



ANALISIS *PRESSURE DROP* DAN POLA ALIRAN DUA FASE (AIR-UDARA) PADA PIPA HORIZONTAL MELALUI *ORIFICE*

Haslinda Kusumaningsih^{1*}, Widya Wijayanti², Denny Widhiyanuriyawan³,
Muhammad Fauzi⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang
*Email: haslinda.kusuma@ub.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 18/07/2018
Naskah Direvisi 01/10/2018
Naskah Disetujui 08/10/2018
Naskah Online 08/10/2018

ABSTRAK

Aplikasi aliran dua fase dalam kehidupan sehari-hari dapat ditemukan pada proses evaporasi dan kondensasi pada sistem tenaga uap, *chemical reactor*, instalasi refrigerasi, dan aplikasi *fluidized bed*. Beberapa penelitian mengenai aliran dua fase telah dilakukan. Karakteristik aliran dua fase dapat dilihat dari *pressure drop* dan pola aliran yang terjadi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran dua fase (air-udara) pada *orifice* melalui pipa horisontal. Pada penelitian ini, debit air divariasikan sebesar 14, 16, 18, 20 liter/menit dan debit udara divariasikan sebesar 3, 6, 9, 12, 15 liter/menit. Pipa uji yang digunakan dalam penelitian, adalah pipa transparan berdiameter 31.75 mm dengan panjang 390 mm. Sedangkan *orifice* yang digunakan terbuat dari pelat akrilik dengan area ratio (σ) antara diameter *orifice* dan pipa sebesar 0,6 dan thickness ratio (s/d) antara ketebalan dan diameter *orifice* sebesar 0,11. Fluida kerja adalah air dan udara, *orifice* yang digunakan terbuat dari pelat akrilik dengan area ratio (σ) antara diameter *orifice* dan pipa sebesar 0,6 dan thickness ratio (s/d) antara ketebalan dan diameter *orifice* sebesar 0,11, tipe peletakan titik pengukuran yang digunakan yaitu tipe *corner taps* dan sistem saluran diasumsikan adiabatik. *Pressure drop* yang terjadi pada aliran satu fase (air) maupun dua fase (air-udara) melalui *orifice* didapatkan dalam penelitian ini. Selain itu, pola aliran dua fase yang terjadi pada *orifice* divisualisasikan menggunakan kamera DSLR. Hasil penelitian didapatkan bahwa distribusi tekanan pada aliran dua fase memiliki kecenderungan yang serupa dengan aliran satu fase. Pola aliran dua fase (air-udara) pada pipa horisontal berdasarkan Baker map terbentuk pola aliran *slug* dan *annular*. Akan tetapi karakteristik pola aliran dua fase (air-udara) pada pipa horisontal melalui *orifice* berdasarkan Baker map dengan batas yang berbeda terbentuk pola aliran *wavy*, *bubbly*, *slug* dan *annular*.

Kata kunci: *aliran dua fase, orifice meter, Baker map, pola aliran*

1. PENDAHULUAN

Aliran dua fase merupakan aliran simultan dari dua fluida yang terpisah satu sama lain baik itu fluida cair dengan gas maupun fluida cair atau gas dengan partikel padat yang telah tersuspensi. Dalam kehidupan sehari-hari aliran dua fase dapat ditemukan pada proses evaporasi dan kondensasi pada sistem tenaga uap, *chemical reactor*, instalasi refrigerasi, dan aplikasi *fluidized bed*.

Goes (2009) melakukan penelitian mengenai karakteristik aliran dua fase (air-udara) pada venturi meter dan *orifice* melalui *horizontal and vertical circular channels* dengan variasi massa alir air dan udara sampai 4000 kg/h dan 50 kg/h. Semakin tinggi massa alir fluida dua fase pada posisi *vertical* maka diperoleh pola aliran *churn, slug* dan *bubbly pattern*. Sedangkan pada posisi *horizontal*, semakin tinggi massa alir fluida dua fase maka diperoleh *pressure drop* yang meningkat dan terbentuk pola aliran *annular, slug* dan *bubbly pattern*. Selain itu karakteristik aliran dua fase pada venturi meter lebih mendekati persamaan Chisholm dan Homogenous sedangkan karakteristik aliran dua fase pada *orifice* lebih mendekati persamaan Zhang *et al*.

