

Fraksi Hampa Campuran Gliserin-Air dan Udara Pada Pipa Horizontal Berukuran Mini

Farid Jayadi^{1*}, Sudarja², Wenang³, Indarto⁴, Deendarlianto⁵

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang karakteristik aliran air-udara. Salah satu karakteristik yang penting dalam aliran dua fasa adalah Fraksi hampa. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca dengan diameter 1,6 mm posisi horisontal. Fluida yang digunakan adalah air-udara dan campuran air-gliserin dengan konsentrasi 20%. Kecepatan superfisial gas (J_G)=0,033 – 4,935 m/s, dan kecepatan superfisial cairan (J_L)=0,025 – 66,3 m/s. Data fraksi hampa diperoleh dari pengambilan gambar pada seksi uji menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara pola aliran dan fraksi hampa sangatlah berpengaruh didalam menentukan karakteristik aliran dua fasa. Pola aliran bubbly dan slug, fraksi hampanya meningkat dengan meningkatnya J_G . Fraksi hampa yang diukur adalah sama atau lebih besar dari fraksi hampa homogen. Pola aliran churn, slug-annular, dan annular, tidak ada hubungan yang jelas antara J_G dan fraksi hampa diamati ketika J_G meningkat, karena tingginya slip rasio antara gas dan cairan. Pembuktian bahwa, untuk aliran bubbly dan slug, fraksi hampa dekat dengan garis homogen, sedangkan untuk aliran churn, annular, dan slug-annular yang jauh di bawah garis homogen. Ini menunjukkan bahwa rasio slip untuk kelompok kedua pola aliran lebih tinggi daripada 1.

Kata Kunci: aliran dua-fasa, pipa mini, kecepatan superfisial, fraksi hampa

Pendahuluan

Perkembangan teknologi dewasa ini semakin mengarah pada peralatan dan produk yang kecil dan kompak. Banyak teknologi yang memanfaatkan teknologi *micro* untuk menunjang sebuah sistem yang efisien. Dengan efisiensi yang baik, maka biaya produksi dapat ditekan sehingga harga jual produk atau barang tersebut lebih kompetitif. Aliran dua fasa di dalam pipa berukuran mini berbeda dengan aliran dua-fasa pada pipa besar di mana aliran fluida pada pipa berukuran mini mempunyai sifat yang unik, di mana tegangan permukaan memiliki peran yang sangat dominan dalam aliran tersebut. Oleh karena itu, penelitian mengenai parameter dasar aliran dua-fasa pada pipa berukuran mini menjadi sangat penting guna mendapatkan informasi dan *data base* yang bermanfaat untuk membuat sebuah desain peralatan kecil (*mini device*) atau *compact system* yang melibatkan aliran dua-fasa [1]. Zhao dan Bi (2001) [2]. memberikan gambaran tentang beberapa aplikasi aliran pada saluran kecil seperti pada pendinginan modul-modul *high-density multi-chip* pada *supercomputer*, peralatan *X-ray* dan peralatan diagnostik lainnya yang berdaya tinggi, penukar kalor fluks tinggi pada sistem kedirgantaraan (*aerospace system*), sistem pendinginan *cryogenic* pada satelit, dan sebagainya. Kawahara dkk. (2002) [3] juga memberikan contoh lain dari aplikasi *micro scale devices*, yaitu untuk pendinginan rangkaian mikroelektrik, aplikasi-aplikasi pada *bioengineering*, *aerospace* dan *micro heat pipe*. Beberapa dari pemakaian tersebut melibatkan aliran dua fasa dalam pipa berdiameter kurang dari 1 mm.

Beberapa peneliti sebelumnya, masih banyak perbedaan pendapat mengenai pembagian dan pengelompokan terhadap ukuran diameter pipa pada studi aliran dua-fasa. Mehendale dkk. (2000) [4], membagi ukuran saluran menjadi 4, yaitu dari 1 μm sampai 100 μm sebagai *microchannels*, 100 μm

* E-mail address: fjayadi999@gmail.com

Available Online 31 July 2020

sampai 1 mm sebagai *mesochannels*, 1 mm sampai 6 mm sebagai *compact passages*, dan di atas 6 mm sebagai *conventional passages*. Zhao dan Bi (2001) [2] menyebut seksi uji yang digunakan (saluran segitiga dengan diameter hidraulik 2,886 mm, 1,443 mm, dan 0,866 mm) dengan *microchannel*. Kandlikar dan Grande (2003) [5] membagi ukuran saluran menjadi 5 macam, yaitu: saluran konvensional, saluran mini, saluran mikro, saluran transisi, dan saluran nano (*molecular nanochannels*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

Channel classification scheme.

