

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multifase, dimana fenomena aliran dua fase ini banyak dijumpai pada dunia-dunia industri, seperti pada reaktor nuklir, *heat exchanger*, sistem perpipaan dari industri pertambangan migas, geotermal, dan lain sebagainya. Pada sistem perpipaan penggunaan venturi sering digunakan karena faktor geografis di lapangan dan dapat digunakan untuk mengetahui nilai kecepatan maupun massa alir fluida tersebut. Meskipun penggunaan venturi tersebut akan menyebabkan terjadinya separasi, *secondary flow* dan kavitasi.

Pada aliran dua fase terdapat fenomena yang lebih kompleks dibanding dengan aliran satu fase diantaranya ialah interaksi antar fase, pengaruh deformasi permukaan dan pergerakan fluida, pengaruh ketidakseimbangan fase, perubahan *pressure drop*, dan lain sebagainya. Pada aliran satu fase hanya terdapat *pressure drop* yang dipengaruhi oleh *reynold number* yang merupakan fungsi dari kecepatan fluida, viskositas kinematik fluida dan diameter pipa. Sedangkan pada aliran multifase didalam saluran tertutup (pipa) tidak hanya dipengaruhi *reynold number* tetapi juga ikatan antar fase yang bereaksi mempunyai pengaruh yang signifikan. Sehingga akan terbentuk bermacam-macam *flow regime (flow pattern)* akibat interaksi yang terjadi antar fase tersebut. Aliran yang mengalami perubahan *flow regime (flow pattern)* dapat menyebabkan *pressure drop* yang berubah-ubah atau berfluktuasi (Somchai, 2005). Oleh karena itu, saat ini yang menjadi ketertarikan dalam penelitian adalah informasi mengenai karakteristik flow patern pada aliran dua fase yang terjadi pada venturi.

Banyak penelitian yang telah dilakukan yang berhubungan dengan pengaruh pola aliran dan *pressure drop* yang terjadi pada aliran dua fase, baik pada pipa vertikal maupun horizontal. Secara umum parameter-parameter yang diperhatikan antara lain debit fluida cair dan gas, pola aliran, tegangan geser antar fase dan juga konfigurasi pipa. *Flow pattern* dan *pressure drop* pada aliran dua fase gas-cairan melalui venturi nozzle telah diteliti oleh Chun et al. (2004). Penelitian tersebut dilakukan pada horizontal venturi nozzle; beda tekanan, *pressure loss* dan tekanan statis juga diperhitungkan. *Flow pattern* yang melalui venturi nozzle direkam dengan menggunakan *high-speed video camera*. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil yaitu semakin tinggi debit aliran fluida gas dan cairan maka beda tekanan dan *pressure loss* mengalami karakteristik yang fluktuatif.

Oliveira et al. (2009) telah melakukan penelitian tentang pengukuran massa alir gas-cairan dengan menggunakan venturi dan orifice. Penelitian ini dilakukan pada aliran horizontal dan vertikal, massa alir air dan gas divariasikan sampai 4000 kg/h dan 50 kg/h. Hasil dari penelitian tersebut ialah semakin tinggi massa alir fluida dua fase pada posisi vertikal, maka didapatkan rezim aliran *churn*, *slug* dan *bubbly pattern*. Sedangkan pada posisi horizontal, semakin tinggi massa alir fluida dua fase maka diperoleh *pressure drop* yang semakin meningkat dan terbentuk rezim aliran *annular*, *slug* dan *bubbly pattern*.

Penelitian tentang *bubbly* pada aliran dua fase gas-cair melalui *universal venturi tube* (UVT) telah dilakukan oleh Hasam (2012). Pada penelitian ini volume gas diukur dengan menggunakan teknik perbedaan tekanan (*flow density meter*). *Homogenous flow model* dihubungkan dengan teknik perbedaan tekanan untuk memprediksi campuran volumetrik laju aliran fluida yang melalui venturi meter. Dari komparasi tersebut didapatkan bahwa *homogenous flow model* mulai berubah ketika fraksi volume gas meningkat 17,48%.

Dari banyak penelitian yang telah dilakukan dan dipublikasikan mengenai karakteristik-karakteristik aliran dua fase untuk mempelajari fenomena aliran dua fase *flow pattern*, *void fraction* dan *pressure drop* telah dilakukan investigasi dengan membuat model-modelnya dan korelasi yang dikembangkan untuk *flow pattern* transisi, *pressure drop*, dan distribusi *void fraction* dalam pipa horizontal, vertikal, dan miring dengan beragam dimensi. Tetapi dari banyak studi tentang aliran dua fase yang dijelaskan sebelumnya fenomena pengamatan secara visualisasi dan eksperimen karakteristik pada venturi masih perlu untuk dikembangkan. Untuk penelitian ini dengan cara menambahkan ruang lingkup sebelumnya diharapkan dapat mengetahui bagaimana aliran dua fase pada venturi terhadap karakteristik *flow pattern*. Dengan menggunakan air sebagai fluida kerja cairan dan udara sebagai fluida kerja gas. Sedangkan untuk melihat karakteristik *flow pattern* dan visualisasi aliran dua fase gas cairan yang melewati venturi akan menggunakan kamera digital.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat diambil batasan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aliran dua fase (gas dan cair) yang melewati venturi pada variasi debit yang berbeda?

2. Bagaimana pengaruh debit aliran dua fase terhadap karakteristik *flow pattern* pada venturi?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu meluas, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Fluida cair yang digunakan yaitu aquades
2. Fluida gas yang digunakan yaitu udara
3. Sistem saluran yang ada dianggap tidak terjadi kebocoran
4. Variasi debit aliran dinaikkan secara konstan
5. Sistem saluran dijaga pada kondisi adiabatik

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini ialah mengetahui karakteristik *flow pattern* dan bentuk rezim aliran dua fase yang terjadi pada venturi dengan debit yang bervariasi, mengetahui pengaruh debit aliran dua fase terhadap karakteristik *flow pattern* pada pipa venturi.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Agar mahasiswa dapat mengetahui bagaimana karakteristik *flow pattern* dan bentuk rezim aliran dua fase yang terjadi pada pipa venturi dengan debit yang bervariasi.
2. Agar mahasiswa mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik *flow pattern* dan bentuk rezim aliran dua fase yang terjadi pada pipa venturi.
3. Sebagai dasar penelitian selanjutnya, terutama untuk mendapatkan nilai *bubble velocity* pada pipa venturi.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

*Flow pattern* dan *pressure drop* pada aliran dua fase gas-cairan melalui venturi nozzle telah diteliti oleh Chun et al. (2004). Penelitian tersebut dilakukan pada horizontal venturi nozzle; beda tekanan, *pressure loss* dan tekanan statis juga diperhitungkan. Pada penelitian ini debit aliran gas yang digunakan yaitu 1 – 12 m<sup>3</sup>/h dan debit air 10 – 100 L/h, frekuensi sampel 500 Hz dan waktu pengambilan sampel 100 s. *Flow pattern* yang melalui venturi nozzle direkam dengan menggunakan *high-speed video camera*. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil yaitu semakin tinggi debit aliran fluida gas dan cairan maka beda tekanan dan *pressure loss* mengalami karakteristik yang fluktuatif.

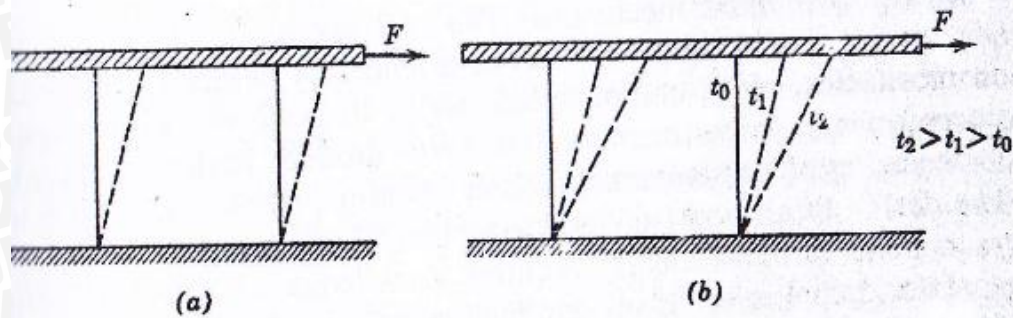
Oliveira et al. (2009) telah melakukan penelitian tentang pengukuran massa alir gas-cairan dengan menggunakan venturi dan orifice. Penelitian ini dilakukan pada aliran horizontal dan vertikal, *void fraction* berkisar antara 2% sampai 85%, massa alir air dan gas divariasikan sampai 4000 kg/h dan 50 kg/h. Hasil dari penelitian tersebut ialah semakin tinggi massa alir fluida dua fase pada posisi vertikal, maka didapatkan rezim aliran *churn*, *slug* dan *bubbly pattern*. Sedangkan pada posisi horizontal, semakin tinggi massa alir fluida dua fase maka diperoleh *pressure drop* yang semakin meningkat dan terbentuk rezim aliran *annular*, *slug* dan *bubbly pattern*.

Penelitian tentang *bubbly* pada aliran dua fase gas-cair melalui *universal venturi tube* (UVT) telah dilakukan oleh Hasam (2012). Pada penelitian ini volume gas diukur dengan menggunakan teknik perbedaan tekanan (*flow density meter*). *Homogenous flow model* dihubungkan dengan teknik perbedaan tekanan untuk memprediksi campuran volumetrik laju aliran fluida yang melalui venturi meter. Dari komparasi tersebut didapatkan bahwa *homogenous flow model* mulai berubah ketika fraksi volume gas meningkat 17,48%.

