

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multi-fase. Aliran multi-fase adalah aliran yang memiliki beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Beberapa studi aliran dua fase meliputi: arah aliran (searah ke atas, searah ke bawah, dan berlawanan arah), kedudukan saluran (mendatar, miring, dan tegak) dan wujud aliran (cair – gas, cair – padat, dan padat – padat). Aliran dua fase juga banyak diaplikasikan dalam dunia industri, seperti pada pembangkit tenaga nuklir, industri kimia, pembangkit tenaga uap, industri perminyakan.

Aliran dua fase, selain diterapkan di dunia industri juga diterapkan pada sistem peredaran darah manusia. Pada saat proses pendistribusian darah ke seluruh tubuh, terdapat oksigen yang dibawa oleh darah yang mengalir pada pembuluh darah manusia ini menunjukkan bahwa sistem peredaran darah pada manusia melibatkan aliran dua fase karena terdapat darah dan oksigen yang mengalir secara bersamaan serta pembuluh darah sebagai salurannya. Faktor yang memengaruhi peredaran darah manusia di antaranya adalah kurangnya pasokan oksigen dalam darah, adanya lemak yang menghambat peredaran darah, serta adanya zat pengganggu lain yang menghambat darah mengalir secara normal.

Sudarja dkk, (2014) melakukan penelitian mengenai investigasi pola aliran dua fase gas-cairan didalam pipa berukuran mini pada aliran horizontal. Hasil pola aliran yang didapat yaitu: *bubbly*, *slug*, *slug annular*, *wavy annular*, dan *annular*. Untuk mengetahui perilaku pola aliran *slug*, *bubbly*, *churn*, *annular*, dan *wisphy annular*, maka dapat dilakukan analisis aliran dengan metode visualisasi yaitu dengan kamera DSLR.

Sur & Liu, (2012) Aliran dua fase cair gas dalam saluran mikro dengan diameter hidraulik 100-500  $\mu\text{m}$  menunjukkan perilaku aliran yang sangat

berbeda dari saluran makroskopik konvensional. Khususnya kepentingan pola aliran dua fase yang diberikan kondisi disaluran mikro ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang efek saluran ukuran dan kecepatan fasik superfisial pada pola aliran dua fase. Pada penelitian ini menggunakan saluran mikro melingkar dengan diameter 100, 180, dan 324  $\mu\text{m}$ . Hasil pola aliran yang didapat yaitu: *bubbly*, *slug*, *ring flow*, dan *annular*. Sebagai saluran dimensi menurun, ditemukan bahwa transisi rezim aliran garis batas bergeser terutama sebagai akibat dari persaingan kekuatan antara inersia dan tegangan permukaan.

Saluran *minichannel* memiliki rentang diameter 200  $\mu\text{m}$  – 3 mm (Cheng, 2016). Rentang diameter tersebut masuk ke dalam kisaran diameter pembuluh darah arteri koronaria manusia yaitu 2 mm (Fazliogullari dkk., 2010). Dengan begitu, ukuran diameter pembuluh darah manusia masuk ke dalam rentang diameter *minichannel*. Oleh karena itu, representasi aliran darah manusia dapat dimodelkan oleh aliran dua fase seperti pada penelitian Sharan & Popel (2001) yang memiliki asumsi bahwa viskositas dalam lapisan bebas sel berbeda dari plasma sebagai akibat dari disipasi energi tambahan di dekat dinding yang disebabkan oleh gerakan sel darah merah di dekat lapisan bebas sel.

