

# STUDI EKSPERIMENTAL KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR ALIRAN GELEMBUNG MELALUI PIPA ANULUS DENGAN PEMANASAN DINDING PIPA DALAM

Sartono putro<sup>1</sup>, Sarjito<sup>1</sup>, dan Jatmiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Jurusan Teknik Mesin UMS

<sup>2</sup>) Jurusan Teknik Elektro UMS

Jl. Ahmad Yani Pabelan Kartasura, Tromol Pos 1

Telp (0271)715448 Surakarta

## ABTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan perubahan debit air, debit udara, dan fluks kalor terhadap koefisien perpindahan kalor. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air dari bawah dan menginjeksikan udara dari bawah dalam bentuk gelembung-gelembung udara. Seksi uji dibuat dari pipa acrylic dengan diameter dalam 60 mm, panjang 210 mm agar bentuk gelembung udara dan aliran air bisa dilihat. Untuk mengukur temperatur dinding dipasang dua titik thermokopel pada bagian luar dinding, sedangkan temperature fluida diukur dengan memasang termokopel disepanjang pipa uji. Di dalam pipa acrylic dipasang heater dengan diameter tabung imajener 50 mm, panjang 1800 mm dengan daya 1000 watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor eksperimen meningkat dengan meningkatnya debit udara dan menurun dengan meningkatnya debit air. koefisien perpindahan kalor tertinggi sebesar  $4340,602 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  pada fluks kalor listrik  $29582,448 \text{ W/m}^2$ , debit air 3LPM dan debit udara 9LPM.

**Kata Kunci:** perpindahan kalor, koefisien, dua fasa, gelembung udara

## ABSTRACT

Purpose of the research is to know correlation among changes of water debit, air debit, and heat flux. The research is performed by flowing water from bottom side and injecting air in form of air bubbles from bottom side. Test section is made from acrylic pipe with diameter of 60 mm and 210 m in length in order to make the air bubbles and water flow being seen clearly. Two points of thermocouples are installed at outer wall to measure wall temperature, whereas fluid temperature is measured by installing thermocouple along the test pipe. A heater with imager tube of 50 mm in diameter and 1800 mm in length and current of 1000 watt is installed within acrylic pipe. Result of the research indicated that coefficient of experiment heat flux increased when air debit was greater and it decreased when water debit was greater. The highest heat flux coefficient was  $4340.602 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  at electric heat flux of  $29582.448 \text{ W/m}^2$ , water debit was 3LPM and air debit was 9LPM.

**Keywords:** heat flux, coefficient, two phases, air bubbles.

## PENDAHULUAN

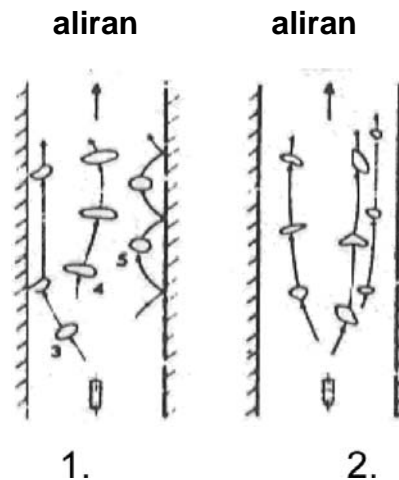
Ada tiga macam jenis *water heater* yang banyak digunakan oleh masyarakat yaitu, *solar water heater*, *water heater* dengan energi gas (LPG) dan *water heater* dengan energi listrik. Jenis *water heater* dengan energi listrik memiliki beberapa keunggulan yaitu, dimensinya praktis, aman dari bahaya meledak atau kebakaran, tidak tergantung dengan cuaca.

Namun demikian *water heater* dengan energi listrik mempunyai kelemahan antara lain membutuhkan daya listrik yang besar untuk jenis dengan metode pemanasan *flow boiling*. Oleh karena itu, diperlukan suatu rancangan model *water heater* dengan energi listrik yang memiliki koefisien perpindahan kalor yang tinggi sehingga tidak membutuhkan daya listrik besar dan hemat.

Upaya untuk meningkatkan koefisien perpindahan kalor dilakukan peneliti dengan injeksi gelembung udara pada aliran air untuk merusak pola laminarisasi. Injeksi gelembung udara dalam aliran air digunakan untuk “mengaduk” aliran air sehingga transfer kalor dari dinding *heater* ke aliran air bisa lebih cepat. Hasil yang ingin dicapai adalah mengetahui koefisien perpindahan kalor yang tinggi dari tiga variasi debit udara dan tiga variasi debit air.