Pada penelitian ini akan diteliti tentang pengaruh penambahan debit fluida gas dan air pada pipa venturi horizontal terhadap karakteristik aliran yang terdiri dari beda tekanan, *reynold number*, koefisien hambatan, dan *void fraction*. Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu bentuk pipa venturi, peletakan posisi *pressure transducer* pada pipa venturi dan diameter pipa.

## 2.2 Aliran Fluida

Mekanika fluida berkaitan dengan perilaku cairan saat diam dan bergerak. Hal tersebut berhubungan dengan pengertian fluida itu sendiri yaitu suatu zat yang terdeformasi secara terus menerus jika diberi gaya, tidak peduli seberapa kecil gaya yang diberikan.



Gambar 2.1 Perlakuan dari (a) *Solid* (b) *fluid* ketika diberi gaya secara konstan  
Sumber: Munson, 1994; 3

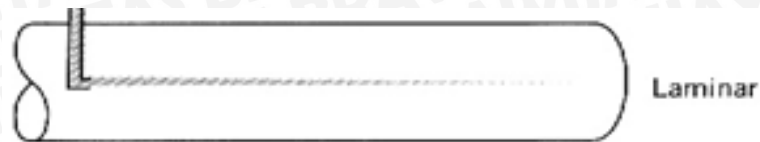
Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut. Zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan gaya yang sangat besar. Gas juga tidak mempunyai bentuk dan volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Dengan demikian kedua – duanya sering secara kolektif disebut sebagai fluida.

### 2.2.1 Pola Aliran Fluida

#### 2.2.1.1 Pola Aliran Fluida Satu Fase

##### 1. Fluida dengan Aliran Laminer

Fluida dengan aliran laminer adalah fluida yang alirannya memiliki lintasan lapisan batas yang panjang, sehingga seperti berapis-lapis. Aliran ini mempunyai bilangan Re kurang dari 2300.



Gambar 2.2 Aliran laminar  
Sumber: *Anonymous 1*, 2014

## 2. Turbulen

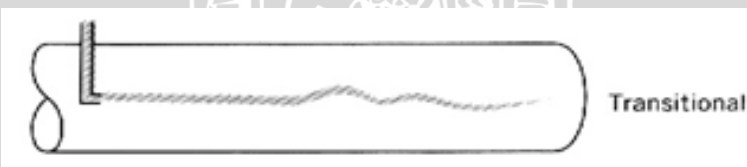
Fluida dengan aliran turbulen adalah fluida yang alirannya mengalami pergolakan (berputar-putar) dan mempunyai bilangan  $Re$  lebih dari 4000. Ciri-ciri aliran ini tidak memiliki keteraturan dalam lintasa fluida, kecepatan fluida tinggi.



Gambar 2.3 Aliran turbulen  
Sumber: *Anonymous 1*, 2014

## 3. Aliran Transisi

Fluida dengan aliran transisi adalah fluida yang alirannya merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran ini memiliki bilangan  $Re$  antara 2300-4000.



Gambar 2.4 Aliran transisi  
Sumber: *Anonymous 1*, 2014

Menurut hasil percobaan oleh Reynold, apabila bilangan Reynold kurang daripada 2300, aliran biasanya merupakan aliran laminar. Apabila bilangan Reynold lebih besar daripada 4000, aliran biasanya adalah turbulen. Sedang antara 2300 dan 4000 aliran dapat laminar ke turbulen tergantung pada faktor-faktor lain yang mempengaruhi.

### 2.2.1.2 Pola Aliran Fluida Dua Fase

Pola aliran fluida pada pipa horizontal dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Berikut ini merupakan bentuk rezim aliran yang terbentuk pada aliran fluida dua-fase pipa horizontal.

a. *Annular Flow*

Pada *annular flow* fluida mengalir pada dinding pipa dan fluida gas berada ditengah membentuk seperti tabung.

b. *Slug Flow*

*Slug pattern* dibentuk oleh gelembung gas dengan ukuran besar dan panjang yang bervariasi. Selain gelembung gas yang besar, pada *slug pattern* juga terdapat gelembung gas kecil yang berada diantara gelembung gas besar.

c. *Bubbly Flow*

Pada tipe ini, fase gas atau uap didistribusikan sebagai gelembung diskrit dalam fase cair secara kontinyu. Pada satu sisi, gelembung mungkin kecil dan bulat, dan pada sisi lainnya, gelembung mungkin besar dengan bentuk bulat dan datar.

d. *Plug Flow*

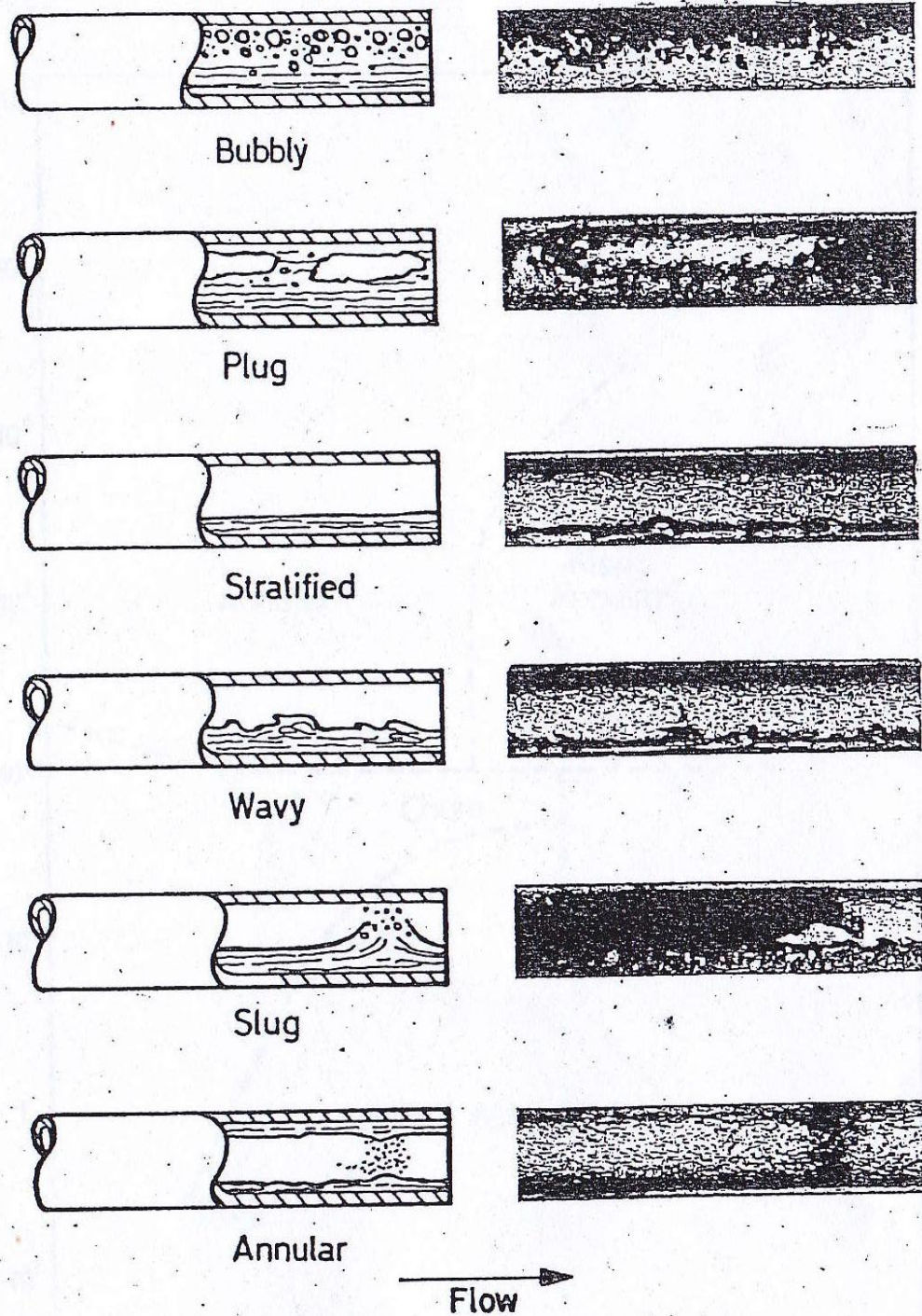
Rezim aliran ini memiliki aliran yang dipisahkan oleh gelembung gas memanjang. Diameter gelembung memanjang lebih kecil dari tabung sehingga sepanjang bagian bawah tabung dialiri oleh fluida cair. Aliran *plug* juga disebut sebagai aliran gelembung memanjang.

e. *Stratified Flow*

Pada cairan dan gas kecepatan rendah, terjadi perpisahan antara fluida fase cair dan fase gas. Gas berada diatas bagian tabung dan cairan mengalir dibagian bawah tabung. Oleh karena itu cairan dan gas sepenuhnya dikelompokkan dalam rezim ini.

f. *Wavy Flow*

Peningkatan kecepatan gas dalam aliran fluida dua-fase, mengakibatkan terbentuknya gelombang pada permukaan fluida cair yang mengalir. Amplitudo gelombang tergantung pada kecepatan relatif dari dua-fase fluida tersebut. Namun, puncak puncak gelombang tersebut tidak mencapai puncak tabung. Gelombang mengalir pada sisi tabung, meninggalkan lapisan cairan tipis di dinding setelah berlalunya gelombang.



