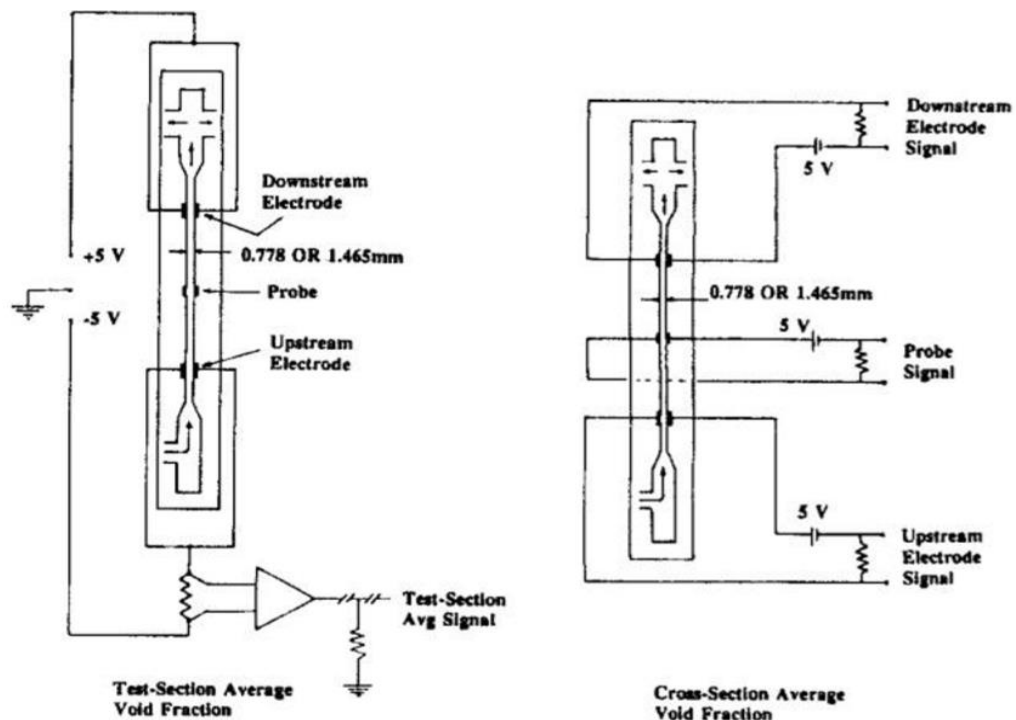


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1. Tinjauan Pustaka

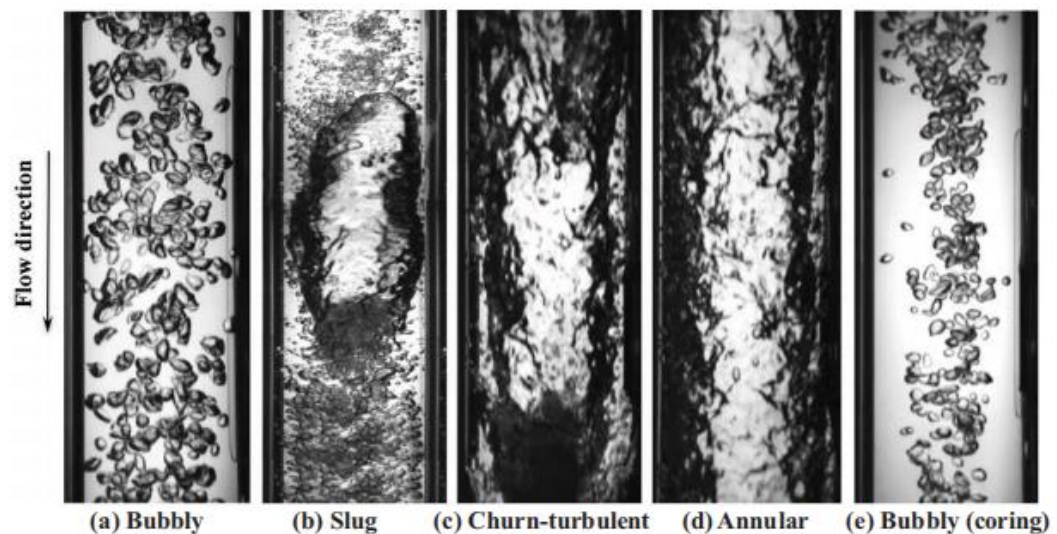
Beberapa peneliti telah melakukan penelitian aliran dua fase terutama fraksi hampa yang berhubungan dengan aliran dua fase, penelitian itu dihasilkan data yang bervariasi. Perbedaan ini terjadi disebabkan metode yang digunakan berbeda dengan yang lainnya.