Sekoguchi *et al.* (1981), dalam penelitiannya mengenai karakteristik aliran gelembung vertikal menyatakan bahwa, terdapat dua bentuk pergerakan gelembung yaitu, *sliding bubble* dan *coring bubble*. Pada Gambar 1. ditunjukkan, gelembung yang berukuran kurang dari 5 mm akan bergerak menuju dinding kemudian *sliding* (#3), sedangkan gelembung yang ukurannya lebih besar mengalir di tengah aliran dengan gerakan spiral (#4). Bila kecepatan aliran air dikurangi, maka *sliding bubbles*

akan berubah secara perlahan menjadi *hopping bubbles* (#5), perilaku ini terjadi pada daerah kecepatan air di antara -0,3 s.d. 0,3 m/s. Apabila kecepatan aliran air lebih dari 2 m/s, maka tidak ada gelembung yang *sliding* di dinding, melainkan bergerak pada jarak tertentu dari dinding (Gambar 1.2.).

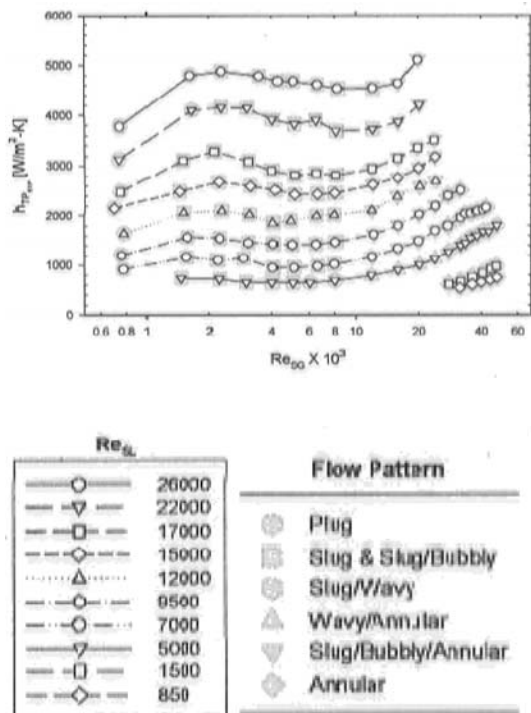


Gambar 1.  
Gerakan Gelembung Tunggal pada Aliran Air (Sekoguchi, 1981)

Sementara itu Kamal (2002), melakukan penelitian koefisien perpindahan kalor aliran kantung air-udara dalam pipa vertikal yang dipanaskan tanpa pendidihan. Peralatan utama untuk melakukan percobaan adalah sebuah pipa *stainless steel* diameter 12,7 mm dan panjang 1500 mm, ujung atas dan bawah pipa dipasang pipa transparan untuk mengetahui pola aliran fluida uji. Sepanjang pipa uji diberi elemen pemanas listrik yang mampu menghasilkan fluks kalor 400 kW/m<sup>2</sup>. Untuk mengukur temperatur dinding dipasang 10 termokopel sepanjang pipa uji, temperatur aliran masuk dan keluar diukur menggunakan termokopel yang dipasang masuk sampai sumbu pipa.

Ghajar (2004), melakukan penelitian perpindahan kalor aliran dua fasa gas-

cair dalam pipa tanpa pendidihan, hubungan koefisien perpindahan kalor dua fasa berbagai pola aliran terhadap bilangan Reynold superfisial gas menunjukkan adanya peningkatan harga koefisien perpindahan kalor pada awal penambahan udara yang kemudian menurun dan meningkat lagi sesuai pertambahan kecepatan superfisial gas.



Gambar 2.

Hubungan antara Koefisien Perpindahan Kalor Dua Fasa Berbagai Pola Aliran terhadap Bilangan Reynold Superfisial Gas (Ghajar, 2004)

Koefisien perpindahan kalor eksperimen dihitung dari koefisien perpindahan kalor lokal masing-masing segmen (Ghajar, 2004). Kalor yang diserap oleh fluida dua fasa adalah,.....(1) dengan ( $Cp_{tp}$ ) kalor jenis gabungan yang dirumuskan

Burmeister (1983), yaitu: .....(2) dengan fraksi udara, .....(3) dan fraksi air, .....(4) Koefisien perpindahan kalor lokal dihitung dengan persamaan sebagai berikut. ....(5)  $T_b$  dan  $T_w$  adalah temperatur *bulk* dan *wall* fluida pada masing-masing segmen. Koefisien perpindahan kalor seluruh pipa uji merupakan hasil rata-rata dari koefisien perpindahan kalor masing-masing segmen.

