

INVESTIGASI FRAKSI HAMPA ALIRAN DUA FASE UDARA AIR DAN GLISERIN (40-70%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 30° TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Sukamta^a, Metra Prayogi Rianda^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, ^bmetraprayogi27@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 phase flow encountered in industrial processes, such as on a system boiler, reactor, heat exchanger, geothermal and others. Two phase flow phenomena are also a lot we encounter in nature, some examples of two-phase flow phenomena occur in nature, examples fog, snow, cloud, rain and so on. The purpose of this research was to obtain the characteristics, length, and frequency of flow patterns on two phases as well as getting the experimental values of the primary data measured on flow vacuum fraction two phase mixture of glycerin and akuades air in pipes capillary with a slope of 30°.

The research on data retrieval using capillary pipe size is 1.6 mm with a working fluid to air a mixture of glycerine and akuades with concentrations of glycerin mixture is 40%, 50%, 60% and 70%. The value of the fraction vacuum analyzed using the method of digital image processing with MATLAB application program R2014a.

The results showed that the value of the fraction vacuum is determined by superficial velocity of liquid and air superficial velocity. The greater the superficial air velocity then the value of the fraction vacuum will develop, the greater the superficial velocity of liquid fraction of the value of the vacuum would further decrease. 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 plug will increasingly decline, conversely, if fluid viscosity declined then the bubbly flow pattern speed and plug will progressively increase. Bubbly flow pattern length and plug are strongly influenced by the value of the homogeneous (β), if the value of the homogeneous (β) the higher then 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 of the resulting vacuum is high enough.

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

1. Pendahuluan

Fase merupakan bentuk zat berwujud gas, cair atau padat. Aliran dua fase termasuk bagian dari aliran multifase. Aliran dua fase adalah aliran yang paling sederhana dari aliran multifase. Istilah dua komponen kadang-kadang digunakan untuk menunjukkan aliran dimana fase-fase tersebut tidak terdiri dari zat kimia yang sama. Sebagai contoh, aliran uap air (H₂O) gas - air (H₂O) likuid adalah dua fase satu komponen, sedangkan aliran udara - air adalah aliran dua fase dua komponen. Untuk aliran dua fase dua komponen dapat ditemukan pada industri pengeboran minyak, serta dalam proses pada gas alam dan minyak mentah mengalir secara bersamaan di dalam pipa.

Aliran dua fase terdapat di saluran atau pipa berukuran besar (*large channel*), normal (*normal channel*), mini (*mini channel*), mikro (*micro channel*), dan saluran nano (*nano channel*). Arah aliran dua fase memiliki bagian yang terbagi menjadi aliran berlawanan arah, aliran searah horisontal, dan aliran vertikal. Berdasarkan kedudukan salurannya dengan keadaan mendatar, miring, dan tegak.

Graham B. Wallis (1969) menjelaskan bahwa aliran dua komponen digunakan untuk menyatakan aliran yang fasenya terdiri dari susunan kimia yang berbeda. Sebagai contoh, aliran uap-air adalah aliran dua fase, sedangkan aliran udara-air adalah aliran dua

komponen. Beberapa dari aliran dua komponen sering disebut aliran dua fase walaupun terdiri dari satu fase, misalnya aliran cair-cairan. Perhitungan matematis dari aliran dua fase maupun dua komponen akan didapatkan hasil yang sama. Oleh sebab itu istilah aliran dua komponen maupun aliran dua fase dapat digunakan. Perpindahan kalor dengan dua fase aliran gas-cair banyak ditemukan dalam komponen-komponen sistem konversi energi seperti pada heat exchanger, boiler, kondensor, alat penukar kalor, pendingin ruangan (air-conditioning), reaktor kimia, reaktor nuklir, motor penggerak. Komponen-komponen diatas ialah komponen yang umum digunakan dalam proses-proses industri.

