

BAB II

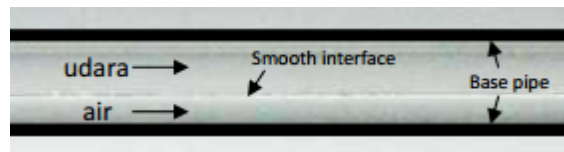
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Studi eksperimental aliran dua fase sangat luas dan banyak dilakukan penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Penelitian aliran dua fase pada pipa berukuran besar, micro ataupun mini secara horizontal sampai sekarang masih berkembang. Investigasi penelitian pada aliran dua fase menghasilkan beberapa macam perbedaan dari berbagai peneliti. Perbedaan tersebut terjadi karena ada beberapa perbedaan metode, alat, maupun fluida yang digunakan. peneliti satu dengan yang lainnya.

Kawahara dkk., (2002) melakukan penelitian aliran dua fase nitrogen-air yang sudah di de-ionisasi, pada pipa microchannel berdiameter 100 μm . Kecepatan superfisial gas divariasikan dari 0,1-60 m/s dan kecepatan superfisial cairan divariasikan dari 0,02-4 m/s. Hasil penelitian mendapatkan lima pola aliran, yaitu aliran *liquid alone (liquid 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*. Pada eksperimen ini, aliran *bubbly* dan *churn* tidak tampak karena pada saluran yang sangat kecil, akan memperkecil bilangan Reynolds dan memperbesar *wall shear* dan tegangan permukaan.

Wibowo dkk, (2015) melakukan penelitian tentang penentuan sub-sub pola aliran *stratified* air-udara pada pipa horizontal menggunakan pengukuran tekanan, Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah kaji eksperimental visualisasi dan pengukuran fluktuasi beda tekanan. Adapun hasil penelitian pola aliran *stratified* seraca detail subdaerah-subdaerah berdasarkan struktur antar muka, peneliti membagi aliran *stratified* menjadi dua yaitu *stratified smooth* dan *stratified wavy*, dimana *stratified wavy* dapat dibagi menjadi sub-sub daerah yaitu *two dimensional wave*, *roll wave* dan *atomization*.



Gambar 2.1. Contoh visualisasi dan sinyal beda tekanan aliran *stratified smooth* ($JL=0,025$ m/s dan $JG =1,88$ m/s) (Wibowo dkk, 2015).

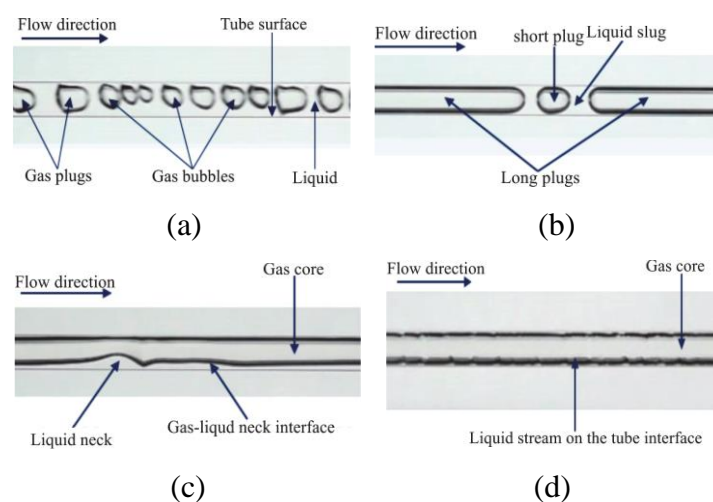
Korawan (2015) melakukan penelitian tentang Pola Aliran Dua-Fase (Air+Udara) Pada Pipa Horizontal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat perubahan pola aliran dua fasa pada pipa horizontal dengan variasi kecepatan superfisial air. Penelitian ini menggunakan sebuah instalasi alat yang berupa pipa acrylic dengan diameter 36 mm dan panjang 2000 mm , tangki air , pompa air kompresor udara , flow meter, rotameter, injector, test module, separator dan kamera. Fluida cair yang digunakan berupa air dan fluida gas yang digunakan berupa udara. Variasi superfisial air (u_{sl}) yang digunakan yaitu 0.4 m/s , 0.55 m/s, 0,7 m/s, 0,85 m/s dan 1.0 m/s dengan volume rasio (β) 0.05. Pada penelitian ini semakin besar nilai U_{sl} mengakibatkan terjadinya pergeseran perubahan pola aliran, dimana pada U_{sl} rendah terjadi perubahan bubble flow menjadi stratified dan pada U_{sl} tinggi terjadi perubahan dari bubble flow menjadi slug flow.

