

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

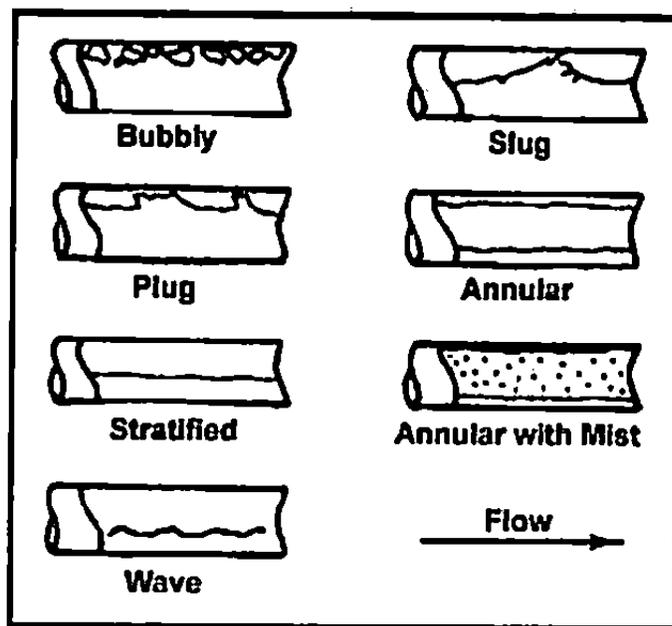
2.1. Pola Aliran Horisontal Pada Internal Flow Boiling

Pola aliran pada pipa horisontal maupun yang miring terlihat rumit karena bentuknya yang tidak simetris akibat gelembung uap cenderung mengalir di bagian atas dalam pipa. Peristiwa ini diakibatkan oleh gaya gravitasi sehingga fluida yang berat (*liquid*) akan mengalir di bawah dan uap yang ringan akan mengalir di atas.

Ada beberapa pola aliran dalam pipa horisontal yang diperkenalkan oleh Alves dalam bukunya sebagaimana terlihat pada gambar 2.1, yaitu:

1. *Bubbly flow*, pola aliran ini sama dengan yang terjadi pada pipa aliran vertikal hanya perbedaannya di sini gelembung uap akan mengalir di setengah bagian atas pipa.
2. *Plug flow*, sama dengan *slug flow* pada pipa vertikal, cuma lagi-lagi gelembung uap mengalir di bagian atas.
3. *Stratified flow*, pola ini hanya terjadi pada kecepatan liquid dan uap yang rendah. liquid dan uap mengalir dengan terpisah dengan garis batas yang halus.
4. *Wavy flow*, pola aliran ini terjadi karena naiknya kecepatan aliran uap yang berada di bagian atas pipa yang mengakibatkan garis batas uap-liquid

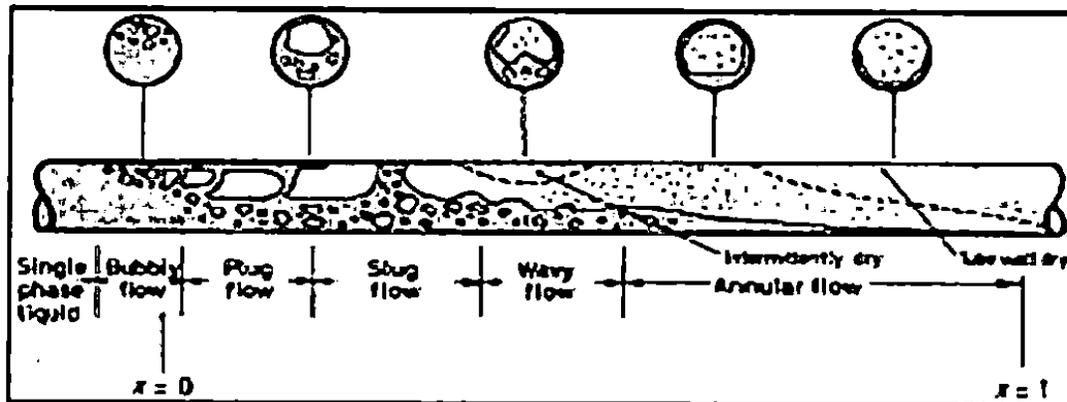
5. *Slug flow*, pola ini terjadi ketika kecepatan uap terus meningkat dan mengakibatkan gelombang yang signifikan pada garis batas uap-*liquid* sehingga meruncing dan memunculkan busa (*foamy slug*)
6. *Annular flow*, pola ini terjadi masih pada kecepatan uap yang tinggi dan polanya sama dengan *annular flow* terjadi pada pipa vertikal dimana uap berada di tengah-tengah pipa dan *liquid* berada pada permukaan pipa.



