

Air Two-Phase Flow Void Fraction – Water and Oil Emulsion on Mini Pipe with A Slope of 60° against Horizontal Position

Sukamta^a, Deny Pratama^a, Sudarja^a, Sri Sundari^b, Abu Bin Abdullah^c

^aMechanical Engineering, University of Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia
e-mail: : sukamta@umy.ac.id, dnyprtama@gmail.com, sudarja@umy.ac.id

^bMedicine and Health Science, University of Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia
e-mail: sundari_purbo@umy.ac.id

^cDepartment of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka
Hang Tuah Jaya, 76100 Durian Tunggal, Melaka, Malaysia
e-mail : abuabdullah60@gmail.com

Kata kunci:

Dua fase,
emulsi,
pemrosesan
gambar, fraksi
vakum,
pipa kecil

ABSTRAK

Pemanfaatan aliran dua fasa atau multi komponen pada pipa mini banyak dijumpai di dunia industri, seperti mini evaporator, mini *heat exchanger*, dll. sistem peredaran darah melalui pembuluh. Parameter penting dalam aliran dua fase adalah fraksi berongga karena parameter ini secara signifikan mempengaruhi pola aliran, yang mempengaruhi fluktuasi tekanan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data eksperimen primer pada fraksi vakum, khususnya pada emulsi aliran udara-air dan minyak dengan konsentrasi 350 mg/dl dan 500 mg/dl pada kemiringan 60° terhadap horizontal. Penelitian ini menggunakan pipa kaca dengan diameter 1,6 mm dan panjang 160 mm. Pengambilan data dilakukan dengan kamera berkecepatan tinggi pada kecepatan superfisial gas (JG) = 0,083 m/s - 74,604 m/s dan kecepatan superfisial cairan (JL) = 0,041 m/s - 4,145 m/s, dan diolah menggunakan perangkat lunak MATLAB R2014a. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi emulsi air dan minyak berpengaruh nyata terhadap nilai fraksi hampa, sehingga mempengaruhi pola aliran. Hal ini dikarenakan perbedaan konsentrasi emulsi air dan minyak mempengaruhi nilai viskositas, yang pada akhirnya mempengaruhi kecepatan superfisial cairan. Demikian pula kemiringan pipa 60° terhadap horizontal mempengaruhi pola aliran yang terjadi; hal ini dikarenakan kemiringan pipa akan menimbulkan pengaruh percepatan gravitasi terhadap nilai kecepatan superfisial gas dan cairan walaupun tidak terlalu signifikan. Naik turunnya kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan mempengaruhi nilai fraksi berongga. Lebih banyak pola aliran *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn* yang diidentifikasi daripada pola aliran bergelembung, itulah sebabnya fraksi berongga meningkat dengan kecepatan superfisial gas dan menurun dengan kecepatan superfisial rendah. Pola aliran seperti ini perlu diwaspadai karena berpotensi meningkatkan tekanan secara signifikan.

Keyword:

Two-phase,
emulsion, image
processing, vacuum
fraction,
mini pipe

ABSTRACT

The utilization of two-phase or multi-component flow in mini pipes is often found in the industrial world, such as mini evaporators, mini heat exchangers, etc. Multi-component flow can also be found in biomedical, such as in the human circulatory system through vessels. An important parameter in a two-phase flow is the hollow fraction since this parameter significantly affects the flow pattern, which affects pressure fluctuations. Therefore, this study aims to obtain primary experimental data on the vacuum fraction, specifically in the air flow-water and oil emulsions with concentrations of 350 mg/dl and 500 mg/dl at an inclination of 60° to the horizontal. The study used a glass pipe with a diameter of 1.6 mm and a length of 160 mm. Data were captured using a high-speed camera at a gas superficial velocity (JG) = 0.083 m/s - 74.604 m/s and the superficial velocity of the liquid (JL)

= 0.041 m/s - 4.145 m/s, and processed using MATLAB R2014a software. The results showed that the difference in the concentration of water and oil emulsions significantly affects the void fraction value, thus affecting the flow pattern. This case is because the difference in the concentration of water and oil emulsions affects the viscosity value, ultimately affecting the liquid's superficial velocity. Similarly, the slope of the pipe 60° to the horizontal affects the flow pattern that occurs; this is because the slope of the pipe will cause the influence of gravitational acceleration on the value of the superficial velocity of gasses and liquids, although not very significant. The rise and fall of the gas's superficial velocity and the liquid's superficial velocity affect the value of the hollow fraction. More plug, slug-annular, annular, and churn flow patterns were identified than bubbly flow patterns, which is why the hollow fraction increased with the gas's superficial velocity and decreased with low superficial velocity. This kind of flow pattern needs to be watched out for because it has the potential to increase pressure significantly.

