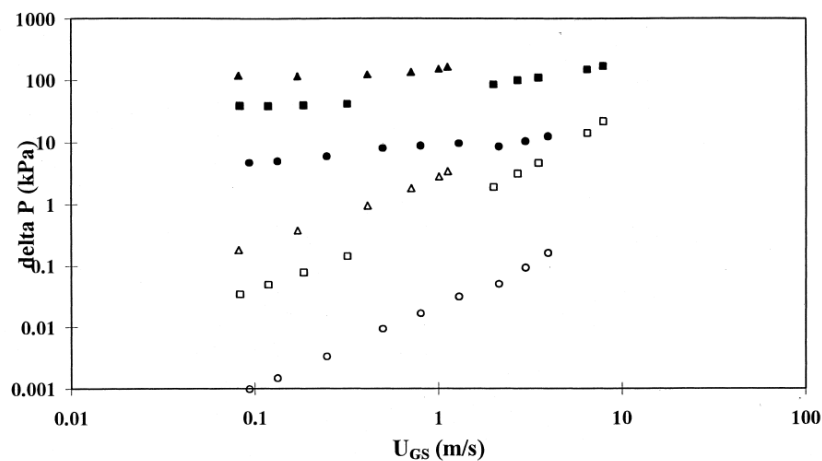


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

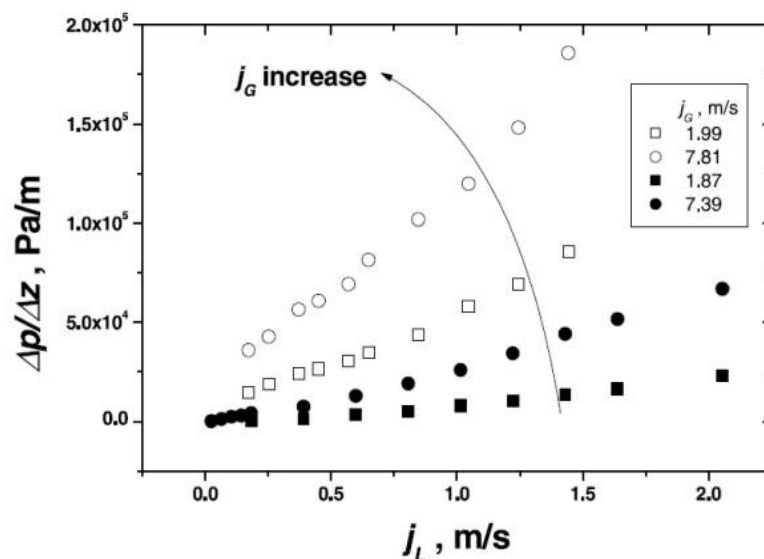
Penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk. (1999) mengenai fraksi hampa dan penurunan tekanan akibat gesekan aliran dua fase udara - air pada pipa berukuran mikro. Percobaan dilakukan menggunakan pipa berdiameter dalam 1,1 mm dan 1,45 mm. Kecepatan superfisial gas dan *liquid* yang digunakan antara 0,02 - 80 m/s dan 0,02 - 8 m/s. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang banyak digunakan untuk menghitung fraksi hampa dan penurunan tekanan yaitu menggunakan model aliran homogen.



**Gambar 2.1.** Perbandingan antara nilai terukur dengan nilai perhitungan dengan asumsi aliran homogen (Triplett dkk., 1999)

Badie dkk. (2000) melakukan penelitian tentang gradien tekanan dan *holdup* pada aliran dua fase udara - air pada arah horizontal. Pada penelitian tersebut menggunakan pipa dengan diameter 0,079 m. Gradien tekanan dan data *holdup* dibandingkan menggunakan prediksi dari *apparent rough surface* (ARS) dan model *double-circle*. Hasil prediksi gradien tekanan pada kecepatan aliran udara - air yang tinggi dikatakan baik, sedangkan pada kecepatan aliran rendah prediksi dari kedua metode tersebut hasilnya kurang baik. Gradien tekanan yang diperoleh sangat bergantung pada *holdup*.

