

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian kajian eksperimental karakteristik aliran dua fase udara-air dan butanol 5% pada saluran kecil posisi miring 20° menggunakan empat parameter dalam pengambilan dan pengolahan data, yaitu pola aliran, peta pola aliran, fraksi hampa, dan gradien tekanan. Dengan dibutuhkannya empat parameter tersebut, maka diperlukan beberapa penelitian orang lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Metode-metode yang dilakukan oleh beberapa peneliti juga berbeda-beda sehingga menimbulkan hasil yang bervariasi.

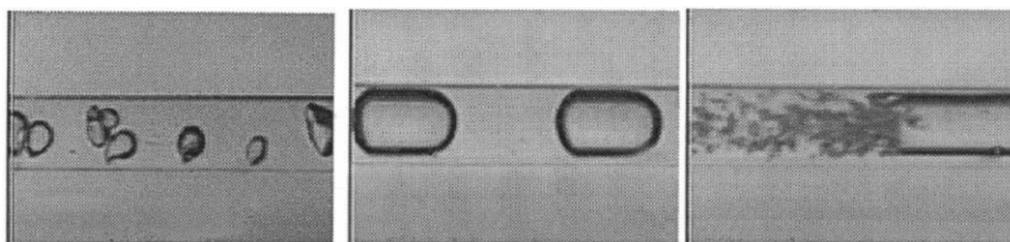
Kawahara dkk. (2002) melakukan penelitian aliran dua fase nitrogen-air yang terionisasi menggunakan sirkulasi berdiameter $100 \mu\text{m}$ yang terbuat dari *fused silica* dengan kecepatan superfisial gas 0,1-60 m/s dan kecepatan superfisial air 0,02-4 m/s. Selain menggunakan metode visualisasi Kawahara dkk. (2002) juga menggunakan metode probabilitas dalam penelitiannya. Hal ini dikarenakan dalam suatu kondisi aliran yang telah ditetapkan, beberapa pola aliran muncul secara bergantian pada *flowrate* air rendah. Dari penelitian ini teridentifikasi lima pola aliran utama yaitu aliran *gas core with smooth-thin liquid film*, *liquid alone (liquid slug)*, aliran *gas core with smooth-thick liquid film*, aliran *gas core with a ring-shaped liquid film*, dan aliran *gas core with deformed interface*.

Penelitian yang dilakukan Wegmann (2005) mengenai aliran dua fase menggunakan media dengan fase cair yaitu, air dan paraffin sedangkan untuk fase gas menggunakan udara. Penelitian ini menggunakan dua variasi ukuran diameter pipa yaitu 5,6 mm dan 7 mm, dengan dua jenis variasi diameter ini, pola aliran yang terbentuk memiliki perbedaan. Pada pipa dengan diameter 5,6 mm secara garis besar pola yang terlihat adalah aliran *intermittent* dan *annular* sedangkan aliran *stratified* di diameter 5,6 mm sama sekali tidak ada baik di fase air-udara maupun di fase paraffin-udara. Terbentuknya aliran *stratified* pada pipa berdiameter 7 mm, pada saat kecepatan superfisial air 0,003 m/s dan paraffin 0,06 m/s. Hal ini

disebabkan tegangan permukaan air lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan permukaan paraffin.

penelitian aliran dua fase menggunakan pipa silika dan kuarsa dengan arah horizontal menggunakan empat variasi diameter yaitu 20, 25, 50, dan 100 μm . Udara dan uap air digunakan sebagai fase gas sedangkan untuk fase cair menggunakan air. Variasi untuk kecepatan superfisial gas berkisar antara 0,0012–295,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan mulai dari 0,003–7,52 m/s. Dari hasil visualisasi penelitian ini didapat jenis aliran langka yang dapat dijelaskan karakteristik serta dapat divisualisasikan dengan baik menggunakan fotografi. Pola aliran yang di dapat di antaranya yaitu : *dispersed bubbly*, *gas slug*, *liquid ring*, *liquid pump*, *annular*, *frothy*, *wishphy-annular*, *rivulet*, *liquid drplet bubbly*, dan *droplet*. (Serizawa dkk. 2002)

