

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

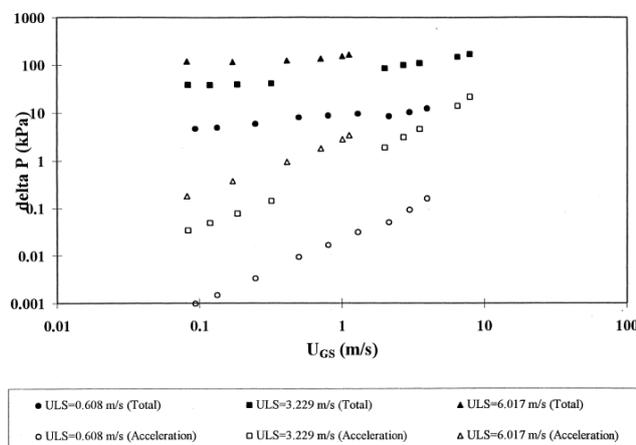
2.1. Tinjauan Pustaka

Fukano & Akira Kariyasaki (1993) meneliti tentang karakteristik aliran dua fase gas-air pada pipa kapiler dengan diameter 1 mm, 2.4 mm dan 4.9 mm. Penelitian ini menginvestigasi dengan memperhatikan pada pola aliran, variasi waktu fraksi hampa dan penurunan tekanan. Semakin kecil diameter dalam pipa, maka penurunan tekanan menjadi semakin besar.

Ali dkk. (1993) menunjukkan data penelitian penurunan tekanan dalam bentuk faktor gesekan satu fase maupun dua fase. Dalam satu fase dapat dilihat nilai penurunan tekanan sangat dipengaruhi oleh faktor gesekan. Pada diagram *Moody* juga menunjukkan hubungan data antara faktor gesekan terhadap bilangan *Reynolds*.

Triplett dkk. (1999) melakukan eksperimen tentang fraksi hampa dan penurunan tekanan akibat gesekan aliran dua fase pada pipa berukuran mikro. Percobaan dilakukan menggunakan campuran udara dan air dengan pipa berdiameter dalam 1,1 mm dan 1,45 mm. Kecepatan superfisial *gas* dan *liquid* bervariasi dengan kisaran 0,02-80 m/s dan 0,02-8 m/s.

Penurunan tekanan nilai terukur dan penurunan tekanan dihitung dengan asumsi aliran homogen digambarkan pada Gambar 2.1,



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

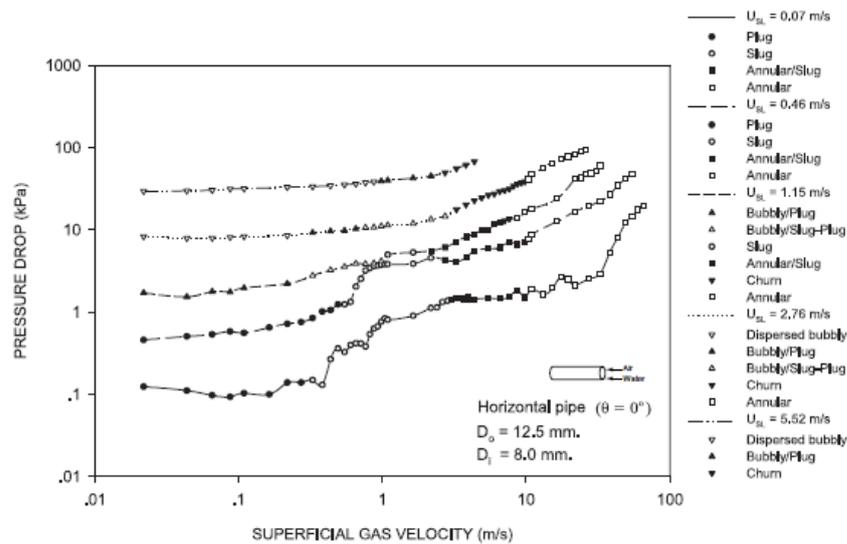
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang banyak digunakan untuk menghitung fraksi hampa dan penurunan tekanan yaitu menggunakan model aliran homogen.

