

VISUALISASI ALIRAN KANTUNG DI DALAM PIPA VERTIKAL YANG DIPANASKAN

Kunarto

E-mail: irsyadfajar@yahoo.com

Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknik
UBL Bandar Lampung

Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air dari bawah dan udara dari bawah dalam bentuk aliran kantung. Alat uji terdiri atas pipa tembaga dengan D_i 24 mm panjang 1200 mm dililit dengan elemen pemanas listrik sepanjang pipa. Ujung atas dan bawah pipa tembaga disambung dengan pipa transparan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi. Untuk mengukur temperatur dinding dipasang termokopel di dinding luar pada tujuh titik sepanjang pipa, sedangkan temperatur fluida diukur dengan memasang termokopel pada sumbu pipa di sembilan titik sepanjang pipa.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan visualisasi aliran campuran udara-air yang mengalir di dalam pipa vertikal yang dipanaskan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan injector yang berlubang lebih besar mudah menghasilkan sehingga terbentuk aliran kantung yang berukuran panjang.

Kata kunci: Aliran dua fasa, aliran kantung, aliran searah keatas

Pendahuluan

Perpindahan kalor dalam media aliran gas-cair banyak dijumpai dalam komponen-komponen sistem konversi energi. Penelitian-penelitian yang berhubungan dengan koefisien perpindahan kalor dua fasa gas-cair terus dilakukan, hal ini sebagai upaya untuk memperbaiki prediksi tentang koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa sebagai informasi penting dalam perancangan alat penukar kalor.

Informasi mengenai perpindahan kalor dua fasa, dua komponen gas-cair tanpa pendidihan juga sangat diperlukan, fenomena ini banyak diaplikasi dalam banyak industri seperti pada pengaliran minyak dan gas alam. Penelitian perpindahan kalor aliran dua fasa dengan pendidihan lebih banyak dilakukan dari pada yang tanpa pendidihan.

Perancangan peralatan konversi energi dengan media aliran gas-cair memerlukan informasi yang cukup tentang karakteristik dari fluida. Kesalahan dalam perhitungan koefisien perpindahan kalor akan menyebabkan dimensi peralatan tersebut tidak sesuai lagi dengan kapasitasnya. Penelitian-penelitian yang berhubungan dengan koefisien perpindahan kalor dua fasa gas-cair terus dilakukan sebagai upaya memperbaiki prediksi tentang koefisien perpindahan kalor konveksi dua fasa sebagai informasi penting dalam perancangan alat penukar kalor.

Landasan Teori

1. Pola Aliran Vertikal

Aliran gas-cair dapat mempunyai berbagai konfigurasi geometri yang dikenal sebagai pola aliran. Parameter fisik yang penting dalam menentukan pola aliran adalah tegangan permukaan dan gravitasi. Pola aliran dalam pipa vertikal dan horisontal akan berbeda. Pada penelitian ini akan dilihat pola aliran dalam pipa vertikal dengan arah aliran keatas, ini dapat diperhatikan pada gambar 1.

Banyak kriteria pola aliran yang kita perhatikan baik dari literatur dan penelitian-penelitian, tetapi maksud dan tujuannya adalah sama. Deskripsi pola aliran menurut Collier (1980), dengan arah aliran keatas adalah sebagai berikut :

a. Aliran gelembung (*Bubble flow*).

Dalam aliran gelembung fasa gas atau uap disebarkan sebagai gelembung yang mempunyai ciri tersendiri dalam fasa cairan secara kontiniu. Pada satu sisi gelembung bisa kecil dan berbentuk bulat dan disisi lain gelembung bisa besar dengan bentuk bulat dan datar. Dalam kondisi ini ukuran gelembung tidak mendekati diameter pipa, bentuk dan ukuran dapat dianggap sama (*uniform*).

b. Aliran kantung gas atau sumbat cairan (*Plug / Slug flow*).

Dalam aliran ini ukuran gelembung gas atau uap kira-kira mendekati diameter pipa. Wujud gelembung berbentuk bulat seperti kepala topi yang memanjang dan gas dalam gelembung dipisahkan dari dinding pipa dengan lapisan film cairan yang turun secara perlahan lahan. Aliran

cairan berisi sumbat cairan yang dipisahkan gelembung gas secara terus menerus. Sumbat cairan dapat atau tidak diisi gelembung gas kecil yang diperoleh setelah gelembung besar. Panjang gelembung gas sangat bervariasi.

c. Aliran acak (*Churn flow*).