Conventional channels	$>3 \text{ mm}$
Minichannels	$3 \text{ mm} \geq D > 200 \mu\text{m}$
Microchannels	$200 \mu\text{m} \geq D > 10 \mu\text{m}$
Transitional Microchannels	$10 \mu\text{m} \geq D > 1 \mu\text{m}$
Transitional Nanochannels	$1 \mu\text{m} \geq D > 0.1 \mu\text{m}$
Nanochannels	$0.1 \mu\text{m} \geq D$

D: smallest channel dimension

Gambar 1. Skema aplikasi aliran dua-fasa berdasarkan ukuran (Kandlikar dan Grande, 2003)



Gambar 2. Compact Heat Exchanger (dari GEA)

Dalam penelitian karakteristik aliran dua fasa pada pipa mini sangat tergantung pada tegangan permukaan dan viskositas yang menyebabkan perbedaan terhadap parameter penting pada aliran dua-fasa yang meliputi: *flow behavior* pola aliran (*flow pattern* atau *flow regime*) dan peta pola aliran (*flow pattern map*), fraksi hampa / *void fraction* (α atau σ), dan perubahan tekanan (*pressure gradient* dan *pressure drop*).

Fukano dan Furukawa (1997) [6] menyatakan bahwa viskositas cairan sangat berpengaruh pada struktur antar muka. Di samping itu, kenaikan viskositas mengakibatkan naiknya faktor gesekan antar muka pada bilangan Reynolds fasa gas yang sama. Furukawa dan Fukano (2001) [7] juga menyatakan bahwa viskositas cairan berpengaruh secara signifikan terhadap struktur film cairan di sekeliling gelembung gas besar pada aliran slug. Pada peta pola aliran, peningkatan v_L mengakibatkan garis transisi dari aliran bubble ke aliran slug bergeser ke arah wilayah j_G yang lebih kecil, serta garis transisi dari aliran froth ke froth-annular dan dari froth-annular ke annular bergeser ke daerah dengan j_G yang lebih besar. Mc Neil dan Stuart (2003) [8] menguatkan pendapat Fukano dan Furukawa (1997) [6] dan Furukawa dan Fukano (2001) [7], bahwa faktor gesekan antar muka berbeda signifikan antara cairan dengan viskositas tinggi dan viskositas rendah. Sowinski dan Dziubinski (2007) [9] menyatakan bahwa kenaikan viskositas cairan menyebabkan menurunnya fraksi hampa gas. Selain itu, naiknya viskositas cairan menyebabkan pertumbuhan kecepatan aliran fasa gas rata-rata, j_G , yang signifikan. Zhao dkk. (2013) [10] menyatakan bahwa karakteristik aliran minyak dengan viskositas tinggi dan gas menunjukkan beberapa perbedaan signifikan dibandingkan aliran dengan cairan berviskositas rendah. Pengukuran fraksi hampa dalam pipa mini dan microchannels sangat sulit dilakukan. Sebagian besar dari peneliti didasarkan pada analisis gambar [11]. Teknik pengukuran lain yang pernah digunakan adalah katup solenoid yang simultan [12], *radiografi neutron* dan *image processing* [13]. Mishima dan Hibiki [13] mengkorelasikan data fraksi hampa aliran ke atas pada saluran vertikal dengan model *drift fluks* yang dilakukan oleh Kariyasaki et al. [14] Triplett dkk. [15] membandingkan data fraksi hampa mereka dengan saluran berdiameter 1,45 mm, diperkirakan dari foto-foto bagian uji melingkar, dengan prediksi beberapa korelasi. Kecuali untuk aliran annular, di mana semua korelasi yang diuji melebihi prediksi,

model homogen memberikan persetujuan terbaik dengan hasil eksperimen. Serizawa et al. [16] mengukur fraksi hampa dengan menggunakan analisis gambar video. Untuk aliran *bubbly* dan *slug*, korelasi linear antara σ dan J , menunjukkan persamaan dengan korelasi Armand [17].

Chung dan Kawaji (2004) [18] mengukur fraksi hampa rata-rata waktu pada saluran sirkular berdiameter $D = 50, 100, 250, \text{ dan } 530 \mu\text{m}$ serta saluran persegi dengan diameter hidraulik $96 \mu\text{m}$ menggunakan analisis gambar. Model aliran homogen mempunyai kesesuaian yang baik dengan data untuk diameter $530 \mu\text{m}$. Data untuk diameter $250 \mu\text{m}$ sedikit berbeda dari model aliran homogen, tetapi bersesuaian secara baik dengan korelasi tipe Armand yang diusulkan lebih dulu oleh Ali dkk (1993) [19] untuk aliran dua-fase dalam saluran persegi sempit dengan $DH \sim 1 \text{ mm}$. Publikasi tentang fraksi hampa di saluran mini tidak sebanyak dengan saluran konvensional. Oleh karena itu, investigasi pada fraksi hampa di minichannel disertai dengan diskusi detailnya sangat penting untuk dilakukan. Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk mendapatkan data eksperimental pada aliran dua fase dalam pipa minichannel, dan menentukan hubungan antara pola aliran dan fraksi hampa. Kemudian data yang diperoleh dibandingkan dengan korelasi yang ada, seperti model homogen, korelasi Armand, dan korelasi Kawahara.