Gambar 2.5 Pola aliran fluida dua fase pada pipa horisontal  
 Sumber : White, 1972; 13

### 2.2.2 Penggambaran Pola Aliran Horizontal Pada Pipa Lurus

Diagram pola Baker (1954) untuk aliran dua fase secara horizontal dalam silinder/tabung seperti pada gambar 2.6. Diagram pola aliran ini komponen utamanya adalah campuran dari udara/gas dan air, dimana pada sumbu-y menggambarkan aliran gas dan pada sumbu-x menggambarkan aliran cairan dalam satuan massa per unit area



dalam setiap detik. Untuk menggunakan grafik tersebut, pertama kecepatan massa dari zat cair dan gas harus diketahui. Kemudian, parameter fase gas  $\lambda$  dan parameter fase cair  $\psi$  dapat dihitung. Parameter fase gas  $\lambda$  adalah:

$$\lambda = \left[ \frac{\rho_g}{\rho_{air}} - \frac{\rho_l}{\rho_{water}} \right]^{1/2} \quad (2-1)$$

Dan parameter fase cair  $\psi$  adalah

$$\psi = \left( \frac{\sigma_{water}}{\sigma} \right) \left[ \left( \frac{\mu_l}{\mu_{water}} \right) \left( \frac{\rho_{water}}{\rho_l} \right)^2 \right]^{1/3} \quad (2-2)$$

Keterangan :

$\lambda, \Psi$  = Parameter Baker Map

$\rho$  = Massa Jenis [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\sigma$  = Tegangan Permukaan [ $\text{N}/\text{m}^2$ ]

$\mu$  = Viskositas Dinamik [ $\text{Ns}/\text{m}^2$ ]

$g$  = fluida gas

$l$  = fluida cair

$\rho_G, \rho_L, \mu_L, \sigma$  merupakan sifat-sifat dari fluida yang digunakan, dan acuannya adalah

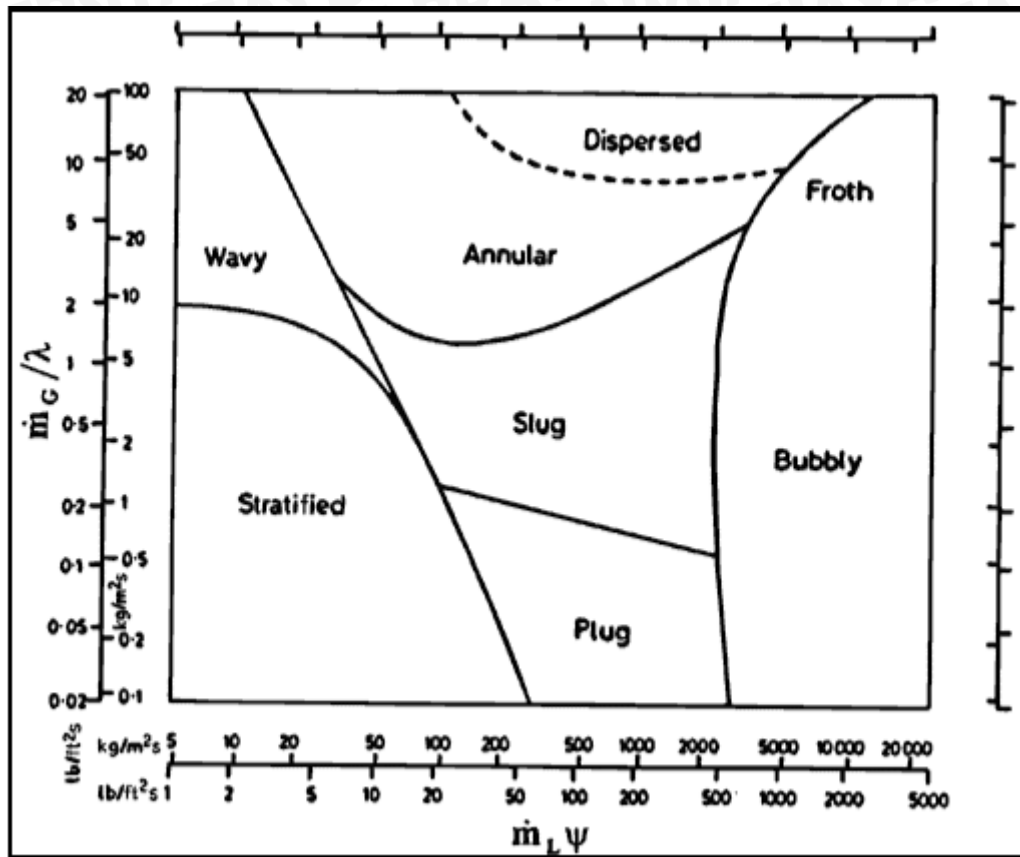
$$\rho_{water} = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{air} = 1,23 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\mu_{water} = 0,001 \text{ Ns}/\text{m}^2$$

$$\sigma = 0,072 \text{ N}/\text{m}^2$$

Parameter tersebut dimaksudkan untuk menghitung penyimpangan dari sifat-sifat zat cair dan gas. Nilai-nilai dari sumbu-x dan sumbu-y kemudian ditentukan untuk mengidentifikasi rezim aliran tertentu.



Gambar 2.6 Grafik pola aliran dua fase Baker (1954) untuk pipa horizontal  
Sumber : White, 1972; 18

### 2.3 Bilangan Reynold

Tahun 1884 Osborne Reynolds melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat aliran laminar dan turbulen. Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran yang kecil, zat warna akan mengalir dalam satu garis lurus seperti benang/sumbu pipa.

Bilangan Reynolds merupakan suatu parameter yang menyatakan suatu perbandingan kecepatan aliran, dan ukuran yang mewakili diameter penampang yang dilewati aliran fluida terhadap viskositas kinematik fluida. Besar bilangan Reynolds membedakan jenis aliran laminar, transisi atau turbulen pada lapisan batas, di dalam pipa atau di sekitar benda yang terendam.

Bilangan Reynolds merupakan besaran fisis yang tidak berdimensi. Bilangan ini dipergunakan sebagai acuan dalam membedakan aliran laminier dan turbulen di satu pihak, dan di lain pihak dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk mengetahui jenis-jenis aliran yang berlangsung dalam air. Hal ini didasarkan pada suatu keadaan bahwa dalam satu tabung/pipa atau dalam satu tempat mengalirnya air, sering terjadi perubahan bentuk aliran yang satu menjadi aliran yang lain. Perubahan bentuk aliran ini pada umumnya

tidaklah terjadi secara tiba-tiba tetapi memerlukan waktu, yakni suatu waktu yang relatif pendek dengan diketahuinya kecepatan kritis dari suatu aliran. Kecepatan kritis ini pada umumnya akan dipengaruhi oleh bentuk pipa, jenis zat cair yang lewat dalam pipa tersebut.

Terdapat empat besaran yang menentukan apakah aliran tersebut digolongkan aliran laminier ataukah aliran turbulen. Keempat besaran tersebut adalah besaran massa jenis air, kecepatan aliran, kekentalan, dan diameter pipa. Kombinasi dari keempatnya akan menentukan besarnya bilangan Reynolds.

Pada *incompressible flow* di dalam pipa kondisi aliran laminier atau turbulen ditentukan oleh besarnya bilangan Reynolds yang dapat dituliskan dalam persamaan 2-4:

- Pada aliran fluida satu-fase :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (2-3)$$

- Pada aliran dua-fase :

$$Re_l = \frac{\rho_l \cdot j_l \cdot D_H}{\mu_l} \quad (2-4)$$

$$Re_g = \frac{\rho_g \cdot j_g \cdot D_H}{\mu_g} \quad (2-5)$$

Keterangan :

Re	= Bilangan <i>Reynold</i>	
v	= kecepatan rata-rata aliran dalam pipa	[m/s]
D	= diameter pipa	[m]
$\nu$	= viskositas kinematik	[m <sup>2</sup> /s]
$\mu$	= viskositas absolut/dinamik	[N.s/ m <sup>2</sup> ]
$\rho$	= densitas	[kg/m <sup>3</sup> ]
j	= Kecepatan <i>Superficial</i>	[m/s]

## 2.4 Losses

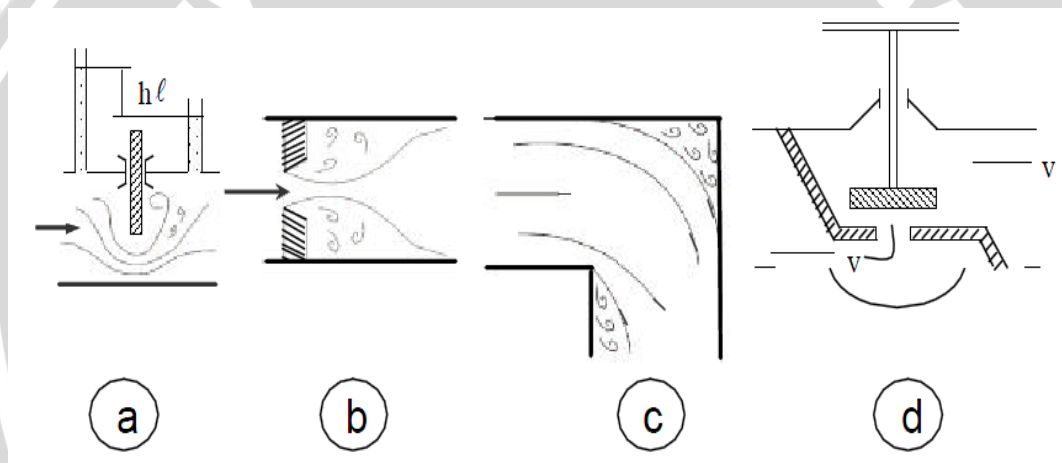
Kerugian energi atau istilah umumnya dalam mekanika fluida kerugian head (*head losses*) tergantung pada :

1. Bentuk, ukuran dan kekasaran saluran.
2. Kecepatan fluida.
3. Kekentalan.

Pada penelitian ini losses yang diperhitungkan ialah

- *Minor Losses*

*Minor losses* disebabkan oleh alat-alat pelengkap lokal atau yang diberi istilah tahanan hidrolis seperti misalnya, perubahan bentuk saluran atau perubahan ukurannya. Contoh dari beberapa alat-alat pelengkap-lokal adalah sebagai berikut:



Gambar 2.7 *Minor losses* (a) *gate*, (b) *orifice*, (c) *elbow* dan (d) *valve*  
 Sumber: Anonymous 2, 2011

$$h = k \frac{v^2}{2g} \quad (2-6)$$

Keterangan:

$h$  = Kerugian aliran akibat *valve*, *elbow*, *orifice*, dan perubahan penampang [m]

$k$  = Koefisien hambatan *valve*, *elbow*, *orifice*, dan perubahan penampang

$v$  = Kecepatan aliran [m/s]

$g$  = Gravitasi [m/s<sup>2</sup>]

## 2.5 Viskositas

Viskositas merupakan sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut (Streeter, 1986: 8). Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa untuk laju perubahan bentuk sudut fluida yang tertentu maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas. Contoh cairan yang sangat kental adalah larutan gula sedangkan air dan udara mempunyai viskositas yang sangat kecil/tidak kental. Viskositas gas meningkat dengan suhu, tetapi viskositas cairan berkurang dengan naiknya suhu. Tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya dan pada laju perpindahan momentum molekularnya. Cairan, dengan molekul-molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi, merupakan penyebab utama viskositas dalam cairan dan karena kohesi berkurang dengan naiknya suhu maka demikian juga dengan viskositas. Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

### 1. Viskositas Kinematik

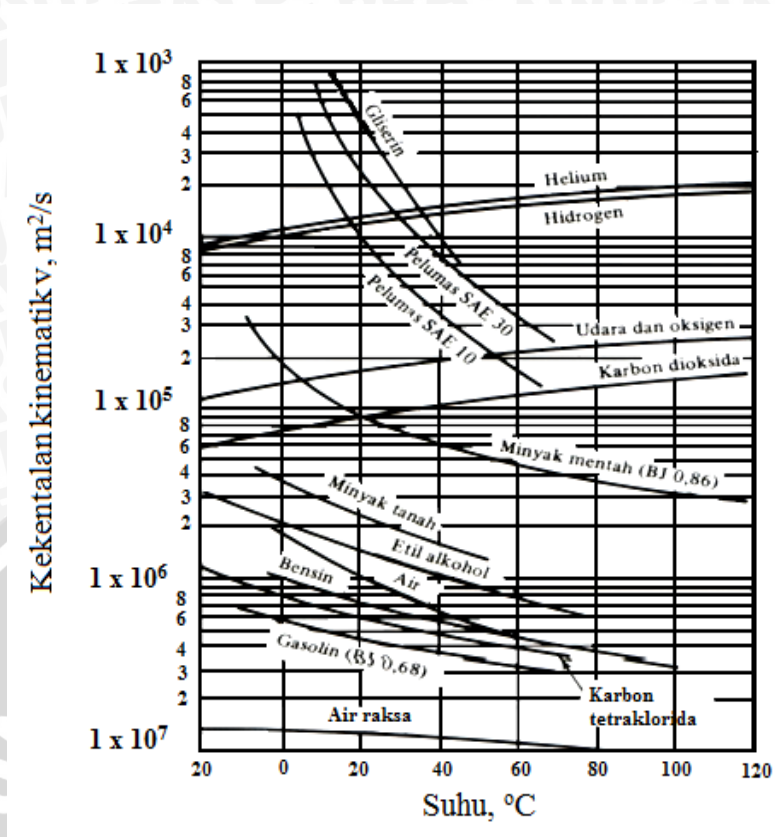
Viskositas kinematik adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida dan banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan tekanan yang bekerja serta biasanya digunakan dalam beberapa penerapan seperti untuk menentukan bilangan Reynolds pada aliran fluida dalam pipa.

Secara matematis dapat dinyatakan sebagai Persamaan 2-7 sebagai berikut:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-7)$$

Keterangan :

$\nu$	= viskositas kinematik	[m <sup>2</sup> / s]
$\mu$	= viskositas dinamik	[N.s/ m <sup>2</sup> ]
$\rho$	= densitas / massa jenis	[kg/m <sup>3</sup> ]



Gambar 2.8 Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm.

Sumber: White, 1994; 388

Pada Gambar 2.7 terlihat viskositas kinematik dari berbagai fluida pada 1 atm. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk fluida cair viskositas kinematik ( $\nu$ ) akan menurun seiring meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas sebaliknya, yaitu dengan meningkatnya temperatur maka viskositasnya juga meningkat. Menurut (Streeter, 1996: 8) perbedaan dalam kecenderungan terhadap temperatur dikarenakan tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tersebut tergantung pada kohesinya dan laju perpindahan momentum molekulernya. Fluida cair yang memiliki ikatan-ikatan molekul yang jauh lebih rapat daripada gas. Kohesi merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan karena kohesi berkurang dengan naiknya temperatur, maka demikian pula dengan viskositasnya. Sebaliknya gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekuler. Viskositas akan bertambah jika pertukaran kalor yang acak antar molekul-molekulnya, sehingga meningkatnya temperatur mengakibatkan viskositasnya juga akan meningkat (Nekrasov, 1960).

## 2. Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser/gaya yang bekerja padanya. Secara matematis dapat dituliskan Persamaan 2-4 sebagai berikut :

$$F = \mu \cdot \frac{AU}{t} \quad (2-8)$$

Keterangan:

F	= gaya geser pada fluida	[N]
$\mu$	= viskositas Absolut	[N.s/ m <sup>2</sup> ]
U/t	= kecepatan sudut garis <i>ab</i>	[m <sup>2</sup> /s]

Viskositas suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu

### a) Suhu

Viskositas berbanding terbalik dengan suhu. Jika suhu naik maka viskositas akan turun, dan begitu pula sebaliknya. Hal ini disebabkan karena adanya gerakan partikel-partikel cairan yang semakin cepat apabila suhu ditingkatkan dan menurun kekentalannya.

### b) Konsentrasi larutan

Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula, karena konsentrasi larutan menyatakan banyaknya partikel zat yang terlarut tiap satuan volume. Semakin banyak partikel yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula.

### c) Tekanan

Viskositas berbanding lurus dengan tekanan, karena semakin besar tekanannya, cairan akan semakin sulit mengalir akibat dari beban yang dikenakannya.

## 2.6 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan bentuk turunan dari hukum kekekalan massa. Pada saat kondisi aliran *steady*, massa fluida yang melalui semua bagian dalam arus fluida persatuan waktu adalah sama. Hal ini berarti massa fluida persatuan waktu yang mengalir pada sembarang titik adalah konstan.



$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad (\text{Douglas, 1961:115})(2-9)$$

Maka persamaan kontinuitas dinyatakan dengan rumus :

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 \quad (2-10)$$

Untuk fluida – fluida *incompressible*, maka  $\rho = \text{konstan}$ , jadi persamaan kontinuitas dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (2-11)$$

Keterangan :

$Q$  = Debit fluida [m<sup>3</sup>/s]

$\rho$  = Massa jenis fluida [Kg/m<sup>3</sup>]

$V$  = Kecepatan aliran [m/s]

$A$  = Luas penampang aliran [m<sup>2</sup>]

Dimana debit fluida merupakan besarnya jumlah fluida yang mengalir per satuan waktu. Jadi, persamaan kontinuitas menyatakan bahwa semakin kecil luas penampang aliran, maka kecepatan fluida akan bertambah, begitu juga sebaliknya jika luas penampang aliran membesar maka kecepatan aliran fluida akan berkurang.

## 2.7 Persamaan Bernoulli

Adalah suatu persamaan yang menjelaskan berbagai hal yang berkaitan dengan energi fluida yang meliputi energi kecepatan, tinggi permukaan zat cair dan tekanannya. Disebut juga sebagai Hukum Bernoulli, yaitu hukum yang digunakan untuk menjelaskan perubahan bentuk energi fluida *incompressible* dan *inviscid* sepanjang *streamline* dalam keadaan *steady*. Zat cair (fluida *incompressible*) yang mengalir melalui saluran tertutup



(pipa) mempunyai tekanan statis, kecepatan dan ketinggian ( $z$ ) yang diukur dari bidang referensi. *Head*/energi spesifik tiap satuan berat dinyatakan dengan:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2-12)$$

Keterangan :

$p$	= Tekanan statis	[N/m <sup>2</sup> ]
$\gamma$	= Berat jenis fluida	[kg/m <sup>2</sup> .s <sup>2</sup> ]
$v$	= Kecepatan fluida	[m/s]
$g$	= Percepatan gravitasi bumi	[m/s <sup>2</sup> ]
$z$	= Elevasi	[m]

## 2.8 Pressure Drop

*Pressure drop* merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada dua titik aliran fluida. Penurunan tekanan terjadi karena adanya gaya gesek antara fluida dan dinding pipa pada saat fluida mengalir. Faktor utama yang mempengaruhi penurunan tekanan tersebut ialah kecepatan dan viskositas fluida itu sendiri. Penurunan tekanan berbanding lurus dengan gaya gesek, kecepatan fluida dan viskositas fluida, sesuai dengan rumus :

$$\Delta P = \gamma \left[ \Delta h + \frac{v_2^2}{2g} \left( 1 - \left( \frac{A_2^2}{A_1^2} \right) \right) \right] \quad (2-13)$$

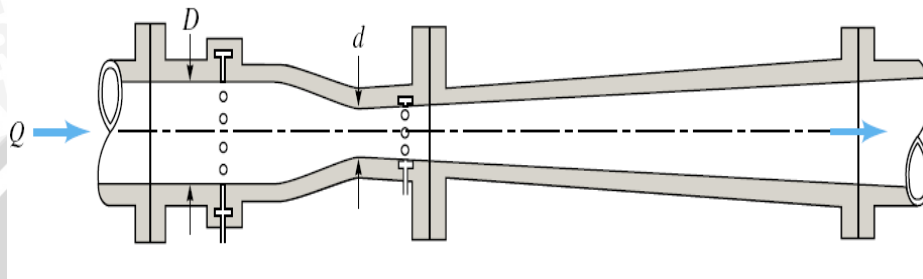
Keterangan :