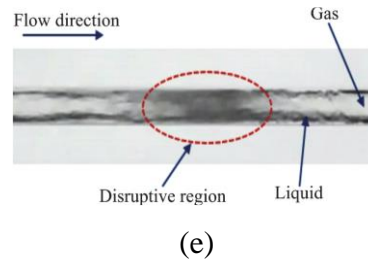
Sur dan Liu (2012) melakukan study eksperimental dengan pipa diameter bagian dalam 100 m, 180 m dan 324 m dari leburan silika. Mereka menggunakan udara dan air sebagai fluida kerja. Mereka mengidentifikasi empat bentuk aliran yang khas, yaitu, *bubbly*, *slug*, *ring*, dan aliran *annular*. Mengenai 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.

Sukamta (2010) melakukan penelitian tentang pola aliran dua fasa uap-kondensat. Percobaan menggunakan pipa anulus bagian dalam dari bahan tembaga berdiameter 17 mm dengan panjang 1,6 m. sedangkan pipa anulus bagian luar adalah pipa besi berdiameter 4 inchi dengan panjang 1,6 m. Untuk mengetahui visualisasi pola aliran yang terjadi digunakan pipa kaca berdiameter 17 mm dan

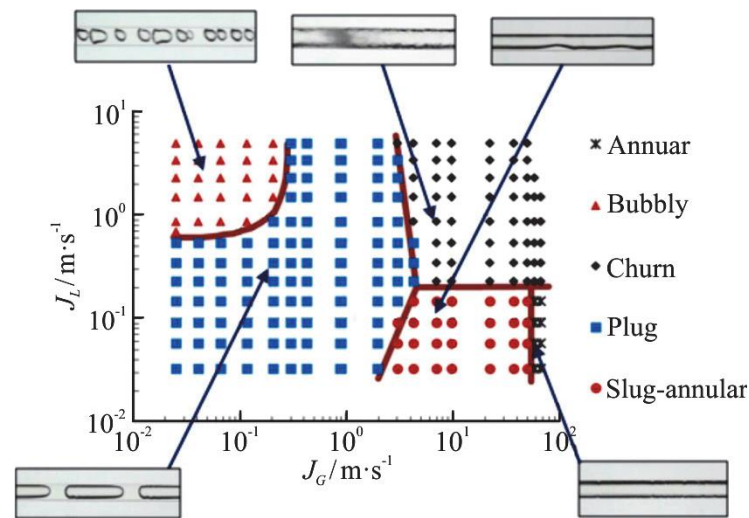
panjang 1,2 m. Bahan penelitian ini menggunakan aquades yang digunakan sebagai bahan penghasil uap air. *Regime* aliran dua fasa diidentifikasi berdasarkan tekanan gradien antara saluran masuk dan saluran keluarnya. Dari penelitian ini didapatkan pola aliran berupa *stratified*, *wavy*, *plug*, *pre-slug*, dan *slug*. Berdasarkan variasi debit uap yang masuk diketahui bahwa semakin tinggi debit uap yang masuk sinyal gradien tekanan di sepanjang pipa kondensat juga meningkat secara umum.

Sudarja, dkk (2019) melakukan penelitian secara studi eksperimental tentang pola aliran dan gradien tekanan aliran dua fase gas-cair pada pipa berukuran kecil. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm. 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 didapatkan, 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* didapatkan, sedangkan panjang kecepatan pada *homogeneous void fraction*, (3) kecepatan gas dan cairan superfisial mempengaruhi secara proporsional dengan gradien tekanan.