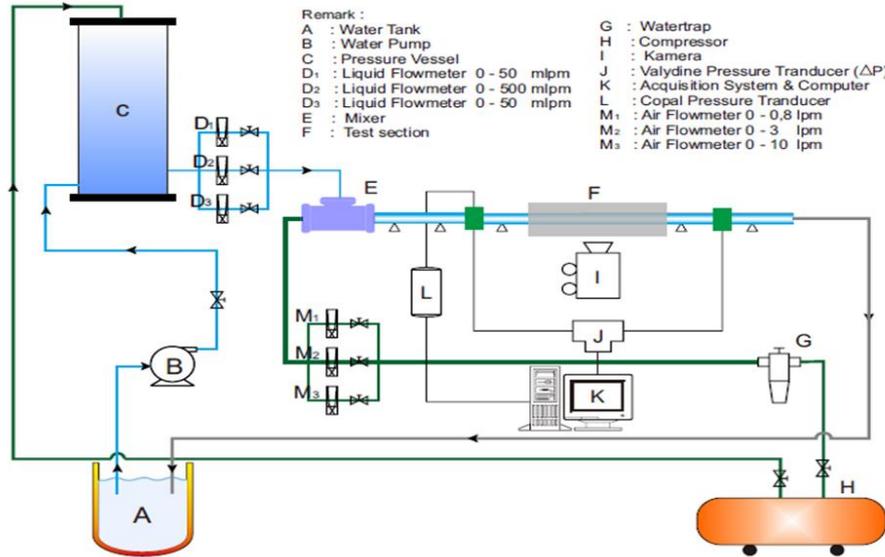
Metodologi

Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas digunakan adalah udara kering, yang didapatkan dari kompresor udara yang dilengkapi dengan dryer dan water trap, sedangkan untuk fluida cair digunakan campuran gliserin dengan berbagai konsentrasi, yang dialirkan ke dalam mixer dengan bantuan bejana tekan. Data properti air suling dan larutan gliserin diperoleh dari pengukuran yang dilakukan di Laboratorium Analisa Bahan, Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada pada suhu 25° dan tekanan 1 atm yang ditunjukkan pada tabel 1.

TABLE 1. Properties Fluida Kerja

Properties	Campuran Air+Gliserin	Udara
Density, ρ [kg/m ³]	1066	1,163
Absolute viscosity, μ [N.s/m ²]	$1,47 \times 10^{-3} = 2 \times \mu_{\text{Air}}$	$1,85 \times 10^{-5}$
Kinematic viscosity, ν [m ² /s]	$1,38 \times 10^{-6}$	$1,597 \times 10^{-5}$

Instalasi alat yang digunakan pada penelitian ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 yang terdiri dari: tangki air, pompa air, bejana tekan, planum, kompresor udara, *water trap*, seksi uji berupa pipa kaca berdiameter dalam 1,6 mm posisi horizontal, *optical correction box*, *flowmeter* udara dan *flowmeter* air. Fluida yang digunakan adalah udara kering dan campuran gliserin dan aquades. Pengambilan data pola aliran dilakukan dengan menggunakan kamera Nikon J4 dengan kecepatan 1200 fps. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Penelitian dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) 0,033 – 4,935 m/s, dan kecepatan superfisial cairan (J_L) = 0,025 – 66,3 m/s.



Gambar 3. Skema alat uji

Gambar video dari seksi uji diambil dengan menggunakan kamera video berkecepatan tinggi. Data fraksi kosong diperoleh dengan menganalisis video dan gambar. Prinsip-prinsip pemrosesan gambar mengubah gambar Red Green Blue (RGB) menjadi gambar biner, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Warna gelap mewakili fase cair sedangkan yang putih mewakili gas.

TABLE 2. RGB and binary images

Pola Aliran	Gambar RGB	Gambar Biner
<i>Slug</i>		
<i>Bubble</i>		
<i>Slug-Annular</i>		
<i>Annular</i>		
<i>Churn</i>		