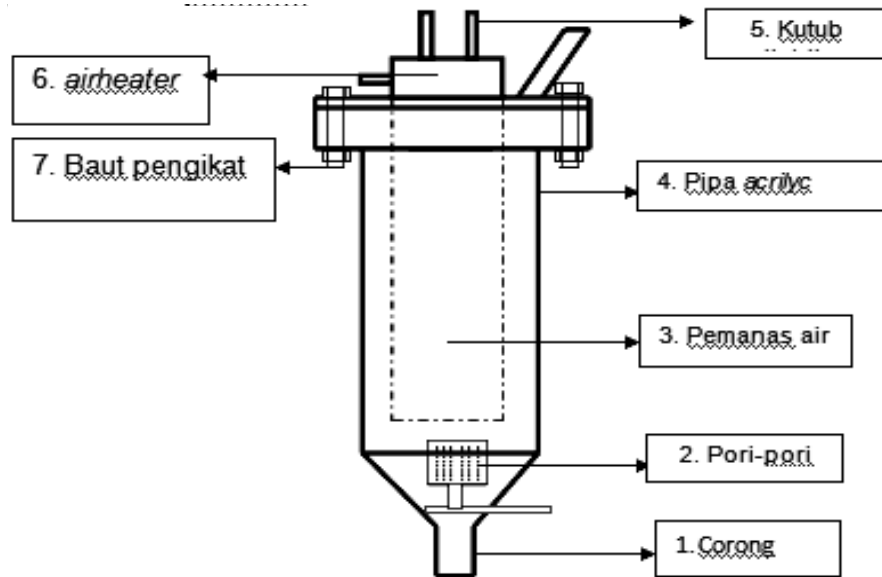
Dari uraian diatas, maka pengetahuan akan variabel yang mempengaruhi besarnya koefisien perpindahan kalor pada *water heater* dengan variasi terbaik sangat penting untuk diketahui. Untuk mendapatkan desain pemanas air dengan metode *flow boiling* dengan injeksi gelembung udara yang mampu meningkatkan koefisien perpindahan kalor dirumuskan permasalahannya sebagai berikut.

1. Bagaimana hubungan antara koefisien perpindahan kalor ( $h$ ) dengan perubahan debit air ( $Ql$ ), dan debit udara ( $Qg$ ), serta fluks kalor ( $q''$ ).
2. Bagaimana pengoptimalan koefisiensi perpindahan kalor ( $h$ ) dengan injeksi gelembung udara pada pipa annulus yang dipasang secara vertikal.

Tujuan perencanaan dan pembuatan alat ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan antara koefisien perpindahan kalor ( $h$ ) dengan perubahan debit air ( $Ql$ ), dan debit udara ( $Qg$ ), serta fluks kalor ( $q''$ ).
2. Bagaimana pengoptimalan koefisiensi perpindahan kalor ( $h$ ) dengan injeksi gelembung udara pada pipa annulus yang dipasang secara vertikal.

## METODE PENELITIAN



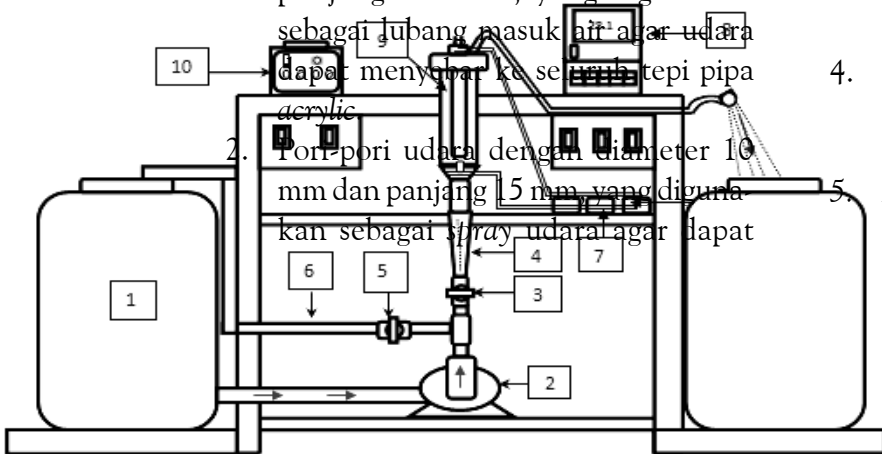
Gambar 3. Model Pemanas Air

Keterangan gambar:

1. Konis dengan diameter lubang masuk 12,5 mm, diameter keluar 72 mm dan panjang 100 mm, yang digunakan sebagai lubang masuk air agar udara dapat menyuar ke seluruh tepi pipa acrylic
2. Pori-pori udara dengan diameter 10 mm dan panjang 15 mm, yang digunakan sebagai spray udara agar dapat

membentuk gelembung yang bagus dan merata sampai tepi pipa acrylic.

3. Pipa tembaga dengan diameter luar 50 mm, dan panjang 180 mm, yang digunakan sebagai tube.
4. Pipa acrylic diameter 70 mm, diameter dalam 60 mm dan panjang 210 mm, yang berfungsi sebagai pipa annulus.
5. Airheater penghasil udara hangat yang kemudian disalurkan menuju aerator

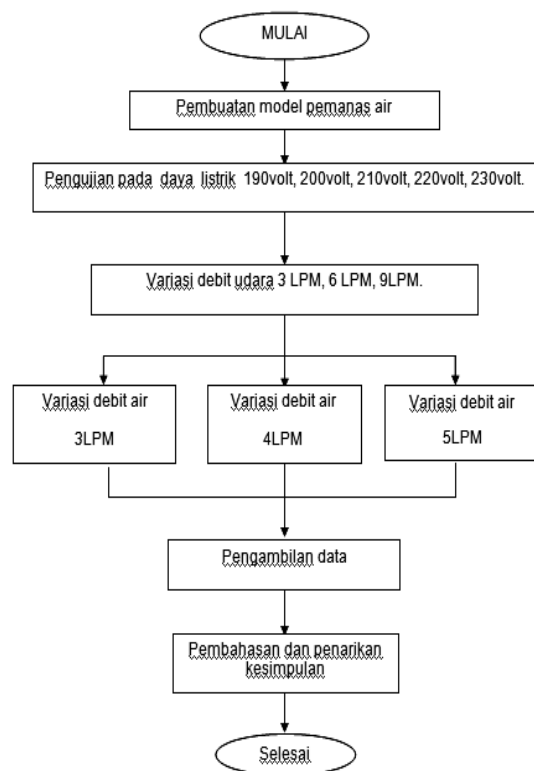


Gambar 4. Skema Instalasi Percobaan

Keterangan gambar:

1. Tanki air,
2. Pompa air,
3. Katub masuk,
4. *Flow meter*,
5. Katub keluar,
6. Pipa pvc,
7. Aerator,
8. Thermometer digital,
9. Alat eksperimen,
10. *Voltage regulator*.

Diagram Alir Penelitian Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

Dalam penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan adalah fluida air sebagai fluida dingin, gelembung udara sebagai fluida gas dan sumber energi listrik untuk memanasi pipa pemanas. Pengujian dilakukan di labora-

torium konversi energi Jurusan Teknin Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

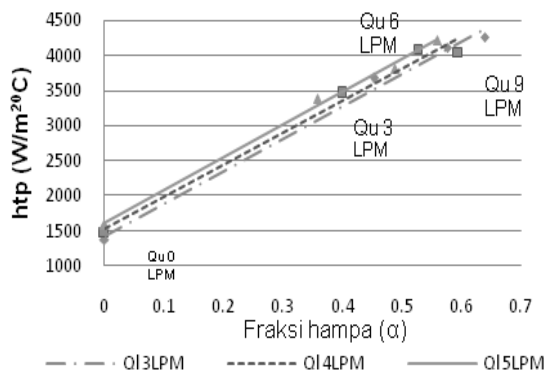
Untuk memperoleh hasil yang maksimal dalam melakukan penelitian dan untuk mengetahui performa dari suatu *waterheater*, maka dilakukan beberapa tahapan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Pastikan isi tangki penuh,
2. Hidupkan *aerator* dan pompa air
3. Atur aliran air menggunakan katub masuk dan katub keluar sesuai variasi debit air yang dibutuhkan dengan mengamati *flowmeter*.
4. Atur aliran gelembung udara dengan menghidupkan aerator sesuai dengan besar debit yang dibutuhkan
5. Hidupkan pemanas listrik dan atur tegangan yang digunakan dengan *potensiometer voltage regulator*.
6. Tunggu sampai 4 menit pertama.
7. Catat debit air pada *flowmeter*, debit udara pada aerator yang digunakan, dan temperatur pada setiap titik menggunakan *multipoint selector* dan *thermometer reader*.
8. Tunggu sampai 4 menit kedua lanjutkan sampai 4 menit kelima.

