

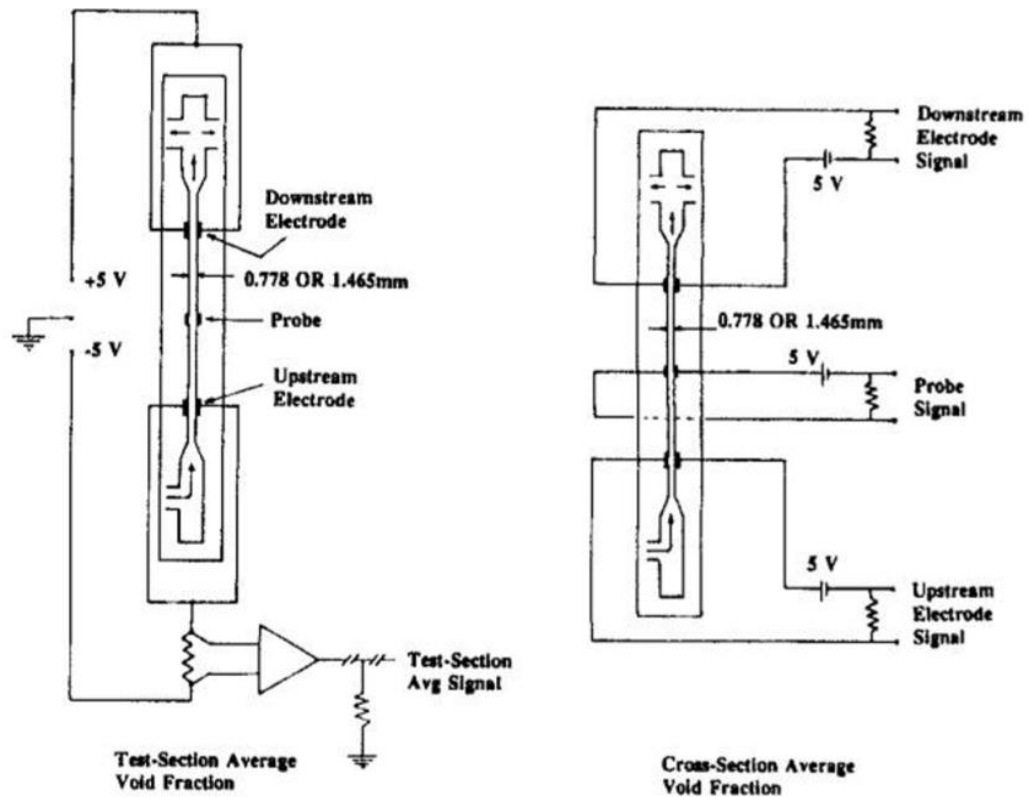
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 1.1 Tinjauan Pustaka

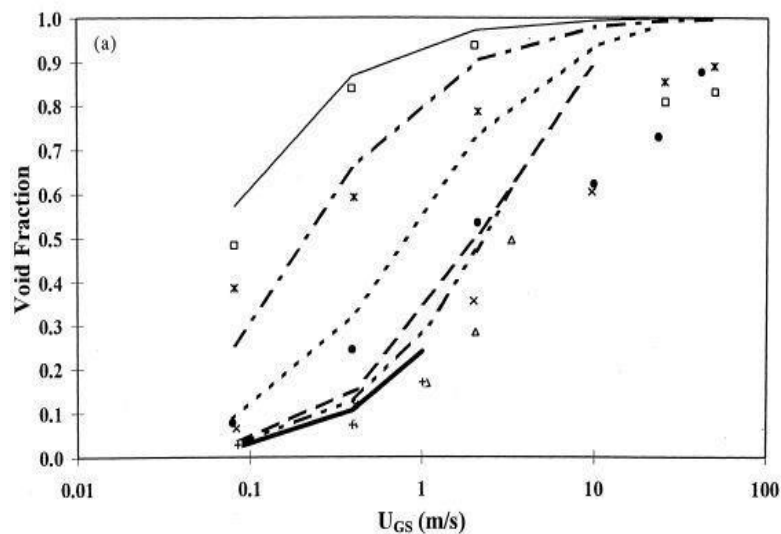
##### 1.1.1 Studi Tentang Fraksi Hampa Aliran Dua-Fase Gas-Cairan di *Minichannel*

Ali dkk (1993) telah melakukan pengukuran fraksi hampa dengan cara mengukur konduktivitas listrik pada sebuah aliran. Dua pasang elektroda dipasang pada saluran masuk dan keluar pada plat searah dengan gap antara 0,778 mm – 1,465 mm seperti pada Gambar 2.1. Fraksi hampa diukur dengan cara membandingkan rasio antara konduktivitas listrik aliran dua-fase gas-cairan dengan konduktivitas listrik aliran satu-fase cair. Hasil dari data tersebut, kemudian dikonversikan ke bentuk fraksi hampa. Gambar 2.1 hasil pengukuran fraksi hampa.