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

Fukano dan Kariyasaki (1993) telah melakukan penelitian mengenai fenomena aliran dua fase pada pipa kapiler bertujuan untuk mengetahui peta pola aliran, fraksi hampa dan penurunan tekanan. Arah aliran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu vertikal dengan arah aliran keatas, horizontal, dan vertikal dengan arah aliran kebawah. Jenis pipa yang digunakan ialah pipa dengan diameter 1 mm, 2,4 mm, 4,9 mm. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tekanan statik dan beda tekanan menggunakan *pressure transducer*. Sedangkan fraksi hampa diukur dengan menggunakan *constant current method*. Kecepatan *bubble* 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 biasanya disebabkan oleh frekuensi dari sampel. Minimum selang waktu yang digunakan adalah sebesar 500 μ s. Kesalahan pengukuran paling besar terjadi ketika kecepatan bubble sedang tinggi. Kesalahan tersebut berkisar 13% untuk kecepatan bubble sebesar 7 m/s pada pipa dengan diameter 1 mm dan 2 % pada kecepatan *bubble* sebesar 1 m/s. Persamaan Nicklin dkk (1962) tidak bisa digunakan apabila kecepatan bubble yang melewati pipa mendekati nol dan total volumetriks fluks relative sangat kecil. Nilai dari konstanta C_s diplot dengan total fluks volumetriks dengan arah aliran sebagai parameternya. Pada aliran di pipa kapiler, nilai C_s mendekati nol ketika total fluks volumetriks juga mendekati nol. Di lain sisi pada pipa vertikal untuk aliran yang mengalir ke atas dengan diameter 9 mm, C_s memiliki nilai sekitar 0,3. Setelah itu nilai C_s menjadi sekitar 0,2 dan menurun dengan total fluks volumetriks menjadi nol. Hal ini menunjukkan bahwa bubble yang berukuran besar dapat bergerak lebih cepat dari pada air. Beberapa data dari C_s menunjukkan nilai yang negatif, hal ini menunjukkan bahwa bubble udara bergerak menuju keatas dimana kecepatan bubble dan slug lebih kecil dari total fluks volumetriks dan bubble udara menempel pada pipa bagian atas. Tebal film pada aliran annular juga diplot dengan kecepatan superfisial air dan kecepatan superfisial udara dengan diameter pipa sebagai parameter. Tebal film pada pipa dengan diameter 9 mm ditentukan dengan mengasumsikan keliling tebal film adalah seragam. Kesalahan dalam pengukuran tebal film berkisar antara 6%-2% pada pipa 2,4 mm, 24%-6% pada pipa 4,9 mm, dan 17%-8% pada pipa 9 mm. Tebal film akan berkurang sejalan dengan berkurangnya diameter pipa. Hal ini disebabkan perbedaan tekanan antara luar dan dalam bubble udara. Bubble udara menjadi semakin kaku dengan berkurangnya diameter akibat dari pengaruh dari tegangan permukaan dan sulit untuk fluida cair melewati bubble yang panjang. Demikian juga dengan tebal film, akan semakin kecil jika kecepatan superfisial udara mengecil pada pipa 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm.

Triplett dkk. (1999) dan beberapa peneliti lainnya, telah melakukan penelitian aliran dua fase pada saluran berukuran mini (*mini channel*) dan mikro (*micro channel*). Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan diatas, menghasilkan penelitian yang lebih akurat di bandingkan dengan hasil penelitian yang sebelumnya. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa fraksi hampa ditentukan oleh kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial cairan. Berdasarkan Hasil penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk (1999) mengenai fraksi hampa pada aliran dua fase dalam saluran sirkular mini. Penelitian tersebut menggunakan media berupa udara-air pada saluran mikro dengan berdiameter 1,1 dan 1,45 mm. Kecepatan superfisial gas-cair divariasikan antara 0,02 sampai 80 m/s dan 0.02 sampai 8m/s, setelah itu fraksi hampa dihitung dengan cara menganalisa hasil foto. Setiap

hasil foto mencakup panjang 6 mm pada setiap seksi uji. Pada pola aliran *bubble*, setiap *bubble* diasumsikan berbentuk lingkaran. Pada pola aliran *slug* relatif teratur. Sedangkan pada pola aliran *annular*, fase gas dibagi menjadi beberapa seksi dan rata-rata fraksi hampa dihitung berdasarkan seksi uji. Pada pola aliran *slug-annular* dan *churn* merupakan pola aliran yang sulit untuk diteliti, maka dari itu pola aliran tersebut tidak dimasukkan kedalam perhitungan. Secara umum fraksi hampa akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas pada kecepatan superfisial air yang konstan serta fraksi hampa akan menurun seiring meningkatnya kecepatan superfisial air pada kecepatan superfisial gas yang konstan.

Sur dan Liu (2012) telah melakukan penelitian aliran dua-fasa gas air dalam saluran mikro dengan diameter hidrolis 100-500 μm menunjukkan perilaku aliran yang berbeda secara drastis dari rekannya dalam saluran makroskopik konvensional. Pola aliran dua fase divisualisasikan menggunakan teknik fotografi berkecepatan tinggi. Empat pola aliran dasar, yaitu, *bubbly*, *slug*, *ring* dan *annular*, telah diamati. Gradien tekanan gesekan dua fase dalam saluran mikro diukur dan data dibandingkan dengan prediksi dari model aliran terpisah, model aliran homogen dan model fenomenologis berbasis pola aliran. Hasil menunjukkan bahwa model berbasis pola aliran memberikan prediksi terbaik dari penurunan tekanan dua fase dalam saluran mikro.