Selain itu, Roul (2012) melakukan penelitian mengenai karakteristik aliran satu fase dan dua fase (air-udara) melalui *thick and thin orifice* pada *horizontal pipes* berdiameter dalam 40 mm dan 60 mm dan perbedaan geometri *orifice* dengan variasi *area ratio* (σ) 0,54 dan 0,73 serta variasi ketebalan (s/d) 0,025 dan 0,59 telah diteliti. Hasil yang diperoleh yaitu semakin kecil ketebalan dari *orifice* maka *pressure drop* akan semakin besar, sedangkan semakin besar *area ratio* maka *pressure drop* akan semakin menurun. Karakteristik aliran *two phase multiplier* untuk *thin orifice* lebih mendekati pada persamaan Morris, sedangkan pada *thick orifice* nilai *two phase multiplier* lebih mendekati pada persamaan Chisholm.

Penelitian mengenai karakteristik aliran dua fase melalui *orifice* masih perlu untuk dikembangkan dengan memvisualisasikan pola aliran yang terjadi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai karakteristik aliran dua fase pada *horizontal circular channels* melalui *orifice* berdiameter 31,75 mm sepanjang 390 mm dengan geometri *orifice* yaitu *area ratio* (σ) antara luas *orifice* dan luas pipa sebesar 0,36 dan *thickness ratio* (s/d) antara ketebalan *orifice* dan diameter *orifice* sebesar 0,11. Pada penelitian ini akan diamati pengaruh variasi

penambahan debit air (14; 16; 18; 20) liter/menit dan debit udara (3; 6; 9; 12; 15) liter/menit pada *orifice* terhadap karakteristik aliran dua fase (air-udara) yang terdiri dari penurunan tekanan (*pressure drop*), fraksi volume gas (*gas volume fraction*), faktor pengali aliran dua fase (*two phase multiplier*) dan pola aliran (*flow pattern*).

Paramater Aliran Dua Fase

1. Massa Alir, W_{TP}

Massa alir total aliran fluida dua fase seperti pada Persamaan 1 merupakan jumlah dari massa alir fase cair, W_l dengan massa alir fase gas W_g .

$$W_{TP} = W_l + W_g \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (1)$$

2. Volume alir, Q_{TP}

Volume alir total aliran fluida dua fase seperti pada Persamaan 2 merupakan jumlah dari volume alir fluida berfase liquid, Q_l dengan volume alir fase gas Q_g .

$$Q_{TP} = Q_l + Q_g \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

Sama halnya dengan aliran fluida satu fase, volume alir berhubungan dengan massa alir fluida. Untuk volume alir fluida berfase cair dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4 untuk volume alir fluida berfase gas.

$$Q_l = \frac{W_l}{\rho_l} \quad (3)$$

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} \quad (4)$$

3. Fluks massa, G .

Fluks massa merupakan banyaknya massa alir fluida yang melewati suatu luas penampang. Fluks massa untuk aliran dua fase dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$G = \frac{W}{A} \left[\frac{kg}{sm^2} \right] \quad (5)$$

4. Kualitas Massa Udara, x .

Kualitas massa udara merupakan rasio antara massa alir fluida berfase gas dengan massa alir total. Kualitas massa udara dapat dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$x = \frac{W_g}{W_g + W_l} \quad (6)$$

5. Kualitas Volumetrik, β

Kualitas volumetrik merupakan rasio dari volume alir fluida berfase gas, Q_g dengan volume alir total, Q . Kualitas volumetrik dapat dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$\beta = \frac{Q_g}{Q_g + Q_l} \quad (7)$$

6. Kecepatan Superfisial, j .

Kecepatan superfisial adalah kecepatan aliran untuk masing—masing fase pada aliran dua fase.