$\Delta P$	= <i>Pressure drop</i>	[Pa]
$v$	= Kecepatan aliran fluida	[m <sup>2</sup> /s]
$p$	= Massa jenis	[kg/m <sup>3</sup> ]
$A$	= Luas penampang	[m <sup>2</sup> ]

## 2.9 Venturi

Pipa venturi merupakan sebuah pipa yang memiliki penampang bagian tengahnya lebih sempit dan diletakkan mendatar dengan dilengkapi dengan pipa pengendali untuk mengetahui permukaan air yang ada sehingga besarnya tekanan dapat diperhitungkan. Dalam pipa venturi ini luas penampang pipa bagian tepi memiliki penampang yang lebih luas daripada bagian tengahnya atau diameter pipa bagian tepi lebih besar daripada bagian tengahnya. Zat cair dialirkan melalui pipa yang penampangnya lebih besar lalu akan

mengalir melalui pipa yang memiliki penampang yang lebih sempit, dengan demikian maka akan terjadi perubahan kecepatan. Apabila kecepatan aliran yang melalui penampang lebih besar adalah  $v_1$  dan kecepatan aliran yang melalui pipa sempit adalah  $v_2$ , maka kecepatan yang lewat pipa sempit akan memiliki laju yang lebih besar ( $v_1 < v_2$ ). Dengan cara demikian tekanan yang ada pada bagian pipa lebih sempit akan menjadi lebih kecil daripada tekanan pada bagian pipa yang berpenampang lebih besar. Lihat gambar di bawah ini.



Gambar 2.9 Venturi

Sumber: *Anonymous* 5, 2013

Pada tabung venturi berlaku hukum bernoulli sebagai berikut :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g} \quad (2-14)$$

Jika tabung venturi dalam posisi horizontal, maka  $z_1$  dan  $z_2$  dihilangkan. Pada tabung venturi juga berlaku hukum kontinuitas, yaitu :

Pada aliran fluida satu-fase :

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (2-15)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2) / \rho}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (2-16)$$

Pada aliran fluida dua-fase :

$$j_g = \frac{Q_g}{A} \quad (2-17)$$

$$j_f = \frac{Q_f}{A} \quad (2-18)$$

$$G = \frac{W}{A} = \rho u = \frac{u}{v} \quad (2-19)$$

$$G_g = j_g \rho_g = Gx \quad (2-23)$$

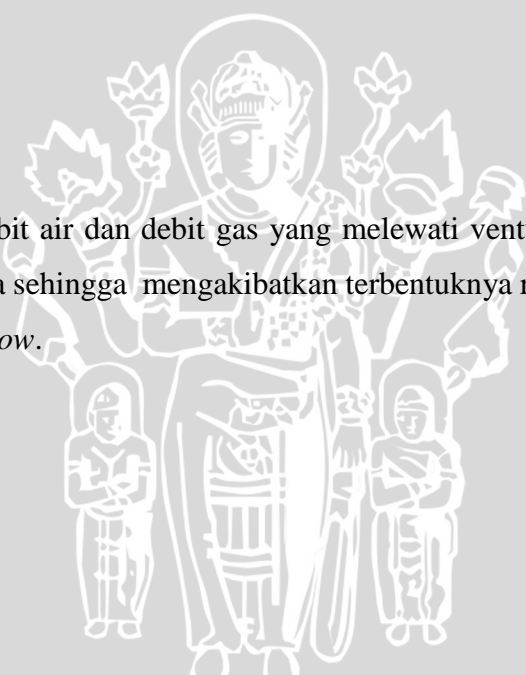
$$G_f = j_f \rho_f = G(x - 1) \quad (2-20)$$

Keterangan :

- $j$  = *Superficial velocity* [m/s]
- $G$  = *Mass velocity* [kg/m<sup>2</sup>s]
- $P$  = *Density* [kg/m<sup>3</sup>]
- $x$  = *Mass quality*
- $g$  = *Fase gas*
- $f$  = *Fase cair*

## 2.10 Hipotesa

Semakin tinggi debit air dan debit gas yang melewati venturi, maka *superficial velocity* semakin besar pula sehingga mengakibatkan terbentuknya rezim aliran *stratified flow, plug flow dan slug flow*.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen (*true experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh debit air dan gas pada aliran dua fase terhadap beda tekanan dan rezim alirannya. Kajian literatur dari berbagai sumber, baik berupa buku maupun jurnal yang terkait dengan penelitian ini digunakan untuk menambahkan informasi yang diperlukan.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Data yang diambil dalam penyusunan skripsi ini baik pengambilan data beda potensial pada pipa venturi maupun foto rezim aliran dua fase dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Untuk waktu penelitiannya dilaksanakan pada 17 Mei – 31 Juli.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat 3 variabel yang digunakan yaitu:

##### 1. Variabel Bebas

Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan ialah debit air sebesar 3 l/min, 6 l/min, 9 l/min, 12 l/min, 15 l/min dan debit gas sebesar 3 l/min, 6 l/min, 9 l/min, 12 l/min, 15 l/min.

##### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah kecepatan superficial aliran dua fase, *flow pattern* dan *pressure differential*.

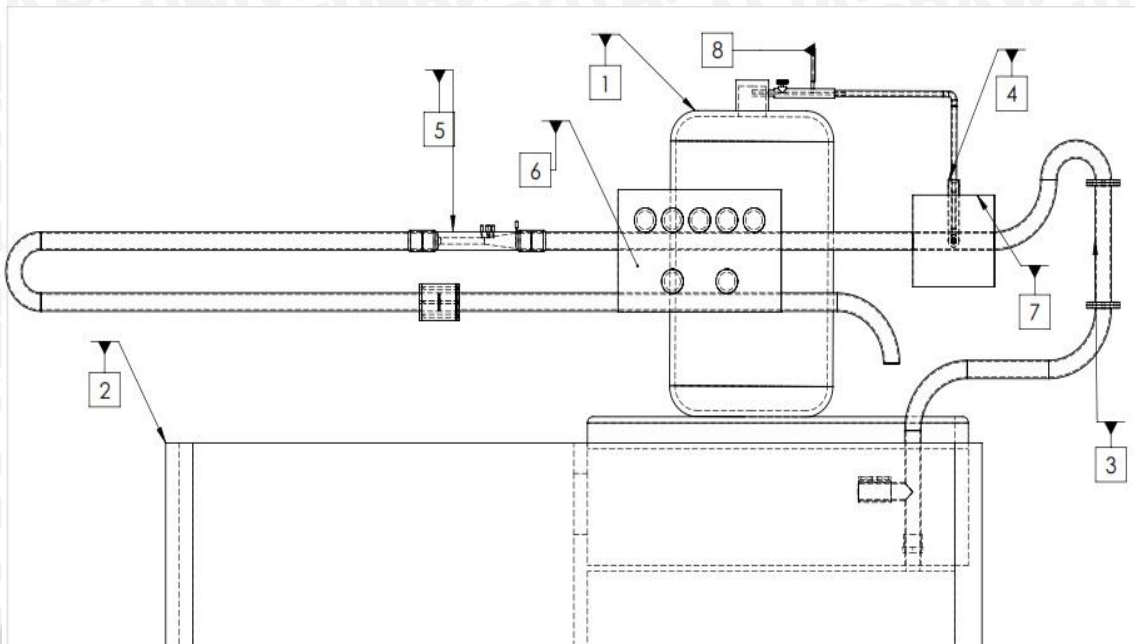
##### 3. Variabel Terkontrol

Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

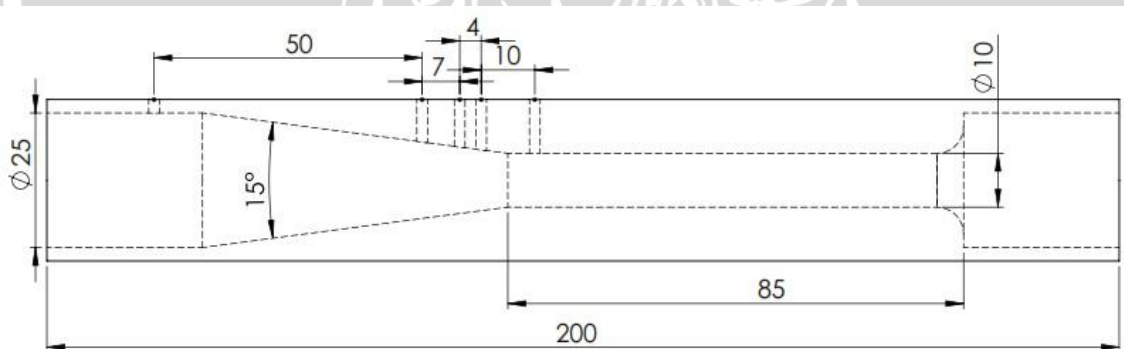
- Fluida yang digunakan air dan udara pada suhu 27°C
- Sistem adiabatik

### 3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi sitem aliran dua fase :



Gambar 3.1 Instalasi Penelitian  
Sumber : Arsip Pribadi



Gambar 3.2 Venturi  
Sumber : Arsip Pribadi

Keterangan:

1. Tabung kompresor
2. *Hydraulic bench*
3. *Rotameter*
4. *Flowmeter*
5. Venturi
6. Manometer

7. *Mixer chamber*
8. *Pressure gauge*

### 3.5 Alat yang Digunakan

#### 3.5.1 Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

##### 1. Pompa air

Digunakan untuk memompa fluida cair pada sistem.