Ali dkk, (1993) mengukur fraksi hampa dengan mengukur konduktivitas listrik dari aliran. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dua set elektroda melekat pada *inlet* dan *outlet* dari pelat searah dengan celah 0,778 mm hingga 1,465 mm. Fraksi hampa diukur dengan membandingkan rasio konduktivitas listrik dari aliran dua fase gas-cair dengan aliran satu fase cair. Hasil data dikonversi menjadi fraksi hampa. Gambar 2.1. Hasil pengukuran fraksi hampa.



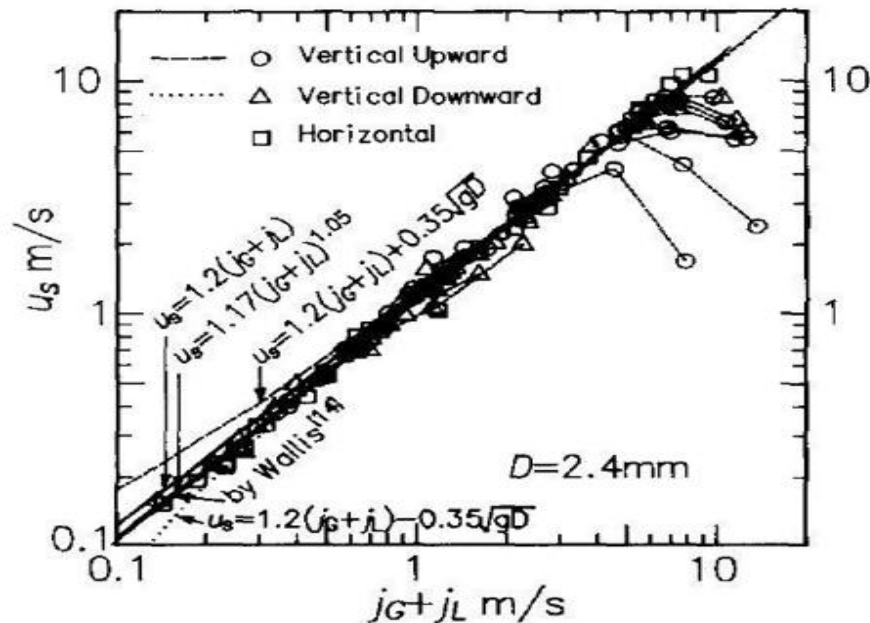
**Gambar 2.1** Pengukuran fraksi hampa Ali dkk (1993)

Qiao S. dkk. (2015) melakukan penelitian aliran dua fasa pada pipa akrilik diameter dalam 50,8 mm dengan orientasi vertikal ke bawah. Didapati bahwa terdapat beberapa jenis pola aliran yaitu, *bubble*, *slug*, *churn*, dan *annular*. Pada penelitian ini didapati bahwa dengan orientasi pipa vertikal kebawah aliran memiliki pusat-puncak yang khas pada disitribusi fraksi hampa karena disebabkan oleh gaya angkat.



**Gambar 2. 2.** Jenis aliran (a) *Bubbly*, (b) *Slug*, (c) *Churn*, (d) *Annular*, (e) *bubbly (small)*

Fukano dkk, (1993) mempelajari aliran dua fase dengan aliran ke atas, horizontal, dan vertikal untuk pipa kapiler dengan diameter 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm, dan diperoleh peta pola aliran dan fraksi hampa. Ditentukan data kecepatan *bubbly* ditentukan dari persamaan  $L_s$  / persamaan dari data Fukano dkk, (1993) dimana  $L_s$  adalah jarak aksial antara dua elektroda dan  $\tau$  adalah jeda waktu dari nilai *cross correlation* / korelasi silang maksimu  $m$  dari sinyal keluaran fraksi hampa. Kesalahan dalam nilai yang diukur  $\tau$  adalah karena frekuensi sampel. Interval waktu minimum adalah 500  $\mu s$ .