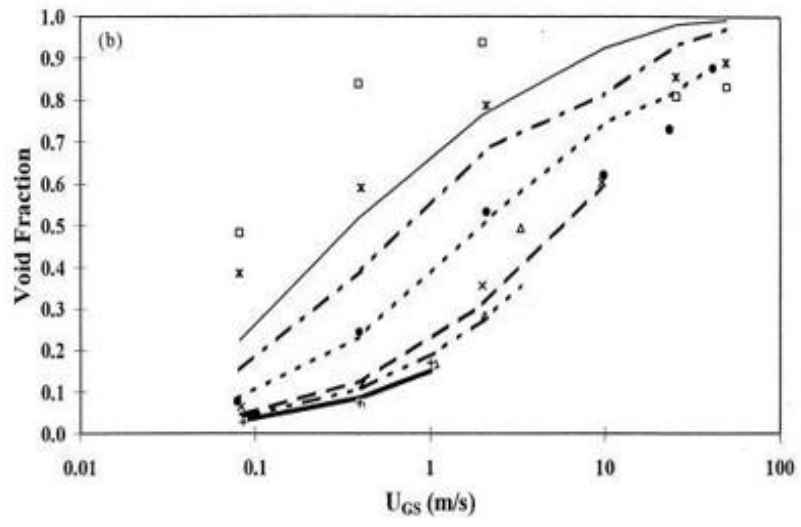


Gambar 2.1 Pengukuran fraksi hampa (Ali dkk, 1993)

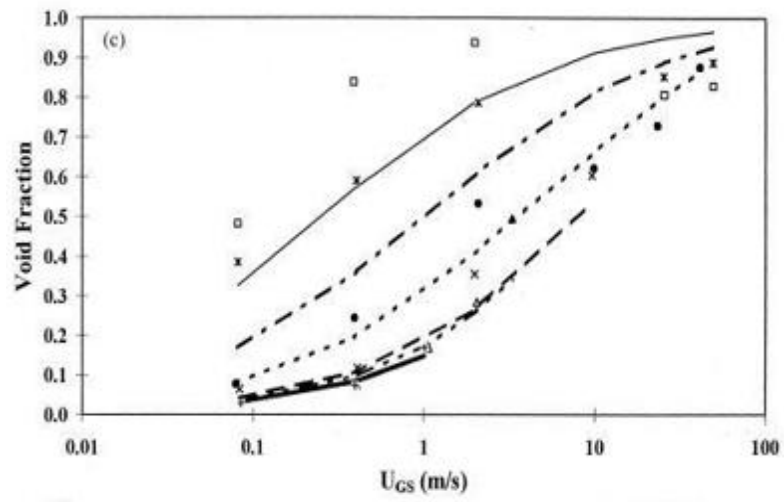
Berdasarkan Hasil penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk (1999) mengenai fraksi hampa pada aliran dua fase dalam saluran sirkular mini. Penelitian tersebut menggunakan media berupa udara-air pada saluran mikro dengan berdiameter 1,1 dan 1,45 mm. Kecepatan superfisial gas-cair divariasikan antara 0,02 sampai 80 m/s dan 0.02 sampai 8m/s, setelah itu fraksi hampa dihitung dengan cara menganalisa hasil foto. Setiap hasil foto mencakup panjang 6 mm pada setiap seksi uji. Pada pola aliran *bubble*, setiap *bubble* diasumsikan berbentuk lingkaran. Pada pola aliran *slug* relatif teratur. Sedangkan pada pola aliran *annular*, fase gas dibagi menjadi beberapa seksi dan rata-rata fraksi hampa dihitung berdasarkan seksi uji. Pada pola aliran *slug-annular* dan *churn* merupakan pola aliran yang sulit untuk diteliti, maka dari itu pola aliran tersebut tidak dimasukkan kedalam perhitungan. Gambar 2.2 Perbandingan beberapa hasil pengukuran fraksi hampa dari Triplett dkk (1999) dengan penelitian lain.



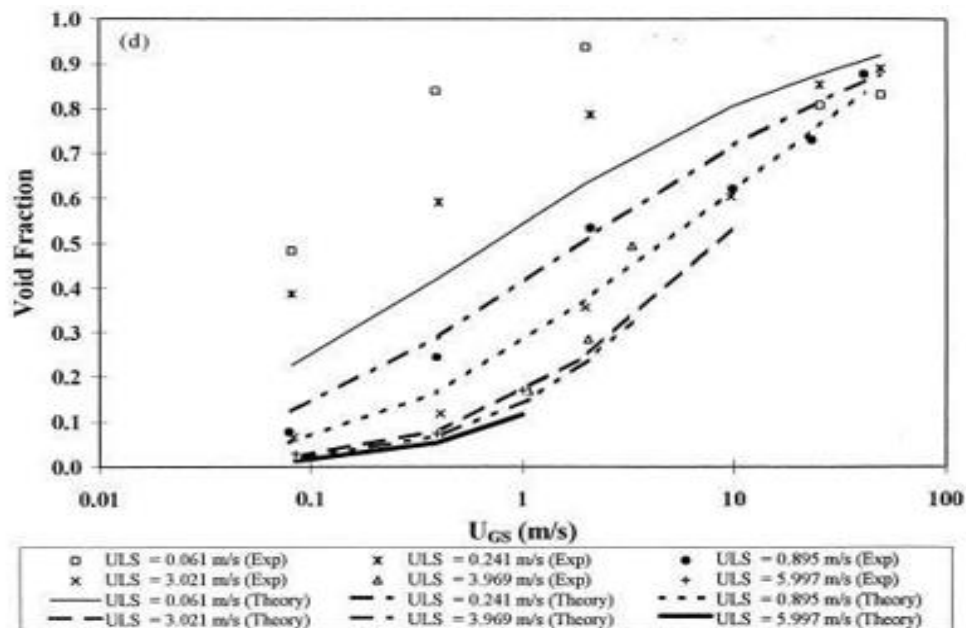
(a)



(b)



(c)



