

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Gradien tekanan merupakan penurunan tekanan per satuan panjang sepanjang jalur aliran. Suatu hal yang mempengaruhi suatu gradien tekanan adalah viskositas. Selain itu hal yang sangat mempengaruhi suatu gradien tekanan secara signifikan adalah kecepatan superfisial gas maupun cairan. Penelitian tentang gradien tekanan dan *holdup* dalam aliran dua fase udara-air dengan arah horizontal pernah dilakukan oleh (Badie dkk., 2000). Pada penelitian tersebut menggunakan pipa berdiameter 0,079 m. Gradien tekanan dan data *holdup* dibandingkan menggunakan prediksi dari '*apparent rough surface*' (ARS) dan model '*double-circle*'. Dari kedua prediksi tersebut mampu memprediksi gradien tekanan dengan baik pada kecepatan aliran air-udara yang tinggi. Sebaliknya, pada kecepatan aliran yang rendah prediksi dari kedua metode tersebut memberikan hasil yang kurang baik. Gradien tekanan yang diperoleh sangat bergantung pada *holdup*.

Penelitian tentang penurunan tekanan pada aliran dua fase dengan menggunakan saluran mikro dilakukan oleh (Kawahara dkk., 2002). Ukuran diameter pipa yang digunakan sebesar 100  $\mu\text{m}$ . Hasil yang didapat adalah meningkatnya gradien tekanan gesekan aliran dua fase yang diakibatkan oleh meningkatnya kecepatan gas superfisial ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ). Pada saluran mikro, aliran homogen tidak berhasil menunjukkan data penurunan tekanan dua fase karena perbandingan selip yang didapat sangat besar, sehingga pola aliran dua fase tidak homogen.

Penelitian tentang studi eksperimental pada aliran dua fase dan penurunan tekanan dalam saluran berukuran mini dilakukan oleh (Hassan dkk., 2006). Penelitian tersebut dilakukan dengan pengolahan hasil pengukuran penurunan tekanan menggunakan model aliran homogen, model Freidel, dan model Chisholm kemudian dibandingkan dengan hasil peneliti sebelumnya untuk saluran berukuran 3mm, 1mm, dan 0,8 mm. Hasil dari penelitian tersebut yaitu

perbandingan rezim-peta aliran menunjukkan perbedaan yang umum antara data eksperimen yang dikumpulkan selama percobaan dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya. Setelah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa garis transisi yang disederhanakan memberikan perkiraan yang baik dari transisi rezim dengan rentan peta yang diperbolehkan.

Penelitian tentang karakteristik aliran udara-air, termasuk pola aliran dua fase, fraksi hampa, dan *pressure drop* dilakukan oleh (Wongwises & Saisorn, 2008). Penelitian tersebut dilakukan menggunakan saluran melingkar berbahan silika leburan dengan panjang 320 mm dan memiliki diameter dalam 0,53 mm. Pengujian ini dilakukan dengan kecepatan superfisial gas dan cairan berkisar 0,37-16 [m/s] dan 0,005-3,03 [m/s]. Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan menyelidiki karakteristik aliran dua fase aliran gas-cair melalui saluran mikro melingkar horizontal dengan diameter 0,53 mm. Data yang terkait dengan penurunan tekanan gesekan dua fase menunjukkan ketergantungan fluks massa serta pola aliran pada pengganda gesekan.

