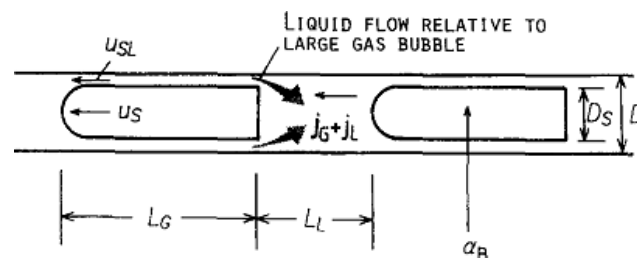


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

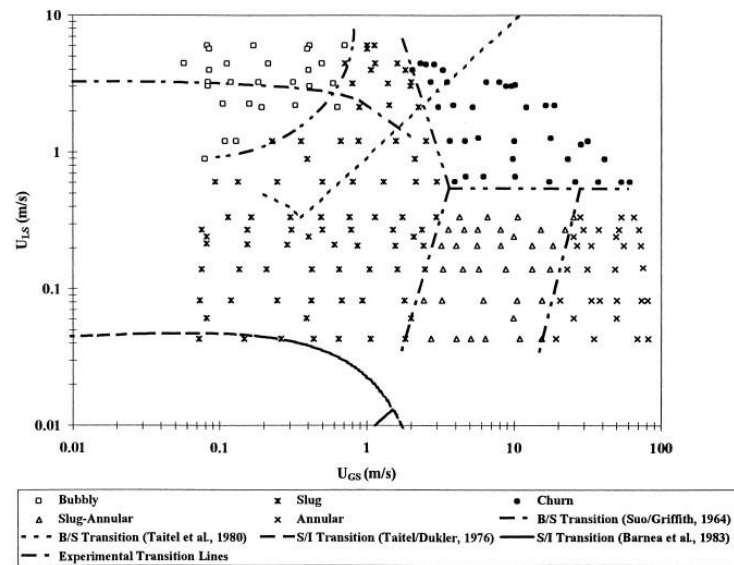
2.1. Tinjauan Pustaka

Fukano dan Kariyasaki (1993) menyatakan bahwa nilai *film thickness* pada pipa yang memiliki diameter 1 mm, 2,4 mm dan 4,9 mm nilai *film thickness* semakin besar dengan kenaikan kecepatan superfisial gas. Sedangkan, pada pipa yang berdiameter 9 mm nilai *film thickness* semakin turun dengan kenaikan kecepatan superfisial gas. Selain itu, data yang didapat pada pola aliran *intermittent* dapat dihubungkan dengan baik menggunakan data yang didapat pada pola aliran *annular*. Selain itu Fukano dan Kariyasaki (1993) juga memasang dua pasang sensor yang dipasang pada lokasi yang berbeda dilakukan untuk pengukuran *void fraction*. Pengukuran dilakukan terhadap model *small bubbles* dan *large gas bubbles*. Gambar yang didapat menyatakan bahwa pada model *large gas bubbles* air tersebar merata di sekeliling *bubble*. Analisa mengenai *void fraction* dilakukan dengan mengetahui nilai dari *film thickness* cairan yang melingkari *bubble* tersebut.



Gambar 2.1. Model *large bubbles* (Fukano dan Kariyasaki, 1993)

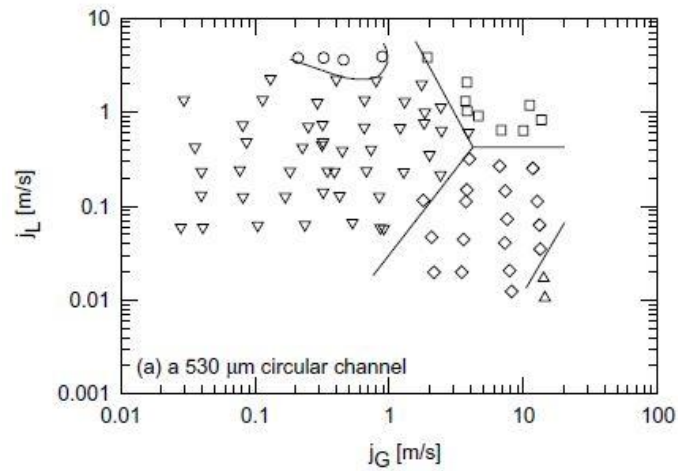
Triplett dkk. (1999) telah melakukan penelitian tentang pola aliran dua-fasa pada pipa sirkular yang memiliki diameter 1,1 mm dan 1,45 mm serta pipa semi-triangular. Fluida yang digunakan adalah udara dan air. Triplett dkk melakukan variasi kecepatan superfisial gas antara 0,02 sampai 80 m/s dan kecepatan superfisial cairan antara 0,02 sampai 8 m/s. Dari pengamatan yang dilakukan didapatkan beberapa pola aliran, antara lain *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, dan *annular*. Peta pola aliran yang didapatkan dari hasil penelitian Triplett dkk. (1999) yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Peta pola aliran dan garis transisi (Triplet dkk, 1999)

