

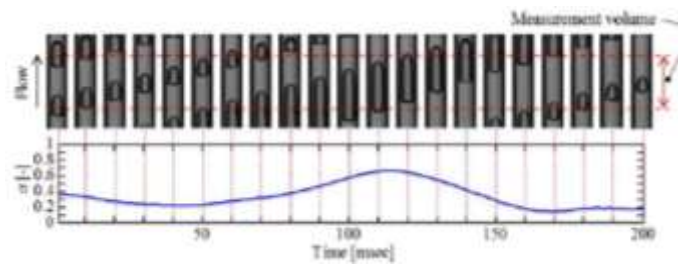
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

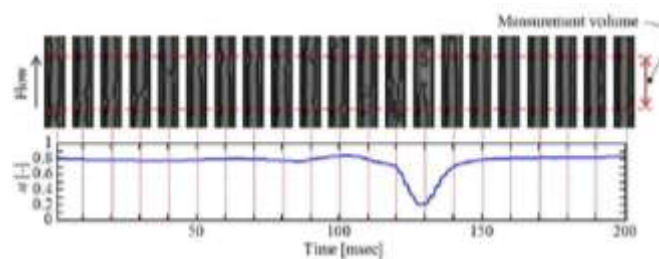
2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang aliran dua fase dan fraksi hampa telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, penelitian dilakukan pada saluran pipa berdiameter kecil hingga besar. Mulai dari saluran nano (*nano channel*), mikro (*micro channel*), normal (*normal channel*), dan saluran besar (*large channel*). Penelitian tersebut menghasilkan hasil yang bervariasi. Perbedaan ini disebabkan karena metode penelitian yang berbeda, variasi sudut, viskositas fluida, dan diameter saluran.

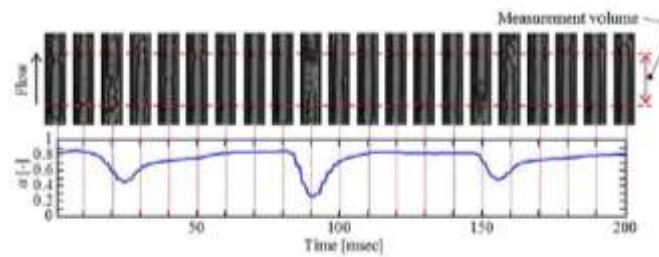
Taisaku Gomyo dan Hitoshi Asano (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik fraksi hampa pada air-gas aliran dua fase pada pipa dengan diameter kecil. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fraksi hampa dari perbedaan diameter pipa 4 mm, 2 mm, 1,1 mm, dan 0,5 mm seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1. Fraksi hampa di ukur dengan metode kapasitansi dan pola aliran dengan menggunakan *high speed camera*. Pada penelitian ini didapati bahwa frekuensi gelombang untuk aliran annular meningkat ketika diameter pipa mengecil menjadi 1,1 mm. Dan untuk pipa berdiameter 0,5 mm frekuensi gelombang menurun karena peningkatan efek tegangan permukaan.



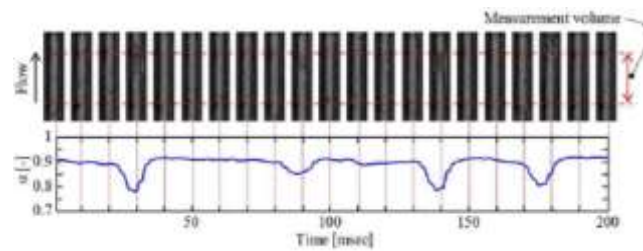
(a)



(b)



(c)

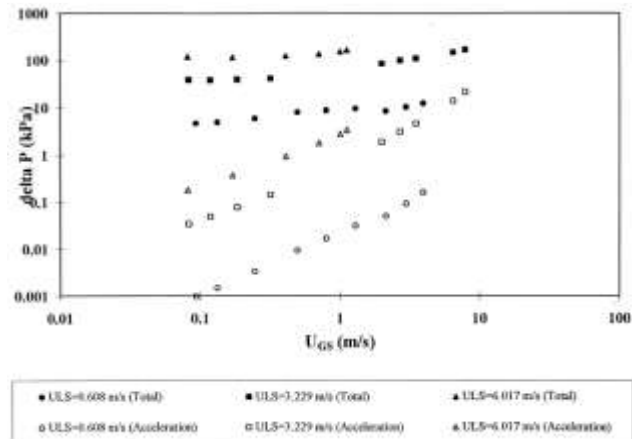


(d)

Gambar 2. 1 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.