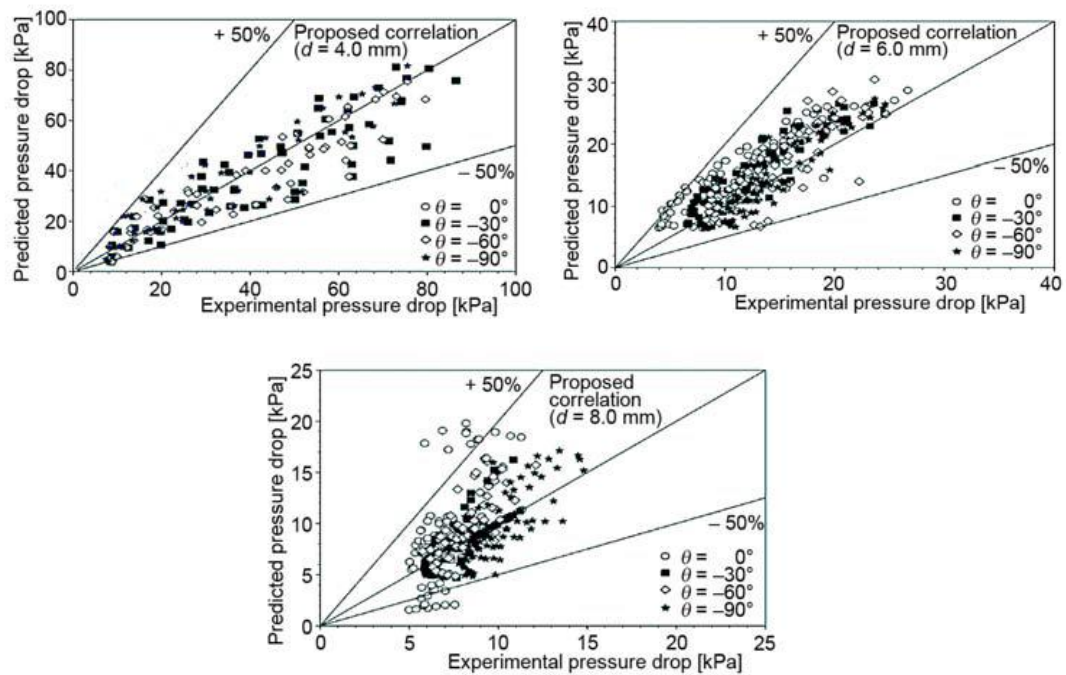


**Gambar 2.3** Kecepatan *Bubble* (Fukano dan Kariyasaki, 1993)

Triplett dkk, (1999) berhubungan dengan fraksi hampa dari aliran dua fase dalam saluran mini. Dalam penelitian ini, media berbentuk udara-air di saluran mikro dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm digunakan. Kecepatan superfisial gas-cair bervariasi antara 0,02 hingga 80 m/s dan 0,02 hingga 8 m/s. Kemudian hitung persentase fraksi hampa dengan menganalisis gambar. Setiap foto menyertakan panjang 6 mm disetiap bagian tes. Dalam pola aliran *bubble*, setiap gelembung diasumsikan berbentuk lingkaran. Pola aliran *slug* relatif teratur. Di sisi lain, dalam pola *annular*, fase gas dibagi menjadi beberapa bagian dan fraksi hampa rata-rata dihitung berdasarkan bagian uji. Pola aliran *slug* dan *churn* tidak termasuk dalam perhitungan karena mereka sulit dipelajari.

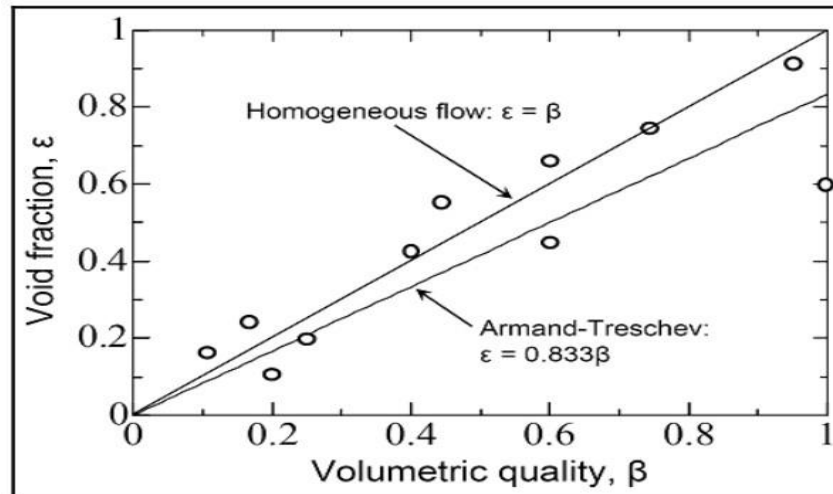
Wongwises (2014) melakukan penelitian tentang efek variasi sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$  pada aliran dua fase. Penelitian ini dilakukan pada pipa anular dengan diameter dalam 8 mm, 10 mm, dan 11 mm dan diameter luar 12,5 mm. Pola aliran yang didapat bervariasi yaitu, aliran *plug*, aliran *slug*, aliran *slug-annular*, aliran *annular*, aliran *bubbly*, aliran *churn*, dan aliran *bubbly* yang buyar. Berdasarkan penelitian ini, perbedaan variasi sudut mempengaruhi pergantian aliran.