Berdasarkan penjelasan di atas belum ditemui penelitian tentang penelitian tentang pola aliran multi komponen dua fase gas-larutan sodium klorida dan glukosa pada pipa mini dengan kemiringan  $60^\circ$  terhadap posisi horizontal. Maka dari itu penelitian ini perlu dilakukan untuk mendapatkan data primer karakteristik pola aliran dan peta pola aliran terhadap pengaruh perbedaan larutan sodium klorida dengan konsentrasi glukosa 5% dan glukosa 10%, sehingga penelitian ini sangat penting dilakukan agar hasilnya dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian selanjutnya, pengembangan ilmu teknologi, pembuatan alat, dan aplikasi yang melibatkan aliran dua fase pada pipa mini didalamnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana karakteristik pola aliran dua fase dan peta pola aliran pada aliran dua fase dan larutan sodium klorida 0,9% dan glukosa pada pipa kapiler?
- b. Bagaimana pengaruh perbedaan konsentrasi glukosa 5% dan 10% terhadap pola aliran pada aliran dua fase udara – larutan sodium klorida 0,9% dan glukosa pada pipa kapiler?
- c. Bagaimana komparasi peta pola aliran dengan penelitian terdahulu?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian dilakukan dalam keadaan *steady* dan pada suhu kamar 25°C.
- b. Sistem tidak dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dan dianggap tidak terjadi perpindahan panas (adiabatis).
- c. Pipa yang digunakan sebagai alat uji merupakan pipa yang terbuat dari akrilik dengan diameter 1,6 mm.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mempelajari pola aliran (*flow pattern*) dan mendapatkan peta pola aliran (*flow pattern map*) dari aliran dua fase udara – larutan sodium klorida 0,9% dan glukosa dalam pipa kapiler dengan kemiringan 60° terhadap posisi horizontal.
2. Mempelajari pengaruh perbedaan konsentrasi glukosa 5% dan 10%.
3. Mempelajari peta pola aliran dan komparasi dengan data pada penelitian terdahulu.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diberikan dari penelitian ini berupa informasi tentang pengaruh viskositas fluida terhadap pola aliran dan peta pola aliran dua fase udara – larutan sodium klorida 0,9% dan glukosa pada saluran pipa kapiler dengan sudut kemiringan  $60^{\circ}$  terhadap posisi horisontal, serta dapat digunakan sebagai informasi baru untuk pengembangan penelitian aliran dua fase pada penelitian selanjutnya.

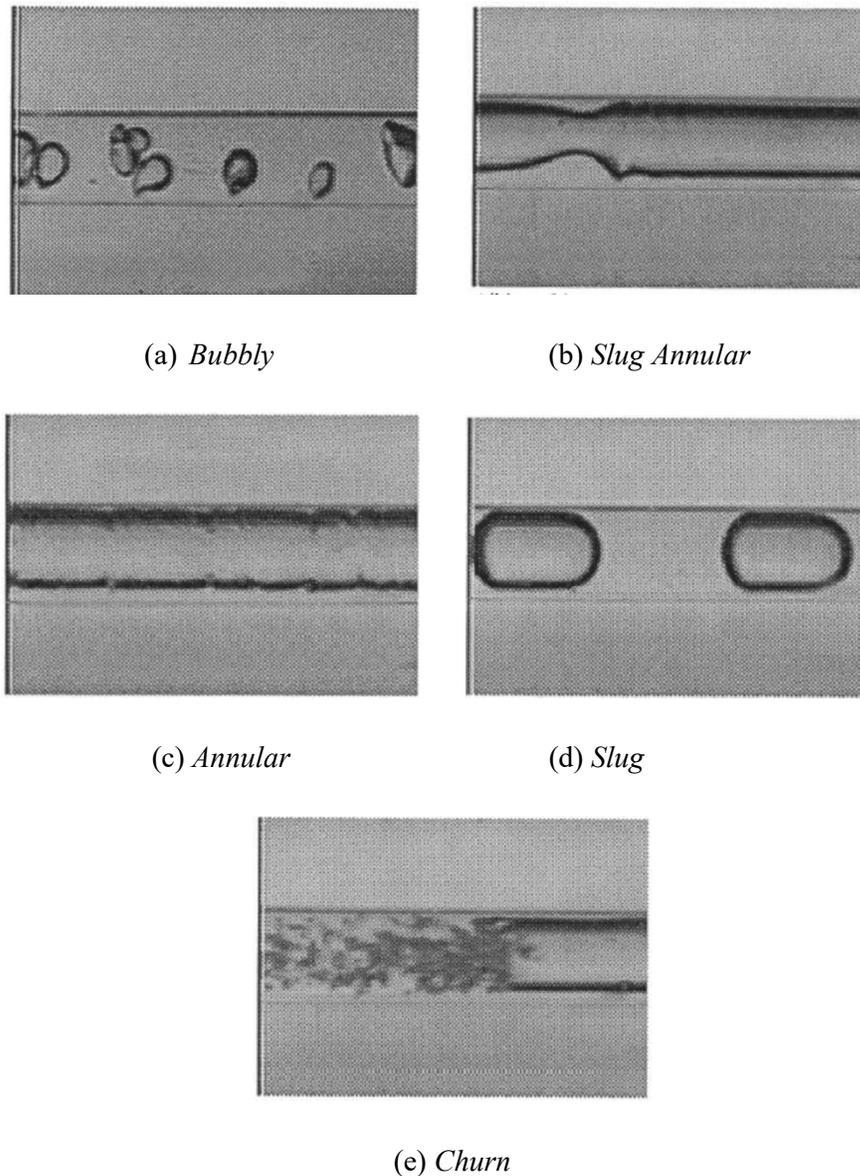
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penelitian aliran dua fase pada saluran pipa berukuran mini dan mikro telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, namun literature yang tersedia masih terbatas dibandingkan dengan penelitian saluran pipa besar. Fukano & Kariyasaki, (1993) meneliti aliran dua fase menggunakan tiga ukuran diameter adalah 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm dengan memvariasikan tiga arah horizontal, vertical ke atas, dan vertical ke bawah. Media yang digunakan yaitu udara dengan air. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa karena efek kuat dari permukaan tegangan pola aliran tidak terlalu dipengaruhi oleh arah aliran, pola aliran yang terbentuk ada tiga yaitu aliran *bubbly*, aliran *intermittent* dan aliran *annular*.