Sejumlah penelitian yang meneliti tentang gradien tekanan pada saluran persegi panjang arah horisontal 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 Lee dan Lee. (2001) mengkorelasikan penelitian gradien tekanan pada 305 titik data. Jarak antara sisi atas dan bawah setiap saluran berkisar antara 0,4 hingga 4 mm dan lebar saluran 20 mm. Kecepatan superfisial gas yang digunakan adalah 0,05 - 18,7 m/s dan kecepatan superfisial air 0,03 - 2,39 m/s. Gradien tekanan di korelasikan dengan kecepatan superfisial gas dan air Pada gambar 2.1 menunjukkan gradien tekanan naik pada kecepatan superfisial udara dan air ( $J_G$  dan  $J_L$ ), serta menurunnya ukuran celah.



**Gambar 2.2.** Tipikal variasi gradien tekanan dengan kecepatan superfisial cairan dan gas (Lee dan Lee,y 2001)

Murphy., dkk (2019) telah melakukan eksperimen dan model untuk penurunan tekanan tabung dan karakteristik perpindahan panas selama kondensasi propana pada fluks massa rendah ( $G = 75-150 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) dalam saluran vertikal ( $D = 1,93 \text{ mm}$ ) memiliki dua suhu yaitu ( $T_{sat} = 47^\circ \text{ C}$  dan  $74^\circ \text{ C}$ ). Untuk kondisi di bawah pertimbangan dalam penelitian ini, koefisien perpindahan panas tampaknya meningkat dengan peningkatan suhu ransum, sedangkan tren gradien tekanan

gesekan menjadi relatif tidak sensitif terhadap peningkatan suhu. Dua model yang dikembangkan di sini untuk penurunan tekanan gesek dan koefisien perpindahan panas kondensasi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam memprediksi tren yang diamati.

Rahman, M., dkk (2017) meneliti tentang penurunan tekanan dua fase adiabatik eksperimental R134a dalam saluran halus dan alur yang memiliki 20 saluran dengan diameter hidrolis masing-masing 0,81 mm dan 0,64 mm. Pengukuran penurunan tekanan dilakukan di bawah kisaran fluks massa 50-200 kg / m<sup>2</sup>, rentang suhu saturasi 30-35 0C, dan kisaran kualitas uap inlet 0,1-0,9. Efek fluks massa, suhu saturasi, kualitas uap saluran masuk dan geometri saluran pada penurunan tekanan diselidiki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fluks massa, kualitas uap saluran masuk, suhu saturasi dan ukuran saluran memainkan peran penting dalam meningkatkan atau mengurangi penurunan tekanan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penurunan tekanan total didominasi oleh penurunan tekanan gesekan.

Penelitian yang dilakukan oleh Kawahara dkk. (2002) meneliti tentang penurunan tekanan pada aliran dua fase dengan menggunakan saluran mikro dengan diameter pipa 100 µm. Hasil yang didapat adalah gradien tekanan semakin besar karena meningkatnya kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ). Pada saluran mikro, aliran homogen tidak berhasil menunjukkan data penurunan tekanan dua fase karena perbandingan *slug* yang didapat sangat besar, sehingga pola aliran dua fase tidak *homogeny*.

Hassan dkk. (2006) melakukan penelitian tentang penurunan tekanan aliran dua fase pada pipa mini. Penelitian tersebut menggunakan model aliran homogen, model Freidel dan model Chisholm dan dilakukan perbandingan dengan hasil penelitian dari Ekberg (1997). Pipa yang digunakan berukuran 3 mm, 1 mm dan 0,8 mm. Hasil penelitian adalah perbandingan pada rezim - peta pola aliran menunjukkan perbedaan yang umum antara data eksperimen yang dikumpulkan selama percobaan dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya. Setelah dilakukan perbandingan dengan penelitian sebelumnya didapat bahwa garis

transisi yang disederhanakan memberikan perkiraan yang baik dari transisi rezim dengan rentan peta yang diperbolehkan.

