

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## M5-017 KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR DUA FASE (AIR-UDARA) ALIRAN GELEMBUNG DALAM PIPA HORISONTAL PADA PROSES PEMANASAN

**Matheus M. Dwinanto dan Verdy A. Koehuan**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik  
Universitas Nusa Cendana Kupang, NTT  
E-mail : m2\_dwinanto@yahoo.com

### **Abstrak**

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan koefisien perpindahan kalor dua fase aliran gelembung dalam pipa horisontal sirkular polos yang mengalami proses pemanasan (tanpa pendidihan). Penelitian dilakukan pada pipa tembaga tunggal berdiameter 24 mm dan panjang 1000 mm dengan fluks kalor konstan dari  $5968,17 \text{ W/m}^2$  sampai dengan  $10503,97 \text{ W/m}^2$  dan  $Re_{SG}$  dari 5235 samapai dengan 7369, dan  $Re_{SL}$  dari 8700 sampai dengan 21700. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa koefisien perpindahan kalor dua fase aliran gelembung dalam pipa horisontal akan bertambah besar dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan.

Kata kunci : Koefisien perpindahan kalor dua fase, aliran gelembung

### **Pendahuluan**

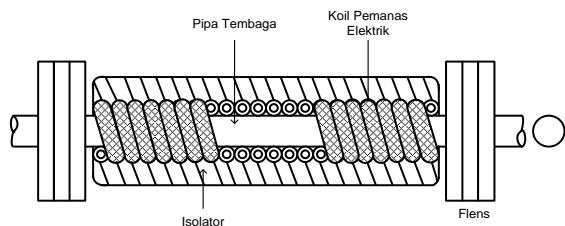
Perpindahan kalor dalam media aliran cair-gas banyak dijumpai dalam komponen-komponen sistem konversi energi. Perpindahan kalor yang terjadi dalam hal ini sangat ditentukan oleh koefisien perpindahan kalor, yang sangat dipengaruhi oleh hubungan kompleks antara *properties* fluida, dimensi, dan permukaan pipa serta pola aliran (*flow pattern*) dua fase. Aliran gelembung di dalam pipa horisontal memiliki karakteristik yang berbeda dengan aliran gelembung di dalam pipa vertikal, dimana pada pipa horisontal gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas pipa. Gelembung-gelembung gas ini dapat berbentuk gelembung homogen dan gelembung non homogen, yang pada saat mengalir bersama cairan cenderung untuk bergerak lebih cepat atau bergerak lebih lambat. Fenomena ini mengakibatkan koefisien perpindahan kalor dua fase aliran gelembung pada pipa horisontal yang dipanaskan akan berbeda dengan koefisien perpindahan kalor dua fase pada pipa vertikal, dan koefisien perpindahan kalor fase tunggal. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan koefisien perpindahan kalor dua fase aliran gelembung dalam pipa horisontal sirkular polos yang mengalami proses pemanasan (tanpa pendidihan).