Spesifikasi :

- Tipe : PV 52
- Tegangan : 230/250 V
- Daya : 250 Watt
- Putaran : 5000 r/min

##### 2. Kompresor

Digunakan untuk mengompresi fluida gas pada sistem.

Spesifikasi :

- Tipe : YC90S-4
- Tegangan : 220 V
- Daya : 750 Watt
- Putaran : 1400 r/min

##### 3. *Rotameter*

Pada penelitian ini *rotameter* digunakan untuk mengukur debit fluida cair yang dialirkan.

##### 4. *Flowmeter* Udara

*Flowmeter* pada penelitian ini berfungsi untuk mengukur debit fluida gas yang dipakai.

##### 5. *Pressure Gauge*

*Pressure Gauge* berfungsi untuk mengukur tekanan. Pada penelitian ini *pressure Gauge* digunakan untuk mengukur tekanan yang terjadi pada pipa venturi.

##### 6. Kamera Digital

Digunakan untuk mengambil gambar rezim aliran yang terbentuk pada pipa venturi.

### 3.5.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah

a. Aquades pada :

- $T = 27^{\circ}\text{C}$     -  $p = 996.54 \text{ kg/m}^3$
- $P = 1 \text{ atm}$
- $v = 8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

b. Udara pada :

- $T = 27^{\circ}\text{C}$     -  $p = 1.1763 \text{ kg/m}^3$
- $P = 1 \text{ atm}$
- $v = 1.57 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Persiapan Instalasi

Persiapan instalasi disini terdiri dari menyiapkan fluida yang akan digunakan, mengecek instalasi yang akan digunakan dan mengkalibrasi semua alat ukurnya. Mengecek instalasi dilakukan untuk memastikan tidak ada kesalahan saat pengambilan data.

#### 3.6.2 Pengambilan Data

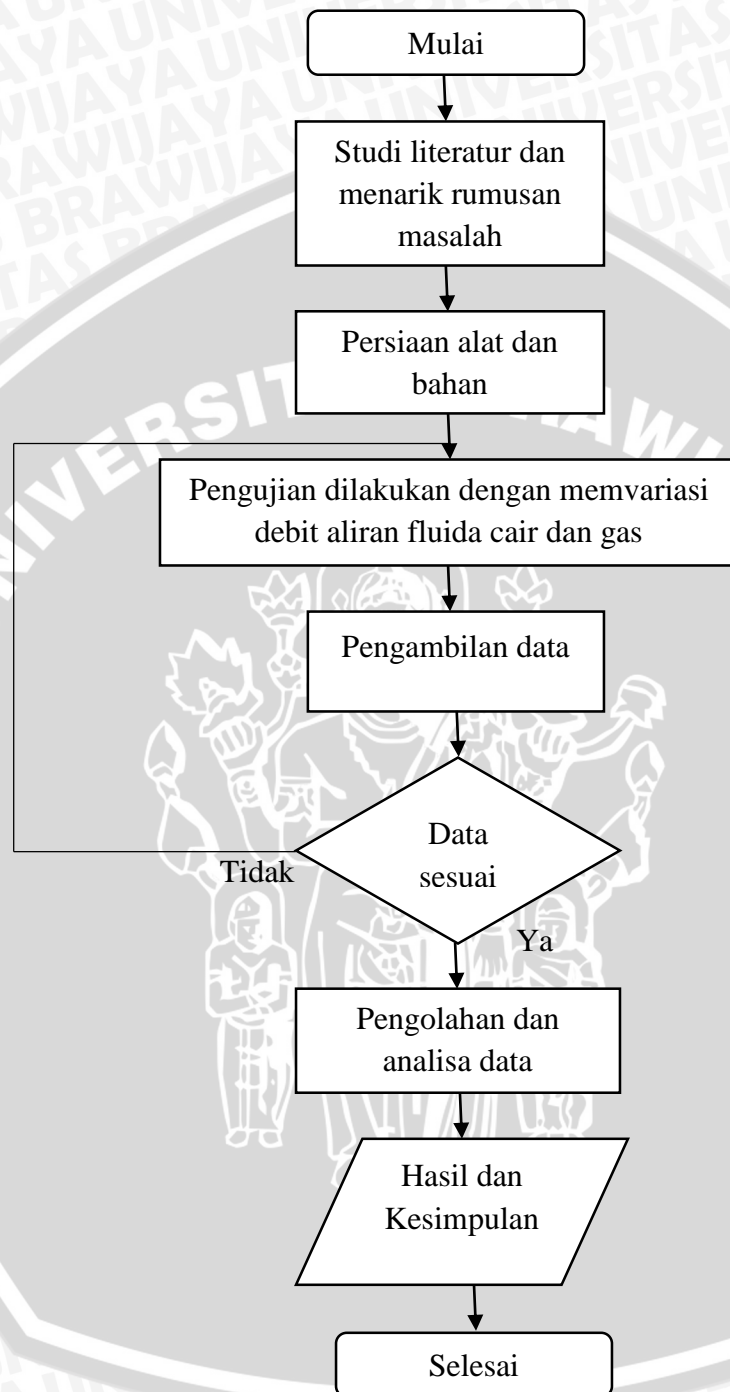
Sebelum pengambilan data dilakukan, terlebih dahulu menghidupkan pompa dan kompresor. Kemudian mengatur debit fluida cair maupun gas sesuai dengan yang ditentukan dengan menggunakan katup pada fluida cair dan *flowmeter* pada fluida gas. Setelah itu dilakukan pengambilan data. Pengambilan data pada penelitian ini terdiri dari dua bagian yaitu mengukur beda tekanan pada pipa venturi dengan menggunakan *pressure gauge* dan mengambil gambar *flow pattern* pada pipa venturi menggunakan kamera digital dengan variasi debit air dan udara.

#### 3.6.3 Analisa Data

Data yang diperoleh dari pengamatan yaitu *pressure drop* dan rezim aliran. *Pressure drop* yang diperoleh digunakan untuk menghitung kecepatan superfisial ( $v$ ) dan laju massa alir ( $G$ ). Sedangkan data hasil visualisasi langsung dikategorikan berdasarkan bentuknya.

### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilakukan seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian  
Sumber : Arsip Pribadi



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengolahan Data

Hasil penelitian karakteristik aliran dua fase pada venturi ini sedikit berbeda dengan hipotesis yang telah dibuat, berikut hasil penelitiannya. Pada bab ini dilakukan pembahasan tentang data hasil pengujian, contoh perhitungan, grafik beserta analisisnya dan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

#### 4.2 Data Hasil Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan dua pengamatan yaitu pengamatan *pressure drop* pada venturi menggunakan manometer U dan pengamatan rezim aliran dua fase yang terjadi pada venturi menggunakan kamera digital. Adapun data yang didapat pada penelitian ini adalah:

Tabel 4.1 Distribusi tekanan fluida satu fase pada venturi dengan debit air sebesar 9 l/min

No.	$\Delta h$ [m]	$\Delta P$ [Pa]
1.	0,1083	1062,75
2.	0,0783	768,45
3.	0,0500	490,5
4.	-0,0050	-49,05
5.	-0,0517	-506,85

Tabel 4.2 Distribusi tekanan fluida dua fase pada venturi dengan debit air sebesar 3 l/min dan debit udara sebesar 6 l/min.

No.	$\Delta h$ [mm]	$\Delta P$ [Pa]
1.	0,0567	555,9
2.	0,0433	425,1

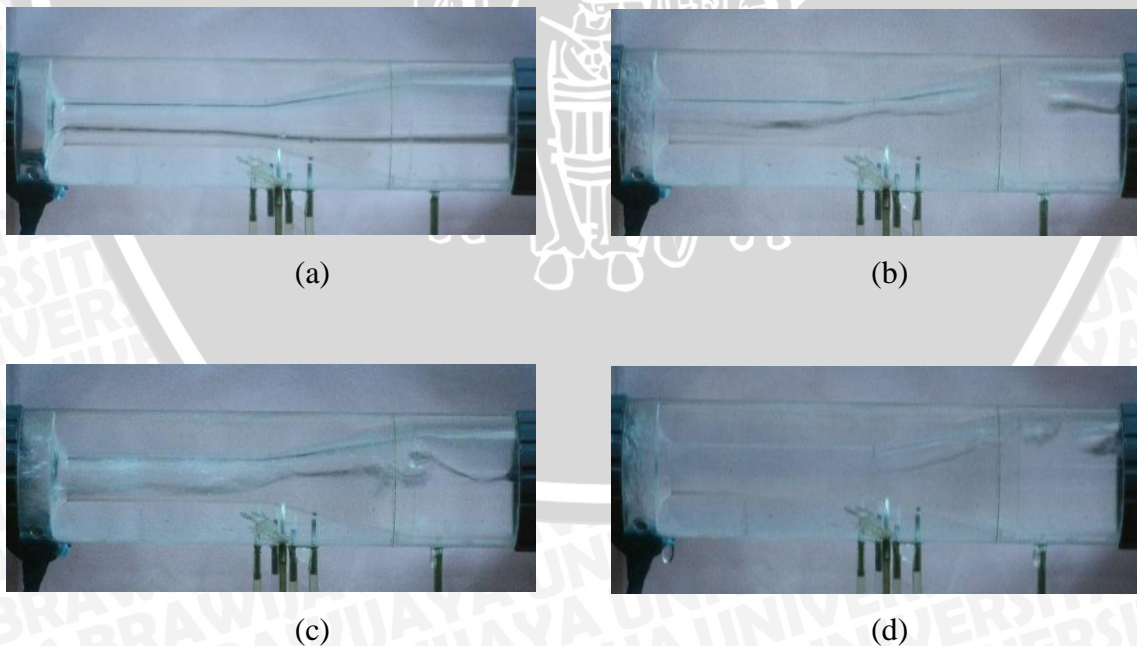
3.	0,0283	277,95
4.	-0,0033	-32,7
5.	-0,0350	-343,35

Tabel 4.3 *Pressure drop* yang terjadi pada venturi dengan debit yang bervariasi.

