

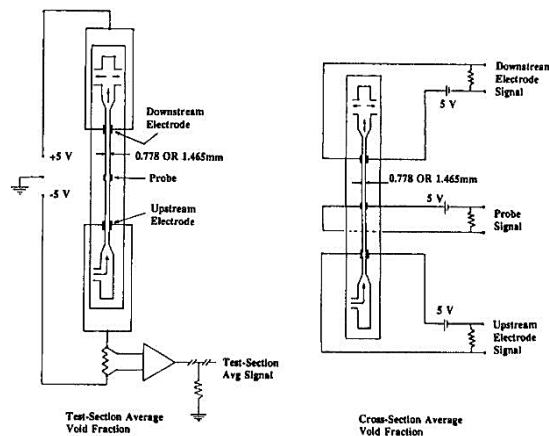
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian tentang fraksi hampa dan penelitian yang berhubungan tentang aliran dua fase dapat terjadi pada saluran atau pipa berukuran besar (*large channel*), normal (*normal channel*), mini (*mini channel*), mikro (*micro channel*), dan bahkan pada saluran nano (*nano channel*). Penelitian dari beberapa peneliti tersebut menghasilkan diantaranya hasil yang sangat bervariasi. Perbedaan ini terjadi disebabkan karena perbedaan metode yang digunakan antara satu peneliti dengan yang lainnya.

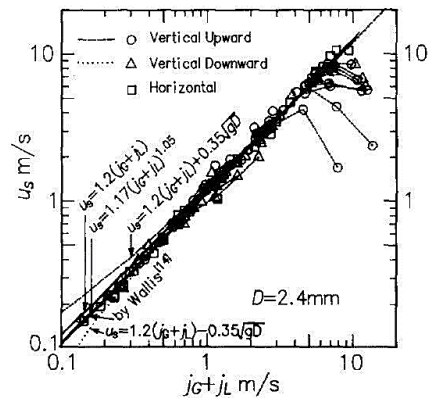
Ali dkk, (1993) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa dengan cara pengukuran konduktivitas listrik pada sebuah aliran. Dengan dua pasang elektroda dipasang pada saluran masuk dan keluar pada plat sejajar dengan gap antara 0,778 mm – 1,465 mm seperti pada Gambar 2.1. Fraksi hampa diukur dengan membandingkan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



Gambar 2.1. Pengukuran fraksi hampa (Ali dkk,1993)

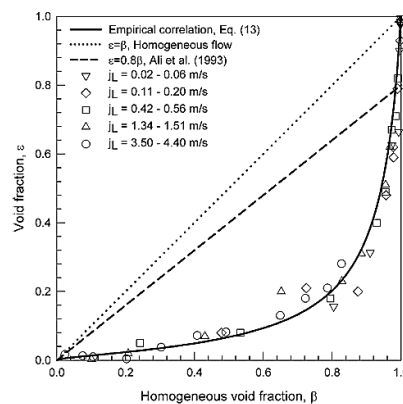
Fukano dkk, (1993) melakukan penelitian tentang kecepatan *bubbly* yang ditentukan dari persamaan  $L_s / \tau$ , dimana  $L_s$  adalah jarak aksial diantara dua elektroda dan  $\tau$  adalah jeda waktu dimana nilai maksimum *cross-correlation* dari

dua sinyal *output* fraksi hampa. Kesalahan pada pengukuran  $\tau$  disebabkan oleh frekuensi dari sampel. Minimum selang waktu adalah sebesar 500  $\mu$ s. Kesalahan pengukuran terbesar terjadi saat kecepatan *bubbly* tinggi yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