Triplett dkk, (1999) Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sistematis pola aliran dua fase di microchannels. Media yang digunakan yaitu udara dan air dengan diameter microchannels 1,1 dan 1,45 mm dalam, dan dalam saluran mikro dengan semi – segitiga, *cross sections* dengan diameter hidrolis 1,09 dan 1,49 mm. Pola aliran yang dihasilkan adalah *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug annular* dan *annular* dengan jarak kecepatan superfisial gas dan cairan adalah 0,02-80 dan 0,02-8 m/s.



**Gambar 2. 1** Pola aliran pada diameter 1,45 mm (Triplett dkk, 1999)

Serizawa dkk, (2002) Pola aliran gas-cair yang divisualisasikan dengan mikroskop untuk aliran udara-air dalam tabung melingkar 20, 25, dan 100  $\mu\text{m}$  dan untuk aliran uap-air dalam tabung melingkar 50  $\mu\text{m}$ . Kecepatan supersifial gas yang digunakan 0,0012 – 295,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,003 – 17,52 m/s. Pola aliran yang teramati yaitu: *dispersed bubbly*, *gas slug*, *liquid ring*, *liquid lump*, *annular*, *wispy annular*, *rivulet*, *liquid droplets*.

(Kawahara, 2002) Melakukan penelitian pada karakteristik aliran dua fase diameter 100  $\mu\text{m}$  tabung melingkar. Pola aliran dua fase ditentukan dengan merekam video aliran di transparan tabung kapiler yang terbuat dari silika leburan, di mana air de-ionisasi dan gas nitrogen disuntikan pada kecepatan superfisial gas = 0,1 – 60 m/s dan kecepatan superfisial cairan = 0,02 – 4 m/s. Pola aliran yang teramati adalah pola aliran *intermittent* dan *semi-annular*, tetapi penelitian lebih dekat tentang struktur film cair mengungkapkan inti gas mengalir dengan film halus atau berbentuk cincin dan inti gas luar yang dikelilingi oleh cairan yang berubah bentuk film. Pola aliran *bubbly* dan *churn* tidak diamati. Peta pola aliran dikembangkan berdasarkan probabilitas munculnya setiap jenis aliran, dan dibandingkan dengan peta pola aliran yang diperoleh untuk saluran berdiameter  $\sim 1$  mm.

Chung & Kawaji, (2004) Meneliti fenomena yang membedakan microchannel dari minichannel. Penelitian menggunakan gas nitrogen dan air dengan saluran diameter 530, 230, 100, dan 50  $\mu\text{m}$ . Kecepatan superfisial cairan 0,01-5,77 m/s sedangkan kecepatan superfisial gas antara 0,02-72,98 m/s. Pada pipa diameter 250  $\mu\text{m}$  dan 530  $\mu\text{m}$ , Karakteristik aliran dua fase (peta pola aliran, fraksi hampa, presasure drop) mendapatkan hasil yang sama dengan karakteristik aliran dua fase pada minichannel dengan diameter  $\sim 1$  mm. Penelitian ini melakukan visualisasi dengan cara fotografi terhadap pola aliran yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran 250  $\mu\text{m}$  dan 250  $\mu\text{m}$  memiliki karakteristik yang berbeda dengan pipa berdiameter 50  $\mu\text{m}$  dan 100  $\mu\text{m}$ .