Aliran acak dibentuk dari pecahnya gelembung uap besar dalam aliran sumbat cairan. Dari sekian banyak atau sedikit kacau balau/semrawut bentuknya aliran gas atau uap melalui cairan terutama pada dinding saluran. Aliran ini berosilasi atau dalam karakter waktu yang berubah-ubah. Aliran ini juga kadang-kadang disebut sebagai aliran semi-cincin (*semi-annular*) atau aliran cincin sumbat cairan (*slug-annular*).

d. Aliran cincin kabut tetes cairan (*Wispy-Annular flow*).

Aliran dalam pola ini berbentuk lapisan film tipis pada dinding pipa bersama dengan sebagian besar cairan yang ditampung dalam bagian tengah gas atau uap. Cairan dalam film bercampur dengan gelembung gas kecil dan fasa cairan yang nampak seperti butir-butir cairan besar dikelompokkan dalam gumpalan panjang yang tidak teratur. Daerah ini muncul pada kecepatan massa yang tinggi dan oleh karena itu lapisan film yang terkumpul akan bercampur pada aliran gelembung berkecepatan tinggi.

e. Aliran cincin (*Annular flow*).

Dalam aliran cincin lapisan film akan muncul pada dinding pipa sedangkan gas atau uap pada bagian tengah pipa secara kontiniu. Amplitudo gelombang yang besar selalu muncul pada permukaan film dan bentuk gelombang ini secara kontiniu dari asalnya tanpa henti-hentinya untuk membentuk butir-butir cairan yang muncul dalam jumlah yang berbeda dari bagian tengah gas. Dalam kasus ini, yang berbeda dari pola aliran cincin kabut tetes cairan, butir-butir cairan agak terpisah dari pada berkumpul.



Gambar 1. Pola aliran searah vertikal ke atas

2 Kecepatan Kantung Udara

Pada aliran dua fase (gas-cair) dalam pipa, akan diperoleh aliran kantung udara dan pola aliran lainnya pada kecepatan superficial gas

dan cairan yang bermacam-macam (*Andreussi et al, 1993*).

Struktur model aliran kantung udara sangat kompleks. Aliran kantung udara ditandai oleh bentuk gelembung gas yang relative berukuran besar dan hampir memenuhi penampang saluran aliran. Terjadinya aliran kantung udara apabila kecepatan gas dan cairan terus ditingkatkan (*Andreussi et al, 1993*).

Menurut Jenicot dan Dukler (1993) bahwa aliran kantung udara terbentuk pada waktu aliran kantung udara dan gelembung besar bergerak dengan kecepatan konstan ke arah sumbu pipa tanpa berhenti. Kemudian gelembung kecil dipusat aliran bergerak dengan kecepatan yang sama seperti gelembung besar. Perbedaan utama antara gelembung memanjang dan aliran kantung udara adalah, dalam aliran kantung udara menyebar gelembung-gelembung udara dan ditampung kedalam kantung udara (*Andreussi et al, 1993*).

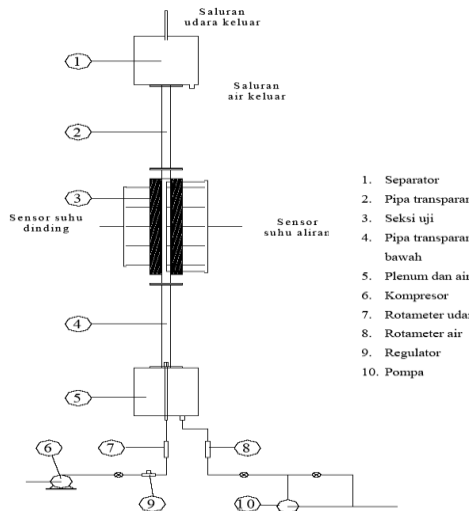
Sifat aliran kantung udara dapat diprediksi apabila dapat digambarkan dinamika yang terjadi pada suatu gelembung. Dalam analisa ini ditinjau satu sel atau bagian yang terdiri dari dari satu gelembung.