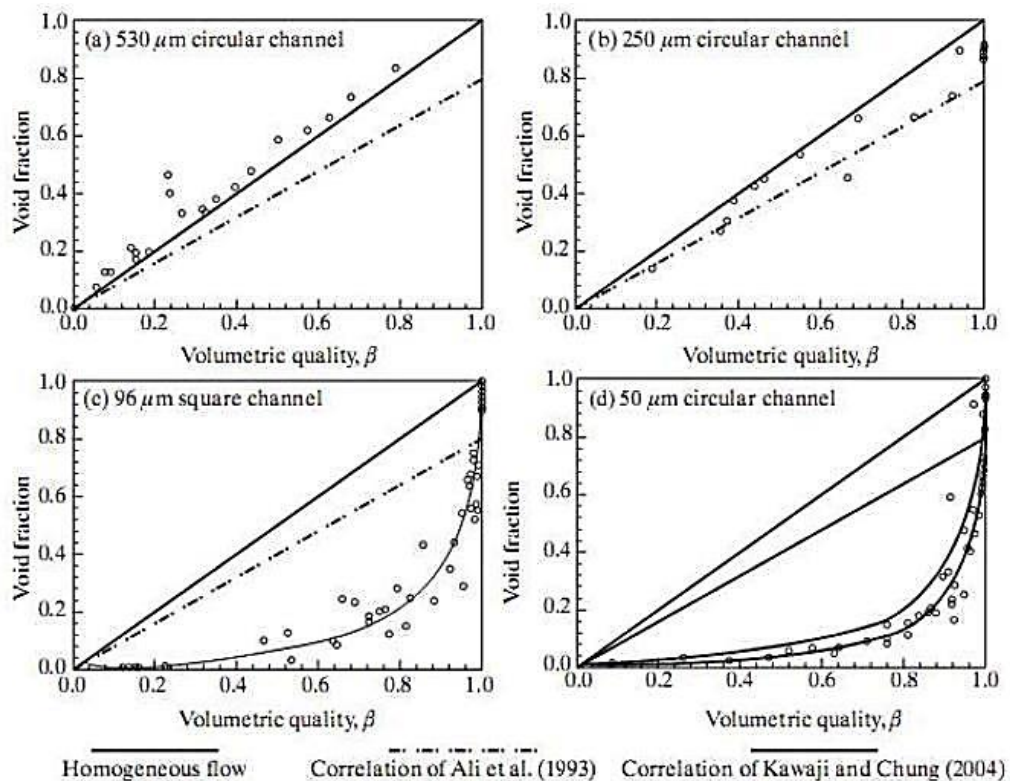
Gambar 2.2. Kecepatan *bubbly* (Fukano dkk, 1993)

Kawahara dkk, (2002) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa pada pipa dengan diameter 100  $\mu$ m. Pada saat fluida air mengalir dengan *flow rate* yang rendah, gambar yang terekam didominasi aliran air tanpa ada udara ( $\varepsilon = 0$ ), dan inti gas mengalir dengan film cairan halus. Sedangkan pada saat rata-rata aliran tinggi, terdapat tiga jenis aliran yang terekam yaitu aliran air tunggal ( $\varepsilon = 0$ ), inti gas yang mengalir dengan film cairan halus ( $\varepsilon = 1$ ), dan inti gas yang mengalir dengan film cairan tebal ( $0 < \varepsilon < 1$ ). Pada Gambar 2.3 menunjukkan grafik fraksi hampa yang dihasilkan dari penelitian Kawahara dkk, (2002).



Gambar 2.3. Hubungan antara pengukuran dengan fraksi hampa homogen (Kawahara dkk, 2002)