Hasil dan Pembahasan

Pola aliran yang terdeteksi pada penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, dikelompokkan menjadi 5 jenis pola aliran yaitu aliran (a)slug, (b)bubbly, (c)slug-annular, (d)churn, dan (e)annular. Tabel 3-5 menunjukkan hubungan antara pola aliran dan fraksi hampa untuk 1 menit *time series*, serta PDF fraksi hampa untuk setiap pasangan J_G dan J_L . Tabel 3 (a) menunjukkan bahwa pada J_L 0,033 m / s dan J_G 0,025 m / s, pola aliran yang terbentuk adalah aliran *slug*. Berdasarkan fasanya, pola aliran slug terdiri dari dua jenis *slug* yaitu *slug* udara dan *slug* air. *Slug* udara merupakan pola aliran bubble yang bentuknya lebih panjang (*elongated bubble*) hingga menyerupai peluru. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, panjang kantong udara pada aliran *slug* dipengaruhi oleh

variabel J_G , semakin tinggi nilai J_G , maka kantong udara pada aliran *slug* akan semakin panjang pada nilai J_L yang sama dan sebaliknya, dari Tabel 3a. Dapat dilihat bahwa *slug* yang terbentuk memiliki ukuran yang lebih pendek dari pada Tabel 3b, dengan nilai fraksi hampa mencapai 1 pada rentang waktu tertentu. Berdasarkan ukuran, pada penelitian ini terdapat dua jenis *slug* udara yang terobservasi, yaitu *slug* udara panjang dan *slug* udara pendek. *Slug* udara panjang dimana *nose* dan *tail* pada *slug* udara tersebut tidak terlihat bersamaan sepanjang seksi uji. Sedangkan *slug* udara pendek dimana *nose* dan *tail* terlihat pada satu seksi uji. Hal ini dikarenakan *slug* udara panjang memenuhi sepanjang bagian seksi uji sehingga fasa yang terdapat pada seksi uji hanya udara. *Slug* udara dan *slug* air muncul secara bergantian sehingga bentuk grafik fraksi hampa terhadap waktu hanya terdapat dua nilai yang dominan yaitu 1 dan 0. Besaran nilai fraksi hampa yang dominan muncul pada pola aliran *slug* yaitu 1 dengan nilai probabilitas sekitar 0,6 untuk J_G 0,116 m/s (*slug* pendek) dan 0,8 untuk J_G 0,207 m/s (*slug* panjang). Pada saat J_G dinaikkan maka akan membentuk pola aliran *slug-annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fasa cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada satu titik atau lebih terdapat film cairan yang lebih tebal disbanding titik yang lainnya. Adanya lapisan film cairan yang lebih tebal tersebut berasal dari jembatan cairan yang memisahkan kantong-kantong udara pada aliran *slug*. Pada titik yang terdapat lapisan film cairan lebih tebal akan membuat nilai fraksi hampa menurun, dimana pada rentang waktu tertentu nilai dari fraksi hampa akan menurun dikarenakan adanya *liquid neck* yang terjadi pada aliran *slug-annular*. Seperti terlihat pada Tabel 3c dapat dilihat bahwa grafik PDF menunjukkan fraksi hampa pada pola aliran *slug-annular* memiliki nilai fraksi hampa yang dominan pada 0,25-03 dengan probabilitas sebesar 0,57.

TABLE 3. Pola aliran, fraksi hampa, and PDF Untuk $J_L= 0.033$ m/s

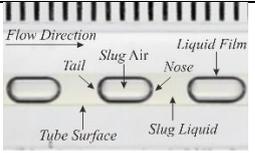
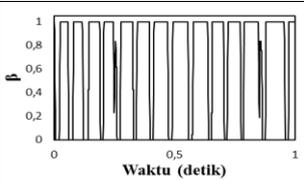
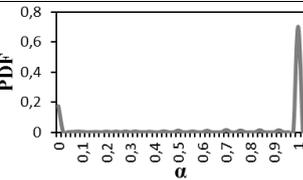
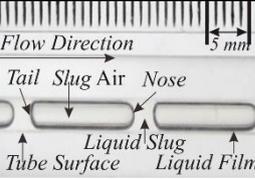
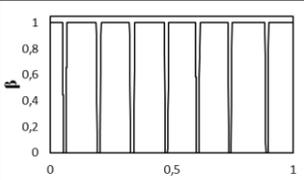
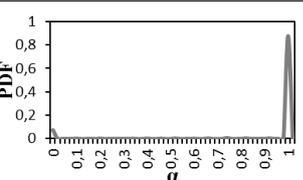
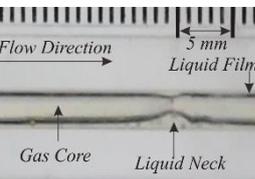
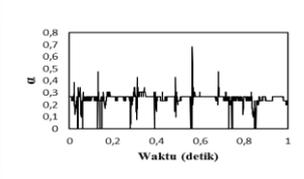
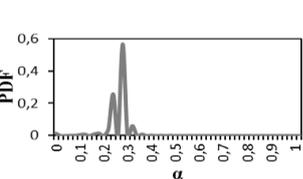
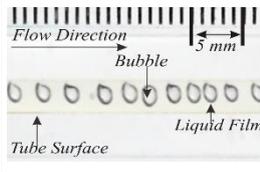
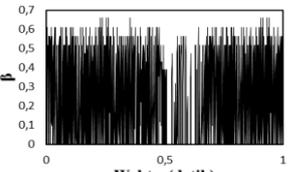
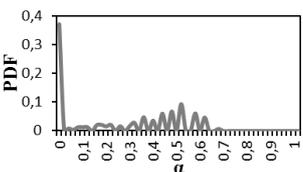
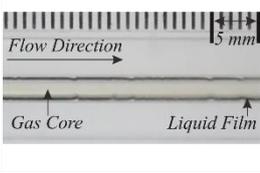
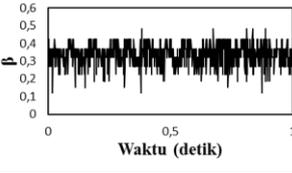
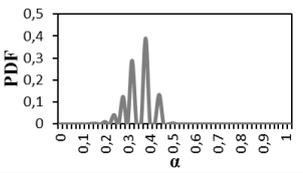
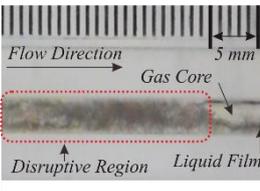
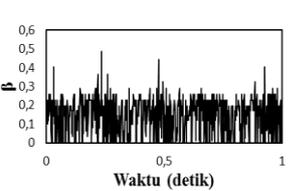
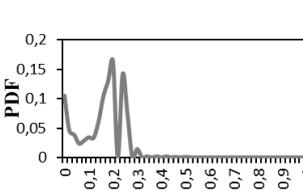
No	J_G (m/s)	Images	Void Fraction (time series)	PDF	Remark
a	0.116				<i>Slug</i>
b	0.207				<i>Slug</i>
c	4.238				<i>Slug-annular</i>

