

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian telah melakukan beberapa percobaan mengenai pola aliran dua fase dan penelitian pipa horizontal hingga saat ini. Dari hasil penelitian tersebut telah didapatkan berbagai macam data yang di sebabkan oleh perbedaan metode dan alat yang digunakan dalam penelitian tersebut.

Triplett (1999) Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki eksperimental sistematis pada pola dua fase di microchannel. Dengan menggunakan udara dan air, percobaan dilakukan pada pipa microchannel dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm, dengan *cross-section* semi segitiga dengan diameter hidrolis 1,09 dan 1,49 mm. Jarak superfisial gas dan cairan adalah  $0,02 \pm 80$  dan  $0,02 \pm 8$  m / s. Pola yang terlihat adalah *bubbly*, *churn*, *slug*, *slug annular*, dan *annular*.

Serizawa (2001) Pola aliran dua fase gas – cair divisualisasikan dengan mikroskop untuk aliran gas-cair dalam tabung sirkular 20,25 dan 100 mm dan untuk aliran uap air dalam 50 mm tabung melingkar. Kecepatan superficial mencakup berbagai  $J_L$  0,003-17,52 m/s dan  $J_G = 0,0012$ -295,3 m/s untuk aliran gas- cair. Beberapa pola aliran yang berbeda yaitu, aliran gelembung, aliran *slug*, aliran cincin cairan, aliran *annular*, aliran berbusa atau aliran *annular* jenuh, aliran *rivulet*, dan jenis pola aliran diidentifikasi baik dalam gas-cairan dan sistem uap air, dan fitur-fitur khusus mereka dijelaskan.

Kawahara (2002) Investigasi eksperimental telah dilakukan pada karakteristik aliran dua fase dalam tabung bulat berdiameter 100 mm . Pola aliran dua fase ditentukan oleh perekaman video aliran dalam tabung kapiler transparan yang terbuat dari leburan silika, dimana air terdeionisasi dan gas nitrogen disuntikan pada kecepatan superficial  $J_G$  0,1-60 m/s untuk gas, dan  $J_L$  0,02- 4 m/s untuk cairan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki secara eksperimental karakteristik aliran dua fasa dalam microchannel berdiameter 100 mm, dan

mengidentifikasi perubahan yang terjadi karena penurunan diameter dari 1 mm sampai 100 mm.

M.Kawaji dkk. (2004) Efek saluran diameter pada dua fasa flow diselidiki untuk mengidentifikasi gejala-gejala yang membedakan microchannels dari saluran mini. Eksperimen dilakukan dengan campuran nitrogen gas dan air di saluran melingkar dengan diameter 530, 250, 100, dan 50 um. Suhu, tekanan, dan flow tingkat cairan dan gas diukur dan dicatat gambar pola aliran. Jelas, diameter saluran memiliki efek pada dua fasa flow di kisaran saluran diameter diselidiki. Sifat flow model baru juga diusulkan untuk mendapatkan wawasan fisik karakteristik flow diamati di microchannels. Model dapat memprediksi gradien tekanan friksional dua fasa untuk saluran m 100 dan 50 um, jika data aktual fraksi yang digunakan, menguatkan mekanisme flow.

Adiwibowo (2010) Pada penelitian yang dilakukan, bertujuan untuk mengetahui tentang pengaruh penggunaan pipa vertikal terhadap karakteristik *flow pattern* pada aliran dua fase gas-cairan. Penelitian yang dilakukan secara eksperimental ini menggunakan pipa transparan yang memiliki diameter dalam 36 mm pada pipa vertikal serta air yang digunakan sebagai fluida kerja cairan dan udara sebagai fluida kerja gas. Hasil visualisasi *flow pattern* pada pipa vertikal menggunakan kamera digital agar bisa melihat hasilnya. Dari hasil penelitian yang telah diperoleh dapat ditarik kesimpulan bahwa, aliran dua fase gas cairan yang melewati pipa vertikal telah terjadi perubahan karakteristik flow pattern yang dapat dipengaruhi oleh kecepatan superficial cairan serta kualitas volumetric gas.