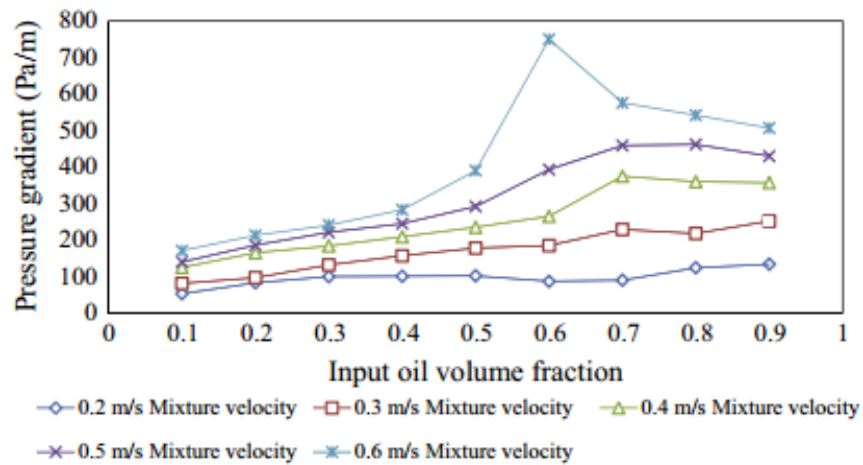
Penelitian tentang penurunan tekanan dari aliran *dry-plug* dua fase (kondisi dinding kering pada bagian-bagian gas) dalam saluran mini dilakukan oleh (Lee & Lee, 2010). Penelitian tersebut menggunakan fluida udara-air yang dialirkan melalui saluran mini yang terbuat dari poliuretan dan teflon dengan diameter 1,62 dan 2,16 mm. Hasilnya Penurunan tekanan akan lebih besar apabila kecepatan superfisial ditingkatkan. Penurunan tekanan oleh garis kontak yang bergerak merupakan parameter penting yang harus dipertimbangkan dalam memprediksi penurunan tekanan pada rezim aliran steker kering.

Penelitian tentang penurunan tekanan (*pressure drop*) aliran dua fase dengan menggunakan fluida gas dan minyak dilakukan oleh (Khaledi dkk., 2014). Diameter dalam pipa yang digunakan yaitu 69 mm. pada penelitian tersebut mendapatkan hasil pengukuran gradien tekanan yang menunjukkan deviasi dalam kelompok percobaan dengan kondisi yang identik. Deviasi dihitung dengan cara yang sama seperti yang dihasilkan oleh ketidakpastian gradien tekanan. Penurunan tekanan pada penelitian tersebut dapat diprediksi dengan baik, tetapi ada beberapa percobaan yang penurunannya terprediksi kurang baik. Hal

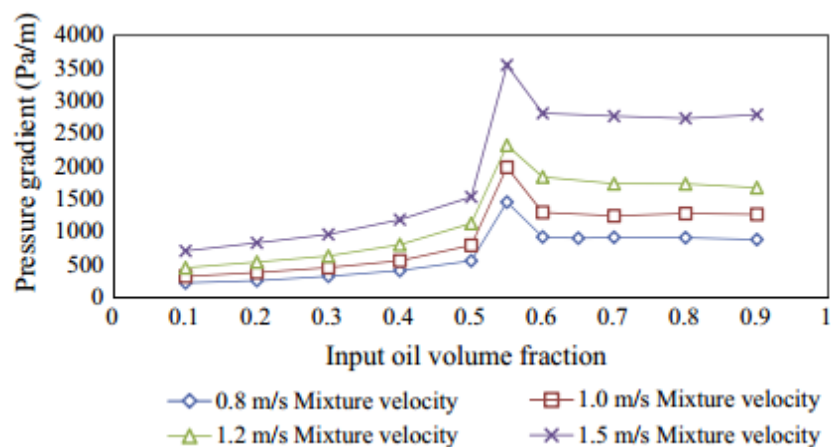
tersebut dikarenakan alat yang digunakan hanya bisa memprediksi aliran laminar atau transisi dalam slug.

