

A void fraction of high-viscosity air-water flow in capillary pipes with a slope of 30 degrees to the horizontal position

Sukamta^{1*}, Metra Prayogi Rianda², Sudarja³

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta^{1,2,3}
Jalan Brawijaya Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, 55183
Email: sukamta@umy.ac.id¹, metraprayogi27@gmail.com², sudarja@umy.ac.id³

Abstract

Two-phase flow is a flow that is composed of several combined substances, namely liquid and gas. Two-phase flow is found in industrial processes, such as in boiler systems, reactors, heat exchangers, geothermal and others. The phenomenon of two-phase flow is also often found in nature, such as fog, snow, clouds, and rain. The purpose of this study was to obtain the characteristics, length, and frequency of flow patterns in two phases based on the experimental value of the fraction in a two-phase flow of a mixture of water-glycerin and air in a capillary tube with a slope of 30°. The study used a 1.6 mm diameter capillary tube with a working fluid which mixed air and water mixed with glycerin with glycerin concentrations of 40%, 50%, 60%, and 70%. Void fraction values were analyzed using digital image processing methods with the MATLAB R2014a application program. The results showed that the void fraction value was determined by the surface velocity of the liquid and air. The greater the superficial air velocity, the value of the vacuum fraction will develop, while the greater the superficial velocity of the liquid, the vacuum fraction will decrease. The flow pattern of bubbles and plugs is strongly influenced by fluid viscosity. Therefore the higher the viscosity, the velocity of the bubble and plug flow patterns will decrease, conversely if the viscosity of the fluid decreases, the velocity of the bubble and plug flow patterns will increase. The length and flow of the bubble pattern are strongly influenced by homogeneous values (β). If the homogeneous value (β) is higher then the length of the flow pattern will increase. In the stopper flow pattern obtained a high enough frequency, it will produce a high enough void fraction value.

Keywords: *Two-phase, fluid, void fraction, viscosity, flow pattern.*

Abstrak

Aliran dua fase adalah aliran yang tersusun dari beberapa zat gabungan yaitu cair dan gas. Aliran dua fase ditemui dalam proses industri, seperti pada sistem boiler, reaktor, penukar panas, panas bumi dan lainnya. Fenomena aliran dua fase juga banyak dijumpai di alam, misalnya kabut, salju, awan, dan hujan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik, panjang, dan frekuensi pola aliran pada dua fase berdasarkan nilai eksperimental fraksi pada aliran dua fase campuran air-gliserin dan udara dalam pipa kapiler dengan kemiringan 30°. Penelitian menggunakan pipa kapiler berdiameter 1,6 mm dengan fluida kerja yang campuran udara dan air dicampur gliserin dengan konsentrasi gliserin 40 %, 50 %, 60 %, dan 70 %. Nilai fraksi void dianalisis menggunakan metode pemrosesan gambar digital dengan program aplikasi MATLAB R2014a. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai fraksi void ditentukan oleh kecepatan permukaan cairan dan udara. Semakin besar kecepatan udara superfisial maka nilai fraksi hampa akan berkembang, sementara semakin besar kecepatan superfisial cairan maka nilai fraksi hampa akan semakin menurun. Pola aliran gelembung dan sumbat sangat dipengaruhi oleh viskositas fluida. Oleh karena itu semakin tinggi viskositas maka kecepatan pola aliran gelembung dan sumbat akan semakin menurun, sebaliknya jika viskositas fluida menurun maka kecepatan pola aliran gelembung dan sumbat akan semakin meningkat. Panjang dan aliran pola gelembung sangat dipengaruhi oleh nilai homogen (β). Jika

nilai homogen (β) semakin tinggi maka panjang pola aliran akan mengalami peningkatan. Pada-pola aliran sumbat diperoleh frekuensi yang cukup tinggi, maka akan menghasilkan nilai fraksi void yang cukup tinggi.

Kata kunci: Dua fase, fluida, fraksi void, viskositas, pola aliran.

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 (H_2O) gas - air (H_2O) 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 kedudukannya dengan keadaan mendatar, miring, dan tegak.

Graham B. Wallis [1] 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 caira-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, reaktor kimia, reaktor nuklir, motor penggerak, dan lain-lain. Komponen-komponen diatas ialah komponen yang umum digunakan dalam proses-proses industri.