Gambar 2.2. Pola aliran yang terdeteksi (a) *Bubbly*, $J_G = 0,041$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, (b) *Plug*, $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 0,058$ m/s (c) *Slug annular*, $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (d) *Annular*, $J_G = 58,050$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s (e) *Churn*, $J_G = 36,964$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s (Sudarja, dkk 2019)



Gambar 2.3. Peta pola aliran dan garis transisi (Sudarja dkk, 2019)

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:

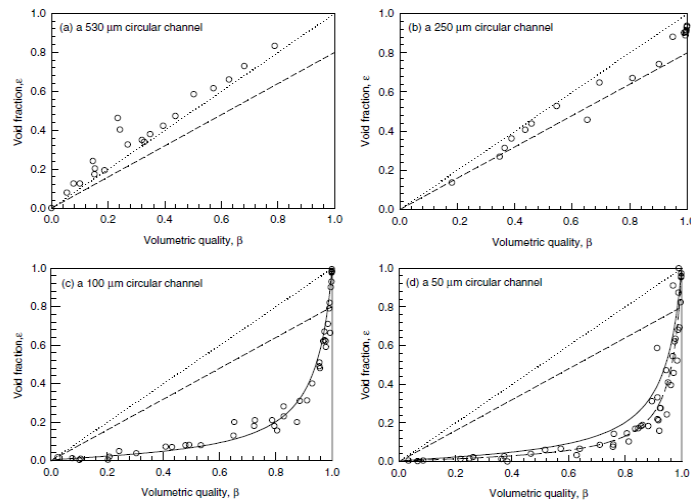
$$\Delta P_{\text{exp}} = \Delta P_f + \Delta P_a + \Delta P_c$$

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.

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*, sementara 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 $J_L=2$ m/s.

Chung dkk (2004) menggunakan fluida nitrogen dan air pada pipa berbentuk lingkaran dengan diameter 530, 250, 100, dan 50 μm . Pada pipa dengan diameter 530 dan 250 μm data yang digunakan berjumlah 300 gambar video kemudian gambar tersebut disortir berdasarkan bentuk pola aliran yang dibagi menjadi sembilan kategori yaitu liquid alone, gas bubble, short gas slug, long gas slug, liquid slug, nose of gas slug, tail of gas slug, liquid ring, deformed interface. Fraksi hampa dihitung berdasarkan daerah yang terisi dengan udara dan menganggap bentuk tersebut simetris sehingga volume fraksi hampa dapat dihitung. Pada pipa dengan diameter 100 dan 50 μm digunakan sebanyak 200-500 gambar untuk sekali perhitungan. Fraksi hampa dianggap tidak ada jika hasil yang tunjukan pada gambar berupa aliran air mengalir sendiri. Untuk lapisan cairan tebal, fraksi hampa gas dihitung dengan cara mengkuadratkan rasio inti gas dan diameter pipa.



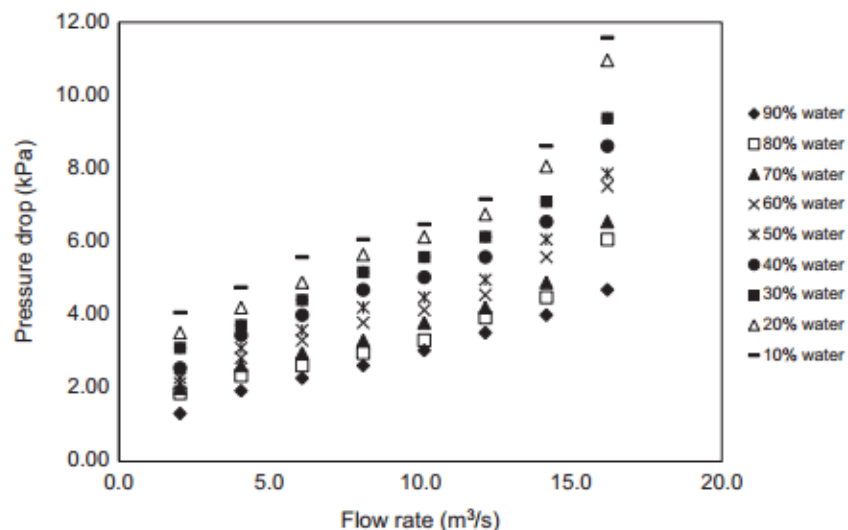
Gambar 2.4. Hubungan antara fraksi hampa dan kualitas volumetrik (Chung dkk, 2004)

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.