1. PENDAHULUAN

Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multifase yang paling sederhana. Pengertian aliran dua fase adalah bentuk dari sesuatu zat yang mengalir dalam satu aliran pada waktu yang bertepatan dimana salah satu fasenya bisa mempengaruhi ciri pada suatu aliran gas- padat, cair- padat, dan gas- cair. Pemanfaatan aliran dua fase sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari manusia contohnya pada dalam dunia industri, aliran dua fasa diaplikasikan pada kondensor, alat penukar kalor, evaporator dan sistem jaringan perpipaan dan sedangkan dalam dunia kedokteran aliran dua fasa terimplementasikan pada sistem peredaran darah manusia. Dalam dunia kedokteran, aliran dua fase adalah instrumen penting untuk mengetahui pola aliran dan karakteristiknya yang berada pada sistem peredaran darah tubuh manusia yang mengandung berbagai campuran yang masuk dalam tubuh seperti oksigen, protein, lemak, dan trigliserida yang dialirkan melalui pembuluh darah manusia Sudarja dkk,[1]. Dalam penelitian ini menggunakan fluida cair campuran aquades dan minyak dengan konsentrasi 350 mg/dl dan 500 mg/dl. Kedua konsentrasi tersebut memiliki kadar kolesterol (minyak) yang tinggi dan berbahaya. Artikel ini membahas pengaruh konsentrasi 350 mg/dl dan 500 mg/dl minyak yang terlarut pada aquades pada fraksi hampa serta pengaruh fraksi hampa pada pola aliran dua fase dalam saluran pipa mini. Fraksi hampa merupakan salah satu parameter penting untuk memperoleh karakteristik aliran dua fase. Fraksi hampa dapat didefinisikan sebagai rasio luas penampang yang ditempati oleh uap terhadap total luas penampang saluran aliran keseluruhan [2].

Aliran dua fase dibagi dalam aliran searah dan berlawanan arah. Peran saluran aliran dua fase semacam saluran mendatar (*Horizontal*), saluran tegak (*vertikal*), ataupun saluran miring dengan sudut tertentu. Aliran dua fase banyak terjadi pada pipa yang berdimensi besar (*large pipe*), normal (*normal pipe*), mini (*mini pipe*), dan mikro (*mikro pipe*). [3] menggolongkan dimensi saluran aliran 2 fase sesuai jenisnya seperti saluran yang berdimensi *nano channel* (<10µm), *minichannel* (3 mm-200µm), *microchannel* (10µm-200µm), serta konvensional (>3mm). Cheng [4] menjelaskan pengelompokkan *minichannel* dengan variasi diameter 200 µm sampai 3 mm. [5] Diameter rata-rata pembuluh darah arteri koronaria manusia adalah 2 mm. Karena itu, ukuran pembuluh darah masuk dalam rentang saluran *minichannel*. Penerapan aliran dua fase pada saluran *minichannel* untuk saat ini masih di tahap perkembangan, terutama pada dunia kesehatan dalam mengetahui pola aliran yang berada di dalam peredaran darah manusia. Hal ini sangat bermanfaat pada dunia kesehatan (biomedik). Penelitian Kawahara, Chung, & Kawaji [6] terhadap pipa *minichannel* menggunakan diameter < 100 µm masih belum jelas dan terbatas terhadap pengaruh dari pengecilan diameter saluran. Penelitiannya masih terfokus pada pola aliran, bahkan terlihat menghasilkan pola aliran berbeda-beda walaupun diameter dan kecepatannya sama atau hampir sama. Zhou [7] Sebuah penelitian mengukur fraksi hampa aliran dua fase gas-cair dalam pipa milimeter menggunakan metode baru. Studi ini berfokus pada dua pola aliran yang khas: aliran slug dan aliran bubbly pada pipa horizontal. Adanya kesalahan mutlak maksimum pengukuran fraksi hampa kurang dari 7%, yang menjelaskan mengapa penerapan C₄D dalam pengukuran dari fraksi hampa aliran dua fase gas-cair dalam tabung pada skala milimeter layak dan efisien. [8] Posisi pipa uji berubah 20° horizontal ke bawah dan vertical ke atas dan bahan uji pada penelitian ini adalah udara dan air. Hasil penelitian ini juga diketahui bahwa ukuran diameter pipa dapat mempengaruhi peningkatan diameter pipa menggeser transisi bubbly-slug ke sisi