No.	Q [l/s]		$\Delta h$ [m]	$\Delta P$ [pa]	G [kg/m <sup>2</sup> s]	
	$Q_l$	$Q_g$			$G_l$ [kg/m <sup>2</sup> s]	$G_g$ [kg/m <sup>2</sup> s]
1	0,05	0,00	0,04	392,4	0	98,81423
2	0,1	0,00	0,1	981	0	197,6285
3	0,15	0,00	0,205	2011,05	0	296,4427
4	0,2	0,00	0,375	3678,75	0	395,2569
5	0,25	0,00	0,57	5591,7	0	494,0711
6	0,05	0,05	0,06	588,6	0,121542	98,81423
7	0,1	0,05	0,14	1373,4	0,121542	197,6285
8	0,15	0,05	0,23	2256,3	0,121542	296,4427
9	0,2	0,05	0,42	4120,2	0,121542	395,2569
10	0,25	0,05	0,59	5787,9	0,121542	494,0711
11	0,05	0,10	0,065	637,65	0,243083	98,81423
12	0,1	0,10	0,15	1471,5	0,243083	197,6285
13	0,15	0,10	0,25	2452,5	0,243083	296,4427
14	0,2	0,10	0,43	4218,3	0,243083	395,2569
15	0,25	0,10	0,62	6082,2	0,243083	494,0711
16	0,05	0,15	0,075	735,75	0,364625	98,81423
17	0,1	0,15	0,165	1618,65	0,364625	197,6285
18	0,15	0,15	0,27	2648,7	0,364625	296,4427

19	0,2	0,15	0,54	5297,4	0,364625	395,2569
20	0,25	0,15	0,83	8142,3	0,364625	494,0711
21	0,05	0,20	0,08	784,8	0,486166	98,81423
22	0,1	0,20	0,18	1765,8	0,486166	197,6285
23	0,15	0,20	0,29	2844,9	0,486166	296,4427
24	0,2	0,20	0,56	5493,6	0,486166	395,2569
25	0,25	0,20	0,84	8240,4	0,486166	494,0711
26	0,05	0,25	0,09	882,9	0,607708	98,81423
27	0,1	0,25	0,185	1814,85	0,607708	197,6285
28	0,15	0,25	0,3	2943	0,607708	296,4427
29	0,2	0,25	0,59	5787,9	0,607708	395,2569
30	0,25	0,25	0,85	8338,5	0,607708	494,0711

Untuk pengamatan yang kedua dengan menggunakan kamera digital diperoleh 4 macam rezim aliran, yaitu :



Gambar 4.1 (a) *Stratified Flow*, (b) *Slug Flow*, (c) *Wavy Flow*, (d) *Plug Flow*  
Sumber : Arsip Pribadi

### 4.3 Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan diambil dari data variasi debit air 6 l/min dan debit udara 6 l/min.

- Perhitungan nilai *pressure drop*

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho \cdot g \cdot \Delta h \\ &= 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \\ &= 1471,5 \text{ Pa} \\ &= 1,4715 \text{ KPa}\end{aligned}$$

- Perhitungan *superficial velocity*

$$\begin{aligned}j_l &= \frac{Q_l}{A} \\ &= \frac{10^{-4}}{5,06 \cdot 10^{-4}} \\ &= 0,198 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}j_g &= \frac{Q_g}{A} \\ &= \frac{10^{-4}}{5,06 \cdot 10^{-4}} \\ &= 0,198 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}j &= j_l + j_g \\ &= 0,198 + 0,198 \\ &= 0,396 \text{ m/s}\end{aligned}$$

- Perhitungan *mass velocity*

$$\begin{aligned}G_g &= j_g \cdot \rho_g \\ &= 0,198 \cdot 1,23 \\ &= 0,24 \text{ kg/m}^2\text{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_l &= j_l \cdot \rho_l \\ &= 0,198 \cdot 1000 \\ &= 198 \text{ kg/m}^2\text{s}\end{aligned}$$



- Perhitungan parameter baker map

$$\psi = \left( \frac{\sigma_{water}}{\sigma} \right) \left[ \left( \frac{\mu_l}{\mu_{water}} \right) \left( \frac{\rho_{water}}{\rho_l} \right)^2 \right]^{1/3}$$

$$= \left( \frac{0,072}{0,075} \right) \left[ \left( \frac{0,001}{0,001} \right) \left( \frac{1000}{1000} \right)^2 \right]^{1/3} = 1$$

$$\lambda = \left[ \frac{\rho_g}{\rho_{air}} - \frac{\rho_l}{\rho_{water}} \right]^{1/2}$$

$$= \left( \frac{1,23}{1,23} \frac{1000}{1000} \right)^2 = 1$$

#### 4.4 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk menganalisa distribusi tekanan pada venturi, karakteristik aliran dan rezim aliran dengan variasi debit air dan debit udara. Pada pembahasan ini terdapat tiga grafik yaitu hubungan *superficial velocity* terhadap *pressure drop*, grafik distribusi tekanan dan grafik rezim aliran dengan variasi debit air dan udara.

##### 4.4.1 Analisa Grafik Hubungan Jarak Venturi terhadap Tekanan yang terjadi pada Debit Air 6 L/MIN dan Debit Udara 6 L/MIN



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Jarak Titik Pengukuran Venturi Pada Aliran Satu Fase dan Dua Fase

Gambar 4.2 diatas menjelaskan tentang bagaimana pengaruh jarak venturi terhadap tekanan yang terjadi. Jarak venturi pada grafik tersebut juga mewakili diameter venturi dimana semakin besar jarak venturi, diameternya semakin kecil. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar jarak venturi mengakibatkan tekanannya semakin rendah baik yang satu fase maupun dua fase. Grafik tersebut sudah sesuai dengan hukum bernoulli dan hukum kontinuitas, yaitu:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v^2_1}{2.g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v^2_2}{2.g}$$

$$Q = V_1 . A_1 = V_2 . A_2$$

Keterangan :

p = Tekanan statis [N/m<sup>2</sup>]

γ = Berat jenis fluida [kg/m<sup>2</sup>.s<sup>2</sup>]

v = Kecepatan fluida [m/s]

g =Percepatan gravitasi bumi [m/s<sup>2</sup>]

z = Elevasi [m]

Dari persamaan diatas terlihat bahwa tekanan berbanding lurus dengan luas penampang, sehingga semakin kecil luas penampang pipa venturi mengakibatkan tekanannya menurun.

Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa tekanan aliran satu fase pada *upstream* lebih tinggi dari aliran dua fase sedangkan pada *downstream* tekanan aliran satu fase lebih rendah dari aliran dua fase. Hal tersebut sudah sesuai dengan rumus kecepatan superfisial, yaitu :

$$j = j_l + j_g$$

$$j_l = \frac{Q_l}{A}$$

$$j_g = \frac{Q_g}{A}$$

Keterangan:

$j$  = Kecepatan superfisial total [m/s]

$j_l$  = Kecepatan superfisial air [m/s]

$j_g$  = Kecepatan superfisial udara [m/s]

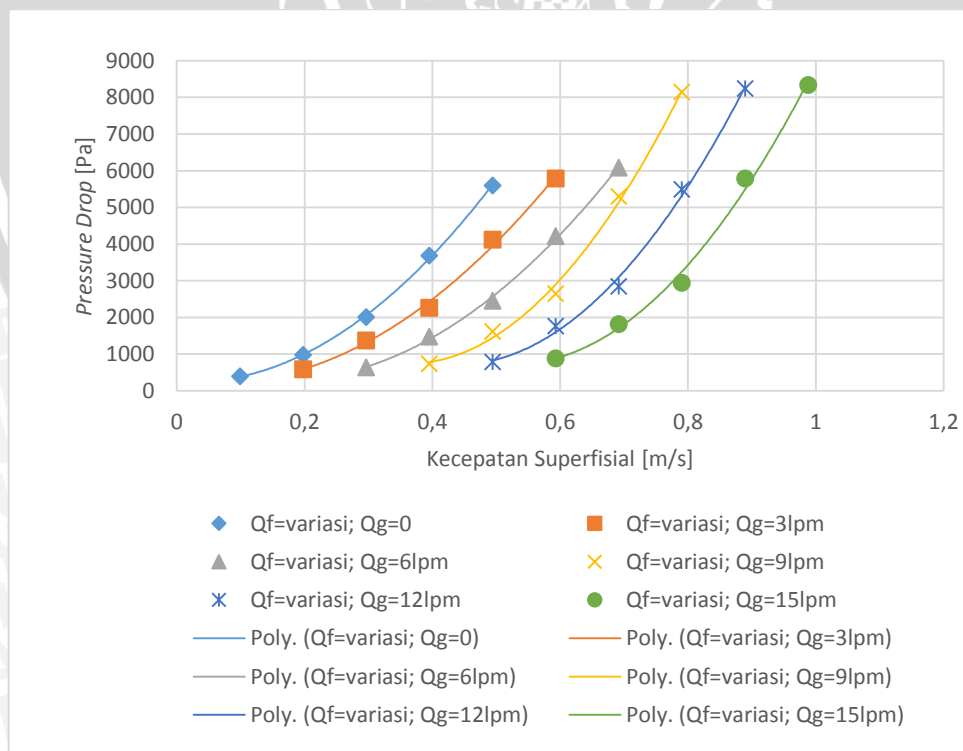
$Q$  = Debit [m<sup>3</sup>/s]

$A$  = Luasan Hidrolik [m<sup>2</sup>]

Pada rumus diatas menunjukkan bahwa pada aliran satu fase memiliki kecepatan superfisial air ( $j_l$ ) yang lebih tinggi dari pada aliran dua fase. Sedangkan kecepatan sendiri berbanding terbalik dengan tekanan. Namun hal tersebut tidak berlaku pada *upstream* di venturi, karena pada titik tersebut terdapat tekanan balik sehingga jika debit air semakin besar maka tekanan baliknya semakin besar pula dan mengakibatkan tekanannya meningkat.