Ali dkk [2] 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. Fraksi hampa dan data pengali gesekan dua fase juga dapat dikorelasikan secara wajar dalam hal parameter Martinelli. Untuk aliran horizontal antara pelat vertikal, baik fraksi hampa dan data pengali gesekan menunjukkan efek kecepatan massa yang kuat. Beberapa korelasi penurunan tekanan gesekan diuji untuk penerapan ke saluran sempit termasuk model aliran terpisah yang diusulkan dalam pekerjaan ini

Fukano dan Kariyasaki [3] 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 [4] 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 parameter. 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 ke atas 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 [5] 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. Penelitian ini 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 [6] telah melakukan penelitian aliran dua-fasa gas air dalam saluran mikro dengan diameter hidrolis 100-500 μ m 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 [7] 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 $\varepsilon = 0,833 \beta$.

Chung dan Kawaji [8] 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 [2] untuk aliran dua-fase dalam saluran persegi sempit dengan $D_h = 1 \text{ mm}$ dan $\alpha = 0,8$ β dengan $\beta = J_G/J$ adalah kualitas volumetrik. Data dari Chung Kawaji [8] 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 .

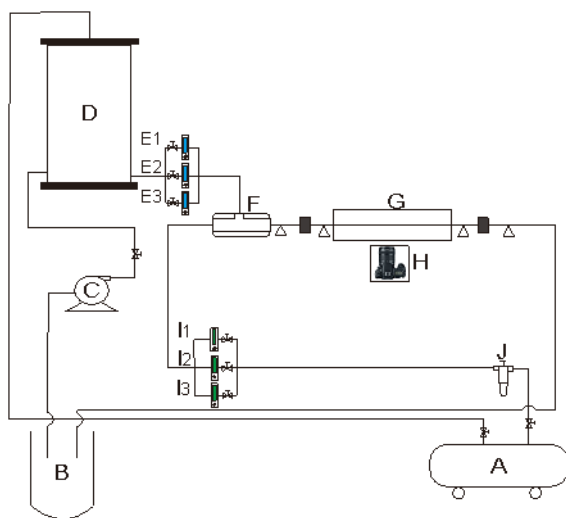
Sudarja dkk [9] telah melakukan penelitian tentang fraksi hampa udara air adiabatik dalam *minichannel* horisontal transparan berdiameter dalam 1,6 mm. Kecepatan superfisial gas 0,025-66,3 m/s dan cairan bervariasi dalam kisaran 0,033-4,935 m/s. Data fraksi hampa diperoleh dengan cara melakukan analisis 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. Fraksi hampa adalah parameter yang sangat penting dalam aliran dua fase. Oleh karena itu, artikel ini berkontribusi memberikan informasi dan data penting kaitannya dengan aliran dua fase udara-air dengan viskositas tinggi pada pipa berukuran mini.

Metode Penelitian

Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 yang 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 dengan komputer. Eksperimen dilakukan pada kondisi penelitian adalah adiabatik, dengan 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. Penelitian menggunakan pipa kapiler berdiameter 1,6 mm dengan fluida kerja yang campuran udara dan air dicampur gliserin dengan konsentrasi gliserin 40% (GL40), 50% (GL50), 60% (GL60), dan 70% (GL70). Nilai fraksi void dianalisis menggunakan metode pemrosesan gambar digital dengan program aplikasi MATLAB R2014a.



Keterangan:

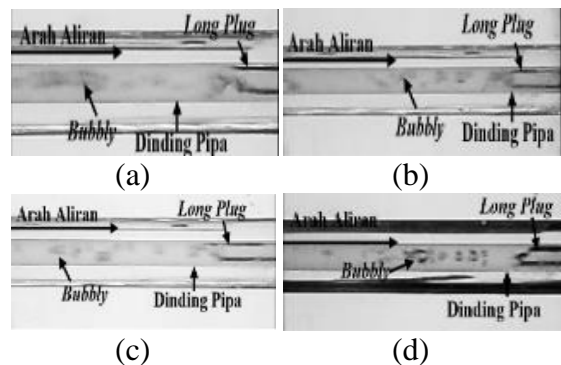
- A. Kompresor
- B. Tempat penampung campuran air dan gliserin
- C. Pompa air
- D. Bejana bertekanan
- E. Flowmeter cair
- F. Mixer
- G. Seksi uji
- H. Kamera
- I. Regulator/water trap