Penelitian tentang penurunan tekanan (*pressure drop*) aliran dua fase dengan menggunakan fluida gas dan minyak dilakukan oleh (Khaledi dkk., 2014). Diameter dalam pipa yang digunakan yaitu 69 mm. pada penelitian tersebut mendapatkan hasil pengukuran gradien tekanan yang menunjukkan deviasi dalam kelompok percobaan dengan kondisi yang identik. Deviasi dihitung dengan cara yang sama seperti yang dihasilkan oleh ketidakpastian gradien tekanan. Penurunan tekanan pada penelitian tersebut dapat diprediksi dengan baik, tetapi ada beberapa percobaan yang penurunan tekanannya terprediksi kurang baik tersebut

dikarenakan alat yang digunakan hanya bisa memprediksi aliran laminar atau transisi dalam slug.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Ismail dkk., 2015) Gambar 2.3 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 cm³/s dan fraksi minyak 0,9. Penurunan tekanan terendah 1,31 kPa pada debit terendah yaitu 2,30 cm³/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

Fase adalah 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 adalah kondisi aliran fase mengalir secara bersamaan. Perubahan jenis fase terdapat energi yang didapat ataupun dilepaskan, perubahan fase yang

mengalir bisa berupa cair-gas atau sebaliknya, gas-padat atau sebaliknya, dan padat-cair atau sebaliknya.

Istilah aliran dua komponen yang digunakan untuk menggambarkan aliran, dimana aliran fasenya terdiri dari substansi kimia yang berbeda. Seperti contohnya, aliran udara-air adalah aliran dua komponen, untuk aliran uap-air adalah aliran dua fase. Aliran dua komponen kebanyakan adalah cairan yang terdiri dari satu fase tapi sering disebut aliran dua fase, karena fase ini diidentifikasi sebagai komponen kontinyu dan tidak kontinyu. Dapat disimpulkan berdasarkan perhitungan matematis didapatkan hasil yang sama, karena pada hakikatnya baik aliran dua fase dan aliran dua komponen adalah sama (Graham B. Wallis, 1969)

Aliran dua fase dapat digolongkan menjadi beberapa jenis. Seperti contohnya, berdasarkan orientasi saluran digolongkan menjadi aliran horizontal, vertikal, dan miring. Berdasarkan arah alirannya digolongkan menjadi aliran *co-current* dan *counter current*. Berdasarkan ukuran salurannya digolongkan menjadi aliran dua fase saluran normal, aliran dua fase saluran mini, dan aliran dua fase saluran micro.

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)

$$J_G = \frac{QG}{A} = \frac{\dot{m}G}{A} = \frac{Qm}{A}$$

Kecepatan superfisial liquid (J_L)

$$JL = \frac{QL}{A} = \frac{\dot{m}L}{A} = \frac{Qm}{A}$$

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-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 pengamatan visual sulit didapatkan.

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 Gambar 3.1 di bawah ini :

1. *Bubbly Flow*

Terbentuk ketika gas terdispersi ke dalam cairan. Hal ini ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung dalam cairan, disebabkan fluida gas yang tidak mampu menahan gaya geser pada kontak kedua fase. Terbentuk saat nilai J_G sangat kecil dan nilai J_L lebih besar dibandingkan nilai J_G .

2. *Stratified Flow*

Terbentuknya pola aliran ini ditandai dengan terjadinya separasi aliran. Hal ini diakibatkan pada saat tingkat kecepatan gas dan cairan yang rendah, pengaruh densitas dari masing-masing fluida menjadi sangat dominan.

3. *Stratified Wavy Flow*

Aliran ini merupakan lanjutan aliran *stratified* dimana kecepatan gas ditingkatkan. Akibatnya, terbentuklah gelombang pada permukaan cairan yang bergerak searah aliran gas.

4. *Plug flow*

Aliran ini juga sering disebut *elongated bubble*, yang merupakan gabungan dari *bubble-bubble* gas kemudian yang memanjang, dan diameternya kurang dari diameter saluran. Ciri utama aliran ini adalah adanya *liquid plug* yang dipisahkan dengan gelembung gas.

