

INVESTIGASI FRAKSI HAMPA ALIRAN DUA FASE UDARA AIR DAN GLISERIN (40-70%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 5° TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Muhammad Arya^a, Sukamta^b, Sudarja^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
^amaryagumanairomagn@gmail.com, ^bmsukamta@gmail.com, ^csudarja_msn@yahoo.com

Abstrak

Aliran dua fase adalah aliran yang terdiri dari dua gabungan zat yaitu cair dan gas. Fenomena aliran dua fase dapat banyak kita jumpai di alam dan industri, seperti kabut, awan, *heat exchanger*, dan *boiler*. Tujuan dari penelitian aliran dua fase adalah untuk mengetahui karakteristik nilai fraksi hampa pada pola aliran *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn* dan juga untuk mengetahui kecepatan, panjang, dan frekuensi pola *bubbly* dan *plug* pada aliran dua fase dengan kemiringan 5° pada pipa kapiler horizontal. Penelitian dilakukan pada pipa kapiler dengan diameter 1,6mm dan 4 tahap (atas dasar fluida kerjanya), dengan viskositas udara-akuades 40%, 50%, 60%, dan 70% gliserin. Pengujian yang dilakukan untuk menentukan fraksi hampa salah satunya dengan menggunakan metode *digital image processing* dengan program aplikasi MATLAB R2014a. Bejana tekan (tangki bertekanan) yang digunakan sebagai penyimpan udara terbuat dari bahan baja anti karat, digunakan sebagai pompa pneumatik, untuk mengalirkan cairan masuk ke dalam *mixer* tanpa dipompa, dengan tujuan menghindari efek getaran yang terjadi. Untuk pengambilan gambar video aliran, digunakan kamera berkecepatan tinggi merk Nikon tipe J4, dengan kecepatan 1200 fps dan resolusi 640 x 480 pixel. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Eksperimen dilakukan pada kecepatan superfisial gas (JG) dengan interval 0,025 –66,3 m/s, dan kecepatan superfisial cairan (JL) dengan interval 0,033 –4,935 m/s. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa semakin tinggi kecepatan superfisial gas maka nilai fraksi hampa yang diperoleh akan semakin meningkat. Pada pola aliran *bubbly* dan *plug* sangat dipengaruhi oleh viskositas fluida. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi viskositas fluida maka kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* akan semakin menurun. Panjang pola *bubbly* dan *plug* dipengaruhi dari semakin tingginya nilai fraksi hampa homogen (β), maka panjang dari pola akan mengalami peningkatan. Pada frekuensi kemunculan *bubbly* dan *plug* didapatkan frekuensi yang cukup tinggi, hal tersebut mengakibatkan nilai fraksi hampa yang dihasilkan cukup meningkat

Kata kunci: dua fase, fluida, fraksi hampa, viskositas, pola aliran

Abstract

Two-phase flow is a flow that is composed of several combined substance that is liquid and gas. Two phases flow phenomena can be a lot we encounter in nature and industrial, e.g. gas smoke, cloud, heat exchanger and boiler. The purpose of the two phases flow research is to know the value of fraction vacuum on characteristics of the flow pattern bubbly, plug, slug-annular, annular, and churn and also to know the speed, length, and frequency of the pattern of bubbly and plug in two-phase flow with a slope of 5° on the capillary pipes horizontal. Data retrieval in this research was conducted with 1,6 mm diameter tube in four stages (on the basis of fluid it works), with the viscosity of the air-aquades 40%, 50%, 60%, and 70% glycerin. Testing is done to determine the fractional vacuum by using the method of digital image processing with MATLAB application program R2014a. Press vessels (pressurized tanks) made from stainless steel, used as a pneumatic pump, to drain the fluid goes into the mixer without pumped, with the aim of avoiding the effects of pulsation. For video streams, used high-speed camera brands Nikon type J4, with a speed of 1200 fps and a resolution of 640 x 480 pixels. Research conditions are adiabatic. An experiment conducted on gas superficial velocity (JG) with intervals of 0.025 – 66.3 m/s, and liquid superficial velocities (JL) 0.033 intervals – 4.935 m/s. Based on the research results obtained that the superficial gas velocity high then the value of the fraction vacuum obtained will increase. On bubbly flow pattern and plug are strongly influenced by the viscosity of the fluid. That is because the higher the viscosity of fluid flow pattern speed then the bubbly and the plug will increasingly decline. The length of the pattern of the bubbly and plug are affected by the increasing value of vacuum homogeneous fraction (β), the length of the pattern will experience an increase. On the frequency of occurrence of the bubbly and plug obtained a frequency is high enough, it would result in the value of the fraction vacuum generated considerable increases

Keywords: *flow patter, fluid, Two phases, vacuum fraction, viscosity.*

1. Pendahuluan

Aliran dua fase termasuk dari aliran multi fase yang dibedakan dari jenis fase-fase aliran yaitu gas-cair, cair-padat dan padat-gas, jenis arah aliran yaitu searah dan berlawanan arah dan serta kedudukan saluran yaitu tegak, mendatar atau miring. Istilah dua komponen kadang-kadang digunakan untuk menunjukkan aliran dimana fase tersebut tidak terdiri dari zat kimia yang sama jenisnya. Sebagai contohnya adalah, aliran uap air (H_2O) gas - air (H_2O) liquid adalah dua fase jenis satu komponen, sedangkan aliran udara-air adalah aliran dua fase jenis dua komponen.

Aliran dua fase ini banyak dijumpai baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri, seperti pada ketel uap, kondensor, alat penukar panas, reaktor nuklir, pencairan gas alam, pipa saluran dan lain-lain. Pada pengaplikasian yang mungkin jelas kita temukan seperti di perusahaan BUMN yaitu Pertamina yang menggunakan jenis aliran dua fase ataupun tiga fase.

Aliran dua fasa dapat dibedakan berdasarkan kombinasi fase dan juga arah alirannya. Pada aliran multifase terdiri dari 3 kombinasi fase yaitu gas-padat, gas-cair, dan cair-padat. Sedangkan pada arah alirannya dapat dikelompokkan menjadi aliran searah dan berlawanan arah baik vertikal maupun horizontal. Aliran dua fasa dapat terjadi pada saluran berbentuk pipa dengan berbagai ukuran mulai dari ukuran nano (*nano channel*) hingga ukuran besar (*large channel*).

Seiring dengan kebutuhan yang semakin meningkat, maka hampir semua bidang dituntut untuk menghasilkan produk yang berukuran mini, misalnya pada bidang kedokteran dan industri. Pada bidang kedokteran aliran dua fasa diaplikasikan pada proses tranfusi darah dan sistem aliran darah yang terdapat dalam tubuh manusia. Untuk bidang industri diaplikasikan pada alat penukar kalor (*heat exchanger*), evaporator, kondensor, dan *Micro Electro Mechanical System (MEMS)*.

Penelitian aliran dua fasa yang telah dilakukan sebelumnya memiliki variasi saluran yang berbeda-beda, diantaranya meneliti dengan menggunakan saluran besar (*large channel*), normal (*normal channel*), mini (*mini channel*), dan nano (*nano channel*). Penelitian pada saluran besar sebelumnya telah dilakukan oleh Matsubara dan Naito (2011) tentang pengaruh viskositas terhadap karakteristik pola aliran dua fasa. Wongwises dkk. (2014) melakukan eksperimen pada pipa berdiameter dalam 8, 10, dan 11 mm dengan diameter luar 12.5 mm. Berbeda dengan penelitian pada saluran besar, untuk penelitian pada pipa berukuran mini hingga *nano channel* masih sedikit dilakukan. Hemant Kumar dan S.S.Seegal (2013) melakukan penelitian aliran dua fasa pada *mini channel*. Penelitian ini dilakukan pada pipa berdiameter 5 mm. Berdasarkan referensi diatas dapat disimpulkan bahwa variasi diameter memberikan pengaruh pada karakteristik aliran dua fasa.

Penelitian ini menginfokan tentang investigasi fraksi hampa pada aliran dua fase udara-air dan gliserin (40-70%) pada pipa kapiler dengan kemiringan 5° terhadap posisi horizontal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pola aliran seperti, frekuensi, panjang, dan kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug*, memprediksi perubahan transisi pola aliran, dan dasar dari perhitungan penurunan tekanan (*preassure gradient*). Dengan alasan memvalidasi percobaan sebelumnya dengan menggunakan metode yang berbeda dan kurangnya penelitian aliran dua fasa pada pipa berukuran mini, menjadi faktor pentingnya melakukan penelitian ini.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai aliran dua fase dan fraksi hampa telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, penelitian dilakukan pada saluran pipa berdiameter kecil hingga besar. Mulai dari saluran nano (*nano channel*), mikro (*micro channel*), normal (*normal channel*), dan saluran besar (*large channel*). Penelitian tersebut menghasilkan hasil yang berbeda-beda. Perbedaan ini disebabkan karena tiap penelitian dilakukan dengan menggunakan metode yang berbeda.

