

INVESTIGASI FRAKSI HAMPA DUA FASE UDARA AKUADES DAN GLISERIN (0-30)% PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 5⁰ TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Sukamta^a, Aldi Rahadian Ilham^b, Sudarja^c

^{a,b,c}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Brawijaya Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, 55183
^amsukamta@gmail.com, ^brahadian.ilham11@gmail.com, ^csudarja@umy.ac.id

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, e.g. exhaust gas smoke, fog, rain, cloud, snow, and so on, while applying for a corporate environment or industry, the flow of the two phases can be encountered on the equipment in the form of heat exchangers, boilers, nuclear reactors, piping systems, geothermal, natural gas liquefaction, and others. 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 50 on the capillary pipes horizontal. Data retrieval in this research was conducted in four stages (on the basis of fluid it works), with the viscosity of the air-aquades, air-aquades + 10% glycerine, air-aquades + 20% glycerin, and air-aquades + 30% glycerin. Testing is done to determine the fractional vacuum by using the method of digital image processing with MATLAB application program R2014a. In the process of data capture, air compressor function provides air pressure. Air compressor is equipped with a water trap and air dryer for the guarantee that the air coming into the system is pressurized dry air without water content. 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. Acquisition of data from the "National Instrument" is used to convert data from analog to digital, so that it can be recorded, stored, processed, and analyzed on a computer. Research conditions are adiabatic. An experiment conducted on gas superficial velocity (J_G) with intervals of 0.025 – 66.3 m/s, and liquid superficial velocities (J_L) 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, otherwise the higher speed of the liquid fraction of the value of superficial platitudes that are retrieved will be increasingly decreased. 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, instead of declining viscosity so bubbly flow pattern speed and the plug will progressively increase. 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.

Keyword: two-phase, fluid, void fraction, viscosity, flow pattern.

1. Pendahuluan

Aliran multi fase adalah aliran yang terdiri dari beberapa fase. Aliran dua fase merupakan kondisi yang paling sederhana dari aliran multi fase. Fenomena aliran dua fase dapat dijumpai di alam, contohnya kabut, asap gas buang, hujan, awan, salju, dan lain sebagainya, sedangkan penerapan untuk lingkungan perusahaan atau industri, aliran dua fase dapat dijumpai pada peralatan berupa *heat exchanger*, boiler, reaktor nuklir,

sistem perpipaan, *geothermal*, pencairan gas alam, dan lain sebagainya Wallis, (1969). Penelitian mengenai aliran dua fase pada pipa mini telah diterapkan dan dikembangkan khususnya dibidang perindustrian dan kedokteran. Beberapa dari contoh aplikasi aliran dua fase pada pipa mini (*micro pipe*), yaitu *micro heat exchangers*, *micro cooling electronic*, dan *Micro-Electro-Mechanical System (MEMS)*. Sedangkan pada dunia kedokteran beberapa contoh aplikasinya adalah pola aliran yang terdapat pada tubuh manusia, contohnya adalah pembuluh darah yang mengalir pada tubuh manusia.

Banyaknya penelitian yang dilakukan menggunakan metode *digital image processing*, beberapa diantaranya adalah Triplett, (1999) menerapkan metode *digital image processing* untuk menentukan fraksi hampa pada pipa sirkular dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm. Mayor dkk, (2006) menjelaskan tentang implementasi dari *digital image processing* untuk mempelajari aliran *slug* pada pipa vertikal. Montoya dkk, (2012) menggunakan *digital image processing* untuk mempelajari *interfacial behavior* pada aliran *countercurrent* aliran dua fase gas-cair pada *hot leg PWR*. Fraksi hampa merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dari aliran dua fase. Dengan menentukan fraksi hampa kita dapat menentukan beberapa karakteristik aliran yaitu kecepatan pola, menghitung panjang pola, menghitung frekuensi pola, dan menjadi dasar dalam perhitungan penurunan tekanan (*pressure gradient*).

Ali dkk, (1993) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa dengan cara pengukuran konduktivitas listrik pada sebuah aliran. Dengan dua pasang elektroda dipasang pada saluran masuk dan keluar pada plat sejajar dengan gap antara 0,778 mm – 1,465 mm. Fraksi hampa diukur dengan membandingkan rasio antara konduktivitas listrik aliran dua-fase gas-cair dengan konduktivitas listrik aliran satu-fase cair. Hasil dari data tersebut kemudian akan dikonversikan ke bentuk fraksi hampa.