kanan pada peta pola aliran untuk aliran miring dan untuk pipa horizontal transisi *stratified slug* dipindahkan ke atas. Sudarja dkk, [9] melakukan studi eksperimental aliran dua-fase secara horizontal dengan menggunakan metode fraksi hampa pada pipa berdiameter 1,6 mm. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui data dasar tentang fraksi hampa dari aliran dua fase udara dan air. Fluida yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dan udara, dimana air adalah cairan dan udara adalah gas. $J_L = 0,02$ sampai 4,14 m/s kecepatan superfisial cairan yang digunakan, dan $J_G = 0,83$ sampai 65,4 m/s kecepatan superfisial gas. Untuk menentukan nilai fraksi hampa, penelitian ini menggunakan metode *image processing*. Hasil yang diperoleh dalam penelitian adalah peningkatan J_G berpengaruh pada fraksi hampa, kecuali untuk J_G yang sangat lemah. Grafik fraksi hampa homogen (β) versus fraksi hampa terukur (ϵ atau α). Pada J_G rendah terbentuk pola aliran *slug* and *bubbly*. Untuk aliran *bubbly*, nilai fraksi hampa terukur (ϵ atau α) lebih besar dari nilai laju fraksi hampa (β). Dalam aliran *slug*, nilai fraksi hampa didistribusikan di sekitar garis korelasi Ali dkk. ($\epsilon = 0.8 \beta$) dan terletak diatas pada garis homogen. [10] Kecepatan superfisial gas dan cairan bervariasi antara $0,02 \pm 80$ m/s dan $0,02 \pm 8$ m/s, hal ini dilakukan untuk menghitung fraksi hampa dengan menganalisis foto yang diambil dari bagian penampang uji dengan penampang lingkaran. Kemudian, fraksi hampa yang diukur dibandingkan dengan beberapa korelasi fraksi hampa eksperimental dalam model aliran gelembung, dan aliran homogen dari *slug* memberikan prediksi terbaik. Chung & Kawaji [11] melakukan penelitian pengaruh diameter saluran dan karakteristik pada aliran dua fase dengan menggunakan campuran air-nitrogen pada saluran yang berbeda-beda antara lain, 530, 250, 100, dan 50 μm . Parameter fraksi hampa pada penelitian ini diketahui bahwa rata-rata waktu aliran dua fase dengan *minichannel* $D_H \sim 1$ mm dan $\epsilon = 0,8 \beta$. Pada penelitian ini terjadi perubahan karakteristik aliran dua fase berdiameter $D_H \geq 100, 530$ dan $250 \mu\text{m}$ di saluran *minichannel*. Perubahannya meliputi; *Slug, Annular, Slug-Annular, Churn, Bubbly* diamati secara konsisten. Pada Untuk saluran berdiameter $D_H \leq 100 \mu\text{m}$ seperti 50 μm dan 100 μm hampir tidak ada perubahan seperti di saluran sebelumnya dan juga saluran ini merupakan saluran *microchannel*. Penelitian yang dilakukan [12] mengenai karakteristik bagian fraksi hampa aliran dua fase dalam sudut kemiringan 45° . Bahan uji penelitian ini menggunakan campuran cairan air murni dan gliserin pada berbagai konsentrasi, antara lain: 40%, 50%, 60%, dan 70%. Ukuran pipa uji berdiameter 1,6 mm dan panjang 130 mm. Tujuan penelitian ini berfokus pada pengetahuan karakteristik nilai fraksi pada plug, annular, slug-annular, churn, bubbly dan kecepatan pola panjang sampel dan frekuensi pola plug dan bubbly. Kecepatan superfisial yang digunakan adalah kecepatan gas (J_G) antara 0,025 dan 66,3 m/s dan kecepatan cair (J_L) antara 0,033 dan 4,935 m/s. Penelitian ini menemukan bahwa nilai fraksi hampa pada bubble menunjukkan kondisi yang kurang stabil dan memiliki nilai yang rendah. Sedangkan nilai fraksi hampa di dalam aliran plug cenderung mendekati 1 pada selang waktu tertentu, hal ini dikarenakan rongga udara hampir memenuhi reservoir sehingga nilai fraksi hampa di pola aliran churn mempunyai nilai fluktuatif dengan nilai sedang.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa ada banyak penelitian yang mengamati fraksi hampa dengan variasi di bagian fluida kerja, ukuran seksi uji, serta metode pengambilan datanya. Walaupun sudah ada penelitian-penelitian terdahulu, belum banyak penelitian yang mengamati fraksi hampa pada tabung kapiler dengan kemiringan 60° dengan emulsi aquades dan minyak sebagai fluida kerjanya. Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian fraksi hampa larutan emulsi aquades-minyak kelapa sebagai fluida dalam penelitian ini. Penggunaan fluida tersebut sebagai representasi dari salah satu komponen dalam aliran darah manusia. Untuk itu, penelitian investigasi ini bertujuan untuk mendukung penelitian lebih lanjut di bidang biomedis karena diperlukan lebih banyak penelitian tentang aliran dua fase untuk aliran darah manusia.

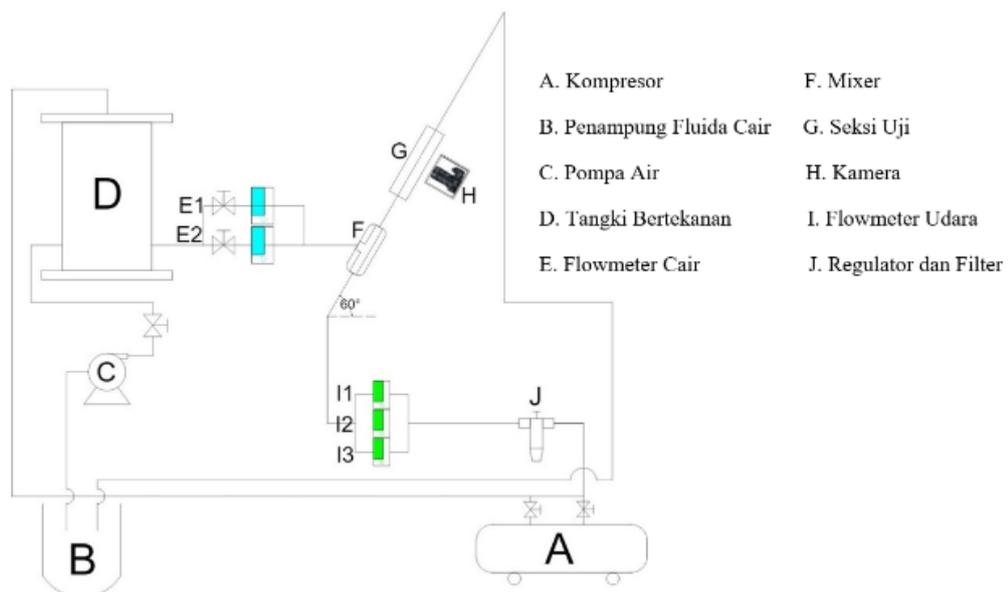
2. METODE

Bahan penelitian berupa cairan gas dan cairan. Fluida gas yang digunakan berasal dari kompresor udara berkapasitas kecil, kelembaban rendah pada suhu lingkungan 27°C dan tekanan 1 atmosfer, sedangkan fluida cair menggunakan campuran minyak kelapa dan air (350 mg/dl dan 500 mg/dl) yang dimasukkan ke dalam mixer dengan bantuan bejana tekan. Sifat fisik dari dua cairan tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik fluida