TABLE 4. Pola aliran, fraksi hampa, and PDF Untuk $J_L= 1,493$ m/s

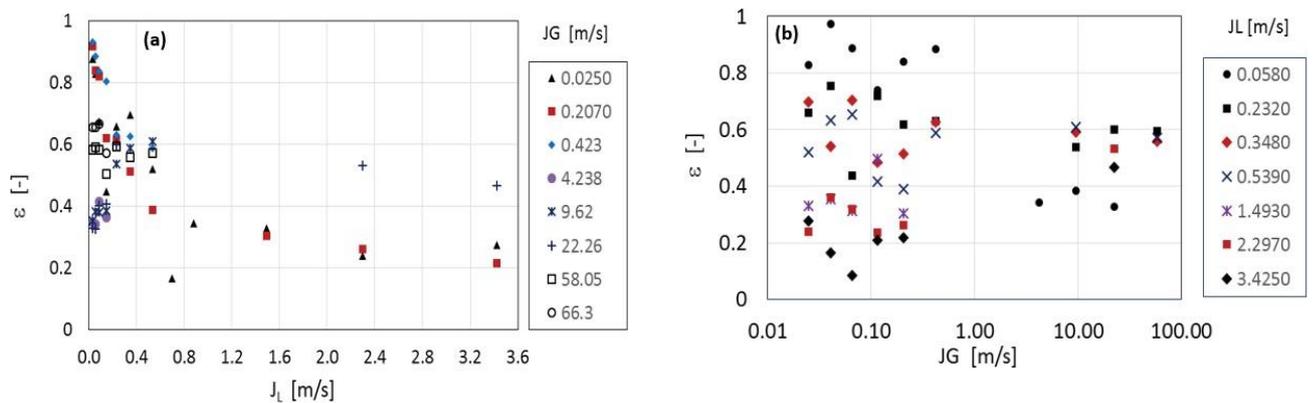
No	J_G (m/s)	Images	Void Fraction (time series)	PDF	Remark
a	0.207				Bubbly
b	9,62				Annular
c	22,26				Churn

Pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung udara hingga menyerupai bola pada pipa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4a. Pola aliran bubbly muncul pada saat kecepatan superfisial gas cukup rendah dan kecepatan superfisial liquid cukup tinggi. Pada aliran bubbly tidak sepenuhnya hanya berisi pola aliran bubbly, tetapi disertai dengan kemunculan beberapa slug udara. Munculnya slug udara dapat dilihat pada gambar 5.38. dimana secara tiba-tiba fraksi hampa naik secara signifikan pada rentang waktu tertentu. Kemunculan ini disebabkan oleh beberapa kemungkinan. Kemungkinan tersebut antara lain bergabungnya dua gelembung atau lebih (*coalescence*) serta mengumpulnya udara pada sisi *inlet* mixer karena debit udara yang kecil. Pada grafik *PDF* untuk pola aliran *bubbly*, besaran nilai fraksi hampa pada aliran *bubbly* didominasi dengan nilai sekitar 0 - 0,4. Data *bubbly* yang lain juga menunjukkan bahwa nilai *PDF* didominasi oleh nilai fraksi hampa yang kecil. Hal ini disebabkan karena aliran *bubble* terjadi pada J_L yang tinggi. Pada Tabel 4 b terbentuk aliran *annular*. Pola aliran ini merupakan kelanjutan dari pola aliran *slug-annular*. Aliran ini terjadi akibat kecepatan superfisial dari fasa gas jauh lebih besar jika dibandingkan dengan fasa cair dimana terdapat fasa gas yang melewati bagian tengah dari fasa cair sehingga mendorong lapisan film terdistribusi mendekati simetris pada dinding pipa. karakter *time-series* fraksi hampa pada pola aliran *annular* terlihat fluktuatif tetapi tidak terjadi penurunan atau kenaikan fraksi hampa yang signifikan. Sama seperti pada pola aliran *churn* dan *slug-annular* rentang nilai besaran fraksi hampa pada pola aliran *annular* terpusat dan berkisar antara 0,65-0,9 dengan nilai probabilitas sebesar 0,463.