Arun Autee dkk (2015) melakukan penelitian tentang *pressure drop* pada aliran dua fasa dengan menggunakan variasi sudut  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$  kearah bawah pada pipa dengan diameter 4 mm, 6 mm, dan 8 mm dengan panjang 400 mm. penelitian menggunakan campuran udara dan air sebagai fluida kerja. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* dan juga membandingkan hasilnya dengan korelasi yang sudah ada yaitu dari Crisholm pada parameter C seperti pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 4** Perbandingan *pressure drop* pipa dengan diameter 4, 6, dan 8 mm

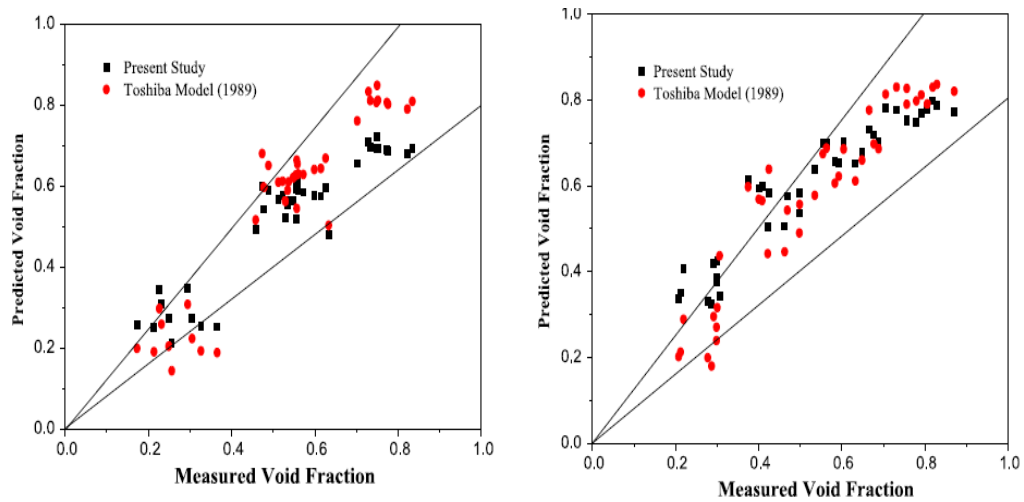
Serizawa dkk, (2002) juga mengukur fraksi hampa menggunakan analisis video. Untuk semua pola aliran *bubbly* dan aliran *slug*, hasilnya adalah  $\varepsilon = 0,833 \beta$ , menunjukkan korelasi linear antara  $\varepsilon$  dan  $\beta$ . Gambar 2.4 dibawah ini menunjukkan grafik korelasi antara fraksi hampa dan kualitas volume quality.



**Gambar 2.5** Korelasi fraksi hampa dengan *volume quality* dengan hasil (Serizawa dkk, 2002)

Chung dan Kawaji (2004) melakukan penelitian pengukuran fraksi hampa pengaruh perubahan *microchannel* ke *minichannel* dengan cara mencampurkan gas nitrogen-air dalam saluran sirkuler berdiameter 530, 250, 100, 50  $\mu\text{m}$ . Dalam diameter 530 dan 250  $\mu\text{m}$ , karakteristik aliran dua fase hampir sama dengan penelitian dengan menggunakan *minichannel* berdiameter 1 mm.