Sukamta dkk. (2010) melakukan penelitian tentang identifikasi pola aliran dua fasa uap-kondensat berdasarkan pengukuran beda tekanan pada pipa horizontal. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk laju aliran uap terendah, pola aliran bertingkat diidentifikasi sedangkan untuk variasinya, bertingkat, bergelombang, pasang dan pola aliran slug diamati. Pola aliran bergelombang terjadi pada transisi bertingkat ke slug atau plug. Pola aliran yang teridentifikasi pada aliran dua fasa air-uap (kondensat) dari hasil kondensat uap pada pipa horizontal ini meliputi pola aliran *stratified*, *wavy*, *plug*, *pre-slug*, dan *slug*.

M.H.Saidi (2011) Dalam studi ini, pola aliran udara – air, aliran dua fase telah diselidiki secara eksperimental dalam pipa mini vertikal. Peneliti mengamati pola aliran menggunakan perekam berkecepatan tinggi dengan diameter pipa adalah 2,3 dan 4 mm dan panjang 27,31 dan 25 cm. Visualisasi komprehensif udara – air, aliran dua fase dalam pipa mini vertikal telah dilakukan untuk mewujudkan fisika seperti aliran dua fase. Pola aliran udara – air yang berbeda diamatai secara bersamaan dalam pipa mini pada nilai – nilai yang berbeda dari laju aliran udara dan air. Akibatnya, peta pola aliran diusulkan untuk mengalir dalam pipa mini, dalam hal kecepatan superficial fase cair dan gas.

Sudarja dkk. (2014). Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas yang digunakan adalah udara dengan kelembaban rendah, yang didapat dari kompresor udara yang dilengkapi dengan *dryer* dan *water trap*, sedangkan untuk fluida cair digunakan air yang dialirkan ke dalam sistem dengan bantuan pompa air dan plenum. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Dengan metode yang dilakukan adalah visualisasi dengan menggunakan kamera canon 500D. Dari penelitian tersebut telah didapatkan hasil berupa pola aliran yang terdeteksi adalah : *bubbly*, *slug*, *slug-annular*, *wavy annular*, dan *annular*.

Menurut Apip Badarudin dkk. (2014) yang melakukan penelitian tentang observasi pola aliran dua fase air-udara berlawanan arah pada pipa kompleks,. Pengamatan terhadap pola aliran pada pipa hot-leg ini dilakukan di sekitar daerah Stable Counter-current Flow dan Partial Delivery yang memiliki kondisi onset of flooding sampai zero-liquid penetration atau yang dikenal sebagai kondisi counter-current flow limitation (CCFL). Pengamatan dilakukan dengan merekam menggunakan kamera video berkecepatan tinggi dan memutar pada kecepatan rendah agar dapat dilakukan klasifikasi dan identifikasi aliran. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa dengan semakin sempitnya fraksi hampa udara dan debit udara tetap maka kecepatan udara yang telah melewati daerah tersebut mempunyai kecepatan yang akan semakin tinggi. Ketika gelombang cairan berkembang maksimum dan memenuhi penampang pipa, tekanan udara akan naik sehingga mampu mendorong gelombang dan akan terbentuk slug.

Menurut Agus Dwi Korawan (2015) yang melakukan penelitian tentang pola aliran air udara pada pipa horizontal dengan variasi kecepatan air. Dalam penelitian ini bertujuan agar bisa melihat perubahan pola pada aliran dua fasa dalam pipa horizontal dengan variasi kecepatan superfisial air. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan test module yang terbuat dari pipa *acrylic* dengan diameter dalam 36 mm dan panjang 2000 mm. air digunakan sebagai fluida cair dan udara sebagai fluida gas. Untuk mendapatkan gambar pola aliran digunakan kamera digital. Pada penelitian ini didapatkan hasil berupa pola aliran *bubble flow*, *slug flow*, dan *stratified flow*.