Layssac, T., dkk (2018) melakukan sebuah studi eksperimental R245fa aliran dua fase dalam saluran melingkar diameter dalam 1,6 mm disajikan dalam kondisi adiabatik dan diabetes. Bagian uji terdiri dari tabung safir yang dilapisi dengan ITO, yang memungkinkan transparansi total evaporator. Efek kecenderungan pada pola aliran dan tetesan tekanan disajikan dan dibahas untuk berbagai kualitas uap dan kecepatan massa dan suhu saturasi  $81\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sesuai dengan nomor Bond 4.2. Untuk setiap kondisi eksperimental, penurunan tekanan diukur dan aliran divisualisasikan di bawah sebelas konfigurasi kemiringan dari aliran vertikal ke bawah ( $-90\text{ }^{\circ}$ ) ke aliran vertikal ke atas ( $+90\text{ }^{\circ}$ ). Transisi pola aliran dibandingkan dengan dua peta pola aliran yang tersedia dalam literatur. Efek fluks panas pada pola aliran dianalisis dan menunjukkan hilangnya aliran bertingkat untuk aliran ke bawah dalam kasus aliran inersia rendah. Sebuah studi tentang pengaruh kecenderungan pada gradien tekanan total dan gesekan juga dipimpin. Pengamatan dibandingkan dengan beberapa model literatur. Model-model ini menunjukkan kesepakatan yang baik untuk memprediksi gradien tekanan untuk aliran ke atas. Akhirnya, efek dari fluks panas pada variasi penurunan tekanan dengan analisis dianalisis. Ini menunjukkan peningkatan umum dari penurunan tekanan karena gaya gravitasi dan gesekan dengan fluks panas untuk kualitas uap rendah, apa pun kecenderungan yang dianggap. Offset ini berkurang dengan kualitas uap

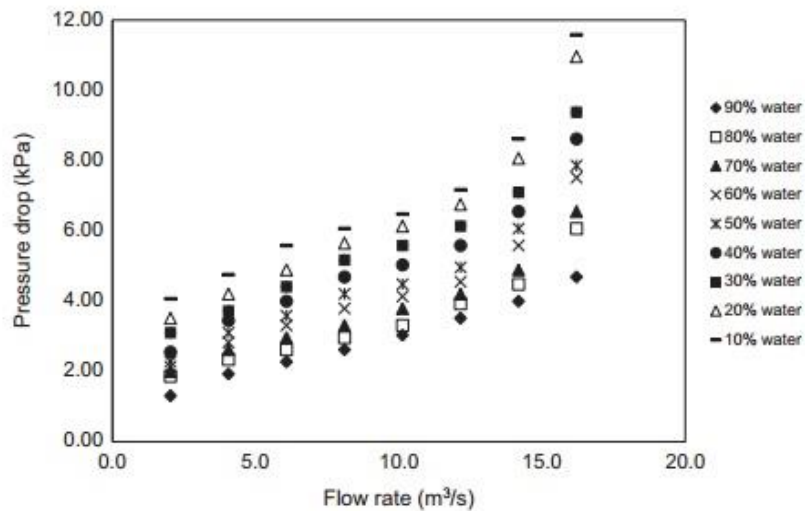
Del Col, D., dkk (2013) telah melakukan penelitian tentang penurunan tekanan gesekan pada pipa *minichannels* cairan-uap adiabatik. Data penurunan tekanan eksperimental baru, relatif terhadap aliran dua fase di dalam saluran horizontal dan *noncircular* horizontal dengan diameter hidrolis mulai dari 0,96 mm hingga 2 mm. Dengan hasil data penurunan tekanan dua fase yang diambil di dalam saluran mini tunggal yang memiliki bentuk, diameter dan kekasaran relatif yang berbeda disajikan dalam makalah ini. Basis data baru mengacu pada aliran dua fase aliran R134a, R1234yf, R32, dan R245 fainide melingkar, persegi dan saluran bentuk tidak beraturan, dengan diameter hidraulik mulai dari 0,96 mm hingga 2 mm

dan kekasaran relatif mulai dari 0,0017 hingga 0,003. meskipun deviasi rata-rata relatif rendah, model ini cenderung untuk melebih-lebihkan tekanan bilangan Reynolds yang hanya mengandung cairan yang rendah.

Wongwises dan Saisorn (2008) menelitian tentang karakteristik aliran dua fase. Penelitian tersebut menggunakan pipa 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 untuk menyelidiki karakteristik aliran dua fase gas - cair melalui saluran mikro melingkar horisontal dengan diameter 0,53 mm. Data yang terkait dengan penurunan tekanan gesekan dua fase menunjukkan ketergantungan *fluks* massa serta pola aliran pada penganda gesekan.

