

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 pipa berukuran kecil 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.

Kawahara dkk. (2002) Aplikasi tersebut melibatkan aliran dua fase dalam pipa berdiameter kurang dari 1 mm. Adapun parameter dasar yang terpenting pada aliran dua fase meliputi: Flow behavior (*interfacial behavior*), yaitu pola aliran (*flow pattern atau flow regime*) dan peta pola aliran (*flow pattern map*), fraksi hampa (*void fraction*), dan perubahan tekanan (*pressure gradient atau pressure drop*). Jayadi dkk. (2015) memberi pengertian bahwa penelitian karakteristik aliran dua fase saluran kecil sangat tergantung pada tegangan permukaan. Chung dan Kawaji (2004) mengungkapkan bahwa informasi dan data penelitian micro channel dengan diameter < 100 μm masih sangat terbatas dan belum sepenuhnya konsisten, serta pengaruh dari pengecilan diameter saluran masih belum jelas. Konsentrasi riset masih terfokus pada pola aliran, sedangkan parameter lain belum banyak diungkap, bahkan terlihat juga bahwa pola aliranpun berbeda-beda walaupun diameter dan kecepatannya sama atau hampir sama.

Triplett dkk. (1999) Melakukan penelitian mengenai aliran dua fase pada pipa mini dengan ukuran diameter 1,097 mm dan 1,45 mm. Media yang digunakan fluida cair yaitu air sedangkan untuk fluida gasnya adalah udara. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh permukaan lebih dominan sehingga gravitasi yang muncul tidak mempengaruhi karakteristik dari aliran pada pipa mini. Kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial cairan dilakukan variasi untuk mendapatkan berbagai jenis data. Variasi yang digunakan adalah

sebagai berikut, kecepatan superfisial udara dimulai dari 0,02 m/s sampai 80 m/s sedangkan untuk kecepatan superfisial cairan 0,02 m/s sampai 8 m/s. pola aliran yang berhasil diamati pada saat penelitian ini adalah *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug annular*, dan *annular*. Semua jenis aliran ini muncul pada semua jenis pipa yang digunakan yaitu pipa sirkular berdiameter 1,097 mm dan pipa semi-triangular berdiameter 1,45 mm.

Sur dan Liu (2012) melakukan study eksperimental dengan pipa diameter bagian dalam 100 μm , 180 μm dan 324 μm dari leburan silika. Mereka menggunakan udara dan air sebagai fluida kerja. Mereka mengidentifikasi empat bentuk aliran yang khas, yaitu, *bubbly*, *slug*, *ring*, dan aliran *annular*. Mengenai penurunan tekanan gesekan, mereka menyimpulkan bahwa model berbasis pola aliran memberikan hasil yang lebih akurat dalam membandingkan dengan homogen dan terpisah model aliran dua fase.

Penelitian aliran dua fase yang dilakukan oleh Kawahara dkk. (2002) menggunakan fase nitrogen-air yang sudah terionisasi menggunakan saluran sirkular yang terbuat dari *fused silica* dengan diameter 100 μm . Kecepatan superfisial udara yang digunakan 0,1–60 m/s sedangkan untuk kecepatan superfisial airnya 0,002–4 m/s. Pola aliran yang berhasil diamati pada penelitian ini adalah aliran *slug*, aliran *gas core with smooth-thin liquid film*, aliran *gas core with smooth-thick liquid film*, aliran *gas core with a ring-shaped liquid film*, dan aliran *gas core with deformed interface*. Aliran *bubbly* dan *churn* pada penelitian ini tidak teramati karena saluran yang sangat kecil yang berakibat memperkecil nilai bilangan Reynolds dapat memperbesar tegangan permukaan.

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. 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.

Fukano dkk, (1993) melakukan penelitian tentang kecepatan *bubbly* yang ditentukan dari persamaan L_s / τ , dimana L_s adalah jarak aksial diantara dua elektroda dan τ adalah jeda waktu dimana nilai maksimum *cross-correlation* dari 5 dua sinyal *output* fraksi hampa. Kesalahan pada pengukuran τ disebabkan oleh frekuensi dari sampel. Minimum selang waktu adalah sebesar 500 μ s.