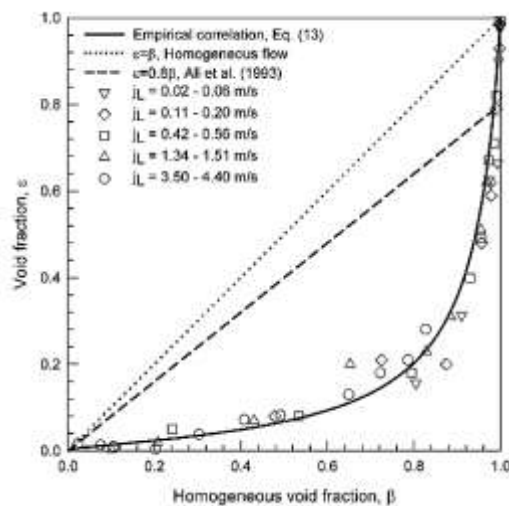
Wongwises (2014) melakukan penelitian tentang efek variasi sudut 0° , 30° , dan 60° pada aliran dua fase. Penelitian ini dilakukan pada pipa annular dengan diameter dalam 8 mm, 10 mm, dan 11 mm dan diameter luar 12,5 mm. Pola aliran yang didapat bervariasi yaitu, aliran *plug*, aliran *slug*, aliran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

Triplett dkk (1999) melakukan penelitian tentang fraksi hampa dan penurunan tekanan akibat gesekan aliran dua fase pada pipa mikro. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan campuran udara dan air pada pipa dengan diameter dalam 1,1 mm dan 1,45 mm. Kecepatan superfisial gas dan liquid bervariasi dengan *range* 0,02-8/s dan 0,02-80m/s. Jenis aliran homogen banyak digunakan untuk menghitung fraksi hampa dan penurunan tekanan seperti yang digunakan pada penelitian ini. Penurunan tekanan nilai terukur dan penurunan tekanan dihitung dengan asumsi aliran homogen dapat ditunjukkan seperti gambar 2.2



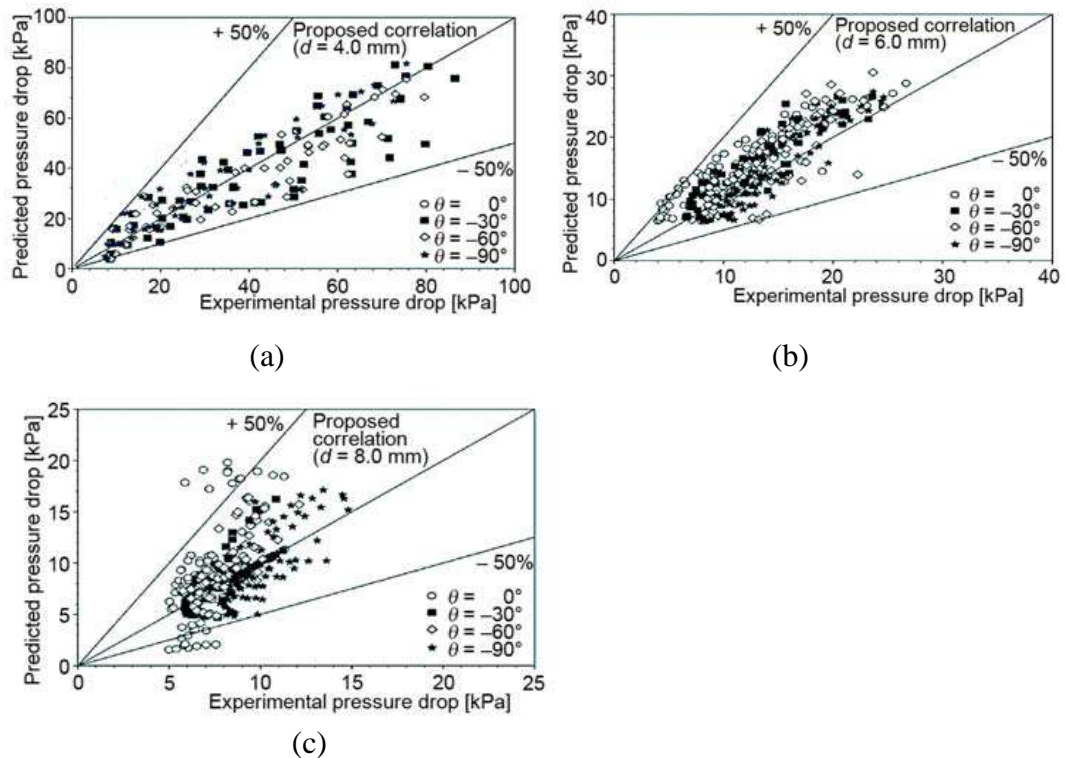
Gambar 2. 2 Perbandingan antara nilai terukur (total) dengan nilai perhitungan dengan asumsi aliran homogen (akselerasi) (Triplett dkk.,1999)

Kawahara dkk (2002) melakukan penelitian fraksi hampa pada pipa berdiameter 100 μm . Didapati bahwa aliran air tanpa adanya udara ($\epsilon = 0$) dan inti gas mengalir dengan film cairan halus terjadi pada saat *flow rate* yang rendah. Sedangkan saat *flow rate* yang tinggi terdapat beberapa jenis aliran yang didapatkan yaitu, aliran air tunggal ($\epsilon = 0$), inti gas yang mengalir dengan film cairan halus ($\epsilon = 1$), dan inti gas yang mengalir dengan film cairan tebal ($0 < \epsilon < 1$). Grafik fraksi hampa yang dihasilkan oleh Kawahara dkk, (2002) ditunjukkan seperti pada gambar 2.3