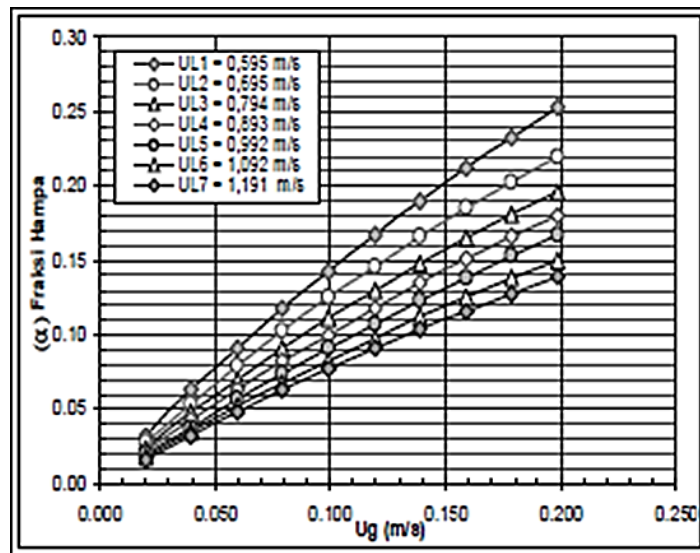
Chung dan Kawaji, (2004) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa rata-rata waktu pada saluran sirkular berdiameter  $D = 50, 100, 250,$  dan  $530 \mu\text{m}$  serta  $96 \mu\text{m}$  saluran persegi menggunakan analisis gambar. Model aliran homogen mempunyai kesesuaian yang baik dengan data untuk  $D = 530 \mu\text{m}$ . Data untuk  $D = 250 \mu\text{m}$  sedikit berbeda dari model aliran homogen, tetapi bersesuaian secara baik dengan korelasi yang diusulkan lebih dulu oleh Ali dkk, (1993) untuk aliran dua fase dalam saluran persegi sempit dengan  $D_h \sim 1 \text{ mm}$ :  $\alpha = 0,8 \beta$  dengan  $\beta = J_G / J_L$  adalah kualitas volumetrik. Data dari Chung dan Kawaji, (2004) untuk saluran persegi  $96 \mu\text{m}$  dan  $50$  serta  $100 \mu\text{m}$  menunjukkan kecenderungan berbeda sekali dari korelasi-korelasi tersebut, akan tetapi menunjukkan hubungan yang tidak linier antara  $\alpha$  dan  $\beta$  sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Hubungan antara fraksi hampa dan kualitas volumetrik dari eksperimen (Chung dan Kawaji, 2004)

Biksono, (2006) melakukan penelitian tentang karakteristik dan visualisasi aliran dua fasa pada pipa spiral. Adapun hasil penelitian menunjukkan bahwa

koefisien gesek dua fasa lebih besar dibandingkan data satu fasa. Aliran transisi lebih cepat terjadi pada aliran dua fasa, yaitu pada bilangan Reynold ( $Re$ ) antara (1600-1700). Efek penambahan variasi kecepatan udara ( $u_g$ ), menyebabkan kenaikan nilai koefisien gesek yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



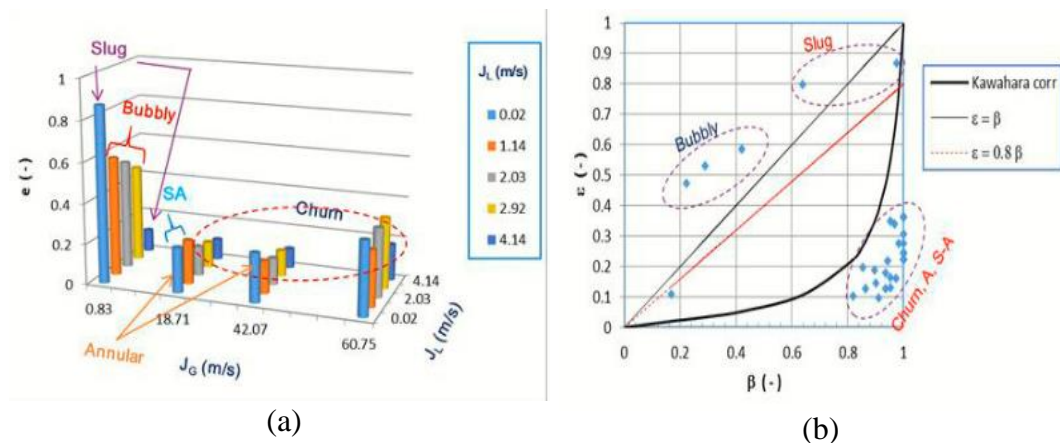
Gambar 2.5. Fraksi hampa vs kecepatan superficial udara penambahan kecepatan air ( $U_L$ ) pada pipa spiral (Biksono, 2006)