Lee dan Lee (2001) mengusulkan korelasi baru untuk *pressure drop* dua fase melalui saluran persegi panjang posisi *horizontal* dengan celah kecil berdasarkan 305 titik data. Jarak antara sisi atas dan bawah setiap saluran berkisar antara 0,4 hingga 4 mm sementara lebar saluran menjadi 20 mm. Air dan udara digunakan sebagai cairan uji. Rentang kecepatan superfisial air dan udara masing-masing adalah 0,03-2,39 dan 0,05-18,7 m / s. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa gradien tekanan dengan kecepatan superfisial air dan udara untuk ukuran celah masing-masing 0,4 dan 4 mm, gradien tekanan meningkat dengan meningkatnya kecepatan superfisial udara dan air, kemudian gradien tekanan juga meningkat seiring dengan penurunan ukuran celah.

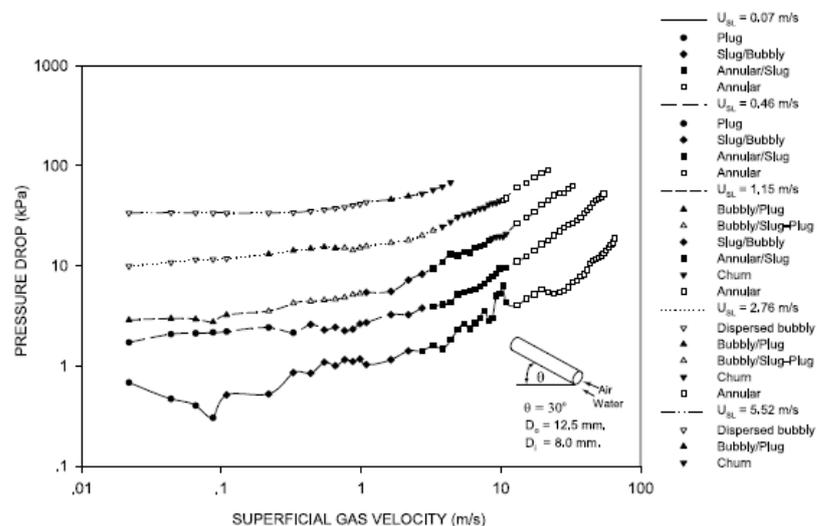
Kawahara (2002) melakukan investigasi eksperimental pada karakteristik aliran dua fase pada pipa berdiameter 100 mikrometer. Deionisasi air dan nitrogen diinjeksikan pada kecepatan superfisial $j_G = 0,1-60$ m/s untuk gas dan $j_L = 0,02-4$ m/s untuk cairan. Faktor gesekan satu fase dan dua fase diperoleh dari data penurunan tekanan. Pada satu fase menunjukkan kesesuaian dengan korelasi laminar konvensional. Data pada dua fase lebih dari perkiraan oleh model aliran homogen, tetapi memiliki korelasi baik dengan model aliran terpisah Lockhart and Martinelli.

Wongwises dan Pipathatta (2006) melakukan eksperimen tentang pola aliran, penurunan tekanan dan fraksi hampa pada aliran dua fase pipa *horizontal* dan miring saluran annular celah mini. Percobaan ini dilakukan pada seksi uji annular dengan panjang 880 mm, diameter luar 12,5 mm dan diameter dalam 8 mm. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa penurunan tekanan tergantung pada kecepatan gas dan cairan. Pada kecepatan cairan rendah dan peningkatan kecepatan gas penurunan tekanan terjadi peningkatan secara cepat. Ketika sudut kemiringan berubah dari horizontal ke 30° dan 60° penurunan tekanan meningkat pada kecepatan gas dan cairan rendah. Membandingkan penurunan tekanan dengan kemiringan sudut 30° dan 60° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan 2.4 dapat dilihat bahwa pada kecepatan gas dan cairan rendah penurunan tekanan tidak meningkat secara tiba-