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian pola aliran dan penurunan tekanan air yang mengalir dengan campuran minyak yang memiliki viskositas rendah pada pipa horizontal. Penelitian tersebut dilakukan oleh (Mukhaimer dkk., 2015) dengan tujuan menghitung penurunan tekanan minyak-air untuk mendapatkan viskositas campuran dan didefinisikan sebagai perilaku viskos dari campuran fluida yang mengalir di dalam pipa. Pada penelitian tersebut menghasilkan bahwa titik inversi itu sangat bergantung pada kecepatan aliran. Profil penurunan tekanan yang didapat bervariasi karena fraksi minyak mencapai nilai minimum dan maksimum sesuai dengan titik inversi. Puncak pada titik inversi untuk minyak viskositas rendah tidak terlalu jelas, khususnya jika kecepatan aliran kurang dari 4m/s.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Abubakar dkk., 2015) yang meneliti tentang aliran simultan dari dua cairan yang tidak dapat dilarutkan seperti minyak dan air. Dalam penelitian ini gradien tekanan yang diukur dalam kecepatan aliran 0,2-1,5 m/s dan fraksi volume minyak masukan 0,1-0,9. Saluran yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan pipa baja berukuran 1 dan 2 in. kecepatan alirannya bervariasi dari 0,1 hingga 1,5 m/s. Untuk menghasilkan fraksi volume minyak 0,1-0,9 yaitu dengan cara mengubah laju aliran air dan minyak. Hasilnya dimuat dalam bentuk gradien tekanan terhadap fraksi volume minyak masukan. Setelah diamati, peningkatan yang berhubungan dengan peningkatan kecepatan terlihat lebih jelas pada fraksi volume minyak masukan tinggi daripada fraksi volume minyak masukan yang rendah. Oleh karena itu, ketika fraksi volume minyak masukan meningkat, viskositas campuran aliran minyak-air juga akan meningkat yang mengarah ke gradien tekanan tinggi.



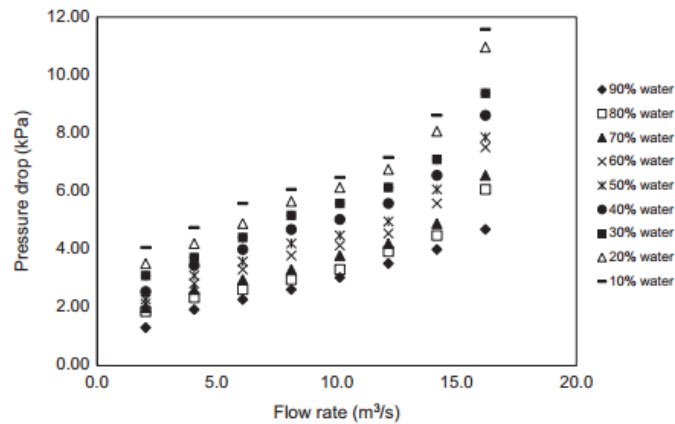
Gambar 2.1 Grafik pressure gradient aliran minyak-air terhadap input fraksi volume minyak yang berbeda untuk berbagai kecepatan campuran 0,2-0,6 m/s. (Abubakar dkk., 2015)



Gambar 2.2 Grafik pressure gradient aliran minyak-air terhadap input fraksi volume minyak yang berbeda untuk berbagai kecepatan campuran 0,8-1,5 m/s. (Abubakar dkk., 2015)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Ismail dkk., 2015) Gambar 2.3 yang meneliti tentang investigasi penurunan gradien tekanan dua fase minyak-air dalam pipa horizontal. Penelitian tersebut dilakukan untuk aliran dua fase minyak-air dalam loop aliran ID 5,08 cm horizontal. Pada penelitian tersebut terjadi penurunan tekanan dan penumpukan cairan pada laju aliran yang berbeda dari aliran dua fase minyak-air. Penurunan tekanan tertinggi yang diperoleh adalah

11,58 kPa pada debit maksimum yaitu 16,21 cm<sup>3</sup>/s dan fraksi minyak 0,9. Penurunan tekanan terendah 1,31 kPa pada debit terendah yaitu 2,30 cm<sup>3</sup>/s dan fraksi air 0,9.



Gambar 2.3 Grafik perbandingan pressure drop terhadap laju aliran  
(Ismail dkk., 2015)

Penelitian tentang karakteristik gradien tekanan pada aliran dua fase udara-campuran air dan 20% gliserin dalam pipa transparan horizontal terbuat dari bahan gelas (kaca) berpenampang sirkular dengan diameter 1,6 mm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan superfisial gas dan cairan terhadap gradien tekanan aliran dua fase udara-campuran air dan 20% gliserin pada pipa berukuran mini yang dipasang pada posisi horizontal. Hasil yang didapat pada penelitian tersebut adalah semakin besar kecepatan superfisial gas ataupun cairan, maka semakin besar pula gradien tekanannya. Karena kecepatan superfisial gas dan superfisial cairan secara signifikan akan menaikkan kecepatan superfisial total dari aliran fluida (*total volumetric flux*), yang secara teoritis mempengaruhi besarnya kenaikan gradien tekanan (Sudarja dkk., 2016).