Pada Tabel 4 c terdapat pola aliran *churn* yang terbentuk ketika kecepatan superfisial gas semakin dinaikan sementara kecepatan superfisial air lebih kecil dimana selisih keduanya cukup besar dan terdapat bagian yang mengalami distorsi atau ketidakstabilan. Ketidakstabilan tersebut dapat dilihat pada karakteristik *time-series* yang ditampilkan pada Tabel 4 c. dimana fraksi hampa yang terjadi pada pola aliran *churn* menjadi tidak beraturan. Pada Tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada rentang waktu tertentu terdapat nilai fraksi hampa yang rendah hal ini menunjukkan pada rentang waktu tersebut terjadi distorsi (*churn*) yang cukup besar. Sedangkan pada rentang waktu yang lainnya terdapat nilai fraksi hampa yang menurun tajam sampai mendekati 0. Hal ini menunjukkan pada rentang waktu tersebut tidak mengalami distorsi.

Dari Gambar 4.(a) tampak bahwa pada J_G rendah (misalnya $J_G = 0,0423$ m/s), kenaikan J_L mengakibatkan fraksi hampa turun secara signifikan, akan tetapi untuk J_G besar ($J_G \geq 4,238$ m/s), pengaruh kenaikan J_L terhadap fraksi hampa tidak begitu jelas kecenderungannya. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada daerah J_G rendah pola alirannya adalah *bubbly* atau *plug*, dimana *slip ratio* mendekati 1 (kecepatan gelembung udara atau peluru udara sama atau hampir sama dengan kecepatan cairan), maka perubahan J_L mengakibatkan perubahan fraksi hampa secara langsung. J_L naik, fraksi hampa turun, dan sebaliknya, J_L turun, fraksi hampa naik. Pada J_G besar, pola aliran yang mungkin terjadi adalah *slug-annular*, *annular*, atau *churn*, dimana *slip ratio* jauh di atas 1 (kecepatan udara jauh lebih besar dari kecepatan cairan), maka perubahan J_L tidak berpengaruh secara langsung terhadap fraksi hampa, tetapi hanya mengubah *slip ratio*. *Slip ratio* (S) adalah rasio antara kecepatan fase gas, v_g , terhadap kecepatan cairan, v_L , (Baretto dkk.,2013).

Gambar 4 (b) terlihat bahwa kenaikan J_G tidak serta merta menaikkan fraksi hampa secara langsung. Dari gambar tersebut dapat dijumpai suatu fenomena ekstrim, yaitu pada $J_L = 0,058$ m/s, jika J_G dinaikkan dari 0,423 m/s menjadi 4,238 m/s, fraksi hampanya justru turun drastis, yaitu dari 0,884 menjadi 0,342. Hal ini karena pola alirannya berubah dari *plug* (*slip ratio* mendekati 1) menjadi *slug-annular* (*slip ratio* nya jauh di atas 1). Kenaikan J_G hanya meningkatkan kecepatan riil fase gas. Dari sini dapat disimpulkan bahwa pengaruh J_G dan J_L terhadap besarnya fraksi hampa sangat tergantung pada pola alirannya, karena berkaitan dengan *slip ratio*.



Gambar 4. Pengaruh J_G dan J_L terhadap fraksi hampa untuk aliran dua-fase udara-air+gliserin

Gambar 5. melukiskan data fraksi hampa (σ) yang diplotkan terhadap fraksi hampa homogen (J), untuk semua pola aliran. Data tersebut juga dibandingkan dengan korelasi yang ada. Garis utuh linier menyatakan garis homogen (pers. 1), sedangkan garis putus-putus mewakili korelasi Armand (pers. 2) yang telah digunakan sebelumnya oleh Ali dkk. (1993) dan Serizawa dkk. (2002).