Gambar 2. 3. Hubungan antara pengukuran dengan fraksi hampa (Kawahara dkk, (2002))

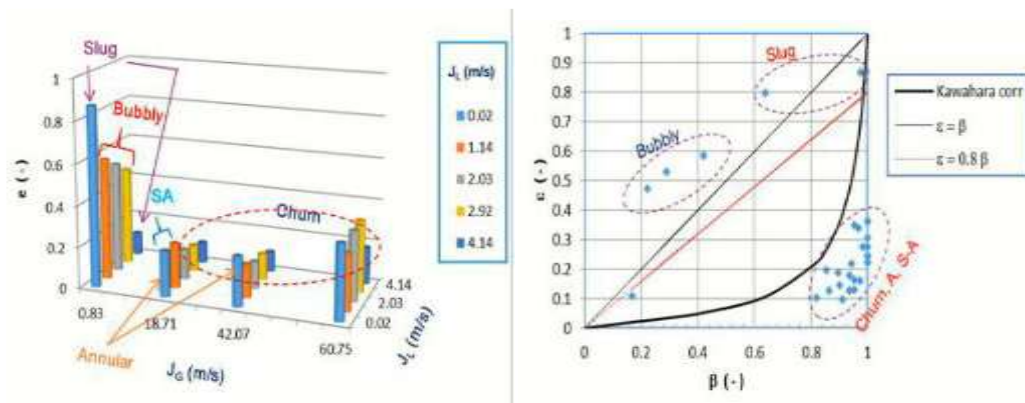
Arun Autee dkk (2015) melakukan penelitian tentang *pressure drop* pada aliran dua fasa dengan menggunakan variasi sudut 30° , 60° , dan 90° kearah bawah pada pipa dengan diameter 4 mm, 6 mm, dan 8 mm dengan panjang 400 mm. penelitian menggunakan campuran udara dan air sebagai fluida kerja. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* dan juga membandingkan hasilnya dengan korelasi yang sudah ada yaitu dari Crisholm pada parameter C seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Perbandingan pressure drop pipa (a) diameter 4 mm, (b) diameter 6 mm, dan (c) diameter 8 mm

Sudarja dkk, (2015) meneliti tentang fraksi hampa aliran dua fase. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. 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 (β) dengan fraksi hampa terukur (ϵ atau α) dapat dilihat bahwa aliran *bubbly*, semua harga ϵ lebih tinggi daripada harga β , sedangkan untuk aliran *plug*, harga ϵ tersebar disekitar garis korelasi Ali dkk, ($\epsilon =$

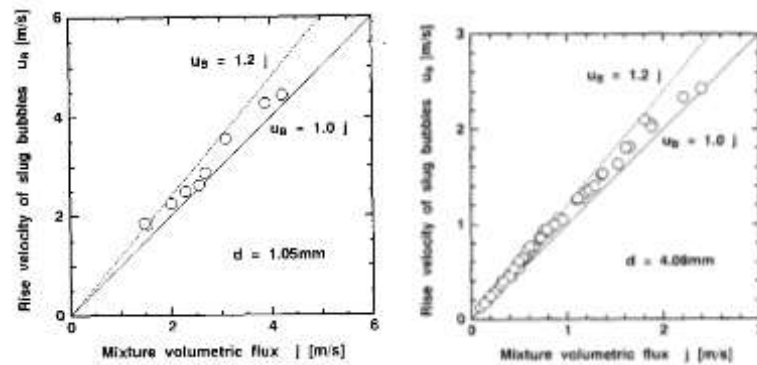
0,8 β) hingga sedikit di atas garis homogen. Hal ini disebabkan karena pada aliran *plug* dan *bubble* tidak terjadi slip, jika terjadi slip *ratio* nya akan mendekati 1. Untuk pola aliran, *slug-annular*, *annular*, dan *churn* harga ϵ sangat kecil, hingga berada dibawah garis korelasi Kawahara dkk. Hal ini terjadi karena adanya slip *ratio* yang sangat besar, sehingga kecepatan superfisial gas jauh lebih besar daripada kecepatan superfisial cairan.



Gambar 2. 5. (a) Pengaruh J_G dan J_L terhadap fraksi hampa, (b) pengaruh β terhadap ϵ , ($\epsilon = \alpha$) Sudarja dkk, 2015)

Fukano & Akira Kariyasaki (1993) meneliti tentang pola aliran, fraksi hampa, dan penurunan tekanan pada pipa pipa kapiler dengan arah aliran vertikal dan horizontal. Penelitian ini dilakukan pada pipa kapiler dengan diameter 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm. Dari penelitian tersebut didapati bahwa semakin kecil diameter pipa yang digunakan, maka semakin besar penurunan tekanan yang terjadi.