Sudarja dkk., (2015) telah melakukan penelitian mengenai fraksi hampa aliran dua fase menggunakan pipa berdiameter 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja udara dan akuades. Nilai fraksi hampa didapatkan dengan melakukan *image processing* video yang didapatkan menggunakan kamera Nikon J4 dengan kecepatan 1200 fps. Penelitian ini dilakukan dalam kondisi adiabatik dengan kecepatan superfisial gas 0,83 - 65,4 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,02 - 4,14 m/s.

Sukamta dkk., (2019) melakukan penelitian tentang mengenai fraksi hampa aliran dua fase udara dan campuran gliserin dengan viskositas yang berbeda-beda pada saluran kapiler miring 5° terhadap horizontal. Penelitiannya dilakukan menggunakan *digital image processing*. Hasil dari penelitiannya menyebutkan bahwa viskositas cairan sangat berpengaruh terhadap pola aliran *bubbly* dan *plug*. Meningkatnya nilai kecepatan superfisial gas menyebabkan nilai fraksi hampa semakin meningkat, sementara itu meningkatnya nilai superfisial cairan menyebabkan menurunnya nilai fraksi hampa. Panjang pola aliran *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh nilai aliran homogen (β).

Taisaku Gomyo dan Hitoshi Asano (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik fraksi hampa pada air-gas aliran dua fase pada pipa dengan diameter kecil. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fraksi hampa dari perbedaan diameter pipa 4 mm, 2 mm, 1,1 mm, dan 0,5 mm seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.2. Fraksi hampa di ukur dengan metode kapasitansi dan pola aliran dengan menggunakan *high speed camera*. Pada penelitian ini didapati bahwa frekuensi gelombang untuk aliran annular meningkat ketika diameter pipa mengecil menjadi 1,1 mm. Dan untuk pipa berdiameter 0,5 mm frekuensi gelombang menurun karena peningkatan efek tegangan permukaan.

Wongwises dkk., (2014) melakukan penelitian tentang efek variasi sudut 0° , 30° , dan 60° pada aliran dua fase. Penelitian ini dilakukan pada pipa annular dengan diameter dalam 8 mm, 10 mm, dan 11 mm dan diameter luar 12,5 mm. Pola aliran yang didapat bervariasi yaitu, aliran *plug*, aliran *slug*, aliran *slug-annular*, aliran *annular*, aliran *bubbly*, aliran *churn*, dan aliran *bubbly* yang buyar. Berdasarkan penelitian ini, perbedaan variasi sudut mempengaruhi pergantian aliran.

Arun Autee dkk (2015) melakukan penelitian tentang *pressure drop* pada aliran dua fasa dengan menggunakan variasi sudut 30° , 60° , dan 90° kearah bawah pada pipa dengan diameter 4 mm, 6 mm, dan 8 mm dengan panjang 400 mm. penelitian menggunakan campuran udara dan air sebagai fluida kerja. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* dan juga membandingkan hasilnya dengan korelasi yang sudah ada yaitu dari Crisholm pada parameter C.

Yahaya D. Baba dkk (2017) meneliti tentang frekuensi aliran slug dengan viskositas tinggi pada aliran dua fasa. Skala penelitian ini menggunakan campuran minyak dan udara sebagai fluida kerja dan menggunakan pipa dengan panjang 17 m dengan diameter 76,2 mm. Didapati bahwa kenaikan viskositas minyak terlihat sangat berpengaruh terhadap frekuensi *slug*.

Ran kong (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh diameter pipa terhadap pola aliran bubble pada aliran dua fasa. Penelitian dilakukan menggunakan pipa berdiameter 38,1 mm terhadap posisi horizontal dan fluida kerja yang digunakan adalah campuran gas dan udara. Selain meneliti tentang pengaruh diameter pipa, Penelitian ini juga menganalisis kecepatan aliran bubble dan fraksi hampa. Dari penelitian ini didapati bahwa kenaikan pada diameter pipa menyebabkan bubble terkonsentrasi dibagian atas aliran.

Chung dan Kawaji, (2004) juga melakukan pengukuran tentang fraksi hampa. Metode analisis gambar yang berbeda digunakan untuk membedakan jarak dan rata-rata fraksi hampa dari gambar video antarmuka gas dan cairan. Data fraksi hampa pada aliran 530 dan 250 μm dikurangkan hingga mencapai 300 gambar video setiap kali eksperimen. Fraksi hampa didapatkan dengan mencocokkan batas yang ditempati oleh gas ke bentuk volume simetris dan memperkirakan fraksi dari volume gas.

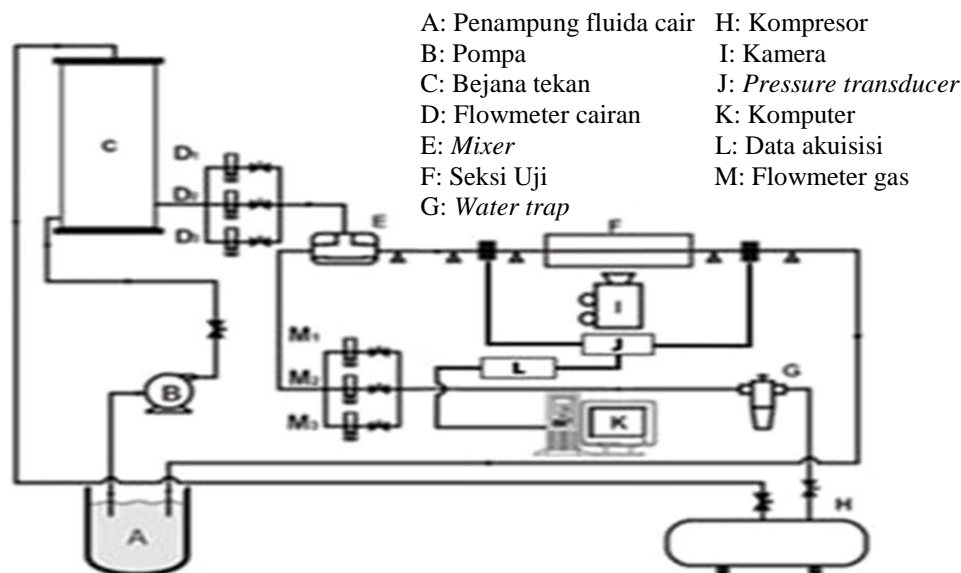
Kawahara dkk., (2002) melakukan penelitian aliran satu fase dan dua fase dengan fluida kerja yaitu nitrogen-air yang sudah terionisasi menggunakan saluran *fused silika* berdiameter 100 μm . parameter yang digunakan yaitu kecepatan superfisial udara 0,1–60 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,002–4 m/s. hasil yang berhasil diamati pada penelitian ini pola aliran *liquid alone (liquid slug)*, aliran inti gas dengan film cairan halus-tipis, aliran inti gas dengan film cairan halus-tebal, aliran inti gas dengan film cairan berbentuk cincin dan aliran inti gas dengan antarmuka yang terdeformasi. Saluran yang sangat kecil menyebabkan nilai bilangan *Reynolds* mengecil dan memperbesar tegangan permukaan yang terjadi sehingga aliran *bubbly* dan *churn* pada penelitian ini tidak dapat diamati.

Jiabin Jia dkk (2015) melakukan perhitungan terhadap fraksi hampa aliran dua fasa pada tekanan yang berbeda. Perbedaan tekanan yang terjadi pada aliran bubble dan

slug disubstitusikan sehingga mendapatkan nilai fraksi hampa. Penelitian ini juga membahas tentang efek dari tegangan permukaan seperti pada gambar 2.6. Didapati bahwa *friction loss* tidak bisa diabaikan, khususnya ketika fraksi hampa gas kurang dari 0,2.

3. Metode Penelitian

Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas yang digunakan adalah udara yang memiliki kelembaban rendah yang didapat dari kompresor yang telah dilengkapi dengan *water trap*, sedangkan untuk fluida cair yang digunakan adalah campuran air dan gliserin 40%, 50%, 60% dan 70% yang dialirkan ke dalam bejana bertekanan dengan bantuan pompa. Penelitian ini dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,025 -66,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan (J_L) = 0,033 - 4,935 m/s. Penelitian dilakukan pada suatu Instalasi peralatan yang ditunjukkan pada gambar 1. Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama: tangki air, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *mixer*, *test section*, konektor dan separator. Peralatan yang mendukung dalam penelitian ini antara lain: kamera, amplifier, komputer, *optical correction box*, *acquisition system*, dan *video processing system*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Mpx, data akuisisi, temperature *indicator*, *pressure indicator*, *flowmeter* udara, *flowmeter* air. dan thermocouple.



