

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sejumlah penelitian yang meneliti tentang pola aliran yang berhubungan dengan pipa horizontal mendapatkan hasil yang bermacam-macam. Perbedaan alat dan metode yang digunakan antara satu peneliti dengan peneliti yang lain dalam metode penelitian sendiri berpengaruh terhadap hasil yang didapat. Penelitian yang dilakukan oleh Fukano & Kariyasaki (1993) tentang aliran dua fase menggunakan tiga ukuran diameter pipa sirkular masing-masing 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm. Media yang digunakan yaitu fase cair menggunakan air, sedangkan untuk fase gasnya menggunakan udara, untuk arah alirannya di variasikan menjadi tiga arah yaitu arah horizontal, vertikal ke bawah dan vertikal ke atas. Fukano dan Kariyasaki (1993) memberikan perhatian kepada pola aliran dengan kondisi arah aliran yang berbeda-beda. Secara umum pada penelitian ini, pola aliran yang terbentuk diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu aliran *bubble*, aliran *intermittent* dan aliran *annular*

Serizawa dkk. (2002) melakukan 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*.

Penelitian aliran dua fase yang dilakukan oleh Kawahara dkk. (2002) menggunakan fase nitrogen-air yang sudah terionisasi menggunakan saluran

sirkular yang terbuat dari *fused silica* dengan diameter 100 μm . Kecepatan superfisial udara yang digunakan 0,1–60 m/s sedangkan untuk kecepatan superfisial airnya 0,002–4 m/s. Pola aliran yang berhasil diamati pada penelitian ini adalah aliran *liquid alone (liquid slug)*, aliran *gas core with smooth-thin liquid film*, aliran *gas core with smooth-thick liquid film*, aliran *gascore with a ring-shaped liquid film*, dan aliran *gas core with deformed interface*, untuk aliran *bubbly* dan *churn* pada penelitian ini tidak teramati karena saluran yang sangat kecil yang berakibat memperkecil nilai bilangan *Reynolds*, memperbesar tegangan permukaan.

Efek diameter pada aliran dua fase diinvestigasi oleh Chung dan Kawaji (2004) untuk mengidentifikasi fenomena yang membedakan microchannel dari minichannel. Penelitian dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen dan air pada saluran berdiameter 530, 250, 100, dan 50 μm . Pada pipa berdiameter 530 μm dan 250 μm , karakteristik aliran dua fase (peta pola aliran, fraksi hampa, pressure drop) mirip dengan karakteristik aliran pada minichannel (diameter ~ 1 mm). Kecepatan superfisial fase cair diatur mulai 0,01–5,77 m/s sementara fase gas pada rentang 0,02–72,98 m/s. Dalam penelitian ini dilakukan visualisasi dengan fotografi terhadap pola aliran yang terbentuk. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pipa dengan ukuran 530 dan 250 μm memiliki karakteristik berbeda dengan pipa dengan ukuran 100 dan 50 μm .

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 didapat perbedaan pola aliran yang terbentuk. Pada pipa dengan diameter 5,6 mm secara garis besar pola yang terlihat adalah aliran intermittent dan annular sedangkan untuk 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 dengan diameter 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.

Biksono (2006) meneliti tentang Karakteristik dan Visualisasi Aliran Dua-fase pada pipa spiral. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menjelaskan karakteristik aliran air-udara dalam pipa spiral pada posisi horisontal. Pada penelitian ini letak lokasi perubahan gelembung udara dapat dilihat dari efek aliran di dalam pipa spiral. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu : sump tank, pompa sentrifugal, katup pengatur, water flow, air flow, kompresor, pipa acrylic spiral, kamera digital, dan piezometrik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa efek penambahan variasi kecepatan udara (U_g) menyebabkan kenaikan koefisien gesek.