Mishima (1996) melakukan penelitian tentang karakteristik aliran dua fase pada aliran pipa vertikal. Penelitian ini dilakukan pada pipa kecil berdiameter 1 mm dan 4 mm. Pada penelitian ini dapat diobservasi bahwa pertumbuhan aliran *bubble* sejalan dengan besar diameter. Perbandingan pertumbuhan aliran *bubble* dapat dilihat pada gambar 2.6 dimana pada diameter 4 mm (b) aliran *bubble* lebih dominan dibanding dengan diameter 1 mm (a)

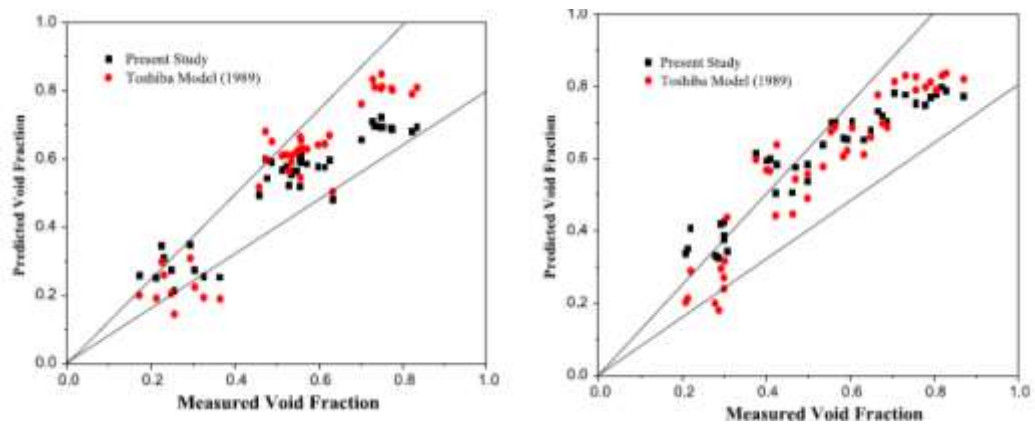


Gambar 2. 6 (a) pertumbuhan aliran bubble $d=1$ mm, (b) pertumbuhan aliran bubble $d=4$ mm

Yahaya D. Baba dkk (2018) meneliti tentang frekuensi aliran slug dengan viskositas tinggi pada aliran dua fasa. Skala penelitian ini menggunakan campuran minyak dan udara sebagai fluida kerja dan menggunakan pipa dengan panjang 17 m dengan diameter 76,2 mm. Didapati bahwa kenaikan viskositas minyak terlihat sangat berpengaruh terhadap frekuensi slug.

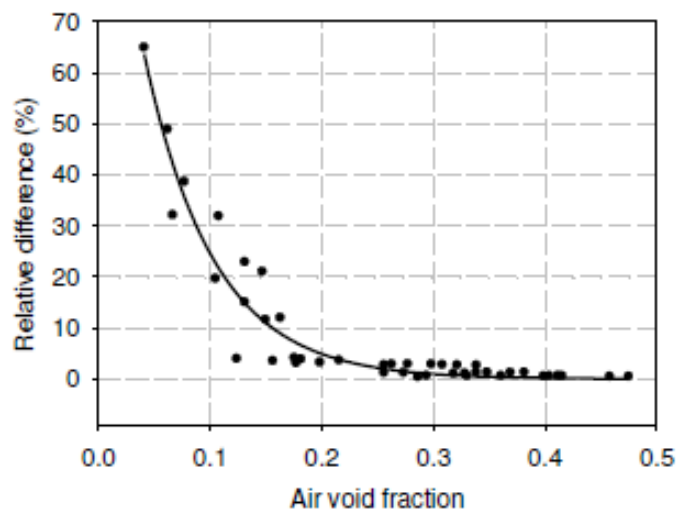
Jagan V. dan Satheesh A. (2016) melakukan penelitian tentang pola aliran dari campuran air-udara pada aliran dua fasa dengan orientasi yang berbeda. Penelitian dilakukan pada pipa dengan diameter 8 mm dan panjang pipa 2 m dengan orientasi sudut 0° , 30° , 45° , 60° , dan 90° . Dengan variasi kecepatan 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 2.7.