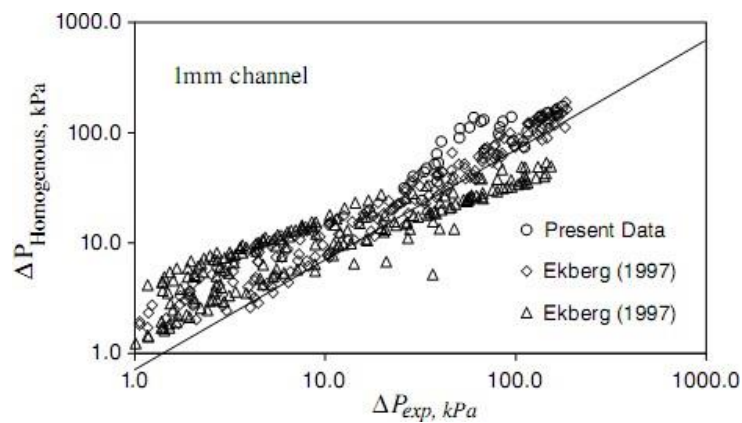
Kawahara dkk, (2002) mendapatkan hasil pengujian tentang fraksi hampa pada pipa dengan diameter 100 μm . Pada saat aliran air mengalir dengan *flow rate* yang rendah, gambar yang didapat didominasi aliran air tanpa ada udara ($\epsilon = 0$), dan inti gas yang mengalir dengan film cairan halus. Sedangkan pada saat rata-rata aliran tinggi, terdapat tiga jenis aliran yang didapat 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 ($0 < \epsilon < 1$).

Chung dan Kawaji (2004) mendapatkan hasil penelitian yang dilakukannya mengenai aliran dua-fasa di dalam saluran berdiameter 530, 250, 100, dan 50 μm . Dari pengamatan yang telah dilakukan didapatkan beberapa pola aliran yaitu : *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, dan *annular*. Peta pola aliran yang digambarkan menggunakan kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial udara sebagai koordinatnya ditunjukkan pada gambar 2.3.

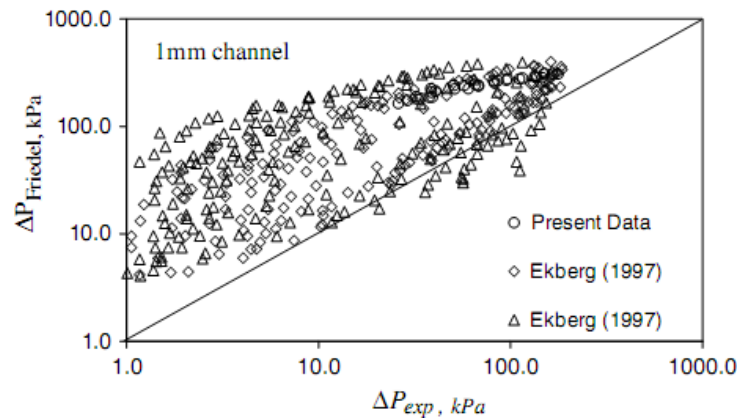


Gambar 2.3. Peta pola aliran dan garis transisi (Chung dan Kawaji, 2004)

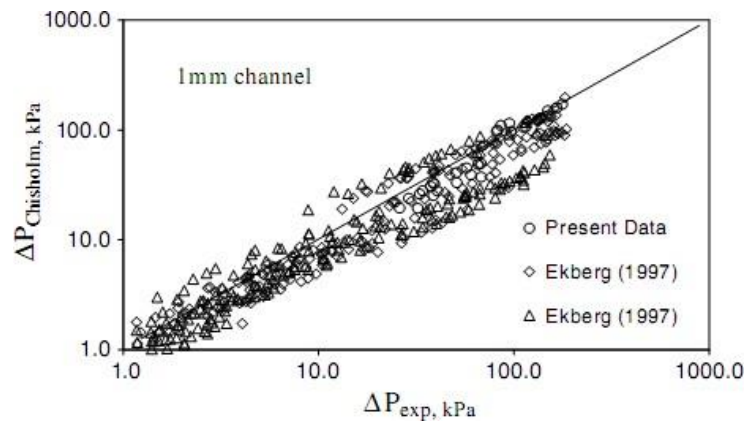
Hassan dkk. (2006) mengerjakan hasil pengukuran penurunan tekanannya menggunakan model aliran homogen, model Freidel, dan model Chisholm lalu membandingkan hasil penelitiannya dengan hasil penelitian dari Ekberg (1997), untuk saluran berukuran 3 mm, 1 mm, dan 0,8 mm.