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 (2014) melakukan penelitian tentang pola aliran di dalam pipa berukuran mini pada aliran horizontal. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter dalam 1,6 mm posisi horizontal menggunakan fluida gas dan cairan berupa udara kering dan air. kecepatan superfisial gas yaitu 0,08 - 64,42 m/s dan kecepatan superfisial cairan yaitu 0,02 – 3,09 m/s. penelitian ini dilakukan pada suatu instalasi alat yang terdiri dari: tanki air, pompa air, planum, kompresor udara, water trap. Hasil dari penelitian ini didapat peta pola aliran dan pola aliran yang terdeteksi yaitu *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, *wavy-annular* dan *annular*.

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.

Anutup (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik pola aliran pada pipa mini 1,6 mm dengan variasi air gliserin dan udara (20%, 40%, dan 60%). Pada penelitian ini pola aliran yang didapat yaitu *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*.

Sudarja (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh perubahan viskositas pada pola aliran, penelitian ini menggunakan pipa mini channel 1,6 mm dan menggunakan variasi air udara dan gliserin (20%, 40%, dan 60%). Variasi kecepatan superfisial air dan udara pada penelitian ini yaitu 0.033 – 4,935 m/s dan 0,025 – 66,3 m/s. Penelitian ini mendapatkan lima pola aliran yaitu *Bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*.

Dari uraian tinjauan pustaka diatas penelitian yang dilakukan masih banyak menggunakan pipa horizontal dan pipa vertikal. Dan kebanyakan masih menggunakan fluida jenis udara-air, maka dari itu penelitian kali ini dilakukan dengan variasi sudut pada pipa kapiler dengan kemiringan 30° dan fluida jenis udara-air dan campuran gliserin (40-70%).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pola aliran dua fasa

Pada aliran gas/uap dengan laju aliran yang kecil gas/uap cenderung untuk membentuk gelembung kecil (*bubbly*) dan besar di dalam aliran minyak dan air. Pola aliran dengan kriteria ini sebut dengan *bubbly*. Dengan bertambahnya laju aliran gas, gelembung gelembung kecil akan bersatu membentuk gelembung besar yang akan membuat rongga di dalam pipa aliran. Gelembung besar ini disebut juga dengan “*Taylor Bubbles*”. Dengan bertambahnya laju aliran gas/uap dalam fluida gelembung besar akan pecah, pola aliran disebut *churn*. Pola aliran terakhir kita sebut dengan *annular*, pola aliran ini akan terjadi dengan bertambahnya laju aliran dari gas/uap dalam fluida sehingga terdapat gelembung kecil pada bagian tengah fluida dalam bentuk cair pada dinding pipa. Dengan bertambahnya laju aliran gas/uap, jumlah fluida yang berbentuk cair pada dinding pipa akan semakin berkurang.

Aliran kantung (*slug*) dua fasa yang sangat intermiten dan diawali dengan ketidakstabilan, pola aliran ini ditandai dengan memanjangnya gelembung gas/uap berbentuk peluru. Gelembung gelembung panjang menempati sebagian dari luas penampang pipa memaksa cairan mengalir sekitar mereka dalam arah yang berlawanan. Pada bagian belakang gelembung menciptakan aliran terpisah, tergantung pada aliran parameter dan fisik sifat cair, dalam situasi ini cairan mengalir ke atas dengan kecepatan rata-rata sama dengan kecepatan gelembung.

Aliran dua fasa adalah kasus aliran yang paling sederhana dari sekian banyak aliran fasa. Aliran ini menggambarkan fasa yang terdiri dari substansi yang berbeda pada setiap alirannya. Aliran fasa yang berbeda ini banyak di jumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun pada proses-proses industri.