Properties	<i>Emulsi Aquades dan Minyak Kelapa (350 mg/dl)</i>	<i>Emulsi Aquades dan Minyak Kelapa (500 mg/dl)</i>
Tegangan Permukaan (N/m)	0,038	0,039
Massa Jenis (g/m ³)	0.98	0.99
Viskositas (C _p)	130	161.67

Instalasi alat yang digunakan, pada Gambar 1 yang terdiri dari kompresor, wadah penampung campuran fluida cair, pompa air, bejana bertekanan, *flowmeter* air dan udara, seksi uji berupa pipa mini berdiameter dalam 1,6 mm dan panjang 160 mm, kamera, *mixer*, *correction box* lampu penerangan, selang, *gate valve* dan *flens*. Penelitian dilakukan dalam kondisi adiabatik dan dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,083 – 74,604 m/s dan kecepatan superfisial cairan (J_L) = 0,041– 4,145 m/s.



Gambar 1. Skema pengujian penelitian

Pada Gambar 1 diperlihatkan bagaimana skema pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, fluida cair yang sudah dicampur *gom acacia (gummi arabicum)*, minyak kelapa dan aquades lalu ditampung dalam wadah penampung kemudian dipompa menuju bejana bertekanan, setelah itu tutup semua katup keluaran dari bejana bertekanan lalu bejana bertekanan diisi dengan udara dari kompresor hingga mencapai tekanan 50 psi. Bejana bertekanan ini terbuat dari bahan baja anti karat yang digunakan sebagai pompa pneumatik untuk mengalirkan cairan ke dalam seksi uji, sedangkan untuk aliran udara yang dialirkan ke dalam seksi uji menggunakan selang udara yang langsung terhubung dengan alat kompresor. Pada saat sebelum fluida memasuki seksi uji, fluida gas dan cairan terlebih dahulu memasuki *flowmeter* yaitu *flowmeter* udara dan *flowmeter* cairan. Kecepatan superfisial gas dan cairan tersebut akan diatur menggunakan *flowmeter* sesuai matriks kecepatan superfisial yang sudah ditentukan. Langkah selanjutnya ketika fluida sudah melewati *flowmeter*, fluida gas dan fluida cair akan memasuki *mixing chamber* lalu fluida akan mengalir bersamaan pada pipa seksi uji. Seksi uji dilengkapi dengan *optical correction box* yang berfungsi menghilangkan efek cembung pada permukaan dinding pipa seksi uji saat pengambilan data pola aliran. Pengambilan gambar pola aliran dilakukan menggunakan kamera Nikon tipe J4 yang merupakan kamera yang dapat merekam video berkecepatan tinggi kemudian pola aliran yang sudah teridentifikasi selanjutnya dilakukan pengolahan data fraksi hampa yang diperoleh dengan cara *digital image processing* menggunakan aplikasi *MATLAB R2014a*.

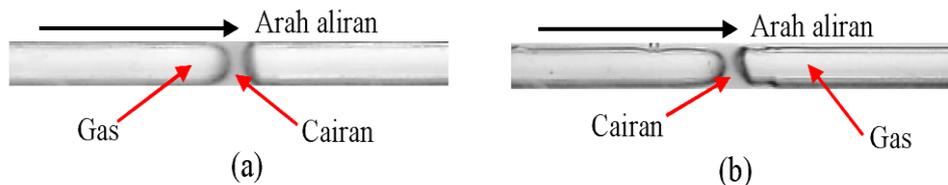
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Fraksi Hampa

Pada penelitian ini nilai fraksi hampa dipengaruhi oleh kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cair (J_L). Fraksi hampa merupakan salah satu parameter penting untuk memperoleh karakteristik aliran dua fase. Perbedaan konsentrasi emulsi 350 mg/dl dan 500 mg/dl minyak dalam larutan aquades sebagian kecil mempengaruhi nilai fraksi hampa yang terjadi pada pola aliran *annular*, *slug-annular*, *churn*, dan *bubbly*. Hal ini disebabkan viskositas antara kedua konsentrasi memiliki perbedaan yang cukup signifikan dan terlihat jelas pada bentuk pola aliran yang dihasilkan, seperti pada konsentrasi 500 mg/dl yang memiliki viskositas lebih tinggi terlihat bentuk pola yang lambat dan sedikit berbeda bentuk karena udara yang mendorong cairan semakin mengalami hambatan dengan meningkatnya viskositas cairan.

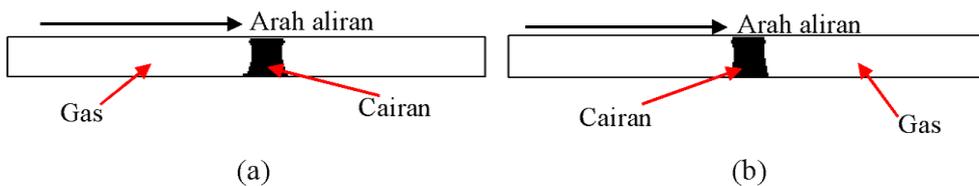
3.2 Fraksi Hampa Pola aliran Plug

Bentuk pola aliran plug ditandai dengan gelembung udara yang memanjang menyerupai peluru atau kapsul yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Dalam penelitian ini didapatkan pola aliran *plug* yang memiliki panjang pola hampir sama di 350 mg/dl dan 500 mg/dl pada $J_G = 0,829$ m/s dan $J_L = 0,207$ m/s. Pola aliran *plug* dikategorikan sebagai aliran *bubbly* yang memanjang (*elongated bubbly*) karena terjadinya peningkatan intensitas udara pada aliran. Pola aliran *plug* terjadi apabila kondisi kecepatan superfisial cairan dan gas rendah.