Gambar 2.4. Penurunan tekanan yang terukur terhadap penurunan tekanan prediksi menggunakan model homogen (Hassan dkk, 2006)



Gambar 2.5. Penurunan tekanan yang terukur terhadap penurunan tekanan prediksi menggunakan model Friedel (Hassan dkk, 2006)



Gambar 2.6. Penurunan tekanan yang terukur terhadap penurunan tekanan prediksi menggunakan model Chisholm (Hassan dkk, 2006)

Saisorn dan Wongwises (2008) telah melakukan penelitian pada karakteristik aliran dua fase pola aliran, fraksi hampa dan gradien tekanan dalam sebuah *micro circular channel* yang memiliki diameter 0,53 mm pada posisi horizontal. Penelitian dilakukan pada kecepatan superfisial gas dan cairan dengan rentang masing-masing 0,37-16 m/s dan 0,005-3,04 m/s. Penelitian ini dihitung dari penurunan tekanan total aliran udara-air melalui saluran diameter 0,53 mm. Penurunan tekanan total dituliskan pada persamaan berikut:

$$\Delta P_{\text{exp}} = \Delta P_f + \Delta P_a + \Delta P_c$$

Dengan ΔP_f adalah penurunan tekanan akibat gesekan, ΔP_a penurunan tekanan karena percepatan dan ΔP_c merupakan penurunan tekanan karena kontraksi secara tiba-tiba. Dengan kondisi aliran berbeda, penurunan tekanan akibat gesekan mendominasi penurunan tekanan akibat adanya percepatan dan kontraksi secara tiba-tiba.

Krishnamurthy dan Peles (2009) meneliti efek dari tegangan permukaan pada aliran dua fase adiabatik melintasi tepi pilar mikro melingkar berdiameter 100 μm , panjang 100 μm dengan rasio diameter 1,5 untuk bilangan Reynolds antara 5 dan 50. Fluida kerja yang digunakan adalah etanol yang hasilnya dibandingkan dengan menggunakan air. Peta pola aliran menunjukkan bahwa pola aliran kedua cairan itu serupa, tetapi memiliki garis transisi yang berbeda. Pengukuran fraksi hampa juga dibandingkan untuk kedua cairan dan tidak ada efek signifikan yang diamati. Persamaan yang dikembangkan oleh Krishnamurthy dan Peles (2007) dimodifikasi untuk menjelaskan efek tegangan permukaan pada penurunan tekanan. Karakteristik penurunan tekanan dua fase untuk kedua cairan secara signifikan dipengaruhi oleh pengurangan tegangan permukaan. Selain itu, pengurangan tegangan permukaan juga mempengaruhi garis transisi pola aliran.

Sudarja, dkk (2019) melakukan penelitian tentang pola aliran dan gradien tekanan aliran dua fase gas-cair pada pipa berukuran kecil. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca yang memiliki diameter 1,6 mm. Fluida kerja yang digunakan adalah udara dan air. Kecepatan superfisial gas dan cairan masing-masing berada di kecepatan (J_G) = 0,025-66,300 m/s dan (J_L) = 0,033-4,935 m/s. Pada penelitian ini menghasilkan pola aliran dan data gradien tekanan masing-masing diperoleh dengan menganalisis gambar aliran yang ditangkap oleh kamera berkecepatan tinggi dan dengan menggunakan *pressure transducer*. Pola aliran yang diperoleh *bubbly*, *slug*, *slug annular*, *churn*, dan *annular*, (2) korelasi eksperimental baru pada panjang *bubbly* dan *plug* diperoleh, (3) kecepatan superfisial gas dan cairan mempengaruhi nilai dengan gradien tekanan.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pada penelitian sebelumnya menggunakan fluida kerja berupa campuran air dan larutan gliserin dengan posisi

saluran horizontal. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan menggunakan campuran akuades dan butanol 3 % dengan posisi kemiringan 30°. Penggunaan campuran air dan butanol 3 % bertujuan untuk menurunkan nilai tegangan permukaan. Efek penurunan nilai tegangan permukaan dan sudut kemiringan dianalisis dalam penelitian ini untuk mengkonfirmasi bahwa tegangan permukaan dan sudut kemiringan berpengaruh pada parameter dasar aliran dua fase.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Fase