Gambar 1. Skema alat penelitian

3.1. Fraksi hampa

Penelitian fraksi hampa ini dilakukan pada pipa mini yang berukuran 1,6 mm dan diaplikasikan dengan derajat kemiringan sebesar 15 derajat dengan campuran cairan gliserin dan akuades yang mana masing- masing campuran mengandung 40%, 50%, 60%, 70% gliserin. Dari masing- masing konsentrasi campuran larutan gliserin ini nantinya akan menghasilkan beberapa jenis pola aliran yaitu berupa *bubly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, *churn*. Analisa ini dilakukan dalam posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sisi sebelah kiri (sisi inlet). Hasil *Time Average* yang didapatkan dari pengolahan data menggunakan aplikasi matlab kemudian diolah kembali menggunakan program Ms. Excel untuk mendapatkan nilai serta grafik *Probability Density Function* (PDF) sebagai fungsi ϵ [-] (nilai fraksi hampa).

4. Hasil dan Pembahasan

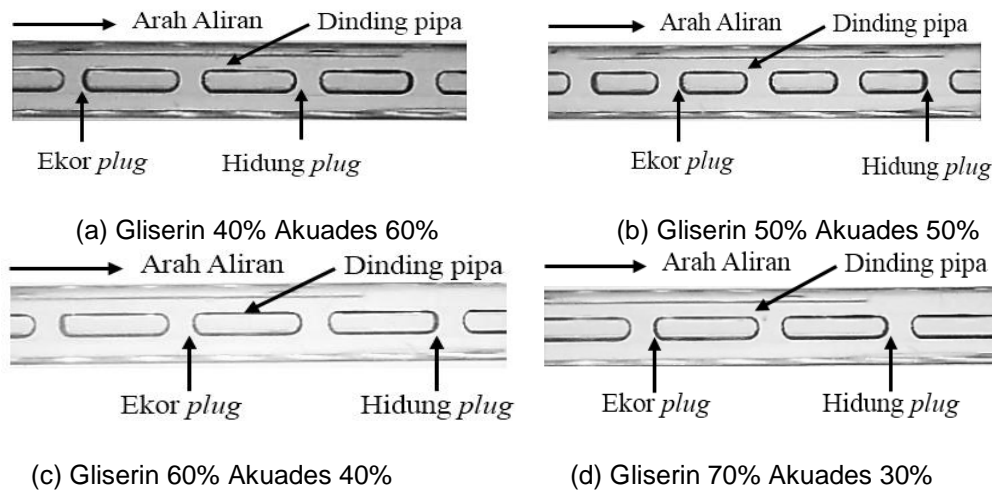
4.1 Fraksi Hampa

Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan 15° menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang mengandung campuran gliserin 40%, 50%, 60% dan 70%. Dari penelitian tentang pola aliran, aliran yang terdeteksi pada kenaikan persentase gliserin adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Analisa fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (sisi inlet). Hasil *time-average* fraksi hampa kemudian diolah untuk menentukan nilai *Probability Density Function* (PDF) sebagai fungsi ϵ [-] (nilai fraksi hampa).

4.1.1 Fraksi Hampa Pada Pola Aliran Plug

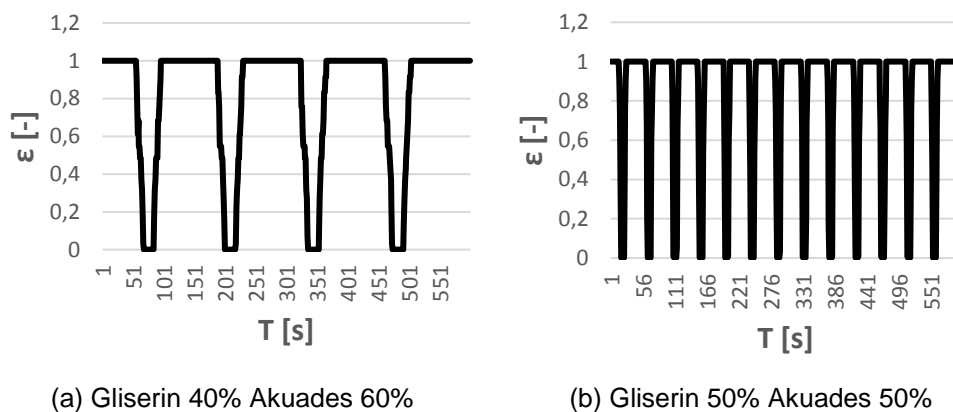
Pola aliran *plug* biasanya ditandai oleh terdapatnya gelembung udara yang memenuhi hampir seluruh dinding pipa dengan panjang yang bervariasi. Berdasarkan jenis dari fase pola aliran *plug* dibagi menjadi dua jenis yaitu *plug* udara dan *plug* air. *Plug* adalah jenis bentuk pola aliran *bubbly* yang memanjang yang mana disebabkan oleh meningkatnya intensitas udara dalam aliran

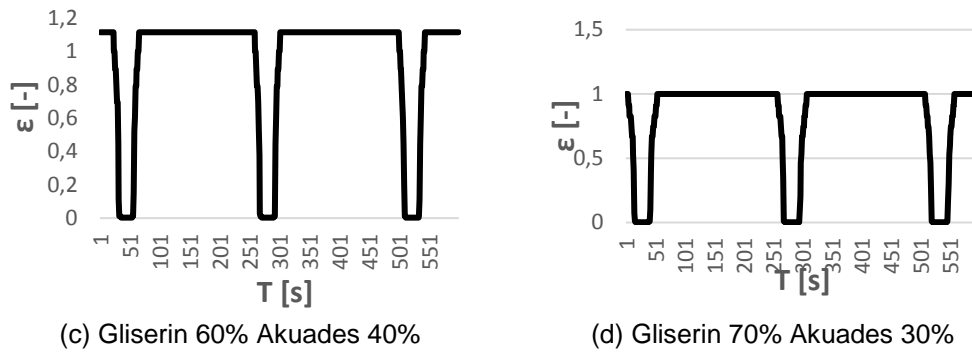
4.1.1.1 Pola Aliran Plug



Gambar 2. Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s, (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (c) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (d) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s.

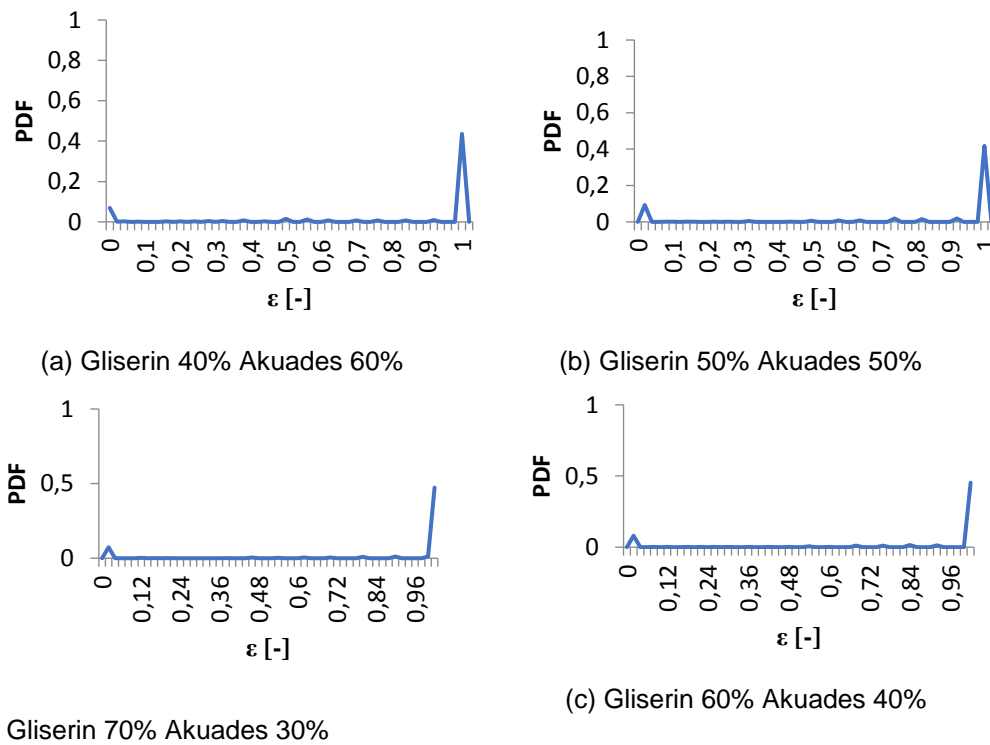
4.1.1.2 Grafik Fraksi Hampa Terhadap Waktu