Gambar 2.1. Pola aliran pada pipa horisontal

Kita melihat pada gambar 2.2 urutan pola aliran dalam sebuah pipa evaporator horisontal yang dipanaskan dan kecepatan aliran < 1 m/s. Awalnya *liquid* masuk masih *subcooled liquid*, kemudian ketika sampai pada permukaan pipa yang temperaturnya sudah mencapai temperatur saturasi air, maka gelembung uap akan terbentuk. Dan gelembung uap lepas dari permukaan pipa menjadikan pola aliran ke bentuk *bubbly flow*. Kemudian selanjutnya terbentuk

plug flow, slug flow, wavy flow, annular flow, dan terakhir seluruh *liquid* sudah menjadi uap panas lanjut (*superheated vapor*).



Gambar 2.2. Pola aliran dalam pipa evaporator horizontal

Gambar 2.2, pada daerah *slug* dan *wavy flow* ada fenomena yang menarik di sana, yaitu terjadinya pembasahan dan pengeringan sesaat yang berulang (*intermittent dry and wet*) pada permukaan pipa bagian atas. Pola aliran pada gambar 2.2 terjadi pada kecepatan fluida yang rendah sehingga pengaruh gaya grafitasi sangat besar, tetapi ketika kecepatan fluida tinggi, maka pola aliran akan tidak terpengaruh oleh gaya grafitasi.

2.2. Pengaruh Aliran Slug Dalam Kondensasi

Penelitian tentang pengaruh adanya aliran *slug* terhadap kondensasi dilakukan oleh L. Strubelj, dkk. (2008). Dalam penelitian ini jenis kondensasi yang digunakan adalah *direct contact condensation*, dimana uap air dan air pendingin dialirkan secara berlawanan arah dalam satu pipa. Selama proses kondensasi terjadi fluktuasi aliran dimana aliran dalam pipa yang tadinya teratur kemudian menjadi tidak teratur karena timbulnya *slug* dimana gelembung uap air

terjebak dalam *slug*. Suhu dan tekanan fluida di dalam pipa selama proses kondensasi kemudian diamati. Suhu yang terukur pada titik pengukuran merupakan suhu campuran pada *slug* dan kondensasi gelembung uap.

Alat uji berupa pipa horisontal dengan panjang 2,8 m dan diameter 73 mm, pembangkit uap atau *steam generator* (SG) sebagai pembangkit uap, tangki air (WT) sebagai penyedia air pendingin, termokopel untuk mengukur suhu *fluida* di dalam pipa, sensor tekanan untuk mengukur tekanan fluida di dalam pipa, sensor untuk mengukur distribusi dari volume uap. Hal yang paling penting dalam penelitian ini adalah pengukuran suhu dan pengukuran fraksi volume uap.