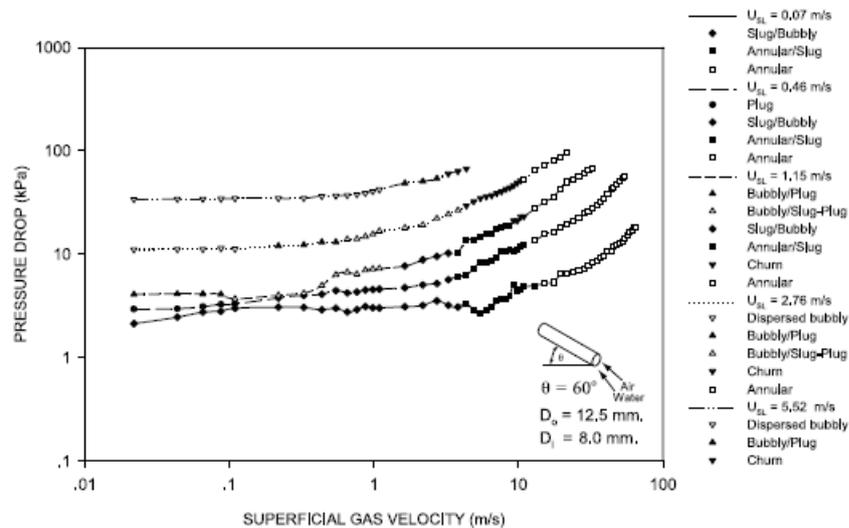
tiba seperti pada posisi *horizontal*, itu terjadi karena adanya efek gravitasi. Namun, ketika kecepatan gas meningkat penurunan tekanan juga meningkat. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat bahwa pada kecepatan gas dan cair rendah penurunan tekanan pada sudut kemiringan lebih tinggi daripada penurunan tekanan yang terjadi pada posisi *horizontal*.



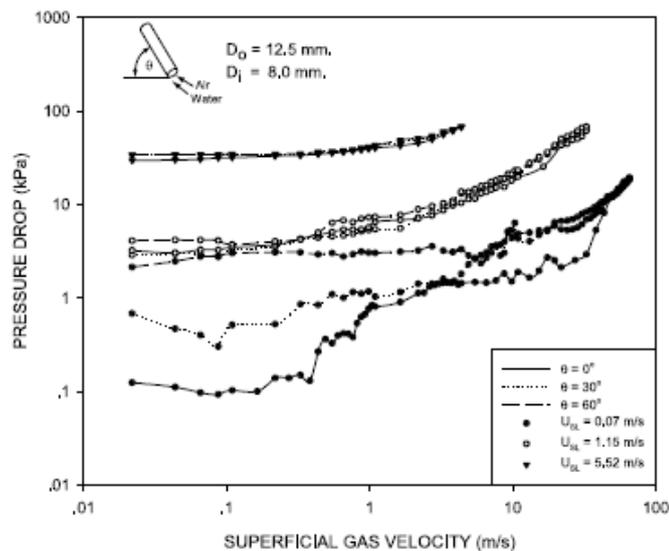
Gambar 2.2 Hubungan antara penurunan tekanan dan kecepatan superficial gas untuk $D_o=12,5$ mm, $D_i = 8$ mm, $\theta = 0^\circ$ (Wongwises dan Pipathatta, 2006)



Gambar 2.3 Hubungan antara penurunan tekanan dan kecepatan superficial gas untuk $D_o=12,5$ mm, $D_i = 8$ mm, $\theta = 30^\circ$ (Wongwises dan Pipathatta, 2006)



Gambar 2.4 Hubungan antara penurunan tekanan dan kecepatan superficial gas untuk $D_o=12,5 \text{ mm}$, $D_i = 8 \text{ mm}$, $\theta = 60^\circ$ (Wongwises dan Pipathatta, 2006)



Gambar 2.5 Hubungan antara penurunan tekanan dan kecepatan superficial gas untuk $D_o=12,5 \text{ mm}$, $D_i = 8 \text{ mm}$, $\theta = 0^\circ$, 30° dan 60°

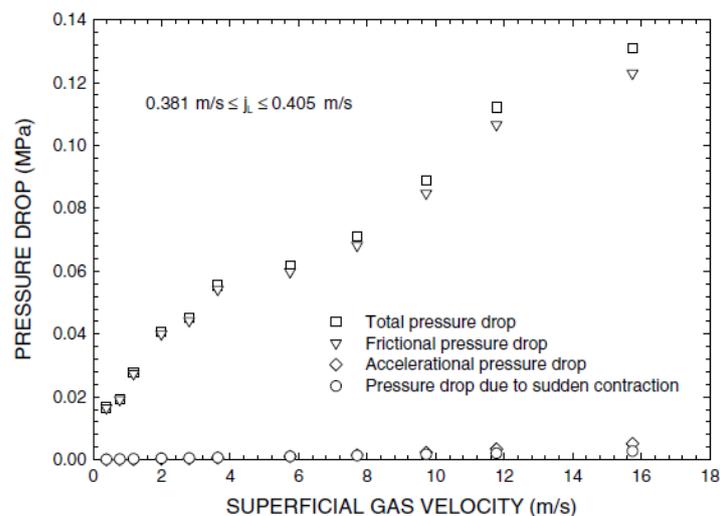
(Wongwises dan Pipathatta, 2006)