Serizawa dkk (2002) juga telah melakukan pengukuran fraksi hampa dengan menggunakan analisis video. Untuk semua pola aliran *bubbly* dan *slug*, hasil penelitian menunjukkan korelasi linear antara ϵ dan β , dengan $\epsilon = 0,833 \beta$.

Chung dan Kawaji (2004) telah melakukan penelitian guna mengetahui pengaruh diameter saluran pada aliran dua fase dan mengidentifikasi pengaruh perubahan dari *microchannel* ke *minichannel*. Penelitian ini dilakukan dengan cara mencampurkan gas nitrogen-air dalam saluran sirkular yang terdiri dari diameter 530, 250, 100, 50 μm . Dalam aliran diameter 530 dan 250 μm , karakteristik aliran dua fase hampir mirip dengan hasil penelitian dengan menggunakan *minichannel* yang berdiameter 1 mm. Kemudian dalam aliran 100 μm aliran dua fase menyimpang dari observasi *minichannel*, sehingga aliran *slug* lebih mendominasi. Data untuk diameter 250 μm sedikit berbeda dari model aliran homogen, tetapi berbanding terbalik dengan korelasi tipe Armand yang diusulkan lebih dulu oleh Ali dkk (1993) untuk aliran dua-fase dalam saluran persegi sempit dengan $D_h = 1 \text{ mm}$ dan $\alpha = 0,8 \beta$ dengan $\beta = J_G/J_L$ adalah kualitas volumetrik. Data dari Chung Kawaji (2004) untuk saluran persegi 96 μm , 50 μm dan 100 μm menunjukkan hasil yang berbeda dari korelasi-korelasi tersebut, namun menunjukkan hubungan non linear antara α dan β .

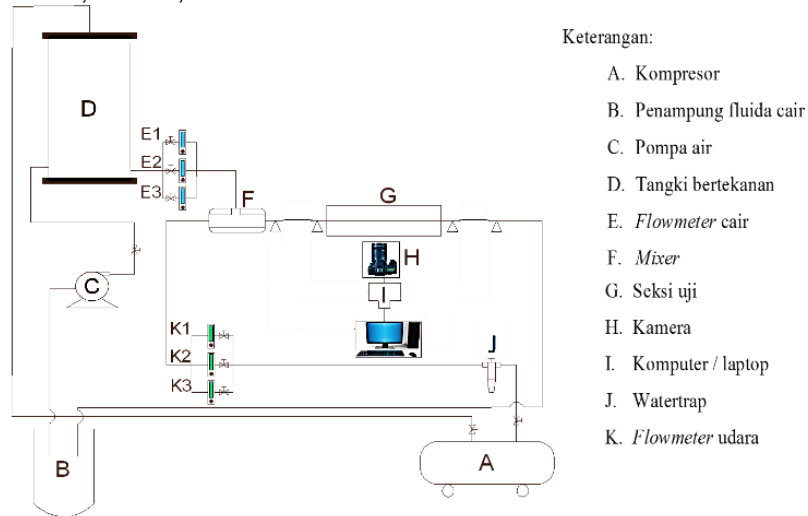
Sudarja dkk. (2015) telah melakukan penelitian tentang fraksi hampa udara air adiabatik dalam *minichannel* horisontal transparan berdiameter dalam 1,6 mm. Kecepatan superfisial gas 0,025-66,3 m/s dan cairan bervariasi dalam kisaran 0,033-4,935 m/s. Data fraksi hampa diperoleh dengan cara melakukan analisis gambar yang ditangkap dengan menggunakan kamera berkecepatan tinggi dan diolah dengan *image processing*. Dari hasil penelitian tersebut J_G rendah (0,0423 m/s), peningkatan J_L menimbulkan penurunan yang signifikan dalam fraksi hampa (ϵ), sementara itu, pada J_G tinggi (4,328 m/s atau lebih tinggi) pengaruh J_L pada aliran polanya tidak terlihat jelas. Perubahan J_L tidak mempengaruhi secara langsung ke fraksi hampa, melainkan mempengaruhi secara langsung terhadap rasio slip. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut ialah pengaruh J_L dan J_G terhadap fraksi hampa sangat bergantung pada pola aliran dan sebagian besar berkaitan dengan slip rasio.

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan sampai saat ini, menunjukkan bahwa hidrodinamika aliran dua fase di *microchannel* berbeda dari hidrodinamika pada saluran yang lebih besar.

Parameter pada aliran dua fase terdiri dari parameter dasar (pola aliran, fraksi hampa, gradient tekanan), dan perpindahan kalor. Fraksi hampa adalah parameter yang sangat penting dalam melakukan penelitian aliran dua fase. Penelitian eksperimental mengenai aliran dua fase variasi viskositas air dan gliserin pada pipa berukuran mini, penting diinvestigasi guna mendapatkan informasi, ilmu pengetahuan yang lebih mendalam, data base, dan metode yang tepat dalam melakukan analisa aliran dua fase melalui saluran pipa berukuran *minichannel* horisontal.