Penelitian tentang penurunan tekanan aliran dua fase dengan menggunakan fluida gas dan minyak dilakukan Khaledi dkk. (2014). Diameter dalam pipa yang digunakan adalah 69 mm. Hasil pengukuran didapat gradien tekanan yang menunjukkan deviasi dengan kondisi yang identik. Penurunan tekanan pada penelitian tersebut dapat diprediksi dengan baik, tetapi ada beberapa percobaan yang penurunan tekanannya terprediksi kurang baik dikarenakan alat yang digunakan hanya bisa memprediksi aliran laminar atau transisi dalam *slug*.

Ismail dkk. (2015) melakukan penelitian tentang investigasi penurunan gradien tekanan dua fase minyak - air dalam pipa horizontal. Penelitian tersebut dilakukan untuk aliran dua fase minyak - air dalam loop aliran 5,08 cm. 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.



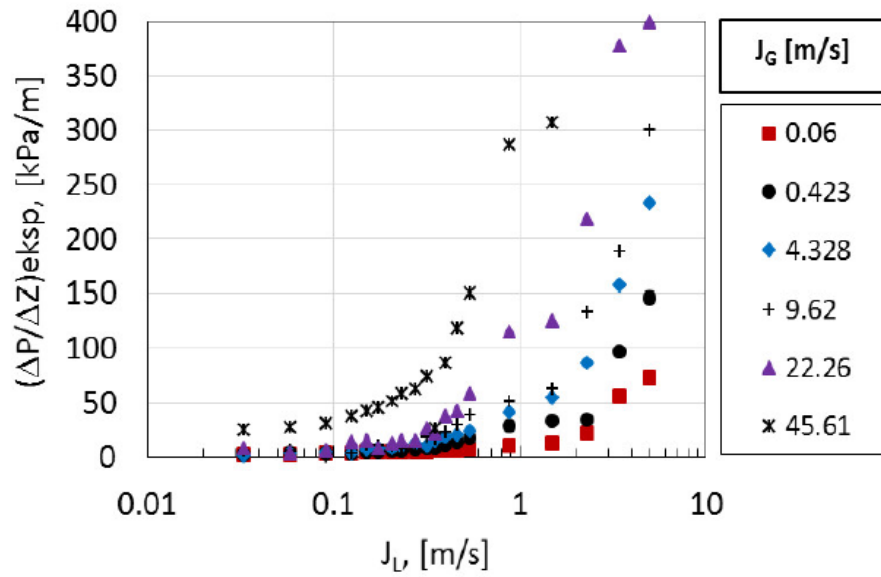
**Gambar 2.3.** Grafik perbandingan *pressure drop* terhadap laju aliran (Ismail dkk., 2015)

Mukhaimer dkk. (2015) Sebelumnya pernah melakukan penelitian tentang pola aliran dan penurunan tekanan minyak - air yang memiliki viskositas rendah pada pipa horizontal. Tujuan peneltan untuk menghitung penurunan tekanan minyak – air untuk mendapatkan viskositas campuran. Pada penelitian tersebut menghasilkan bahwa titik inversi itu sangat bergantung pada kecepatan aliran.