Fukano dan Kariyasaki, (1993) melakukan pengukuran fraksi hampa menggunakan metode arus konstan dengan kalibrasi menggunakan model *small bubblys* dan *large gas bubblys*. Analisa mengenai fraksi hampa dilakukan dengan mengetahui nilai dari *film thickness* cairan yang melingkari dan melilingi *bubbly*. Hubungan antara *film thickness* dengan kecepatan superficial gas (J_G) pada aliran horizontal pipa berukuran 1 mm, 2,4 mm, 4,9 mm dan 9 mm. Fukano dan Kariyasaki, (1993) menyatakan bahwa nilai *film thickness* pada pipa berdiameter tersebut memiliki nilai *film thickness* semakin besar dengan kenaikan (J_G). Sebaliknya, pada pipa dengan diameter 9 mm nilai *film thickness* semakin turun dengan kenaikan (J_G). Selain itu, data yang didapat pada pola aliran *intermittent* dapat dihungkan secara baik dengan data yang didapat pada pola aliran *annular*. Fukano dkk, (1993) juga melakukan penelitian tentang kecepatan *bubbly* yang ditentukan dari persamaan L_s / τ , dimana L_s adalah jarak aksial diantara dua elektroda dan τ adalah jeda waktu dimana nilai maksimum *cross-correlation* dari dua sinyal *output* fraksi hampa. Kesalahan pada pengukuran τ disebabkan oleh frekuensi dari sampel. Minimum selang waktu adalah sebesar 500 μs . Kesalahan pengukuran terbesar terjadi saat kecepatan *bubbly* tinggi.

Kawahara dkk, (2002) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa pada pipa dengan diameter 100 μm . Pada saat fluida air mengalir dengan *flow rate* yang rendah, gambar yang terekam didominasi aliran air tanpa ada udara ($\epsilon = 0$), dan inti gas mengalir dengan film cairan halus. Sedangkan pada saat rata-rata aliran tinggi, terdapat tiga jenis aliran yang terekam yaitu aliran air tunggal ($\epsilon = 0$), inti gas yang mengalir dengan film cairan halus ($\epsilon = 1$), dan inti gas yang mengalir dengan film cairan tebal ($0 < \epsilon < 1$). Menunjukkan grafik fraksi hampa yang dihasilkan dari penelitian Kawahara dkk, (2002).

Chung dan Kawaji, (2004) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa rata-rata waktu pada saluran sirkular berdiameter $D = 50, 100, 250, \text{ dan } 530 \mu m$ serta $96 \mu m$ saluran persegi menggunakan analisis gambar. Model aliran homogen mempunyai kesesuaian yang baik dengan data untuk $D = 530 \mu m$. Data untuk $D = 250 \mu m$ sedikit berbeda dari model aliran homogen, tetapi bersesuaian secara baik dengan korelasi yang diusulkan lebih dulu oleh Ali dkk, (1993) untuk aliran dua fase dalam saluran persegi sempit dengan $D_h \sim 1 \text{ mm}$: $\alpha = 0,8$ β dengan $\beta = J_G / J_L$ adalah kualitas volumetrik. Data dari Chung dan Kawaji, (2004) untuk saluran persegi $96 \mu m$ dan 50 serta $100 \mu m$ menunjukkan kecenderungan berbeda sekali dari korelasi-korelasi tersebut, akan tetapi menunjukkan hubungan yang tidak linier antara α dan β .

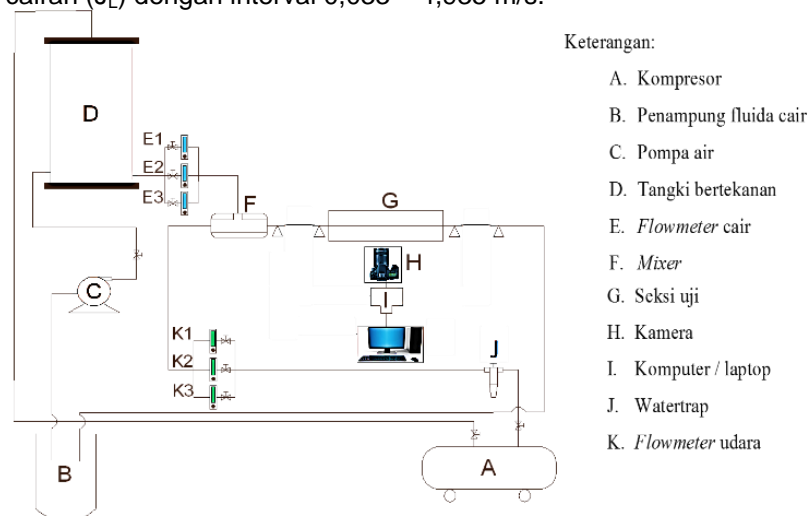
Biksono, (2006) melakukan penelitian tentang karakteristik dan visualisasi aliran dua fasa pada pipa spiral. Adapun hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien gesek dua fasa lebih besar dibandingkan data satu fasa. Aliran transisi lebih cepat terjadi pada aliran dua fasa, yaitu pada bilangan Reynold (R_e) antara (1600-1700). Efek penambahan variasi kecepatan udara (u_g), menyebabkan kenaikan nilai koefisien gesek.

