

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang aliran dua fase sudah dilakukan sejak lama dan telah menghasilkan banyak data. Dari penelitian tersebut menghasilkan data yang berbeda-beda hal ini dikarenakan perbedaan dalam penggunaan metode penelitian.

Penelitian yang dilakukan oleh Korawan (2015) tentang aliran dua fase menggunakan pipa akrilik berdiameter 36 mm dengan panjang 2000 mm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat perubahan pola aliran dalam pipa horizontal dengan variasi kecepatan superfisial air dan media yang digunakan fluida cair (air) sedangkan untuk fluida gasnya menggunakan udara. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah 1) Pola aliran yang berhasil teramati yaitu *Bubble*, *Slug*, dan *Stratified*, 2) Semakin tinggi nilai kecepatan superfisial cairan menyebabkan semakin panjang *Bubble region* yang terjadi, dan semakin tinggi nilai kecepatan superfisial cairan mengakibatkan terjadinya pergeseran perubahan pola aliran, dimana pada kecepatan superfisial cairan rendah terjadi perubahan *Bubble* menjadi *Stratified* dan pada kecepatan superfisial cairan tinggi terjadi perubahan dari *Bubble* ke *Slug*.

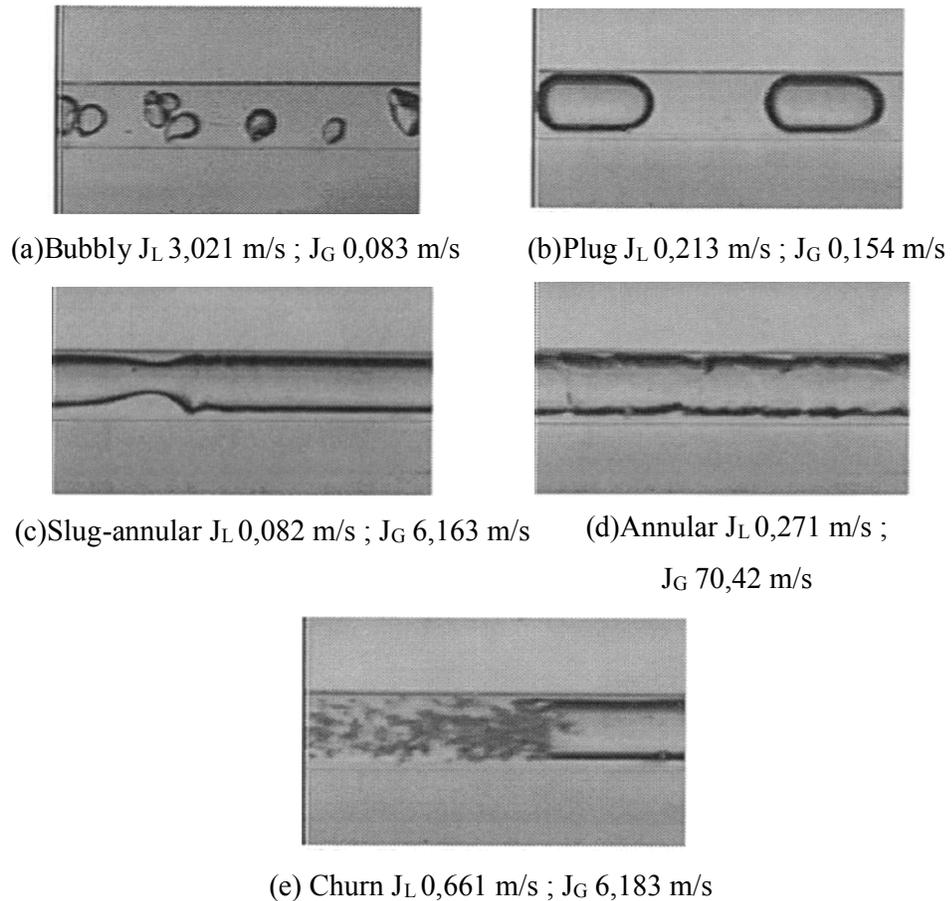
Fukano dan kariyasaki (1993) melakukan penelitian tentang karakteristik aliran dua fase gas-cair memakai tiga pipa sirkular dengan diameter yang berbeda yakni 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm. Fukano dan kariyasaki juga menaruh perhatian khusus pada pola aliran dengan kondisi arah aliran yang berbeda, Pada penelitian ini arah aliran divariasasi menjadi tiga arah aliran yaitu vertikal keatas, horizontal, dan vertikal kebawah. Pada penelitian ini media yang digunakan adalah air dan udara, terdapat tiga pola aliran yang berhasil diamati yaitu *bubble*, *intermittent*, dan *annular*. Hasil dari penelitian ini yaitu : Arah aliran fluida yang telah divariasasi tidak banyak merubah terbentuknya pola aliran, Gaya kapiler menjadi penting pada pipa

