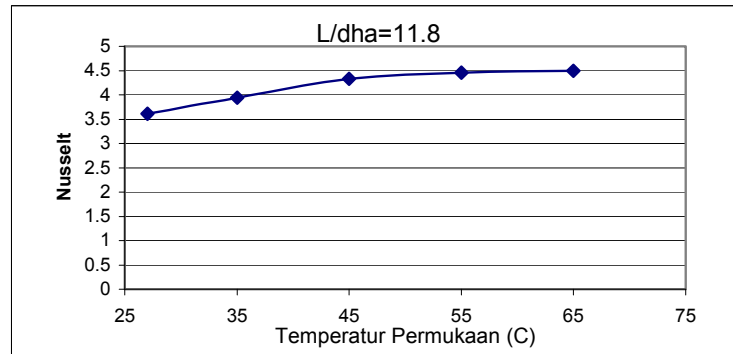
Simbol :  $\Gamma \frac{L}{\delta} = 11.8$

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 bahwa kecepatan pergerakan fluida atau molekul membawa energi semakin lambat, sehingga akan mempengaruhi selisih kerapatan jenis free stream dengan kerapatan jenis mula-mula ( $\rho_{\infty} - \rho$ ). Untuk aspek ratio rongga ( $\frac{L}{\delta} = 11.8$ ) yang besar atau rongga tipis mempunyai harga bilangan Nusselt lebih besar, karena kecepatan pergerakan molekul membawa energi lebih cepat atau karena efek adanya kecepatan pergerakan fluida yang semakin besar akan mengakibatkan bilangan Reynold yang terjadi juga semakin besar. Akibat dari pergerakan molekul membawa energi lebih cepat maka akan memberikan selisih kerapatan antara kerapatan free stream dengan kerapatan mula-mula akan semakin kecil sehingga gaya apung yang timbul adalah semakin kecil akibatnya bilangan nusselt akan semakin besar. Karena bilangan nusselt merupakan fungsi dari bilangan Grasshof. Dari gambar 5-3, dimana derajat kevakuman – 60 cm Hg mempunyai harga bilangan Nusselt lebih kecil dibandingkan dengan derajat kevakuman yang lain yaitu : -20 cm Hg atau –40 cm Hg.

**Hubungan Variasi Temperatur Permukaan Terhadap Bilangan Nusselt**

Dari gambar 2, dapat disampaikan bahwa semakin besar beban temperatur yang diberikan dalam rongga ( aspek ratio =  $\frac{L}{\delta} = 11.8$  ) diperoleh harga bilangan Nusselt semakin naik. Untuk temperatur 65 C mempunyai bilangan Nusselt lebih besar dibandingkan dengan temperatur yang lain. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 65 C kecepatan pergerakan molekul membawa energi lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan temperatur yang lain.

Sehingga temperatur 65 C mempunyai bilangan Grashof lebih besar dibandingkan dengan temperatur 35 C, 45 C, atau 55 C . Sedangkan besar-kecilnya bilangan Grashof merupakan fungsi dari temperatur. Akibatnya semakin besar temperatur yang masuk maka bilangan Grashof semakin besar sehingga harga bilangan Nusselt juga akan semakin besar. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan semakin besar temperatur permukaan maka harga bilangan Nusselt semakin besar pula, karena bilangan Nuselt merupakan fungsi bilangan Rayleigh. Sedangkan bilangan Rayleigh merupakan fungsi bilangan Grashof.

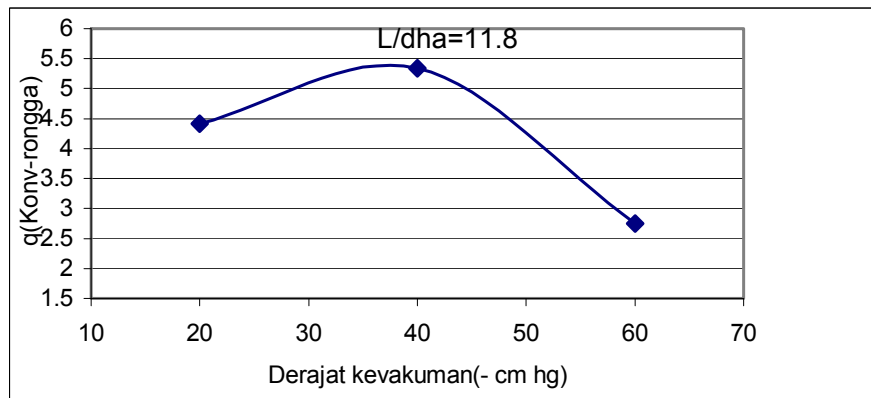


Gambar 2 :  
 Hubungan Temperatur Permukaan Terhadap Bilangan Nusselt Pada  
 Posisi Benda Uji = 90<sup>0</sup> dan Tekanan Vakum = -60 cm Hg

Symbol :  $\Gamma \frac{L}{\delta} = 11.8$

**Hubungan Derajat Kevakuman terhadap Laju Perpindahan Panas Konveksi Alamiah Pada Rongga.**

Dari gambar 3 menunjukkan hubungan antara derajat kevakuman terhadap Laju perpindahan panas Konveksi Alamiah di rongga pada aspek ratio rongga ( $\frac{L}{\delta} = 11.8$ ).