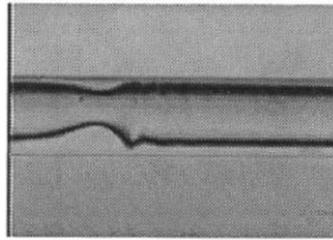
Triplett dkk. (1999) melakukan penelitian tentang pola aliran dua-fase pada pipa sirkular berdiameter 1,1 mm dan 1,45 mm serta pipa semi-triangular. Fluida yang digunakan adalah udara dan air. Triplett dkk melakukan variasi kecepatan superfisial gas antara 0,02 sampai 80 m/s dan kecepatan superfisial 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*. Mereka menyatakan bahwa tegangan permukaan lebih dominan pada pipa berukuran mini sehingga karakteristik dari aliran tidak terlalu terpengaruh oleh gaya gravitasi.



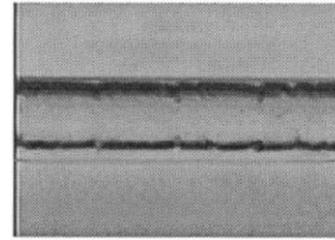
(a) *Bubbly*

(b) *Slug*

(c) *Churn*



(d) Slug-annular

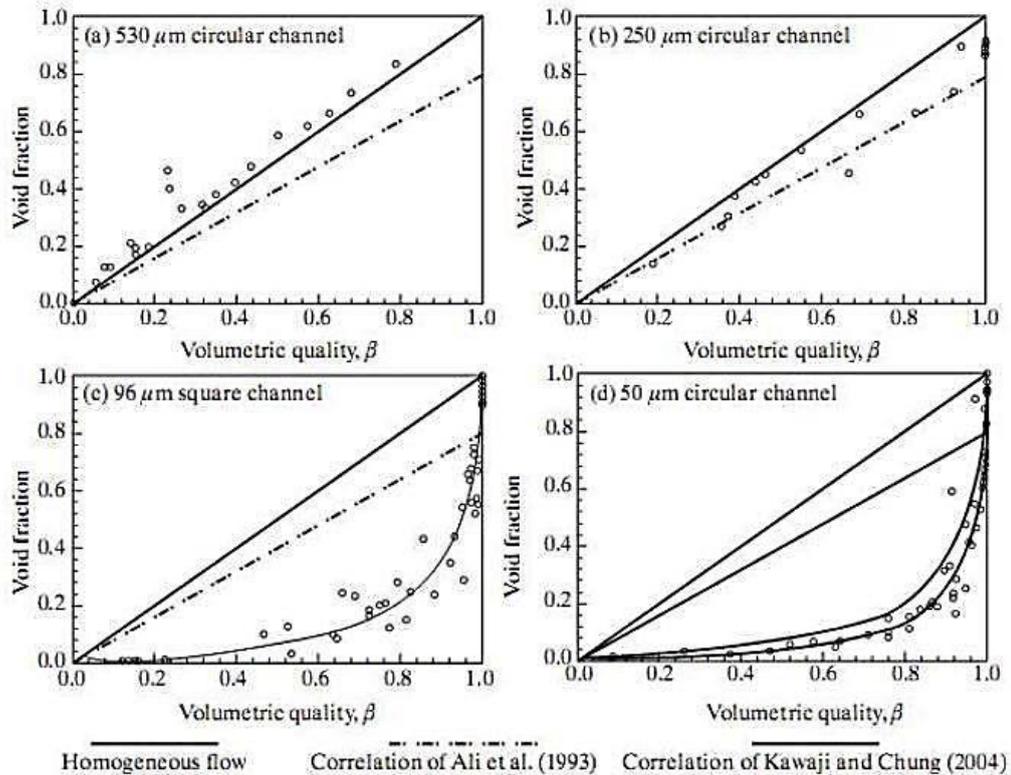


(e) Annular

Gambar 2.1 Visualisasi pola aliran pada pipa sirkular $D = 1,45$ m (Triplet dkk,1999)

Kawahara dkk. (2002) telah melakukan pengujian tentang fraksi hampa pada pipa dengan diameter $100 \mu\text{m}$. Pada saat aliran air mengalir dengan *flow rate* yang rendah, gambar yang terekam didominasi aliran air tanpa ada udara ($\varepsilon = 0$), dan inti gas yang mengalir dengan film cairan halus. Sedangkan pada saat rata-rata aliran tinggi, terdapat tiga jenis aliran yang terkeam 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 ($0 < \varepsilon < 1$).