Sudarja, (2015) melakukan penelitian tentang fraksi hampa, salah satu hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.7. Gambar (a) terlihat bahwa secara umum kenaikan J_G memberikan pengaruh fraksi hampa, kecuali pada J_G yang sangat rendah, karena pada J_G tersebut pola aliran yang terbentuk adalah *bubble* dan *plug*. dari grafik fraksi hampa homogen (β) vs fraksi hampa terukur (ϵ atau α), yaitu Gambar (b), untuk harga *bubble*, semua harga ϵ lebih tinggi dari pada harga β , sedangkan untuk aliran *plug*, harga ϵ tersebar disekitar garis korelasi Ali dkk. ($\epsilon=0,8 \beta$) sampai dengan sedikit di atas garis homogen. Hal ini dapat dilihat karena pada aliran *bubble* dan *plug* tidak terjadi *slip* atau misalnya ada, *slip ratio* nya mendekati 1. Untuk pola aliran *churn*, *plug-annular*, (S-A), maupun *annular* (A), harga ϵ sangat kecil, bahkan berada dibawah garis korelasi Kawahara (persamaan 2). Hal ini dapat dilihat karena adanya *slip ratio* yang sangat besar, berarti kecepatan gas jauh lebih besar dari pada kecepatan cairan..

Pentingnya penelitian untuk menentukan fraksi hampa pada pipa mini dengan memvalidasi percobaan sebelumnya dengan menggunakan metode yang berbeda, menjadi salah satu faktor pentingnya melakukan penelitian ini. Manfaat penelitian ini bertujuan untuk beberapa karakter aliran yaitu kecepatan, panjang, dan frekuensi pada pola aliran *bubbly* dan *plug*, menentukan prediksi perubahan transisi pola aliran, dan menjadi dasar dalam perhitungan penurunan tekanan yang dapat digunakan untuk penelitian – penelitian selanjutnya mengenai (*preasure gradient*).

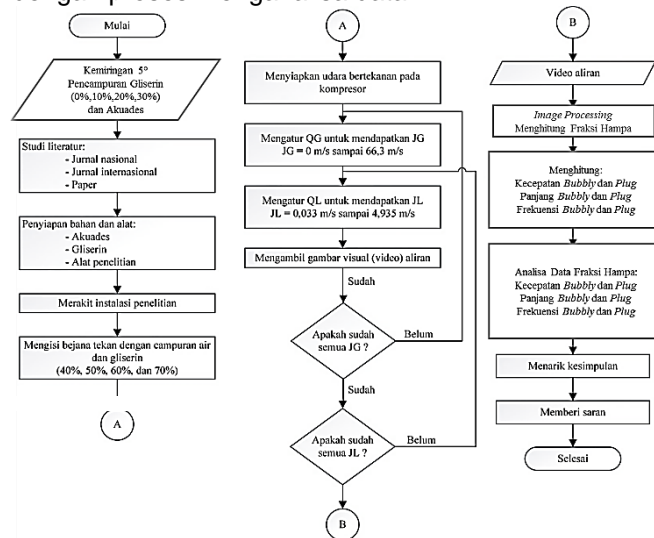
2. Metode Penelitian

Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. terdiri dari komponen utama: penampung fluida cair, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *test section*, *water trap*, *mixer*, dan konektor. Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *optical correction box*, kamera, komputer, *video processing system*, dan *acquisition system*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *flowmeter* air, *flowmeter* udara, *temperature indicator*, *Thermocouple*, *pressure indicator*, dan *pressure transducer*. Untuk pengambilan gambar video aliran, digunakan kamera berkecepatan tinggi merk Nikon tipe J4, dengan kecepatan 1200 fps dan resolusi 640 x 480 pixel. Akuisisi data dari “National Instrument” digunakan untuk mengkonversi data dari analog menjadi digital, agar dapat direkam, disimpan, diolah, dan dianalisa pada komputer. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Eksperimen dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) dengan interval 0,025 – 66,3 m/s, dan kecepatan superfisial cairan (J_L) dengan interval 0,033 – 4,935 m/s.



Gambar 1. Skema instalasi penelitian

Gambar 2. menunjukkan proses dari penelitian aliran dua fase, dari tahap kalibrasi alat ukur sampai dengan proses menganalisa data.