Kecepatan superfisial total untuk aliran dua fase merupakan penjumlahan dari kecepatan superfisial fluida berfase liquid dan gas yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$j = j_l + j_g \quad (8)$$

a. Kecepatan Superfisial Fluida Berfase Liquid, j_l .

Serupa dengan aliran satu fase kecepatan superfisial merupakan kecepatan fluida yang mengalir di dalam pipa yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 9.

$$j_l = \frac{Q_l}{A} \quad (9)$$

b. Kecepatan Superfisial Fluida Berfase Gas, j_g

Kecepatan superfisial merupakan kecepatan fluida yang mengalir di dalam pipa yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$j_g = \frac{Q_g}{A} \quad (10)$$

Pressure Drop pada Aliran Satu Fase

Penurunan tekanan pada aliran satu fase terjadi karena adanya perubahan arah aliran fluida dalam pipa. Biasanya aliran fluida mengalami perubahan bila aliran fluida tersebut melewati katup, belokan, dan perubahan penampang. Besarnya nilai *pressure drop* dapat dihitung dengan Persamaan 11.

$$\Delta P_{SP} = K \frac{V^2}{2g} \quad (11)$$

dengan :

K = Koefisien hambatan

V = Kecepatan aliran rata-rata dalam pipa (m/s)

ΔP_{SP} = *Pressure drop* aliran satu fase (kPa)

g = Gaya gravitasi (m/s²)

Pressure Drop pada Aliran Dua Fase

Penurunan tekanan pada aliran dua fase diperoleh dari penurunan tekanan pada aliran satu fase dikalikan dengan faktor pengali aliran dua fase (*two phase multiplier*), yang dapat dituliskan dengan persamaan 12 berikut.

$$\Delta P_{TP} = \phi_{lo}^2 \times \Delta P_{SP} \quad (12)$$

Dengan:

ΔP_{SP} = *Pressure drop* aliran satu fase (kPa)

ΔP_{TP} = *Pressure drop* aliran satu dua fase (kPa)

ϕ_{lo}^2 = *Two phase flow multiplier*

Prediksi dari *two phase multiplier* dapat dihitung menggunakan beberapa model yaitu sebagai berikut:

1. Persamaan Homogenous

Persamaan ini digunakan pada kondisi dimana perbandingan antara kecepatan gas dan kecepatan air (*slip ratio*) sebesar 1. Persamaan Homogenous ditulis pada Persamaan 13.

$$\phi_{lo}^2 = \frac{\rho_l}{\rho_g} x + (1 - x) \quad (13)$$

Dimana x merupakan kualitas massa udara yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-15. Dalam hal ini tentunya melibatkan massa alir fluida baik liquid maupun gas yang dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 14.

$$W_{(g,l)} = Q_{(g,l)} \times \rho_{(g,l)} \quad (14)$$

Dengan:

ρ_l = massa jenis *liquid* (Kg/m³)

ρ_g = massa jenis gas (Kg/m³)

x = Kualitas massa udara

$W_{(g,l)}$ = Massa alir fluida (Kg/s)

$Q_{(g,l)}$ = Volume alir fluida (m³/s)

2. Persamaan Chisholm

Persamaan ini biasa digunakan untuk *orifice* dengan ketebalan yang tebal dan tipis (*thick and thin orifice*) yang ditunjukkan pada Persamaan 15. Parameter *thicked orifice* yaitu ketika *thickness ratio, B* (s/d) sebesar lebih dari 0,5 sedangkan *thin orifice* yaitu ketika *thickness ratio, B* (s/d) sebesar kurang dari 0,5.

$$\phi_{lo}^2 = 1 + \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} - 1 \right) [Bx(1 - x) + x^2] \quad (15)$$

Dimana:

- B = 0.5 untuk *thin orifice* ($s/d < 0.5$)
- B = 1.5 untuk *thick orifice* ($s/d > 0.5$)

3. Persamaan Morris

Persamaan ini biasa digunakan untuk *orifice* dengan ketebalan yang tipis (*thin orifice*) dan *gate valve* seperti pada Persamaan 16.