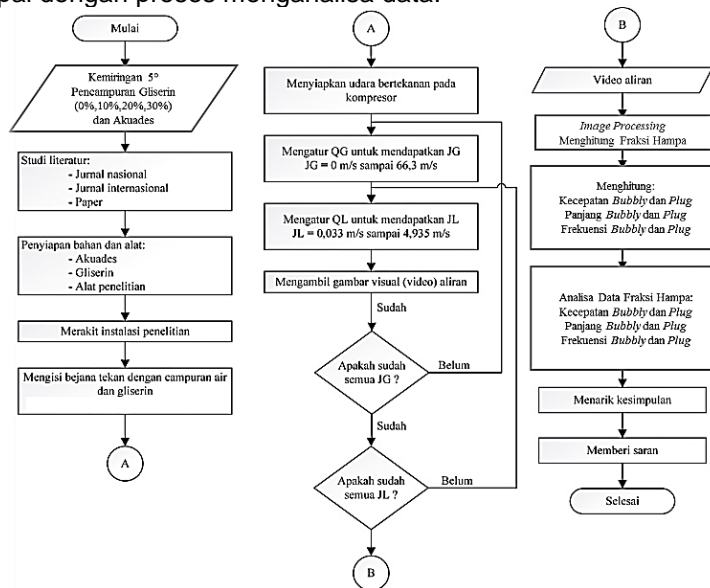
2. Metode Penelitian

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 superficial gas (J_G) dengan interval 0,025 – 66,3 m/s, dan kecepatan superficial 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.



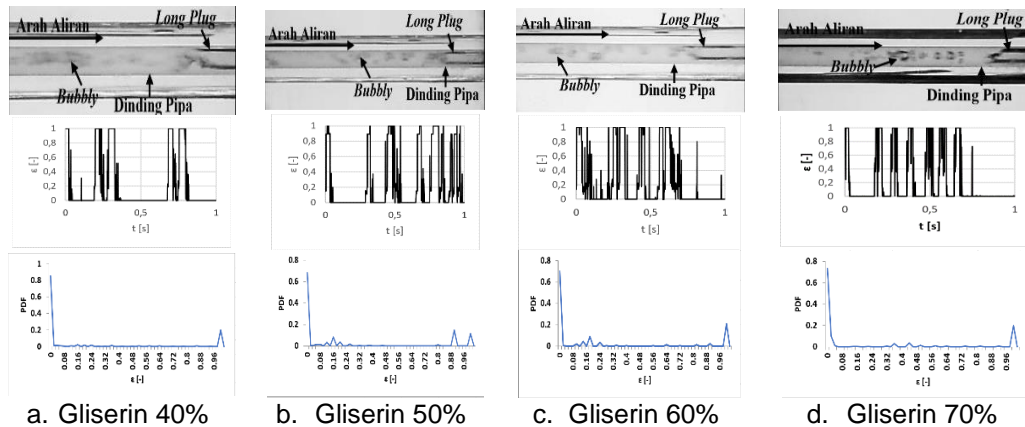
Gambar 2. Skema instalasi penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan 30 derajat menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang masing-masing campuran mengandung 40%, 50%, 60%, dan 70% 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 ϵ [-] (nilai fraksi hampa).

3.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

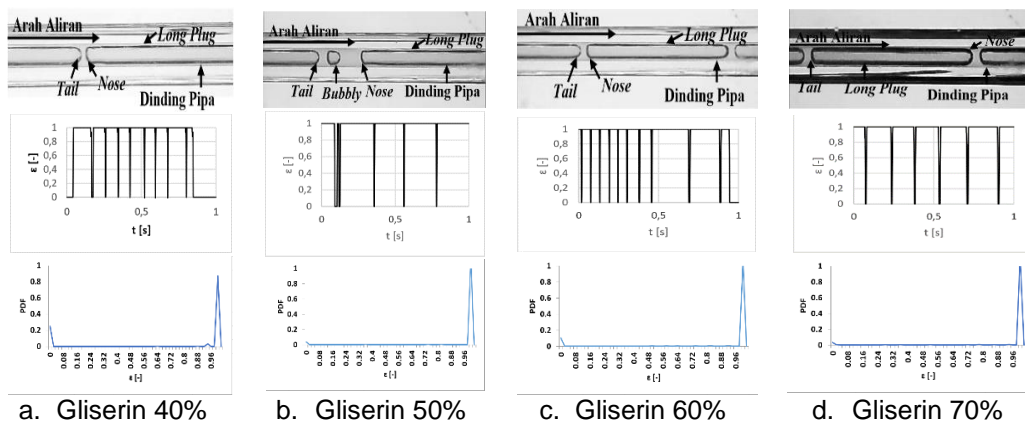
Gambar 3. Menunjukkan pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung udara kecil yang berbentuk menyerupai bola yang mengambang dekat dengan dinding pipa. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial cairan (J_L) tinggi. Pada penelitian ini, pola aliran *bubbly* berbentuk bulat, susananya terdispersi dan memiliki ukuran diameter yang sangat kecil.