Fase merupakan bagian dari suatu sistem yang seragam secara fisik dan kimiawi. Fase dapat dibedakan menjadi fase padat, fase gas, dan fase cair. Dalam ilmu mekanika fluida, dipelajari mengenai aliran *single phase* dan *multi phase*. Aliran multifase merupakan kondisi aliran dimana terdapat beberapa fase yang mengalir bersamaan. Aliran dua fase merupakan bentuk yang paling sederhana. Fase yang mengalir dapat berupa gas-cairan, gas-padat, dan cairan-padat. Aliran dua fase banyak dijumpai dalam peralatan mekanik yang melibatkan fluida, seperti *plant* tenaga uap konvensional, evaporator dan kondensor, berbagai industri petrol, industri pemrosesan makanan dan bahan kimia. Aliran dua komponen digunakan untuk menyatakan aliran yang fasenya terdiri dari susunan kimia yang berbeda. Contohnya, aliran uap-air adalah aliran dua fase, sedangkan aliran udara-air adalah aliran dua komponen. Namun, dengan menggunakan perhitungan matematis akan didapatkan hasil yang sama baik untuk aliran dua fase maupun aliran dua komponen. Oleh karena itu, dapat disimpulkan penggunaan istilah aliran dua fase ataupun aliran dua komponen tidak menjadi masalah (Graham B. Wallis, 1969).

2.2.2. Kecepatan Superfisial

Superficial velocity (kecepatan superfisial) gas dan cairan yang digambarkan sebagai rasio dari laju *volumetric flow* gas ataupun cairan terhadap area penampang melintang pipa total. Pada analisa aliran dua fase gas-cairan, kecepatan superfisial memiliki 3 macam yaitu kecepatan superfisial gas yang

dinyatakan J_G , kecepatan superfisial cairan dinyatakan dengan J_L dan kecepatan superfisial campuran yang dinyatakan dengan J_M sebagai penjumlahan kecepatan superfisial gas dan cairan.

Kecepatan superfisial gas (J_G)

$$J_G = \frac{Q_G}{A} = \frac{\dot{m}_G}{A} = \frac{Q_m}{A}$$

Kecepatan superfisial liquid (J_L)

$$J_L = \frac{Q_L}{A} = \frac{\dot{m}_L}{A} = \frac{Q_m}{A}$$

Dimana :

J_G = Kecepatan superfisial gas (m/s)

J_L = Kecepatan superfisial cairan (m/s)

Q_G = Laju aliran gas dalam pipa (m³/s)

Q_L = Laju aliran cairan dalam pipa (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

2.2.3. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan zat cair diakibatkan karena gaya yang bekerja pada zat cair tersebut. Di bagian dalam cairan sebuah molekul dikelilingi oleh molekul lain di sekitarnya. Oleh karena itu molekul ditarik oleh gaya yang sama besar ke segala arah maka resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut sama dengan nol. Sedangkan molekul yang berada tepat dibawah permukaan zat cair memiliki resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut tidak sama dengan nol. Hal ini disebabkan ada gaya resultan yang arahnya ke bawah karena di bagian atas molekul tersebut tidak dikelilingi oleh molekul lain dengan demikian lapisan atas seakan-akan tertutup oleh lapisan selaput elastis yang ketat. Tegangan permukaan berhubungan dengan peristiwa yang disebut kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis) dan adhesi (gaya tarik menarik antara molekul tidak sejenis).

Nilai tegangan permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis fluida, suhu, tekanan, densitas, dan konsentrasi zat terlarut. Kehadiran zat terlarut dalam fluida dapat meningkatkan atau menurunkan tegangan permukaan. Tegangan permukaan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{F}{d} = \frac{F}{2L}$$

Keterangan :

γ = Tegangan permukaan (N/m)

d = Panjang permukaan (m)

F = Gaya (N)

2.2.4. Butanol

Butanol ($C_4H_{10}O$) adalah alkohol yang memiliki 4 atom karbon. Wujud fisik dan baunya mirip dengan etanol, yaitu alkohol dengan 2 atom karbon yang sering kita temukan sebagai larutan pensteril, pelarut, atau sebagai campuran bensin. Saat ini, peran utama produk butanol adalah sebagai pelarut cat, resin, dan produk antara untuk polimer (antara lain butiraldehida, asam butirat, butena, butadiena). Butanol, dengan karakteristik yang dimilikinya, dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar mesin nonpremix (mesin bensin). Adapun sifat fisik butanol yang ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1. Sifat fisik butanol

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat molekul	74,12 kg/kmol
2	Titik didih 1 atm	117,73 °C
3	Titik lebur	89,30 °C
4	Temperatur kritis	287,00 °C

5	Tekanan kritis	48,40 atm
6	Densitas	810,00 kg/m ³

2.2.5. Pola Aliran Dua Fase

Pola aliran yang terbentuk dari komponen yang berbeda akan mempunyai pola aliran yang berbeda juga. Misalnya pola aliran antara minyak dan air akan berbeda dengan pola aliran air-udara. Begitupun dengan pola aliran yang terjadi pada kedudukan pipa yang berbeda, contohnya pada kedudukan horizontal dan vertikal. Selain itu komponen yang mempengaruhi pola aliran antara lain adalah viskositas cairan, tegangan permukaan, gravitasi, massa jenis, kecepatan aliran dan diameter pipa.