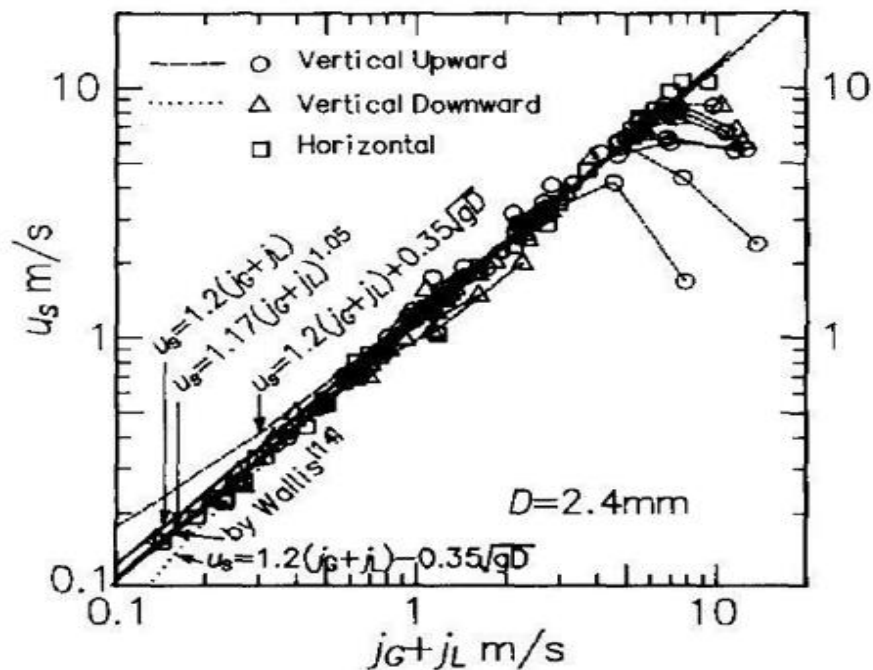
(d)

Gambar 2.2 Perbandingan beberapa hasil pengukuran fraksi hampa dari Triplett (1999) dengan penelitian lain (a) Model aliran homogen, (b) Chexal dkk (1977); (c) Lockhart-Martinelli-Butterworth (Butterworth, 1975); (d) CISE (Premoli, 1971)

Gambar 2.2. merupakan hasil dari pengukuran fraksi hampa yang dibandingkan dengan berbagai korelasi. Secara umum fraksi hampa akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas pada kecepatan superfisial air yang konstan serta fraksi hampa akan menurun seiring meningkatnya kecepatan superfisial air pada kecepatan superfisial gas yang konstan.

Fukano dkk (1993) telah melakukan penelitian mengenai fenomena aliran dua fase pada pipa kapiler bertujuan untuk mengetahui peta pola aliran, fraksi hampa dan penurunan tekanan. Arah aliran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu vertikal dengan arah aliran keatas, horizontal, dan vertikal dengan arah aliran kebawah. Jenis pipa yang digunakan ialah pipa dengan diameter 1 mm, 2,4 mm, 4,9 mm. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tekanan statik dan beda tekanan menggunakan *pressure transducer*. Sedangkan fraksi hampa diukur dengan menggunakan *constant current method*.

Kecepatan *bubble* ditentukan dari persamaan  $L_s/\tau$  dimana  $L_s$  adalah jarak aksial diantara dua elektroda dan  $\tau$  adalah jeda waktu dimana nilai maksimum *cross correlation* dari dua sinyal output fraksi hampa. Kesalahan pada pengukuran  $\tau$  biasanya disebabkan oleh frekuensi dari sampel. Minimum selang waktu yang digunakan adalah sebesar 500  $\mu$ s. Kesalahan pengukuran paling besar terjadi ketika kecepatan *bubble* sedang tinggi. Kesalahan tersebut berkisar 13% untuk kecepatan *bubble* sebesar 7 m/s pada pipa dengan diameter 1 mm dan 2 % pada kecepatan *bubble* sebesar 1 m/s.



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

Gambar 2.3 merupakan grafik kecepatan *bubble* yang di plot dengan total volumetriks fluks  $J_T = (J_G + J_L)$  pada aliran vertikal mengarah ke atas, horizontal, dan vertikal mengarah ke bawah pada pipa dengan diameter 2,4 mm. Garis putus-putus yang ditunjukkan pada grafik memiliki persamaan berikut.

$$U_s = 1,2 (J_G + J_L) + 0,35\sqrt{gD} \quad (2.1)$$

Persamaan tersebut diusulkan oleh Nicklin dkk (1962). Persamaan ini juga dapat digunakan untuk menghitung kecepatan *bubble* pada pipa vertikal yang