Kawahara dkk, (2002) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa pada pipa dengan diameter 100 μ m. Pada saat fluida air mengalir dengan *flowrate* 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 ($0 < \varepsilon < 1$).

Penelitian tentang penurunan tekanan dari aliran *dry-plug* dua fase (kondisi dinding kering pada bagian-bagian gas) dalam saluran mini dilakukan oleh (Lee & Lee, 2010). Penelitian tersebut menggunakan fluida udara-air yang dialirkan melalui saluran mini yang terbuat dari poliuretan dan teflon dengan diameter 1,62 mm dan 2,16 mm. Hasilnya Penurunan tekanan akan lebih besar apabila kecepatan superfisial ditingkatkan. Penurunan tekanan oleh garis kontak yang bergerak merupakan parameter penting yang harus dipertimbangkan dalam memprediksi penurunan tekanan pada rezim aliran steker kering.

Penelitian tentang studi eksperimental pada aliran dua fase dan penurunan tekanan dalam saluran berukuran mini dilakukan oleh (Hassan dkk., 2006). Penelitian tersebut dilakukan dengan pengolahan hasil pengukuran penurunan tekanan menggunakan model aliran homogen, model Freidel, dan model Chisholm kemudian dibandingkan dengan hasil peneliti sebelumnya untuk saluran berukuran 3 mm, 1 mm, dan 0,8 mm. Hasil dari penelitian tersebut yaitu 5 perbandingan rezim-peta aliran menunjukkan perbedaan yang umum antara data eksperimen yang dikumpulkan selama percobaan dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya. Setelah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa garis transisi yang disederhanakan memberikan perkiraan yang baik dari transisi rezim dengan rentan peta yang diperbolehkan.

Penelitian tentang penurunan tekanan pada aliran dua fase dengan menggunakan saluran mikro dilakukan oleh (Kawahara dkk., 2002). Ukuran diameter pipa yang digunakan sebesar 100 μm . Hasil yang didapat adalah meningkatnya gradien tekanan gesekan aliran dua fase yang diakibatkan oleh meningkatnya kecepatan gas superfisial (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L). Pada saluran mikro, aliran homogen tidak berhasil menunjukkan data penurunan tekanan dua fase karena perbandingan selip yang didapat sangat besar, sehingga pola aliran dua fase tidak homogen.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Fase

Fase merupakan suatu kondisi atau wujud dari suatu zat dengan sistem yang mempunyai kesamaan fisik dan kimiawi. Fase dibedakan menjadi cair, gas, dan padat. Aliran dua fase merupakan bentuk paling sederhana dari aliran multifase. Aliran multifase merupakan kondisi aliran fase terdapat energi yang didapat ataupun dilepaskan, perubahan fase yang mengalir bisa berupa cair-gas ataupun sebaliknya, gas-padat atau sebaliknya, dan padat-cair atau sebaliknya.

Aliran dua fase dapat digolongkan menjadi beberapa jenis. Seperti contohnya, berdasarkan orientasi saluran digolongkan menjadi horizontal, vertikal, dan miring. Berdasarkan arah alirannya digolongkan menjadi aliran searah dan berlawanan arah. Berdasarkan ukuran salurannya digolongkan menjadi aliran dua fase saluran normal, aliran dua fase saluran mini, aliran dua fase saluran mikro, dan aliran dua fase saluran nano.