### **Metode Penelitian**

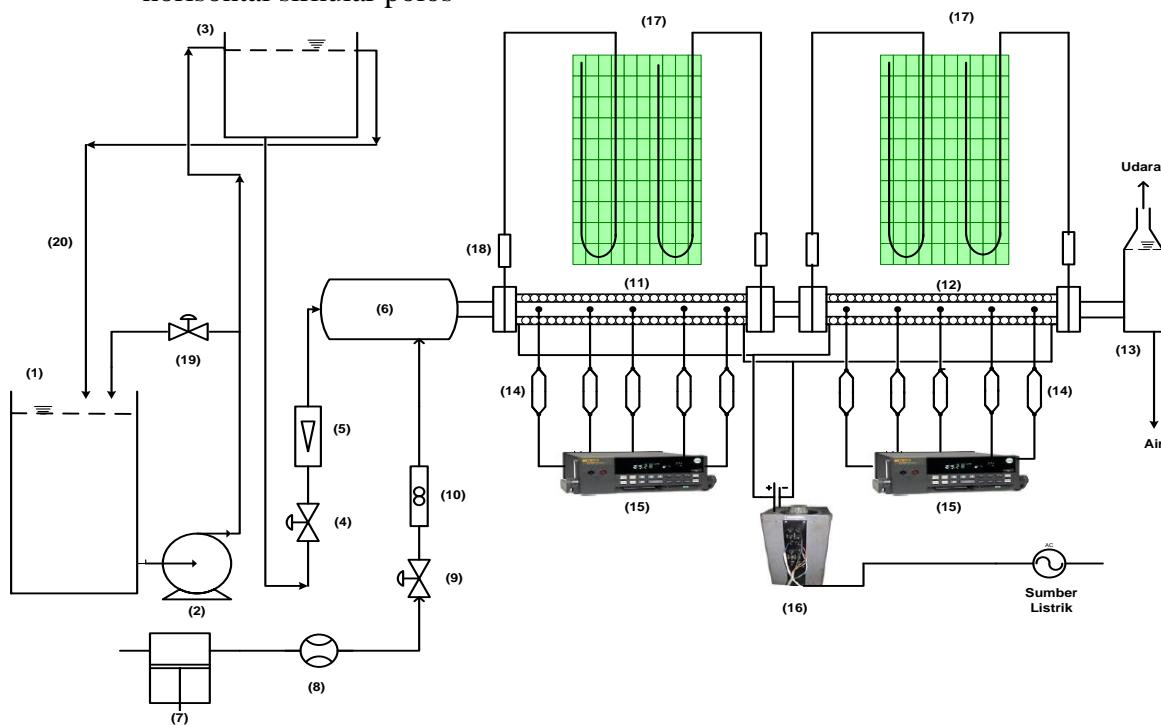
Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental pada pipa tembaga tunggal horisontal sirkular polos. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu alat utama, alat pendukung, dan alat ukur dan pengatur.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Gambar 1. Penampang Longitudinal pipa uji horisontal sirkular polos



Gambar 2. Diagram skematik instalasi penelitian

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

Keterangan gambar :

1. Tangki air bawah
2. Pompa sentrifugal
3. Tangki air atas
4. Katup pengatur aliran air
5. *Flowmeter* air
6. Pencampur air-udara
7. Kompresor sentrifugal
8. Regulator tekanan udara
9. Katup pengatur aliran udara
10. *Flowmeter* udara
11. Pipa uji 1
12. Pipa uji 2
13. Separator
14. Termokopel
15. *Digicator*
16. *Slide regulator*
17. Manometer-U
18. Penjebak tekanan
19. Katup *by pass*
20. Pipa pelimpah

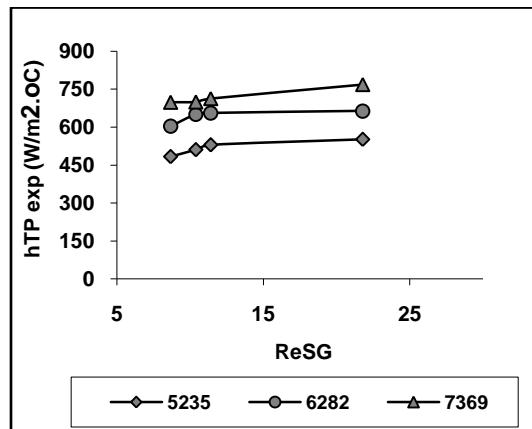
Aliran udara dan air ditunjukkan oleh arah anak panah. Pencampur udara-air digunakan untuk membentuk pola aliran gelembung sebelum aliran gelembung memasuki pipa uji. Pola aliran gelembung yang terbentuk akan terlihat pada pipa pleksiglas sebelum pipa uji, sedangkan pipa pleksiglas pada bagian setelah pipa uji digunakan untuk melihat perubahan bentuk pola aliran. Termokopel akan ditempatkan pada 10 titik sepanjang pipa uji dengan jarak antara tiap titik 100 mm. Termokopel ini digunakan untuk mengukur temperatur dinding pipa uji, dan temperatur *bulk* cairan. *Digicator* akan menampilkan pembacaan temperatur yang dilakukan oleh termokopel dalam setiap selang waktu (*t*) tertentu. Debit cairan diatur dengan menggunakan *flowmeter* air dan debit udara menggunakan *flowmeter* udara. Manometer-U digunakan untuk mengukur penurunan tekanan sepanjang pipa uji. Udara yang berasal dari kompresor, tekanan dan alirannya akan dijaga selalu konstan dengan menggunakan regulator tekanan udara. Parameter yang divariasikan adalah laju aliran air dan laju aliran udara sehingga membentuk aliran gelembung. Gelembung udara pada eksperimen ini sepenuhnya dihasilkan oleh pembangkit gelembung airator yang dipasang pada pencampur aliran. Laju aliran air diatur dengan menggunakan katup pengatur aliran air, sedangkan laju aliran udara dan tekanannya diatur dengan menggunakan regulator tekanan udara dan katup aliran udara. Tekanan udara yang diinjeksikan ke dalam aliran air dijaga tetap konstan sebesar  $1 \text{ kg/cm}^2$ . Fluks kalor yang diberikan oleh pemanas listrik ke pipa uji divariasikan dengan menaikkan tegangan pada *slide regulator*. Voltase listrik yang divariasikan, adalah : 90 volt, 100 volt, 110 volt, dan 120 volt. Pengambilan data dilakukan pada sistem setelah sistem dalam keadaan stedi (tunak). Keadaan stedi tercapai apabila pembacaan temperatur-temperatur tersebut sudah tidak banyak berubah. Data-data yang tersebut di atas akan digunakan menentukan koefisien perpindahan kalor dua fase aliran gelembung.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