Gambar 3. Grafik fraksi hampa terhadap waktu pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s, (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (c) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (d) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

4.1.1.3 Grafik Probability Density Function (PDF)

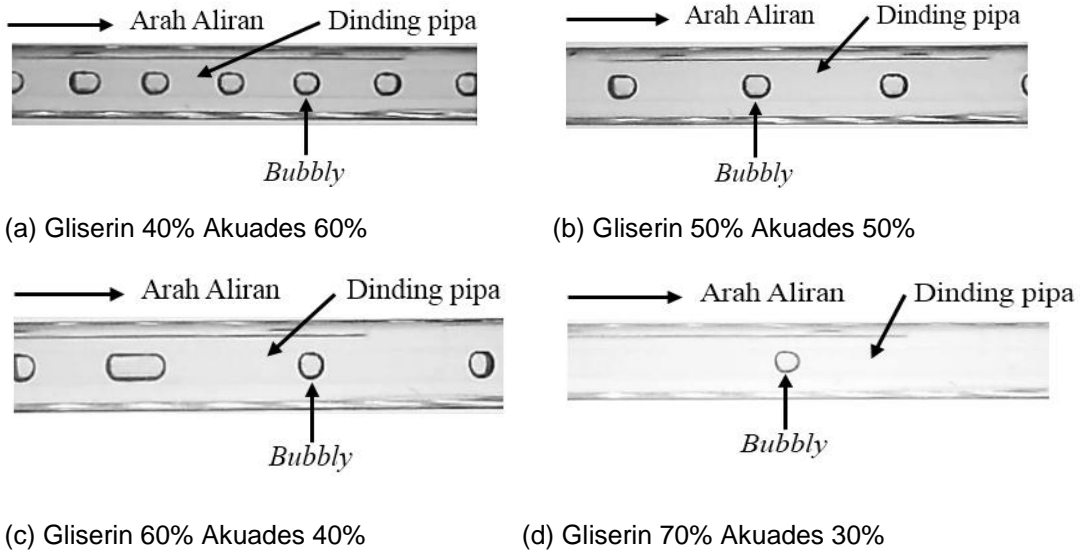


Gambar 4. Grafik Probability Density Function (PDF) pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s, (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (c) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (d) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

4.1.2 Fraksi Hampa Pada Pola Aliran *Bubbly*

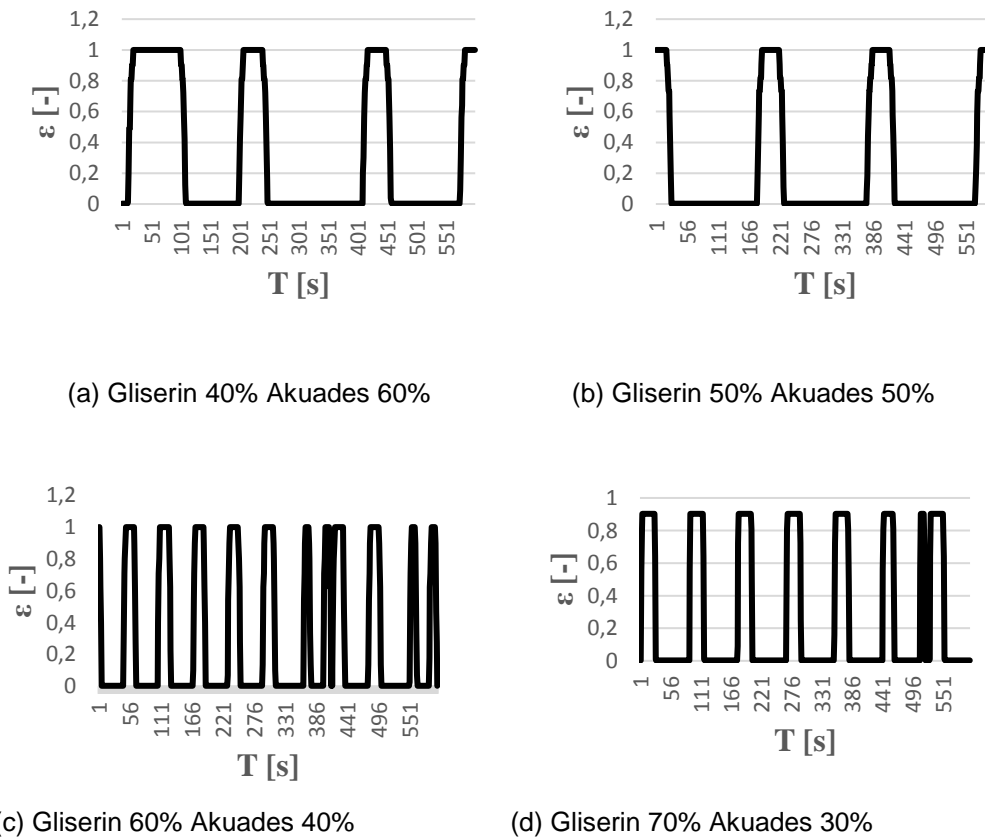
Pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya pola yang berupa gelembung udara kecil yang biasanya berbentuk bola (lingkaran). Pola *bubbly* ini akan terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial cairan (J_L) tinggi.

4.1.2.1 Pola Aliran *Bubbly*



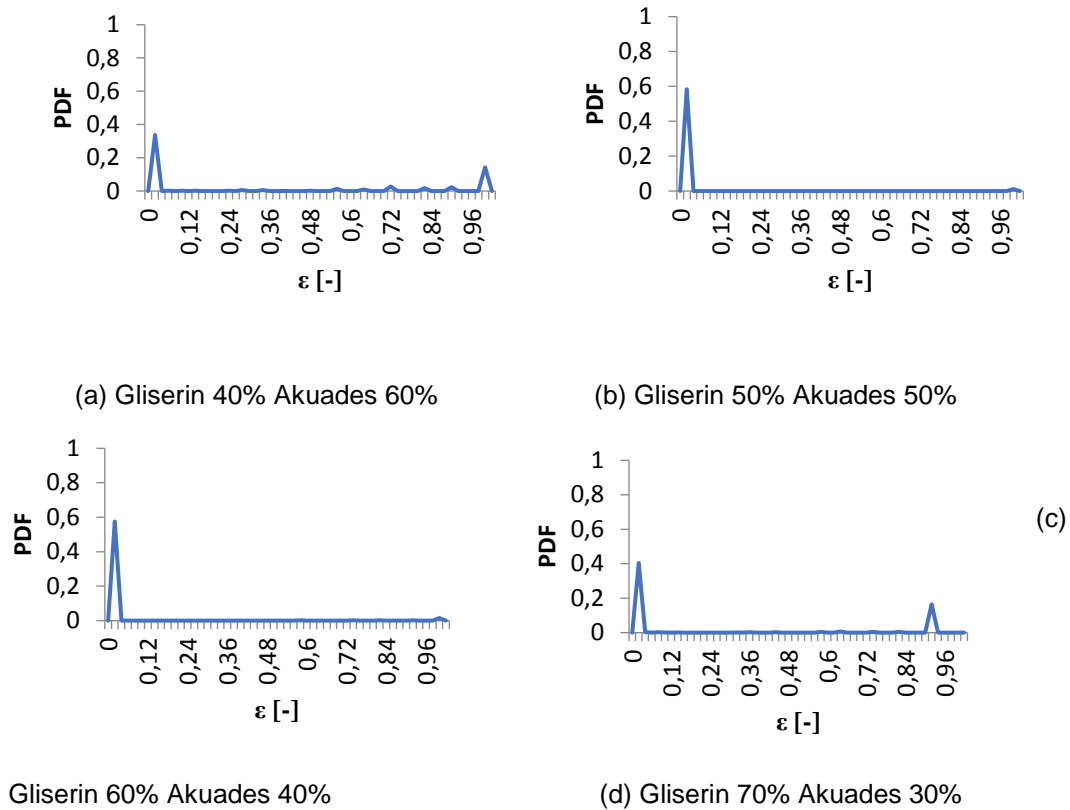
Gambar 5. Pola aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, (c) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, (d) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s.