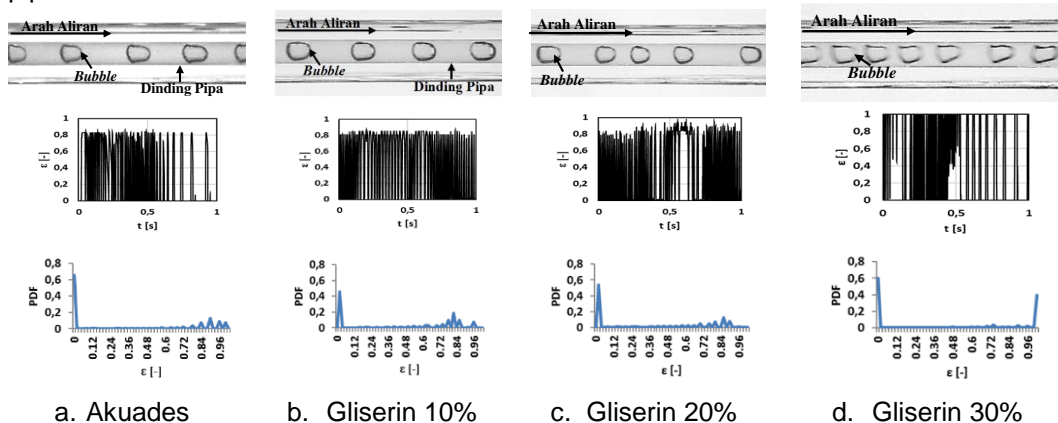
Gambar 2. Skema instalasi penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan 5 derajat menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang masing-masing campuran mengandung 0%, 10%, 20%, dan 30% gliserin. Dari penelitian tentang pola aliran, aliran yang terdeteksi pada kenaikan persentase gliserin adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular* dan *churn*. Perbedaan yang terjadi diantara beberapa persentase gliserin tadi adalah proses transisi antara pola aliran. 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 Distribution Function (PDF)* sebagai fungsi $\epsilon [-]$ (nilai fraksi hampa).

3.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

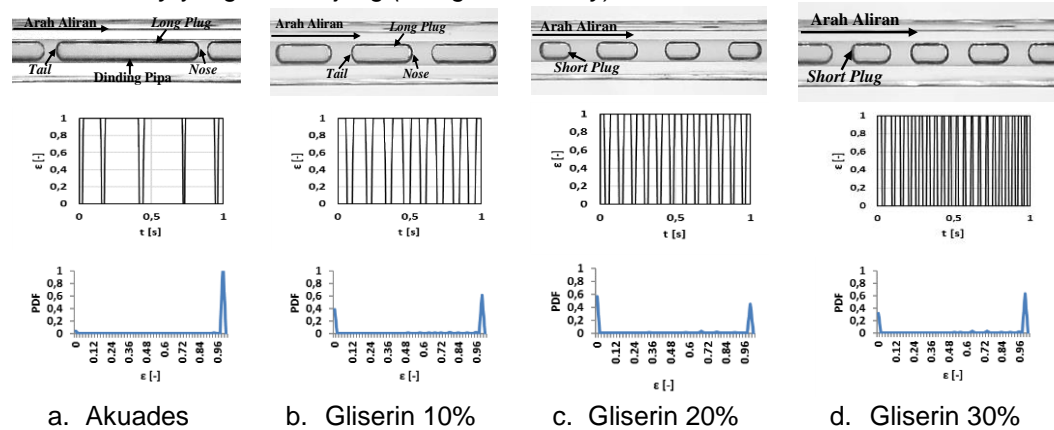
Gambar 3. menunjukkan pola aliran *bubbly* yang terjadi biasanya diawali dengan munculnya gelembung-gelembung udara yang berbentuk bulatan kecil yang mengambang antara batas dinding pipa. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superficial gas (J_G) rendah dan kecepatan superficial cairan (J_L) tinggi. pola aliran *bubbly* pada persentase campuran 30% gliserin menunjukkan frekuensi kemunculan yang lebih banyak dari persentase 0%, 10%, dan 20% gliserin, dikarenakan oleh cairan yang semakin megental yang mengakibatkan udara sulit untuk masuk kedalam sela-sela dari pipa.