dengan ukuran kurang dari 5 mm, bahkan pada aliran horizontal pola aliran menjadi aksis-simetris dimana ketebalan film air menutupi semua permukaan pipa dengan rata.

Efek pengaruh diameter dalam saluran pada aliran dua fase diinvestigasi guna mengetahui fenomena yang membedakan antara saluran *minichannel* dengan *microchannel*. Pada penelitian ini fluida gas yang digunakan yaitu gas nitrogen dan fluida cairnya berupa air pada saluran pipa berdiameter 530  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , dan 50  $\mu\text{m}$ . Saluran dengan diameter 530  $\mu\text{m}$  dan 250  $\mu\text{m}$ , karakteristik dasar pada aliran dua fase yang terdiri dari (peta pola aliran, fraksi hampa, dan gradien tekan) mirip dengan karakteristik yang terjadi pada aliran *minichannels* (diameter  $\sim 1$  mm). Kecepatan superfisial cairan diatur rentang  $J_L$  0,01-5,77 m/s sementara kecepatan superfisial gas  $J_G$  0,02-72,98 m/s. Visualisasi dilakukan dengan pengambilan gambar terhadap pola aliran yang terbentuk. Hasil pengujian menunjukkan saluran berukuran 530  $\mu\text{m}$  dan 250  $\mu\text{m}$  mempunyai karakteristik yang berbeda dengan saluran berdiameter 100  $\mu\text{m}$  dan 50  $\mu\text{m}$ .

Saluran dengan diameter 100  $\mu\text{m}$  dan 50  $\mu\text{m}$ , karakteristik alirannya berbeda dengan karakteristik pada *minichannel* yakni pola aliran *slug* lebih mendominasi. Pola aliran *bubble*, *slug-annular*, *annular* dan *churn* pada saluran  $DH < 100$   $\mu\text{m}$  hal tersebut terjadi karena nilai viskositas dan nilai tegangan permukaan yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa diameter saluran yang diamati berpengaruh pada karakteristik pola aliran dua fase. (Chung & Kawaji, 2004).

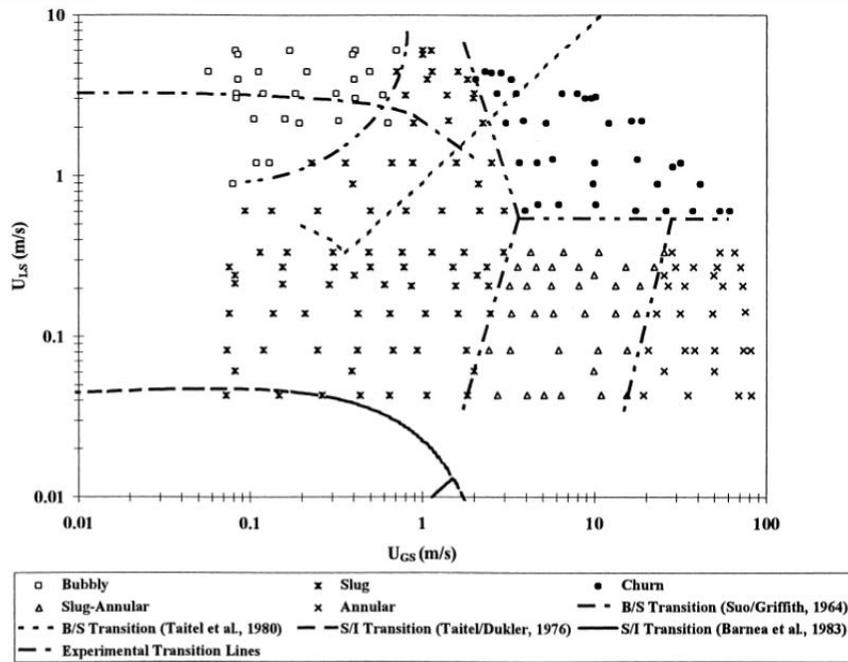
Triplett dkk. (1999) melakukan penelitian mengenai aliran dua fasa tujuan penelitiannya adalah untuk menyelidikan eksperimental sistematis pada pola aliran dua fase pada saluran pipa mini. Dengan menggunakan udara dan air, percobaan dilakukan pada pipa mini dengan diameter 1,1 mm dan 1,45 mm, dan pada pipa *semi-triangular micro channel* berdiameter 1,097 mm dan 1,49 mm. Kecepatan superfisial gas dan cairan yang digunakan adalah 0,02 - 80 m/s dan 0,02 - 8 m/s.