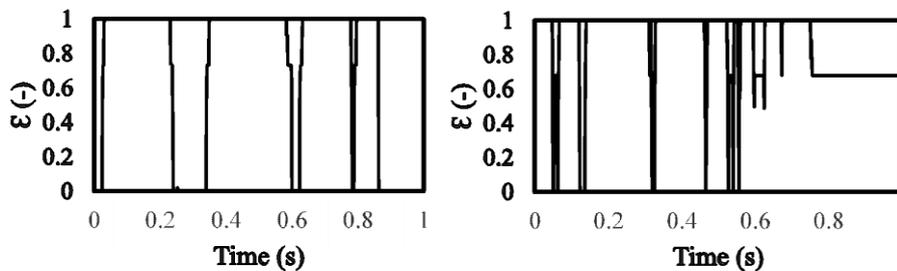


Gambar 2. Pola aliran *plug* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

pola aliran plug memiliki jarak antara gas satu dan gas lainnya, faktor ini terjadi karena kecepatan superfisial cairan dan gas dalam pipa konstan.

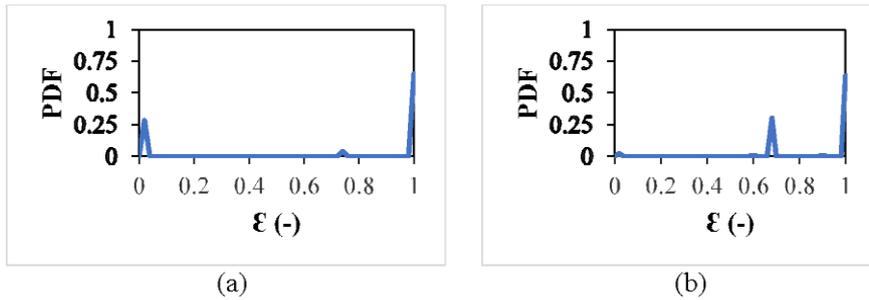


Gambar 3. Biner pola aliran *plug* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.



Gambar 4. Grafik *time average* pola aliran *plug* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Gambar 4 Grafik *time average* fraksi hampa menunjukkan angka mencapai 1 yang menjelaskan bahwa udara pada waktu tertentu memenuhi dinding pipa yang disebabkan pola aliran *plug* yang mengalir dalam pipa.

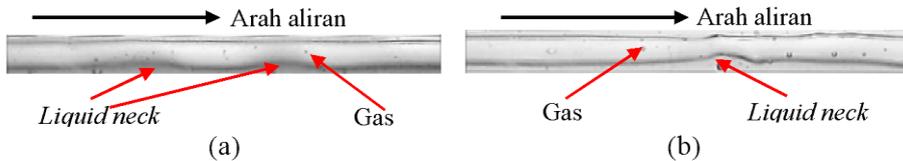


Gambar 5. Gambar PDF fraksi hampa pola aliran plug pada (a) minyak 350 mg/dl (b) minyak 500 mg/dl.

Pada gambar 5 menyatakan nilai probabilitas pada konsentrasi 350 mg/dl yang paling dominan yaitu 0,65 dengan nilai fraksi hampa 1 sedangkan pada konsentrasi 500 mg/dl nilai probabilitas yang dominan yaitu pada angka 0,63 dengan nilai fraksi hampa 1.

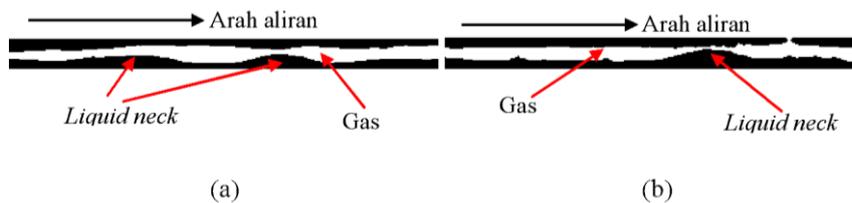
3.3 Fraksi Hampa pada Pola Aliran Slug-Annular

Pola aliran *slug-annular* adalah peralihan pola atau pola lanjutan dari pola aliran *plug* yang dinaikkan kecepatan superficial gas nya. Pola aliran ini hampir sama dengan pola aliran *annular*, akan tetapi pola aliran *slug-annular* memiliki leher aliran (*liquid neck*). Pola aliran ini terbentuk ketika J_G mengalami kenaikan yang cukup signifikan dan J_L rendah yang mencoba melewati jembatan cairan dan memisahkan udara dengan pola aliran *plug* yang dibentuk oleh lapisan film yang tebal. Pola aliran *slug-annular* pada 350 mg/dl terjadi pada $J_G = 3,316$ m/s dengan $J_L = 0,622$ m/s dan serta 500 mg/dl terjadi pada J_G dan J_L yang sama.



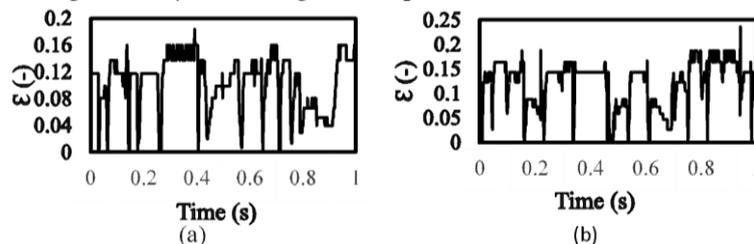
Gambar 6. Pola aliran *Slug-Annular* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Leher aliran (*liquid neck*) terjadi pada aliran *slug-annular* yang disebabkan udara yang menembus jembatan cairan yang tebal pada aliran *plug*. Terlihat perbedaan pola aliran *slug-annular* di konsentrasi 350 mg/dl yang dimana lebih dari satu titik yang berusaha menembus jembatan cairan.



