

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Wicks dan Dukler (1960) memprediksi model viskositas data kondensasi yang memuaskan, tetapi gagal memprediksi data penguapan. Semua model viskositas yang diuji cenderung sedikit menyimpang dari garis tengah pada kualitas uap tinggi, dan memprediksi gesekan untuk saluran makro sudah dibandingkan dengan data gradien tekanan eksperimental. Fridel, Muller-Steinhagen dan Heck sesuai dengan R134a dan data gradien tekan eksperimental R32 untuk multiport tabung diuji dalam proses evaporasi dan kondensasi. Souza dan Pimenta memperkirakan tekanan eksperimental data gradien sangat baik dengan tabung multiport dan diameter hidrolis dari 1,16 mm, tetapi gagal memprediksi data eksperimental dalam tabung diameter hidrolis 0,715 mm, dengan R134a dan R32, sehingga tujuh model gesekan mini/mikro-saluran dibandingkan dengan data gradien tekanan gesekan eksperimental dalam aliran dua fase. Perbandingan ini menunjukkan model yang diusulkan Cavallini dkk menyajikan kemampuan memperkirakan data tekanan gradien eksperimental untuk kedua proses dengan tinggi nilai kecepatan massa ( $>955 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ) dan fluks panas rendah ( $<3,5 \text{ kw/m}^2$ ), sedangkan model gesekan lain yang diuji bekerja sangat baik dibawah keadaan tertentu. Zang dan Webb telah menunjukkan kinerja yang sangat wajar dengan data eksperimen R32 dan diameter hidrolis 0,715 mm, dan belum bekerja dengan baik dalam tabung multiport 1,16 mm. Model Zang dan Webb menghasilkan hasil yang baik dengan kedua refrigeran. Koyama dkk (2003) korelasi tidak mampu menangkap kecenderungan diantara percobaan dua fase data gradien tekanan, namun korelasi data menghasilkan data yang memuaskan dari tabung hidrolis diameter 1,1 mm. Korelasi lainnya seperti Sun dan Mishima telah memberikan hasil yang sangat baik untuk kedua tabung multiport, geometri dan cairan yang berbeda harus diuji eksperimental dalam rangka

meningkatkan data base dan mengembangkan model prediksi yang lebih umum untuk penurunan gradien tekanan di mini-channel.

Taitel dan Barnea. (1990) mengusulkan pendekatan konsisten untuk menghitung penurunan tekanan dalam aliran *slug steady-state* dalam 0,5m dan 0,05m diameter pipa. Penurunan tekanan dihitung dengan menggunakan keseimbangan momentum keseluruhan atas aliran *slug*. Metode ini hanya mempertimbangkan penurunan tekanan gravitasi dan gesekan dalam aliran *slug* horizontal. Mereka mempelajari dan membandingkan penurunan tekanan dengan menggunakan model ketebalan variabel dengan sub-model *slug flow* yang disederhanakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang disarankan untuk perhitungan penurunan tekanan menggunakan volume kontrol global lebih dekat ke solusi yang tepat. Demikian juga, Petalas dan Aziz (2000) menyarankan model mekanistik yang tersedia untuk perhitungan pola aliran dapat meningkatkan kemampuan memprediksi gradien tekanan sepanjang pipa dan penumpukan cairan dalam pipa. Kolerasi empiris baru diterapkan pada semua sifat fluida dan geometri pada pipa. Cairan/dinding dan gesekan antar muka cair/gas dalam rezim bertingkat, fraksi volume cairan dan gesekan antar muka dalam aliran intermiten dan koefisien distribusi diperhitungkan selama pengembangan model korelasi ini. Kemudian, model mekanistik dan sub-model Taitel dan Barnea (1990) dirumuskan kembali oleh Orell (2005) untuk meningkatkan bilangan Reynolds untuk menghitung faktor gesekan dan penurunan tekanan *slug* dalam pipa horizontal. Model yang diusulkan dikembangkan untuk menguji secara ekstensif terhadap 12 penurunan tekanan dan delapan cairan data *hold up* untuk aliran *slug* udara-air dan minyak-udara horizontal melalui rentang luas kondisi operasi dan diameter pipa.

Badie dkk. (1999) dalam pengukuran dua fase *gas-liquid* gradien tekanan yang diperoleh di *Imperial College WASP*, menunjukkan bahwa penambahan hasil cair yang sangat rendah menghasilkan peningkatan gradien tekanan yang signifikan dibandingkan dengan nilai yang diukur untuk gas fase tunggal. Perbandingan dengan

model ARS dari Heart dkk (1989) dan model *double-circle* dari Chen dkk (1997) menunjukkan bahwa kedua model setuju dengan cukup baik.