**Gambar 2.1** Pola aliran yang terbentuk pada pipa sirkular berdiameter 1,097 mm (Triplett dkk 1999)

Gambar diatas merupakan pola aliran yang berhasil teramati kecepatan superfisial gas dan cairan yang digunakan adalah 0,02 - 80 dan 0,02 - 8 m/s.

Gambar 2.2 memperlihatkan hasil perbandingan peta pola aliran dari (Triplett dkk, 1999) yang dibandingkan dengan peneliti terdahulu yaitu Fukano dan Kariyasi (1993), Taitel dan Dukler (1976), Suo dan Griffith (1988), Damianes dan Westwater (1988), Taitel dkk (1980), dan Barnea dkk (1983). Hasil pengamatan ini konsisten dengan milik Fukano dan Kariyasaki (1993).



**Gambar 2.2** Perbandingan peta pola aliran pada pipa sirkular berdiameter 1,097 mm dengan peta pola aliran peneliti sebelumnya. (Triplett dkk, 1999)

Pola aliran udara-air pada aliran dua fase diteliti secara eksperimental oleh (Saidi dkk, 2011) dalam pipa mini vertikal. Penelitian dilakukan pada pipa berdiameter 2, 3 dan 4 mm dan panjang 27, 31, dan 25 cm. hasil pola aliran yang diperoleh dari penelitian ini adalah *bubble*, *slug*, *messy-slug*, *churn*, *ring*, *wavy-annular*. Dalam penelitian ini, perbedaan nyata antara peta pola aliran untuk pipa vertikal dengan berbagai diameter 2, 3 dan 4 mm tidak terlihat.

Wegmann (2005) melakukan penelitian tentang aliran dua fasa dengan menggunakan media air dan paraffin sebagai fluida cair sedangkan untuk fluida gas menggunakan udara. Pada penelitian ini digunakan dua variasi pipa dengan diameter yang berbeda yaitu 5,6 dan 7 mm, pola aliran yang terbentuk pada saluran berdiameter 5,6 mm adalah pola aliran *intermittent* dan pola aliran *annular* sedangkan pada saluran dengan diameter 7 mm pola aliran yang terbentuk adalah *stratified* pada kecepatan superficial air 0,003 m/s dan paraffin 0.06 m/s. Pada saluran berdiameter 5,6 mm pola *stratified* sama

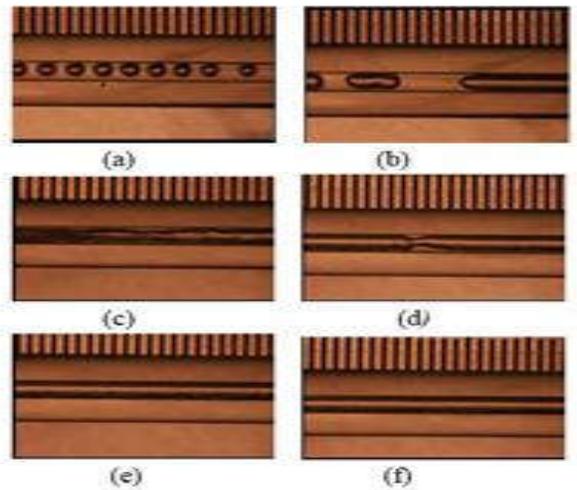
sekali tidak terbentuk meskipun kecepatan superfisial telah diatur paling rendah. Terjadinya pola aliran *annular* pada fasa antara paraffin dan udara diperlukan kecepatan superfisial lebih tinggi dari fasa air dan udara.