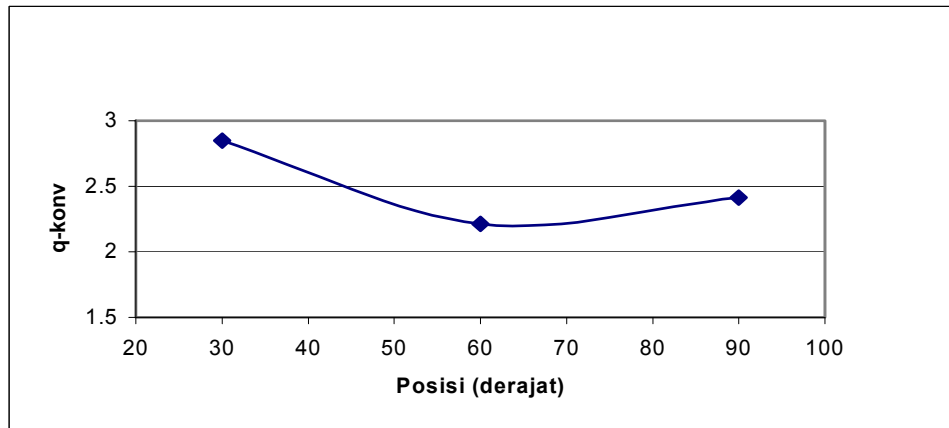


Gambar 3 :  
 Hubungan Derajat Kevakuman Terhadap Laju Perpindahan Panas Konveksi Alamiah di Rongga Pada Posisi Benda uji = 90<sup>0</sup> dan Temperatur Permukaan = 45<sup>0</sup>C

Simbol :  $\Gamma \frac{L}{\delta} = 11.8$

Dari gambar 3, menunjukkan bahwa semakin besar derajat kevakuman akan memberikan harga laju perpindahan panas konveksi pada rongga semakin kecil. Hal ini terjadi karena dengan besarnya kevakuman akan memberikan hambatan termal pada rongga menjadi besar. Selain itu pula *perbedaan kerapatan jenis* pada udara ( $\rho_{\infty} - \rho$ ) dalam rongga menjadi besar, sehingga pergerakan udara dalam rongga menjadi kecil akibatnya gaya apung yang terjadi juga kecil. Dengan gaya apung yang bergerak secara konveksi menjadi kecil, juga akan berdampak pada gaya bodi semakin kecil pula akibatnya akan mempengaruhi besarnya harga driving force ( $\delta T$ ). Sedangkan derajat kevakuman -60 Cm Hg mempunyai laju perpindahan panas konveksi alamiah kecil bila dibandingkan dengan derajat kevakuman yang lain.

Gambar 4, menunjukkan hubungan anantara posisi benda uji terhadap laju perpindahan panas konveksi alamiah di rongga pada aspek ratio rongga  $\frac{L}{\delta} = 11.8$ , derajat kevakuman rongga = -60 cm Hg (160 torr) dan temperatur permukaan = 45 °C. Dari gambar dibawah dapat disampaikan bahwa semakin besar posisi benda uji, besarnya laju perpindahan panas konveksi alamiah pada rongga berfluktuasi. Sedangkan posisi yang mempunyai laju perpindahan panas konveksi alamiah yang rendah adalah posisi 60°. Hal ini disebabkan karena pada posisi 60 derajat, mempunyai hambatan termal yang lebih besar karena efek pergerakan udara dalam rongga terganggu oleh bodi dinding dalam, sehingga mengakibatkan distribusi temperatur pada rongga menjadi tidak merata

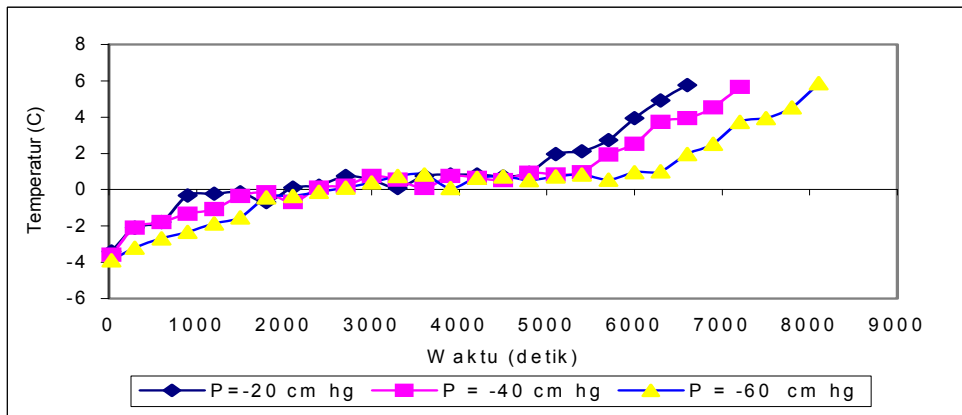


Gambar 4:  
 Hubungan Posisi Benda Uji Terhadap Laju Perpindahan Panas Konveksi Alamiah di Rongga  
 Pada Tekanan Vakum = -60 cm Hg dan  
 Temperatur Permukaan = 45 °C

**Validasi Eksperimen**

Untuk memberikan satu argumentasi pengaruh derajat kevakuman dalam rongga , maka validasi yang digunakan adalah mengamati temperatur yang terjadi selama es mencair (waktu yang dibutuhkan). Sedangkan berat es yang dicairkan adalah 300 gram. Gambar dibawah ini menjelaskan seberapa besar waktu yang dibutuhkan untuk es bisa mencair, dan sekaligus juga memberikan informasi besarnya temperatur es.