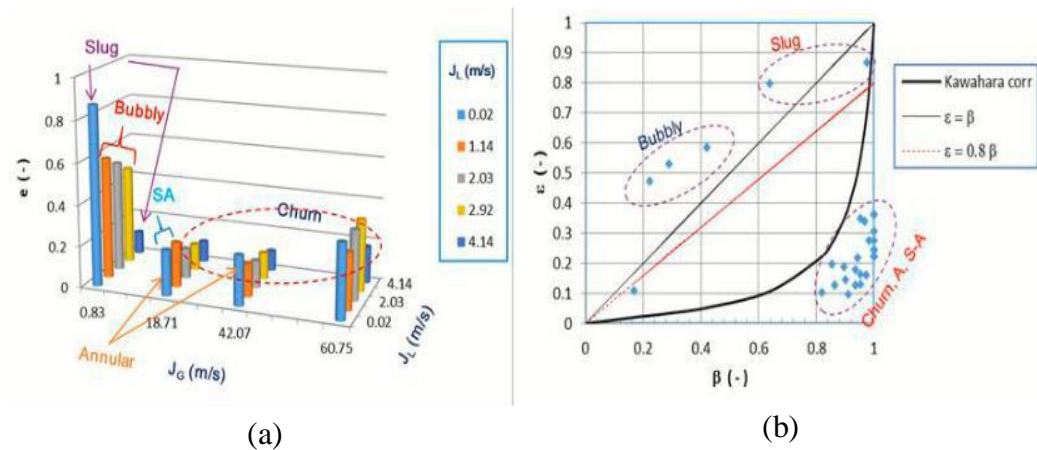
Jagan V. dan Satheesh A. (2016) melakukan penelitian tentang pola aliran campuran air-udara pada aliran dua fasa dengan arah yang berbeda. Penelitian yang digunakan dengan pipa diameter 8 mm dan panjang pipa 2 m dengan sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Dengan variasi kecepatan superfisial gas dan air dengan range dari 0,06 sampai 1 m/s dan 0,06 sampai 15 m/s. Pola aliran didapati dengan menggunakan rekaman kecepatan tinggi dan dianalisis menggunakan *image processing technique*. Hasilnya menunjukkan bahwa aliran bertingkat terlihat pada pipa dengan posisi horizontal dan tidak terlihat pada posisi pipa yang miring. Pada kecepatan yang sama, efek dari turbulen mendominasi ketika sudut dari pipa mengalami kenaikan saat berlawanan dengan gravitasi dan mengarah ke arah aliran *churn*. penelitian ini juga membandingkan hasilnya dengan studi literatur sebelumnya seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.6** Perbandingan fraksi hampa dengan studi literatur sebelumnya

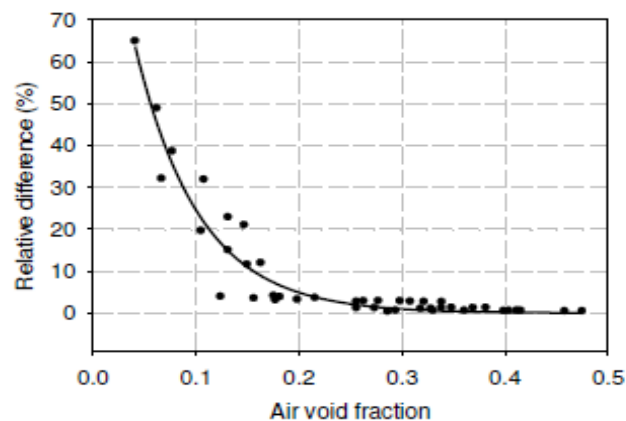
Barreto dkk (2015) meneliti aliran dua fase dengan fluida air dan udara pada pipa melingkar dengan diameter 1,2 mm. Penelitian ini menggunakan kecepatan gas bervariasi  $J_G = 0,1-34$  m/s dan kecepatan superfisial *liquid*  $J_L = 0,1-3,5$  m/s. Korelasi pada tabung kecil dengan udara-air menunjukkan penurunan tekanan terbaik pada pola annular dengan kecepatan superfisial gas lebih dari 18,6 m/s. Fraksi hampa dalam penelitian ini digunakan meningkatkan prediksi penurunan tekanan.

Sudarja dkk, (2015) meneliti tentang fraksi hampa aliran dua fase. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Pada gambar (a) kenaikan pada  $J_G$  mempengaruhi nilai fraksi hampa, kecuali pada  $J_G$  yang sangat rendah, hal ini terjadi karena pada  $J_G$  yang sangat rendah pola aliran yang terbentuk adalah aliran *bubbly* dan *plug*. Pada gambar (b) tentang perbandingan fraksi hampa homogen ( $\beta$ ) dengan fraksi hampa terukur ( $\epsilon$  atau  $\alpha$ ) dapat dilihat bahwa aliran *bubbly*, semua harga  $\epsilon$  lebih tinggi daripada harga  $\beta$ , sedangkan untuk aliran *plug*, harga  $\epsilon$  tersebar disekitar garis korelasi Ali dkk, ( $\epsilon = 0,8 \beta$ ) hingga sedikit diatas garis homogen. Hal ini disebabkan karena pada aliran *plug* dan *bubble* tidak terjadi slip, jika terjadi slip *ratio* nya akan mendekati 1. Untuk pola aliran, *slug-annular*, *annular*, dan *churn* harga  $\epsilon$  sangat kecil, hingga berada dibawah garis korelasi Kawahara dkk. Hal ini terjadi karena adanya slip *ratio* yang sangat besar, sehingga kecepatan superfisial gas jauh lebih besar daripada kecepatan superfisial cairan.