Saisorn & Wongwises (2008) melakukan investigasi pada karakteristik aliran dua fase (*flow pattern, void fraction and pressure drop*) dalam sebuah *micro circular channel* dengan diameter 0,53 mm pada posisi *horizontal*. Penelitian dilakukan dengan kecepatan superficial gas dan cairan dengan rentang masing-masing 0,37-16 m/s dan 0,005-3,04 m/s. Penelitian ini diukur dari penurunan

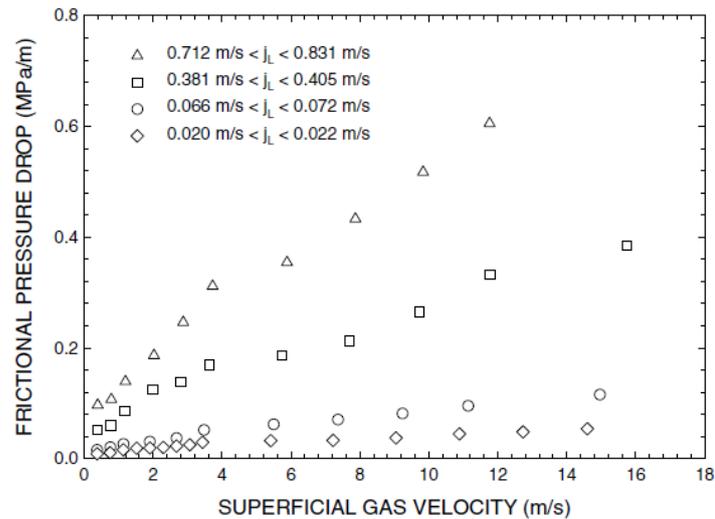
tekanan total aliran udara-air melalui saluran diameter 0,53 mm. Penurunan tekanan total dituliskan pada persamaan berikut:

$$\Delta P_{\text{exp}} = \Delta P_f + \Delta P_a + \Delta P_c,$$

Dengan ΔP_f adalah penurunan tekanan akibat gesekan, ΔP_a penurunan tekanan karena percepatan dan ΔP_c merupakan penurunan tekanan karena kontraksi secara tiba-tiba. Data penurunan tekanan akibat gesekan dibandingkan dengan dua komponen lainnya seperti yang digambarkan pada Gambar 2.6. Dengan kondisi aliran berbeda, penurunan tekanan akibat gesekan mendominasi penurunan tekanan akibat adanya percepatan dan kontraksi secara tiba-tiba. Gambar 2.7 menggambarkan penurunan tekanan akibat gesekan sebagai fungsi dari kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial *liquid* (J_L). Dalam gambar tersebut menjelaskan bahwa nilai penurunan tekanan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas dan *liquid*.

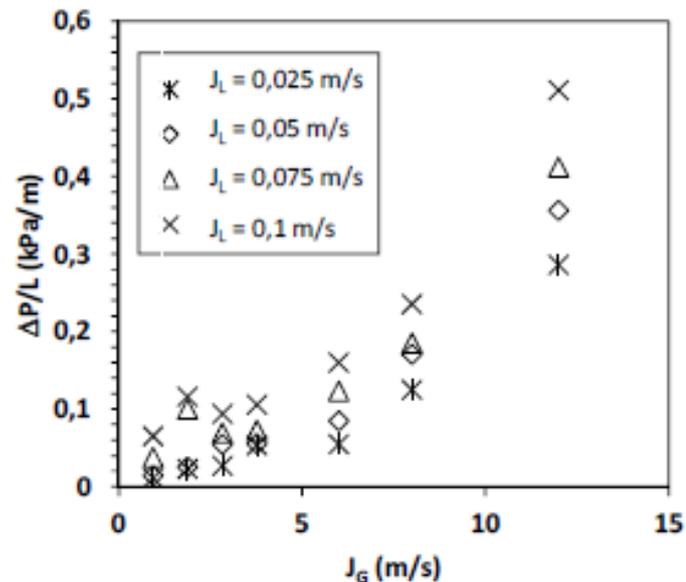


Gambar 2.6 Perbandingan komponen dari penurunan tekanan total aliran udara-air melalui saluran diameter 0,53 mm (Saisorn & Wongwises, 2008)