Gambar 1. Skema instalasi penelitian

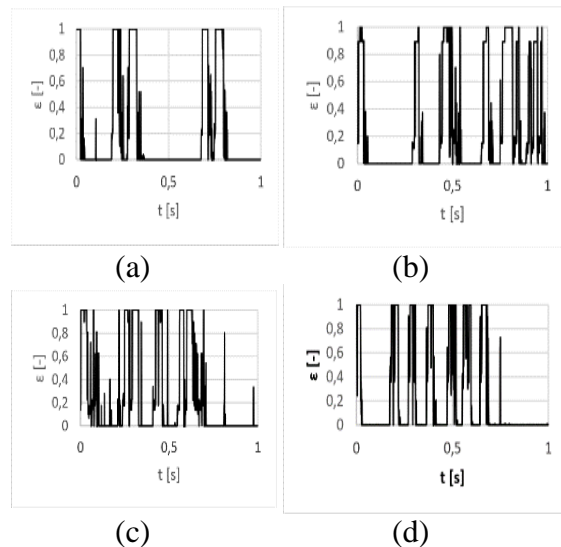
Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian pola aliran yang terdeteksi adalah *bubbly*, *plug*, *slug*

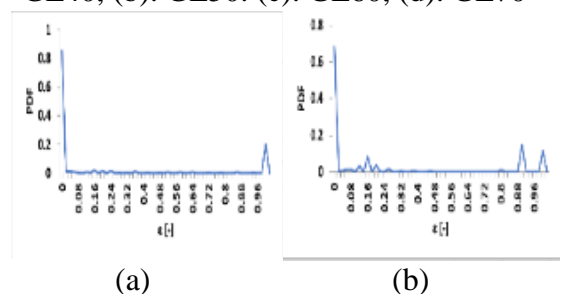
annular, *annular* dan *churn*. Perbedaan yang terjadi diantara beberapa persentase gliserin adalah proses transisi antara pola aliran. Analisa fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (inlet). Hasil *time-average* fraksi hampa diolah untuk menentukan nilai *Probability Distribution Function (PDF)* sebagai fungsi ϵ [-] atau nilai fraksi hampa.

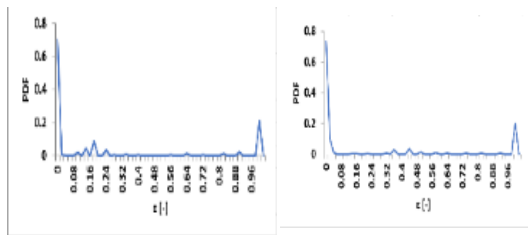


Gambar 2a. Pola aliran *bubbly* dengan $J_G = 0,207$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



Gambar 2b. Fraksi hampa terhadap waktu pada pola aliran *bubbly* dengan $J_G = 0,207$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70

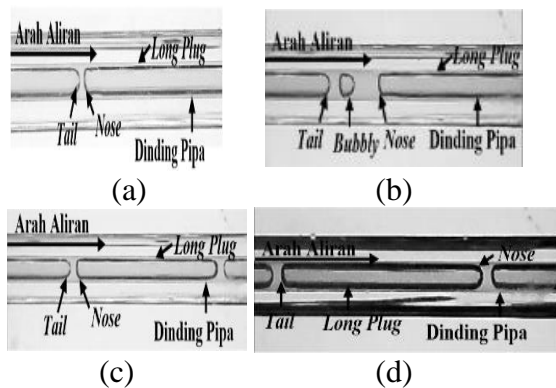




(c) (d)

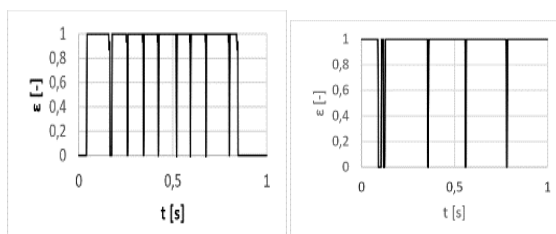
Gambar 2c. PDF dari fraksi hampa pada pola aliran *bubbly* dengan $J_G = 0,207$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70

Gambar 2a, 2b, dan 2c 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, susunannya terdispersi dan memiliki ukuran diameter yang sangat kecil.