Penelitian yang dilakukan (Zhao, 1999) tentang aliran dua fasa udara-air pada saluran persegi panjang pada pipa mini secara vertikal. Pada penelitian ini menggunakan variasi pipa yang berbeda dengan diameter 0,3 mm, 0,6 mm, dan 1 mm dengan panjang 12 x 260 mm, pola aliran yang terbentuk pada pipa mini dengan diameter 0,6 mm dan 1 mm adalah *Bubble*, *slug*, *churn* dan *annular* sedangkan pada pipa berdiameter 0,3 atau kurang cukup berbeda dari penelitian sebelumnya: *Bubble* tidak pernah diamati bahkan pada tingkat gas yang sangat rendah. Karena meningkatnya pengaruh tegangan permukaan kekuatan dan tegangan geser gesekan dalam saluran dengan celah mikro, tetesan cairan yang melekat pada permukaan dinding dan didorong oleh fase gas. Pola aliran dalam celah mini ini dapat diklasifikasikan ke dalam *Bubble*, *slug*, *churn* dan *annular*.

Biksono (2006) melakukan eksperimen pada pipa spiral dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dan bentuk aliran dua fasa. Pada penelitian ini media yang digunakan yaitu air dan udara pada pipa akrilik spiral berdiameter luar 52 mm, diameter dalam 27 mm, tebal 7 mm dan panjang 1120 mm. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai koefisien gesek pada aliran dua fasa antara air-udara lebih besar bila dibandingkan satu fase (air), Kecepatan aliran transisi lebih cepat terjadi antara (1600-1700) pada bilangan Reynolds (Re). Kenaikan nilai koefisien gesek terjadi karena kenaikan variasi kecepatan superfisial udara, Hasil visualisasi aliran menunjukkan tempat kedudukan rata-rata aliran udara dipengaruhi oleh bilangan Reynolds.

Penelitian yang dilakukan (Sudarja dkk, 2014) mengenai pola aliran dua fase dalam pipa berukuran mini. penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data primer mengenai pola aliran dan peta pola aliran. Pipa akrilik berukuran mini dan berdiameter dalam 1,6 mm digunakan dalam penelitian ini, media yang digunakan yaitu udara dengan kelembapan rendah dan air, dengan memvariasi kecepatan superfisial fluida gas ( $J_G$ ) 0,08 - 64,42 m/s ; kecepatan

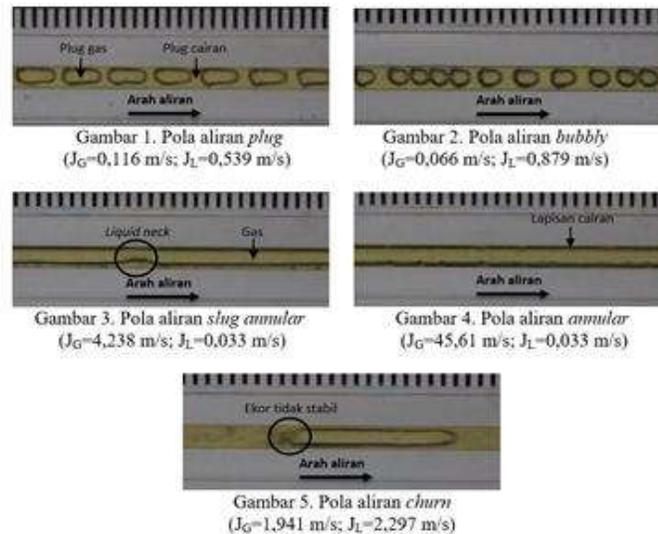
superfisial fluida cair ( $J_L$ ) 0,02 - 3,09 m/s. pola aliran yang berhasil didapat dari penelitian ini yaitu *Bubble*, *Slug*, *Churn*, *Slug-annular*, *Wavy-annular*, dan *Annular*.