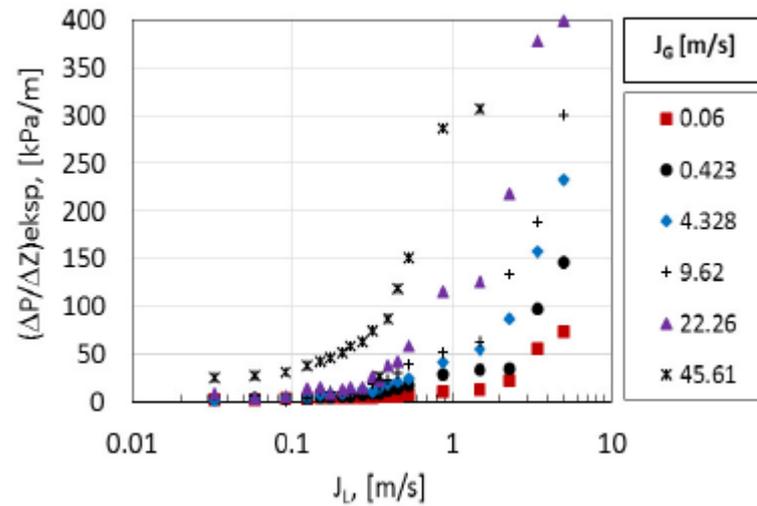
Gambar 2.7 Penurunan tekanan akibat gesekan pada aliran udara-air melalui pipa diameter 0,53 mm (Saisorn & Wongwises, 2008)

Gunawan dkk. (2015) melakukan eksperimen mengenai fluktuasi tekanan dan tegangan geser antarmuka pada aliran *stratified* air udara pada pipa *horizontal*. Pada penelitian ini metodologi yang digunakan yaitu dengan visualisasi dan pengukuran beda tekanan pada pipa *acrylic* dengan diameter dalam 26 mm dan panjang total 9 m. Pengukuran fluktuasi beda tekanan pada seksi uji diukur dengan sensor tekanan *validyne* dengan jarak antar *pressure tap* 3,38 mm. Penelitian ini dilakukan dengan variasi kecepatan superficial air (J_L) dari 0,025 m/s sampai 0,1 m/s dan kecepatan superficial udara (J_G) dari 0,94 m/s sampai 12 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar J_G dan J_L maka gradien tekanan akan semakin besar. Gambar 2.6 menunjukkan pengaruh J_G dan J_L terhadap nilai gradien tekanan. Pada gambar tersebut terlihat apabila J_G ataupun J_L mengalami peningkatan maka gradien tekanan juga akan semakin besar. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa J_G - J_L berbanding lurus dengan gradien tekanan.

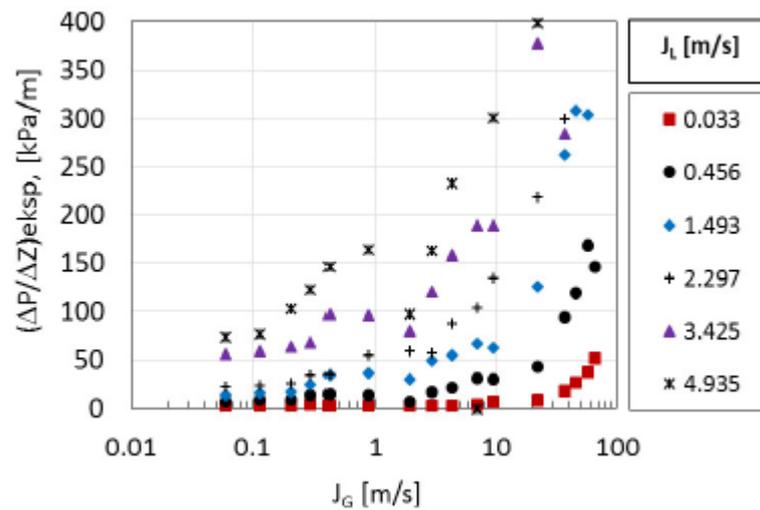


Gambar 2.8 Grafik gradien tekanan dengan Variasi J_G dan J_L
(Gunawan dkk., 2015)