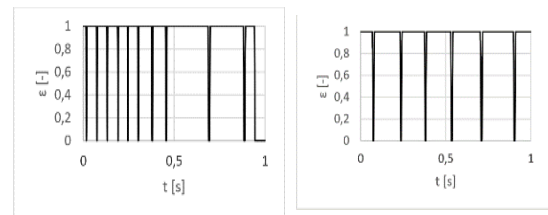


(a) (b) (c) (d)

Gambar 3a. Pola aliran *plug* dengan $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70

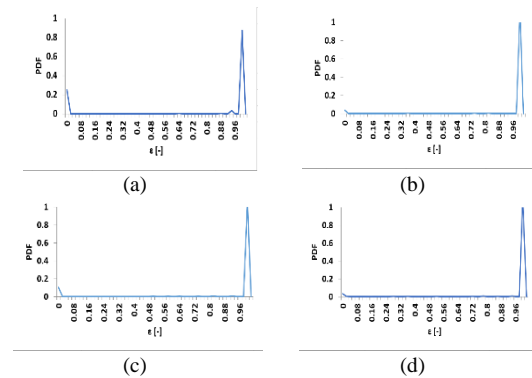


(a) (b)



(c) (d)

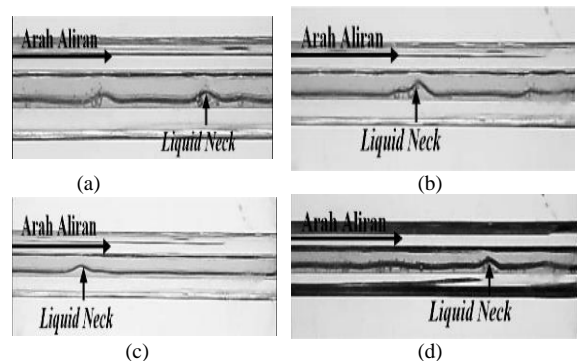
Gambar 3b. Fraksi hampa terhadap waktu pada Pola aliran *plug* dengan $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



(c) (d)

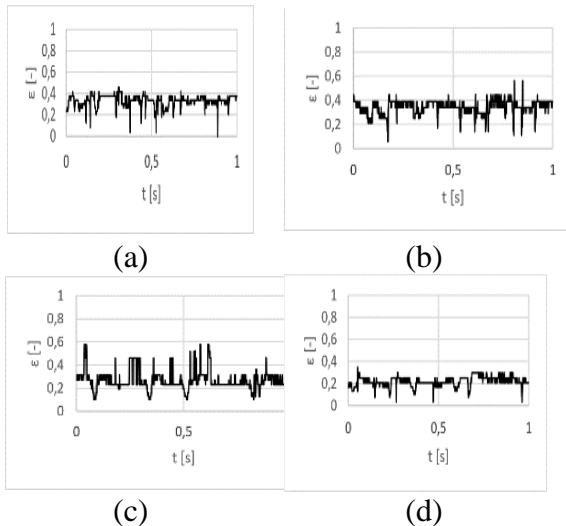
Gambar 3c. PDF dari fraksi hampa pada Pola aliran *plug* dengan $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70

Gambar 3a, 3b, dan 3c, menunjukkan pola aliran *plug* ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara berukuran peluru yang memenuhi pipa dengan panjang yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* relatif sama dengan diameter pipa mini. *Plug* merupakan pola aliran *bubbly* yang memanjang (*elongated bubbly*) disebabkan oleh meningkatnya intensitas udara dalam aliran.