**Gambar 2.7** (a) Pengaruh  $J_G$  dan  $J_L$  terhadap fraksi hampa, (b) pengaruh  $\beta$  terhadap  $\epsilon$ , ( $\epsilon = \alpha$ ) Sudarja dkk, 2015)

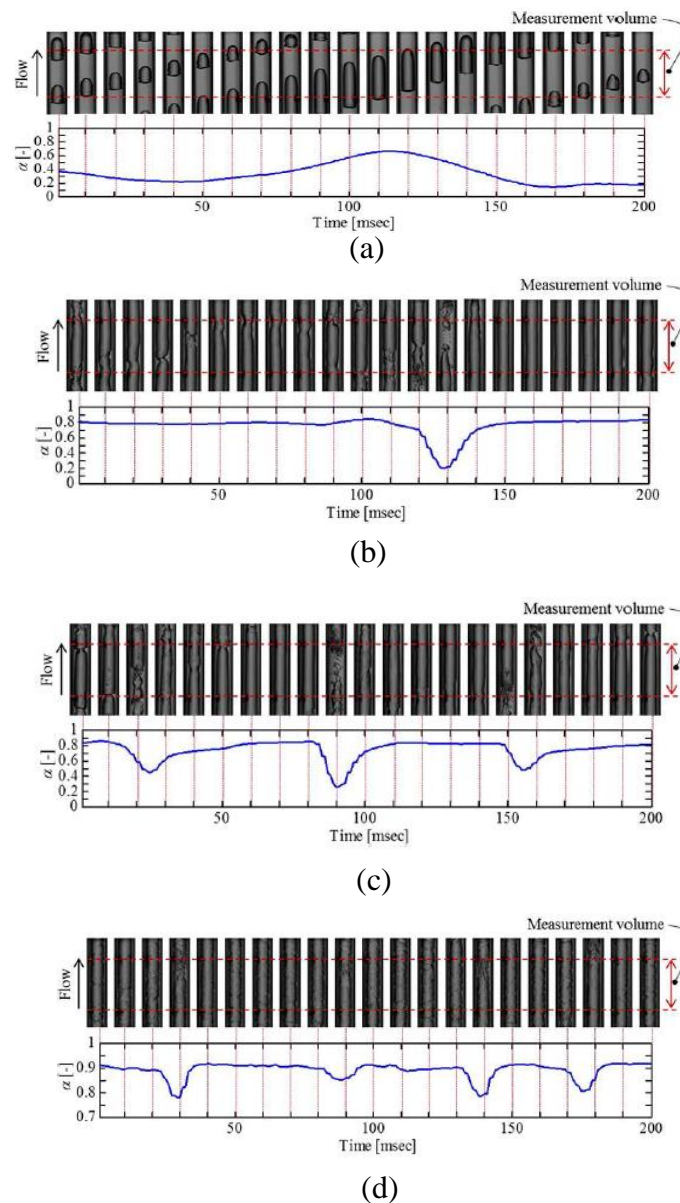
Jiabin Jia dkk (2015) melakukan perhitungan terhadap fraksi hampa aliran dua fasa pada tekanan yang berbeda. Perbedaan tekanan yang terjadi pada aliran bubble dan slug disubstitusikan sehingga mendapatkan nilai fraksi hampa. Penelitian ini juga membahas tentang efek dari tegangan permukaan seperti pada gambar 2.5. Didapati bahwa *friction loss* tidak bisa diabaikan, khususnya ketika fraksi hampa gas kurang dari 0,2.



**Gambar 2.8** Fraksi hampa gas tidak menggunakan tegangan permukaan

Taisaku Gomyo dan Hitoshi Asano (2016) mempelajari karakteristik fraksi hampa dalam aliran gas air dua fase dalam pipa berdiameter kecil. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan bagian fraksi hampa pada diameter pipa 4 mm, 2 mm, 1,1 mm, dan 0,5 mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Fraksi hampa diukur dengan metode kapasitansi dan pola aliran menggunakan kamera kecepatan

tinggi. Studi ini menemukan bahwa jumlah gelombang aliran annular meningkat karena diameter pipa menyempit menjadi 1,1 mm. Dalam kasus pipa dengan diameter 0,5 mm, efek tegangan permukaan meningkat dan frekuensi gelombang diturunkan.