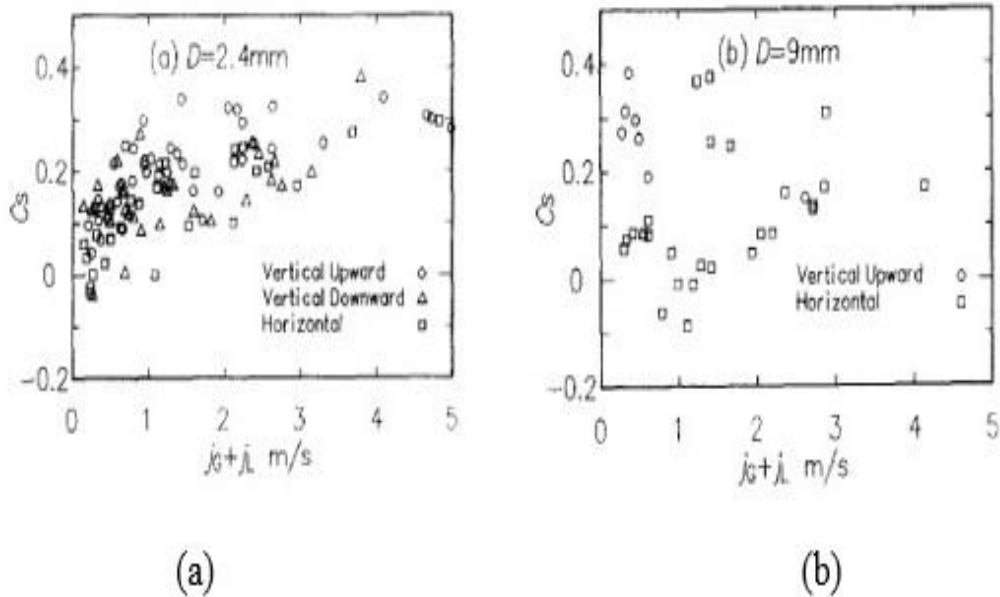
mengalir ke atas dengan diameter cukup besar, yaitu sekitar 26 mm. Garis titik-titik ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$U_s = 1,2 (J_G + J_L) - 0,35 \sqrt{gD} \quad (2.2)$$

Persamaan tersebut menunjukkan kecepatan relatif akibat gaya apung.

Kedua persamaan (2.1) dan (2.2) tidak memberikan hasil yang akurat pada pipa kapiler dengan mengabaikan arah aliran jika *flow rate* kecil. Persamaan Nicklin dkk (1962) tidak bisa digunakan apabila kecepatan *bubble* yang melewati pipa mendekati nol dan total volumetriks fluks relative sangat kecil. Berikut persamaan yang memberikan hasil lebih baik dari persamaan diatas.

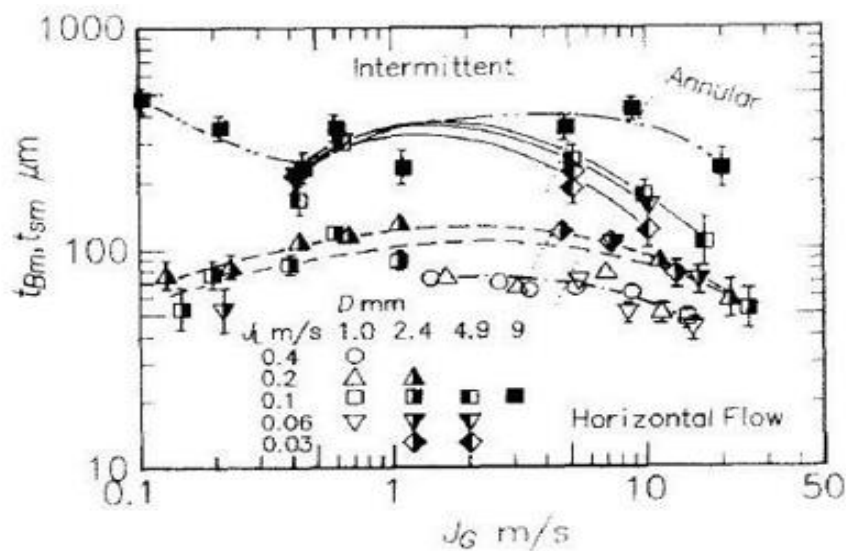
$$U_s = (1 + C_s) (J_G + J_L) \quad (2,3)$$



Gambar 2.4 Nilai  $C_s$  dalam persamaan (2.3) pada total fluks volumetrik dan arah aliran (a) pipa dengan diameter 2,4 mm (b) pipa dengan diameter 9 mm. (Fukano dan Kariyasaki, 1993)

Nilai dari konstanta  $C_s$  diplot dengan total fluks volumetrik dengan arah aliran sebagai parameternya. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 diatas. Pada aliran di pipa kapiler, nilai  $C_s$  mendekati nol ketika total fluks volumetrik juga mendekati nol.

Di lain sisi pada pipa vertikal untuk aliran yang mengalir ke atas dengan diameter 9 mm,  $C_s$  memiliki nilai sekitar 0,3 yang ditunjukkan pada Gambar 2.4(b). Setelah itu nilai  $C_s$  menjadi sekitar 0,2 dan menurun dengan total fluks volumetris menjadi nol. Hal ini menunjukkan bahwa *bubble* yang berukuran besar dapat bergerak lebih cepat dari pada air. Beberapa data dari  $C_s$  menunjukkan nilai yang negatif, hal ini menunjukkan bahwa *bubble* udara bergerak menuju keatas dimana kecepatan *bubble* dan *slug* lebih kecil dari total fluks volumetris dan *bubble* udara menempel pada pipa bagian atas.



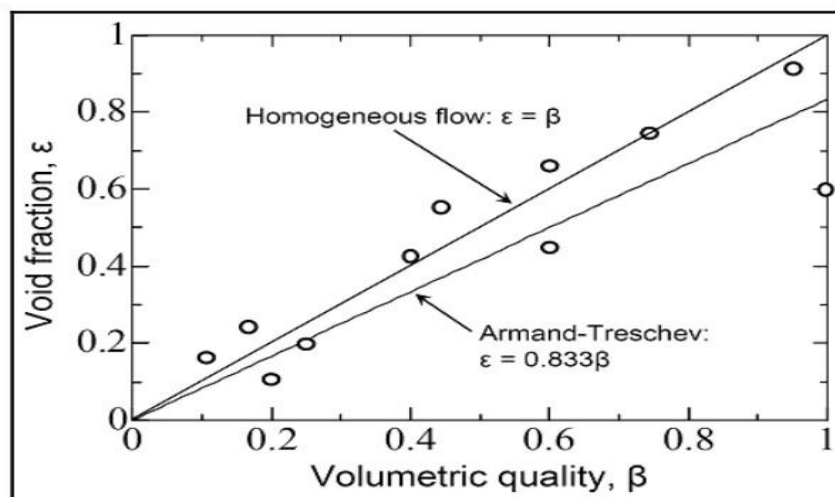
Gambar 2.5 Tebal Film Cairan (Fukano dan Kariyasaki, 1993)