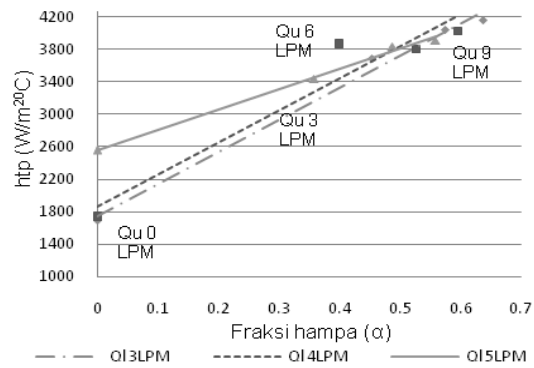
## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Pengaruh perubahan debit udara terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa.**

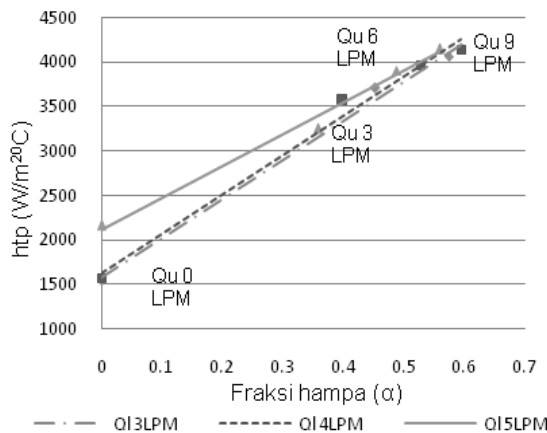
Koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa diamati pada fluks kalor listrik antara  $29582.448 \text{ W/m}^2$  sampai dengan  $42321.302 \text{ W/m}^2$ , berdasarkan pada temperatur dinding dan jenis pola aliran gelembung yang dihasilkan.



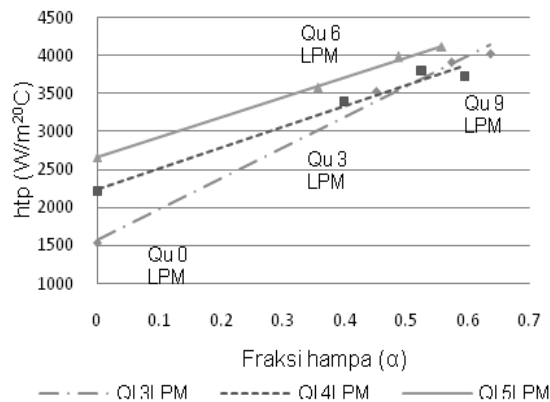
Gambar 6. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fraksi Hampa pada Fluks Kalor 29582.448 W/m<sup>2</sup>



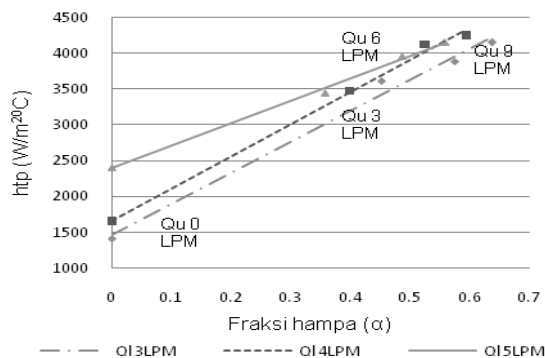
Gambar 9. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fraksi Hampa pada Fluks Kalor 38924.274 W/m<sup>2</sup>



Gambar 7. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fraksi Hampa pada Fluks Kalor 32554.84 W/m<sup>2</sup>



Gambar 10. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fraksi Hampa pada Fluks Kalor 42321.302 W/m<sup>2</sup>