(a) Bubbly ( $J_G=0,1$  m/s dan  $J_L=1,62$  m/s); (b) Slug ( $J_G=2,06$  m/s dan  $J_L=0,06$  m/s); (c) Churn ( $J_G=21,03$  m/s dan  $J_L=0,52$  m/s); (d) Slug-annular ( $J_G=7,37$  m/s dan  $J_L=0,02$  m/s); (e) Wavy-annular ( $J_G=57,4$  m/s dan  $J_L=0,24$  m/s); (f) Annular ( $J_G=14,12$  m/s dan  $J_L=0,05$  m/s).

**Gambar 2.3** pola aliran yang terbentuk (Sudarja dkk, 2014)

Kumolosari dkk (2017) melakukan penelitian mengenai aliran dua fase yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik pola aliran pada saluran mini. Penelitian ini dilakukan pada pipa mini diameter luar 1,6 mm, diameter dalam 2,6 mm dan panjang pada seksi uji yaitu 0,13 mm pada posisi horizontal dengan media yang digunakan yaitu campuran akuades dan butanol dengan konsentrasi butanol sebanyak 4%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Eli (2017) juga memvariasikan kecepatan superfial gas dan superfisial cairan untuk mendapatkan data pola aliran dengan  $J_G = 0,066 - 66$  m/s dan  $J_L = 0,033 - 4,935$  m/s. Terdapat lima pola aliran yang berhasil diamati dalam penelitian ini yaitu *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*.



**Gambar 2.4** Pola aliran yang terbentuk (Eli dkk, 2017)

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Aliran dua fase

Aliran dua fase adalah suatu aliran yang terdiri dari beberapa komponen zat yang mengalir secara bersamaan pada satu saluran. Aliran ini terdiri dari berbagai kondisi zat seperti cair, gas maupun udara. Aliran dua fase juga digolongkan ke dalam beberapa jenis yaitu berdasarkan arah aliran, orientasi saluran, dan ukuran saluran. Berdasarkan arah alirannya, digolongkan menjadi aliran *co-current* dan *counter current*. Berdasarkan orientasinya, aliran dua fase digolongkan menjadi aliran vertikal, horizontal, dan kemiringan sudut tertentu, dan berdasarkan ukuran salurannya, diameter ukuran dalam pipa aliran dua fase digolongkan menjadi aliran dua fase ukuran normal, mini, dan mikro.

Berikut nilai ukuran diameter dalam pipa aliran dua fase menurut (Kandiklar dan Grande, 2002) yaitu :

1. *Conventional channels*  $D > 3$  mm
2. *Minichannels*  $3$  mm  $> D > 200$   $\mu$ m

3. *Microchannels*  $200 \mu\text{m} > D > 10 \mu\text{m}$
4. *Transisional channels*  $10 \mu\text{m} > D > 0,1 \mu\text{m}$
5. *Molecular nanochannels*  $0,1 \mu\text{m} > D$

### 2.2.2 Pola aliran

Pola aliran merupakan Suatu pola yang terbentuk didalam pipa dan dipengaruhi oleh gaya gravitasi, sifat fluida (massa jenis, viskositas, dan tegangan permukaan), flux volume aliran (kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas), dan diameter pipa. Beberapa metode yang digunakan untuk mengamati pola aliran salah satunya yaitu metode visualisasi dengan menggunakan kamera video berkecepatan tinggi. Pada aliran dua fasa juga dibedakan berdasarkan arah alirannya yaitu aliran searah dan berlawanan arah, dan dapat dibedakan berdasarkan posisi salurannya yaitu saluran vertikal, horizontal dan miring.

#### 1. Pola aliran pipa vertikal

Pola aliran yang terjadi dalam pipa vertikal secara umum adalah sebagai berikut:

##### a. Aliran gelembung (*bubbly flow*)

Pola aliran ini pada saat fase gas mengalir dalam bentuk gelembung-gelembung kecil, sedangkan fase cair akan mengalir secara kontinyu.