Gambar 3. Pola aliran *bubbly* dengan $J_G = 0,207$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s

3.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

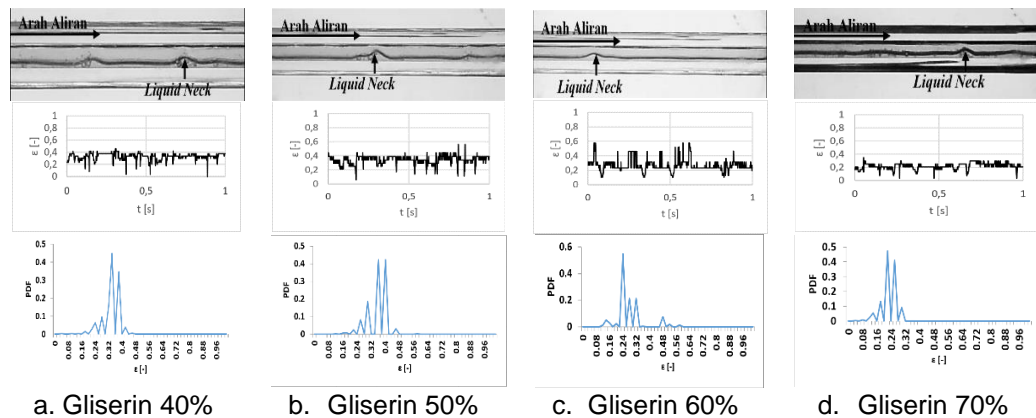
Gambar 4. menunjukkan pola aliran *plug* ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang memenuhi seluruh dinding pipa dengan panjang yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa mini. Berdasarkan fasenya pola aliran *plug* dibagi menjadi 2 yaitu *plug* udara dan *plug* air. *Plug* merupakan pola aliran *bubbly* yang memanjang (*elongated bubbly*) disebabkan oleh meningkatnya intensitas udara dalam aliran.



Gambar 4. Pola aliran *plug* dengan $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s

3.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug-Annular*

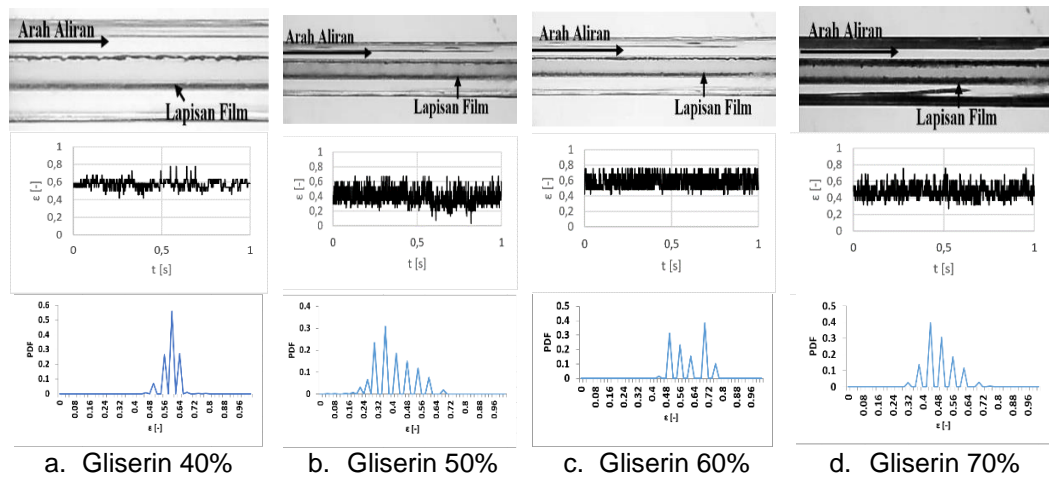
Gambar 5. Menunjukkan pola aliran *slug-annular* merupakan pola aliran transisi dari pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada satu titik atau lebih terdapat film cairan yang lebih tebal dibanding titik yang lainnya. Hal ini 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 $J_L = 0,091$ m/s