4.1.2.2 Grafik Fraksi Hampa Terhadap Waktu



Gambar 6. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, (c) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, (d) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

4.1.2.3 Grafik Probability Density Function (PDF)

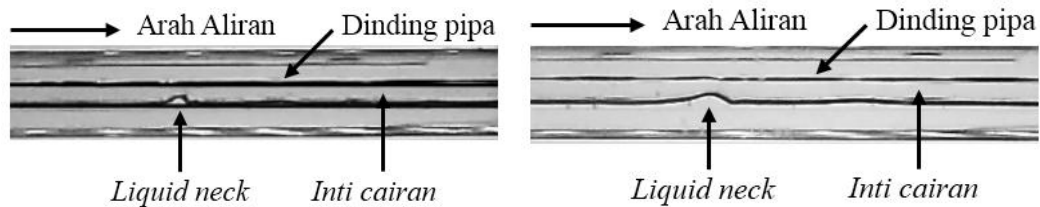


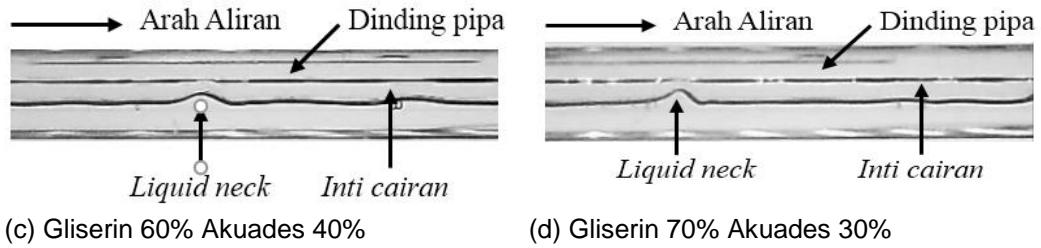
Gambar 7. Grafik Probability Density Function (PDF) pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, (c) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, (d) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

4.1.3 Fraksi Hampa Pada Pola Aliran *Slug Annular*

Pola aliran *slug-annular* ialah perubahan bentuk dari pola *plug* yang menjadi berbentuk *slug-annular*. Pola ini mempunyai struktur yang mana fase cairan terdistribusi secara simetris terhadap dinding pipa, tetapi pada suatu titik terdapat film cairan yang bentuknya lebih tebal dibandingkan titik yang lainnya. Hal ini dikarenakan saat J_G mengalami kenaikan maka udara akan berusaha untuk menembus jembatan cairan yang memisahkan antara udara dan *plug* yang berakibat munculnya lapisan film cairan yang lebih tebal.

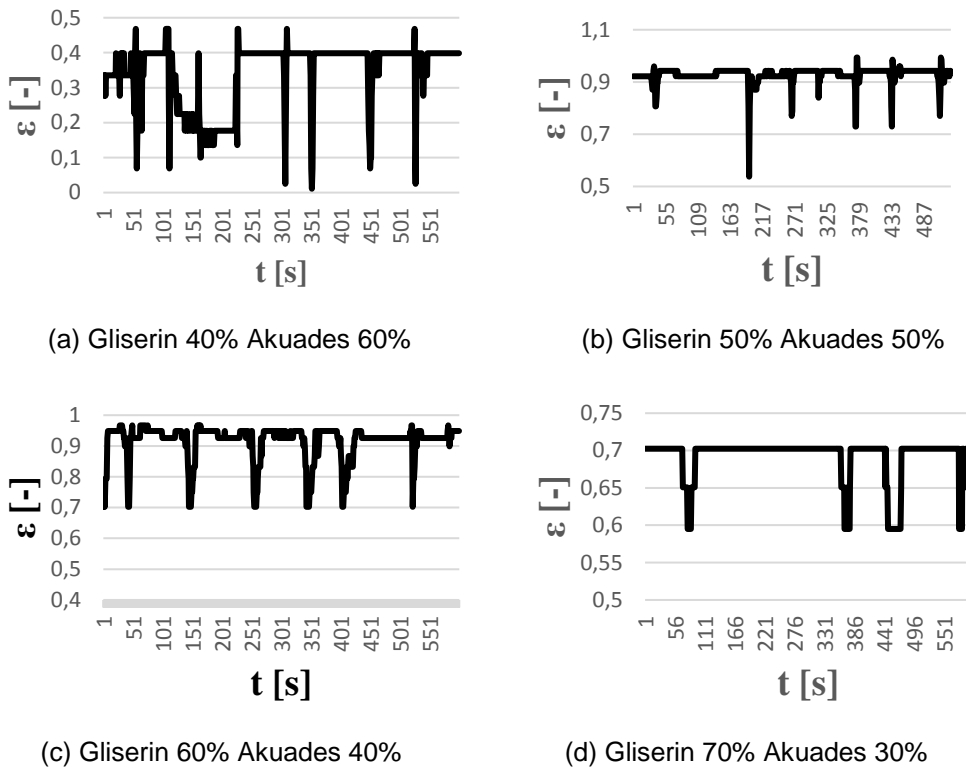
4.1.3.1 Pola Aliran *Slug Annular*





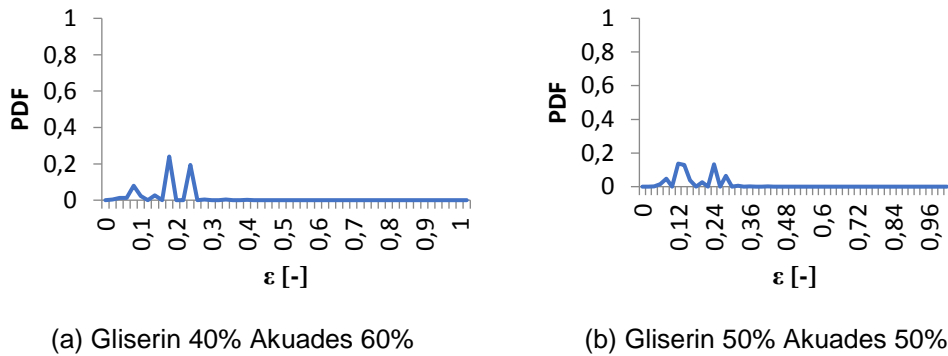
Gambar 8. Pola aliran *Slug Annular* pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, (b) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$, (c) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$, (d) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

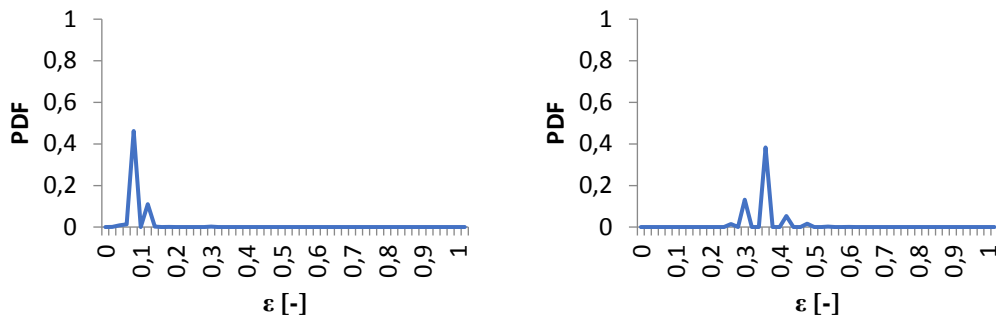
4.1.3.2 Grafik Fraksi Hampa Terhadap Waktu



Gambar 9. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, (b) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$, (c) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$, (d) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$.

4.1.3.3 Grafik Probability Density Function (PDF)





(c) Gliserin 60% Akuades 40%

(d) Gliserin 70% Akuades 30%

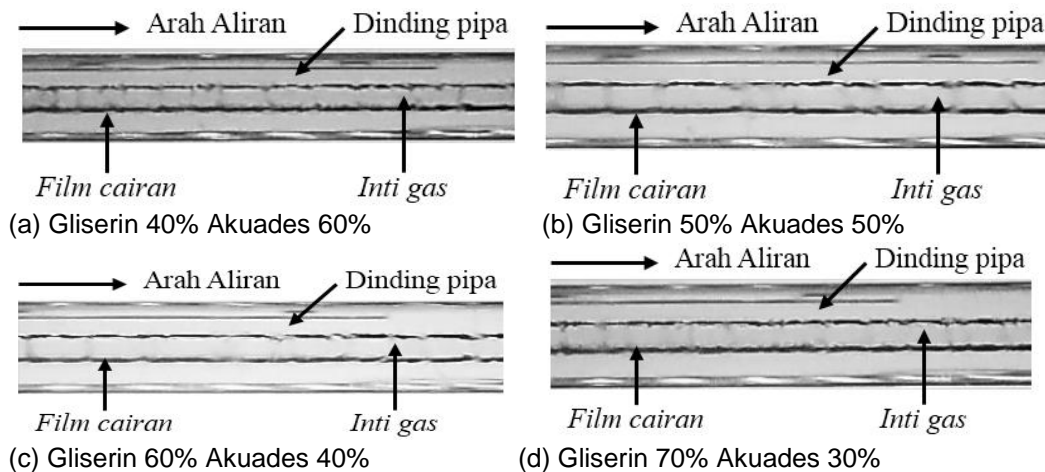
Gambar 10. Grafik Probability Density Function (PDF) pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, (b) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$, (c) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$, (d) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$.