Dalam validasi eksperimen ini benda yang diuji adalah aspek ratio rongga ( $\frac{L}{\delta}$ ) = 11.8 , sedangkan benda uji ini mendapatkan perlakuan berupa derajat kevakuman yang berbeda yaitu -20 cm Hg (560 torr), -40 cm Hg (360 torr) dan -60 cm Hg (160 torr) serta diberikan perlakuan temperatur permukaan pada tabung luar sebesar : 45 °C .



Gambar 5:  
Validasi Eksperimen

Hubungan Waktu Terhadap Temperatur Es mencair Pada  $\frac{L}{\delta} = 11.8$  dan Temperatur Permukaan = 45 °C

Dari gambar 5: diperoleh bahwa Tekanan Kevakuman = -60 cm Hg, mempunyai waktu yang lebih lama untuk es bisa mencair, bila dibandingkan dengan tekanan kevakuman -20 cm Hg (560 torr) dan -40 cm Hg (360 torr), hal ini disebabkan semakin besar derajat/tekanan kevakuman , maka hambatan termal yang terjadi dalam rongga semakin besar , sehingga aliran panas menuju ruang es menjadi kecil (temperatur kecil). Selain itu, dengan derajat kevakuman yang besar akan mengakibatkan perubahan kerapatan jenis menjadi besar dan kecepatan aliran fluida (udara) dalam rongga menjadi lambat akibatnya gaya apung udara yang terjadi dalam rongga menjadi lemah, begitu juga gaya apung yang mengakibatkan arus konveksi disebut gaya bodi menjadi kecil pula. Akhirnya Gaya bodi ini akan menentukan besarnya temperatur free stream udara dalam rongga.



## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Suatu rongga yang diberi perlakuan variasi derajat kevakuman akan mampu memberikan kontribusi sebagai isolator.
2. Dari penelitian ini, derajat kevakuman  $-60$  cm Hg mempunyai laju perpindahan panas konveksi alamiah lebih rendah dibandingkan dengan derajat kevakuman  $-20$  cm Hg dan  $-40$  cm Hg. Artinya derajat kevakuman  $-60$  cm Hg mempunyai harga hambatan termal lebih besar (cocok sebagai isolator) khususnya dalam proses penyimpanan.
3. Untuk posisi benda uji ( $\theta$ ) =  $60^\circ$  dengan aspek ratio rongga ( $L/\delta$ ) = 11.8 harga laju perpindahan panas konveksi alamiah adalah lebih kecil dibandingkan dengan posisi benda uji ( $\theta$ ) =  $30^\circ$  dan  $90^\circ$ . Karena pada posisi benda uji ( $\theta$ ) =  $60^\circ$  mempunyai efektivitas gravitasi lebih kecil bila dibandingkan dengan posisi benda uji ( $\theta$ ) =  $30^\circ$  dan  $90^\circ$ .
4. Dari hasil uji validasi eksperimen, dapat disampaikan bahwa semakin besar derajat kevakuman ( $-60$  cm Hg) maka akan memberikan waktu mencair es *lebih lama*, bila dibandingkan dengan derajat kevakuman yang lebih rendah ( $-20$  cm Hg atau  $-40$  cm Hg). Hal ini terjadi, karena pada tekanan kevakuman  $-60$  cm Hg mempunyai hambatan termal lebih besar sehingga perbedaan temperatur free stream dengan temperatur dinding tabung dalam sisi luar adalah kecil sehingga waktu yang dibutuhkan untuk es mencair lebih lama.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Laccarino g, Ooi A, (1998), *Heat Transfer Predictions in Cavities*, Center for Turbulent Research, University of New South Wales, Australia.
2. 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
3. Ousthuizen H Patrick, David Naylor, (1999), *An Introduction to Convective Heat Transfer Analysis*, McGraw-Hill, Singapore.
4. Roth A, (1989), *Vacuum Technologi*, North Holland, Amsterdam.
5. Setterfield Barry, (2002), *Exploring The Vacuum*, Journal of Theoritis, Journal home Page.
6. Wang Q.W. dkk, (2000), *An Experiment Investigation of Natural convection in a Cubic Inclined Enclosure with Multiple Isolated Plates*, Journal Heat Transfer, ASME
7. Xundan Shi, dkk, (2003), *Laminar Natural Convection Heat Transfer in a differentially heated square cavity due to a thin fin on the hot wall*, Journal Heat Transfer, ASME.
8. Yarwood J, (1955), *High Vacuum Technique*, Chapman & Hall, London.