3.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

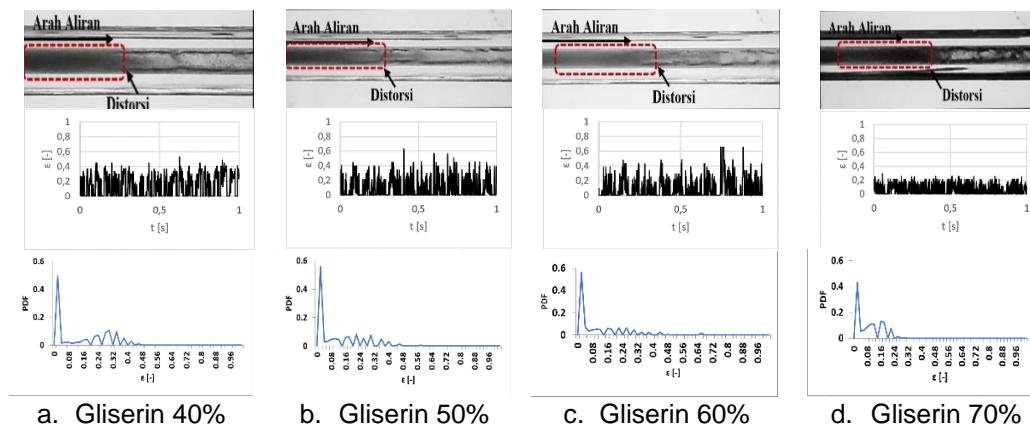
Gambar 6. Menunjukkan pola aliran *annular* merupakan kelanjutan dari pola aliran *slug-annular*. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang rendah yang menyebabkan udara menembus bagian tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi merata secara simetris pada dinding pipa.



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*

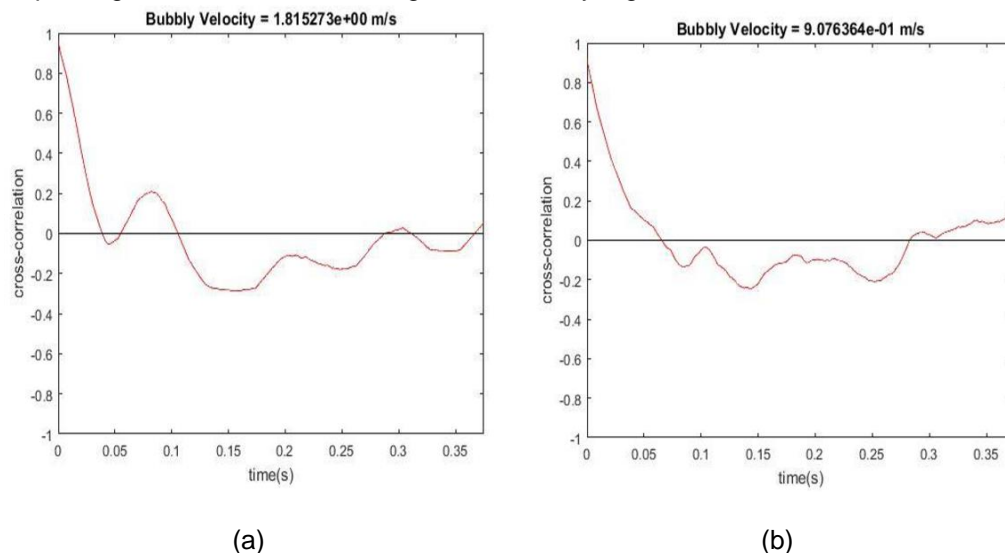
Gambar 7. Menunjukkan pola aliran *churn* terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) yang sangat tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang sangat tinggi juga tetapi keduanya memiliki selisih cukup besar. Pola aliran *churn* merupakan kelanjutan dari *bubbly* yang diperpanjang, yang mengalami ketidakstabilan pada bagian ekornya sehingga terdapat bagian yang terdistorsi.



Gambar 7. Pola aliran *churn* dengan $J_G = 22,6\text{m/s}$ dan $J_L = 4,935\text{ m/s}$

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

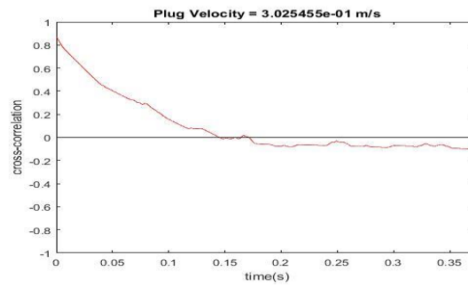
Kecepatan dari *bubbly* dan *plug* dapat dicari dengan menentukan rentang waktu dimana pergerakan antara *bubbly* dan *plug* berada pada suatu titik bertemunya referensi ke titik referensi lainnya. Gambar 8 menunjukkan nilai *cross-correlation bubbly* sedangkan Gambar 9 menunjukkan nilai *cross-correlation 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.