Sudarja dkk. (2016) melakukan penelitian pada gradien tekanan aliran dua fasa 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. Pada Gambar 2.7 menunjukkan pengaruh J_G dan J_L terhadap gradien tekanan. Gambar 2.7(a) menunjukkan pengaruh nilai J_L terhadap gradien tekanan dengan nilai J_G yang bervariasi, sedangkan pada Gambar 2.7(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 2.9. (a) Pengaruh J_L terhadap nilai gradien tekanan pada berbagai J_G , (b) Pengaruh J_G terhadap nilai gradien tekanan pada berbagai J_L

(Sudarja dkk., 2016)

Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa perbedaan penelitian yang satu dengan yang lain terletak pada diameter dari pipa, variasi kecepatan superfisial udara maupun cairan dan fluida yang digunakan sehingga nilai penurunan tekanan berbeda-beda.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Tinjauan Umum Aliran Dua Fasa

Aliran multi fase adalah aliran yang terdiri dari campuran beberapa fase seperti padat, (*solid*), cairan (*liquid*) dan gas/udara. Aliran mutli fase yang paling sederhana yaitu aliran dua fase. Beberapa karakteristik yang membedakan antara aliran dua fase dan satu fase adalah:

1. Perbandingan volume gas dan cairan dapat mengalami perubahan terhadap lokasi. Ada kemungkinan memiliki perbedaan kecepatan aksial antara kedua fasa tersebut sehingga akan menimbulkan slip.
2. Aliran dua fasa terdapat gesekan antara campuran cair-gas sehingga akan bertambahnya *pressure drop* seiring dengan kenaikan kualitas uap atau fraksi uap maupun kenaikan *void*.

Banyak yang dapat dipelajari tentang aliran dua fasa, termasuk mengenai pola aliran dalam rezim aliran yang berbeda, metode untuk memperkirakan fraksi volume dan penurunan tekanan dua fase.

2.2.2. Kecepatan *Superficial*

1. Kecepatan *superficial gas* (J_G)

$$J_G = \frac{Q_G}{A} \quad (2.1)$$

2. Kecepatan *superficial liquid* (J_L)

$$J_L = \frac{Q_L}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:

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

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

Q_G = Laju aliran gas dalam pipa (m³/s)

Q_L = Laju aliran *liquid* dalam pipa (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

2.2.3. Viskositas Cairan

Viskositas merupakan ukuran daya hambat aliran fluida yang dapat juga dinyatakan sebagai keengganan fluida untuk mengalir. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin kecil nilai viskositas maka semakin mudah suatu fluida untuk bergerak. Begitu pula sebaliknya, fluida akan sulit untuk bergerak apabila viskositas semakin tinggi.

2.2.4. Tinjauan Tentang Gliserin

Gliserin adalah senyawa gliserida yang paling sederhana. Senyawa ini larut dalam air dan alkohol dan merupakan produk sampingan dari proses pembuatan sabut. Gliserin merupakan cairan kental yang tidak berwarna dan tidak berbau sehingga cocok untuk dipadukan dengan air. Larutan gliserin-air tersebut memiliki keuntungan yang memungkinkan viskositas cairan dapat divariasikan dan dapat menjaga tegangan permukaan hampir konstan.

2.2.5. *Pressure Drop* Aliran Dua Fasa

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.

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 persamaannya 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.

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 $Re = GD/\mu$.

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

$$\mu_{TP} = \mu_L \quad (2.3)$$

Parameter dengan subkrip TP mewakili aliran dua fasa.

Disamping korelasi Mc Adam, persamaan (2.3), korelasi lainnya yang diusulkan untuk viskositas dua fasa homogen, antara lain:

$$\mu_{TP} = \mu_L(1 - \beta)(1 + 2.5\beta) + \mu_G\beta \quad (\text{Beattie \& Whalley, 1981}) \quad (2.4)$$

$$\mu_{TP} = \frac{\mu_L\mu_G}{\mu_G + x^{1.4}(\mu_L - \mu_G)} \quad (\text{Lin dkk., 1991}) \quad (2.5)$$

dimana $\beta = jG/j$ adalah kualitas volumetric (*volumetric quality*), dan j adalah 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.

2.2.6. Pengukuran Perbedaan Tekanan

Perbedaan tekanan pada sisi masuk dan keluar seksi uji diukur dengan menggunakan *pressure transducers* (PT). *Pressure Transducer* dihubungkan ke dalam data akuisisi kemudian sinyal ditampilkan dan direkam dalam komputer.