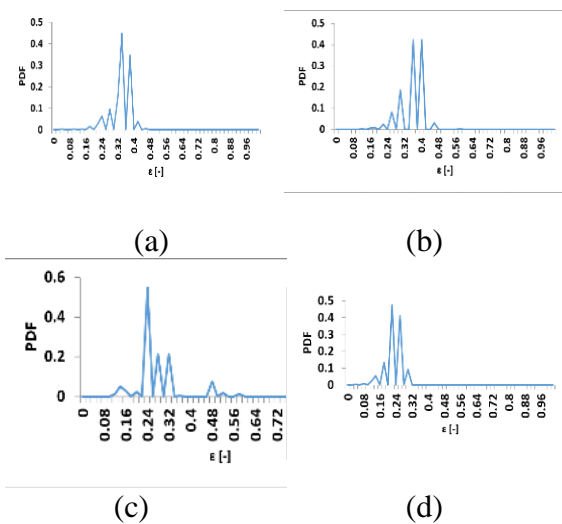


(a) (b) (c) (d)

Gambar 4a. Pola aliran *slug-annular* dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



Gambar 4b. Fraksi hampa terhadap waktu pada pola aliran *slug-annular* dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



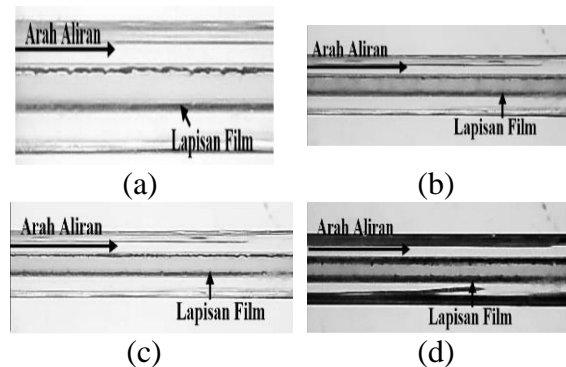
Gambar 4c. PDF dari Fraksi hampa terhadap waktu pada pola aliran *slug-annular* dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70

Gambar 4a, 4b, 4c, 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.

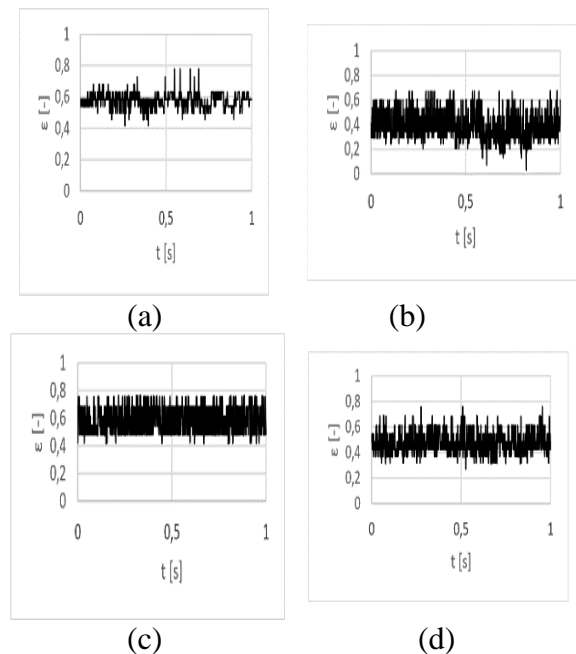
Hal ini disebabkan karena udara pada saat J_G mengalami kenaikan maka udara

akan berusaha untuk menembus jembatan cairan yang memisahkan antara udara pada aliran *plug*, sehingga munculnya lapisan film cairan yang terjadi akan lebih tebal.

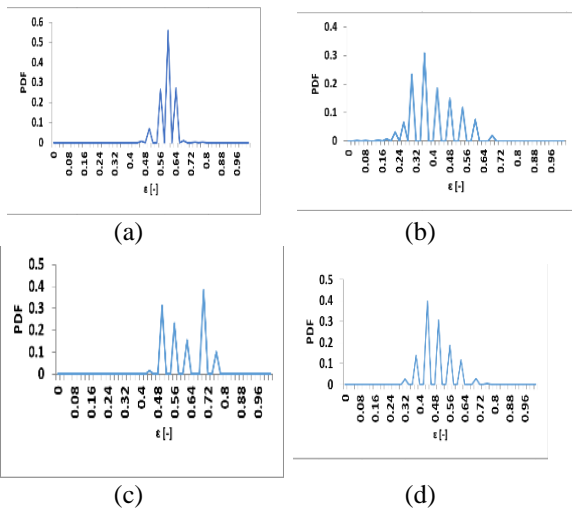
Gambar 5a, 5b, dan 5c menunjukkan pola aliran *annular* merupakan kelanjutan dari pola aliran *slug-annular*. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang rendah yang menyebabkan udara menembus bagian tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi merata secara simetris pada dinding pipa.