Metode Penelitian

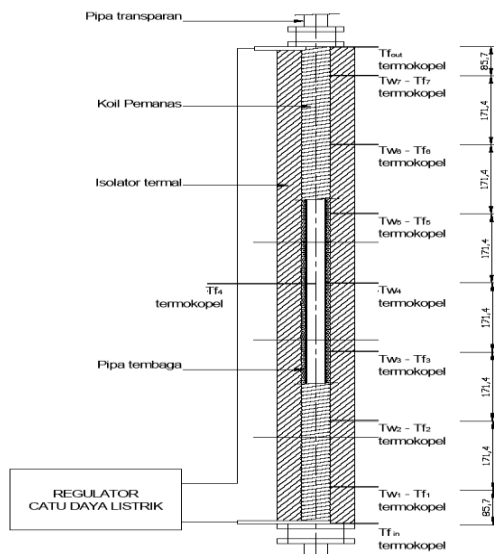
Instalasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pipa seksi uji terbuat dari tembaga berdiameter 24 mm dan panjang 1200 mm. Sebagai pemanas digunakan listrik dari power supply dengan tegangan dan arus langsung ke pipa seksi uji yang dapat menghasilkan fluks kalor sampai dengan 9289 W/m². Sepanjang seksi uji, dipasang 9 termokopel untuk mengukur temperatur permukaan dinding dan fluida. Temperatur fluida masuk dan keluar seksi uji diukur menggunakan termokopel yang dipasang masuk ke bagian seksi uji. Debit air dan udara diukur menggunakan rotameter. Untuk memeriksa bahwa peralatan dan alat ukur beroperasi dengan benar, maka dilakukan kalibrasi alat menggunakan air sebagai fluida kerja.

Percobaan dilakukan dengan urutan sebagai berikut: air dialirkan ke dalam seksi uji dengan menggunakan pompa dengan menggunakan rangkaian terbuka. Pada setiap debit air, dilakukan perubahan debit udara dengan menggunakan katup pada batas pola aliran kantung sampai diperoleh aliran kantung. Pengamatan pola aliran dilihat pada pipa

fleksiglas di bawah seksi uji dan di atas seksi uji. Setelah itu, elemen pemanas pada seksi uji dialiri listrik dari power supply (sumber daya), tegangan dan arus diatur dengan menggunakan regulator. Bila sudah tercapai kondisi steady state, maka dilakukan pengukuran temperatur dinding dan temperatur fluida.



Gambar 2. Instalasi Percobaan



Gambar 3. Penempatan Termokopel

Hasil Dan Analisa

A. Visualisasi Pola Aliran Kantung

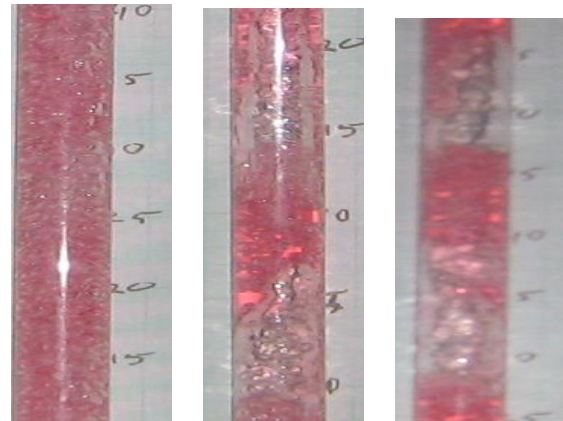
Total 116 aliran kantung titik data yang terukur dengan posisi pipa vertikal. Tiap pengambilan data didasarkan pada bilangan Reynolds superficial cairan dan bilangan Reynolds superficial gas. Dalam eksperimen bilangan Reynolds superficial untuk air range dari 4120,083 sampai 8358,827 (laju aliran air bervariasi dari 0,063134 kg/s sampai 0,126 kg/s)

dan bilangan Reynolds untuk udara range dari 312,2 sampai 699,5 (laju aliran udara bervariasi dari 0,000109 kg/s sampai 0,000245 kg/s). *Heat flux* dinding *uniform* untuk eksperimen range dari 2963,5 W/m² sampai 9288,7 W/m² dan menghasilkan koefisien perpindahan kalor rata-rata range dari 956,611 W/m² °C sampai 1334,477 W/m² °C.

1. Aliran kantung kecil

Bentuk dari aliran ini menyerupai topi, ada yang berbentuk setengah lingkaran, berbentuk lonjong dan oval. Terbentuknya pola aliran ini sangat bergantung dari kecepatan penggabungan dari gelembung-gelembung non homogen. Bila penggabungan gelembung-gelembung non homogen berlangsung lambat maka kantung yang terbentuk menyerupai topi atau setengah lingkaran. Sedangkan bila penggabungannya berlangsung cepat, maka kantungnya berbentuk lonjong atau oval.