Gambar 3. Pola aliran *bubbly* dengan $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,879 \text{ m/s}$

3.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran Plug

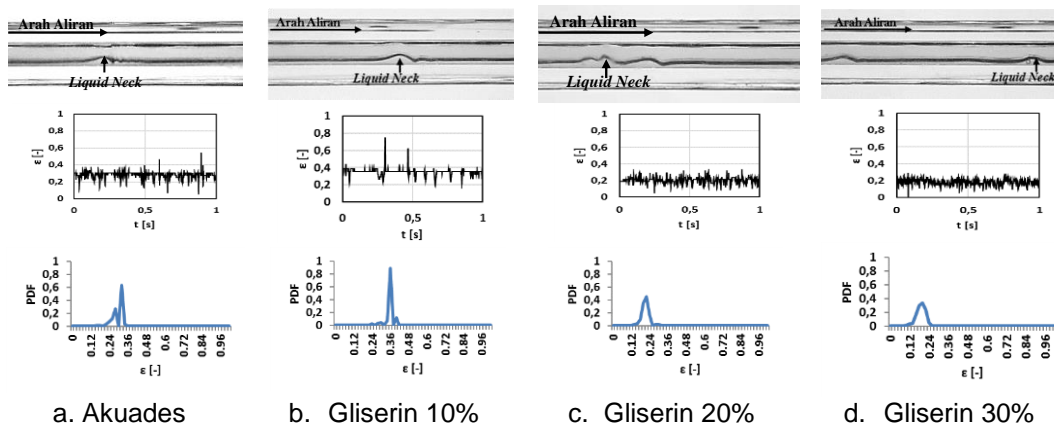
Gambar 4. menunjukkan pola aliran *plug* seringkali ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa mini. Berdasarkan fasenya pola aliran *plug* dibedakan menjadi dua yaitu *plug* udara dan *plug* air. *Plug* adalah pola aliran yang berdasarkan bentuknya dikategorikan sebagai aliran *bubbly* yang memanjang (*elongated bubbly*).



Gambar 4. Pola aliran *plug* dengan $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s

3.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran Slug-Annular

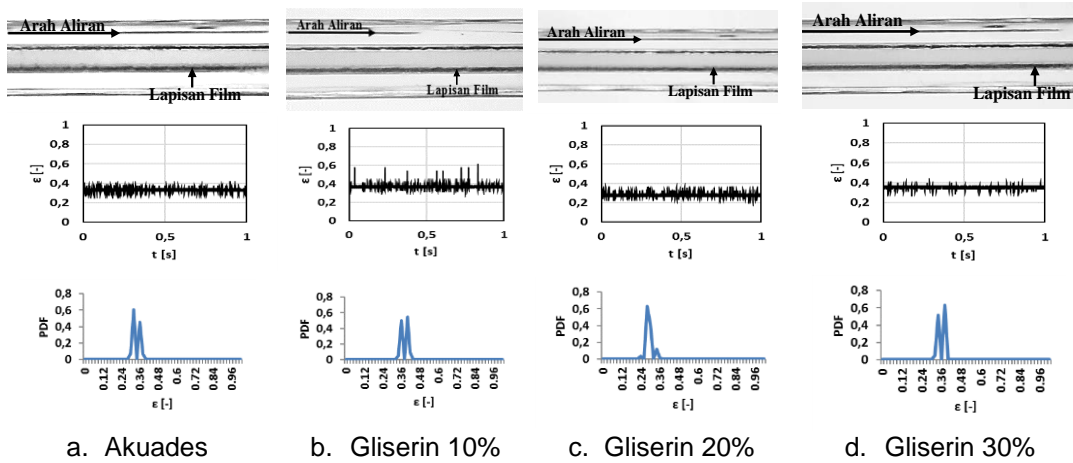
Gambar 5. menunjukkan pola aliran *slug-annular* adalah pola transisi antara pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada titik tertentu lebih terdapat lapisan film cairan yang lebih tebal dibanding titik lainnya. Hal tersebut disebabkan karena udara pada saat J_G mengalami kenaikan maka udara akan berusaha untuk menembus jembatan cairan yang memisahkan antara udara pada aliran *plug*, sehingga munculnya lapisan film cairan yang terjadi akan lebih tebal.



Gambar 5. Pola aliran *slug-annular* dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s