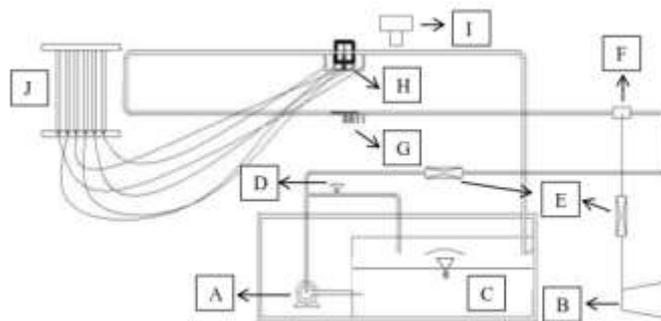
$$\phi_{lo}^2 = \left[x \frac{\rho_L}{\rho_g} + S(1-x) \right] \left[x + \left(\frac{1-x}{S} \right) \left(1 + \frac{(s-1)^2}{\left(\frac{\rho_L}{\rho_g} \right)^{0.5} - 1} \right) \right] \quad (16)$$

Dimana S adalah *slip ratio* yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 17.

$$S = \left[1 + x \left(\frac{\rho_L}{\rho_g} - 1 \right) \right]^{0.5} \quad (17)$$

Pada penelitian ini, debit air divariasikan sebesar 14, 16, 18, 20 liter/menit dan debit udara divariasikan sebesar 3, 6, 9, 12, 15 liter/menit. Pipa uji yang digunakan dalam penelitian, adalah pipa transparan berdiameter 31.75 mm dengan panjang 390 mm, fluida kerja berupa adalah air dan udara, *orifice* yang digunakan terbuat dari pelat akrilik dengan area ratio (σ) antara diameter *orifice* dan pipa sebesar 0.6 dan *thickness ratio* (s/d) antara ketebalan dan diameter *orifice* sebesar 0.11, tipe peletakan titik pengukuran yang digunakan yaitu tipe *corner taps*, sistem saluran diasumsikan adiabatik. Peralatan penelitian disusun menjadi instalasi penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 untuk *orifice meter*. *Pressure drop* yang terjadi pada aliran satu fase (air) maupun dua fase (air-udara) melalui *orifice* didapatkan dalam penelitian ini. Selain itu, pola aliran dua fase yang terjadi pada *orifice* divisualisasikan menggunakan kamera DSLR.

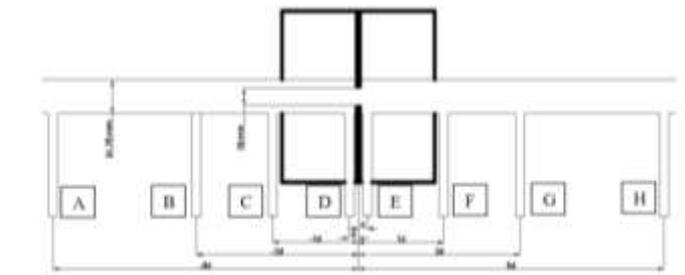
2. METODOLOGI PENELITIAN



Keterangan:

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| A : Pompa | F : Mixer chamber |
| B : Kompresor torax | G : Venturi air |
| C : Bak penampung | H : Orifice |
| D : Katup (valve) | I : Kamera |
| E : Flowmeter air dan udara | J : Manometer air |

Gambar 1 Skema Instalasi Penelitian



Keterangan:

A – D : Titik pengukuran *upstream*

E – H : Titik pengukuran *downstream*

D – E : Titik pengukuran *corner taps type*

Gambar 2 Orifice

HASIL DAN PEMBAHASAN

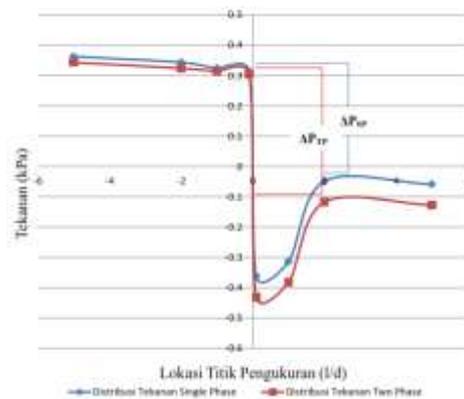
Distribusi Tekanan pada Aliran Satu dan Dua Fase (Air-Udara)