Hanafizadeh dkk, (2011) Meneliti pola aliran dua fase dengan pipa mini vertikal. Peneliti menggunakan diameter pipa 2,3 dan 4 mm dan panjang 27, 31 dan 25 cm. Pengamatan aliran menggunakan perekam video kecepatan tinggi. Visualisasi aliran udara – air, dua fase dalam pipa mini vertikal telah dilakukan untuk mewujudkan fisika aliran dua fase. Pola aliran udara – air yang berbeda ketika diamati bersamaan dalam pipa mini pada nilai – nilai yang berbeda dari laju aliran udara dan air. Akibatnya, peta pola aliran adalah yang diusulkan untuk dalam pipa mini, dalam hal kecepatan superfisial fase gas dan cair.

Jayadi dkk, (2015) Melakukan penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran udara-air dan campuran air-gliserin dan udara. Karakteristik aliran dua fase pada pipa berukuran mini memiliki perbedaan yang signifikan dengan karakteristik aliran dua fase pada pipa konvensional. Pada penelitian ini menggunakan pipa mini berdiameter 1,6 mm posisi horizontal. Fluida kerja yang digunakan adalah air-udara dan campuran air-gliserin dengan konsentrasi 20%. Kecepatan superficial gas yang digunakan yaitu: 0,033 – 4,935 m/s, dan kecepatan superficial cairan 0,025 – 66,3 m/s. Hasil yang teramati bahwa tidak terobservasi aliran *stratified* pada saluran mini sebagaimana yang dapat ditemukan pada pipa konvensional. Pola aliran yang didapat adalah *bubbly*, *slug*, *slug-annular*, *churn* dan *annular*. Hasil peta pola aliran penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa makin tinggi viskositas, maka garis transisi aliran *churn-slug annular* akan makin turun sedangkan garis transisi *annular-slug annular* cenderung makin miring.

Dwi Korawan, (2015) Pola aliran pada aliran dua fase lebih kompleks dibandingkan dengan satu fase, hal ini disebabkan adanya interaksi antar fase. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan pola aliran dua fase pada pipa horizontal berdiameter 36 mm dengan memvariasikan kecepatan superficial air. Fluida kerja yang digunakan adalah air dan udara. Variasi kecepatan superficial air yang digunakan adalah 0,4 m/s, 0,55 m/s, 0,7 m/s, 0,85 m/s dan 1,0 m/s. Rasio volumetric ( $\beta$ ) 0,05. Pola aliran yang teramati yaitu: *bubbly*, *slug flow*, dan *stratified flow*. Hasil yang diperoleh adalah adanya perubahan pola aliran selama pengujian modul. Ketika nilai kecepatan superficial air makin besar maka pola aliran *bubbly* menjadi aliran *slug*.

Sudarja dkk, (2018) Melakukan penelitian tentang pola aliran dua fase adiabatik gas-cair pada saluran mini dengan diameter 1,6 mm pada posisi horizontal. Fluida kerja yang digunakan adalah larutan air dan gliserol aqua dengan berbagai persentase yaitu 0%, 20%, 40%, dan 60% masing-masing diindeks oleh W, G20, G40, dan G60. Kecepatan superficial gas yang digunakan adalah 0,025-66,3 m/s dan 0,033-4,935 m/s sebagai kecepatan superficial cairan. Proses penelitian menggunakan

metode visualisasi dengan menganalisis gambar video yang ditangkap menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Hasil pola aliran yang diamati adalah *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*, sedangkan aliran *stratified* tidak muncul. Dalam peta pola aliran, perubahan viskositas cairan mempengaruhi pergeseran garis transisi antara pola aliran, khususnya *slug-annular* ke *annular* dan *slug-annular* dan *annular* ke *churn*.