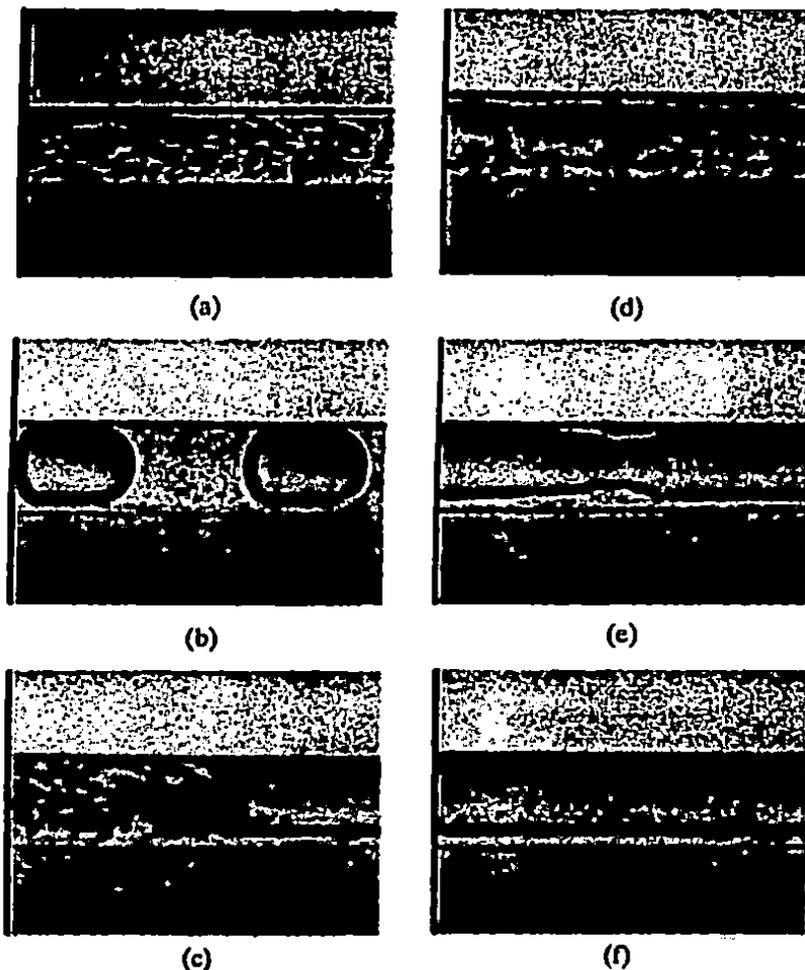
Dalam penelitian ini aliran fluida di dalam pipa yang semula lambat tiba-tiba terganggu dengan munculnya *slug* dimana uap air terjebak di dalam *slug*. Selama fluida mengalir di dalam pipa lambat laun terjadi gelombang pada permukaan cairan hingga mengakibatkan terjadinya *slug*. Hal ini terjadi karena Kelvin-Helmholtz *instability* dari permukaan. Gelembung uap pada *slug* kemudian pecah dan bercampur dengan cairan, hal ini mengakibatkan suhu cairan pada interface menurun dan meningkatkan laju massa kondensasi.

2.3. Pola Aliran Dua Fase Cair-Gas pada *Minichannel*

Pola aliran yang umum terjadi pada *minichannel*, pipa dengan diameter hidrolis $100 \mu\text{m} < D_H < 1 \text{ mm}$, ditunjukkan oleh Gambar 2.3 menggunakan fotografi dari Triplett, dkk. (1999a). Pola aliran pokok pada Gambar 2.3 ini sesuai dengan hasil penelitian sebagian besar peneliti yang lain, seperti Chung dan

Kawaji (2004) untuk diameter pipa uji $250 \mu\text{m} < D < 526 \text{ mm}$

Walaupun, pada literature yang lain, beberapa pola aliran diberi nama yang berbeda oleh penulis lain.