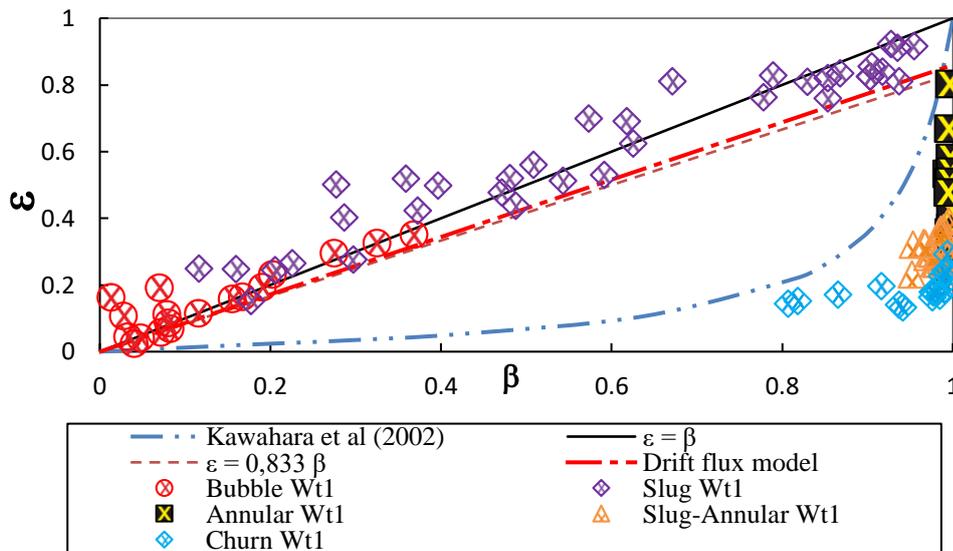
$$\sigma = J \tag{1}$$

$$\sigma = 0,8333 J \tag{2}$$

dengan $J = J_G / (J_G + J_L)$ adalah kualitas volumetrik, atau fraksi hampa homogen, sedangkan garis paling bawah (garis lengkung) adalah korelasi Kawahara (pers. 3).

$$s = \frac{0.03\beta^{0.5}}{1 - 0.97\beta^{0.5}} \quad (3)$$

Data fraksi hampa dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu yang berada di atas garis homogen (pola aliran *bubbly*), yang berada di sekitar garis homogen (pola aliran *plug*), dan yang berada jauh di bawah garis homogen (pola aliran *slug-annular*, *annular* dan *churn*). Semua data fraksi hampa dari kelompok pertama nilainya di atas garis homogen. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan gas lebih rendah dari pada kecepatan cairan, atau dengan kata lain, *slip ratio* (*S*) kurang dari 1. Hal ini akibat dari dominasi cairan, karena pada pola aliran *bubbly* nilai J_L jauh lebih tinggi dibandingkan nilai J_G .



Gambar 5. Hubungan antara fraksi hampa homogen dan fraksi hampa terukur dibandingkan dengan korelasi yang ada.

Secara umum, pada pola aliran *plug*, gas dan cairan mengalir bergantian dan peluru udara memenuhi penampang lintang saluran, sehingga *slip* antar fase sulit terjadi ($S = 1$ atau sedikit di bawah 1). Data pada kelompok kedua ini jika dibandingkan dengan data dari Serizawa dkk. (2002), ada kemiripan, tetapi juga ada sedikit perbedaan, yaitu fraksi hampa pada penelitian ini sedikit lebih tinggi dari yang didapatkan mereka. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan ukuran saluran, dimana mereka menggunakan pipa berdiameter 20 μm dengan bahan silika, sedangkan penelitian ini menggunakan pipa kaca dengan diameter 1,6 mm. Data fraksi hampa kelompok ketiga menunjukkan semua σ jauh lebih kecil dari pada β , karena *slip ratio*-nya besar. Hal ini pernah dijelaskan juga oleh Kawahara dkk. (2002) dan Saisorn dan Wongwises (2008). Jika data kelompok ketiga dibandingkan dengan data dari Chung and Kawaji (2004) dan Saisorn dan Wongwises (2008), terlihat bahwa data fraksi hampa mereka mempunyai kesamaan dengan data pada penelitian ini.

Kesimpulan

Studi eksperimental pada fraksi hampa aliran dua fase udara-campuran air dan gliserin dalam pipa berdiameter 1,6 mm telah dilakukan. Campuran gliserin dan air - udara digunakan sebagai fluida kerja. Kecepatan gas dan cairan superfisial bervariasi pada kisaran 0,025 - 66,3 m / s dan 0,033 - 4,935 m / s. Hasilnya dirangkum sebagai berikut:

1. Pola aliran memainkan peran penting dalam memprediksi fraksi hampa.

2. Untuk aliran *bubbly* dan *slug*, fraksi hampa meningkat dengan meningkatnya J_G . Fraksi hampa yang diukur adalah sama atau lebih besar dari fraksi hampa homogen.
3. Untuk pola aliran *churn*, *slug-annular*, dan *annular*, tidak ada hubungan yang jelas antara J_G dan fraksi hampa diamati ketika J_G meningkat, karena tingginya slip rasio antara gas dan cairan.
4. Terbukti bahwa, untuk aliran *bubbly* dan *slug*, fraksi hampa dekat dengan garis homogen, sedangkan untuk aliran *churn*, *annular*, dan *slug-annular* yang jauh di bawah garis homogen. Ini menunjukkan bahwa rasio slip untuk kelompok kedua pola aliran lebih tinggi daripada 1.