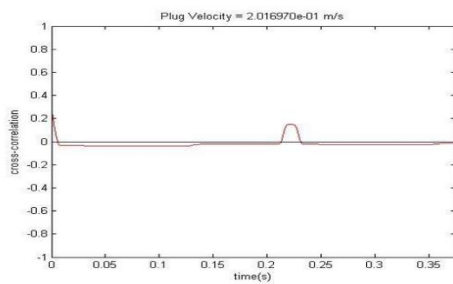
Gambar 8. *Cross-correlation* pada (a) $J_G = 0,207\text{ m/s}$, $J_L = 2,297\text{ m/s}$, dan (b) $J_G = 0,423\text{ m/s}$, $J_L = 2,297\text{ m/s}$

Gambar 8. menunjukkan grafik dari *Cross-correlation bubbly* akan semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (J_G) dengan nilai variabel kecepatan

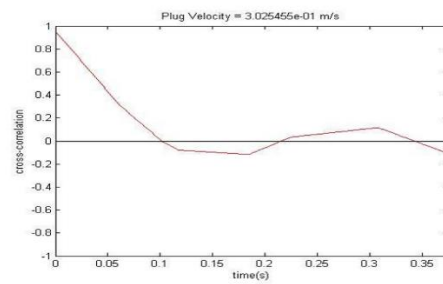
superfisial cair (J_L) yang sama, hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar (a) nilai dari *bubbly velocity* = 1,81 m/s, sedangkan Gambar (b) nilai dari *bubbly velocity* = 0,9 m/s.



(a) Kecepatan *plug* pada
 $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s



(b) Kecepatan *plug* pada
 $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s



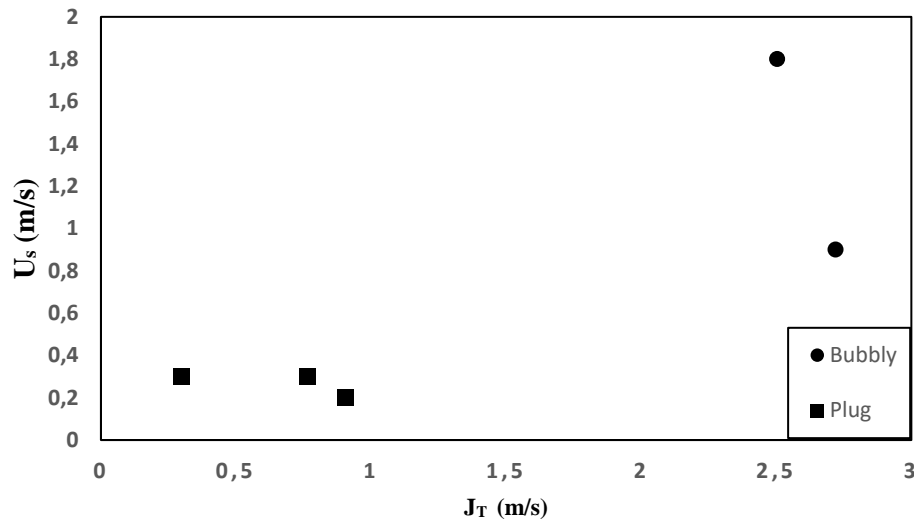
(c) Kecepatan *plug* pada
 $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

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*

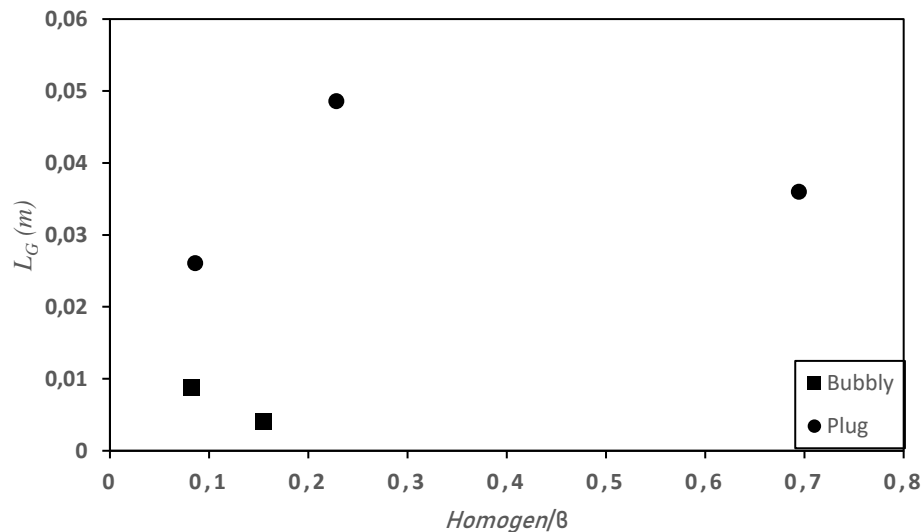
Kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* diolah dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 10. Grafik ini dibuat dengan menjumlahkan antara kecepatan *bubbly* dan *plug* dengan total fluks volumetric dimana $J_T = (J_G + J_L)$. grafik dari kecepatan *bubbly* dan *plug* akan mengalami penurunan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