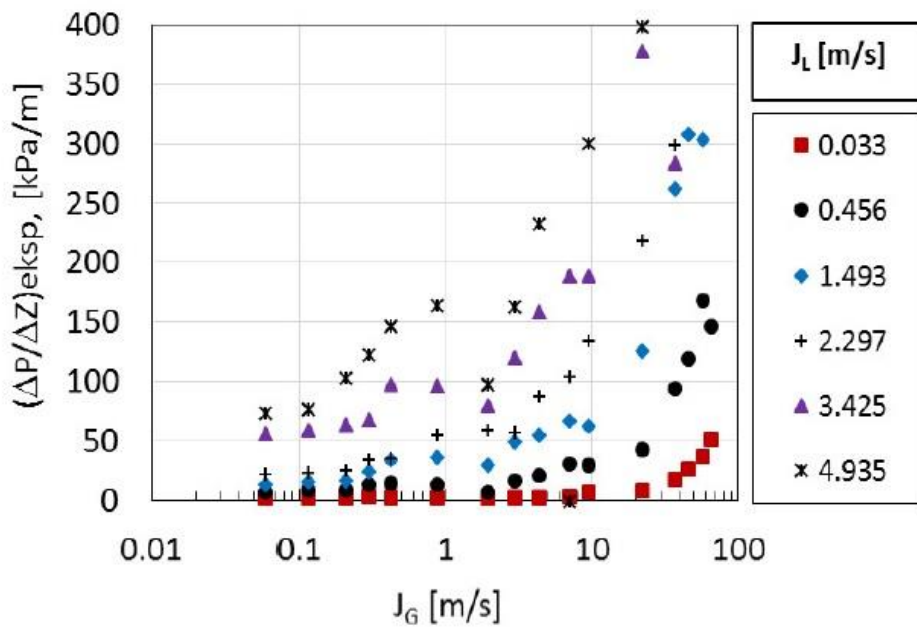
Profil penurunan tekanan yang didapat bervariasi karena fraksi minyak mencapai nilai minimum dan maksimum sesuai dengan titik inversi. Puncak pada titik inversi untuk minyak viskositas rendah tidak terlalu jelas, khususnya jika kecepatan aliran kurang dari 4 m/s.

Sudarja dkk. (2016) melakukan penelitian tentang gradien tekanan aliran dua fase gas - air dengan larutan gliserin sebesar 20%. Penelitian ini dilakukan pada pipa kaca dengan diameter dalam 1,6 mm. Kecepatan superfisial gas dan cairan masing-masing sebesar 0,025 - 66,3 m/s dan 0,033 - 4,935 m/s. Gambar 2.4(A) menunjukkan pengaruh nilai  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan nilai  $J_G$  yang bervariasi, sedangkan pada Gambar 2.4(B) menunjukkan pengaruh nilai  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan  $J_L$  yang bervariasi. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan superfisial gas maupun cairan sangat mempengaruhi nilai gradien

tekanan. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi  $J_G$  maka akan menyebabkan kenaikan nilai pada gradien tekanan. Demikian pula dengan  $J_L$ .



(A)



(B)

**Gambar 2.4** (A) Pengaruh  $J_L$  terhadap nilai gradien tekanan pada  $J_G$  bervariasi,  
 (B) Pengaruh  $J_G$  terhadap nilai gradien tekanan pada  $J_L$  bervariasi  
 (Sudarja dkk., 2016)

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Persamaan Dasar Pada Aliran Dua Fase

Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multifase yang paling sederhana, karena hanya ada dua jenis fase yang mengalir secara bersama. Aliran dua fase memiliki beberapa parameter seperti perubahan tekanan. Perubahan tekanan yang terjadi pada aliran dua fase yaitu penurunan tekanan (*pressure drop*) dan gradien tekanan (*pressure gradient*). Penurunan tekanan pada fluida terjadi karena variasi energi kinetik, potensial aliran dan karena adanya gesekan pada dinding saluran aliran. Gradien tekanan (*pressure gradient*) terjadi karena adanya pengaruh dari *specify gravity* pada jenis fluida yang digunakan.

Ada dua macam metode pendekatan untuk menghitung dan menganalisis *pressure drop* pada aliran dua fase, yaitu:

1. Model aliran homogen (*homogeneous flow model*) Model aliran homogen merupakan permodelan sederhana dalam menentukan *pressure drop* aliran dua fase. Pada konsep ini aliran diasumsikan sebagai aliran satu fase termasuk persamaanya dengan kondisi sifat fisik fluida, liquid dan gas dibuat rata-rata.
2. Model aliran terpisah (*separated flow model*) Metode ini lebih akurat, karena pada model ini aliran dua fase diasumsikan sebagai aliran yang terpisah yaitu liquid dan gas dimana masing-masing fase memiliki persamaan yang berbeda.