Kawahara dkk. (2005) menyampaikan hasil penelitiannya mengenai aliran dua fase di dalam saluran berdiameter 530, 250, 100, dan 50  $\mu\text{m}$ . Untuk saluran dengan  $DH > 250 \mu\text{m}$ , faktor pengali dua fase Lockhart dan Martinelli (1949) menunjukkan ketergantungan pada fluks massa, dan satu harga  $C$  umum yang menggambarkan seluruh data dengan baik.

Ujang dkk. (2006) masing-masing menggunakan fase cairan yang berbeda pengaruh dari tekanan operasi pada panjang *slug* hidrodinamik didekat aliran pipa horizontal untuk gas dan simulasi rezim aliran dua fase, cairan diamati oleh Kadri dkk (2010). Operasi dilakukan dengan panjang pipa 103m dan diameter dalam 0,069m. Air atau *sulfur hexafluoride* ( $\text{SF}_6$ ) gas dan minyak (ExxsolD80) digunakan untuk cairan dalam pekerjaan eksperimental. Air digunakan ketika beroperasi pada kondisi atmosfer, sedangkan  $\text{SF}_6$  digunakan dalam percobaan tekanan tinggi.  $\text{SF}_6$  adalah gas padat dengan densitas sekitar 5,5 kali udara. Oleh karena itu, simulasi kondisi tekanan tinggi (gas alam hingga 65 bar). Studi ini mengidentifikasi tiga jenis *slug* berdasarkan perbedaan kadar cairan antara *slug* bagian depan dan *slug* bagian belakang, ditemukan bahwa hanya *slug* pendek yang ada pada tekanan tinggi.

Lee dkk. (2010) sangat penting untuk mengevaluasi tekanan lokal secara akurat dalam multidimensi perhitungan aliran dua fase karena aliran dua fase sangat sensitif terhadap tekanan lokal. Salah satu istilah dalam dua fase persamaan momentum, yang memiliki efek yang saling terkait pada perhitungan tekanan lokal, istilah gradien tekanan. Menyarankan skema numerik iteratif baru berdasarkan rekonstruksi frink untuk node batas. Kami membandingkannya dengan berbagai metode perhitungan gradien dalam literatur dengan menggunakan fungsi uji sederhana, rongga yang digerakkan oleh gravitasi, dan dinding yang mendidih mengalir. Hasil perhitungan jelas menunjukkan bahwa skema evaluasi gradien tekanan bekerja berulang dengan

baik untuk sel berubah-ubah tidak terstruktur dalam kondisi aliran satu dan dua fase. Skema baru membutuhkan waktu komputasi tambahan, tetapi penambahannya kecil karena jumlah node batas biasanya lebih kecil dari node netral.

Kim dan Mudawar. (2014) penelitian ini meninjau metode untuk menentukan gesekan gradien tekanan dalam adiabatik, mengembun dan mendidih di aliran mini/saluran mikro. Menunjukkan bahwa dua kunci kesulitan dalam memilih model atau korelasi yang sesuai adalah validitas terbatas pada beberapa fluida kerja dan rentang kondisi operasi yang sempit. Keterbatasan itu diatasi dengan pengembangan dua konsolidasi mini/mikro-channel data base, untuk adiabatik dan kondensasi mengalir, dan yang lainnya untuk aliran mendidih. Ada perbedaan mendasar dalam struktur aliran antara adiabatik dan kondensasi mini/mikro-channel mengalir pada satu tangan dan aliran mendidih di sisi lain. Perbedaan-perbedaan ini, yang berasal dari efek entra tetesan cairan, membutuhkan penggunaan metobik prediktif yang berbeda untuk adiabatik dan aliran kondensasi dibandingkan aliran mendidih. Dua data base mini/mikro-saluran konsolidasi terpisah, yang pertama adalah untuk aliran adiabatik dan kondensasi, dan terdiri dari 7115 titik data gradien tekanan friksi dari 36 sumber, dan yang kedua untuk aliran mendidih, dan rentang kondisi operasi yang sangat luas. Data base terkonsolidasi terbukti menjadi alat yang efektif untuk meneliti keakuratan model dan korelasi sebelumnya sebagai pengembangan korelasi “*universal*” yang berlaku untuk sejumlah besar cairan dan rentang yang sangat luas kondisi operasi.