5. *Slug Flow*

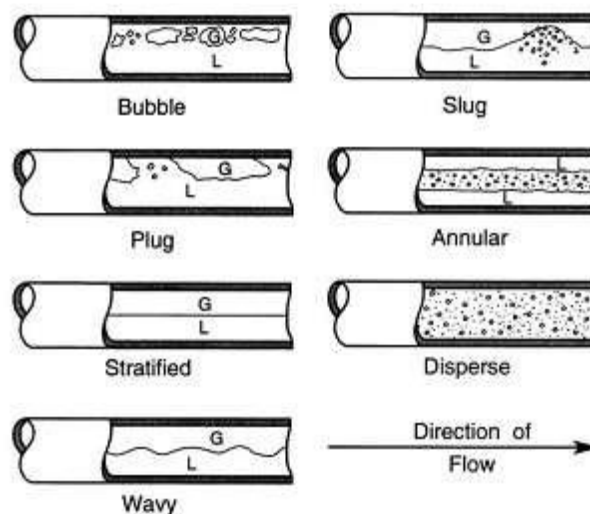
Aliran ini hampir serupa dengan aliran *plug*, hanya saja aliran ini terjadi saat laju massa gas ditingkatkan sehingga membentuk kantung fase gas yang dibatasi oleh cairan.

6. *Annular Flow*

Jenis aliran ini juga disebut aliran cincin. Hal ini diakibatkan gas yang mengalir dengan kecepatan sangat tinggi, sedangkan fuida hanya mengalir di sekitarnya saluran dan membentuk pola cincin. Pada saluran konvensional, cairan akan lebih dominan berada di dasar saluran akibat pengaruh gravitasi, namun semakin kecil diameter saluran, maka pola aliran cincin ini akan semakin jelas terlihat.

7. *Dispersed Flow*

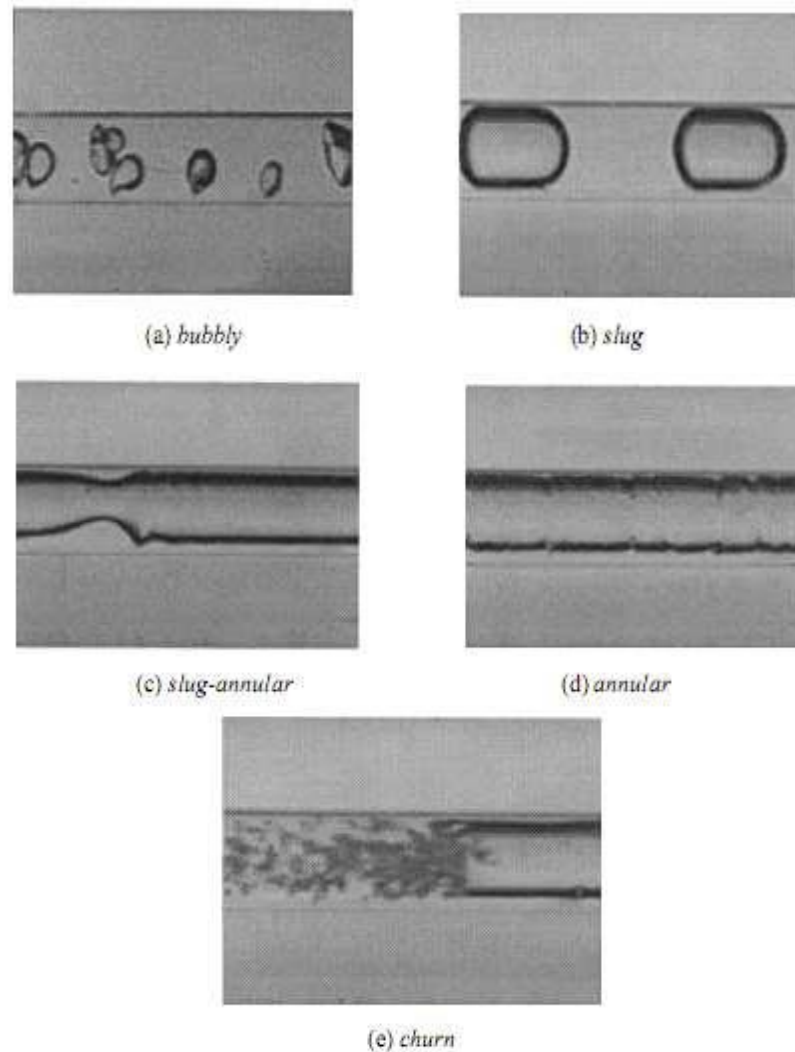
Merupakan aliran yang terbentuk saat *bubble-bubble* berukuran kecil tersebar hampir di seluruh permukaan saluran.