2.2.2. Kecepatatan Superfisial

Kecepatan superfisial gas dan cair yang digambarkan sebagai rasio dari *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 berkerja pada zat cair tersebut. Pada bagian dalam cairan sebuah mekul dikelilingi oleh mekul lain disekitarnya. Oleh karena itu mekul ditarik oleh gaya yang sama besar ke segala arah maka resultan gaya yang bekerja pada mekul tersebut sama dengan nol. Sedangkan mekul yang berada tepat dibawah permukaan zat air memiliki resultan gaya yang bekerja pada mekul tersebut tidak sama dengan nol. Hal ini disebabkan ada gaya resultan yang arahnya ke bawah karena di bagian atas mekul tersebut tidak dikelilingi oleh mekul lain dengan demikian lapisan atas seperti tertutup oleh lapisan selaput elastis yang ketat. Tegangan permukaan berhubungan dengan peristiwa yang disebut kohesi (gaya tarik menarik antara mekul sejenis) dan adhesi (gaya tarik menarik antara mekul 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-sifat butanol sebagai berikut :

Tabel 2.1. Spesifikasi 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 pada Saluran Mini

Distribusi geometri setiap fase pada aliran dua fase disebut pola aliran atau rezim aliran. Biasanya, pola aliran ditentukan dengan pengamatan visual, meskipun metode yang lain juga berguna seperti analisis spektral dari tekanan yang berfluktuasi pada fraksi volume, sudah ditemukan untuk beberapa keadaan jika pengalaman visual sulit didapatkan (Jones dan Zuber, 1974).

Pola aliran yang terbentuk dari komponen yang berbeda akan menghasilkan pola aliran yang berbeda pula. Begitu juga dengan pola aliran yang terjadi pada kedudukan pipa yang berbeda, misalnya aliran vertikal dan horizontal. Selain itu,

faktor yang mempengaruhi pola aliran antara lain adalah gravitasi, tegangan permukaan, viskositas, densitas, kecepatan aliran, diameter pipa, dan geometri pipa. Berikut ini merupakan pola aliran yang terbentuk pada saluran konvensional horizontal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini :

1. *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 .

2. *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.

3. *Slug Flow*

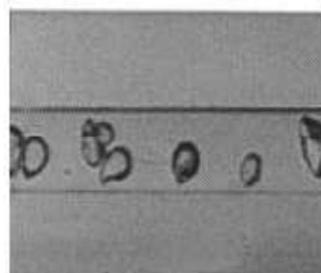
Aliran ini hampir serupa dengan aliran *plug*, hanya saja aliran ini terjadi saat laju massa gas ditingkatkan sehingga membentuk kantong fase gas yang dibatasi oleh cairan.

4. *Annular Flow*

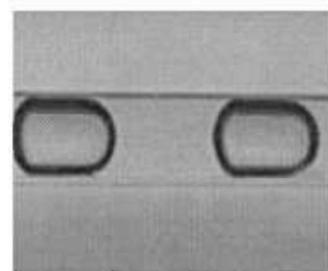
Pola aliran *annular* memiliki struktur dimana fasa air terletak mengelilingi saluran dan fase udara berada di tengah-tengah fase air.

5. *Churn Flow*

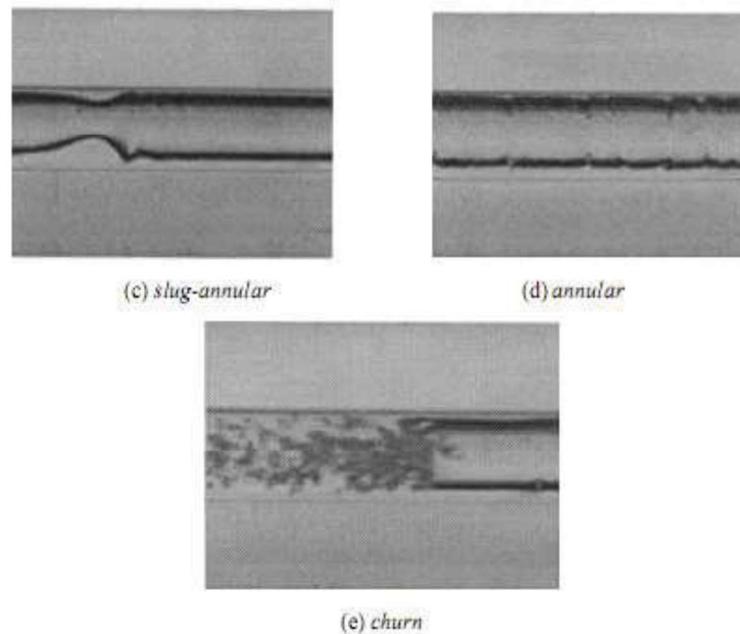
Pola aliran *churn* terbentuk saat selisih antara nilai J_G dan J_L cukup besar. Aliran *churn* merupakan terusan dari aliran *slug* tetapi pada ekornya terbentuk aliran yang tidak beraturan.