4.1.4 Fraksi Hampa Pada Pola Aliran Annular

Pola *annular* merupakan lanjutan dari pola *slug-annular*. Pola ini terbentuk ketika kecepatan superfisial gas (J_G) yang relatif tinggi dan ketika kecepatan superfisial cairan (J_L) yang relatif lebih rendah, yang mana hal ini menyebabkan udara menembus bagian tengah lapisan film cairan, kemudian mendorong lapisan film cairan dan terdistribusi merata secara sismetris pada dinding pipa.

4.1.4.1 Pola Aliran Annular

Pola aliran *plug* biasanya ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa mini. *Plug* adalah pola aliran yang bedasarkan bentuknya dikategorikan sebagai aliran *bubble* yang memanjang (*elongated bubble*).



(a) Gliserin 40% Akuades 60%

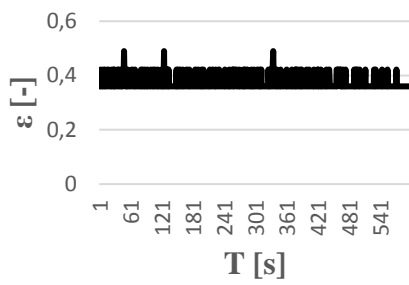
(b) Gliserin 50% Akuades 50%

(c) Gliserin 60% Akuades 40%

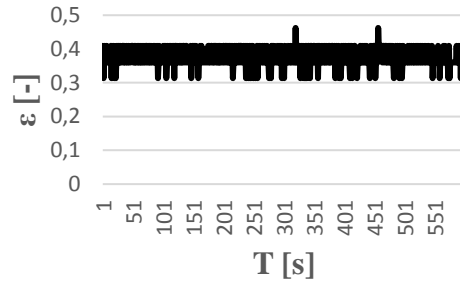
(d) Gliserin 70% Akuades 30%

Gambar 11. Pola aliran *annular* pada (a) $J_G = 58,05 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$, (b) $J_G = 50 \text{ m/s}$, $J_L = 0,149 \text{ m/s}$, (c) $J_G = 50 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, (d) $J_G = 50 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$.

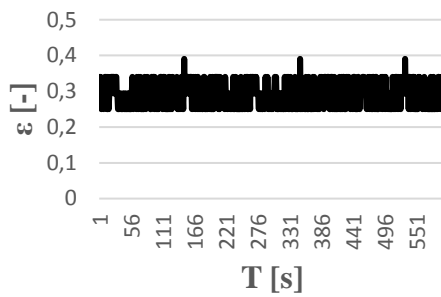
4.1.4.2 Grafik Fraksi Hampa Terhadap Waktu



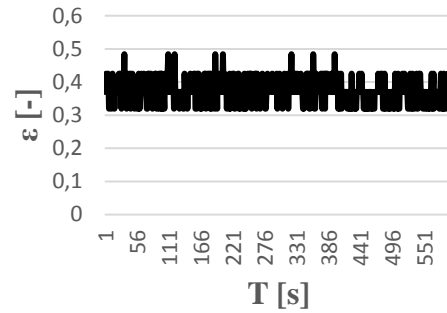
(a) Gliserin 40% Akuades 60%



(b) Gliserin 50% Akuades 50%



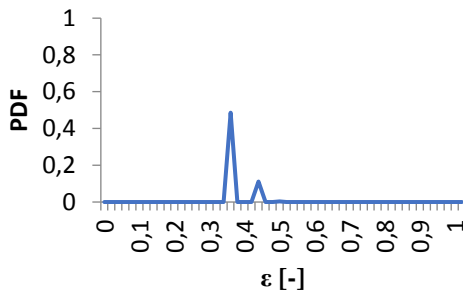
(c) Gliserin 60% Akuades 40%



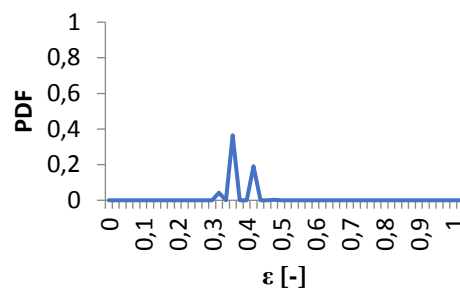
(d) Gliserin 70% Akuades 30%

Gambar 12. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, (c) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (d) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

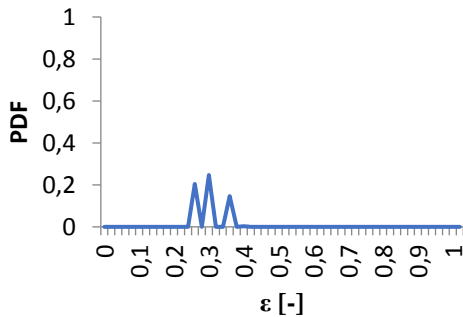
4.1.4.3 Grafik Probability Density Function (PDF)



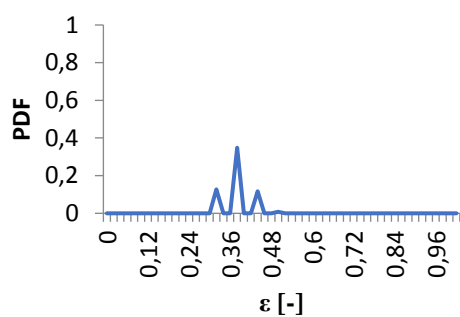
(a) Gliserin 40% Akuades 60%



(b) Gliserin 50% Akuades 50%



(c) Gliserin 60% Akuades 40%



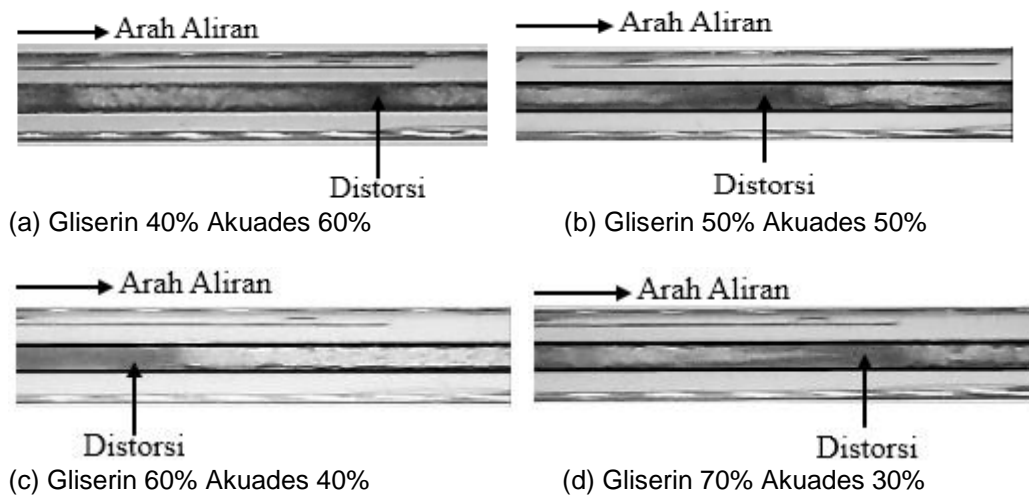
(d) Gliserin 70% Akuades 30%

Gambar 13. Grafik Probability Density Function (PDF) pada (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, (c) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, (d) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

4.1.5 Fraksi Hampa Pada Pola Aliran Churn

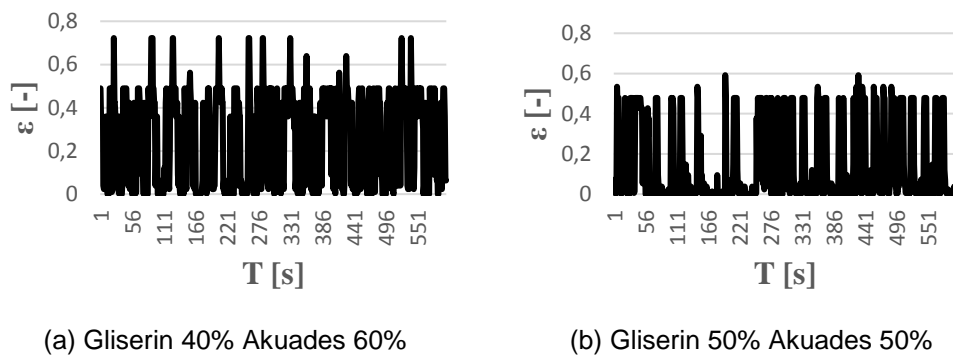
Pola aliran *churn* terbentuk ketika kecepatan superfisial gas (J_G) yang nilainya sangat tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) juga sangat tinggi, namun keduanya memiliki selisih yang cukup besar. Pola aliran *churn* merupakan lanjutan dari pola *bubbly* yang diteruskan, namun mengalami ketidakstabilan pada bagian belakangnya yang menghasilkan bagian yang terdistorsi.