Gambar 5a. Pola aliran *annular* dengan $J_G = 66,3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



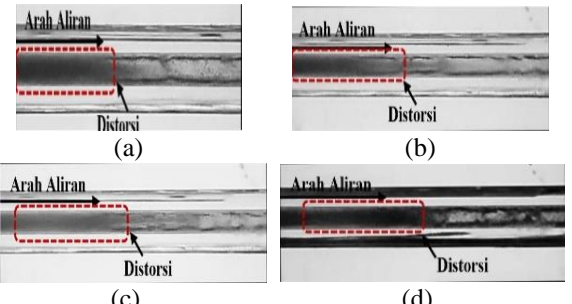
Gambar 5b. Fraksi hampa terhadap waktu pada pola aliran *annular* dengan $J_G = 66,3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



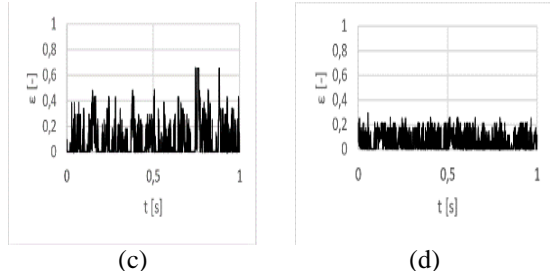
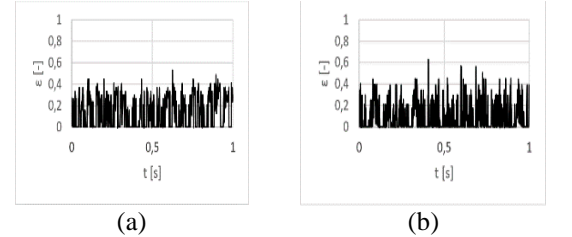
Gambar 5c. PDF dari Fraksi hampa terhadap waktu pada pola aliran *annular* dengan $J_G = 66,3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70

Fraksi Hampa untuk Pola Aliran Churn

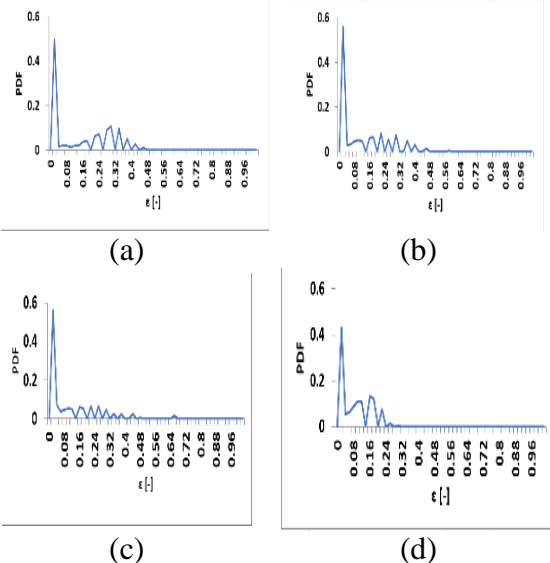
Gambar 6a, 6b, dan 6c menunjukkan pola aliran *churn* terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) yang sangat tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang sangat tinggi juga tetapi keduanya memiliki selisih cukup besar. Pola aliran *churn* merupakan kelanjutan dari *bubbly* yang diperpanjang, yang mengalami ketidakstabilan pada bagian ekornya sehingga terdapat bagian yang terdistorsi.



Gambar 6a. Pola aliran *churn* dengan $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 4,935$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



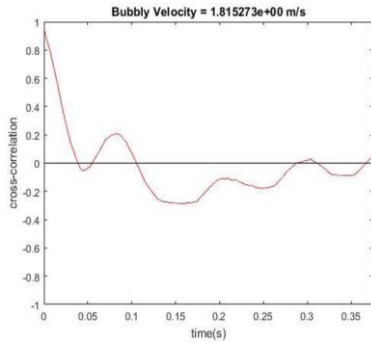
Gambar 6b. Fraksi hampa terhadap waktu pada pola aliran *churn* dengan $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 4,935$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70