Pada aliran kantung kecil masih terdapat gelembung-gelembung kecil baik seperti itu seperti buih atau yang tidak beraturan. Kantung mempunyai pergerakan yang cepat ke atas, sedangkan gelembung-gelembung yang berbentuk buih dan tidak beraturan bergerak pelan bahkan ada yang membentuk pancaran di belakang kantung. Hal ini dijelaskan pada Gambar 4.

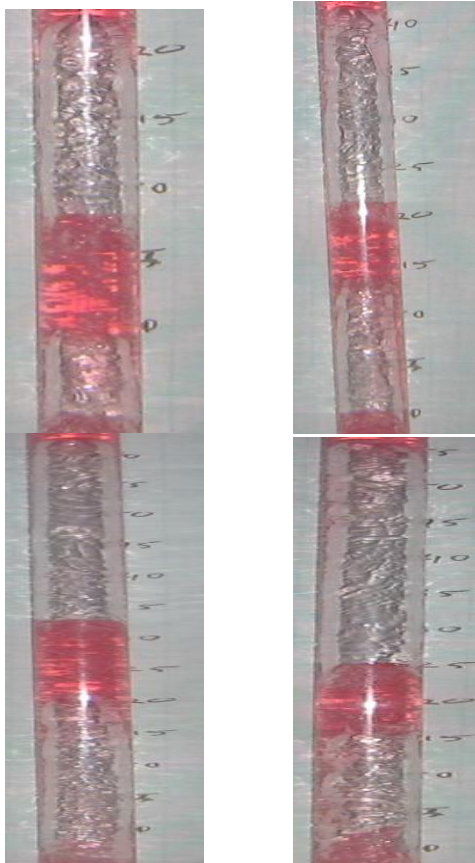


Gambar 4. Visualisasi pola aliran kantung kecil

2. Aliran kantung besar

Aliran ini terbentuk sebagai akibat dari penggabungan dari aliran kantung-kantung kecil yang bergerak cepat ke atas dan bergabung satu sama lain. Hal ini tentunya diakibatkan oleh meningkatnya kecepatan superficial gas sehingga kantung-kantung kecil bergerak cepat. Pada aliran kantung besar ini timbul lapisan berbentuk film di dinding pipa. Saat kantung gas bergerak ke atas, lapisan film cenderung bergerak ke

bawah dan mengakibatkan golan yang menyerupai pancaran di belakang kantung gas. Dalam aliran kantung besar ini juga masih terdapat gelembung-gelembung yang berbentuk buih yang juga cenderung bergerak ke atas, diantara kantung gas terdapat cairan didaerahnya mengalir bergerak keatas satu sama lain dan terdapat lapisan cairan film antara kantung dengan dinding pipa. Hal ini dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5. Visualisasi pola aliran kantung besar

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Koefisien perpindahan kalor aliran dua fasa air-udara searah vertikal meningkat dengan meningkatnya debit udara dan debit air yang direpresentasikan dengan kecepatan superfisial air.

2. Pada jsl dan jsg yang sama dengan menggunakan injektor udara yang berbeda menghasilkan ukuran panjang kantung berbeda. Untuk injektor udara yang memiliki diameter lubang udara lebih besar menghasilkan ukuran panjang kantung lebih besar dan mudah terbentuknya pola aliran kantung.

Daftar Pustaka

1. Collier, J.G., 1972, *Convective Boiling and Condensation.*, Edisi kedua, Mc. Graw-Hill Book International Company., New York.
2. Ghajar, A.J., 2004, *Two-Phase Heat Transfer In Gas-Liquid Non-Boiling Pipe Flows*, HEFA 2004 3rd International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechabics and Thermodynamics 21-24 June 2004, Cape Town.
3. Ghajar, A.J., 2004, *Non-Boiling Heat Transfer in Gas-Liquid Flow in Pipe-A Tutorial*, Proceedings of the 10th Brazilion Congress of Thermal Science and Engineering-ENCIT 2004 Braz. Soc. Of Mechanical Sciences and Engineering ABCM, Rio de Janeiro Nov. 29 Dec. 03, 2004.
4. Hewit, G.F., 1994, *Process Heat Transfer*, Boca Raton: CRC Prss, Inc.
5. Hestroni, G., 1982, *Handbook of Multiphase Systems*, Mc Graw-Hill, New York
6. Incropera, F.P., 1990, *Introduction Heat Transfer.*, Third Edition, John Wiley & Sons. Inc, New York.
7. Koestoer, R. A., dan Proborini, S., 1994, *Aliran Dua Fase Dan Fluks Kalor Kritis*, Pradnya Paramita Jakarta.
8. Kamal, S. 2002, *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