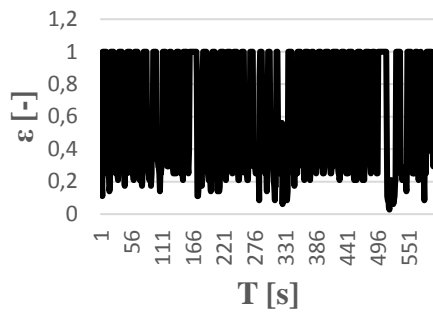
4.1.5.1 Pola Aliran Churn



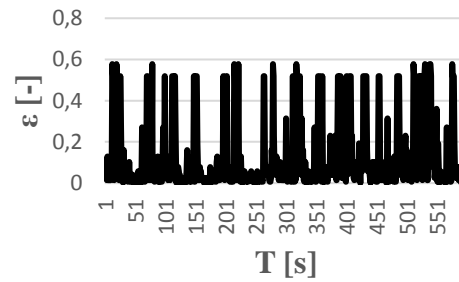
Gambar 14. Pola aliran *churn* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (c) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (d) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.

4.1.5.2 Grafik Fraksi Hampa Terhadap Waktu





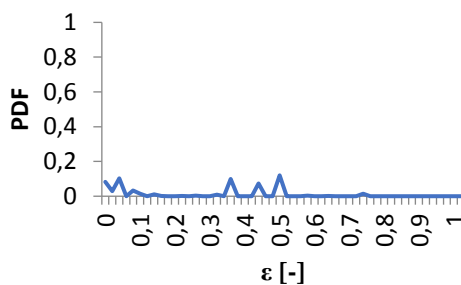
(c) Gliserin 60% Akuades 40%



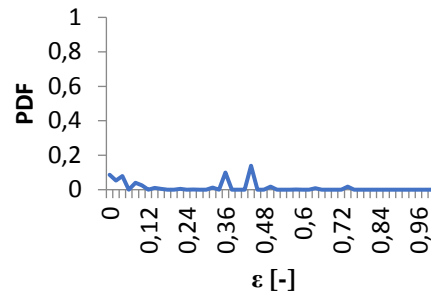
(d) Gliserin 70% Akuades 30%

Gambar 15. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (c) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (d) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.

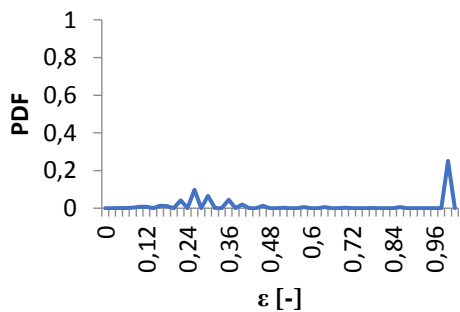
4.1.5.3 Grafik Probability Density Function (PDF)



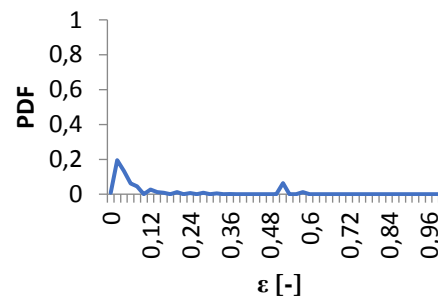
(a) Gliserin 40% Akuades 60%



(b) Gliserin 50% Akuades 50%



(c) Gliserin 60% Akuades 40%

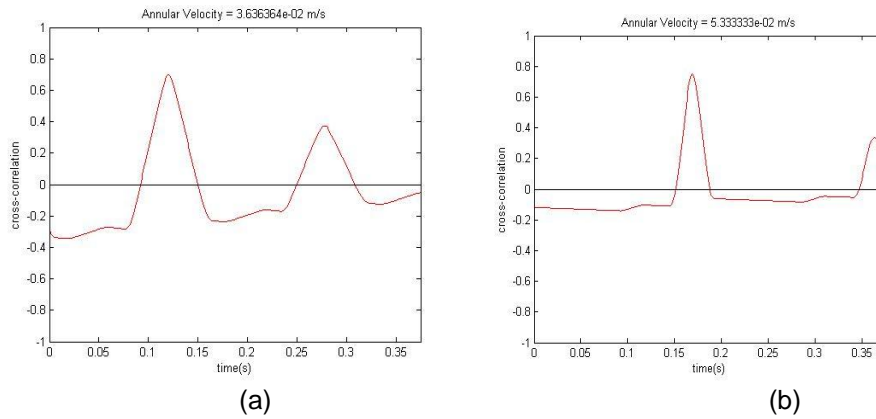


(d) Gliserin 70% Akuades 30%

Gambar 16. Grafik Probability Density Function (PDF) pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (c) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, (d) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.

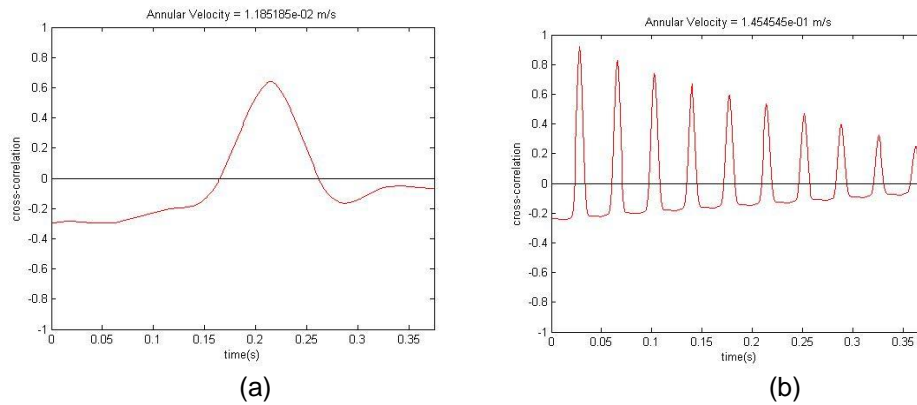
3.2 Cross Correlation, Kecepatan, Panjang dan Frekuensi Aliran Bubbly dan Plug

3.2.1 Cross Correlation Aliran Bubbly



Gambar 17. Cross-correlation bubbly pada (a)) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

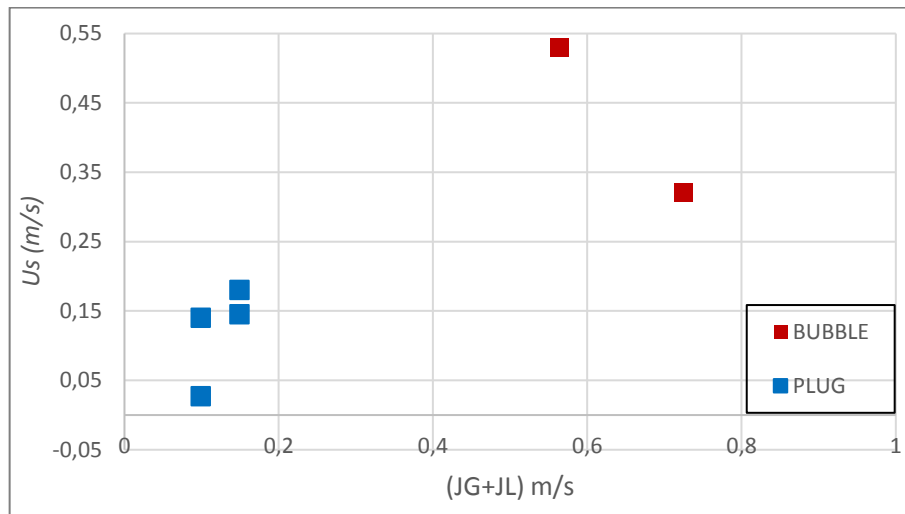
3.2.2 Cross Correlation Aliran Plug



Gambar 18. Cross-correlation plug pada (a)) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.2.3 Kecepatan Bubbly dan Plug

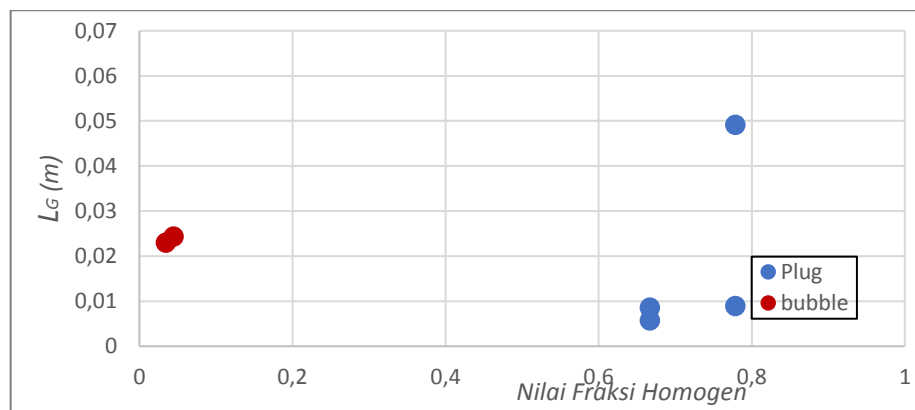
Kecepatan rata-rata pola aliran *bubbly* dan *plug* diolah dalam bentuk grafik. Grafik ini dibuat dengan menjumlahkan antara kecepatan *bubbly* dan *plug* dengan total fluks volumetric dimana $J_T = (J_G + J_L)$.