Perbedaan pada penelitian sebelumnya dengan penelitian yang saat ini dilakukan berupa : jumlah  $J_G$  dan  $J_L$  yang digunakan adalah 0 - 66,3 m/s untuk  $J_G$  dan 0,033 - 4,935 m/s untuk  $J_L$ . Dan perbedaan pada air yang digunakan adalah campuran antara akuades dengan gliserin sejumlah 0% sampai dengan 30% gliserin, serta diameter pipa seksi uji 1,6 mm. Dengan kemiringan yang digunakan pada sudut  $45^\circ$ .

## 2.2.2 Dasar Teori Aliran Dua Fase

aliran dua fasa ialah aliran yang terdiri dari dua fasa yang berbeda yang dialirkan dalam suatu tempat atau pipa. Aliran dua fasa sendiri dapat dibedakan menjadi beberapa bagian yang dapat dilihat dari fasa yang membentuk alirannya, yaitu aliran dua fasa cair – gas, aliran dua fasa padat – gas dan aliran dua fasa padat – cair. Pada aliran dua fasa juga dapat dibedakan berdasarkan arah aliran yaitu aliran searah dan berlawanan arah, dan dapat dibedakan berdasarkan posisi salurannya yaitu saluran tegak, mendatar atau miring.

### 2.1 pola aliran searah ke atas pada pipa vertikal yaitu:

#### a. Aliran Gelembung

Pada fase gas terdapat bentuk gelembung – gelembung kecil yang mengalir karena aliran air mengalir secara stabil.

b. Aliran Kantung

Pada fase gas mengalir dengan bentuk gelembung kecil sehingga gelembung tersebut menjadi satu yang menyerupai peluru.

c. Aliran Acak

Apabila kecepatan aliran gas pada aliran kantung meningkat maka akan terjadinya aliran yang tidak stabil.

d. Aliran Cincin Kabut Tetes Cairan

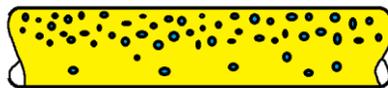
Fase aliran cair didaerah yang bersentuhan pada pipa.Sedangkan aliran gas berada ditengah. Pada aliran ini jumlah aliran gas lebih besar dibandingkan dengan aliran cair.

e. Aliran Cincin

Dalam aliran cincin mengalir pada tengah pipa yang bercampur aliran gelembung kecil dan besar sedangkan untuk aliran air berada didaerah samping yang bersentuhan pada pipa.

## 2.2 Pola Aliran Pada Pipa Horisontal.

- a. Aliran gelembung (*bubbly*). Dimana gelembung gas lebih cenderung unuk mengalir pada bagian atas tube saja.



Gambar 2.1 Aliran gelembung

- b. Aliran Kantung (*plug*). Dimana gelembung gas kecil telah bergabung membentuk kantung gas.



Gambar 2.2 Aliran kantung

- c. Aliran strata (*stratified*). Dimana permukaan bidang sentuh cairan-gas sangat halus, namun pola aliran seperti ini biasanya tidak terjadi atau jarang terjadi. Batas fasanya juga hampir selalu bergelombang.



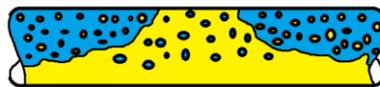
Gambar 2.3 Aliran strata

- d. Aliran Strata Bergelombang (*stratified wave*). Dimana amplitudo gelombang meningkat secara drastis dikarenakan kerusakan kecepatan gas.



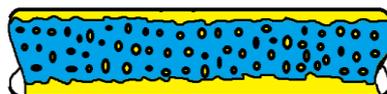
Gambar 2.4 Aliran strata bergelombang

- e. Aliran sumbat (*slug*). Dimana amplitudo gelombang biasanya sangat besar hingga menyentuh bagian atas pada tube. Gelombang ini terbentuk dengan ukuran sebesar diameter kolom. Gelombang – gelombang kecil juga mengikuti pada bagian dibelakangnya.



Gambar 2.5 Aliran sumbat

- f. Aliran cincin (*annular*) sama juga seperti dengan tabung vertikal hanya saja *liquid film* lebih tebal didasar tabung ini dibandingkan pada bagian atasnya.