Gambar 2.6. Pola aliran udara-air pada pipa horizontal dengan diameter 5,1 cm (Weismen, 1983)

Beberapa pola aliran yang terdapat di pipa konvensional tidak terdapat pada saluran mini atau mikro, missal *Stratified*. Terdapat juga perbedaan bentuknya seperti *slug/plug*. Perbedaan itu terjadi pengaruh gaya gravitasi menjadi kecil pada pipa mini atau mikro, sehingga gaya tegangan permukaan dan gaya inersialah yang

mendominasi di dalam saluran. Pada Gambar 3.2 ini, ditampilkan pola aliran yang terdapat pada saluran mini.

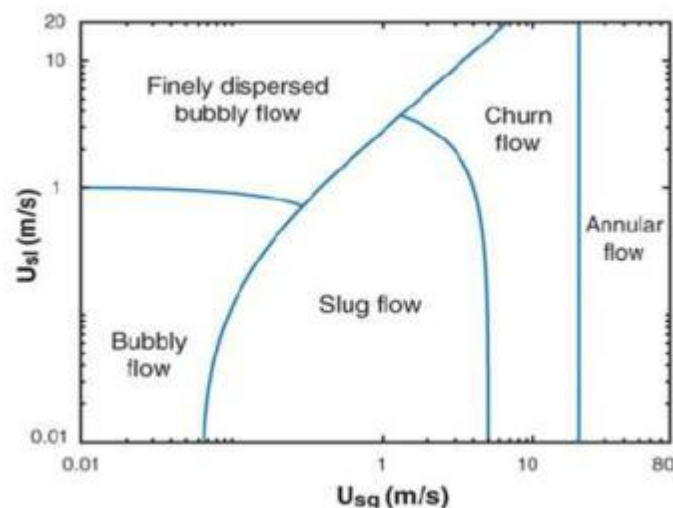


Gambar 2.7. Pola aliran pada pipa mini diameter 1,45 mm
(Triplet dkk, 1999)

2.2.6. Peta Pola Aliran pada Saluran Mini

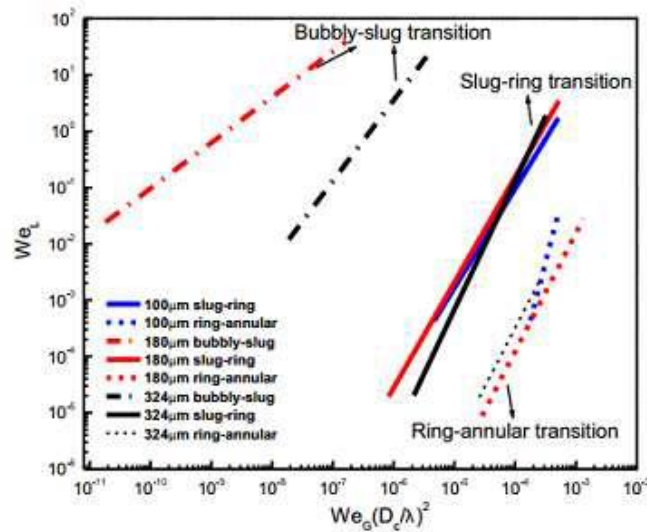
Peta pola aliran adalah grafik yang menggambarkan masing-masing pola aliran dalam bentuk peta pola aliran. Peta pola aliran merupakan grafik persebaran data pola aliran dari suatu percobaan dengan berbagai parameter yang

ditentukan dengan kecepatan superfisial fluida gas, kecepatan superfisial air, dan laju alirannya. Peta pola aliran bisa disajikan menggunakan kordinat yang bervariasi. Tripllet dkk, (1998), Kawahara dkk. (2002). Beberapa peneliti yang menggunakan koordinat kecepatan superfisial dianggap mewakili kondisi pada aliran yang terjadi di dalam saluran. Sur dan Liu, (2011). Parameter tak berdimensi digunakan karena ditemukan bahwa ukuran saluran mempengaruhi pola aliran dan daerah transisi yang terbentuk, Sur dan Liu (2011) menambahkan parameter (We_L) sebagai sumbu-y dan ($We_G(Dc/\lambda)^2$) sebagai sumbu-x dalam penyajian peta pola aliran sebagai pengaruh efek ukuran saluran.