Gambar 3 menunjukkan grafik profil tekanan pada aliran dua fase pada saat debit air 14 liter/menit dan debit udara 3 liter/menit memiliki kecenderungan yang sama dengan aliran satu fase yaitu air pada debit yang sama yaitu 14 liter/menit melalui saluran uji yang sama. Nilai tekanan didapatkan dari setiap titik pengukuran yang ditempatkan di dua daerah yaitu daerah sebelum *orifice (upstream)* dan daerah setelah *orifice (downstream)*.

Tekanan mengalami penurunan secara berangsur-angsur disebabkan oleh adanya faktor gesekan antara fluida dan pipa pada daerah *upstream*. Transisi dari *upstream* dan *downstream* mengalami penurunan tekanan secara drastis yang disebabkan oleh adanya perbedaan luas penampang secara mendadak mengakibatkan head tekanan berubah menjadi head kecepatan, dan juga timbulnya *vortex* menyebabkan hilangnya banyak head tekan. Kemudian, tekanan mengalami kenaikan secara berangsur-angsur pada daerah *downstream* disebabkan kondisi aliran fluida kembali seragam/normal.

Beda tekanan yang dihasilkan dari aliran dua fase lebih besar dibandingkan beda tekanan aliran satu fase ini disebabkan karena kecepatan aliran dua fase akan semakin besar akibat adanya penambahan kecepatan superfisial gas. Semakin besar kecepatan maka tekanan akan semakin kecil sesuai dengan persamaan

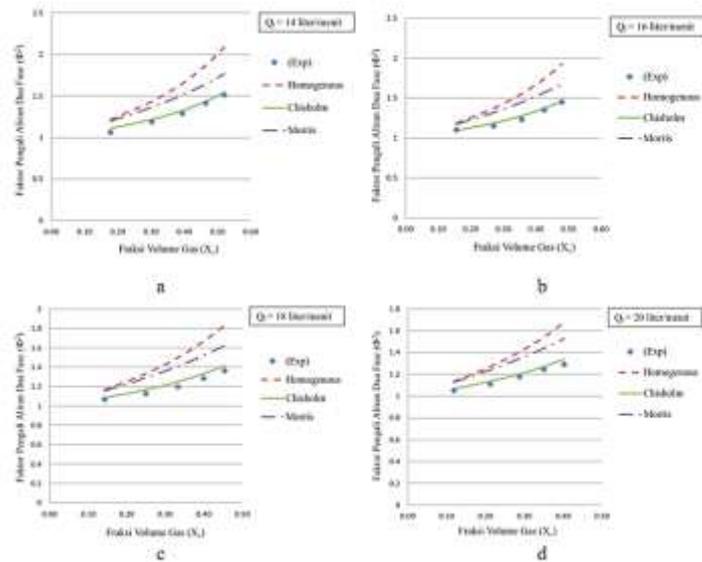
Bernoulli. Selain itu juga akibat semakin besarnya *vortex* serta ketidakseimbangan antar fase kompresibel dengan inkompresibel menimbulkan hilangnya head tekan.



Gambar 3 Grafik Distribusi Tekanan pada Aliran Satu dan Dua Fase

Hubungan Fraksi Volume Gas terhadap Two Phase Flow Multiplier

Semakin meningkatnya fraksi volume gas semakin meningkat besar *two phase flow multiplier* yang diperoleh melalui eksperimen. Hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya fraksi volume gas maka *pressure drop* dari aliran dua fase akan semakin besar. Peningkatan *pressure drop* disebabkan oleh kecepatan aliran dua fase yang semakin besar karena ada penambahan kecepatan superfisial gas.