Gambar 2. 7. Perbandingan fraksi hampa dengan studi literatur sebelumnya

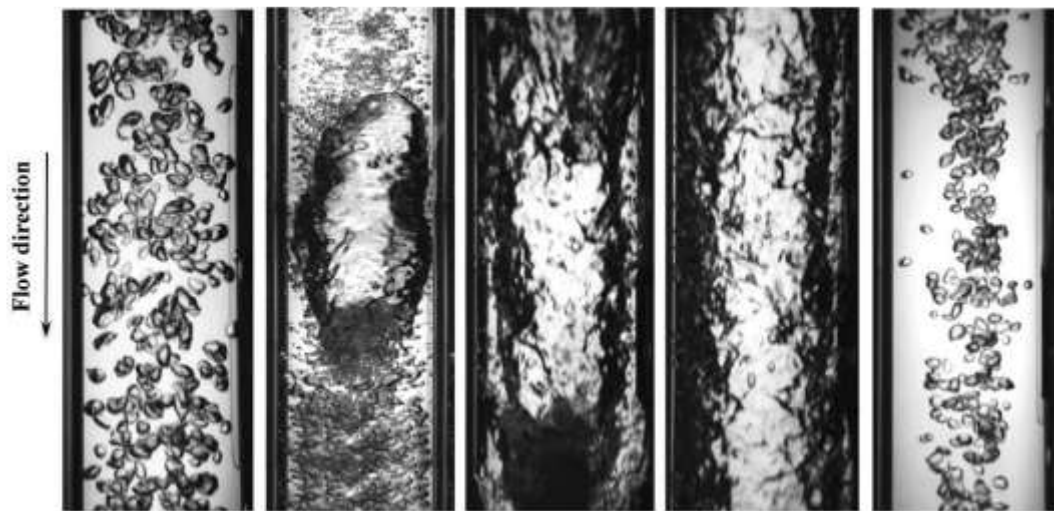
Jiabin Jia dkk (2015) melakukan perhitungan terhadap fraksi hampa aliran dua fasa pada tekanan yang berbeda. Perbedaan tekanan yang terjadi pada aliran bubble dan slug disubstitusikan sehingga mendapatkan nilai fraksi hampa. Penelitian ini juga membahas tentang efek dari tegangan permukaan seperti pada gambar 2.8. Didapati bahwa *friction loss* tidak bisa diabaikan, khususnya ketika fraksi hampa gas kurang dari 0,2.



Gambar 2. 8. Perbandingan fraksi hampa gas dengan dan tidak menggunakan tegangan permukaan.

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*. Seperti pada gambar 2.9. 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. 9. Jenis aliran (a) *Bubbly*, (b) *Slug*, (c) *Churn*, (d) *Annular*, (e) *bubbly (small)*

Xu (1999) melakukan eksperimen aliran dua fase pada saluran persegi kecil dengan menggunakan kamera *high speed video*. Eksperimen ini dilakukan pada persegi dengan variasi panjang 0,3 mm, 0,6 mm, dan 1,0 mm. pada persegi dengan panjang 1,0 dan 0,6 mm didapati aliran *bubbly*, *slug*, *annular*, dan *churn*. sedangkan pada panjang 0,3 mm aliran *bubbly* tidak ditemukan pada kecepatan superfisial gas yang sangat kecil. Hal tersebut terjadi karena kenaikan pada tekanan permukaan dan gaya gesek menyebabkan aliran menempel di bagian dinding kemudian didorong oleh aliran gas.

Dari uraian tinjauan pustaka di atas didapat bahwa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya didominasi oleh pipa dengan orientasi horizontal dan vertikal. Kemudian penelitian tersebut masih menggunakan fluida jenis air-udara sebagai fluida kerjanya, maka dalam penelitian ini dilakukan dengan orientasi sudut pada pipa kapiler dengan kemiringan 5° dan fluida kerja yang digunakan adalah campuran air-gliserin (40-70%).

2.2 Dasar Teori

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multifase. Definisi aliran dua fase adalah sebuah aliran dari beberapa campuran misalnya air-udara dan gliserin. Pada aliran dua fase mempunyai beberapa parameter yaitu fraksi hampa (*void friction*), pola aliran (*flow pattern map*), dan perubahan tekanan (*pressure gradient* atau *pressure drop*).

2.2.1 Fasa

Semua materi tersusun atas partikel atau atom. Saat dua atom atau lebih bergabung, atom-atom tersebut membentuk molekul. Molekul dan atom bergabung membentuk tiga jenis materi yang berbeda yakni zat padat, cair, dan gas. Wujud dari materi tersebut disebut fase. Fasa merupakan salah satu keadaan zat (padat, cair dan gas) atau sistem yang dilengkapi oleh batas dan mempunyai kesamaan struktur fisik dan jenis kimia. Untuk proses terjadinya perubahan fasa harus ada energi yang masuk dan yang keluar. Proses perubahannya berupa padat menjadi gas atau sebaliknya, padat menjadi cair atau sebaliknya, dan cair menjadi gas atau sebaliknya. Karakter dari fasa padat adalah jarak antar molekulnya sangat besar, molekulnya bersusun beraturan, posisi molekul cenderung diam. Fasa cair memiliki karakter yang jarak antar molekulnya sangat besar. Untuk fase gas, jarak dan susunan molekulnya tidak teratur dan selalu bergerak secara acak.