Sowinski dan Dziubinski (2007) melaporkan hasil penelitiannya tentang pengaruh viskositas terhadap fraksi hampa aliran dua fase gas-cairan pada saluran mini sempit. Fluida yang digunakan adalah air dan larutan *aqueous saccharose*. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa kenaikan viskositas cairan menyebabkan menurunnya fraksi hampa gas. Selain itu, naiknya viskositas cairan menyebabkan pertumbuhan kecepatan aliran fase gas rata-rata,  $j_g$ , yang signifikan.

Sadatomi dkk. (2010) melakukan penelitian aliran dua fase gas – cairan pada pipa horizontal berdiameter 3,5, dan 9 mm menggunakan empat macam cairan, yaitu : *tap water*, larutan *poly-oxy-ethylene lauryl*, larutan *nonionic-polymer-fluorinate FC4430*, dan *purehydrofluoroether 7200*, semetara fluida gasnya adalah udara pada kondisi atmosfer. Mereka melaporkan : properti cairan sangat berpengaruh terhadap transisi pola aliran, terutama transisi aliran bubbly ke aliran slug; properti cairan tidak berpengaruh banyak pada *frictional pressure*

*drop*, tetapi berpengaruh signifikan pada *interfacial friction force* dan fraksi hampa, terutama pada aliran *bubbly* dan *slug* untuk  $J_L=2\text{m/s}$ .

Sudarja dkk, (2015) meneliti tentang fraksi hampa, salah satu hasilnya dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6 Gambar (a) terlihat bahwa secara umum kenaikan  $J_G$  memberikan pengaruh fraksi hampa, kecuali pada  $J_G$  yang sangat rendah, karena pada  $J_G$  tersebut pola aliran yang terbentuk adalah *bubbly* dan *plug*. Dari grafik fraksi hampa homogen ( $\beta$ ) vs fraksi hampa terukur ( $\epsilon$  atau  $\alpha$ ), yaitu Gambar (b), untuk harga *bubbly*, semua harga  $\epsilon$  lebih tinggi dari pada harga  $\beta$ , sedangkan untuk aliran *plug*, harga  $\epsilon$  tersebar disekitar garis korelasi Ali dkk. ( $\epsilon = 0,8 \beta$ ) sampai dengan sedikit di atas garis homogen. Hal ini dapat dilihat karena pada aliran *bubble* dan *plug* tidak terjadi *slip* atau misalnya ada *slip ratio* nya mendekati 1. Untuk pola aliran *churn*, *slug-annular* (S-A), maupun *annular* (A), harga  $\epsilon$  sangat kecil, bahkan berada dibawah garis korelasi Kawahara dkk. Hal ini dapat dilihat karena adanya *slip ratio* yang sangat besar, berarti kecepatan superfisial gas jauh lebih besar dari pada kecepatan superfisial cairan.



Gambar 2.6. (a) Pengaruh  $J_G$  dan  $J_L$  terhadap fraksi hampa, (b) Pengaruh  $\beta$  terhadap  $\epsilon$ . ( $\epsilon = \alpha$ ) (Sudarja dkk, 2015)

## 2.2 Dasar Teori Fraksi Hampa

Fraksi hampa merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk menentukan karakter dari aliran dua fase. Beberapa parameter yang dapat ditentukan antara lain densitas dua fase, viskositas dua fase, kecepatan rata-rata,

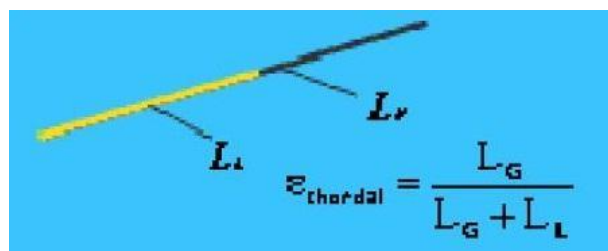
penurunan tekanan, koefisien perpindahan panas. Terdapat tiga metode untuk mendefinisikan fraksi hampa, metode tersebut antara lain:

### 2.2.1 Metode *Chordal*

Fraksi hampa *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 2.7.