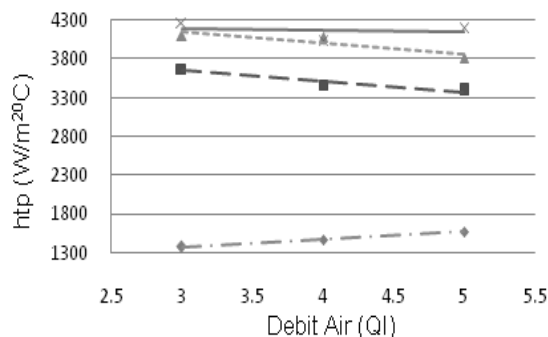
Gambar 8. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fraksi Hampa pada Fluks Kalor 35668.789 W/m<sup>2</sup>

Gambar 6 sampai dengan Gambar 10 menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa secara signifikan mulai dari debit udara  $Q_g 0$  lpm sampai  $Q_g 3$  lpm. Peningkatan debit udara  $Q_g 3$  lpm sampai dengan  $Q_g 6$  lpm, koefisien perpindahan kalor meningkat lagi tapi tidak begitu signifikan. Sedangkan peningkatan debit udara  $Q_g 6$  lpm sampai dengan  $Q_g 9$  lpm, kondisi berbeda untuk setiap variasi fluks kalor.

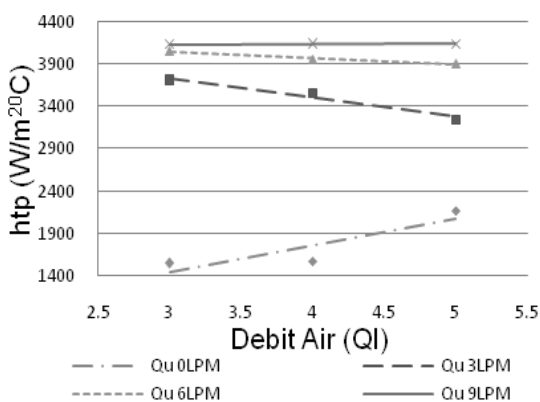
Peningkatan yang sangat signifikan pada koefisien perpindahan kalor dari

penambahan debit udara dari  $Q_g$  0 lpm sampai  $Q_g$  3. Ini berarti gerakan gelembung mampu “mengaduk” aliran air secara merata sehingga transfer kalor dari dinding heater ke aliran air lebih besar. Sedangkan kenaikan debit udara setelah  $Q_g$  3 lpm kondisi berbeda untuk setiap varian debit air ( $Q_l$ ) dan fluks kalor ( $q''$ ). Penjelasan yang dapat dikemukakan adalah perubahan dimensi gelembung, jumlah gelembung dan gerakan gelembung

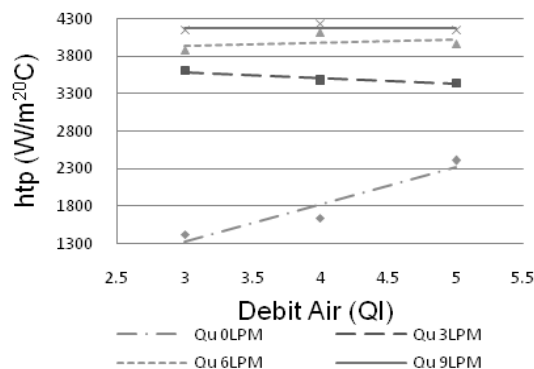
**Pengaruh perubahan Debit Air terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa.**



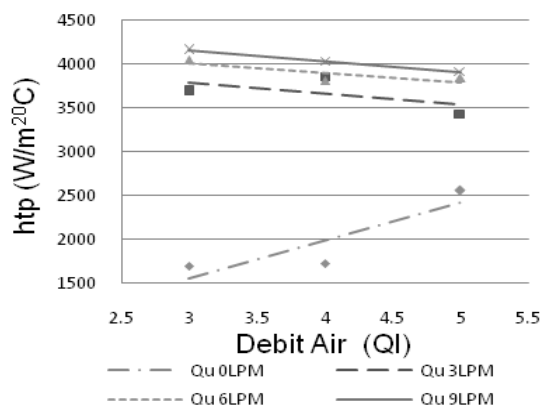
Gambar 11. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Debit Air pada Fluks Kalor  $29582.448 \text{ W/m}^2$