Gambar 19. Kecepatan *bubbly* dan *plug*

3.2.4 Panjang *Bubbly* dan *Plug*

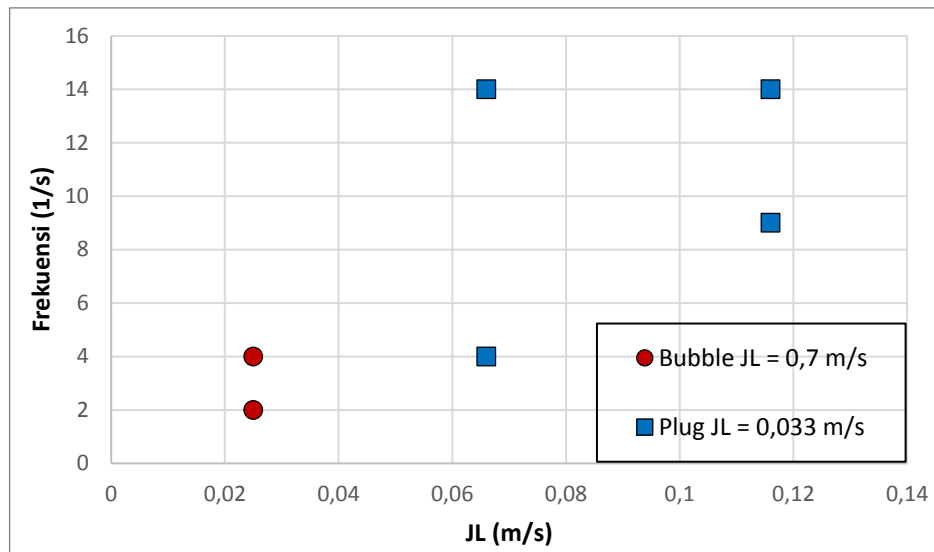
Grafik panjang *bubbly* dan *plug* yang diperoleh dengan hitung manual selama 1 detik dan diambil rata-rata untuk mendapatkan nilai panjang *bubbly* dan *plug*. Setelah diketahui ($\Delta t = t_2 - t_1$) dan mendapatkan kecepatan yang didapat dari hasil *cross-correlation* (v), dengan begitu di dapatkan nilai dari panjang *bubbly* dan *plug* dengan memperhitungkan ($L = \Delta t \cdot v$). Semakin tinggi nilai homogen (β) maka panjang *bubbly* dan *plug* mengalami peningkatan. Dari hasil penelitian yang didapat bahwa *bubbly* yang dihasilkan memiliki ukuran yang kurang dari diameter pipa dan biasanya diawali dengan munculnya long *plug* dengan diiringi *short plug* yang dapat mempengaruhi rata-rata panjang *bubbly* dan *plug*.



Gambar 20. Panjang *bubbly* dan *plug*

3.2.5 Frekuensi *Bubbly* dan *Plug*

Grafik panjang *bubbly* dan *plug* yang didapatkan dengan metode hitung manual. Semakin tinggi nilai (J_G) dan (J_L) maka kemunculan frekuensi yang diperoleh akan semakin banyak muncul. Peningkatan frekuensi *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh kecepatan superfisial cairan (J_L). Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai (J_L) semakin banyak juga frekuensi pola *bubbly* dan *plug* yang muncul.



Gambar 21. Frekuensi *bubbly* dan *plug*

4. Kesimpulan.

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pengolahan data didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis karakteristik fraksi hampa pada masing- masing pola aliran sebagai berikut:
 - a. Nilai fraksi hampa untuk pola aliran *bubbly* menghasilkan grafik *time series* yang tidak begitu stabil dikarenakan terdapatnya aliran *plug* yang berada didekat aliran *bubbly*.
 - b. Nilai fraksi hampa untuk pola aliran *plug* banyak yang mencapai angka 1, hal ini dikarenakan oleh *long plug* yang memenuhi dinding pipa bagian dalam.
 - c. Pada pola aliran *slug annular* terjadi penurunan nilai fraksi hampa, hal ini dikarenakan *liquid neck* yang muncul pada titik tertentu pada *section test*.
 - d. Nilai fraksi hampa pada aliran *annular* lebih terlihat stabil dan tidak terlihat perubahan yang signifikan. Grafik fraksi hampa juga dipengaruhi oleh tingkat ketebalan laipisan film pada aliran *annular* tersebut.
 - e. Nilai fraksi hampa pada aliran *churn* memiliki nilai yang bersifat fluktuatif.
2. Kecepatan, panjang, dan frekuensi *bubbly* dan *plug* dapat diketahui sebagai berikut:
 - a. Pada pola aliran *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh viskositas dari fluida. Hal ini dikarenakan semakin tinggi viskositas fluida maka kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* akan semakin menurun, begitupun sebaliknya.
 - b. Panjang pola *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh tingginya nilai fraksi hampa. Selain dari pengaruh nilai fraksi hampa, panjang pola *bubbly* dan *plug* dipengaruhi dari nilai variabel J_G dan J_L yang dihasilkan.
 - c. Pada frekuensi kemunculan *bubbly* dan *plug* didapatkan frekuensi yang cukup tinggi, hal tersebut mengakibatkan nilai fraksi hampa yang dihasilkan cukup meningkat.

Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Autee, A., Srinivasa Rao, S., Puli, R., & Shrivastava, R. (2015). An experimental study on two-phase pressure drop in small diameter horizontal, downward inclined, and vertical tubes. *Thermal Science*, 19(5), 1791–1804. <https://doi.org/10.2298/TSCI130118081A>
- [2] Baba, Y. D., Archibong, A. E., Aliyu, A. M., & Ameen, A. I. (2017). Slug frequency in high viscosity oil-gas two-phase flow: Experiment and prediction. *Flow Measurement and Instrumentation*, 54(May 2018), 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.01.002>
- [3] 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>
- [4] Gomyo, T., & Asano, H. (2016). ONE-COMPONENT GAS – LIQUID TWO-PHASE FLOW IN SMALL DIAMETER TUBES. 4(1), 1–18.
- [5] Jia, J., Babatunde, A., & Wang, M. (2015). This is a repository copy of Void Fraction Measurement of Gas-Liquid Two-Phase Flow from Differential Pressure. Void Fraction Measurement of Gas-Liquid Two-Phase Flow from Differential Pressure. *Flow Measurement and Instrumentation*, 41, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2014.10.010>
- [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] Kong, R., Kim, S., Bajorek, S., Tien, K., & Hoxie, C. (2018). Effects of pipe size on horizontal two-phase flow: Flow regimes, pressure drop, two-phase flow parameters, and drift-flux analysis. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 96, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.02.030>
- [8] Pipathattakul, M., Mahian, O., Dalkilic, A. S., & Wongwises, S. (2014). Wongwises (2014)-Effects of the gap size on the flow pattern maps in a mini-gap annular.PDF.
- [9] Sudarja, Indarto, Deendarlianto, A. G. (2015). *Studi Eksperimental Mengenai Pola Aliran Dan Fraksi Hampa Pada Aliran Gas-Cairan Dalam Pipa Berukuran Mini*. Retrieved from http://www.ghbook.ir/index.php?name=فرهنگ و رسانه های نوین&option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component
- [10] Sudarja, Jayadi, F., Indarto, Deendarlianto, & Widyaparaga, A. (2018). The effect of liquid viscosity on the gas-liquid two-phase flow pattern in horizontal mini-channel. *AIP Conference Proceedings*, 2001. <https://doi.org/10.1063/1.5049982>
- [11] Sukamta, Aldi Rahadian Ilham, S. (2019). THE INVESTIGATION OF VOID FRACTION OF TWO-PHASE FLOW AIR-WATER AND GLYCERINE (0-30%) IN THE CAPILLARY PIPE WITH SLOPE OF 50 TO HORIZONTAL POSITION Sukamta. 20(1999), 7–9.

- [12] 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)