#### 4.4.2 Analisa Grafik Hubungan Kecepatan Superfisial terhadap *Pressure Drop* dengan Variasi Debit Air dan Udara

Pada pengamatan ini dilakukan beberapa variasi dengan debit udara dan debit air yang berbeda. Berikut ini merupakan grafik hasil pengamatan yang telah diperoleh:



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Kecepatan Superfisial terhadap *Pressure Drop* dengan Variasi Debit Air dan Udara

Pada gambar 4.3 diatas menjelaskan bagaimana pengaruh kecepatan superfisial fluida terhadap *pressure drop* yang terjadi pada debit fluida yang bervariasi. Terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan superfisial fluida maka *Pressure drop* yang terjadi semakin besar pula. Hal tersebut berhubungan dengan analisa grafik sebelumnya, dimana semakin tinggi kecepatan superfisial maka pada titik *upstream* terjadi tekanan balik yang semakin besar mengakibatkan tekanannya meningkat sedangkan pada titik *downstream* tekanannya semakin menurun sehingga mengakibatkan *pressure drop* yang terjadi semakin besar.

Pada gambar 4.3 juga terlihat bahwa semakin rendah prosentase debit air terhadap debit udara maka *pressure drop* yang terjadi semakin kecil. Hal tersebut sesuai dengan rumus:

$$W_g + W_f = W$$

$$W_g = A_g \cdot \rho_g \cdot v_g$$

$$W_f = A_f \cdot \rho_f \cdot v_f$$

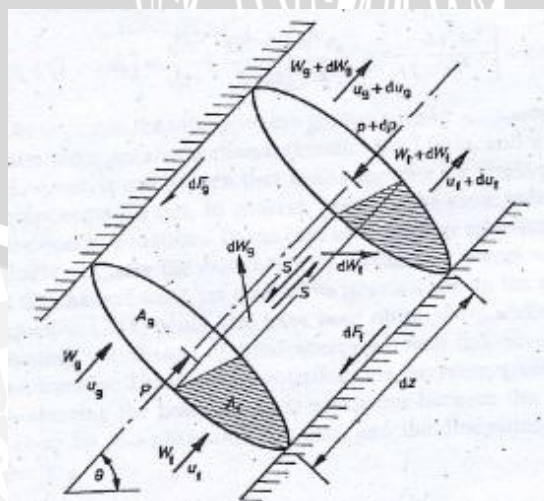
Keterangan :

W = Massa alir [kg/s]

$\rho$  = Massa jenis fluida [kg/m<sup>3</sup>]

A = Luasan fluida [m<sup>2</sup>]

v = Kecepatan fluida [m/s]



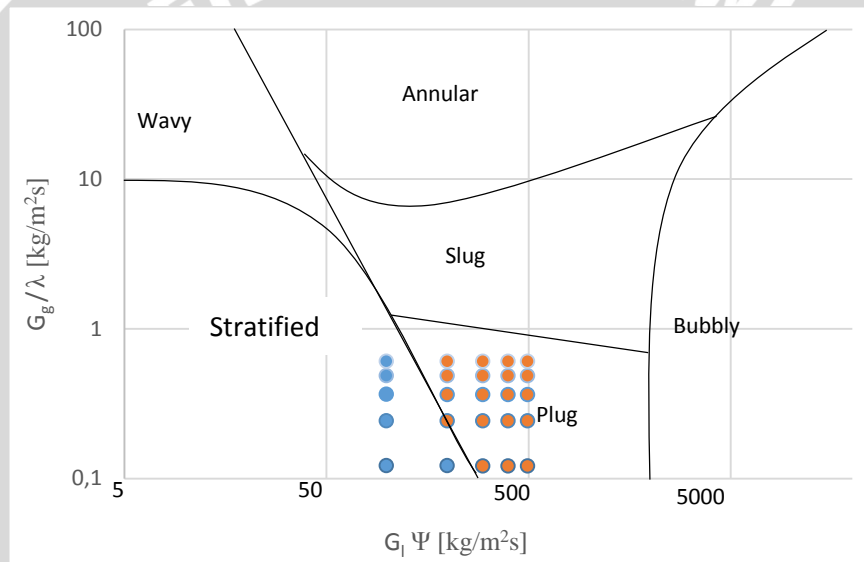
Gambar 4.4 Sempel model aliran dua fase  
Sumber : White,1997: 25



Dari rumus dan gambar diatas menunjukkan bahwa semakin besar debit udara maka semakin besar pula massa alirnya. Semakin besar massa alir udara, semakin besar pula luasan udara dan mengakibatkan semakin kecilnya luasan fluida cair dalam pipa venturi. Sehingga tekanan pada titik *upstream* semakin rendah dan mengakibatkan *pressure drop*nya semakin rendah pula.

#### 4.3 Analisa Rezim Aliran yang Terbentuk dengan Variasi Debit Air dan Debit Udara

Dengan menggunakan baker map, pada variasi debit air dan udara 3 l/min, 6 l/min, 9 l/min, 12 l/min, 15 l/min dihasilkan rezim aliran sebagai berikut:

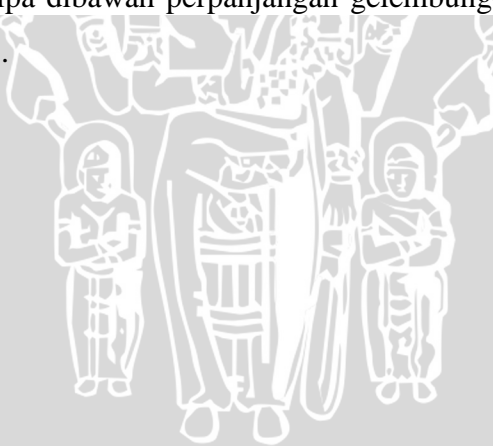


Gambar 4.5 Baker Map dengan Variasi Debit Air dan Udara  
Sumber : White, 1972; 18

Pada gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa dengan variasi debit air dan debit udara 3 l/min, 6 l/min, 9 l/min, 12 l/min, 15 l/min dihasilkan rezim aliran *stratified* dan *plug*. Sedangkan pada aktulanya dengan variasi debit air dan debit udara yang sama dihasilkan rezim aliran *stratified*, *wavy*, *slug*, *plug*. Dari dua grafik tersebut terdapat perbedaan, hal tersebut dikarenakan pada baker map pipa yang digunakan yaitu pipa horizontal lurus sedangkan pada penelitian ini menggunakan pipa venturi. Sehingga karena faktor perubahan penampang tersebut mengakibatkan rezim aliran yang terbentuk berbeda.

Selain perubahan luas penampang, terbentuknya rezim aliran tersebut juga dipengaruhi oleh kecepatan superfisial air ( $j_l$ ) dan kecepatan superfisial udara ( $j_g$ ). Pada

penelitian ini terbentuknya rezim aliran *stratified* terjadi ketika kecepatan superfisial gas makin tinggi dan kantung gas yang terbentuk akan makin besar dan terjadi separasi antara fase cair dan gas dengan gas pada bagian atas dan cair pada bagian bawah. Pada aliran *stratified* ini aliran batas cair cenderung datar seperti terlihat pada gambar 4.1 (a). Rezim aliran *slug* terjadi pada kecepatan superfisial air yang tinggi dan kecepatan superfisial udara rendah sehingga terbentuk gelombang yang makin besar dan bagian likuid akan menempel pada dinding bagian atas dan akan terjadi lagi kantung gas yang relatif besar dinamakan aliran *slug*. Diameter perpanjangan gelembung-gelembung menjadi sama ukurannya dengan tinggi saluran seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 (b). Sedangkan rezim aliran *wavy* terjadi pada kecepatan superfisial air rendah dan kecepatan superfisial udara yang tinggi sehingga terbentuk gelombang pada aliran likuid seperti gambar 4.1 (c). Adapun rezim aliran *plug* terjadi ketika gelembung-gelembung berdesakan dikarenakan kecepatan superfisial gas dan udara semakin tinggi sehingga membentuk gelembung yang lebih besar/kantung gas pada bagian atas saluran. Rezim aliran ini dipisahkan oleh perpanjangan gelembung-gelembung gas. Diameter perpanjangan gelembung-gelembung lebih kecil dari diameter pipa sedangkan fase cair kontinu sepanjang dasar pipa dibawah perpanjangan gelembung-gelembung ini seperti terlihat pada gambar 4.1(d).



## BAB V PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

1. Distribusi tekanan aliran dua fase maupun aliran satu fase pada venturi memiliki pola dan kecenderungan yang sama.
2. Dengan debit total yang sama *pressure drop* pada aliran satu fase lebih besar daripada aliran dua fase.
3. Semakin besar prosentase air pada aliran dua fase mengakibatkan *pressure dropnya* meningkat.
4. Semakin tinggi kecepatan superficial aliran dua fase mengakibatkan semakin tinggi pula *pressure dropnya*.
5. Dengan menggunakan parameter dari baker map, variasi debit udara dan debit air sebesar 3 l/min, 6 l/min, 9 l/min, 12 l/min, 15 l/min dihasilkan rezim aliran *stratified* dan *plug*. Sedangkan pada penelitian ini dihasilkan rezim aliran *stratified*, *slug*, *wavy* dan *plug*, dikarenakan terdapat perbedaan luas penampang pada pipa venturi.

### 5.2 SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang aliran dua fase pada venturi dengan menggunakan variasi fluida yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi debit yang lebih variatif