3.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran Annular

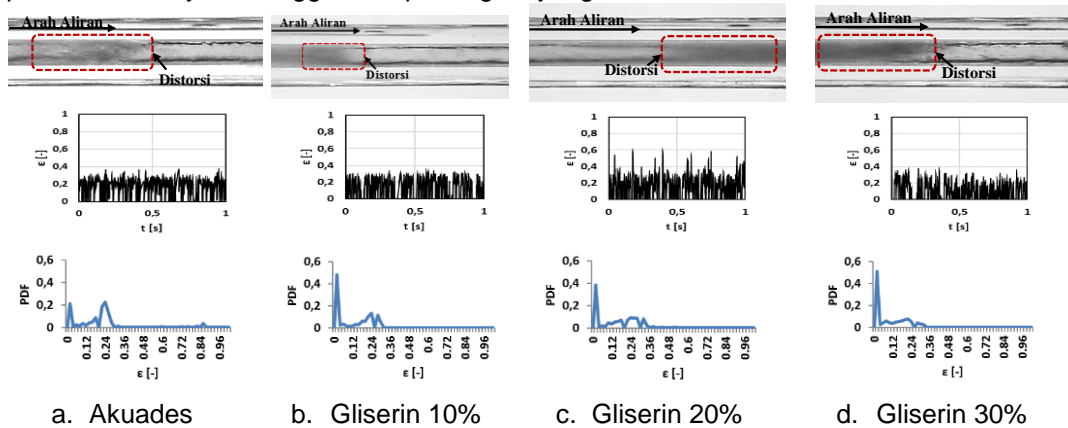
Gambar 6. menunjukkan pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana kecepatan superficial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superficial cairan (J_L) yang rendah mengakibatkan udara menembus bagian dari tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi secara merata dan simetris pada bagian dinding pipa. Hal ini disebabkan oleh fase gas melewati tengah – tengah fase cair. Pola *annular* bisa juga disebut sebagai kelanjutan dari pola aliran *slug-annular*.



Gambar 6. Pola aliran *annular* dengan $J_G = 66,3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s

3.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

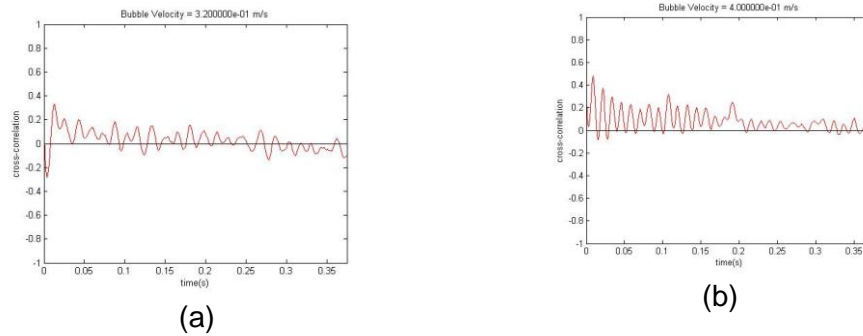
Gambar 7. menunjukkan pola aliran *churn* terbentuk ketika kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang cukup tinggi dimana selisih keduanya cukup besar. Pola aliran ini termasuk kedalam bentuk jenis pola yang sangat tidak stabil pada sisi ekornya, sehingga terdapat bagian yang terdistorsi.



Gambar 7. Pola aliran *churn* dengan $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s

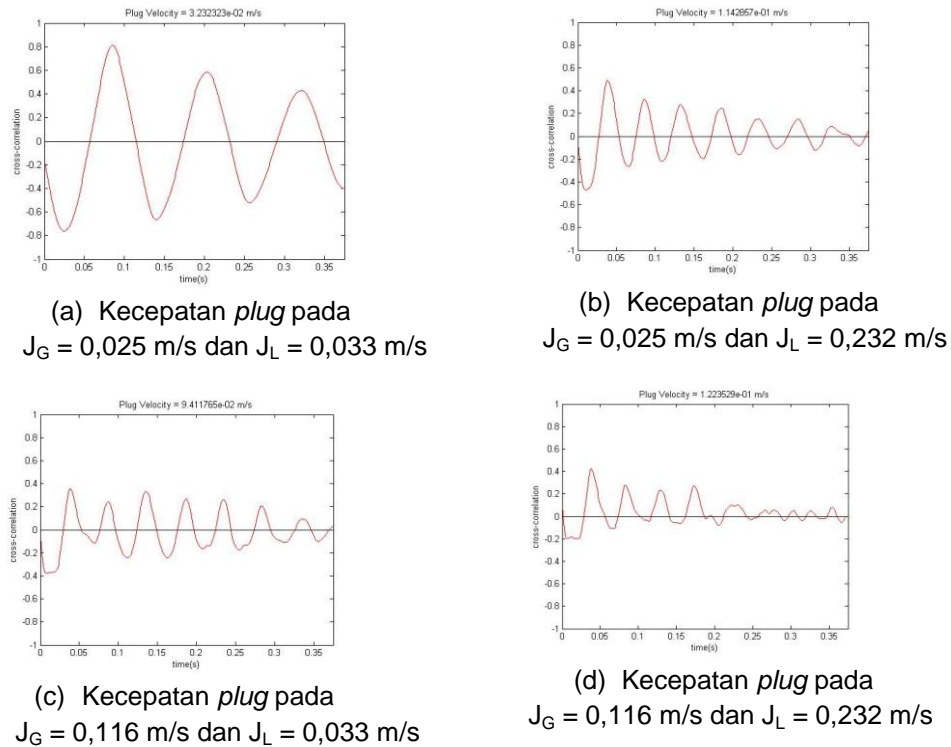
3.6 Cross-Correlation Pola Aliran *Bubbly* dan *Plug*