Triplett dkk. (1999) melakukan penelitian tentang pola aliran dua-fasa pada pipa sirkular berdiameter 1,1 mm dan 1,45 mm serta pipa semi-triangular. Fluida yang digunakan adalah udara dan air. Triplett dkk melakukan variasi kecepatan superfisial gas antara 0,02 sampai 80 m/s dan kecepatan superfisial cairan antara 0,02 sampai 8 m/s. Dari pengamatan yang dilakukan didapatkan beberapa pola aliran, antara lain *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, dan *annular*. Berikut beberapa jenis pola aliran dua fase pada pipa horizontal.

a. *Bubbly Flow*

Bubbly flow merupakan pola aliran yang berbentuk gelembung yang didominasi oleh cairan. Terbentuk pada saat nilai J_G sangat kecil dan nilai J_L lebih besar dibandingkan nilai J_G .

b. *Plug Flow*

Plug flow merupakan pola aliran yang berbentuk seperti peluru, dimana antara cairan terdapat kantong udara yang berasal dari *bubbly* yang diperpanjang akibat meningkatnya intensitas udara dalam aliran.

c. *Slug Annular*

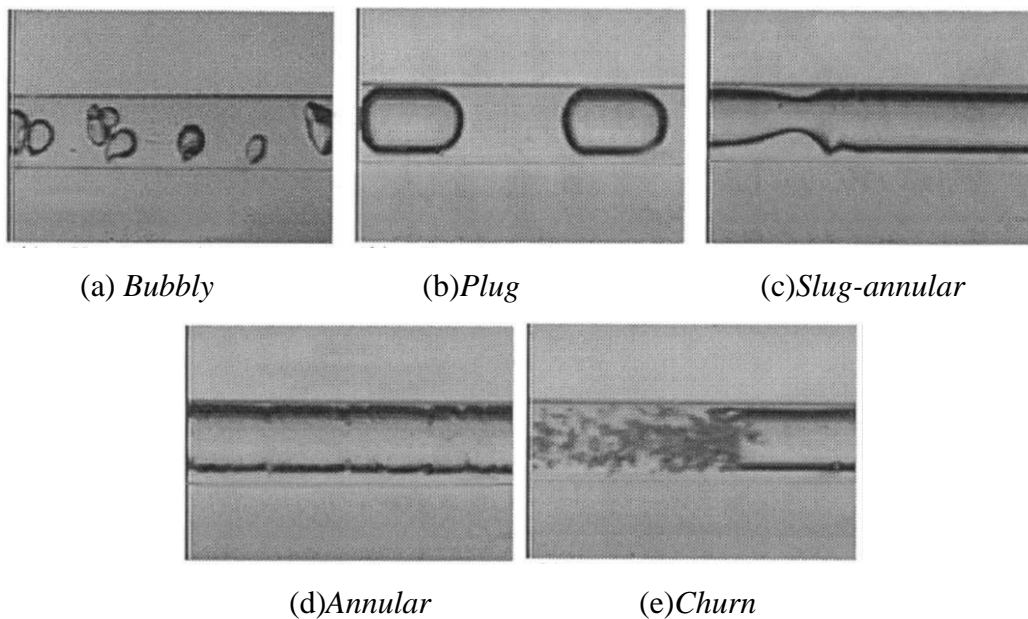
Pola aliran *slug annular* memiliki struktur dimana lapisan film cairan yang memiliki ketebalan lebih besar pada suatu titik dibanding titik lainnya disepanjang aliran tersebut.

d. *Annular Flow*

Pola aliran *annular* memiliki struktur dimana fasa air terletak mengelilingi saluran dan fase udara berada di tengah-tengah fase air.

e. *Churn Flow*

Pola aliran *churn* terbentuk saat selisih antara nilai J_G dan J_L cukup besar. Aliran *churn* merupakan terusan dari aliran slug tetapi pada ekornya terbentuk aliran yang tidak beraturan.