Sebelumnya Kawahara dkk. (2002) melakukan penelitian fraksi hampa pada diameter $100 \mu\text{m}$ sedangkan 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 α dan β sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan antara fraksi hampa dan kualitas volumetrik dari eksperimen (Chung dan Kawaji, 2004)

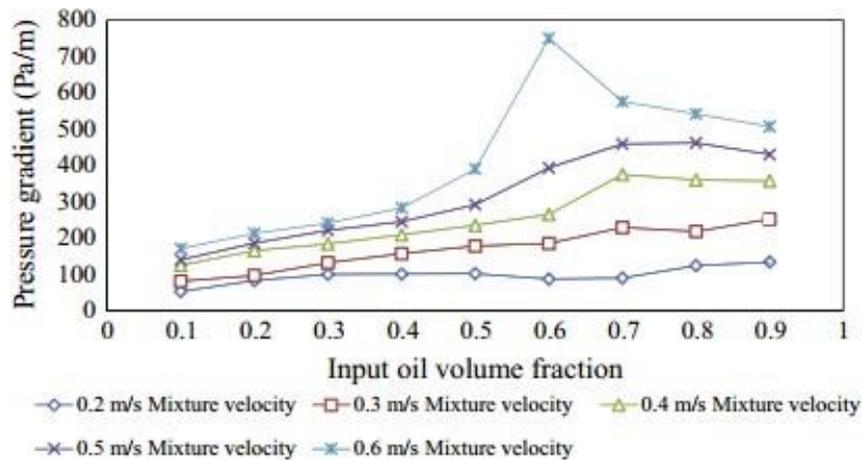
Garcia, (2015) melakukan penelitian yang berjudul *Two phase flow pressure drop in multiport mini-channel tubes using R134a and R32s working fluids* tentang penurunan tekanan aliran dua fase yang dilakukan secara eksperimental yang diukur di dalam proses penguapan dan kondensasi. Dalam penelitian ini, refrigeran R134a dan R32 diuji dalam tabung *multiple extruded aluminium* (MPE) dengan diameter hidrolis 0,715 dan 1,16 mm. Kondisi eksperimental berada dalam kisaran: kecepatan massa 200e1229 kg / m²s, fluks panas 70e2.55 kW / m², suhu saturasi (5, 7.5, 12.5, 30, 35, 40, 45, 50, 55)°C. Penurunan tekanan aliran dua fase telah diukur secara eksperimental dalam proses penguapan dan kondensasi menggunakan dua tabung aluminium ekstrusi multiport dengan diameter hidrolis masing-masing 0,715 dan 1,16 mm. Refrigeran R134a dan R32 telah diuji dalam proses dan tabung. Kondisi eksperimental mulai: kecepatan massa 200e1229 kg / m² s, fluks panas 70e2.55 kW / m², suhu saturasi (5, 7.5, 12.5, 30, 35, 40, 45, 50, 55) ° C. Sebanyak 396 data penurunan tekanan gesekan eksperimental telah

dipertimbangkan dalam penelitian ini. Efek dari fluks panas, kecepatan massa, dan suhu saturasi tekanan pada penurunan tekanan aliran dua fase telah diteliti. Selain itu, perbandingan luas dari data gradien tekanan gesekan eksperimental dengan beberapa model prediksi telah dilakukan. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu gradien tekanan dua fase meningkat dengan meningkatnya nilai kecepatan massa dan kualitas uap dalam proses penguapan dan kondensasi, namun gradien tekanan menurun ketika tekanan jenuh meningkat. Selain itu, dari tujuh model gesekan mini/mikro-saluran yang telah dibandingkan dengan data gradien tekanan gesekan eksperimental dalam aliran dua fase, perbandingan menunjukkan bahwa model yang diusulkan oleh Cavallini et al. menyajikan hasil terbaik untuk memperkirakan data gradien tekanan eksperimental untuk kedua proses.