Gambar 2.8. Peta pola aliran (Tripllet dkk, (1998))

Sur dan Liu (2011) pada ukuran saluran ditemukan bahwa berpengaruh pada pola aliran yang terbentuk dan berpengaruh juga pada daerah transisi pola aliran. Maka dari itu, mereka tidak memiliki dimensi pada parameter sebagai tambahan We_G sebagai sumbu-x dan We_L sebagai sumbu-y menyajikan peta pola aliran sebagai pengaruh dari efek ukuran saluran.



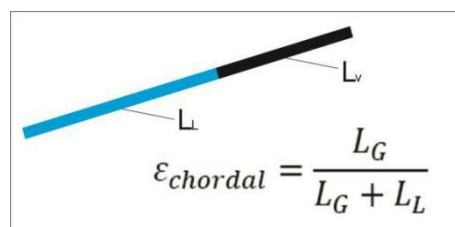
Gambar 2.9. Peta pola aliran (Sur dan liu, 2011)

2.2.7. Void Fraction Aliran dua Fase

Void Fraction (fraksi hampa) merupakan salah satu parameter penting untuk mengetahui karakteristik aliran dua fasa. 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 fasa. Terdapat tiga metode untuk mendefinisikan fraksi hampa, metode tersebut antara lain :

1. Metode *Chordal void fraction*

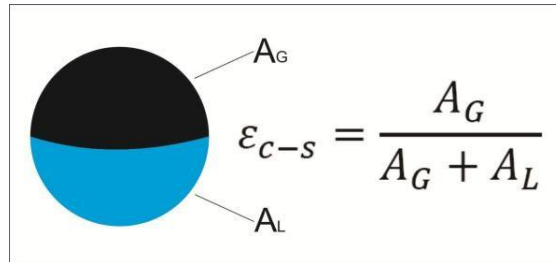
Metode ini didasarkan perbandingan panjang fasa gas di dalam pipa terhadap panjang total pipa yang dapat dirumuskan pada gambar 2.10. Dengan L_G adalah panjang fasa gas, dan L_L adalah panjang fasa cairan.



Gambar 2.10. Fraksi hampa *chordal* (Thome, 2004)

2. Metode *Cross-Sectional void fraction*

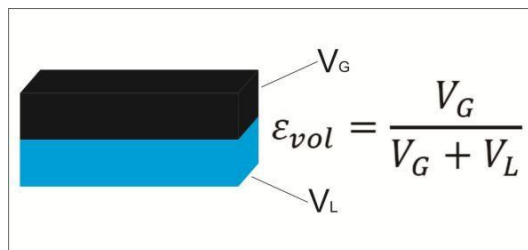
Metode ini didasarkan perbandingan luasan penampang fasa gas terhadap luasan penampang pipa atau dapat dirumuskan pada gambar 2.11. Dengan A_G adalah luasan penampang fasa gas, dan A_L adalah luasan penampang fasa cairan.



Gambar 2.11. 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 2.12. Dengan V_G adalah volume fasa gas, dan V_L adalah volume fasa cairan.

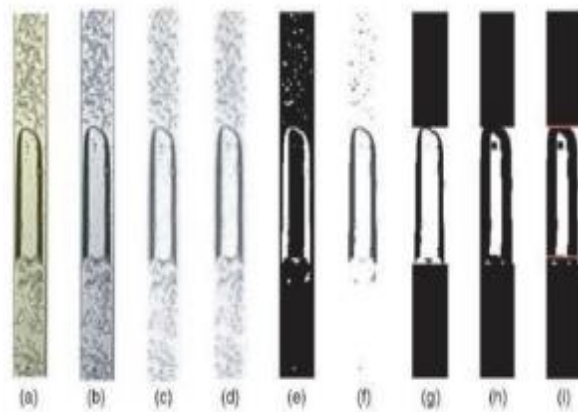


Gambar 2.12. Fraksi hampa volumetrik (Thome, 2004)

2.2.8. *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.



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

Metode ini juga dapat digunakan pada penelitian tentang mini channel. 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 2.13 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), penyuaian 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. Hasil penelitian kemudian diharapkan dapat menunjukkan bahwa variabel yang diukur bisa ditentukan secara akurat dengan teknik ini.