2.2.2 Metode Fraksi Hampa

Salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan karakter dari aliran dua fase adalah fraksi hampa. Beberapa parameter yang dapat ditentukan antara lain densitas dua fase, kecepatan rata-rata, viskositas, koefisien perpindahan panas, dan penurunan tekanan. Untuk mendefinisikan fraksi hampa terdapat tiga metode, yaitu :

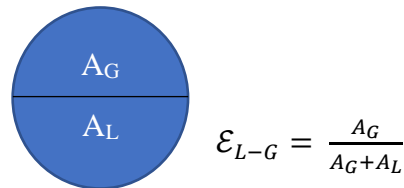
1. Metode *Cross-Section*

Pada metode ini, untuk menentukan nilai fraksi hampa adalah dengan membandingkan luas penampang fase gas terhadap luas penampang pipa

seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Untuk perhitungannya dapat dirumuskan dengan :

$$\varepsilon_{L-G} = \frac{A_G}{A_G - A_L} \quad (2.1)$$

Dimana A_G adalah luas penampang gas dan A_L adalah luasan cairan



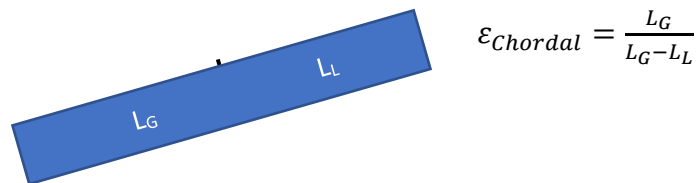
Gambar 2. 10 Fraksi hampa *cross-section* (Thome, 2004)

2. Metode *Chordal*

Berbeda dengan metode *Cross-section* yang membandingkan luas penampang, metode *chordal* membandingkan fase gas dalam pipa dengan panjang total pipa untuk mendapatkan nilai fraksi hampa. Untuk perhitungannya dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\varepsilon_{chordal} = \frac{L_G}{L_G - L_L} \quad (2.2)$$

Dengan L_G adalah Panjang fase gas dan L_L panjang fase liquid.



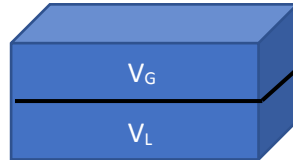
Gambar 2. 11 fraksi hampa *chordal* (Thome, 2004)

3. Metode Volumetrik

Metode ini memiliki kesamaan dengan metode *cross-section* dan *chordal* ialah dengan membandingkan fase dengan fase liquid. Hanya saja variabel yang dibandingkan adalah volume seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Fraksi hampa volumetrik ini dapat diukur dengan menggunakan *quick-closing valve*. Untuk perhitungannya dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana V_G merupakan volume udara dan V_L merupakan volume cairan.



$$\varepsilon_{Chordal} = \frac{L_G}{L_G - L_L}$$

Gambar 2. 12 Fraksi hampa *volumetrik* (Thome, 2004)

2.2.3 Hampa Fraksi Homogen

Dari definisi fraksi hampa *cross-sectional* dengan luas penampang (A), sehingga kecepatan aliran cairan dan kecepatan gas dapat dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$U_G = \frac{Q_G}{A_\varepsilon} = \frac{\dot{m}}{\rho_G} \left(\frac{x}{\varepsilon} \right) \quad (2.4)$$

$$U_L = \frac{Q_G}{A_{(1-\varepsilon)}} = \frac{\dot{m}}{\rho_L} \left(\frac{1-x}{1-\varepsilon} \right) \quad (2.5)$$

Dari persamaan (2.4) dan (2.5) maka nilai fraksi hampa dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

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

2.2.4 Rasio Kecepatan

Rasio kecepatan adalah kecepatan rata-rata dari fase gas dan cair berbeda. Rasio kecepatan merupakan penyederhanaan untuk menggambarkan kecepatan rata-rata dari kedua fase tersebut. Rasio kecepatan dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana rasio kecepatan adalah