### 2.2.2. Kecepatan Superfisial

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

Kecepatan superfisial gas ( $J_G$ )



$$J_G = \frac{Q_G}{A} = \frac{\dot{m}_G}{A} = \frac{Q_m}{A} \quad (2.1)$$

Kecepatan superficial liquid ( $J_L$ )

$$J_L = \frac{Q_L}{A} = \frac{\dot{m}_L}{A} = \frac{Q_m}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:

$J_G$  = Kecepatan superficial gas (m/s)

$J_L$  = Kecepatan superficial liquid (m/s)

$Q_G$  = Laju aliran gas dalam pipa (m<sup>3</sup>/s)

$Q_L$  = Laju aliran liquid dalam pipa (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = Luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

### 2.2.3. Viskositas Cairan

Kekentalan (viskositas) merupakan tahanan internal terhadap aliran, beberapa ahli mendefinisikan sebagai gesekan dari fluida. Kekentalan merupakan nilai yang didapat dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*). Contoh fluida yang bisa kita liat 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 diteteskan 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 *viskous fluid rheology* merupakan ilmu yang mempelajari aliran suatu benda. Yang di dalamnya terdapat konsep viskositas, *thermo fluid* 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 :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

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:

$$\mu_m = \mu_l + \mu_g(l - H_l) \quad (2.4)$$

Dimana:

$\mu_m$  = viskositas campuran gas-zat cair

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

#### 2.2.4. 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 sponifikasi (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 air - gliserin tersebut memiliki keuntungan yang memungkinkan viskositas cairan yang akan divariasikan sambil menjaga tegangan permukaan hampir konstan.

### 2.2.5. Pressure Drop Aliran Dua Fase

*Pressure drop* adalah penurunan tekanan dari satu titik di dalam sistem ke titik lain yang mempunyai tekanan lebih rendah. Pada aliran dua fase banyak korelasi atau metode yang dipakai sesuai kondisi sistem. *Pressure drop* pada aliran dua fase diistilahkan sebagai gradien tekanan yaitu penurunan tekanan yang terjadi setiap panjang pipa.

Pada model campuran homogen, kedua fasa diasumsikan tetap bercampur merata dan bergerak dengan kecepatan yang sama di semua titik. Metode yang sederhana untuk menghitung penurunan tekanan dua fase campuran homogen adalah dengan menganalogikan dengan aliran satu fase.

Dengan menggunakan korelasi Blasius untuk factor gesekan  $f = 0,079 Re^{-0,25}$  dan  $Re = \frac{GD}{\mu}$

Viskositas untuk campuran dua fasa gas dan cairan homogen ditentukan dengan korelasi dari MC Adam dkk. (1942):

$$\mu_{TP} = Ml \quad (2.8)$$

Parameter dengan subkrip TP mewakili aliran dua fasa.

Disamping korelasi Mc Adam, Persamaan (2.8), korelasi lainnya yang diusulkan untuk viskositas dua fasa homogen, antara lain:

$$\mu_{TP} = (1 - \beta)(1 + 2.5\beta) + \mu_G\beta \quad (\text{Beattie \& Whalley, 1981}) \quad (2.9)$$

$$\mu_{TP} = \frac{\mu_L\mu_G}{\mu_G + x^{1.4}(\mu_L - \mu_G)} \quad (2.10)$$

Dimana:

$$\beta = \frac{j_G}{j} = \text{kualitas volumetric (volumetric quality)}$$

$j$  = kecepatan fluida campuran.

Model campuran homogen berbeda dengan data empiris. Korelasi empiris masih banyak digunakan dengan konsep pengali aliran dua fase. Konsep tersebut pertama kali diusulkan oleh Lockhart & Martinelli, (1949) didasarkan pada model aliran terpisah.

hadap posisi horisontal” adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan superficial gas dan *liquid* terhadap gradien tekanan aliran dua fase pada pipa kapiler.
- b. Untuk mengetahui pengaruh viskositas fluida terhadap gradien tekanan aliran dua fase pada pipa kapiler.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi tentang Investigasi gradien tekanan dua fase udara-air dan gliserin pada pipa kapiler dengan kemiringan  $45^\circ$ . Penelitian ini juga diharapkan dapat dijadikan referensi untuk memecahkan masalah dalam pengembangan aplikasi dan ilmu yang melibatkan aliran dua fase pada penelitian selanjutnya.