Gambar 2.5 diatas menunjukkan tebal film pada *bubble* udara pada pipa horizontal. Tebal film pada aliran *annular* juga diplot dengan kecepatan superfisial air dan kecepatan superfisial udara dengan diameter pipa sebagai parameter. Tebal film pada pipa dengan diameter 9 mm ditentukan dengan mengasumsikan keliling tebal film adalah seragam. Kesalahan dalam pengukuran tebal film berkisar antara 6%-2% pada pipa 2,4 mm, 24%-6% pada pipa 4,9 mm, dan 17%-8% pada pipa 9 mm.

Pada Gambar 2.5 diatas dapat terlihat jelas bahwa tebal film akan berkurang sejalan dengan berkurangnya diameter pipa. Hal ini disebabkan perbedaan tekanan antara luar dan dalam *bubble* udara. *Bubble* udara menjadi semakin kaku dengan

berkurangnya diameter akibat dari pengaruh dari tegangan permukaan dan sulit untuk fluida cair melewati *bubble* yang panjang. Demikian juga dengan tebal film, akan semakin kecil jika kecepatan superfisial udara mengecil pada pipa 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm.

Serizawa dkk (2002) juga telah melakukan pengukuran fraksi hampa dengan menggunakan analisis video. Untuk semua pola aliran *bubbly* dan *slug*, hasil penelitian menunjukkan korelasi linear antara  $\epsilon$  dan  $\beta$ , dengan  $\epsilon = 0,833 \beta$ . Grafik korelasi fraksi hampa dengan *volume quality* ditunjukkan pada gambar 2.3 di bawah ini.

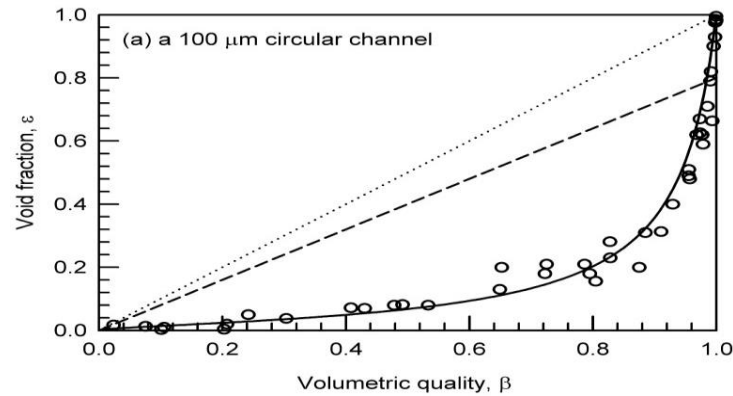


Gambar 2.6 Korelasi fraksi hampa dengan *volume quality* dengan hasil (Serizawa dkk, 2002)

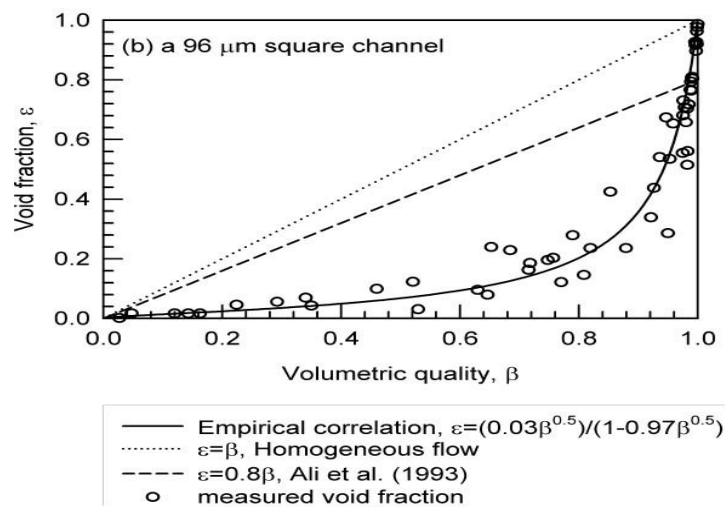
Chung dan Kawaji (2004) telah melakukan penelitian guna mengetahui pengaruh diameter saluran pada aliran dua fase dan mengidentifikasi pengaruh perubahan dari *microchannel* ke *minichannel*. Penelitian ini dilakukan dengan cara mencampurkan gas nitrogen-air dalam saluran sirkular yang terdiri dari diameter 530, 250, 100, 50  $\mu\text{m}$ . Dalam aliran diameter 530 dan 250  $\mu\text{m}$ , karakteristik aliran dua fase hampir mirip dengan hasil penelitian dengan menggunakan *minichannel* yang berdiameter 1 mm. Kemudian dalam aliran 100  $\mu\text{m}$  aliran dua fase menyimpang dari observasi *minichannel*, sehingga aliran *slug* lebih mendominasi. Data untuk diameter 250  $\mu\text{m}$  sedikit berbeda dari model aliran homogen, tetapi berbanding terbalik dengan korelasi tipe Armand yang diusulkan lebih dulu oleh



Ali dkk (1993) untuk aliran dua-fase dalam saluran persegi sempit dengan  $D_h = 1$  mm dan  $\alpha = 0,8 \beta$  dengan  $\beta = J_G/J$  adalah kualitas volumetrik. Data dari Chung Kawaji (2004) untuk saluran persegi 96  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$  dan 100  $\mu\text{m}$  menunjukkan hasil yang berbeda dari korelasi-korelasi tersebut, namun menunjukkan hubungan non linear antara  $\alpha$  dan  $\beta$  sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.7.