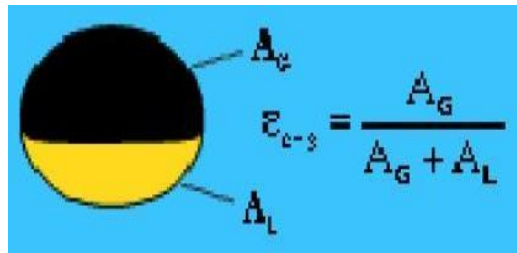
Gambar 2.7. Fraksi hampa *chordal*  
(Thome, 2004)

### 2.2.2 Fraksi Hampa *Cross-Section*

Metode ini membandingkan luas penampang fase gas terhadap luasan penampang pipa untuk menentukan nilai fraksi hampa yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. 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.



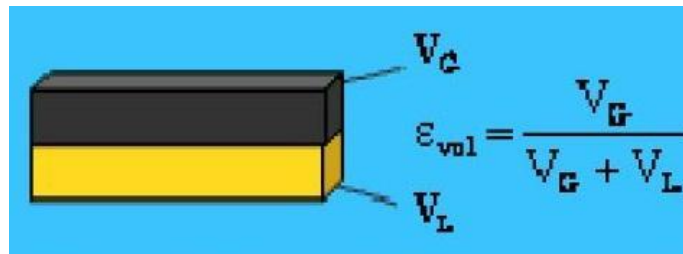
Gambar 2.8. Fraksi hampa *cross-section*  
(Thome, 2004)

### 2.2.3 Fraksi Hampa Volumetrik

Pada Gambar 2.9 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 2.9. Fraksi hampa volumetrik  
(Thome, 2004)

Penelitian ini menggunakan metode *cross-sectional* untuk menentukan nilai fraksi hampa pada aliran.

### 2.2.4 Fraksi Hampa Homogen

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

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

### 2.2.5 Rasio Kecepatan

Rasio kecepatan yaitu dimana kecepatan rata-rata dari fase gas dan cair berbeda. Rasio kecepatan merupakan penyederhanaan untuk menggambarkan kecepatan rata-rata dari kedua fase tersebut. Rasio kecepatan dirumuskan sebagai berikut.

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

Dimana rasio kecepatan adalah

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

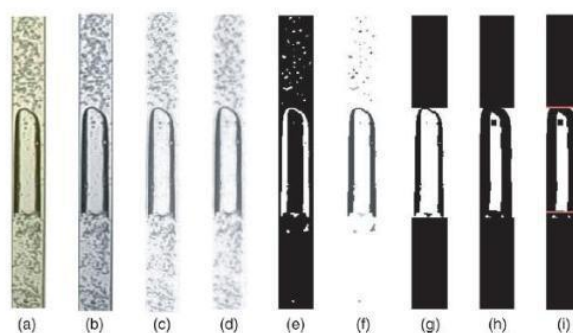
Untuk persamaan yang sama, persamaan (2.7) menyerupai persamaan (2.6) dimana nilai  $S = 1$ . Untuk pipa vertikal dan horizontal pada aliran berlawanan arah, kecepatan dari gas hampir selalu lebih cepat daripada kecepatan cairan dimana nilai  $S \geq 1$ . Pada kasus ini nilai fraksi hampa homogen  $\varepsilon_H$  lebih besar dari nilai fraksi hampa  $\varepsilon$ . Untuk pipa vertikal pada aliran kebawah, kecepatan dari fase udara lebih lambat dari pada kecepatan cairan karena pengaruh gravitasi sehingga  $S < 1$ , sehingga nilai fraksi hampa homogen  $\varepsilon_H$  lebih kecil dari nilai fraksi hampa  $\varepsilon$ .