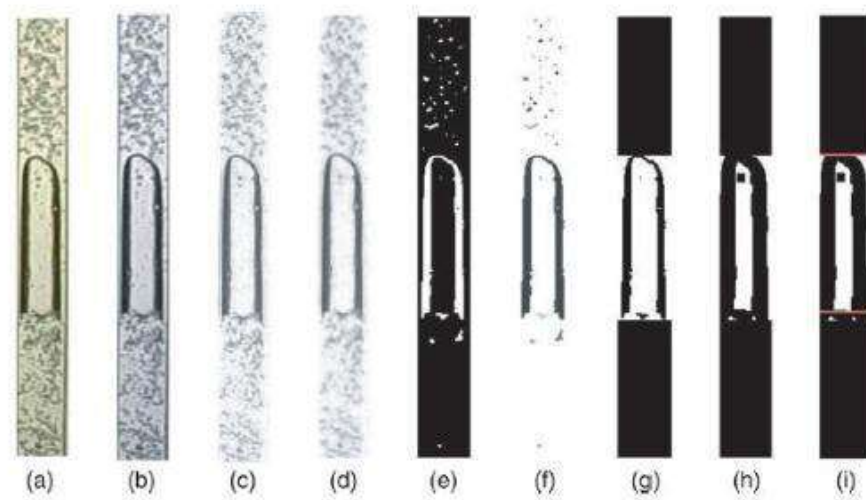
$$S = \frac{u_G}{u_L} \quad (2.8)$$

Pada persamaan (2.6) dan persamaan (2.7) memiliki persamaan yang hampir sama, dimana nilai $S = 1$. Untuk pipa horizontal dan vertikal pada aliran yang berlawanan arah, kecepatan aliran gas hampir selalu lebih cepat dari kecepatan aliran cairan dimana $S \geq 1$. Pada kasus ini nilai fraksi hampa homogen ε_H lebih besar dari nilai fraksi hampa ε . Untuk aliran pada pipa vertikal ke bawah, kecepatan dari fase udara lebih lambat dari pada kecepatan cairan, hal ini dikarenakan adanya pengaruh gravitasi sehingga $S < 1$, sehingga nilai fraksi hampa homogen ε_H lebih kecil daripada nilai fraksi hampa ε .

2.2.5 *Digital Image Processing*

Salah satu metode untuk mengukur nilai fraksi hampa adalah *Digital Image Processing*, yaitu dengan mengambil gambar aliran dengan menggunakan kamera *high speed* lalu diolah dengan *software* komputer. Pengolahan citra (*image processing*) adalah teknik mengolah citra yang mentransformasikan citra *input* menjadi citra lain agar *output* memiliki kualitas yang lebih baik dari sebelumnya. Pengolahan citra sangat bermanfaat, diantaranya adalah untuk menghilangkan cacat pada citra, mengidentifikasi pada objek, dan untuk meningkatkan kualitas citra. Dalam aliran dua fase, metode ini telah digunakan untuk mengetahui karakteristik, pola, dan topologi aliran. Triplett dkk, (1999) menggunakan metode digital image processing untuk menentukan nilai fraksi hampa pada pipa sirkular dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm.

Metode ini juga dapat diaplikasikan pada penelitian tentang *mini channel*. Untuk menangkap hasil yang baik, digunakan lensa makro untuk memperbesar *image* yang ditangkap pada pipa yang berukuran kecil tersebut. Salah satu *software* pengolah data visual yang sudah banyak digunakan yaitu MATLAB. Langkah-langkah untuk mengolah data pada *software* MATLAB dapat dilihat pada gambar 2.8. langkah-langkah itu meliputi konversi gambar (RGB ke *greyscale image*), pengurangan intensitas latar belakang dan pengurangan gangguan lainnya (*image filtering*), penyesuaian gambar, *image thresholding*, dan *binarization*.



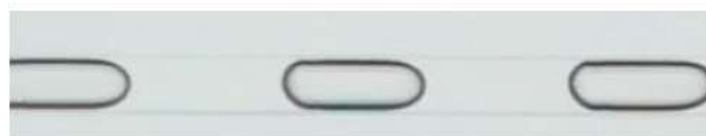
Gambar 2. 13. Langkah-langkah dalam *image processing* (Mayor dkk, 2008)

2.2.6 Image

Kusumanto (2011) menjelaskan citra (*image*) adalah gambar statis yang berasal dari vision berupa kamera. Secara matematis, citra merupakan fungsi kontinyu dengan intensitas cahaya pada bidang dua dimensi. Agar dapat diolah dengan komputer digital, maka suatu citra harus dipresentasikan secara numerik. Sebuah citra digital dapat diwakilkan oleh sebuah matriks dua dimensi $f(x,y)$ yang terdiri dari M kolom dan N baris.

2.2.6.1 Gambar *RGB*

Gambar *RGB* merupakan *image* yang terdiri tiga buah warna yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*) yang kemudian ditambahkan berbagai komposisi untuk menghasilkan warna, seperti pada gambar 2.9. Setiap pixel mempunyai nilai tertentu, misalnya pada *RGB* (255,255,255) akan menghasilkan warna putih. Sebaliknya, *RGB* (0,0,0) akan menghasilkan warna hitam. Sehingga mempunyai 16,777,216 kemungkinan warna.