##### b. Aliran kantung (*slug flow*)

Pada tipe ini aliran gas tetap berbentuk gelembung tapi sedikit membesar dan lonjong atau mirip dengan peluru.

##### c. Aliran acak (*churn flow*)

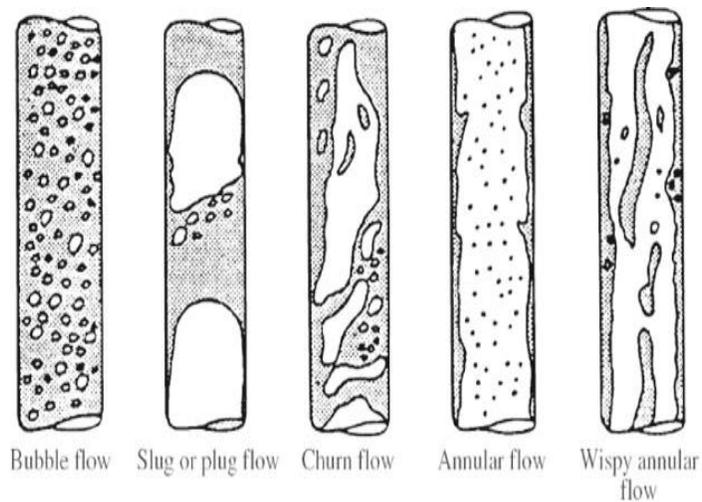
Bila kecepatan aliran gas pada *slug flow* semakin cepat, maka akan terjadi aliran yang tidak stabil atau acak.

##### d. Aliran cincin (*annular flow*)

Pada aliran jenis ini fase cair akan cenderung berada di samping atau daerah yang bersentuhan dengan pipa. Sedangkan aliran gas cenderung berada di tengah-tengah.

e. *Wispy-annular flow*

Pada pola aliran ini lapisan cairan tipis pada dinding pipa dan sejumlah cairan seperti gumpalan yang tidak teratur berada di bagian tengah-tengah pipa.



**Gambar 2.5** Pola aliran pipa vertikal (Hewitt, 2007)

2. Pola aliran pipa horizontal

Pola aliran yang terjadi dalam pipa horizontal secara umum adalah sebagai berikut:

a. Aliran strata licin (*stratified flow*).

Pada pola aliran ini terdapat pengaruh perbedaan massa jenis dan gaya gravitasi sehingga terjadi pemisahan fase gas dan cair. fase gas mengalir pada bagian atas pipa sedangkan fase cair akan mengalir pada bagian dasar pipa.

b. Aliran strata gelombang (*stratified wavy flow*).

Jika kecepatan gas pada pola aliran *stratified* meningkat, gelombang terbentuk pada *interface*, dimana amplitudo gelombang sedikit demi sedikit meningkat diiringi kenaikan kecepatan gas.

c. Aliran sumbat (*slug flow*).

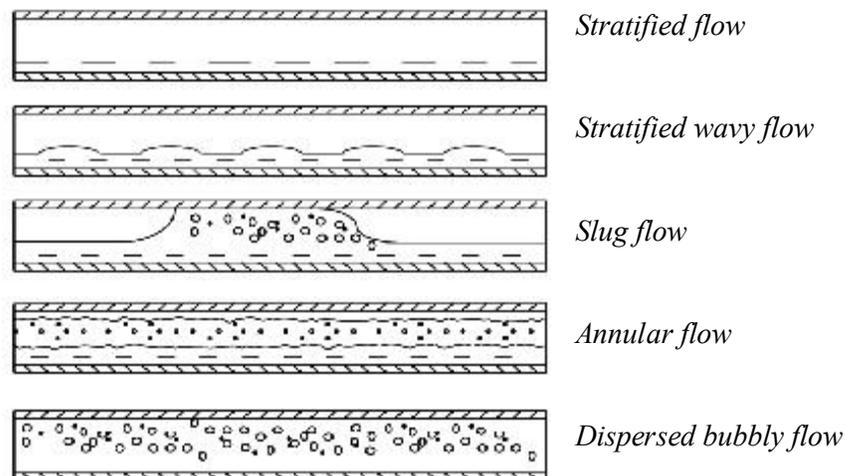
dimana jika laju aliran gas meningkat dalam aliran gelombang maka amplitudo gelombang sangat besar hingga menyentuh bagian atas pipa.

d. Aliran cincin (*annular flow*).