**Gambar 2.9** Hubungan antara fraksi hampa dengan pola aliran pada pipa diameter 2 mm (a) Aliran Plug, (b) Aliran Churn, (c) Aliran Slug-Annular, (d) Aliran Annular.



## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Tinjauan Umum Aliran Dua Fase

Aliran dua fase merupakan salah satu aliran multifase yang digunakan untuk membedakan setiap aliran yang lebih dari satu fase atau komponen dengan mengelompokkan sesuai dengan keadaan fase yang berbeda berdasarkan gas-padat, cair-padat, dan cair-gas. Aliran dua fase dalam saluran perpipaan dipengaruhi oleh interaksi antara fase menurut orientasi saluran aliran horisontal, vertikal dan kemiringan pada sudut tertentu.

### 2.2.2 Fraksi Hampa Aliran Dua Fase

Fraksi hampa merupakan parameter ukuran yang penting digunakan untuk menentukan nilai dari karakter dari aliran dua fase. Parameter yang bisa ditentukan antara lain dalam penelitian fraksi hampa yaitu desitas dua fase, viskositas dua fase, kecepatan rata-rata, penurunan tekanan, serta koefisien perpindahan panas. Ada beberapa metode untuk menentukan fraksi hampa:

#### 1. Metode chordal

Perbandingan Metode fraksi hampa chordal didasarkan pada perbandingan yang dialami pada fase gas di dalam pipa terhadap panjang pipa yang ditinjau.

$$\epsilon_{chordal} = \frac{L_G}{L_G + L_L} \quad (2.1)$$

Keterangan  $L_G$  adalah panjang fase gas dan  $L_L$  adalah panjang fase cairan. Sekema gambar fraksi hampa chordal dapat dilihat pada Gambar 2.



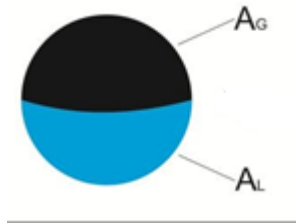
**Gambar 2.10** Fraksi Hampa Chordal (Thome, 2004)

#### 2. Fraksi Hampa *cross-section*

Metode fraksi hampa *cross-section* untuk membandingkan luas penampang fase gas terhadap luas penampang pipa yang digunakan untuk menentukan nilai dari fraksi hampa yang ditunjukkan pada Gambar 2. Perhitungan nilai fraksi hampa bisa dirumuskan sebagai berikut.

$$\epsilon_{c-s} = \frac{A_G}{A_G + A_L} \quad (2.2)$$

$A_G$  adalah luasan fase gas dan  $A_L$  merupakan luasan fase cairan



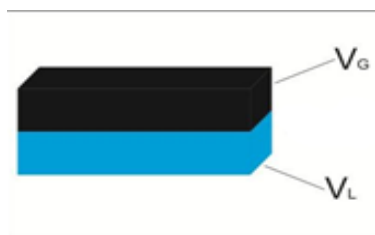
**Gambar 2.11** *Cross-Sectional Void Fraction* (Thome,2004)

### 3. Fraksi Hampa Volumetrik

Metode perhitungan dengan menggunakan fraksi hampa volumetrik perbandingan yang dilakukan dengan volume fase gas dan volume fase total pipa dan bisa di ukur dengan alat *quick-closing*. Fraksi hampa dapat di definisikan sebagai berikut.

$$\varepsilon_{vol} = \frac{V_G}{V_G + V_L} \quad (2.3)$$

$V_G$  adalah volume fase udara dan  $V_L$  merupakan volume fase cair.



**Gambar 2.12** Fraksi Hampa Volumetrik (Thome,2004)

### 4. Fraksi Hampa Homogen

Definis dari fraksi hampa *cross-section* dengan menggunakan luas penampang ( $A$ ) menentukan kecepatan aliran gas dan kecepatan cairan dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$U_G = \frac{\dot{G}}{A_g} = \frac{\dot{m}}{\rho_G} \left( \frac{X}{\varepsilon} \right) \quad (2.4)$$

$$U_L = \frac{\dot{Q}_L}{A(1-\varepsilon)} = \frac{\dot{m}}{\rho_L} \left( \frac{1-X}{1-\varepsilon} \right) \quad (2.5)$$

Dari definisi persamaan pada (2.4) dan (2.5) maka nilai fraksi hampa bisa ditentukan dengan persamaan (2.6)

$$\varepsilon_H = \frac{1}{1 + \left( \frac{1-X}{X} \right) \frac{\rho_G}{\rho_L}} \quad (2.6)$$