Jika Gracia, (2015) melakukan penelitian gradien tekanan yang diukur didalam proses penguapan dan kondensasi, berbeda dengan Lee dan Lee, (2001) mengusulkan korelasi baru untuk *pressure drop* dua fase melalui saluran persegi panjang posisi horizontal dengan celah kecil berdasarkan 305 titik data. Jarak antara sisi atas dan bawah setiap saluran berkisar antara 0,4 hingga 4 mm sementara lebar saluran menjadi 20 mm. Air dan udara digunakan sebagai cairan uji. Rentang kecepatan superfisial air dan udara masing-masing adalah 0,03-2,39 dan 0,05-18,7 m/s. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa gradien tekanan dengan kecepatan superfisial air dan udara untuk ukuran celah masing-masing 0,4 dan 4 mm. Gradien tekanan meningkat dengan meningkatnya kecepatan superfisial udara dan air, kemudian gradien tekanan juga meningkat seiring dengan penurunan ukuran celah.

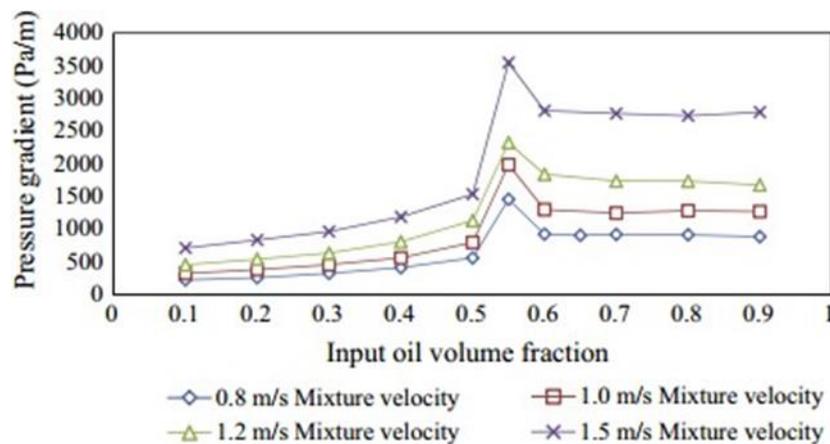
Pada penelitian yang dilakukan oleh Abubakar dkk. (2015) yang meneliti tentang aliran simultan dari dua cairan yang tidak dapat dilarutkan seperti minyak dan air. Dalam penelitian ini gradien tekanan yang diukur dalam kecepatan aliran 0,2-1,5 m/s dan fraksi volume minyak masukan 0,1-0,9. Saluran yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan pipa baja berukuran 1 dan 2 in. kecepatan alirannya bervariasi dari 0,1 hingga 1,5 m/s. Untuk menghasilkan fraksi volume minyak 0,1-0,9 yaitu dengan cara mengubah laju aliran air dan minyak. Hasilnya dimuat dalam bentuk gradien tekanan terhadap fraksi volume minyak masukan. Setelah diamati, peningkatan yang berhubungan dengan peningkatan kecepatan

terlihat lebih jelas pada fraksi volume minyak masukan tinggi daripada fraksi volume minyak masukan yang rendah. Oleh karena itu, ketika fraksi volume minyak masukan meningkat, viskositas campuran aliran minyak-air juga akan meningkat yang mengarah ke gradien tekanan tinggi.



Gambar 2.3 Grafik *pressure gradient* aliran minyak-air terhadap input fraksi volume minyak yang berbeda untuk berbagai kecepatan campuran 0,2-0,6 m/s.