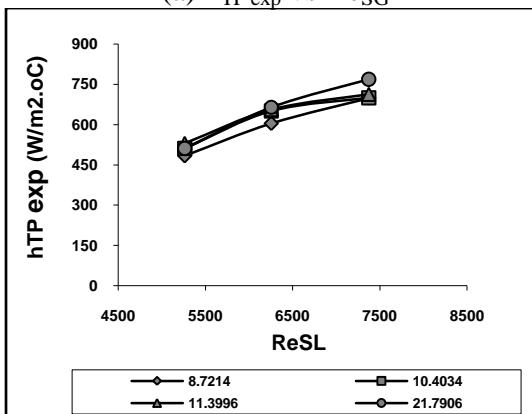
Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini fluks kalor divariasi antara  $5968,17 \text{ W/m}^2$  sampai dengan  $10503,97 \text{ W/m}^2$ . Selanjutnya hasil penelitian untuk setiap variasi fluks kalor disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara koefisien perpindahan kalor dua fase hasil eksperimen dengan bilangan Reynolds superfisial gas dan cairan.

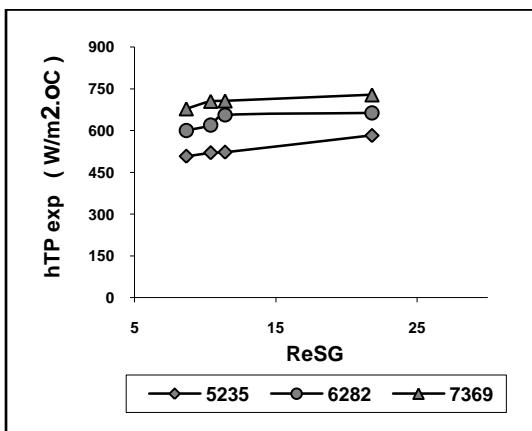


(a)  $h_{TP\ exp}$  vs  $Re_{SG}$



(b)  $h_{TP\ exp}$  vs  $Re_{SL}$

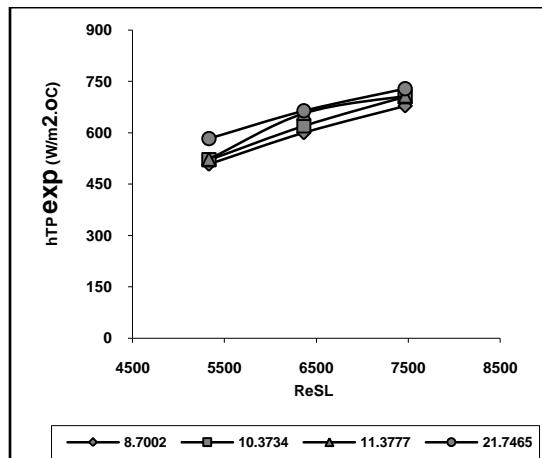
Gambar 3. Variasi  $h_{TP\ exp}$  fluks kalor  $5968,17 \text{ W/m}^2$



# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

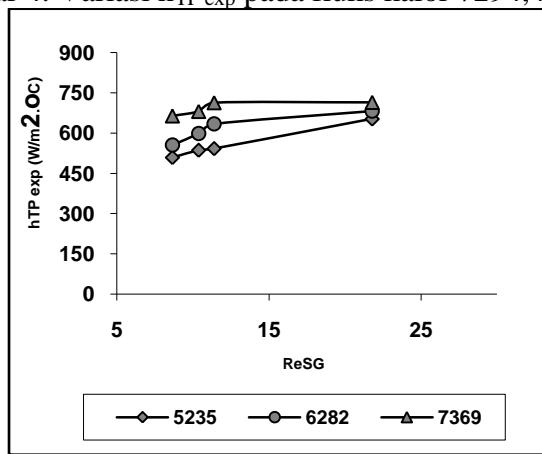
*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

(a)  $h_{TP\ exp}$  vs Re<sub>SL</sub>

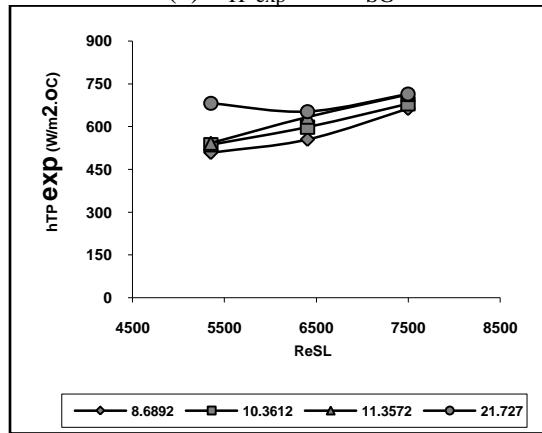


(b)  $h_{TP\ exp}$  vs Re<sub>SG</sub>

Gambar 4. Variasi  $h_{TP\ exp}$  pada fluks kalor  $7294,43 \text{ W/m}^2$



(a)  $h_{TP\ exp}$  vs Re<sub>SG</sub>

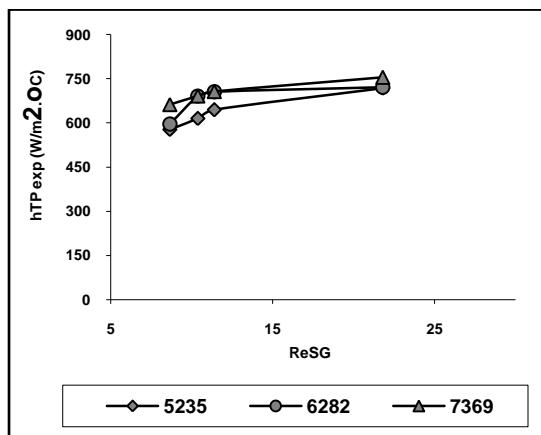


(b)  $h_{TP\ exp}$  vs Re<sub>SL</sub>

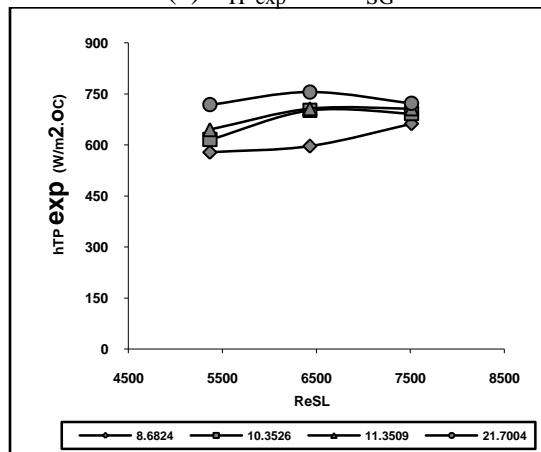
Gambar 5. Variasi  $h_{TP\ exp}$  pada fluks kalor  $9045,09 \text{ W/m}^2$