(a) *bubbly*



(b) *slug*

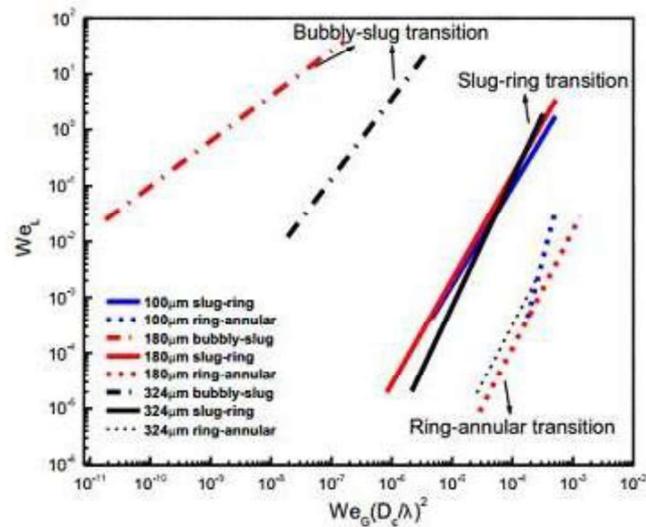


Gambar 2.1. Pola aliran pada pipa mini diameter 1,45 mm (Triplet dkk. 1999)

2.2.6. Peta Pola Aliran

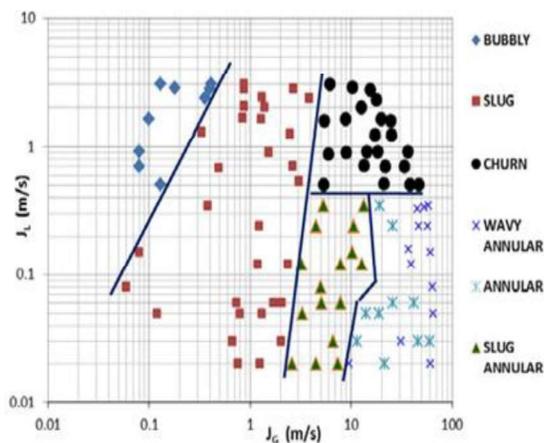
Peta pola aliran adalah grafik yang menggambarkan letak masing-masing pola dalam bentuk peta pola aliran. Beberapa peneliti sudah melakukan penelitian aliran dua fase pada pipa untuk membuat database pola aliran sebagai acuan pembuatan peta pola aliran.

Sur dan Liu (2012) 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 (2012) yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Peta pola aliran dua fase udara-air pada pipa horizontal berdiameter 100, 180 dan 324 μm (Sur dan Liu, 2012)

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. Peta pola aliran terdapat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Peta pola aliran dan garis transisi (Sudarja dkk, 2014)

2.2.7. Void Fraction Aliran Dua Fase

Void Fraction (fraksi hampa) merupakan salah satu cara parameter penting untuk mengetahui karakteristik aliran dua fase. Nilai fraksi hampa dipengaruhi oleh kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L). fraksi hampa berpengaruh juga pada nilai penurunan tekanan aliran dua fase. Beberapa parameter yang dapat ditentukan antara lain densitas dua fase, kecepatan rata-rata, penurunan tekanan, koefisien perpindahan panas. Terdapat tiga metode untuk mengidentifikasi fraksi hampa, metode tersebut anatara lain :

1. Metode *Chordal Void Fraction*

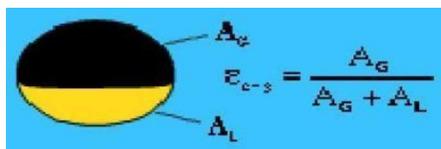
Metode ini didasarkan perbandingan panjang fasa gas di dalam pipa terhadap panjang total pipa yang dapat dirumuskan pada gambar 2.4. Dengan L_G adalah panjang fasa gas, dan L_L adalah panjang fasa cairan.