(a)

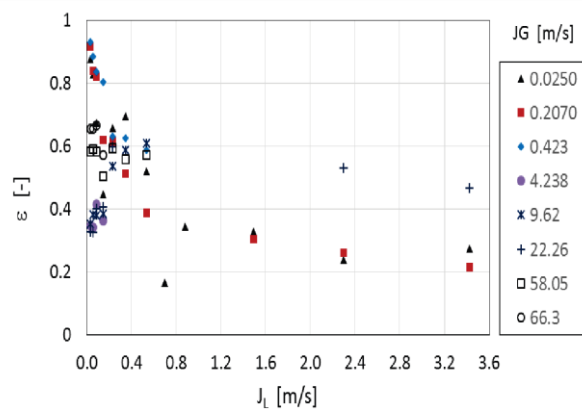


(b)

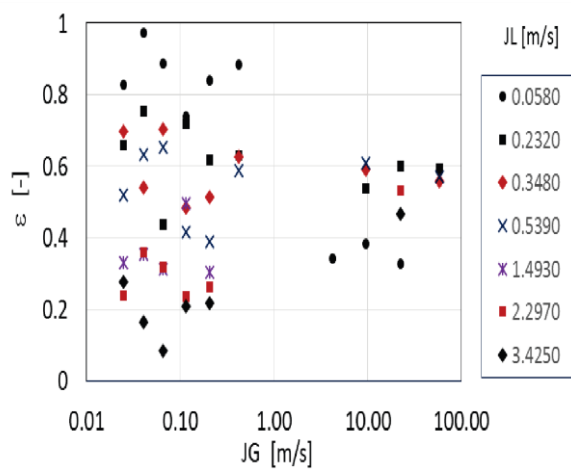
Gambar 2.7 Fraksi hampa rata-rata untuk saluran mikro sirkular dan persegi terhadap kualitas volumetrik (Chung dan Kawaji, 2004)

Sudarja dkk. (2015) telah melakukan penelitian tentang fraksi hampa udara-air adiabatik dalam *minichannel* horisontal transparan berdiameter dalam 1,6 mm. Kecepatan superfisial gas 0,025-66,3 m/s dan cairan bervariasi dalam kisaran

0,033-4,935 m/s. Data fraksi hampa diperoleh dengan cara melakukan analisis gambar yang ditangkap dengan menggunakan kamera berkecepatan tinggi dan diolah dengan *image processing*. Gambar 2.8 menunjukkan pengaruh  $J_G$  dan  $J_L$  pada fraksi hampa. Dari gambar tersebut, dapat dilihat pada  $J_G$  rendah (0,0423 m/s), peningkatan  $J_L$  menimbulkan penurunan yang signifikan dalam fraksi hampa ( $\epsilon$ ), sementara itu, pada  $J_G$  tinggi (4,328 m/s atau lebih tinggi) pengaruh  $J_L$  pada aliran polanya tidak terlihat jelas. Perubahan  $J_L$  tidak mempengaruhi secara langsung ke fraksi hampa, melainkan mempengaruhi secara langsung terhadap rasio slip. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut ialah pengaruh  $J_L$  dan  $J_G$  terhadap fraksi hampa sangat bergantung pada pola aliran dan sebagian besar berkaitan dengan *slip ratio*.



(a)



(b)

Gambar 2.8 Pengaruh  $J_L$  dan  $J_G$  pada fraksi hampa (Sudarja, 2015)

## 1.2 Dasar Teori

### 1.2.1 Tinjauan Umum Aliran Dua Fase


Aliran dua komponen digunakan untuk menyatakan aliran yang fasenya terdiri dari susunan kimia yang berbeda. Sebagai contoh, aliran uap-air merupakan aliran dua fase, sementara aliran udara-air merupakan dua komponen. Beberapa dari aliran dua komponen sering disebut aliran dua fase walaupun terdiri dari satu fase, misalnya aliran cairan-cairan (Wallis, 1969). Penyelesaian matematis dari aliran dua fase maupun dua komponen akan didapatkan hasil yang sama. Oleh sebab itu, istilah aliran dua komponen maupun aliran dua fase dapat digunakan.

Aliran dua fase dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam. Menurut orientasi saluran aliran dua fase dapat digolongkan dalam arah saluran horisontal, vertikal, dan kemiringan pada sudut tertentu. Sedangkan menurut ukuran salurannya, aliran dua fase dapat digolongkan sebagai aliran dua fase pada saluran berukuran mini (*minichannel*), mikro (*microchannel*), normal (*normalchannel*) dan nano (*nanochannel*).