### 2.2.3 Rasio kecepatan

Rasio kecepatan merupakan kecepatan rata-rata dari fase gas dan air berbeda, rasio kecepatan bisa dipahami untuk menggambarkan kecepatan rata-rata pada setiap fase tersebut. Rasio kecepatan dapat dirumuskan pada persamaan 2.7

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x}\right) \frac{\rho_G}{\rho_L} S} \quad (2.7)$$

Rasio kecepatan adalah

$$S = \frac{U_G}{U_L} \quad (2.8)$$

### 2.2.4 Digital Image Processing

*Digital image processing* merupakan salah satu metode menganalisis nilai fraksi hampa dengan cara mengambil data aliran gambar dengan menggunakan kamera kemudian dilakukan pengolahan data dengan *software* komputer. McAndrew (2004) menerapkan metode ini menentukan gambar aliran yang diubah ke dalam format yang cocok agar baik dianalisa lebih lanjut dalam software di komputer dan meningkatkan kualitas gambar agar lebih baik. Mayor dkk (2006) menjelaskan tentang implementasi dari *digital image processing* untuk mempelajari aliran *slug* pada pipa vertikal.

### 2.2.5 Digital image

Gambar yang diartikan sebagai fungsi dari dua dimensi suatu objek yang dapat diolah dengan *software* komputer. Digital image mempunyai fungsi  $f(x,y)$  intensitas cahaya yang dimana  $x$  dan  $y$  adalah nilai dari koordinat. Nilai besaran  $f$  disebut intensitas atau tingkat warna suatu gambar. Ada 3 digital image yang dapat digunakan dalam pengolahan data.

#### 1. Gambar *Red Green Blue* (RGB)

Gambar RGB dimana setiap piksel memiliki warna tertentu, merah, hijau, biru. Setiap piksel mempunyai nilai tersendiri dengan jumlah rata-rata 0 sampai 225, sehingga warna yang dihasilkan sebesar 16.777.216.



**Gambar 2.13 RGB**

2. Gambar *Grayscale*

Gambar *grayscale* adalah pengubahan dari gambar RGB yang mempunyai nilai komponen yang sama. Setiap gambar *grayscale* memiliki warna abu-abu dengan rentang nilai 0 untuk warna hitam dan 255 untuk warna putih.



**Gambar 2.14 Grayscale**

3. Gambar *binner*

Gambar biner adalah gambar yang mempunyai tingkatan pikselnya ada dua kombinasi warna hitam yang mempunyai nilai 0 sedangkan warna putih bernilai 1.



**Gambar 2.15 Binner**

### 2.2.6 Noise

*Noise* merupakan titik-titik yang berwarna yang mengganggu kualitas gambar sehingga hasil dari keakuratan sebuah gambar tidak halus. *Noise* muncul karena besaran sensitivitas kamera (ISO) yang terlalu besar. Semakin besar nilai ISO digunakan maka semakin pula noise yang dihasilkan.

### 2.2.7 Filtering

*Filtering* adalah proses untuk menghilangkan *noise* yang dapat mengganggu hasil dari kualitas gambar dengan menggunakan model filter seperti *mean filter* prinsip proses ini dengan mengganti setiap piksel dengan rata-rata nilai piksel tersebut dan nilai piksel sekelilingnya.

### 2.2.8 Metode analisis statistik

Metode ini digunakan untuk memperoleh data mentah pembacaan sinyal menjadi informasi sederhana seperti nilai fraksi hampa terhadap  $J_G$  dan  $J_L$  dapat dipastikan mendapat nilai rata-rata. Beberapa cara untuk menghasilkan perhitungan statistik dengan *mean value*, *probability distribution Function* (PDF), dan *cross-correlation*.

1. *Mean value*.

Data fraksi hampa dari nilai variasi kecepatan liquid ( $J_L$ ) dan nilai variasi kecepatan pada gas ( $J_G$ ) dihasilkan sebuah grafik dan akan menghasilkan nilai rata-rata.

2. *Probability Distribution Function* (PDF).

Proses PDF digunakan untuk menentukan nilai keluar diukur dan menggambarkan perilaku suatu distribusi probabilitas teoritis fraksi hampa.

4. *Cross-Correlation*.

Digunakan untuk mencari nilai kecepatan *bubbly* dan *plug*. Metode *cross-correlation* diinvestigasi pengukuran dengan cara membuat dua titik referensi pada jarak tertentu, sehingga terdapat jeda waktu *plug* dan *bubbly* saat melewati kedua titik referensi dapat diketahui.