## 2.2 Dasar Teori

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multifaase. Definisi dari aliran multifase adalah sebuah aliran dengan campuran-campuran dari beberapa fase seperti gas didalam liquid atau sebaliknya. Aliran dua fase memiliki beberapa parameter, salah satunya parameter dasar. Parameter dasar pada aliran

dua fase ini terdiri dari pola aliran, fraksi hampa (void fraction), perubahan tekanan (*pressure gradient* atau *pressure drop*).

Dalam menganalisa aliran gas-cairan terdapat dua metode, yaitu model aliran homogen (*homogenous flow*) dan model aliran terpisah (*separated flow*). Model aliran homogen merupakan metode yang paling mudah untuk menganalisis aliran dua fase. Aliran campuran diperlakukan sebagai aliran tunggal termasuk persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Model *separated flow* mempunyai properti dan kecepatan yang berbeda.

### 2.2.1 Persamaan Dasar dalam Aliran Dua Fase

Pada analisa model aliran homogen, terdapat persamaan dasar untuk model aliran kesetimbangan homogen satu dimensi tunak adalah sebagai berikut :

- a. Kontinuitas

$$\dot{m} = \rho_m v A = \text{const} \quad (2.1)$$

- b. Momentum

$$m \frac{dv}{dz} = -A \frac{dp}{dz} - P \tau_w - A \rho_m g \cos \theta \quad (2.2)$$

- c. Energi

$$\frac{dq}{dz} - \frac{dw}{dz} = \dot{m} \frac{d}{dz} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (2.3)$$

Dimana :

$\dot{m}$  = total laju aliran massa dari cairan dan gas maka  $\dot{m} = \dot{m}_G + \dot{m}_L$

A dan P = luas penampang dan perimeter

$\tau_w$  = tegangan geser dinding rata-rata

$\frac{dq}{dz}$  = perpindahan kalor per unit panjang dari penampang

z = koordinat vertikal

$\theta$  = inklinasi dari penampang ke vertikal

### 2.2.2 Fase

Fase merupakan suatu keadaan zat yang berupa gas, cair maupun padat atau sistem yang dilengkapi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia dan struktur fisiknya. Saat perubahan fase ada energi yang didapat atau dilepaskan,

perubahan fase itu berupa padat menjadi cair begitupun sebaliknya, cair menjadi gas begitupun sebaliknya, dan gas menjadi padat begitupun sebaliknya. Fase padat (solid) memiliki jarak antara molekul yang sangat besar, posisi molekul tetap dan bersusun secara beraturan. Pada titik lebur ikatan molekulnya meleleh dan posisi molekul tidak tetap. Perbandingan karakter fase cair dengan gas terletak pada jarak antar molekulnya dan susunan molekulnya. Fase cair memiliki jarak molekul yang sangat jauh/besar sedangkan fase gas jarak dan susunan molekulnya tidak teratur dan selalu bergerak secara acak.

### 2.2.3 Gliserin

Gliserin adalah senyawa gliserida yang paling sederhana, dengan hidroksil yang bersifat hidrofilik dan higroskopik. Gliserin merupakan komponen yang menyusun berbagai macam lipid, termasuk trigliserida. Gliserin memiliki sifat yang kental dan manis bila dirasa, namun bersifat racun. Senyawa ini merupakan produk sampingan dari saponifikasi (proses pembuatan sabun) dan dapat larut dalam air dan alkohol. Gliserin merupakan cairan yang kental yang tidak berwarna, tidak berbau, banyak digunakan dalam formulasi farmasi.

Sifat-sifat fisik dari gliserin adalah bila dilarutkan dalam air, gliserin akan mengganggu ikatan hidrogen antara molekul-molekul sedemikian rupa sehingga tidak dapat membentuk struktur kristal yang efektif, gliserin memiliki sifat *anti-freeze*, kecuali suhu diturunkan secara signifikan. Larutan gliserin-air tersebut memiliki keuntungan yang memungkinkan viskositas cairan yang akan divariasikan sambil menjaga tegangan permukaan hampir konstan.