Gambar 2. 14. contoh gambar *RGB* dengan aliran *plug*

2.2.6.2 Gambar greyscale

Gambar greyscale merupakan beberapa gambar *RGB* yang mempunyai komponen dengan nilai yang sama yang digabungkan menjadi satu. *Greyscale* hanya berisi informasi pencahayaan (kecerahan) dan tidak ada informasi warna lain, itulah sebabnya pencahayaan maksimum putih dan pencahayaan nol hitam. Sehingga gambar *greyscale* hanya berisi nuansa abu-abu dan tidak ada warna, seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2. 15. Contoh gambar *Greyscale* dengan aliran *plug*

2.2.6.3 Gambar biner

Gambar *biner* merupakan sebuah gambar yang setiap pikselnya mempunyai dua kombinasi warna, yaitu hitam dan putih. Nilai 1 untuk menyatakan warna putih dan nilai 0 untuk menyatakan warna hitam. Gambar *biner* tidak membutuhkan memori yang banyak, karena hanya membutuhkan 1 bit untuk setiap pikselnya sehingga sangat efisien untuk penyimpanan data. Contoh gambar biner dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 16. Contoh gambar *biner* dengan aliran *plug*

2.2.7 Noise

Noise merupakan piksel yang mengganggu kualitas gambar sehingga bisa mengurangi kerakuratan data pada gambar tersebut. Salah satu penyebab noise adalah pencahayaan yang kurang sempurna saat pengambilan data visual. Oleh karena itu dilakukan *image processing* agar dapat gambar yang diinginkan. *Noise* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

2.2.7.1 *Coherent noise*

Noise ini terjadi akibat gangguan sinyal pada alat yang digunakan pada saat pengambilan gambar sehingga gambar yang dihasilkan terdapat *noise* yang bisa mengurangi keakuratan data

2.2.7.2 *Fixed-location noise*

Noise jenis ini selalu terjadi pada tempat yang sama. Salah satu cara untuk menghilangkan *noise* ini adalah dengan mengganti piksel yang terdapat *noise* dengan piksel disekitarnya yang tidak terdapat *noise*.

2.2.7.3 *Salt-and-papper noise*

Noise ini berupa titik-titik kecil yang terjadi karena kesalahan dalam data transmisi. *Noise* ini biasa juga disebut *impulse noise* dan *shout noise* atau *binary noise*.

2.2.8 *Filtering*

Filtering adalah proses untuk menghilangkan *noise* yang dapat mengganggu kualitas gambar dan keakuratan data agar gambar tersebut dapat diolah dengan baik. Ada beberapa jenis filter yang biasa digunakan, yaitu :

2.2.8.1 *Mean filtering*

Prinsip dari *mean filtering* adalah mengganti setiap piksel dengan nilai rata-rata dari piksel tersebut dan juga piksel yang berada disekitar piksel yang akan diganti.

2.2.8.2 *Median filtering*

Prinsip dari *median filtering* yaitu mengganti setiap piksel dengan nilai tengah piksel tersebut dan piksel-piksel yang berada disekitarnya. Piksel tersebut disusun dengan piksel-piksel yang berada disekitarnya sehingga dapat diketahui nilai tengah piksel tersebut.

2.2.8.3 *Gaussian filtering*

Prinsip *gaussian filtering* adalah dengan mengganti nilai piksel dengan rata-rata nilai pembobotan dari nilai piksel tersebut dengan piksel yang berada disekitarnya. Metode ini sering digunakan untuk memudahkan menganalisis gambar dengan cara menghaluskan dan menghilangkan *noise*.

2.2.9 Metode Analisis Statistik

Analisis statistik digunakan untuk mengekstrak data mentah dari pembacaan sinyal menjadi informasi sederhana yang didapat. Sebagai contoh setelah mendapatkan nilai fraksi hampa suatu aliran terhadap J_G dan J_L tertentu akan mendapatkan rata-rata informasi. Jenis perhitungan statistik yang digunakan meliputi :

2.2.9.1 Mean value

Data fraksi hampa pada kecepatan superfisal gas dan liquid yang bervariasi akan diplot menjadi sebuah grafik sehingga mendapatkan rata-ratanya. Untuk mengetahui pengaruh perubahan J_G dan J_L terhadap fraksi hampa, dilakukan pengambilan data sebanyak (n) data dalam sekian detik lalu diambil rata-ratanya

2.2.9.2 Probability Distribution Function (PDF)

PDF digunakan untuk menentukan sebaran nilai keluar diukur. Fungsi ini sering digunakan untuk menggambarkan karakter suatu distribusi probabilitas teoritis dan nilai fraksi hampa.

2.2.9.3 Power Spectral Density (PSD)

PDF digunakan untuk menentukan kekuatan dari variasi sebagai fungsi dan frekuensi. Perhitungan pada *PDF* dilakukan dengan menggunakan *FFT* (*fast fourier-transform*)

2.2.9.4 Cross-correlation

Cross correlation dapat digunakan untuk menghitung kecepatan aliran *plug* dan *bubbly*. Pengukuran dilakukan dengan membuat dua titik referensi pada jarak tertentu sehingga didapat jeda waktu saat *bubbly* atau *plug* melewati kedua spot tersebut dan didapati selang waktunya. Dalam statistik, hubungan antara dua variabel dapat digambarkan sebagai nilai numerik. Statistik korelasi *intraclass* atau *intraclass coefficient (ICC)*, adalah statistik deskriptif yang dapat digunakan ketika kuantitatif pengukuran yang dibuat pada unit yang tergabung dalam kelompok. Hal tersebut menggambarkan seberapa kuat korelasinya terhadap kelompok lainnya.