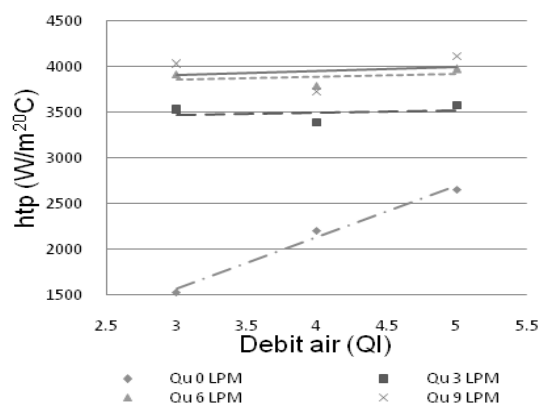
Gambar 12. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Debit Air pada Fluks Kalor  $32554.84 \text{ W/m}^2$



Gambar 13. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Debit Air pada Fluks Kalor  $35668.789 \text{ W/m}^2$



Gambar 14. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Debit Air pada Fluks Kalor  $38924.274 \text{ W/m}^2$

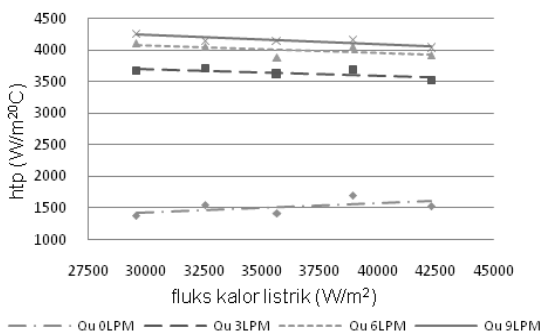


Gambar 15. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Debit Air pada Fluks Kalor  $42321.302 \text{ W/m}^2$

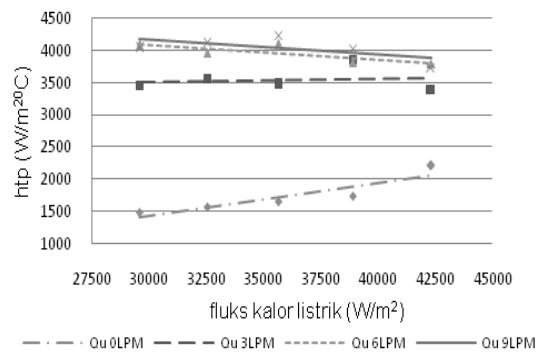
Gambar 11 sampai 15 menginformasikan bahwa kenaikan debit udara ( $Q_g$ ), secara umum menaikkan koefisien perpindahan kalor dua fasa. Kondisi ini berlaku pada semua fluks kalor ( $q''$ ) variasi penelitian. Penambahan debit air juga berpengaruh pada peningkatan koefisien perpindahan kalor pada debit udara  $Q_g$  0 lpm. Hal ini didasari dari pengaruh penambahan debit air yang menyebabkan peningkatan nilai Bilangan Reynolds. Koefisien perpindahan kalor sangat dipengaruhi oleh angka Reynolds. Tapi pada penambahan gelembung pada variasi penambahan debit air koefisien perpindahan kalor menjadi cenderung turun. Hal ini lebih disebabkan pengaruh Bilangan Reynolds kurang begitu besar dibandingkan perubahan pola aliran akibat adanya aliran gelembung.

Aliran gelembung terbukti mampu merusak laminari air sehingga perpindahan kalor dapat lebih cepat. Saat penambahan debit air malah membuat koefisien perpindahan kalor menjadi cenderung turun karena gelembung udara mengalir lebih ke tengah sehingga perpindahan kalor kurang maksimal.

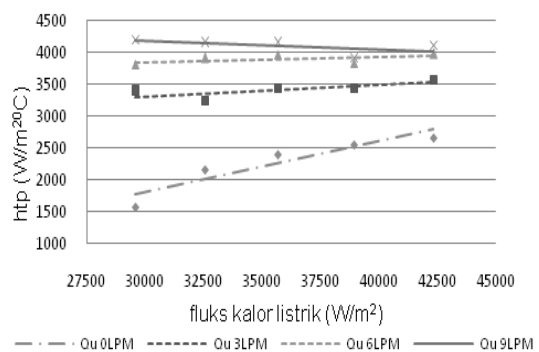
### Pengaruh perubahan fluks kalor listrik terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa.