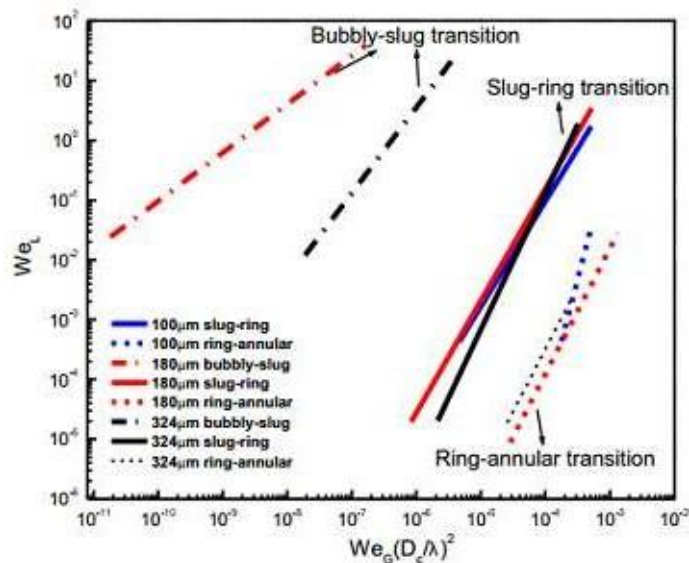


Gambar 2.7. Visualisasi pola aliran pada pipa sirkular $D = 1,45$ m (Triplett dkk, 1999)

2.2.6. Peta Pola Aliran

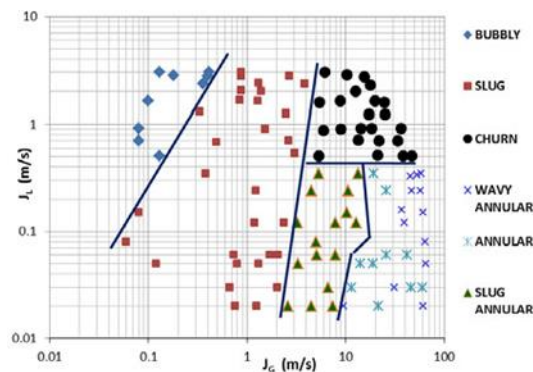
Peta pola aliran adalah grafik yang menggambarkan letak masing-masing pola dalam bentuk peta pola aliran. Beberapa peneliti sudah melakukan penelitian aliran dua fase pada pipa untuk membuat database pola aliran sebagai acuan pembuatan peta pola aliran.

Sur dan Liu (2011) menyatakan bahwa ukuran saluran mempengaruhi pola aliran yang terbentuk dan mempengaruhi daerah transisi pola aliran. Oleh karena itu, mereka menggunakan parameter yang tidak memiliki dimensi sebagai acuan We_G sebagai sumbu x dan We_L sebagai sumbu y untuk menyajikan peta pola aliran sebagai pengaruh dari efek ukuran saluran. Peta pola aliran Sur dan Liu (2011) yang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Peta pola aliran dua fase udara-air pada pipa horizontal berdiameter 100, 180 dan 324 μm (Sur dan Liu, 2011)

Sudarja dkk (2014) menggambarkan hasil pola aliran yang didapat dalam bentuk peta pola aliran dua fase pada pipa mini. Peta pola aliran yang digambarkan menggunakan kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial udara sebagai koordinatnya.



Gambar 2.9. Peta pola aliran dan garis transisi (Sudarja dkk, 2014)

2.2.7. Fraksi Hampa (*Void Fraction*) Aliran Dua Fase

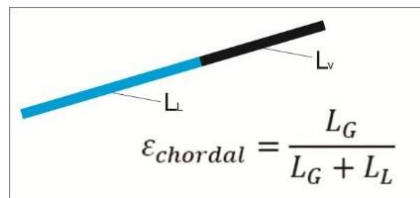
Fraksi hampa (*Void fraction*) adalah perbandingan volume (luas penampang) aliran yang ditempati oleh fase gas terhadap volume (luas penampang total). Beberapa parameter yang dapat ditentukan antara lain densitas dua fase, viskositas dua fase, kecepatan rata-rata, penurunan tekanan, koefisien perpindahan panas. Terdapat tiga metode untuk mendefinisikan fraksi hampa, metode tersebut antara lain:

1. Metode Chordal

Metode chordal didasarkan pada perbandingan fase gas di dalam pipa terhadap panjang total pipa yang ditinjau atau dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\varepsilon_{chordal} = \frac{L_G}{L_G + L_L} \quad 2.1$$

Dengan L_L adalah Panjang fase cairan, sedangkan L_G adalah Panjang fase gas. Skema fraksi hampa chordal dapat dilihat pada Gambar 2.10.