(Abubakar dkk. 2015)



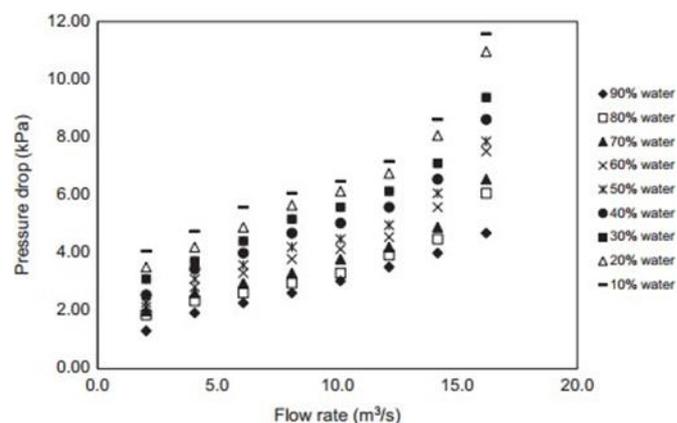
Gambar 2.4 Grafik *pressure gradient* aliran minyak-air terhadap input fraksi volume minyak yang berbeda untuk berbagai kecepatan campuran 0,8-1,5 m/s.

(Abubakar dkk. 2015)

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 superficial 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*, korelasi eksperimental baru pada panjang *bubbly* dan *plug* diperoleh, kecepatan superficial gas dan cairan mempengaruhi nilai dengan gradien tekanan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ismail dkk. (2015) Gambar 2.5 yang meneliti tentang investigasi penurunan gradien tekanan dua fase minyak-air dalam pipa horizontal. Penelitian tersebut dilakukan untuk aliran dua fase minyak-air dalam loop aliran ID 5,08 cm horizontal. Pada penelitian tersebut terjadi penurunan tekanan dan penumpukan cairan pada laju aliran yang berbeda dari aliran dua fase minyak-air. Penurunan tekanan tertinggi yang diperoleh adalah 11,58 kPa pada debit maksimum yaitu 16,21 cm^3/s dan fraksi minyak 0,9. Penurunan tekanan terendah 1,31 kPa pada debit terendah yaitu 2,30 cm^3/s dan fraksi air 0,9.



Gambar 2.5 Grafik perbandingan pressure drop terhadap laju aliran (Ismail dkk. 2015)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Fase dan Aliran Dua Fase

Fase (*phase*) adalah kondisi atau bentuk atau wujud dari suatu zat, yang dapat berupa padat, cair, dan gas (Sudarja, 2014). Perubahan jenis fase biasanya

dikarenakan adanya energi yang masuk atau yang dikeluarkan. Karakteristik fase cair adalah jarak antar molekulnya yang sangat jauh dan susunan molekulnya yang tidak teratur membuat molekul tersebut selalu bergerak bebas sedangkan karakteristik fase padat adalah jarak antar molekul yang rapat, tersusun rapi dan berurutan. Akan tetapi jika molekul tersebut mencapai titik leburnya ikatan molekul tersebut akan meleleh.

Aliran dua fase merupakan aliran yang terdiri dari dua substansi kimia yang berbeda, contohnya gas-padat, gas-cair, dan cair-padat pada satu saluran dengan arah yang sama. Menurut kedudukan salurannya aliran dua fase terbagi menjadi mendatar, tegak, lurus, dan miring. Menurut arah alirannya dapat searah ke atas, searah ke bawah, berlawanan arah, mendatar sejajar, dan mendatar berlawanan arah. Jika menurut bentuk salurannya yaitu : lingkaran, persegi, dan segitiga.

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 analisis 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 (m^2)

2.2.3 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan zat cair diakibatkan karena gaya yang bekerja pada zat cair tersebut. Di bagian dalam cairan sebuah molekul dikelilingin 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 dikelilingin 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-sifat butanol sebagai berikut :

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| a. Berat molekul | = 74,12 kg/kmol |
| b. Titik didih 1 atm | = 117,73 oC |
| c. Titik lebur | = 89,30 oC |
| d. Temperatur kritis | = 287,00 oC |
| e. Tekanan kritis | = 48,40 atm |
| f. Densitas | = 810,00 kg/m ³ |

2.2.5 Pola Aliran Dua Fase

Pola aliran (*flow regime*) dalam aliran dua fase mempunyai arti yang sangat penting, karena hal ini menentukan bagaimana perilaku aliran fluida. Perilaku campuran antara gas-cair mengandung banyak hubungan yang saling terkait untuk menyelesaikan permasalahan model analisis atau korelasi yang digunakan dalam persamaan konversi dua fase. Pengkajian mengenai pola aliran dua fase sangat luas cakupannya. Banyak ilmu yang bisa digali untuk menjelaskan fenomena pola aliran dua fase yang beragam (*bubble, slug, slug-annular, annular, and churn*), baik dari sisi geometri, orientasi atau posisi pipa, maupun proses yang terjadi didalam pipa (*boiling, kondensasi, campuran gas-cair*).