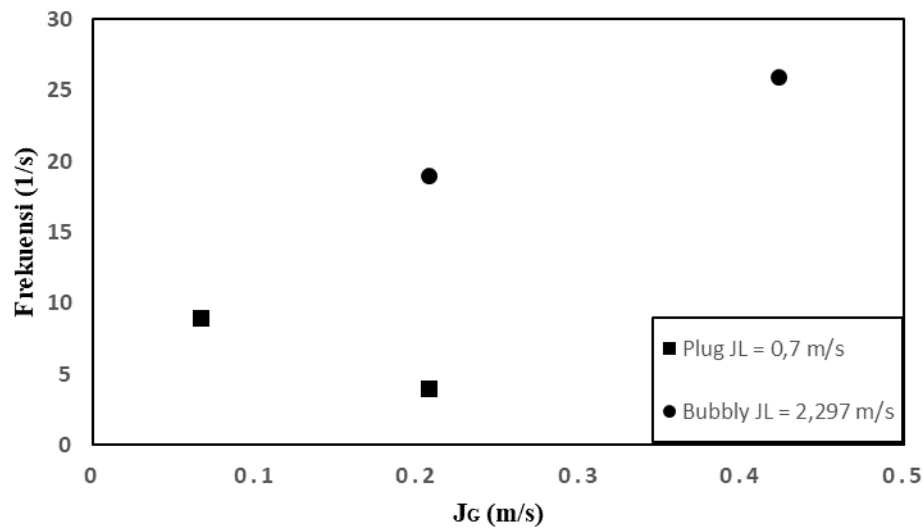


Gambar 11. Panjang *bubbly* dan *plug*

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

- Karakteristik nilai fraksi hampa pada masing – masing pola aliran yaitu sebagai berikut:
 - Nilai fraksi hampa untuk pola aliran *bubbly* pada rentang waktu tertentu meningkat drastis yang disebabkan oleh munculnya *plug* udara.
 - Nilai fraksi hampa untuk pola aliran *plug* pada rentang waktu tertentu hampir mencapai nilai 1 yang disebabkan oleh *plug* udara panjang memenuhi bagian seksi uji.
 - Nilai fraksi hampa untuk pola aliran *slug-annular* menurun pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh liquid neck pada titik tertentu pada aliran.
 - Nilai fraksi hampa pada pola aliran *annular* cenderung stabil dan tidak terjadi kenaikan atau penurunan yang signifikan.
 - Fraksi hampa pada aliran *churn* memiliki nilai yang fluktuatif.
 - Nilai fraksi hampa ditentukan oleh kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial udara. Semakin besar kecepatan superfisial udara maka nilai fraksi hampa akan semakin meningkat, semakin besar kecepatan superfisial air maka nilai fraksi hampa akan semakin menurun.
- Kecepatan, Panjang, dan frekuensi *bubbly* dan *plug* dapat disimpulkan 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 meningkat.
 - Panjang pola aliran *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh tinggi nilai homogen (β). Semakin tinggi nilai homogen (β) akan meningkatkan Panjang dari pola *bubbly* dan *plug*.

Daftar Pustaka

- [1] Ali, M.I., Sadatomi, M., Kawaji, M., 1993. Two-phase flow in narrow channels between two flat plates. *Can. J. Chem. Eng.*, Vol. 71, pp. 657–666.

- [2] Chung, P.M.-Y., Kawaji, M., 2004. The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannel. *Int. J. Multiphase flow*, Vol. 30, pp. 735-761.
- [3] Sur A. and Liu D., 2012, Adiabatic Air-Water Two-Phase Flow in Circular Microchannels, *Int. J. Thermal Sciences*, Vol. 53, pp. 18-34.
- [4] Serizawa, A., Feng, Z., and Kawara, Z., 2002, Two-Phase Flow in Microchannels, *Exp Thermal fluid Sci.*, Vol. 26, pp. 703 – 714.
- [5] Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., Abdel-Khalik, S.I., LeMouel, A., and McCord, B. N., 1999, Gas-Liquid Two-Phase Flow in Microchannels. Part II: Void Fraction and Pressure Drop, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 25, pp. 377-394.
- [6] Sudarja, Deendarlianto, Indarto, Haq. A., 2015, Experimental study on the void fraction of air-water two-phase flow in a horizontal circular mini-channel
- [7] Triplett K.A., Ghiaasiaan, S.M., Abdel-Khalik, S.I., Sadowski, D.I., 1999, Gas-Liquid Two-Phase Flow in Microchannels Part II: void fraction and pressure drop, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 25, pp. 395-410.
- [8] 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
- [9] Wallis, G. B., 1969, *One-Dimensional Two-Phase Flow*, McGraw-Hill, New York