Gambar 16. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fluks Kalor pada Debit Air 3 lpm



Gambar 17. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fluks Kalor pada Debit Air 4 lpm



Gambar 18. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Dua Fasa dengan Fluks Kalor pada Debit Air 5 lpm

Gambar 16 sampai dengan Gambar 18 menunjukkan bahwa peningkatan koefisien perpindahan kalor dua fasa oleh peningkatan fluks kalor listrik hanya terjadi pada debit udara  $Q_u$  0 lpm. Secara umum dapat dikatakan peningkatan fluks kalor tidak begitu berpengaruh secara signifikan terhadap kenaikan koefisien perpindahan kalor, bahkan pada beberapa kondisi cenderung turun. Kondisi ini dikarenakan kemampuan aliran gelembung dalam “mengaduk” aliran air merupakan faktor dominan yang berpengaruh terhadap koefisien perpindahan kalor dua fasa.

Nilai koefisien perpindahan kalor dua fasa tertinggi terdapat pada fluks kalor listrik 29582,448  $W/m^2$ , debit air 3 lpm dan



debit udara 9 lpm sebesar 4340,602 W/m<sup>2</sup> °C. Nilai koefisien perpindahan kalor terendah terdapat pada fluks kalor listrik 32554,847 W/m<sup>2</sup>, debit air 5 lpm dan debit udara 3 lpm sebesar 3179,847 W/m<sup>2</sup>°C.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari hasil penelitian eksperimen, analisa perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh perubahan debit air, debit udara dan, fluks kalor listrik;
  - a) Perubahan debit air ( $Ql$ ) membuat koefisien perpindahan kalor menjadi cenderung turun karena gelembung udara mengalir lebih ke tengah sehingga perpindahan kalor kurang maksimal.
  - b) Perubahan debit udara ( $Qg$ ) menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa secara signifikan.

c) Peningkatan fluks kalor listrik (W/m<sup>2</sup>) tidak begitu berpengaruh terhadap koefisien perpindahan kalor karena aliran sudah tidak laminar oleh pengaruh penambahan debit gelembung udara.

2. Nilai koefisien perpindahan kalor dua fasa tertinggi terdapat pada fluks kalor listrik 29582,448 W/m<sup>2</sup>, debit air 3 lpm dan debit udara 9 lpm sebesar 4340,602 W/m<sup>2</sup>°C. Nilai koefisien perpindahan kalor terendah terdapat pada fluks kalor listrik 32554,847 W/m<sup>2</sup>, debit air 5 lpm dan debit udara 3 lpm sebesar 3179,847 W/m<sup>2</sup>°C.

### Saran

1. Fluida air yang digunakan hendaknya menggunakan air yang bersih agar peralatan tidak kotor.
2. Usahakan temperatur pada fluida air masuk ( $Tin$ ) konstan, agar hasil analisisnya lebih akurat.
3. Ketelitian pembacaan alat ukur sangat penting, terutama dalam pengukuran temperatur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Burmeister, L.C., 1983, *Convective Heat Transfer*, John Wiley & Sons, New York.
- Ghajar, A.J., 2004, Systematic Heat Transfer Measurements For Air-Water Two-Phase Flow In A Horizontal And Slightly Upward Inclined Pipe, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Brazilian Congress of Thermal Science and Engineering-ENCIT 2004 Braz. Soc. Of Mechanical Sciences and Engineering-ABCM*, Rio de Janeiro Nov. 29-Dec. 03, 2004.
- Ghajar, A.J., 2004, Two-Phase Heat Transfer In Gas-Liquid Non-Boiling Pipe Flows, *HEFA 2004 3<sup>rd</sup> International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics 21-24 June 2004*, Cape Town.
- Kamal, S. 2000, Studi Eksperimental Koefisien Perpindahan Kalor Aliran Dua Fasa pada Pipa Vertikal dalam Bentuk Aliran Kantung (Slug Flow) Menggunakan Aliran Udara-Air, *Teknosains*, 16B(1), 97-109. UGM, Yogyakarta.

- Mahmuddin, 1998, *Karakteristik Aliran Dua Fase (Gas-Cair) Berlawanan Arah Vertikal Dalam Saluran Berdiameter Kecil*, Master Tesis UGM, Yogyakarta
- Sekoguchi, K., Fukui, H., and Sato, Y., 1981, *Flow Characteristics And Heat Transfer In Vertical Bubble Flow*, ed. Bergles, A.E., and Ishigai, S., *Two-Phase Flow Dynamics*, Hemisphere Publishing Corporation, New York.