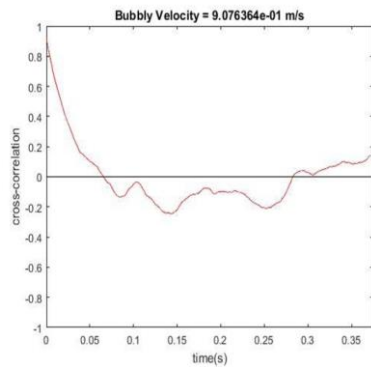
Gambar 6c. Fraksi hampa terhadap waktu pada pola aliran *churn* dengan $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 4,935$ m/s pada (a). GL40, (b). GL50. (c). GL60, (d). GL70

Kecepatan dari *bubbly* dan *plug* dapat dicari dengan menentukan rentang waktu dimana pergerakan antara *bubbly* dan *plug* berada pada suatu titik bertemu referensi ke titik referensi lainnya. Gambar 7(a) dan 7(b) menunjukkan nilai *cross-correlation bubbly*, sedangkan Gambar 8(a) dan 8(b) menunjukkan nilai *cross-correlation plug*. Gambar 7a dan 7b menunjukkan nilai *cross-correlation* yang fluktuatif. 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 sulit untuk masuk kedalam aliran pipa campuran gliserin dan akuades dengan viskositas yang dinaikan.

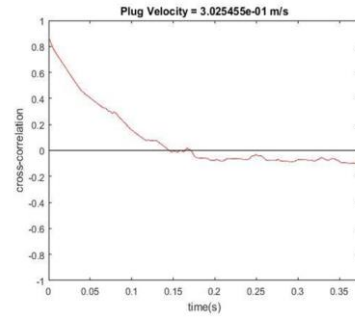


Gambar 7a. *Cross-correlation* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.

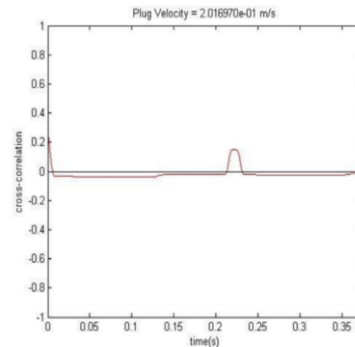


Gambar 7b. *Cross-correlation* pada $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

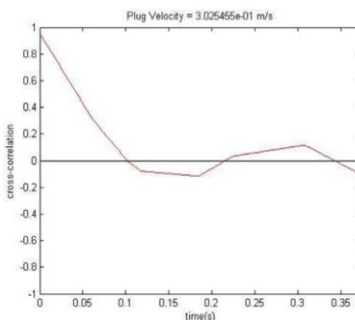
Gambar 7a dan 7b menunjukkan grafik *Cross-correlation* pola aliran *bubbly*. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai *bubbly velocity* semakin menurun seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (J_G) dengan kecepatan superfisial cair (J_L) konstan, yaitu dari 1,81 m/s menjadi 0,9 m/s. Sementara itu, Gambar 8a, 8b, dan 8b menunjukkan grafik *Cross-correlation* pola aliran *plug*. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai *plug velocity* semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan superfisial gas (J_G) dengan kecepatan superfisial cair (J_L) konstan, yaitu dari 0,3 m/s menjadi 0,2 m/s. Di sisi lain jika pada J_G yang sama dan J_L meningkat maka *plug velocity* justru mengalami peningkatan, seperti ditunjukkan pada gambar 8c.



Gambar 8a. *Cross-correlation plug* pada $J_G=0,066$ m/s dan $J_L=0,7$ m/s.



Gambar 8b. *Cross-correlation plug* pada $J_G=0,207$ m/s dan $J_L=0,7$ m/s.



Gambar 8c. *Cross-correlation plug* pada $J_G=0,207$ m/s dan $J_L=0,91$ m/s.

Sebelumnya, Sudarja, dkk [10] telah mengukur fraksi void rata-rata dalam saluran dengan diameter 1,6 mm dengan menggunakan analisis gambar dengan perangkat lunak MATLAB. Hasil pengukuran fraksi void dibandingkan dengan model homogen adalah $\alpha = J_G / (J_G + J_L)$, di mana $\beta = (0,03\alpha^{0.5}) / (1 - 0,97\alpha^{0.5})$. Mereka melaporkan bahwa aliran siput dan bergelembung berada di atas garis korelasi menuju model homogen[11]. Posisi fraksi void aliran siput dan bergelembung yang berada di atas garis homogen menunjukkan bahwa rasio slip bernilai lebih dari 1. Itu karena kecepatan aktual udara jauh lebih besar daripada kecepatan aktual air.