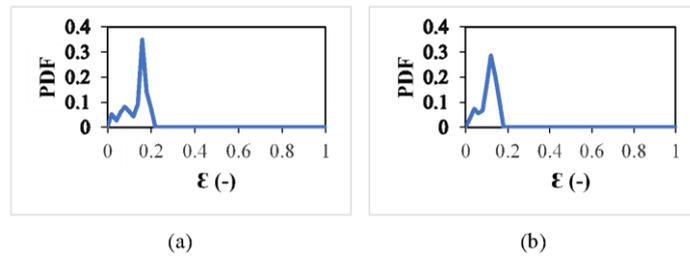
Gambar 7. Biner pola aliran *slug-annular* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Gambar 7 biner dari hasil penelitian dengan konsentrasi larutan *emulsi* minyak merepresentasikan gambar asli dari pola aliran *slug-annular* yang mempunyai bentuk yang sama. Fase cairan menunjukkan area hitam dan pada fase gas ditunjukkan dengan area putih.



Gambar 8. Grafik *time average* pola aliran *slug-annular* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Gambar biner dari hasil penelitian dengan konsentrasi larutan emulsi minyak merepresentasikan gambar asli dari pola aliran *slug-annular* yang mempunyai bentuk yang sama. Fase cairan menunjukkan area hitam dan pada fase gas ditunjukkan dengan area putih. Nilai fraksi hampa yang naik-turun pada rentang tertentu secara acak yang disebabkan karena terjadinya *liquid neck*. Bentuk grafik antara kedua konsentrasi memiliki perbedaan yang cukup signifikan.

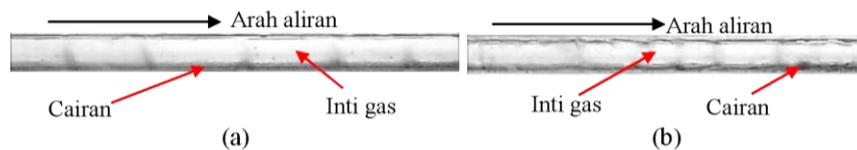


Gambar 9. PDF fraksi hampa pola aliran *slug-annular* pada (a) minyak 350 mg/dl (b) minyak 500 mg/dl.

Pada gambar 9 menyatakan nilai probabilitas pada konsentrasi 350 mg/dl yang paling dominan yaitu 0,35 dengan nilai fraksi hampa 0,16 dan pada konsentrasi 500 mg/dl nilai probabilitas yang dominan yaitu pada angka 0,28 dengan nilai fraksi hampa 0,12.

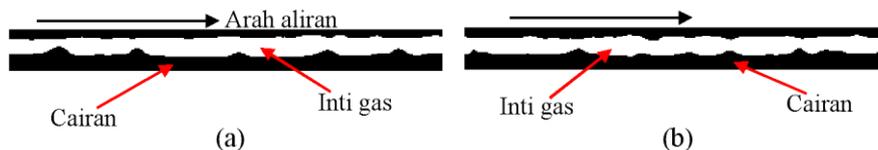
3.4 Fraksi Hampa pada Pola Aliran Annular

Pola aliran *annular* berbentuk mirip dengan pola aliran *slug-annular* hanya saja berbeda bentuk gelombang yang lebih kecil dan beraturan, hal tersebut terjadi karena naiknya J_c jauh lebih besar jika dibandingkan dengan J_L , sehingga fase gas melewati sisi tengah cairan yang terdistribusi di dalam dinding pipa. Dalam penelitian ini pola aliran *annular* berada pada $J_L = 0,041$ m/s dengan $J_c = 49,736$ m/s. Perbedaan terbentuk pola aliran *annular* disebabkan oleh kekentalan cairan yang dimiliki pada 350 mg/dl dan 500 mg/dl.

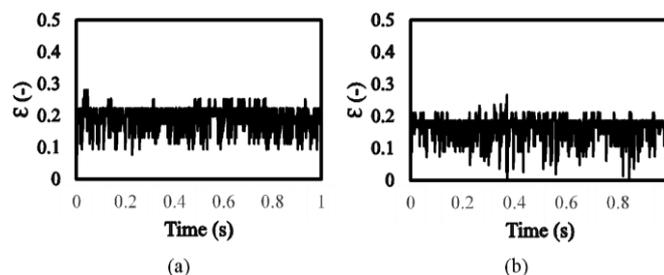


Gambar 10. pola aliran *Annular* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Pola aliran *annular* terlihat fluktuatif namun tidak terlalu signifikan. Pada kedua konsentrasi pola aliran *annular* terlihat adanya perbedaan bentuk yang cukup signifikan. Karena kecepatan superficial gas pada 500 mg/dl lebih tinggi.

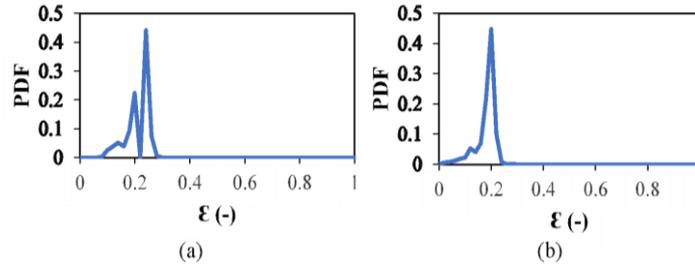


Gambar 11. biner pola aliran *Annular* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.