2.2.1.1 Pipa horizontal

a. Aliran gelembung

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

b. Aliran *plug*

Karakteristik utama pada aliran ini yaitu gelembung gas yang berbentuk peluru.

c. Aliran *stratified* (terpisah/licin)

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

d. Aliran *wavy* (aliran gelombang)

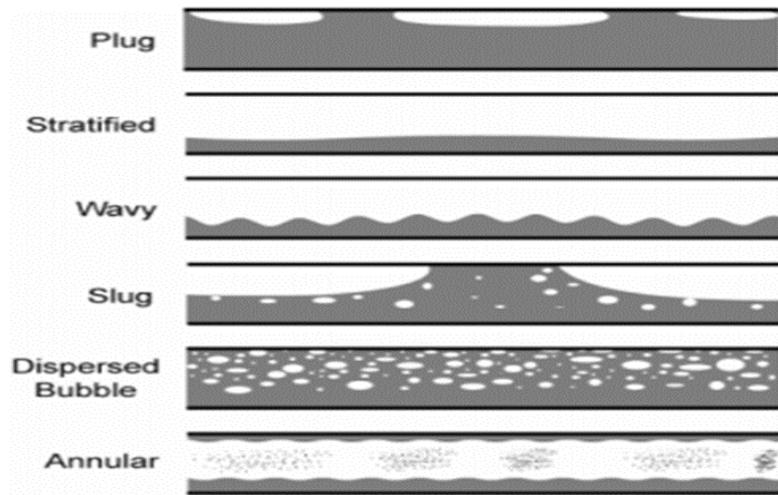
Jika kecepatan gas pada pola stratified meningkat, gelombang terbentuk pada interface. Amplitudo gelombang lambat laun membesar diiringi meningkatnya kecepatan gas.

e. Aliran *slug* (sumbat)

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

f. Aliran *annular* (aliran cincin)

Dalam cairan ini cairan terdistribusi diantara lapisan cairan yang mengalir disekitar dinding tabung dimana butiran air mengalir Bersama fasa gas.



Gambar 2.1 pola aliran pada pipa horizontal (J.Braz.Soc.Mech.Sci, 2005)

2.2.1.2 Pipa vertical

a. Aliran gelembung (*bubbly flow*)

Pada fasa gas mengalir dalam bentuk gelembung-gelembung kecil sedangkan fasa cair mengalir secara kontinyu.

b. Aliran kantung (*slug flow*)

Yaitu gas-gas yang mengalir dalam bentuk kantung-kantung atau peluru.

c. Aliran acak (*churn flow*)

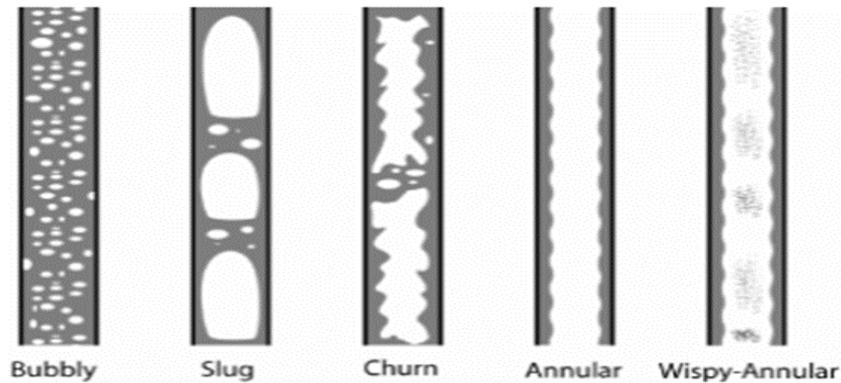
Yaitu aliran yang tidak stabil dikarenakan kecepatan aliran pada plug semakin cepat.

d. Aliran cincin (*annular flow*)

Pada aliran ini fasa gas cenderung berada ditengah-tengah diantara fasa cair. Pada aliran ini jumlah fasa gas lebih mendominasi dibandingkan fasa cair.

e. *Wispy annular flow*

Pada pola aliran ini terbentuk lapisan cairan tipis pada pipa dan jumlah cairan pipa yang tidak teratur pada bagian tengah pipa.