Barreto dkk. (2015) adiabatik air-air arus ke atas diukur dalam lingkaran pipa dengan diameter dalam 1,2 mm. Kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) berkisar antara 0,1 hingga 3,5 m/s, dan kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) dari 0,1 hingga 34,8 m/s. Kualitas gas diperoleh 0,38 m/s. Penurunan tekanan dan hasil fraksi dikumpulkan untuk berbagai aliran pola (*anunular, bubbly, slug, dan churn*) serta untuk transisi

antara konfigurasi aliran dua fase. Transisi *churn/annular* ditemukan terjadi pada superfisial dengan kecepatan gas hingga 6 m/s, sedangkan nilai yang diprediksi adalah 1,4 m/s (sebagaimana diindikasikan oleh Mishima dan Ishii), sesuai kesepakatan dengan Barnea dkk (1983). *Bubbly/slug, slug/churn dan slug/annular* transisi konsisten dengan peta Mishima dan Ishii. Korelasi penurunan tekanan dibuat secara eksklusif dengan refrigeran fluida data (misalnya, Yang dan Webb, Lee dan Mudwar, Tran dkk, Zang dan Kwon) tampaknya tidak sesuai untuk air-udara mengalir. Korelasi tabung kecil yang dibuat dengan data air-udara (yaitu, Kawahara dkk, Lee dan Lee, Mishima dan Hibiki) menunjukkan kinerja adiabatik dalam memprediksi penurunan tekanan  $\Delta P$  untuk *annular* mengalir dengan kecepatan superfisial gas tinggi,  $J_G > 18,6$  m/s. Tradisional korelasi (model homogen, Chisholm dan Muller-Steinhagen dan Heck), umumnya digunakan untuk pipa besar, disajikan kinerja terbaik untuk pola *bubbly, slug, churn dan annular* dengan  $J_G < 14,5$  m/s. Korelasi yang diusulkan oleh Lockhart-Martinelli dan lainnya berdasarkan studi mereka tidak ditemukan efisiensi untuk prediksi  $\Delta P$  untuk  $Re_1 > 2000$ . Pola aliran dan rezim aliran cairan (diberikan  $Re_1$ ) tampaknya mempengaruhi prediksi penurunan tekanan. Parameter Chisholm C untuk tabung kecil terlalu tinggi untuk  $Re_1 > 2000$ . Korelasi fraksi Lockhart-Martinelli mampu memprediksi data eksperimen dan hasil ini sesuai dengan temuan Bao dkk (1994) model homogen pada umumnya gagal untuk mewakili fraksi kekosongan rata-rata meningkat dari sekitar 1 untuk aliran *bubbly* ke nilai sekitar 16 dimana pola *annular* ditemukan. Di *microchannels*, tidak ada slip yang memberikan prediksi wajar hanya untuk aliran *bubbly* dengan kualitas yang sangat rendah dari fraksi hampa. Hasil ini tidak sesuai dengan temuan Oliveira dkk (2008) untuk pipa besar. Analisis *fraksi void* seketika dapat berguna untuk pemantauan tujuan atau untuk meningkatkan prediksi penurunan tekanan. Standar deviasi dari fraksi kekosongan rata-rata,  $\sigma_m$  sekitar sepuluh kali lebih besar untuk pola *slug* dibandingkan dengan pola aliran *bubbly*, konfigurasi aliran *churn* dan *annular* disajikan antara nilai  $\sigma_m$ .

Garcia dkk, (2015) penurunan aliran dua fase telah dilakukan secara eksperimental diukur dalam evaporasi dan proses kondensasi menggunakan dua multiport diekstrusi pada sebuah tabung aluminium hidrolis yang berdiameter 0,715 dan 1,16 mm, refrigeran R134a dan R32 telah diuji. Kondisi eksperimental mulai kecepatan massa 200e 1229 kg/m<sup>2</sup>.s panas flux 70-2,55 kw/m<sup>2</sup>, suhu-suhunya yaitu (5, 7,5, 12,5, 30, 35, 40, 45, 50, 55) °C dari total 396 data. Aliran dua fase gradien tekanan meningkat dengan meningkatnya nilai kecepatan massa dan kualitas uap mendidih dan proses kondensasi, namun gradien tekan menurun ketika jenuh tekanan meningkat. Metode campuran homogen memberikan hasil yang baik ketika dikombinasikan dengan Cicchitti dkk, dan Owens dkk. Kekentalan model untuk kedua refrigeran pada evaporasi dan proses kondensasi.