### 2.3 Digital Image Processing

*Digital image processing* merupakan salah satu metode untuk mengukur nilai fraksi hampa dengan mengambil *image* aliran menggunakan kamera kemudian diolah dengan menggunakan *software* computer. Dalam aliran dua fase teknik ini telah digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran, pola aliran dan topologi aliran. Triplet dkk, (1999) menerapkan metode *digital image processing* untuk menentukan fraksi hampa pada pipa sirkular dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm. Mayor dkk, (2006) menjelaskan tentang implementasi dari *digital image processing* untuk mempelajari aliran *slug* pada pipa vertikal. Montoya dkk, (2012) menggunakan *digital image processing* untuk mempelajari *interfacial behavior* pada aliran *countercurrent* aliran dua fase gas-cair pada *hot leg PWR*.

Metode ini juga dapat digunakan pada penelitian tentang *minichannel*. Untuk menangkap *image* yang baik. Digunakan lensa makro untuk memperbesar *image* yang ditangkap pada pipa yang berukuran sangat kecil tersebut. Salah satu *software* pengolah data *visual* yang sudah banyak dipakai saat ini yaitu dengan menggunakan *software* MATLAB. Gambar 2.10 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 2.10. Langkah-langkah dalam *image processing*  
(Mayor dkk, 2007)

### 2.3.1 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. Nilai dari  $f$  pada setiap koordinat  $(x,y)$  disebut intensitas atau tingkat warna suatu gambar.

#### 2.3.1.1 Gambar RGB

Gambar *RGB* merupakan *image* yang terdiri dari tiga buah matriks yang masing-masing memiliki warna merah, biru, dan hijau, contoh gambar RGB dapat dilihat pada Gambar 2.11. Setiap piksel mempunyai nilai tertentu untuk masing-masing tersebut dengan *range* 0-255 sehingga mempunyai 16.777.216 kemungkinan warna.



Gambar 2.11. Contoh gambar RGB dengan aliran *plug*

#### 2.3.1.2 Gambar *Grayscale*

Gambar *grayscale* merupakan beberapa 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. Contoh untuk gambar *grayscale* dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Contoh Gambar *Grayscale* dengan aliran *plug*

### 2.3.1.3 Gambar Biner

Gambar biner merupakan sebuah gambar dimana setiap pikselnya hanya mempunyai 2 kombinasi warna yaitu hitam dan putih. Nilai 0 untuk menyatakan warna hitam dan nilai 1 untuk menyatakan warna putih. Gambar biner hanya membutuhkan 1 bit untuk setiap pikselnya sehingga tidak membutuhkan memori yang banyak dan sangat efisien untuk penyimpanan data. Contoh gambar biner dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Contoh gambar *biner* dengan aliran *plug*

### 2.3.2 Noise

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

#### 2.3.2.1 Coherent noise

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

#### 2.3.2.2 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.

### **2.3.2.3 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.

### **2.3.3 Filtering**

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

#### **2.3.3.1 Mean fitering**

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

#### **2.3.3.2 Median fitering**

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.

#### **2.3.3.3 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.

### **2.3.4 Metode Analisis Statistik**

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*.

#### **2.3.4.1 Mean Value**

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.

#### **2.3.4.2 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.

#### **2.3.4.3 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*).

#### **2.3.4.4 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. Dalam statistik, korelasi antara dua variabel dapat digambarkan sebagai nilai numerik. Kata-kata positif, negatif, kuat, dan langsung sering digunakan sebagai pengubah sebelum korelasi dalam konteks ini. Statistik korelasi *intraclass* atau *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC), adalah statistik deskriptif yang dapat digunakan ketika kuantitatif pengukuran yang dibuat pada unit yang tergabung dalam kelompok. Hal tersebut menggambarkan seberapa kuat unit dalam kelompok yang sama mirip satu sama dengan yang lain.