Kecepatan dari *bubbly* dan *plug* dapat dicari dengan menentukan rentang waktu dimana pergerakan antara *bubbly* dan *plug* berada pada suatu titik bertemunya referensi ke titik referensi lainnya. Gambar 8 menunjukkan nilai *cross-correlation bubbly* sedangkan Gambar 9 menunjukkan nilai *cross-correlation plug*. Gambar 8 dan 9 menunjukkan grafik yang fluktuatif dimana terdapat nilai dari *cross-correlation* pada jeda waktu yang dihasilkan. Puncak tertinggi menjelaskan tentang jeda waktu dari hasil *cross-correlation*. Setelah itu nilai dari kecepatan *bubbly* dan *plug* dihitung dari selisih jarak antara kedua referensi yang digunakan dibagi dengan jeda waktu yang dihasilkan oleh grafik *cross-correlation*. jika viskositas mengalami kenaikan maka kecepatan *bubbly* dan *plug* akan menurun. Hal tersebut dikarenakan dari udara yang semakin susah untuk masuk kedalam aliran pipa campuran gliserin dan akuades dengan viskositas yang dinaikan.



Gambar 8. *Cross-correlation bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 8. menunjukkan grafik dari *Cross-correlation bubbly* akan semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (J_G) dengan nilai variabel kecepatan superfisial cair (J_L) yang sama, hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar (a) nilai dari *bubbly velocity* = 0,32 m/s, sedangkan Gambar (b) nilai dari *bubbly velocity* = 0,4 m/s.



(a) Kecepatan *plug* pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s

(b) Kecepatan *plug* pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,232$ m/s

(c) Kecepatan *plug* pada $J_G = 0,116$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s

(d) Kecepatan *plug* pada $J_G = 0,116$ m/s dan $J_L = 0,232$ m/s

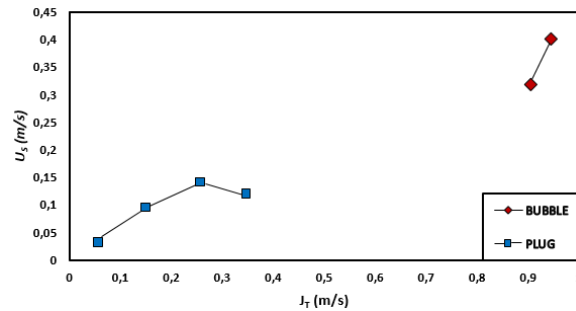
Gambar 9. *Cross-correlation plug*

Gambar 9. menunjukkan jika viskositas mengalami kenaikan maka kecepatan *plug* akan menurun. Hal tersebut dikarenakan dari udara yang semakin susah untuk masuk kedalam aliran pipa campuran gliserin dan akuades dengan viskositas yang dinaikan seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (J_G).

3.7 Kecepatan *Bubbly* dan *Plug*

Kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* diolah dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 10. Grafik ini dibuat dengan menjumlahkan antara kecepatan *bubbly* dan *plug* dengan total fluks volumetric dimana $J_T = (J_G + J_L)$. grafik dari kecepatan *bubbly*

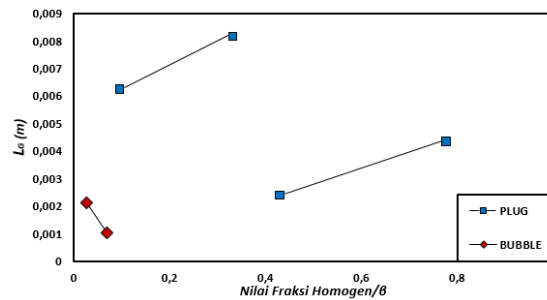
dan *plug* akan mengalami penurunan jika viskositas dan variabel fluida semakin besar. Secara umum dapat disimpulkan jika semakin besar nilai total ($J_G + J_L$) m/s maka kecepatan *bubbly* dan *plug* akan semakin meningkat.