### 2.2.4 Viskositas Cairan

Kekentalan (viskositas) merupakan tahanan internal terhadap aliran, beberapa ahli mendefinisikan sebagai gesekan dari fluida. Kekentalan merupakan nilai nilai yang didapat dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*). Contoh fluida yang bisa kita lihat dalam kehidupan sehari-hari diantaranya air, jelly, madu, susu, oli. Viskositas air lebih kecil bila dibandingkan dengan oli karena tegangan geser air kecil, sehingga mudah jatuh. Oli mempunyai tegangan geser internal yang lebih

besar, sehingga saat ditetaskan oli lebih sulit untuk dijatuhkan dibandingkan dengan air.

Fluida ideal yaitu fluida yang tidak memiliki tahanan gesekan terhadap tegangan geser atau disebut juga *inviscid fluid*, berbeda dengan fluida normal yang selalu mempunyai tahanan gesekan terhadap tegangan geser, yang disebut *viskos fluid*. Rheology merupakan ilmu yang mempelajari aliran suatu benda. Yang di dalamnya terdapat konsep viskositas, thermofluid dan yang lainnya. Semakin kecil nilai viskositas maka semakin mudah fluida bergerak.

Viskositas dibagi dalam 2 bentuk yaitu, viskositas dinamik dan kinematik. Viskositas dinamik yaitu ukuran resistensi perbandingan tegangan geser dengan laju perubahan fluida, dimana lapisan yang berdekatan bergerak sejajar satu sama lain dengan kecepatan yang berbeda. Viskositas kinematika juga disebut momentum difusivitas, viskositas kinematik dapat diperoleh dengan membagi viskositas dinamik fluida dengan kerapatan (densitas) fluida, yaitu :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.4)$$

Fluida yang dapat memenuhi persamaan di atas, maka viskositasnya tetap, dan fluidanya dinamakan Newtonian. Newtonian merupakan fluida yang memiliki nilai viskositas konstan, misalnya air dan juga sebagian besar gas. Contoh fluida yang termasuk Newtonian yaitu gas/uap dan cairan encer atau dengan viskositas rendah, sedangkan cairan yang memiliki viskositas yang tinggi atau kental dinamakan fluida non-Newtonian. Viskositas campuran gas dan zat cair yang dicampur secara homogen maka viskositas campuran tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

$\mu_m$  = viskositas campuran gas-zat cair

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



### 2.2.5 Perubahan tekanan

Perbedaan tekanan antara dua titik di dalam saluran pipa disebut *pressure drop*. Penurunan tekanan per satuan panjang sepanjang jalur aliran disebut dengan gradien tekanan. Penurunan tekanan dari satu lokasi ke lokasi lain adalah kekuatan yang mendorong polimer cair mengalir selama pengisian. Pada setiap jenis fluida, gradien tekanan dipengaruhi oleh *specify gravity* jenis fluida tersebut. Penurunan tekanan total fluida dapat terjadi karena variasi energi kinetik dan potensial aliran, selain itu juga bisa diakibatkan oleh adanya gesekan pada dinding saluran aliran. Maka dari itu persamaan dari total penurunan tekanan  $\Delta P_{total}$  adalah sebagai berikut.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{static} + \Delta P_{mom} + \Delta P_{frict} \quad (2.6)$$

Penurunan tekanan statis untuk cairan dua fase homogen adalah :

$$\Delta P_{static} = \rho_H g H \sin \theta \quad (2.7)$$

Dimana H adalah ketinggian vertikal,  $\theta$  adalah sudut terhadap horizontal, dan kepadatan homogen  $\rho_H$

$$\rho_H = \rho_L (1 - \varepsilon_H) + \rho_G \varepsilon_H \quad (2.8)$$

$\rho_L$  dan  $\rho_G$  adalah cair dan gas atau uap, sedangkan  $\varepsilon_H$  adalah fraksi hampa homogen ditentukan dari kualitas x sebagai berikut.

$$\varepsilon_H = \frac{1}{1 + \left( \frac{u_G (1-x) \rho_G}{u_L x \rho_L} \right)} \quad (2.9)$$