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



(a)  $h_{TP \text{ exp}}$  vs  $Re_{SG}$



(b)  $h_{TP \text{ exp}}$  vs  $Re_{SL}$

Gambar 6. Variasi  $h_{TP \text{ exp}}$  pada fluks kalor 10503,97 W/m<sup>2</sup>

Dari gambar 3. sampai dengan gambar 6., terlihat bahwa terjadi peningkatan koefisien perpindahan kalor dua fase dengan meningkatnya bilangan Reynolds superfisial gas dan bilangan Reynolds superfisial cairan. Secara umum peningkatan koefisien perpindahan kalor dua fase terjadi secara linier, hanya pada beberapa kasus koefisien perpindahan kalor dua fase meningkat secara eksponensial pada penambahan laju aliran udara dan laju aliran cairan. Pada kondisi aliran gelembung, gelembung udara yang terbentuk berukuran kecil dan bergerak pada bagian atas pipa uji secara acak pada arah melintang penampang pipa. Gerakan secara acak ini dapat merusak efek laminarisasi pada daerah dekat dinding pipa sehingga menyebabkan koefisien perpindahan kalor dua fase meningkat. Untuk penambahan gelembung udara yang lebih besar, gerakan gelembung udara semakin cepat sehingga turbulensi semakin besar di daerah dinding pipa pada bagian atas pipa uji, dan efek laminarisasi pada daerah dekat dinding pipa uji bagian bawah tetap terbentuk, sehingga peningkatan koefisien perpindahan kalor dua fase berkurang. Dengan meningkatnya debit air, gerakan gelembung udara akan cenderung terseret aliran air dari pada bergerak secara acak pada arah melintang penampang pipa.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi paksa dua fase aliran gelembung pada pipa horisontal akan meningkat dengan meningkatnya kecepatan superficial gas dan kecepatan superfisial cairan.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M) melalui Hibah Penelitian Kerja Sama Antar Perguruan Tinggi (Hibah PEKERTI) dengan surat perjanjian No.029/SP2H/PP/DP2M /III/2008, tanggal 6 Maret 2008.

## Daftar Pustaka

- Ghajar, A. J., 2004, Two-Phase Heat Transfer in Gas-Liquid Non-Boiling Pipe Flows, *3<sup>rd</sup> International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 21-24 June 2004, Cape Town, South Africa, Paper number : K2.
- Ghajar, A. J., et al., 2004, Systematic Heat Transfer Measurement for Air-Water Two-Phase Flow in a Horizontal and Slightly Upward Inclined Pipe, *Proceeding of the 10<sup>th</sup> Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering – ENCIT 2004*, Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering – ABCM, Rio de Janeiro, Brazil, Nov. 29 – Dec. 03, 2004, Paper CIT04 – 0471.
- Ghajar, A. J., 2005, Non-Boiling Heat Transfer in Gas – Liquid Flow in Pipes – a Tutorial, *Prensentated at ENCIT 2004 - 10<sup>th</sup> Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering*, Nov. 29 – Dec. 03, 2004, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Techinal Editor : Atila P. Silva Freire. Vol. XXVII, No. 1, January – March 2005, page 46 – 73.
- Hestroni, G., 1982, “*Handbook of Multiphase System*”, McGraw-Hill Book Com., New York.
- Kim, Jae-yong., and Ghajar, A. J., 2006, A General Heat Transfer Correlation for Non-Boiling Gas – Liquid Flow With Different Flow Patterns in Horizontal Pipes, *International Journal of Multiphase Flow*, 32, page 447 - 465.
- Sekoguchi, K., Fukui, H. and Sato, Y., 1981, “Flow Characteristics and Heat Transfer in Vertical Bubble Flow”, *Two-Phase Flow Dynamics*, Edited by Arthur E. Bergles and Seikan Ishigai, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Wardoyo, 2005, Koefisien Perpindahan Kalor Dua Fase (Air-Udara) Aliran Gelembung Searah Ke Atas Dalam Pipa Yang Dipanaskan, MT. Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.