(Sudarja & Sukamta, 2020) Melakukan penyelidikan aliran dua fase pola aliran dan fraksi hampa udara dan cairan tegangan permukaan rendah dalam pipa mini kemiringan 30°. Fase gas yang digunakan adalah udara kering, sedangkan cairannya adalah larutan air suling dan butanol 3%. Pipa berdiameter 1,6 mm dengan panjang 130 mm adalah bagian uji dari penelitian ini. Kisaran kecepatan superfisial gas dan cairan adalah 0,025 – 66,3 m/s dan 0,033 – 4,935 m/s, mendapatkan lima pola aliran yang teramati yaitu: *Plug*, *slug annular*, *churn*, *bubbly*, dan *annular*.

Dimas, (2019) Penelitian menggunakan pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan kemiringan 40° terhadap posisi horizontal. Fluida yang digunakan adalah akuades dan tambahan butanol 5% sebagai fluida cairan dan udara sebagai fluida gas. Kecepatan superfisial yang digunakan bervariasi untuk kecepatan superfisial gas dari 0 – 66,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,33 – 4,935 m/s. Pola aliran yang didapatkan dari penelitian ini yaitu: *plug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Dari peta pola aliran yang didapatkan dari penelitian ini bahwa aliran *plug* lebih mendominasi.

Dari beberapa penelitian terdahulu yang sudah dilakukan tentang aliran dua fase pada pipa mini dan mikro kebanyakan menggunakan fluida kerja yaitu fluida gas adalah udara dan fluida cairan adalah air. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian dengan fluida kerja yang berbeda. Pada penelitian ini menggunakan larutan sodium klorida 0,9% dan glukosa sebagai fluida cairan, dan udara sebagai fluida gas. Dalam hal ini, penggunaan fluida tersebut sebagai representasi dari salah satu komponen dalam aliran darah manusia. Oleh karena itu, penelitian ini dapat bermanfaat dan menjadi salah satu acuan verifikasi dalam dunia medis untuk penelitian selanjutnya.

## 2.1 Dasar Teori

### 2.2.1 Pola aliran dua fase

Pola aliran merupakan konfigurasi geometric dari kombinasi aliran dua buah fase. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengamatan pola aliran yaitu dengan visualisasi menggunakan kamera video dengan kecepatan tinggi.

Pola aliran terbentuk dapat dipengaruhi oleh gaya inersia, gaya gravitasi, sifat fluida (massa jenis, viskositas, dan tegangan permukaan), flux volume aliran (kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan), dan diameter pipa. Pola aliran dua fase gas-cair pada pipa horizontal memiliki kesamaan dengan posisi pipa vertikal tetapi pipa vertikal lebih dipengaruhi oleh gaya gravitasi sehingga cairan cenderung di bawah dan gas cenderung mengalir keatas.

#### 2.2.1.1 Pipa Horizontal

##### a) Aliran Gelembung

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

##### b) Aliran *Plug*

Bentuk utama dari aliran ini adalah gelembung gas yang panjang menyerupai peluru.

##### c) Aliran *Stratified* (aliran terpisah/licin)

Pada aliran ini terjadi pemisah karena pengaruh perbedaan massa jenis dan gravitasi, fase cair berada pada dasar tabung dan fase gas berada bagian atas pipa.

d) Aliran *Wavy* (aliran gelombang)

Jika kecepatan gas pada pola aliran *stratified* meningkat, gelombang terbentuk pada *interface*. Selanjutnya, amplitude gelombang lambat lalu membesar diiringi meningkatnya kecepatan gas.

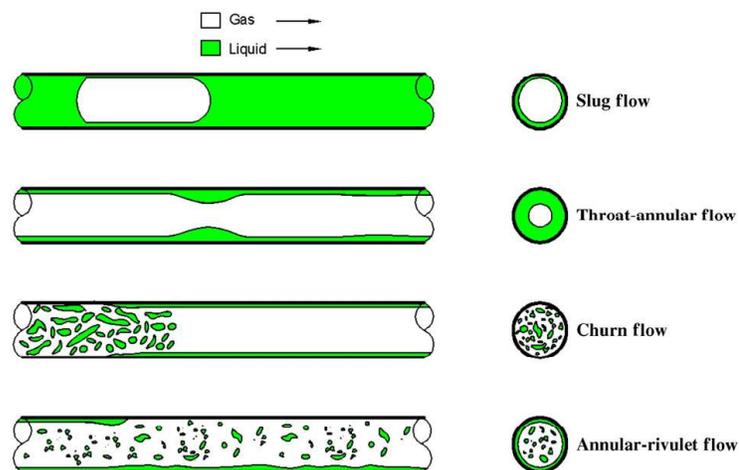
e) Aliran *Slug* (aliran sumbat)

Jika laju aliran gas meningkat dalam aliran gelombang, gelombang cairan akhirnya mnyentuh bagian atas permukaan dari pipa. Gelombang lalu didorong oleh gas yang berkecepatan tinggi.

f) Aliran *Annular* (aliran cincin)

Aliran annular ini adalah cairan yang terdistribusi antara lapisan cairan yang mengalir pada sisi pipa atas dan bawah, di mana butiran air (*droplet*) mengalir bersama fase gas.