Dalam aliran ini, cairan terdistribusi diantara lapisan cairan yang mengalir di sekitar dinding tabung dimana butiran air mengalir bersama fase gas.

e. Aliran gelembung kecil dan tersebar (*Dispersed bubbly flow*).

Pada aliran ini dimana gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas pipa.



**Gambar 2.6** Pola aliran pada pipa horizontal (Korawan, 2015)

### 2.2.3 Viskositas

Viskositas merupakan Suatu sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan suatu fluida cair untuk dapat mengalir, dimana tingkat kekentalan berpengaruh dalam pergerakan suatu fluida cair. Semakin

besar nilai viskositas suatu cairan maka pergerakan fluida cair juga akan semakin melambat sedangkan jika nilai viskositas suatu fluida cair rendah maka aliran fluida cair akan mudah untuk mengalir.

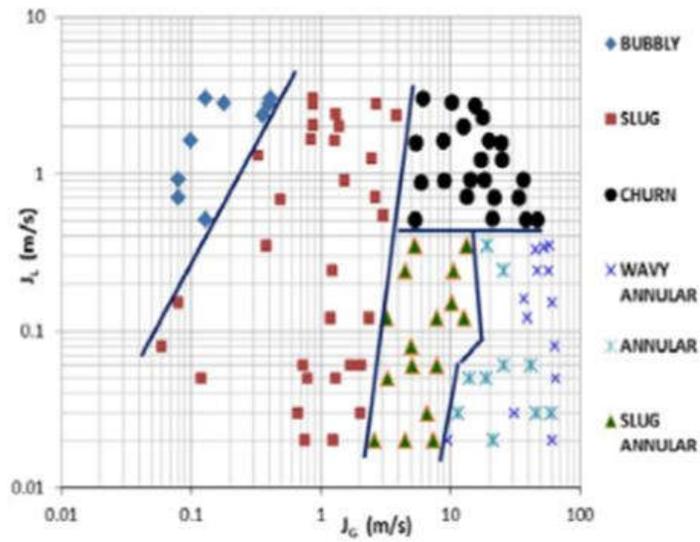
#### 2.2.4 Fase

Fase merupakan suatu keadaan zat yang berupa gas, cair atau padat atau sistem yang dilingkupi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia dan struktur fisiknya. Perubahan fase harus terdapat energi yang didapat atau dilepaskan. Perubahan fase itu berupa padat menjadi cair dan sebaliknya, cair menjadi gas dan sebaliknya, dan gas menjadi padat dan sebaliknya. Karakter dari fase padat memiliki jarak antara molekul sangat besar, posisi molekul tetap dan tersusun beraturan, dan pada temperatur titik leburnya ikatan antara molekul meleleh dan posisi molekul tidak tetap. Karakter fase cair memiliki jarak antar molekul sangat jauh/besar dibandingkan dengan jarak antar molekul pada fase gas atau cair dan susunan molekul tidak teratur dan selalu bergerak bebas secara acak (*random*).

#### 2.2.5 Peta Pola aliran

Peta pola aliran merupakan suatu grafik yang digunakan untuk menunjukkan persebaran data pola aliran pada berbagai parameter yang telah ditentukan dengan kecepatan superfisial fluida cair, kecepatan superfisial fluida gas, dan laju aliran. Jenis laju aliran yang digunakan dapat berupa flux massa, flux momentum, dan flux volume. Pada 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. Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan peta pola aliran diantaranya menggunakan ukuran saluran pipa yang digunakan dan kecepatan superfisial. (Sudarja dkk, 2014) adalah salah satu peneliti yang

menggunakan parameter kecepatan superfisial gas dan cairan untuk menentukan peta pola aliran.



**Gambar 2.7** Peta pola aliran dengan menggunakan parameter kecepatan superfisial (Sudarja dkk, 2014).