Aliran dua fase merupakan kasus aliran yang paling sederhana dari sekian banyak aliran fase. Aliran ini menggambarkan fase yang terdiri dari substansi yang berbeda pada setiap alirannya. Aliran fase yang berbeda ini banyak di jumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun pada proses-proses industri. Secara umum pola aliran dua fase gas-udara pada pipa horizontal yang ditunjukkan seperti Gambar 2.6 dan pipa vertikal yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 di bawah ini:

1. Pipa horizontal

a. Aliran Gelembung

Pada pola aliran ini terdapat banyak penyebaran gelembung gas dalam zat cair yang menyeluruh. Gelembung mengalir pada bagian atas tabung.

b. Aliran *Plug*

Karakteristik pada aliran ini adalah gelembung gas yang berbentuk peluru.

c. Aliran *Stratified* (aliran terpisah atau licin)

Dalam aliran ini terjadi pemisahan fase karena pengaruh perbedaan massa jenis dan gravitasi, dimana fase gas mengalir pada bagian atas tabung dan fase cair mengalir pada dasar tabung.

d. Aliran *Wavy* (aliran gelombang)

Jika kecepatan gas pada pola aliran *stratified* meningkat, gelombang terbentuk pada dasar permukaan pipa. Selanjutnya amplitudo gelombang lambat laun membesar diiringi meningkatnya kecepatan gas.

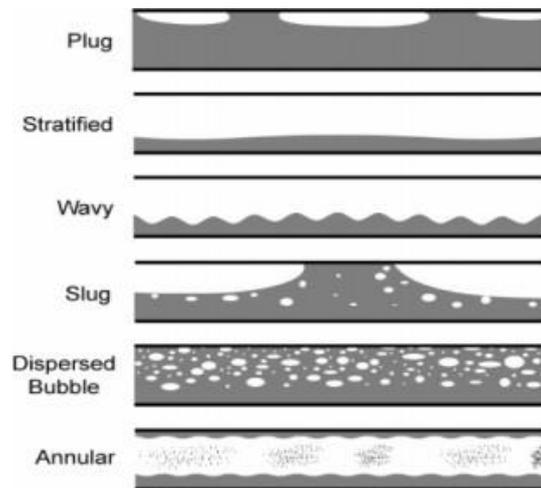
e. Aliran *Slug* (aliran sumbat)

Jika aliran gas meningkat dalam aliran gelombang, gelombang cairan akhirnya menyentuh cairan bagian atas permukaan dari tabung. Gelombang kemudian diangkat oleh gas yang berkecepatan tinggi sepanjang tabung dalam bentuk yang berbusa.

f. Aliran *Annular* (aliran cincin)

Dalam aliran ini cairan terdistribusi diantara lapisan cairan yang mengalir di sekitar dinding pipa dimana butiran air (droplet) mengalir bersama fluida gas.

Pada pipa horizontal, tebal lapisan cairan pada dasar tabung lenih pada bagian atas tabung karena adanya pengaruh gravitasi.



Gambar 2.6 Pola aliran pipa horizontal (braz, 1999)

2. Pipa Vertikal

a. Aliran gelembung (*bubbly flow*)

Pada fase gas mengalir dalam bentuk gelembung-gelembung kecil, sedangkan pada fase cair mengalir secara kontinyu.

b. Aliran kantung (*slug flow*)

Pada tipe ini aliran gas dalam tetap berbentuk gelembung kecil dan juga gas yang mengalir dalam bentuk kantung-kantung atau mirip dengan peluru.

c. Aliran acak (*churn flow*)