Gambar didefinisikan sebagai fungsi dua dimensi, yaitu fungsi $f(x,y)$ dimana x dan y merupakan nilai dari koordinat dan besaran dari f pada setiap pasangan koordinat (x,y) disebut intensitas atau tingkat warna suatu gambar pada titik tertentu. Jika x,y dan besaran nilai dari f terbatas dan nilainya bervariasi maka gambar tersebut disebut dengan *Digital Image*. Ada beberapa jenis digital image :

1. 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 2.13. Setiap piksel mempunyai nilai tertentu untuk masing-masing tersebut dengan range 0-255 sehingga mempunyai 16.777.216 kemungkinan warna.



Gambar 2.14. Contoh gambar RGB dengan aliran plug

2. 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 ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.15. Contoh Gambar Grayscale dengan aliran plug

3. 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 ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.16. Contoh gambar biner dengan aliran plug

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:

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. 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.

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.

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 fitering

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

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.

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.

2.2.9. Perbedaan Tekanan (*Pressure Drop*)

Pressure drop pada aliran dua fase diartikan sebagai perbedaan tekanan antara dua titik dalam saluran pipa. Gesekan yang terjadi pada aliran pipa disebut dengan perbedaan tekanan. Gesekan yang terjadi pada pipa antara fasa-fasa, dan juga antara fasa dengan dinding. Banyak korelasi dan metode yang digunakan sesuai dengan kondisi sistem. Sebagai contoh beberapa metode yang digunakan untuk menghitung *pressure drop* :

1. Model aliran homogen (*homogeneous flow model*)

Aliran homogen adalah permodelan untuk menentukan *pressure drop* aliran dua fase. Konsep ini aliran diasumsikan sebagai aliran dua fase yang persamaannya termasuk dengan kondisi sifat fisik fluida, liquid dan gas dibuat rata-rata.

2. Model aliran terpisah (*separated flow model*)

Aliran terpisah ini lebih akurat dikarenakan model ini aliran dua fase diasumsikan sebagai aliran yang terpisah yaitu *liquid* dan gas dimana masing-masing mempunyai fase persamaan yang berbeda.

Metode yang sederhana untuk menghitung penurunan tekanan dua fase campuran homogen adalah menganalogikan dengan aliran satu fase. Maka dari itu, korelasi empiris masih banyak penggunaannya. Konsep empiris paling banyak penggunaannya adalah konsep pengali aliran dua fasa dan dapat digunakan pada semua pola aliran (termasuk efek transisi pola aliran). Konsep ini pertama kali diusulkan oleh Lockhart dan Martinelli (1949) berdasarkan model aliran terpisah sederhana.

2.2.10. Metode Analisis Statistik

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

1. *Mean Value*

Data *pressure drop* dan *void fraction* pada J_G dan J_L yang bervariasi akan dibuat menjadi sebuah grafik dan diambil nilai rata-ratanya. Agar dapat mengetahui pengaruh perubahan J_G dan J_L yang diambil sebanyak (n) data dalam sekian detik untuk diambil rata-ratanya terhadap *pressure drop* dan *void fraction*.

2. *Probability Distribution Function (PDF)*

PDF merupakan fungsi yang digunakan pada teori statistika untuk menggambarkan perilaku suatu distribusi probabilitas teoritis dan menentukan sebuah grafik *pressure drop* dan *void fraction*.

3. *Power Spectral Density (PSD)*

PSD merupakan kekuatan dari variasi sebagai fungsi dari frekuensi. Perhitungan PSD dilakukan dengan cara metode FFT (*Fast Fourier Transform*). Di dalam program MATLAB, metode ini dapat dijalankan dengan menggunakan fungsi *fft*.

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

MPX system adalah alat pengukur perbedaan tekanan antar sisi masuk dan sisi keluar seksi uji. Berfungsi sebagai pendeteksi suatu beda tekanan atau penurunan tekanan antar sisi masuk dan sisi keluar. Alat penghubung sensor tekanan *fluida MPX system* ke perangkat komputer adalah *Arduino UNO*. Berfungsi agar data bisa diolah dan direkam ke dalam perangkat komputer melalui *software* yang sudah diinstal pada komputer.