Dimana  $u_G/u_L$  adalah ratio kecepatan. Momentum gradien tekanan per satuan panjang dari tabung adalah :

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_{mom} = \frac{d(\dot{m}_{total}/\rho_H)}{dz} \quad (2.10)$$

Istilah yang paling bermasalah adalah penurunan tekanan gesekan, yang dapat dinyatakan sebagai fungsi dari faktor gesekan ( $f_{tp}$ ) dan untuk aliran yang stabil dalam saluran dengan luas penampang konstan adalah :

$$\Delta P_{frict} = \frac{2f_{tp} L \dot{m}_{total}^2}{d_i \rho_{tp}} \quad (2.11)$$

Faktor gesekan dapat dinyatakan dalam bilangan reynolds pada persamaan blasius yaitu sebagai berikut :

$$f_{tp} = \frac{0,079}{Re^{0,25}} \quad (2.12)$$

dengan bilangan Reynolds yaitu :

$$Re = \frac{\rho Dv}{\eta} \quad (2.13)$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynolds

$\dot{m}_{total}$  = Total kecepatan massa

$d_i$  = Diameter Pipa

$\mu_{tp}$  = kualitas rata-rata viskositas

### 2.2.6 Pengukuran Perbedaan Tekanan

Penyebab terjadinya perbedaan tekanan di dalam dinding pipa adalah gesekan antar fase cair maupun udara dan juga antara kedua fase terhadap permukaan dinding pipa. *Pressure transducer* (PT) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan antara dua lokasi pada pipa seksi uji.

Penelitian ini menggunakan *standard Validyne static pressure transducers* kemudian diaplikasikan untuk mengukur distribusi tekanan pada fase gas dan cair. *Pressure transducer* yang terpasang dihubungkan ke data akuisisi kemudian sinyal ditampilkan dan direkam dalam komputer dan hasilnya berupa grafik.

### 2.2.7 Kecepatan aliran

*Superficial velocity* (kecepatan superfisial) cairan dan gas digambarkan sebagai rasio dari laju *volumetric flow* cairan atau gas terhadap area penampang melintang pipa total. Pada analisis aliran dua fase gas-cairan, kecepatan superfisial memiliki 3 macam yaitu kecepatan superfisial gas dinyatakan  $V_{SG}$  atau  $J_G$ , kecepatan superfisial cairan dinyatakan dengan  $V_{SL}$  atau  $J_L$  dan kecepatan superfisial campuran yang dinyatakan dengan  $V_M$  atau  $J_M$  sebagai penjumlahan kecepatan superfisial gas dan cairan.

$$J_G = \frac{Q_G}{A} = \frac{\dot{m}_G}{A} = \frac{Q_m}{A_G} \quad (2.15)$$

$$J_L = \frac{Q_L}{A} = \frac{\dot{m}_L}{A} = \frac{Q_m}{A_L} \quad (2.16)$$

$$J_m = J_G + J_L \quad (2.17)$$

Dimana A adalah luas penampang melintang dan  $Q_m$  adalah debit dari aliran campuran yang ditunjukkan dengan  $Q_m = Q_G + Q_L$ .

Kecepatan aktual dinyatakan sebagai berikut :

$$u_G = \frac{Q_G}{A_G} = \frac{\dot{m}_G}{A_G} \quad \& \quad u_L = \frac{Q_L}{A_L} = \frac{\dot{m}_L}{A_L} \quad (2.18)$$

Hambatan cairan merupakan rasio dari volume cairan bagian dalam pipa terhadap seluruh volume bagian pipa.

$$H_l = \frac{V_l}{V} \quad (2.19)$$

Dimana :

$H_l$  = hambatan cairan

$V_l$  = volume bagian pipa yang diduduki oleh cairan

$V$  = seluruh volume bagian pipa

Massa jenis campuran terdiri dari masa jenis gas dan cairan kemudian dicampur secara homogen dengan persamaan berikut :

$$\rho_m = \rho_l \cdot H_l + \rho_g(1 - H_l) \quad (2.20)$$

Dimana :

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

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