Sudarja dkk, (2016) melakukan penelitian aliran dua fase air-udara pada pipa yang memiliki ukuran diameter dalam 1,6 mm. Gradien tekanan, ( $\Delta P/\Delta Z$ ), bahwa kecepatan superfisial gas maupun cairan berpengaruh terhadap gradien tekanan secara signifikan, semakin tinggi  $J_G$  menyebabkan semakin tingginya gradien tekanan, dan sebaliknya. Demikian juga halnya dengan  $J_L$ . Hal ini karena kenaikan  $J_G$  maupun  $J_L$  akan menaikkan kecepatan superfisial total dari aliran fluida (*total volumetric flux*), yang secara teoritis berpengaruh pada kenaikan gradien tekanan secara signifikan.

## 2.2 Dasar Teori

Gradien tekanan adalah penurunan tekanan persatuan panjang sepanjang jalur aliran, bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. *Pressure drop* ialah perbedaan tekanan antara dua titik di dalam saluran pipa, penyebab utamanya perbedaan tekanan didalam aliran pipa dikarenakan gesekan. Berikut beberapa metode untuk menghitung *pressure drop* :

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  $f = 0,079 \text{ Re}^{-0,25}$  dan  $\text{Re} = \text{GD}/\mu$ .

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

$$\mu_{\text{TP}} = \mu_{\text{L}} \quad (2.2.1)$$

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:

$$\mu_{\text{TP}} = \mu_{\text{L}}(1 - \beta)(1 + 2.5\beta) + \mu_{\text{G}}\beta \quad (\text{Beattie \& Whalley, 1981}) \quad (2.2.2)$$

$$\mu_{\text{TP}} = \frac{\mu_{\text{L}}\mu_{\text{G}}}{\mu_{\text{G}} + x^{1.4}(\mu_{\text{L}} - \mu_{\text{G}})} \quad (\text{Lin dkk., 1991}) \quad (2.2.3)$$

dimana  $\beta = j_{\text{G}}/j$  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.

### 2.3 Pengukuran Perbedaan Tekanan

Perbedaan tekanan didalam dinding pipa diakibatkan oleh gesekan. Gesekan antara fase cair maupun fase udara dan juga antara kedua fase terhadap permukaan dinding pipa. Perbedaan tekanan antara dua lokasi pipa seksi uji diukur dengan *pressure transducers (PT)*, pada aliran dua fase gas-cairan sering memperlihatkan peningkatan *pressure drop* yang lebih besar jika dibandingkan dengan aliran satu fase.

### 2.4 Persamaan Dasar dalam Aliran Dua Fase

Dalam menganalisis model aliran homogen, persamaan dasar untuk model aliran kesetimbangan homogen satu dimesni sebagai berikut :

#### a. Kontinuitas

$$\dot{m} = \rho_m v A = \text{const} \quad (2.4.1)$$

#### b. Momentum

$$\dot{m} \frac{dv}{dz} = - A \frac{dp}{dz} - P \tau_w - A \rho_m g \cos \theta \quad (2.4.2)$$

#### c. Energi

$$\frac{dq}{dz} - \frac{dw}{dz} = \dot{m} \frac{d}{dz} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (2.4.3)$$

Dengan,

- $\dot{m}$  adalah total laju aliran massa dari cairan dan gas maka  $\dot{m} = \dot{m}_G + \dot{m}_L$
- $A$  dan  $P$  adalah luas penampang dan parameter



- $\tau_w$  adalah tegangan geser dinding rata-rata
- $\frac{dq}{dz}$  adalah perpindahan kalor perunit panjang dari penampang
- $z$  adalah koordinat vertikal
- $\theta$  adalah inklinasi dari penampang ke vertikal

## 2.5 Kecepatan *Superficial*

1. Kecepatan *Superficial* gas ( $J_G$ )

$$J_G = \frac{Q_G}{A} \quad (2.5.1)$$

2. Kecepatan *superficial liquid* ( $J_L$ )

$$J_L = \frac{Q_L}{A} \quad (2.5.2)$$

Dengan :

$J_G$  = 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>)

## 2.6 Viskositas Cairan

Viskositas adalah ukuran kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besar kecilnya gesekan internal fluida, viskositas fluida berhubungan dengan gaya gesek antara lapisan fluida ketika satu lapisan bergerak melewati lapisan yang lain, sehingga apabila nilai viskositasnya tinggi akan susah untuk bergerak.

## 2.7 Tinjauan Tentang Gliserin

Gliserin merupakan cairan kental yang tidak berwarna dan tidak terasa manis, gliserin dapat dilarutkan dengan mudah ke dalam alkohol dan air tetapi tidak menjadi minyak. Senyawa kimia disebut gliserol. Dan keuntungan memakai gliserin yaitu pada kekentalannya sehingga mudah untuk divariasikan