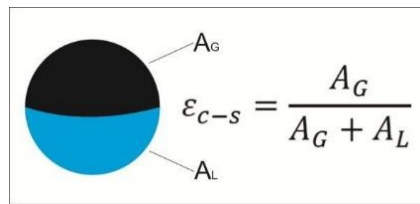
Gambar 2.10. Fraksi hampa chordal (Thome, 2004)

2. Metode Cross-Section

Metode ini membandingkan luas penampang fase gas terhadap luasan penampang pipa untuk menentukan nilai fraksi hampa yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Perhitungan fraksi hampa dengan metode cross sectional dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\varepsilon_{L-G} = \frac{A_G}{A_G + A_L} \quad 2.2$$

Dimana A_G merupakan luasan gas dan A_L merupakan luasan cairan.



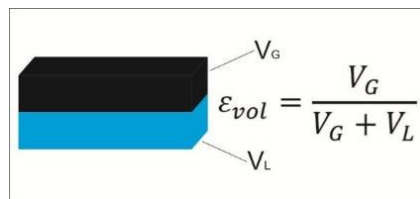
Gambar 2.11. Fraksi hampa cross-section (Thome, 2004)

3. Metode Hampa Volumetrik

Pada Gambar 2.12 fraksi hampa volumetrik dapat diukur dengan menggunakan alat quick-closing valve. Fraksi hampa didefinisikan sebagai berikut.

$$\epsilon_{vol} = \frac{V_G}{V_G + V_L} \quad 2.3$$

Dimana V_G adalah volume udara dan V_L adalah volume cairan.



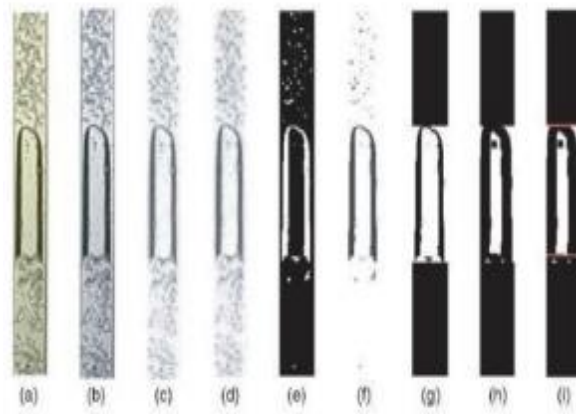
Gambar 2.12. Fraksi hampa volumetrik (Thome, 2004)

2.2.8. Digital Image Processing

Salah satu metode yang digunakan untuk mengukur nilai fraksi hampa adalah dengan cara metode fotografi kemudian hasil dari fotografi diolah menggunakan teknik *digital image processing*. Triplet dkk, (1999) menerapkan metode *digital image processing* untuk menentukan fraksi hampa pada pipa sirkular dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm.

Salah satu software pengolah data visual yang sudah banyak dipakai saat ini yaitu dengan menggunakan *software* pengelolah data *visual* yaitu MATLAB. Pada Gambar 2.13 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam mengolah gambar didalam software MATLAB yaitu konversi gambar (RGB ke *grayscale*

image), pengurangan intensitas latar belakang pengurangan gangguan lainnya (*image filtering*), penyesuaian gambar, *image thresholding*, dan *binarization* yaitu untuk menghasilkan gambar biner yang dapat secara otomatis dianalisis secara logika digital (1 dan 0), tergantung pada nilai ambang batas.



Gambar 2.13. Langkah-langkah dalam *image processing* (Mayor dkk, 2007)

2.2.8.1. *Image*

Widyatama (2015) menjelaskan bahwa image adalah suatu representasi dari suatu objek. Image dibedakan menjadi dua yaitu analog image dan digital image. Analog adalah image yang berkelanjutan seperti televisi. Digital image adalah image yang dapat diolah dengan menggunakan software di komputer. Digital image merupakan fungsi $f(x,y)$ dari intensitas cahaya dimana x dan y merupakan koordinat.

2.2.8.2. Gambar RGB

Gambar RGB merupakan image yang terdiri dari tiga buah matriks yang masing-masing memiliki warna merah, biru, dan hijau (*Red, Green Blue*). Setiap warna mempunyai nilai tertentu dengan range 0 -255 sehingga mempunyai 16.777.216 kemungkinan warna yang terjadi pada setiap gambar yaitu sebesar $= 255^3 = 16.777.216$.

2.2.8.3. Gambar *Grayscale*

Gambar *grayscale* merupakan gabungan gambar RGB yang mempunyai komponen dengan nilai yang sama yang digabungkan menjadi satu. Setiap piksel yang ada pada gambar *grayscale* memiliki warna abu-abu dengan rentang nilai dari 0 sampai 255. Nilai 0 untuk menyatakan warna hitam dan nilai 255 untuk menyatakan warna putih.