Gambar 4 Grafik Hubungan Fraksi Volume Gas terhadap Two Phase Flow Multiplier
 (a) $Q_l = 14$ liter/menit, (b) $Q_l = 16$ liter/menit, (c) $Q_l = 18$ liter/menit, (d) $Q_l = 20$ liter/menit

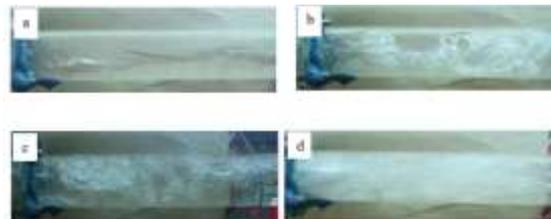
Sedangkan, peningkatan kecepatan menyebabkan penurunan tekanan sesuai dengan persamaan Bernoulli. Selain itu, intensitas terbentuknya *vortex* semakin besar serta ketidakseimbangan antar fase kompresibel dengan inkompresibel menimbulkan peningkatan *pressure drop*.

Data *two phase flow multiplier* dalam penelitian ini memiliki kecenderungan yang semakin meningkat seiring peningkatan fraksi volume gas, seperti pada Gambar 4. Hal ini sesuai dengan kecenderungan yang diperoleh melalui perhitungan beberapa persamaan seperti, persamaan homogenous, Chisholm dan Morris. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa data *two phase flow multiplier* pada penelitian ini lebih mendekati persamaan Chisholm. Hal ini disebabkan karena parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini baik itu diameter, *area ratio*, *thickness ratio* hampir sama dengan Chisholm.

Pola Aliran Dua Fase berdasarkan Baker Map

Aliran *wavy* yang ditunjukkan pada Gambar 5a merupakan suatu kondisi aliran dengan kecepatan gas semakin meningkat, lapisan batas semakin terganggu oleh gelombang yang bergerak searah dengan arah

aliran. Sedangkan, aliran *slug* pada Gambar 5b merupakan suatu kondisi aliran dimana semakin bertambahnya kecepatan gas akan mengakibatkan gelombang pada lapisan batas menjadi daerah berbusa yang akan bergerak sepanjang pipa.



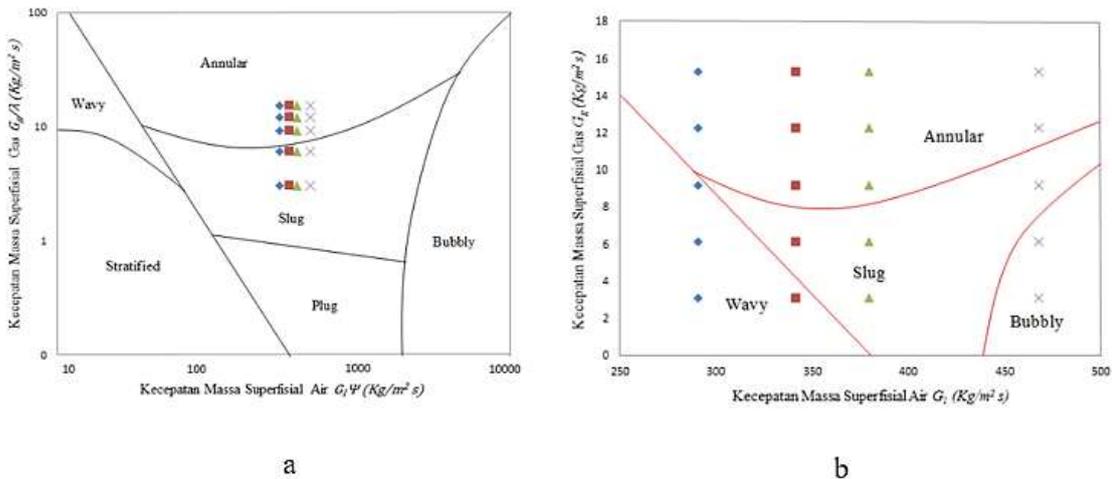
Gambar 5 Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) (a) *Wavy*, (b) *Slug*, (c) *Bubbly*, (d) *Annular*

Gambar 5c menunjukkan pola aliran *bubbly* yang merupakan suatu kondisi aliran dimana terdapat gelembung-gelembung gas yang umumnya bergerak di bagian atas aliran. Sedangkan Gambar 5d menunjukkan pola aliran *annular* yang merupakan suatu kondisi aliran dimana kecepatan gas yang lebih tinggi akan menghasilkan inti gas dengan lapisan film cair di sekeliling dinding dalam pipa. Lapisan film ini bisa tidak sama diameternya sepanjang pipa dan akan lebih tebal di bagian bawah aliran. Ada pun

visualisasi pola aliran yang terbentuk adalah sebagai berikut.