Gambar 10. Kecepatan *bubbly* dan *plug*

3.8 Panjang *Bubbly* dan *Plug*

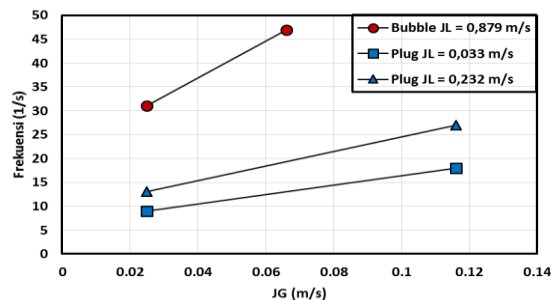
Gambar 11. menunjukkan grafik panjang *bubbly* dan *plug* yang diperoleh dengan hitung manual selama 1 detik dan diambil rata – rata untuk mendapatkan nilai panjang *bubbly* dan *plug*. Setelah diketahui ($\Delta t = t_2 - t_1$) dan mendapatkan kecepatan yang didapat dari hasil *cross-correlation* (v), dengan begitu di dapatkan nilai dari panjang *bubbly* dan *plug* dengan memperhitungkan ($L = \Delta t.v$). Berdasarkan Gambar 10. dapat diketahui jika 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 11. Panjang *bubbly* dan *plug*

3.9 Frekuensi *Bubbly* dan *Plug*

Gambar 12. menunjukkan 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 *bubbly* dan *plug* yang dihasilkan.



Gambar 12. Frekuensi *bubbly* dan *plug*

4 Kesimpulan

1. Karakteristik nilai fraksi hampa pada masing – masing pola aliran yaitu sebagai berikut:

- Nilai fraksi hampa pada pola aliran *bubbly* biasanya diawali dengan munculnya pola aliran *plug* yang mengakibatkan meningkatnya nilai fraksi hampa secara drastis pada rentang waktu tertentu.
- Pada pola aliran *plug*, nilai fraksi hampa sampai mencapai nilai 1 yang dikarenakan oleh *long plug* yang memenuhi pipa dibagian seksi uji.
- Pada pola aliran *slug-annular* terjadi penurunan nilai fraksi hampa, hal tersebut disebabkan oleh *liquid neck* yang muncul pada titik tertentu pada seksi uji.
- Nilai fraksi hampa pada pola aliran *annular* biasanya cenderung stabil, karena tidak terjadi penurunan dan kenaikan yang terlalu signifikan.
- Pada pola aliran *churn* nilai fraksi hampanya memiliki nilai yang fluktuatif.
- Semakin tinggi (J_G) maka nilai fraksi hampa yang diperoleh akan semakin meningkat, sebaliknya semakin tinggi (J_L) maka nilai fraksi hampa yang diperoleh akan semakin menurun.

2. Kecepatan, panjang, dan frekuensi *bubbly* dan *plug* dapat diketahui sebagai berikut:

- Pada pola aliran *bubbly* dan *plug* sangat dipengaruhi oleh viskositas fluidanya. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi viskositas fluida maka kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* akan semakin menurun, sebaliknya semakin turun viskositas maka kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* akan semakin meningkat.
- Panjang pola *bubbly* dan *plug* dipengaruhi dari semakin tingginya nilai fraksi hampa homogen (β) maka panjang dari pola mengalami peningkatan. Selain dari pengaruh homogen, panjang pola *bubbly* dan *plug* dipengaruhi dari nilai variabel J_G dan J_L yang dihasilkan.
- Pada frekuensi kemunculan *bubbly* dan *plug* didapatkan frekuensi yang cukup tinggi, hal tersebut mengakibatkan nilai fraksi hampa yang dihasilkan cukup meningkat.

Daftar Pustaka

- Ali, M. I., Sadatomi, M., & Waj, M. K. (1993). Adiabatic Two-Phase Flow in Narrow Channels Between Two Flat Plates, 71.
- Biksono, Damawidjaya. 2006. "Karakteristik dan Visualisasi Aliran Dua Fasa Pada Pipa Spiral". *Jurnal Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra*. 8(2): 69-74.
- 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>
- Fukano, T., Kariyasaki, A., 1993, Characteristic of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Capillary Tube, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 141, pp. 59-68.
- Kawahara, A., A, P. M.-Y. C., & 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.
- Mayor, T.S., Pinto, A.M.F.R., Campos, J.B.L.M., 2007, An image analysis technique for the study of gas-liquid slug flow along vertical pipes – associated uncertainty, *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol 18, pp. 139-147.
- Montoya, G.A., Deendarlianto, Lucas, D., Hohne, T., Vallee, C., 2012. Image Processing Based Study of Interfacial Behavior of the Countercurrent Gas-Liquid Two-Phase Flow in Hot Leg of a PWR. *Science and Technology of Nuclear Installation*, Vol. 2012, pp. 1-10.

Sudarja, Deendarlianto, Indarto, Haq. A., 2015, Experimental study on the void fraction of air-water two-phase flow in a horizontal circular mini-channel

Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., & Sadowski, D. L. (1999). Gas ± liquid two-phase-flow in microchannels Part I : two-phase-flow patterns, 25, 377–394.

Wallis, G. B., 1969, One-Dimensional Two-Phase Flow, *McGraw-Hill, New York*.