Pola aliran pada pipa horizontal ditunjukkan pada gambar 2.2



**Gambar 2. 2** Pola Aliran pada Pipa Horizontal(Saisorn & Wongwises, 2008)

### 2.2.1.2 Pipa vertikal

a) Aliran gelembung (*bubbly flow*)

Pada fase gas mengalir dalam bentuk gelembun kecil, sedangkan fase cair mengalir secara kontinu.

b) Aliran kantung (*slug flow*)

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

c) Aliran acak (*churn flow*)

Bila kecepatan aliran gas pada plug flow makin cepat, maka terjadi aliran yang tidak stabil.

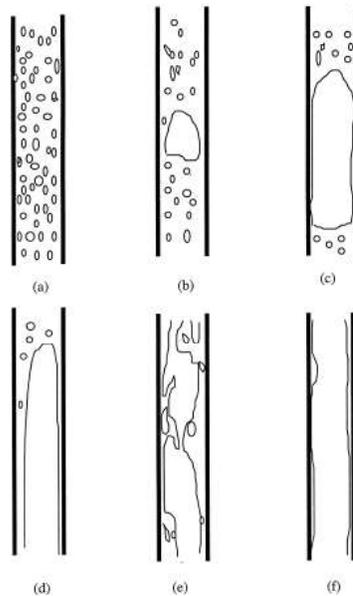
d) Aliran cincin (*annular flow*)

Aliran gas ini cenderung berada pada tengah-tengah, sedangkan aliran cair berada pada sisi pipa atas dan bawah. Pada aliran ini jumlah fase gas yang lebih banyak dibandingkan dengan fase cair.

e) *Wispy-annular flow*

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

Pola aliran pada pipa vertikal ditunjukkan pada gambar 2.3

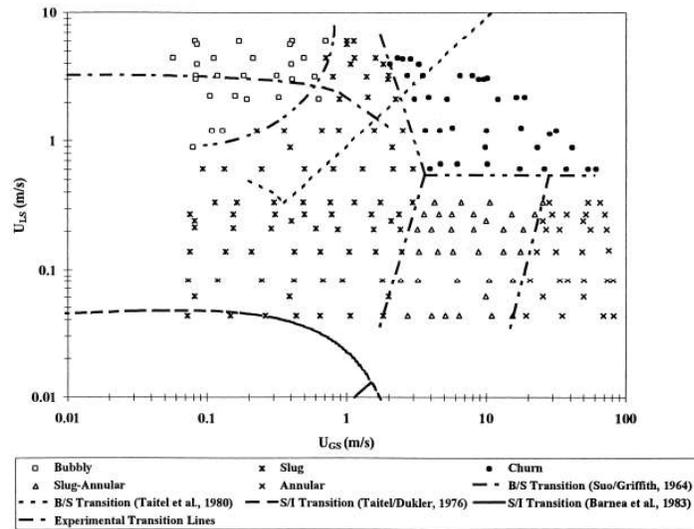


**Gambar 2. 3** Pola Aliran pada Pipa Vertikal (Xu dkk, 1999).

### 2.2.2 Peta pola aliran

Peta pola aliran adalah grafik yang digunakan untuk menunjukkan hasil data yang telah dipetakan dari berbagai parameter yang telah digunakan dengan kecepatan superfisial gas, kecepatan superfisial cairan, dan laju aliran.

Gambar 2.4 menunjukkan peta pola aliran yang disajikan menggunakan koordinat yang bervariasi.