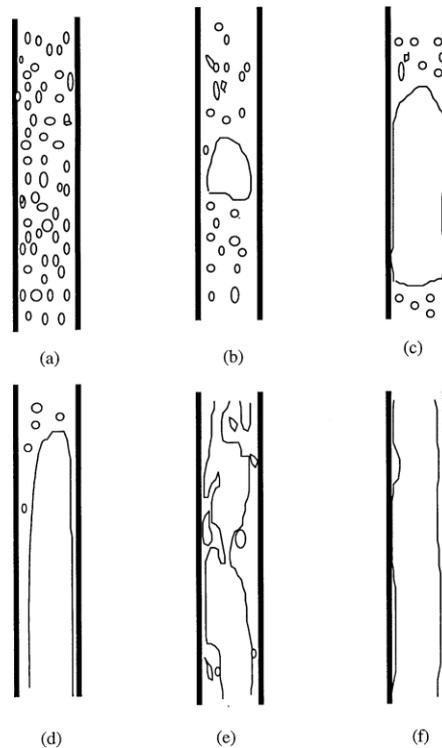
Kecepatan aliran gas pada *slug flow* tinggi sehingga mengakibatkan aliran tidak stabil

d. Aliran cincin (*annular flow*)

Fase cair cenderung berada di samping atau daerah yang bersentuhan dengan pipa, sedangkan fase gas berada di bagian tengah pipa. Pada aliran ini gas lebih mendominasi dibandingkan cair.

e. Wispy-annular flow

Pada pola aliran ini berbentuk lapisan cairan tipis pada dinding pipa dan sejumlah cairan seperti gumpalan yang tidak teratur pada tengah pipa.

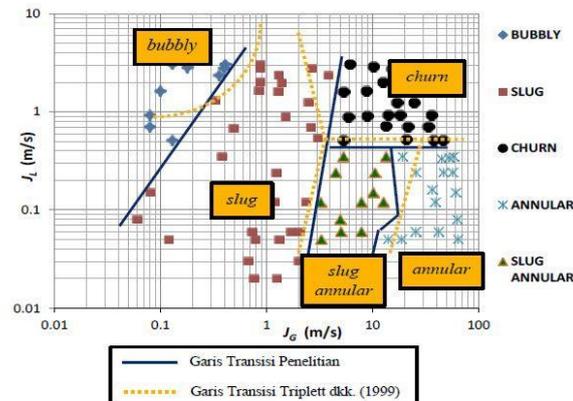


Gambar 2.7 Pola aliran pada pipa vertikal (Xu dkk,1999)

2.2.6 Peta Pola Aliran Dua Fase

Peta pola aliran yaitu menggunakan distribusi pola aliran dengan menggunakan grafik yang menunjukkan letak masing-masing dari pola aliran yang berhasil diamati. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang aliran dua fase dalam penyajian datanya menggunakan koordinat kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial cairan karena hal ini menunjukkan letak pola aliran yang muncul sesuai dengan nilai kecepatan superfisial.

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 yang didapat kemudian dibandingkan dengan peta pola aliran yang dilakukan dalam penelitian Triplett dkk (1999).



Gambar 2.8 Peta pola aliran Sudarja dkk. (2014) dibandingkan dengan peta pola aliran Triplet dkk. (1999)

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

Fraksi hampa merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk menentukan karakteristik dari aliran dua fase. Fraksi hampa adalah perbandingan volume (luas penampang) aliran yang ditempati oleh fase gas terhadap volume (luas penampang total). Beberapa parameter yang didapat ditemukan antara lain densitas, viskositas, 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 dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\epsilon_{chordal} = \frac{L_G}{L_G + L_L}$$

Dengan L_L adalah Panjang fase cairan, sedangkan L_G adalah Panjang fase gas. Skema fraksi hampa chordal dapat dilihat pada Gambar 2.8.



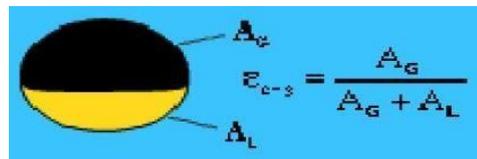
Gambar 2.9 Fraksi hampa chordal (Thome, 2004)

2. Metode Cross-Section

Metode ini membandingkan luas penampang fase gas terhadap luasan penampang pipa untuk menentukan nilai fraksi hampa yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 perhitungan fraksi hampa dengan metode cross section dapat dirumuskan sebagai berikut.