Gambar 12. Grafik *time average* pola aliran *Annular* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Gambar biner dari kedua penelitian dengan konsentrasi larutan emulsi minyak yang merepresentasikan gambar asli dari pola aliran *annular* yang memiliki bentuk yang sama. Pada area hitam menunjukkan fase cairan sedangkan pada area putih menunjukkan fase gas. Nilai fraksi hampa dalam dua konsentrasi terdapat fluktuatif yang cukup signifikan dalam waktu tertentu.

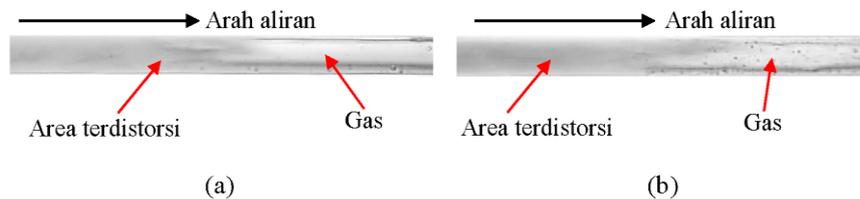


Gambar 13. PDF fraksi hampa pola aliran *Annular* pada (a) minyak 350 mg/dl (b) minyak 500 mg/dl.

Pada gambar 13 menyatakan nilai probabilitas pada konsentrasi 350 mg/dl yang paling dominan yaitu 0,44 dengan nilai fraksi hampa 0,24 dan pada konsentrasi 500 mg/dl nilai probabilitas yang dominan yaitu pada angka 0,44 dengan nilai fraksi hampa 0,2.

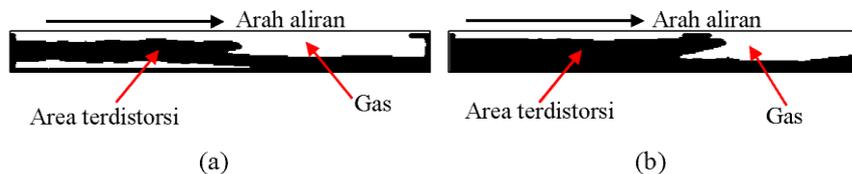
3.5 Fraksi Hampa Pada pola Aliran *Churn*

Pola aliran *Churn* merupakan lanjutan pola dari pola aliran *bubble*. Pola aliran *churn* terbentuk ketika J_G dinaikkan lebih tinggi dari J_L , yang dimana jarak antara keduanya mempunyai selisih yang cukup jauh sehingga membuat terjadinya ketidakstabilan atau terdistorsi pada pola aliran *churn*. Pola aliran *churn* pada 350 mg/dl dan 500 mg/dl berada pada $J_L = 1,243$ m/s dengan $J_G = 8,289$ m/s. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya pengaruh kekentalan cairan pada campuran 500 mg/dl.

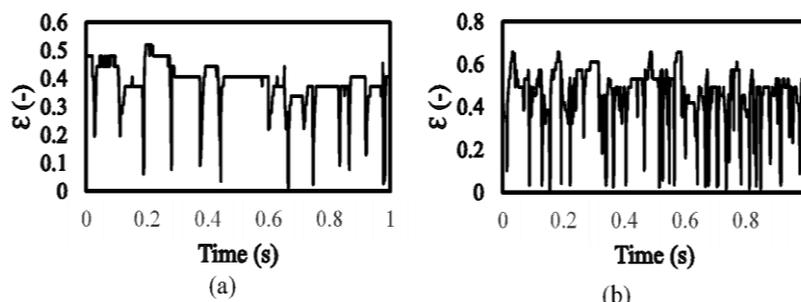


Gambar 14. Pola aliran *Churn* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Terlihat pola dengan bentuk yang adanya ketidakstabilan terjadi di pola aliran *churn* bagian ekor. Pola tersebut disebabkan karena adanya kecepatan superficial gas yang tinggi dan mengakibatkan pola terdistorsi atau ketidakstabilan.

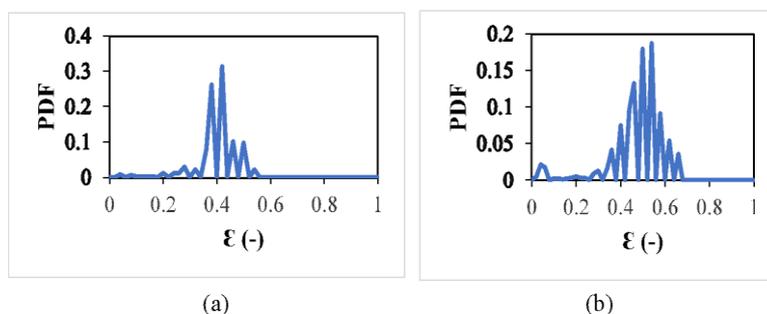


Gambar 15. Biner pola aliran *Churn* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.



Gambar 16. Grafik *time average* pola aliran *Churn* pada (a) konsentrasi 350 mg/dl (b) konsentrasi 500 mg/dl.

Kedua gambar biner dari penelitian dengan konsentrasi larutan *emulsi* minyak yang diwakilkan gambar asli di pola aliran *churn*. Pada area putih menunjukkan fase gas sedangkan pada area hitam menunjukkan fase cairan. Terdapat distorsi pada grafik aliran *churn* hal ini disebabkan oleh beberapa titik yang terjadi kenaikan dan penurunan karena adanya ketidakstabilan yang cukup besar. Perbedaan bentuk grafik antara 350 mg/dl dengan 500 mg/dl terlihat karena perbedaan konsentrasi antara keduanya cukup berbeda.