**Gambar 2. 4** Peta Pola aliran (Triplett dkk, 1999)

### 2.2.3 Fase

Fase adalah alah satu keadaan zat yang terdapat berupa gas, cair maupun padat. Perubahan fase harus terdapat energi yang didapat atau dilepaskan, perubahan fase itu berupa padat menjadi cair begitupun sebaliknya, cair menjadi gas begitupun sebaliknya, dan padat menjadi gas begitupun sebaliknya. Karakter dari fase padat memiliki jarak antara molekul yang sangat besar. Karakter pada fase cair memiliki jarak antar molekul yang yang sangat jauh dibandingkan dengan jarak antar molekul pada fase gas cair dan susuan melokul tidak teratur.

### 2.2.4 Aliran dua fase (udara-air)

Beberapa contoh aplikasi aliran dua fase udara air pada pipa mini adalah *micro heat exchanger*, *microcooling electronic*, dan *Micro-Electro-Mechanical System (MEMS)*. Sedangkan pada dunia kedokteran contoh aplikasinya adalah pembuluh darah pada tubuh manusia.

### 2.2.5 Viskositas fluida

Viskositas merupakan gesekan yang terjadi di antara lapisan-lapisan yang berdampingan didalam suatu fluida. Viskositas pada zat cair dipengaruhi karena adanya gaya kohesi antar molekul zat cair, sedangkan viskositas pada zat gas diakibatkan karena adanya tumbukan antar molekul gas (Damayanti dkk, 2018).

Air memiliki viskositas yang lebih kecil bila dibandingkan dengan oli. Karena tegangan geser air lebih kecil, maka air akan mudah jatuh dibandingkan dengan oli yang mempunyai tegangan geser internal yang lebih besar, sehingga saat diteteskan oli lebih sulit untuk dijatuhkan dibandingkan dengan air. Fluida ideal merupakan fluida yang tidak memiliki tahanan gesekan terhadap tegangan geser atau disebut juga inviscid fluid, berbeda dengan fluida normal yang selalu mempunyai tahanan gesekan terhadap tegangan geser, yang disebut viscous fluid. Viskositas dibagi dalam 2 bentuk yaitu, viskositas dinamis (mutlak/absolut) dan kinematis.

Viskositas dinamis yaitu ukuran resistensi perbandingan tegangan geser dengan laju perubahan fluida, di mana lapisan yang berdekatan bergerak sejajar satu sama lain dengan kecepatan yang berbeda.

$$T = \mu \left( \frac{du}{dz} \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

T : Tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

$\mu$  : Viskositas dinamis (Ns/m<sup>2</sup>)

$du/sz$  : Gradien kecepatan (m<sup>2</sup>/s)

Viskositas kinematis juga disebut momentum difusivitas, viskositas kinematis dapat diperoleh dengan membagi viskositas dinamis fluida dengan kerapatan (densitas) fluida, yaitu :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$v$  : viskositas kinematis (m<sup>2</sup>/s)

$\mu$  : viskositas absolut / dinamis (Ns/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : densitas (kg/m<sup>3</sup>)

#### 2.2.6 *Superficial velocity*

Kecepatan superficial dapat didefinisikan sebagai perbandingan laju aliran massa volumetrik dengan luas penampang pipa (cross section area). Kecepatan superficial diperoleh dengan hitungan hipotesis mengenai kecepatan aliran. Untuk mendapatkan kecepatan superficial diperlukan variabel sebagai berikut.

a. Kecepatan superficial Cairan ( $J_L$ )

$$J_L = \frac{Q_l}{A} \quad (2.3)$$

b. Kecepatan superficial Gas ( $J_G$ )

$$J_G = \frac{Q_g}{A} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$J_L$  : kecepatan superficial cairan (m/s)

$J_G$  : kecepatan superficial gas (m/s)

$Q_l$  : laju aliran volumetrik cairan (m<sup>3</sup>/s)

$Qg$  : laju aliran volumetrik gas ( $m^3/s$ )

$A$  : luas penampang pipa ( $m^2$ )

### 2.2.7 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan zat cair terjadi karena perbedaan resultan gaya tarik molekul yang ada di permukaan zat cair atau karena ada gaya adhesi dan kohesi (Yulianto dkk, 2016).

$$\gamma = \frac{f}{d} = \frac{f}{2L} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\gamma$  : Tegangan permukaan (mN/m)

$F$  : Gaya (mN)

$L$  : Panjang permukaan (m)

### 2.2.8 Lochart Martinelli

Metoda ini menggunakan asumsi bahwa uap dan air tidak tercampur, sehingga metoda ini termasuk dalam kategori “separated flow” model (Saptadji, 2001). Kehilangan tekanan dua fasa  $(dp/dz)_{TP}$  dihitung berdasarkan kehilangan tekanan satu fasa, bisa fasa uap atau fasa cair  $[(dp/dz)_g$  atau  $(dp/dz)_L]$ .