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

Dimana A_G merupakan luasan gas dan A_L merupakan luasan cairan.



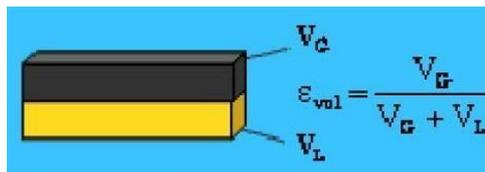
Gambar 2.10 Fraksi hampa cross section (Thome, 2004)

3. Metode Volumetrik

Pada Gambar 2.11 fraksi hampa volumetrik dapat diukur dengan menggunakan alat *quick-closing valve*. Fraksi hampa didefinisikan sebagai berikut.

$$\varepsilon_{vol} = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

Dimana V_G adalah volume udara dan V_L adalah volume cairan.



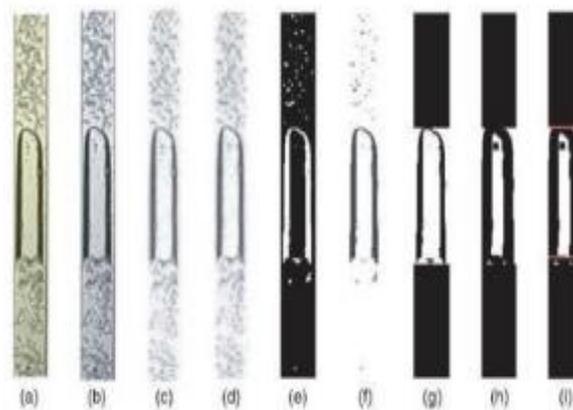
Gambar 2.11 Fraksi hampa volumetrik (Thome, 2004)

2.2.8 Digital Image Processing

Digital image processing adalah metode untuk mengetahui nilai fraksi hampa dengan mengambil *image* aliran menggunakan kamera kemudian diolah dengan menggunakan *software* komputer. 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. Montoya dkk, (2012) menggunakan *digital image processing* untuk mempelajari *interfacial behavior*

pada aliran *countercurrent* aliran dua fase gas-cair pada *hot leg* PWR. Ozbayoglu dan Yuksel (2012) menganalisis perilaku aliran dua fase (gas-cair) dengan teknik pengolahan citra pada kasus annular horizontal, tetapi tidak terfokus pada pola atomisasi fluida ganda.

Metode ini juga dapat digunakan pada penelitian tentang *minichannel*. Untuk menangkap image yang baik, digunakan lensa makro untuk memperbesar gambar 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* pengelola data *visual* yaitu MATLAB. Pada Gambar 2.12 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 2.12 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. Nilai dari f pada setiap koordinat (x,y) disebut intensitas atau tingkat warna suatu gambar.

2.2.8.1 Gambar RGB

Gambar RGB merupakan image 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 0-255 sehingga mempunyai 16.777.216 kemungkinan warna.

2.2.8.3 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.

2.2.8.4 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 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.

2.2.8.5 *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 ini merupakan beberapa jenis *noise*, yaitu :

1. *Coherent noise*

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

2. *Fixed-location noise*

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

3. *Salt an papper noise*

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

2.2.8.6 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 :

1. *Mean Filtering*

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

2. *Median Filtering*

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

3. *Gaussian Filtering*

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

2.2.8.7 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*.

1. *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. *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*).

3. *Cross-Corelation*

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.

4. 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.

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

Perbedaan tekanan antara dua titik di dalam saluran pipa disebut *pressure drop*. Penurunan tekanan per satuan panjang sepanjang jalur aliran disebut dengan gradien tekanan. Penurunan tekanan dari satu lokasi ke lokasi lain adalah kekuatan yang mendorong polimer cair mengalir selama pengisian. Pada setiap jenis fluida, gradien tekanan dipengaruhi oleh *specify gravity* jenis fluida tersebut. Penurunan tekanan total fluida dapat terjadi karena variasi energi kinetik dan potensial aliran, selain itu juga bisa diakibatkan oleh adanya gesekan pada dinding saluran aliran.

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

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