2.2.8.4. Gambar Biner

Gambar biner merupakan sebuah gambar dimana setiap pikselnya hanya mempunyai 2 kombinasi warna yaitu hitam dan putih. Besaran nilai pada gambar biner adalah 0 untuk menyatakan warna hitam dan nilai 1 untuk menyatakan warna putih. Gambar biner hanya membutuhkan 1 bit per piksel sehingga sangat efisien dalam penyimpanan data



Gambar 2.14. Contoh gambar RGB, *grayscale* dan biner (Santi, 2011)

2.2.8.5. Noise

Sebuah gambar tidak terlepas dengan *noise*, *noise* adalah kesalahan yang ada dalam proses pengambilan gambar yang berakibat sebuah nilai intensitas piksel tidak menunjukkan nilai intensitas piksel yang sebenarnya. Penyebab munculnya *noise* pada gambar adalah ukuran sensor, kepadatan piksel dan cahaya.

Nosie dapat membuat tampilan gambar cacat serta membuat tampilan menjadi kacau. *Noise* terbagi menjadi tiga, antara lain :

1. *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. *Coherent noise*

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

3. *Fixed-location noise*

Noise jenis ini selalu terjadi ditempat yang sama. Noise ini dihilangkan dengan cara mengganti piksel yang terdapat noise dengan piksel di sekitarnya yang tidak terdapat noise.

2.2.8.6. Filter

Filtering adalah proses untuk menghilangkan noise yang dapat mengganggu kualitas gambar agar gambar tersebut dapat diolah dengan baik. Filter yang biasa digunakan antara lain:

1. *Gaussian filtering*

Gaussian filtering sering digunakan untuk mempermudah menganalisis gambar seperti menghaluskan gambar dan menghilangkan noise. Pada filtering ini, nilai setiap piksel diganti dengan rata-rata nilai pembobotan dari nilai piksel tersebut dengan piksel di sekitarnya.

2. *Mean filtering*

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

3. *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.

2.2.8.7. Statistik Analisis

Analisis statistik digunakan untuk mengekstrak data mentah dari pembacaan sinyal menjadi informasi sederhana yang didapat. Sebagai contohnya, nilai fraksi hampa terhadap J_G dan J_L tertentu akan didapat informasi rata-rata. Jenis perhitungan statistik yang digunakan antara lain mean value, Probability Distribution Function (PDF) dan cross-correlation.

1. Nilai rata – rata data (*Time average*)

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

2. *Probability Distribution Function* (PDF)

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

3. *Power Spectral Density* (PSD)

Power spectral density yang menunjukkan kekuatan dari variasi sebagai fungsi dari frekuensi. Perhitungan PSD dilakukan dengan cara menggunakan metode FFT (*Fast fourier transform*).

4. *Cross-Correlation*

Cross correlation dapat digunakan untuk menghitung kecepatan *bubbly* dan *plug*. Pengukuran dengan cara membuat dua titik referensi pada jarak tertentu sehingga terdapat jeda waktu saat *bubbly* atau *plug* melewati kedua titik referensi tersebut yang dapat diketahui selang waktunya.

2.2.9. Perbedaan Tekanan (*Pressure Drop*) pada Saluran Mini

Pressure drop adalah penurunan tekanan dari satu titik di dalam sistem ke titik lain yang mempunyai tekanan lebih rendah. Pada aliran dua fase banyak metode yang dipakai sesuai kondisi sistem. *Pressure drop* pada aliran dua fase

diistilahkan gradien tekanan yaitu penurunan tekanan yang terjadi di setiap panjang pipa. Ada dua macam metode pendekatan untuk menghitung dan menganalisis *pressure drop* pada aliran dua fase, yaitu :

1. Model aliran homogen (*homogeneous flow model*), Model aliran homogen merupakan permodelan sederhana dalam menentukan *pressure drop* aliran dua fase. Pada konsep ini aliran diasumsikan sebagai aliran satu fase termasuk persamaannya dengan kondisi sifat fisik fluida, liquid dan gas dibuat rata-rata.
2. Model aliran terpisah (*separated flow model*), Metode ini lebih akurat, karena pada model ini aliran dua fase diasumsikan sebagai aliran yang terpisah yaitu cairan dan gas dimana masing-masing fase memiliki persamaan yang berbeda.

2.2.10. Pengukuran Perbedaan Tekanan (*Pressure Drop*) pada Saluran Mini

Perbedaan tekanan antar sisi masuk dan sisi keluar pada seksi uji diukur dengan menggunakan *pressure transducers* (PT). *Pressure transducers* (PT) berfungsi untuk mendeteksi beda tekanan atau penurunan tekanan antar sisi masuk dan sisi keluar. Kemudian data akuisisi (*Arduino UNO*) menghubungkan sensor tekanan *fluida MPX System* ke perangkat komputer agar data bisa diolah dan direkam kedalam perangkat komputer melalui *software* yang sudah terpasang.