Gambar 2.6 Aliran cincin

### 2.2.3 FASE

Fase adalah salah satu keadaan zat yang sering dijumpai berupa gas, cair maupun padat atau sebuah sistem yang dilengkapi juga oleh batas dan memiliki kesamaan jenis kimia serta struktur fisiknya. Perubahan pada fase harus memiliki energi yang di dapat atau dilepaskan, perubahan fase itu juga berupa padat menjadi cair begitu juga sebaliknya, cair menjadi gas, dan gas menjadi padat. Karakter dari fase padat memiliki jarak diantara molekul yang sangat besar, posisi molekul tetap dan bersusun beraturan, dan pada temperature titik leburnya ikatan molekul meleleh dan posisi molekul tidak bisa tetap. Karakter fase cair memiliki jarak antar molekul sangat jauh/besar dibandingkan dengan jarak antar molekul pada fase gas cair dan susunan molekul tidak teratur dan selalu bergerak bebas secara acak (*random*) .

### 2.2.4 Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah suatu sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan suatu fluida cair untuk mengalir, dimana tingkat kekentalan berpengaruh dalam pergerakan suatu fluida cair. Semakin tinggi nilai viskositas maka pergerakan fluida akan semakin lambat sedangkan jika nilai viskositas rendah maka aliran fluida cair akan mudah mengalir.

### 2.2.5 Massa Jenis (density)

Massa jenis ( $\rho$ ) adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Makin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volume. Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat . Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Satuan SI massa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Satuan massa jenis dalam CGS (centi gram second) adalah gram per sentimeter kubik. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya.

### 2.2.6 Aliran Transisi

Aliran Transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran berdasarkan bisa tidaknya dikompres :

- a. Incompressible flow(aliran tak mampu mampat) jika pada suatu sistem aliran memiliki massa jenis tetap. Sebuah aliran dikatakan homogen jika densitasnya konstan sepanjang aliran.
- b. Compressible flow(aliran mampu mampat) merupakan aliran non homogen. Secara normal, cairan dan gas diperlukan sebagai aliran incompressible.

### 2.3 Konsep aliran multifase

Variabel dasar aliran

**Kecepatan campuran** kecepatan campuran suatu cairan digambarkan sebagai jumlah dari superficial gas dengan kecepatan cairan.

$$U_m = U_{sl} + U_{sg} = \frac{Q_l + Q_g}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$U_m$  =Kecepatan campuran cairan

**Hambatan cairan.** Hambatan cairan digambarkan sebagai rasio dari volume cairan bagian dalam pipa terhadap seluruh volume bagian pipa.

$$Hl = \frac{Vl}{V} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

$Hl$ =hambatan cairan

$Vl$ =volume bagian pipa yang diduduki oleh cairan

$V$ =seluruh volume bagian pipa

**Superficial velocity** (kecepatan dangkal) *superficial velocity* cairan atau gas digambarkan sebagai rasio dari laju *volumetric flow* cairan atau gas terhadap area penampang melintang pipa total.

$$U_{sl} = \frac{Q_l}{A_f} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$U_{sg} = \frac{Q_g}{A_g} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

$U_{sl}$  = kecepatan superficial cairan

$U_{sg}$  = kecepatan superficial gas

$Q_l, Q_g$  = laju aliran volumetrik cairan dan gas, secara berurutan

$A_f, A_g$  = daerah penampang melintang aliran pipa

**Viskositas campuran.** Jika gas dan zat cair bercampur secara homogen, viskositas dari campuran tersebut dapat dihitung seperti berikut :

$$\mu_m = \mu_l + \mu_g(1 - H_l) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$\mu_m$  = viskositas campuran gas-zat cair

$\mu_l, \mu_g$  = viskositas zat cair dan gas

**Massa jenis campuran.** Massa jenis gas dan cairan secara homogen bercampur yang ditunjukkan sebagai berikut :

$$\rho_m = \rho_l \cdot H_l + \rho_g(1 - H_l) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

$\rho_m$  = massa jenis campuran gas-zat cair

$\rho_l, \rho_g$  = massa jenis zat cair dan gas