Daftar Pustaka

- [1] K. A. Triplett, S. M. Ghiaasiaan, S.I. Abdel-khalik, and D. L. Sadowski, Gas-Liquid two-phase flow in microchannels. Part I: Two-phase flow pattern. *Int. J. Multiphase flow*, 1999a, Vol. 25, pp. 377-394
- [2] Zhao T.S., Bi Q.C., 2001, Co-current air-water two-phase flow patterns in vertical triangular microchannels, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 27, pp. 765-782.
- [3] Kawahara, A., Chung, P.M.Y., Kawaji, M., 2002, Investigation of Two-Phase Flow Pattern, Void Fraction and Pressure Drop in a Microchannel, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 28, pp. 1411-1435.
- [4] Mehendale, A.M. and Jacobi S.S., 2000, Evaporative heat transfer in mesoscale heat exchangers, *ASHRAE Transactions*, Vol. 106, pp. 446-455.
- [5] Kandlikar, S.G., Grande, W.J., 2003. Evolution of microchannel flow passages—thermohydraulic performance and fabrication technology, *Heat Transfer Eng.* 24, 3–17.
- [6] Fukano T. and Furukawa, T., 1998, Prediction of The Effects of Liquid Viscosity on Interfacial Shear Stress and Frictional Pressure Drop in Vertical Upward Gas-Liquid Annular Flow, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol 24, No 4, pp. 587-603.
- [7] Furukawa, T., Fukano, T., 2001, Effects of Liquid Viscosity on Flow Patterns in Vertical Upward Gas- Liquid Two-Phase Flow, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol 27, pp. 1109-1126.
- [8] Mc Neil, DA. dan Stuart, AD., 2003, The Effects of a Highly Viscous Liquid Phase on Vertically Upward Two-Phase Flow in Pipe, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol 29, pp. 1523-1549.
- [9] Sowinski, J., dan Dziubinski, 2007, The effect of liquid viscosity on the void friction in a two-phase gas-liquid flow in narrow mini-channels, *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6)*, Copenhagen, 16-20 September 2007.
- [10] Zhao T.S., Bi Q.C., 2001, Co-current air-water two-phase flow patterns in vertical triangular microchannels, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 27, pp. 765-782.
- [11] Ghiaasiaan, S. M., 2008, Two-Phase Flow, Boiling, and Condensation in Conventional and Miniature Systems, *Cambridge University Press. New York, USA*
- [12] Z.-Y. Bao, M. G. Bosnich, and B. S. Haynes, Estimation of void fraction and pressure drop for two-phase flow in fine passages, *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 1994, Vol 72A, pp. 625–532
- [13] K.Mishima and T. Hibiki, Some characteristics of air-water two-phase flow in small diameter vertical tubes, *Int. J. Multiphase flow*, 1996, Vol 2, pp. 703-712.
- [14] A. Kariyasaki, T. Fukano, A. Ousaka, and M. Kagawa, Isothermal air-water two-phase up- and downward flows in vertical capillary tube (1st report, Flow pattern and void fraction). *Trans. JSME Ser. B.*, 1992, Vol. 58, pp. 2684–2690.
- [15] K. A. Triplett, S. M. Ghiaasiaan, S.I. Abdel-khalik, and D. L. Sadowski, Gas-Liquid two-phase flow in microchannels. Part II: Void fraction and pressure drop.. *Int. J. Multiphase flow*, 1999b, Vol. 25, pp. 377- 394.
- [16] Serizawa, A., Feng, Z., and Kawara, Z., 2002, Two-phase flow in microchannels. *Exp Thermal fluid Sci.*, Vol. 26, pp. 703 – 714.
- [17] A. A. Armand, The resistance during the movement of two-phase system in horizontal pipes, *Izv. Vses. Teplotekh. Inst*, 1946, Vol 1, pp. 16-23 (AERE-Lib/Trans 828) (17)
- [18] Chung, P.M.-Y., Kawaji, M., 2004. The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannel, *Int. J. Multiphase flow*, Vol. 30, pp. 735-761.
- [19] Ali, M.I., Sadatomi, M., Kawaji, M., 1993. Two-phase flow in narrow channels between two flat plates. *Can. J. Chem. Eng.*, Vol. 71, pp. 657–666.
- [20] Sudarja, Indarto, Deendarlianto, and Aqli Haq, Experimental study on the void fraction of air-water two-phase flow in a horizontal circular minichannel, *AIP Conference Proceedings*, 2016, Vol. 1737, 040014 (2016); doi: 10.1063/1.4949302, pp. 040014-1 – 04014-9.