Gambar 6 menunjukkan grafik pola aliran dua fase (air-udara) pada *horizontal circular channels* melalui *orifice* berdasarkan Baker map dan dengan batas yang berbeda.

Berdasarkan hasil penelitian karakteristik pola aliran yang terbentuk sesuai batas Baker map (a) adalah *slug* dan *annular*. Sedangkan dengan batas yang berbeda dari Baker map (b) karakteristik pola aliran yang terbentuk adalah *wavy*, *bubbly*, *slug* dan *annular*.



Gambar 6 Grafik Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) pada *Horizontal Circular Channels* melalui *Orifice* Berdasarkan Baker Map (a) batas sesuai Baker map, (b) batas berbeda dengan Baker map

KESIMPULAN

1. Distribusi tekanan pada aliran dua fase memiliki kecenderungan yang sama dengan aliran satu fase.
2. Semakin meningkatnya fraksi volume gas maka *two phase flow multiplier* secara aktual akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya fraksi volume gas maka *pressure drop* dari aliran dua fase akan semakin besar diakibatkan adanya *vortex* dan ketidakseimbangan antar fase kompresibel dengan inkompresibel yang menimbulkan hilangnya head tekan.
3. *Two phase flow multiplier* yang didapatkan dari eksperimen memiliki kecenderungan semakin meningkat seiring meningkatnya fraksi volume gas dan lebih mendekati pada persamaan Chisholm. Hal ini disebabkan karena parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini baik itu diameter, *area ratio*, *thickness ratio* hampir sama dengan Chisholm.
4. Pola aliran dua fase (air-udara) pada *horizontal circular channels* berdasarkan Baker map terbentuk pola aliran *slug* dan

annular. Akan tetapi karakteristik pola aliran dua fase (air-udara) pada *horizontal circular channels* melalui *orifice* berdasarkan Baker map dengan batas yang berbeda terbentuk pola aliran *wavy*, *bubbly*, *slug* dan *annular*.

DAFTAR PUSTAKA

Crowe, C.T., Elger, D.F., Williams, B.C., Roberson, J.A. 2009. *Engineering Fluid Mechanics* Ninth Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Drazin, P.G. dan Reid, W.H. 2004. *Hydrodynamic Stability*. Second Edition. Inggris: Cambridge University Press.

Fox R. W., McDonald, A. T. 2008. *Introduction to Fluid Mechanics* Seventh Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Goes, J.L. et al. 2009. *Mass flow rate measurements in gas-liquid flows by means of a venturi or orifice plate coupled to a void fraction sensor*. Netherland: Eindhoven University of Tehnology.

Malmuzar. 2003. *Penurunan Tekanan pada Aliran Dua Fase Melintang Horizontal*

- Melintasi Sederetan Pipa Bersirip.
Padang: Politeknik Negeri Padang.
- Munson, B.R., Theodhore, H.O., Wade, W.H.
2009. Fundamentals of Fluids
Mechanics. New York: John Wiley &
Sons. Inc.
- Roul, M.K. dan Sukanta K. 2012. Numerical
Modeling of Pressure Drop Due to
Single Phase Flow of Water and Two
Phase Flow of Air-Water Mixtures
through Thick and Thin Orifice. India :
Bhadrak Institute of Tehnology.
- Thome, J.R. 2004. Engineering Data Book III.
Huntsville, AL: Wolverine Tube, Inc.
- Tobing, L. 2010. Bab 2 Tinjauan Pustaka.
Sumatera Utara: Universitas Sumatera
Utara.