### 1.2.2 Fraksi Hampa Aliran Dua fase

Fraksi hampa merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk memperoleh karakteristik aliran dua fase. Parameter yang dapat ditentukan antara lain viskositas dua fase, kecepatan rata-rata, densitas dua fase, penurunan tekanan, dan koefisien perpindahan kalor. Dapat diperoleh dari beberapa metode untuk mendefinisikan nilai fraksi hampa sebagai berikut:

1. Fraksi Hampa Lokal


$$P_k(r, t) = \begin{cases} 1 & \text{if point } r \text{ is in phase G} \\ 0 & \text{if point } r \text{ is in phase L} \end{cases}$$

Gambar 2.9 Fraksi Hampa Lokal (Thome, 2004)

## 2. Fraksi Hampa *Chordal*.

Fraksi hampa *chordal* didasarkan dengan membandingkan antara fase gas di dalam pipa terhadap panjang pipa total yang ditinjau. Fraksi hampa *chordal* dapat didefinisikan pada persamaan 2.4.

$$\epsilon_{chordal} = \frac{L_G}{L_G + L_L} \quad (2.4)$$

$L_G$  merupakan panjang garis melalui fase gas dan  $L_L$  merupakan panjang melalui fase cairan. Gambar fraksi hampa *chordal* dapat dilihat pada gambar 2.10.



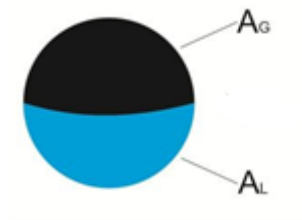
Gambar 2.10 Fraksi Hampa Chordal (Thome, 2004)

## 3. *Cross-Sectional Void Fraction*

Perhitungan fraksi hampa dengan menggunakan metode *Cross-sectional* didasarkan pada perbandingan antara luas permukaan fase gas dan luas permukaan pipa, dengan menentukan nilai fraksi hampa. Metode *cross-sectional void fraction* dapat didefinisikan pada persamaan 2.5.

$$\epsilon_{c-s} = \frac{A_G}{A_G + A_L} \quad (2.5)$$

$A_L$  merupakan luas permukaan fase cair dan  $A_G$  merupakan luas permukaan fase gas. Gambar *cross-sectional void fraction* dapat dilihat pada gambar 2.11.



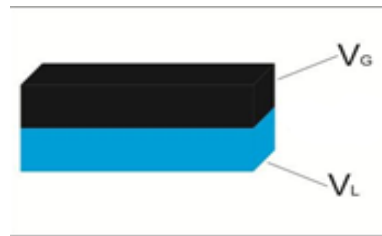
Gambar 2.11 *Cross-Sectional Void Fraction* (Thome, 2004)

#### 4. Fraksi Hampa Volumetrik

Perhitungan fraksi hampa dengan menggunakan metode volumetrik didasarkan pada perbandingan volume fase gas dan volume fase total pipa. Fraksi hampa volumetrik dapat didefinisikan pada persamaan 2.6.

$$\varepsilon_{\text{vol}} = \frac{V_G}{V_G + V_L} \quad (2.6)$$

$V_L$  merupakan volume fase cairan dan  $V_G$  merupakan volume fase udara. Skema fraksi hampa volumetrik dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Fraksi Hampa Volumetrik (Thome, 2004)

#### 1.2.3 Fraksi Hampa Homogen

Definisi fraksi hampa dari metode *cross-section*, nilai kecepatan aliran gas dan cairan dapat didefinisikan sebagai berikut (Thome, 2004).

$$U_G = \frac{\dot{Q}_G}{A_\varepsilon} = \frac{\dot{m}}{\rho_G} \left( \frac{X}{\varepsilon} \right) \quad (2.7)$$

$$U_L = \frac{\dot{Q}_L}{A(1-\varepsilon)} = \frac{\dot{m}}{\rho_L} \left( \frac{1-X}{1-\varepsilon} \right) \quad (2.8)$$

Definisi dari persamaan (2.7) dan (2.8) maka nilai fraksi hampa homogen dapat didefinisikan pada persamaan 2.9.

$$\varepsilon_H = \frac{1}{1 + \left( \frac{1-X}{X} \right) \frac{\rho_G}{\rho_L}} \quad (2.9)$$

#### 1.2.4 Rasio Kecepatan

Rasio kecepatan adalah rasio yang menggambarkan kecepatan rata-rata dari fase gas dan air berbeda. Rasio kecepatan dapat didefinisikan pada persamaan 2.10.

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-X}{X}\right) \frac{\rho_G S}{\rho_L}} \quad (2.10)$$

dengan rasio kecepatan adalah

$$S = \frac{U_G}{U_L} \quad (2.11)$$

#### 1.2.5 Digital Image Processing

*Digital image processing* merupakan salah satu metode untuk menghitung nilai fraksi hampa dengan cara mengambil gambar aliran menggunakan kamera setelah itu dianalisis dengan menggunakan *software* komputer. McAndrew (2004) menjelaskan tujuan dari *digital image processing* adalah sebagai berikut:

1. Mengubah gambar ke dalam format yang cocok agar dapat dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan *software* di komputer.
2. Meningkatkan kualitas gambar sehingga dapat di definisikan dengan baik oleh peneliti.

#### 1.2.6 Digital Image

Gambar dapat diartikan sebagai fungsi dua dimensi, yaitu fungsi  $f(x,y)$  dimana  $x$  dan  $y$  merupakan nilai dari koordinat dan besaran dari  $f$  pada setiap pasangan koordinat  $(x,y)$  disebut intensitas atau tingkat warna suatu gambar pada titik tertentu. Jika  $x$ ,  $y$  dan besaran nilai dari  $f$  terbatas, dan nilainya bervariasi maka gambar tersebut dapat diartikan sebagai *digital image*. 3 jenis *Digital Image* yang biasa digunakan dalam pengolahan data yaitu:

1. Gambar Red Green Blue (RGB) atau *True Color*

Setiap piksel gambar RGB memiliki warna tertentu. Warna-warna tersebut antara lain merah, hijau dan biru. Setiap warna tersebut memiliki nilai *rata-rata* antara 0 sampai 255, sehingga total kemungkinan warna adalah sebesar 16.777.216.