Secara matematis kehilangan tekanan dua fasa dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{TP} = \phi^2 \left(\frac{dp}{dz}\right)_{G \text{ atau } L} \quad (2.6)$$

Dimana  $\phi$  adalah faktor pengali dua fasa atau two-phase multiplier.  
 Harga  $X$ , ditentukan sbb:

$$X = \left[ \frac{(dp/dz)_L}{(dp/dz)_G} \right]^{0.5} \quad (2.7)$$

Dimana:

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_L = \frac{\lambda l v s l^2}{2 v f D} \quad (2.8)$$

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_G = \frac{\lambda G V s g^2}{2 v G D} \quad (2.9)$$

Kehilangan tekanan karena elevasi, dinyatakan oleh persamaan:

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_G = \bar{\rho} g \sin \phi$$

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_L = \text{Hilang tekanan satu fasa cair (bar)}$$

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_G = \text{Hilang tekanan satu fasa uap (bar)}$$

$\lambda$  = Faktor friksi

$g$  = gravitasi

$X$  = Fraksi Uap

$\rho$  = Densitas Campuran

### 2.2.9 Penurunan Tekanan

Uji penurunan tekanan fase tunggal dilakukan terpisah menggunakan air untuk mengecek alat dan untuk membantu penelitian dua fase. Data penelitian dihubungkan dengan koefisien gesek yang terjadi.

$$f = \frac{\Delta P F_1^F \cdot \rho}{2 N G^2} \quad (2.10)$$

Keterangan :

$f$  = Koefisien gesek

$\Delta P$  = Penerusan tekanan, Pa

$F$  = Gesekan

$N$  = Jumlah pipa

$G$  = Fluks massa aliran ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ )

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Penurunan tekanan dari korelasi diatas digunakan untuk menghitung pengali dua fase. dalam praktek banyak peneliti menggunakan model Martinelli untuk menunjukkan pengali dua fase ( $\Phi_1^2$ ) sebagai berikut :

$$\Phi_1^2 = \frac{\Delta P_{TP}^F}{\Delta P_L^F} = 1 + \frac{C}{Xn} + \frac{1}{Xn^2} \quad (2.11)$$

$$X_n = \left[ \frac{1-x}{x} \right]^{0.9} \left[ \frac{\rho_G}{\rho_L} \right]^{0.5} \left[ \frac{\mu_L}{\mu_G} \right]^{0.1} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$\Delta P$  = Penerusan tekanan, Pa

$TP$  = Aliran dua fase

$\Phi$  = Pengali dua fase

$X_n$  = Martinelli parameter

$C$  = C faktor

$G$  = Fase gas

$L$  = Fase Cairan

$\mu$  = viskositas dinamis, N.s/m

Untuk aliran dua fase horizontal udara cairan viskos melintasi serangkaian pipa, pengali dua fase ditentukan berdasarkan rumus yang digunakan oleh (G. P. Xu dkk, 1998). sebagai berikut:

$$\Phi_1^2 = \frac{\Delta P_{TP}^F}{\Delta P_L^F} = \frac{\rho_1 \Delta P_{TP}^F}{2f_1 [G(1-x)]^2 N} \quad (2.13)$$

Keterangan :

$\Phi$  = Pengali dua fase

$\Delta P$  = Penerusan tekanan, Pa

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$f$  = Koefisien gesek

TP = Aliran dua fase

N = Jumlah baris tabung

G = Fase gas

L = Fase Cairan

F = Gesekan

#### 2.2.10 Bilangan Reynolds

Rasio antara gaya inersia ( $vsp$ ) terhadap gaya viskos ( $\mu/L$ ) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminer dan turbulen.

Rumus Bilangan Reynolds (Re)

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} = \frac{v_s D}{\nu} = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viskos}} \quad (2.14)$$

$v_s$  : kecepatan fluida.

$D$  : Diameter dalam pipa (cm).

$\mu$  : viskositas absolut fluida dinamis.

$\nu$  : viskositas kinematik fluida:  $\nu = \mu / \rho$ .

$\rho$  : kerapatan (densitas) fluida.