Gambar 2.2 pola aliran pada pipa vertical (J.Braz.Soc.Mech.Sci, 2005)

2.2.2 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. Jenis laju aliran yang digunakan berupa flux momentum, flux volume, flux massa, dan lain sebagainya tergantung dari peneliti.

2.2.3 Konsep Aliran Multifasa

2.2.4.1 Variabel dasar cairan

Supervicial velocities

kecepatan superfisial cairan atau gas digambarkan sebagai rasio dari laju *volumetric flow* cairan atau gas terhadap area penampang pipa total.

$$U_{sl} = \frac{Q_l}{A_f} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$U_{sg} = \frac{Q_g}{A_g} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

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

Kecepatan campuran

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

$$J_m = U_{sl} + U_{sg} = \frac{Q_l + Q_g}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

U_m : Kecepatan campuran cairan

Masa jenis campuran

masa jenis gas dan cairan bercampur secara homogen ditunjukkan sebagai berikut:

$$\rho_m = \rho_l \cdot H_l + \rho_g (1 - H_l) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

ρ_m = massa jenis campuran gas-zat cair

ρ_l, ρ_g = massa jenis zat cair dan gas

Viskositas campuran

Jika gas dan cair bercampur secara homogen viskositas dari campuran tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$\mu_m = \mu_l + \mu_g (1 - H_l) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

μ_m : viskositas campuran gas-zat cair

μ_l, μ_g : viskositas zat cair dan gas

2.2.4 Fasa

Fasa adalah salah satu keadaan zat yang terdapat berupa gas, cair maupun padat atau sistem yang dilengkapi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia dan struktur fisiknya. Perubahan fasa harus terdapat energi yang didapat atau dilepaskan, perubahan fasa itu berupa padat menjadi cair begitupun sebaliknya, cair menjadi gas begitupun sebaliknya, dan padat menjadi gas begitupun sebaliknya. Karakter dari fasa padat (solid) memiliki jarak antara molekul yang sangat besar, posisi molekul tetap dan bersusun beraturan, dan pada temperatur titik leburnya ikatan molekul meleleh dan posisi molekul tidak tetap. Karakter fasa cair memiliki jarak antar molekul sangat jauh/besar dibandingkan dengan jarak antar molekul pada fasa gas cair dan susunan molekul tidak teratur dan selalu bergerak secara acak (random).

2.2.5 Aliran dua fasa (air-udara)

Beberapa contoh aplikasi aliran dua fasa air udara pada pipa mini adalah micro heat exchanger, micro cooling electronic dan Micro-Electro-Mechanical System (MEMS). Sedangkan pada dunia kedokteran beberapa contoh aplikasinya adalah pola aliran yang terapat pada tubuh manusia, contohnya adalah pembuluh darah.

2.2.6 Viskositas fluida

Viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh tempratur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya tempratur hal ini disebabkan gaya-gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya tempratur pada zat cair yang menyebabkan turunnya viskositas dari zat cair tersebut.

2.2.7 Aliran laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar dan mempunyai Batasan-batasan yang berisi aliran fluida. Aliran laminar adalah aliran fluida tanpa arus turbulenta (pusaran air). Partikel fluida mengalir atau bergerak dengan bentuk garis lurus dan sejajar. Aliran laminar memiliki bilangan Reynold lebih kecil dari 2300.

2.2.8 Aliran turbulenta

Aliran turbulenta adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling berinteraksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Aliran turbulenta memiliki bilangan Reynold lebih besar dari 4000.

2.2.9 Aliran homogen

Yaitu aliran yang dicirikan dengan berubahnya besar kecepatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran contohnya adalah udara, gas alam, dan lain sebagainya (Bruce et al, 2003)

2.2.10 Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulenta

2.2.11 Aliran Non-homogen

Aliran fluida yang dicirikan dengan tidak berubahnya besaran kerapatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran contohnya adalah air, minyak, dan lain sebagainya (Bruce et al, 2003)