Gambar 2.4. Fraksi Hampa *Chordal* (Thome, 2004)

2. Metode *Cross-Sectional Void Fraction*

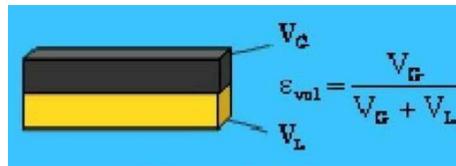
Metode ini didasarkan perbandingan luasan panampang fasa gas terhadap luasan penampang pipa atau dapat dirumuskan pada gambar 2.5. dengan A_G adalah luasan penampang fasa gas, dan A_L adalah luasan penampang fasa cairan.



Gambar 2.5. Fraksi hampa *cross-section* (Thome, 2004)

3. Metode *Volumetric Void Fraction*

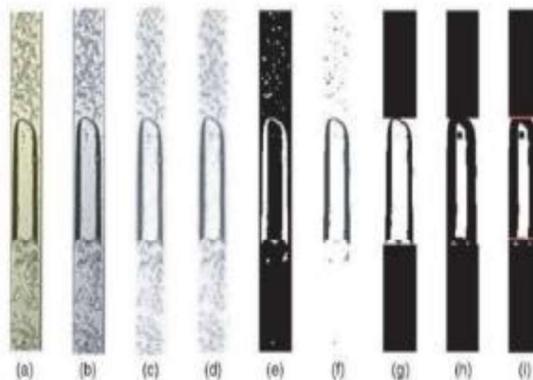
Metode ini didasarkan pada perbandingan volume fasa gas terhadap total volume pipa yang ditinjau dan dirumuskan pada gambar 2.6. Dengan V_G adalah volume fasa gas, dan V_L adalah fasa cairan.



Gambar 2.6. Fraksi hampa *volumetric* (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 mm 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 2.7 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 2.7. Langkah-langkah dalam *image processing* (Mayor dkk, 2007)

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. Gambar RGB

Gambar RGB (Red, Green, Blue) adalah gambar yang terdiri dari tiga buah matriks yang masing-masing memiliki warna merah, biru, dan hijau, Setiap piksel mempunyai nilai tertentu untuk masing-masing tersebut dengan *range* 0-225 sehingga mempunyai 16.777.216 kemungkinan sama.

3. Gambar *Grayscale*

Gambar *grayscale* adalah 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 225. Nilai 0 untuk menyatakan warna hitam dan nilai 225 untuk menyatakan warna putih.

4. Gambar Biner

Gambar biner adalah 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.

5. *Noise*

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

a. *Coherent Noise*

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

b. *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*.

c. *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.

6. *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 :

a. *Mean Fitering*

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

b. *Median Fitering*

Prinsip dari median fitering 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 fitering* mampu memberi detail yang lebih baik.

c. *Gaussian Fitering*

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

2.2.9. Metode Analisis Statik

Analisis statistik digunakan untuk mengubah data mentah dari pembacaan sinyal untuk menjadi informasi yang didapat dengan lebih sederhana. Nilai *void fraction* dan *pressure drop* J_G dan J_L yang akan diolah dengan perhitungan statistik dengan jenis perhitungan statistiknya antara lain :

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. *Probability Distribution 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 berfungsi digunakan untuk menghitung kecepatan *bubble* dan *plug*. Pengukurannya dengan cara membuat dua titik referensi pada jarak tertentu, jadi ada jeda waktu saat *bubbly* atau *plug* melewati kedua titik referensi tersebut.

2.2.10. Perbedaan Tekanan (*Pressure Drop*)

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

2.2.11. 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