Gambar 2.13 RGB (McAdrew, 2004)

2. Gambar *Grayscale*

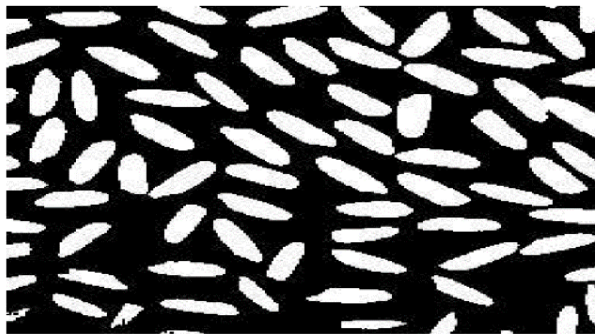
Gambar *grayscale* adalah gabungan dari gambar RGB yang memiliki nilai yang sama untuk setiap komponennya. Setiap piksel dari gambar grayscale memiliki warna abu-abu yang rentang nilainya dari 0 untuk warna hitam dan 255 untuk warna putih.



Gambar 2.14 *Grayscale* (McAdrew, 2004)

### 3. Gambar Biner

Gambar biner adalah gambar yang setiap pikselnya hanya memiliki dua gabungan warna. Gambar biner diperoleh dari proses binerisasi pada gambar grayscale atau gambar RGB. Besarnya nilai pada gambar biner ialah 0 untuk warna hitam dan 1 untuk warna putih.



Gambar 2.15 Biner (McAdrew, 2004)

Karena hanya ada dua kemungkinan warna setiap pikselnya pada gambar biner, maka dari itu gambar biner hanya memerlukan 1 bit per piksel sehingga sangat efisien dalam hak penyimpanan data.

#### 1.2.7 *Noise*

*Noise* merupakan piksel yang mengganggu kualitas gambar sehingga dapat mengurangi keakuratan data pada gambar tersebut. *Noise* muncul akibat gangguan yang terjadi karena cahaya yang kurang sempurna, ukuran sensor, dan kepadatan piksel. Oleh karena itu perlu dilakukan *image processing* agar mendapatkan gambar yang diinginkan. Berikut merupakan jenis noise yaitu:

##### 1. *Coherent noise*

*Noise* ini terjadi akibat gangguan sinyal pada alat yang digunakan untuk mengambil gambar sehingga gambar yang dihasilkan akan terdapat noise yang mengganggu.



## 2. *Fixed-location noise*

*Noise* jenis ini selalu terjadi ditempat yang sama. *Noise* jenis ini dapat dihilangkan dengan cara mengganti piksel yang terkena *noise* dengan piksel disekitarnya yang tidak terdapat *noise*.

## 2. *Salt-and-pepper noise*

*Noise* ini juga disebut *impulse noise*, *shout noise* atau *binary voice*. *Noise* ini terjadi akibat kesalahan dalam data transmisi yang membuat gambar terdapat titik-titik kecil.

### 2.2.8 *Filtering*

*Filtering* adalah proses untuk menghilangkan *noise* yang dapat mengganggu kualitas gambar agar gambar tersebut dapat diolah dengan baik. Beberapa filter yang dapat digunakan yaitu:

#### 1. *Mean filtering*

Prinsip dari proses filter ini adalah dengan mengganti setiap piksel dengan rata-rata nilai dari piksel tersebut dan piksel di sekitarnya.

#### 2. *Median filtering*

Prinsip dari *median filtering* yaitu mengganti setiap nilai piksel dengan nilai tengah dari piksel tersebut dengan piksel disekitarnya. Piksel tersebut disusun dengan piksel-piksel disekitarnya sehingga dapat diketahui nilai tengahnya. *Median filtering* mampu memberikan detail yang lebih baik.

#### 3. *Gaussian filtering*

*Gaussian filtering* sering digunakan untuk mempermudah menganalisis gambar seperti menghaluskan gambar dan menghilangkan *noise*. Dalam *filtering*

tersebut, nilai setiap piksel diganti dengan rata-rata nilai pembobotan dari nilai piksel tersebut dengan piksel disekitarnya.

### **2.2.9 Analisis Statistik**

Analisis statistik digunakan untuk menghasilkan perolehan data mentah dari pembacaan sinyal menjadi informasi sederhana yang didapat. Sebagai contohnya, nilai fraksi hampa terhadap  $J_L$  dan  $J_G$  sudah dapat dipastikan akan mendapatkan informasi rata-rata. Jenis perhitungan statistik yang dapat digunakan antara lain *mean value*, *Probability distribution function* (PDF) dan *cross-corelation*.

#### 1. *Mean Value*

Data fraksi hampa dari perolehan variasi  $J_L$  dan  $J_G$  akan diplot menjadi sebuah grafik, dan akan mendapatkan nilai rata-ratanya.

#### 2. *Probability Distribution Function* (PDF)

PDF digunakan untuk menggambarkan perilaku suatu distribusi probabilitas dan teoritis.

#### 3. *Cross-Corelation*

*Cross-Corelation* digunakan untuk menghitung kecepatan *bubbly* dan *slug*. Metode *Cross-corelation* di investigasi dengan cara membuat dua titik referensi pada jarak tertentu, sehingga adanya jeda waktu saat *bubbly* dan *plug* melampaui kedua titik referensi tersebut