Gambar 2.3. Fotografi pola aliran pada pipa uji berdiameter 1,1 mm dari Triplett, dkk. (1999a): a. *Bubbly* ($j_L = 6$ m/s; $j_G = 0,396$ m/s); b. *Plug* ($j_L = 0,213$ m/s; $j_G = 0,154$ m/s); c. *Churn* ($j_L = 0,66$ m/s; $j_G = 6,18$ m/s); d. *Churn* ($j_L = 1,21$ m/s; $j_G = 4,63$ m/s); e. *Slug-annular* ($j_L = 0,043$ m/s; $j_G = 4,040$ m/s); f. *Annular* ($j_L = 0,082$ m/s; $j_G = 73,30$ m/s);

Aliran *bubbly*, mempunyai karakteristik bentuk gelembung yang berbeda (*nonspherical*), umumnya jauh lebih kecil dari diameter salurannya. Dengan meningkatkan j_G ketika j_L dipertahankan konstan (yaitu untuk memicu peningkatan *void fraction*) aliran yang muncul adalah gelembung yang banyak

sehingga muncul aliran *plug/slug*, yang mempunyai karakteristik gelembung silindris yang panjang. Pola aliran ini disebut *slug* oleh beberapa peneliti (Suo dan Griffith, 1964; Mishima dan Hibiki, 1996) dan *plug* oleh peneliti yang lain (Damianides dan Westwater, 1988; Barajas dan Panton, 1993).

Gambar 2.3.c dan 2.3.d menunjukkan pola aliran *churn*. Dalam proses pertama, gelembung yang panjang menjadi tidak stabil karena laju aliran gas ditingkatkan dan ekor (*tail*) gelombang koyak menjadi gelembung yang menyebar (*dispersed bubbles*), Gambar 2.3.c. Pola aliran ini disebut sebagai *pseudo-slug* (Suo dan Griffith, 1964), *churn* (Mishima dan Hibiki, 1996), dan *frothy-slug* (Zhao dan Rezkallah, 1993). Proses kedua menunjukkan karakteristik aliran *churn* adalah mengocok gelombang yang secara periodik menyebabkan perubahan pola aliran menjadi pola aliran *wavy-annular*, Gambar 2.3.d. Pola aliran ini juga disebut sebagai *frothy slug-annular* (Zhao dan Rezkallah, 1993). Pada kecepatan *superficial* aliran cairan yang relatif rendah, peningkatan flux volumetrik campuran memicu terjadinya penggabungan gelembung panjang slug dan berkembang menjadi pola aliran *slug-annular*, Gambar 2.3.e. Pada pola aliran ini bagian panjang dari saluran terbentuk aliran *wavy-annular*, yang disela oleh gelombang dengan amplitudo yang besar pada tempat tertentu (*large-amplitude solitary wave*), yang tidak tumbuh sampai menutupi penampang lintasan aliran. Dengan peningkatan kecepatan *superficial* gas, *large-amplitude solitary wave* hilang dan muncul aliran *annular* yang stabil, Gambar 2.3.f.

Pola aliran yang diidentifikasi sebagai aliran *churn* oleh Triplett, dkk.

(Gambar 2.3.c dan Gambar 2.3.d) muncul berturut-turut dengan pola aliran yang

diidentifikasi sebagai *dispersed* (menyebar) oleh Damianides dan Westwater. Selanjutnya, pola aliran *slug* dan *slug-annular* pada eksperimen Triplett (Gambar 2.3.e. dan Gambar 2.3.f) bertepatan dengan aliran *plug* dan *slug* pada eksperimen, Damianides dan Westwater. Perbedaan ini adalah hasil dari identifikasi dan penamaan pola aliran yang subjektif dari masing-masing peneliti.

2.4. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan hasil studi literatur, hipotesis yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pola aliran *bubbly* sulit terjadi pada penelitian ini.
2. Perubahan debit uap mempengaruhi karakteristik distribusi suhu fluida pada pipa kondenser.
3. Pola aliran *annular* kemungkinan besar akan terjadi. Akan tetapi pola aliran *annular* ini akan sulit diamati karena pipa uji tidak transparan. Pipa transparan hanya dipasang setelah sisi keluar pipa kondensat dimana visualisasi yang terjadi adalah kumpulan gejala yang ada di sepanjang pipa kondensat.
4. Pola aliran yang mungkin terjadi pada aliran dua fasa air-uap air pipa horisontal adalah *stratified*, *slug*, *annular*, *slug* dan *slug*.