Gambar 17. PDF fraksi hampa pola aliran *Churn* pada (a) minyak 350 mg/dl (b) minyak 500 mg/dl.

Pada gambar 17 menyatakan nilai probabilitas pada konsentrasi 350 mg/dl yang paling dominan yaitu 0,31 dengan nilai fraksi hampa 0,42 dan pada konsentrasi 500 mg/dl nilai probabilitas yang dominan yaitu pada angka 0,18 dengan nilai fraksi hampa 0,54.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terkait fraksi hampa “Investigasi Fraksi Hampa Aliran Dua – Fase Udara – Larutan Minyak Kelapa dan Aquades Dengan kemiringan 60° Pada Pipa Kapiler Horizontal didapatkan beberapa pola aliran antara lain: *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Nilai fraksi hampa pada konsentrasi 350 mg/dl dan 500 mg/dl tidak terdapat pola aliran bubbly karena tegangan geser yang terjadi cukup besar sehingga tegangan permukaan yang didapatkan cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena konsentrasi minyak pada 350 dan 500 mg/dl jauh lebih tinggi dan tidak bisa terbaca oleh alat. Nilai fraksi hampa yang diteliti dalam penelitian ini berada pada kecepatan superfisial cairan (J_L) = 0,041 m/s sampai 4,145 m/s dan kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,083 m/s sampai 74,604 m/s. Aliran dua fase dapat dipengaruhi oleh kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas sehingga nilai fraksi hampa berpengaruh ketika kecepatan superfisial gas dinaikkan dan nilai kecepatan superfisial cairan sangat kecil maka akan memperbesar nilai fraksi hampa. Pada perbedaan konsentrasi antara larutan aquades dan minyak 350 mg/dl dan 500 mg/dl dalam pipa berdiameter 1,6 mm cukup mempengaruhi tegangan geser, tegangan permukaan dan bilangan reynold yang terjadi sehingga nilai fraksi hampa dapat dikatakan berbeda dengan konsentrasi yang terjadi.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by a grant (PDUPT) from the Directorate of Research and Community Service (DRPM), Ministry of Higher Education and Culture of Indonesia, and supported by Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, including the laboratory facilities.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudarja, & Sukamta. (2020). Experimental Study on Flow Pattern and Void Fraction of Air-Water and 3 % Butanol Two-Phase Flow in 30 o Inclined Mini Channel. *Journal of Advanced Research in Experimental Fluid Mechanics and Heat Transfer*, 1(1), 11–20. www.akademiabaru.com/arefmht.html
- [2] Xu, Y., & Fang, X. (2014). Correlations of void fraction for two-phase refrigerant flow in pipes. *Applied Thermal Engineering*, 64(1–2), 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.12.032>
- [3] Kandlikar, S. G., & Grande, W. J. (2003). Evolution of microchannel flow passages-thermohydraulic

- performance and fabrication technology. *Heat Transfer Engineering*, 24(1), 3–17.
<https://doi.org/10.1080/01457630304040>
- [4] Cheng, L. (2016). Flow Patterns and Bubble Growth in Microchannels. In *Microchannel Phase Change Transport Phenomena*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804318-9.00003-0>
- [5] Fazliogullari, Z., Karabulut, A. K., Unver Dogan, N., & Uysal, I. I. (2010). Coronary artery variations and median artery in Turkish cadaver hearts. *Singapore Medical Journal*, 51(10), 775–780.
- [6] Kawahara, A., Chung, P. Y., & Kawaji, M. (2002). Investigation of two-phase flow pattern, void fraction and pressure drop in a microchannel. *International Journal of Multiphase Flow*, 28(9), 1411–1435.
[https://doi.org/10.1016/S0301-9322\(02\)00037-X](https://doi.org/10.1016/S0301-9322(02)00037-X)
- [7] Zhou, Y., Huang, Z., Wang, B., Ji, H., & Li, H. (2014). A New Method for Void Fraction Measurement of Gas-liquid Two-phase Flow in Millimeter-scale Pipe. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.08.005>
- [8] Perez, V. H. (2007). Gas-liquid two-phase flow in inclined pipes. *Mining Engineering*, September, 294.
- [9] Sudarja, Noverdi, R., & Gutama, A. (2014). Investigasi Pola Aliran Dua-Fase Gas-Cairan Didalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horizontal. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XXIII*, 2, 423–429.
- [10] Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., Abdel-Khalik, S. I., & Sadowski, D. L. (1999). Gas-liquid two-phase flow in microchannels part I: Two-phase flow patterns. *International Journal of Multiphase Flow*, 25(3), 377–394. [https://doi.org/10.1016/S0301-9322\(98\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0301-9322(98)00054-8)
- [11] Chung, P. M. Y., & Kawaji, M. (2004). The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannels. *International Journal of Multiphase Flow*, 30(7-8 SPEC. ISS.), 735–761.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2004.05.002>
- [12] Sukamta, S. sundari; N. S. (2020). Characteristics of Void Fraction Using Image Processing of Two-Phase Flow of Air-Pure Water and Glycerin (40-70%) on A Transparent Mini Pipe with Slope of 45 o to the Horizontal. *Journal of Advanced Research in Experimental Fluid Mechanics and Heat Transfer*, 1(1), 29–37. www.akademiabaru.com/arefmht.html