Sementara itu, Serizawa [7] telah menemukan fraksi void aliran churn, slug-annular, dan annular berada di bawah garis korelasi penelitian; di mana mereka menggunakan pipa berdiameter 0,15 mm dan mempelajari hanya untuk inti gas annular, serpentin seperti aliran dengan fraksi void tertutup ke garis korelasi [12]. Mempelajari fraksi void di mana salah satu hasilnya melaporkan bahwa secara umum, peningkatan J_G memengaruhi fraksi void kecuali untuk J_G yang sangat rendah. Itu karena di J_G itu pola aliran bergelembung dan plug. Penelitian sebelumnya [13] juga menyimpulkan bahwa pola aliran *bubbly* dan *plug* sangat dipengaruhi oleh viskositas fluida, semakin tinggi viskositas fluida maka kecepatan pola aliran sumbat dan gelembung menurun. Di sisi lain, jika viskositas berkurang maka kecepatan pola aliran sumbat dan gelembung meningkat. Peneliti yang sama, sebelumnya juga telah menemukan bahwa kecepatan superfisial gas/cairan berpengaruh secara signifikan terhadap terbentuknya pola aliran. Disamping itu, viskositas juga memiliki pengaruh yang berarti terhadap tipe pola aliran yang terjadi. Namun jika dibandingkan antara kecepatan superfisial gas/cairan dan viskositas, maka kecepatan superfisial gas/cairan lebih dominan pengaruhnya terhadap terbentuknya jenis pola aliran yang terjadi [14].

Kesimpulan

Dari pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan beberapa kesimpulan, antara lain bahwa nilai fraksi hampa untuk pola aliran *bubbly* pada rentang waktu tertentu meningkat drastis yang disebabkan oleh munculnya *plug* udara. Sedangkan nilai fraksi hampa untuk pola aliran *plug* pada rentang waktu tertentu hampir mencapai nilai 1 yang ditunjukkan dengan *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. Kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* sangat dipengaruhi kecepatan superfisial gas (J_G) dengan kecepatan superfisial cair (J_L), dan viskositas cairan.

Ucapan Terima Kasih

Kementerian Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Republik Indonesia melalui Skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT), no. Kontrak 111/SP2H/LT/DRPM/2019.

Referensi

- [1] G. Wallis, "One-dimensional two-phase flow," 1969.
- [2] M. I. Ali, M. Sadatomi, and M. Kawaji, "Adiabatic two-phase flow in narrow channels between two flat plates," *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 71, no. 5, pp. 657–666, 1993.
- [3] T. Fukano and Akira Kariyasaki, "Characteristics of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Capillary Tube," vol. 141, no. Nuclear Engineering and Design, pp. 59–68, 1993.
- [4] Nicklin, D.J., Wilkes, J. and Davidson, J.F., 1962, "Two-phase Flow in Vertical Tubes", *Trans. Inst. Chem. Engng*, Vol.40, pp61-68
- [5] K. A. Triplett, S. M. Ghiaasiaan, S. I. Abdel-Khalik, A. LeMouel, and B. N. McCord, "Gas-Liquid Two-Phase Flow in Microchannels Part II: Void Fraction and Pressure Drop," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 25, no. 3, pp. 395–410, 1999.
- [6] A. Sur and D. Liu, "Adiabatic air-water two-phase flow in circular microchannels," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 53, pp. 18–34, 2012.
- [7] Serizawa, Z.P. Feng, Z. Kawara, Two-phase flow in microchannels, *Experimental Thermal and Fluid Science* 26 (2002) 703e714

- [8] P. M. Y. Chung and M. Kawaji, "The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannels," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 30, no. 7-8 SPEC. ISS., pp. 735–761, Jul. 2004.
- [9] Sudarja, Indarto, Deendarlianto, and A. Haq, "Experimental study on the void fraction of air-water two-phase flow in a horizontal circular minichannel," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1737, 2016.
- [10] Sudarja, Deendarlianto, Indarto, and H. Aqli, "Experimental Study on the Void Fraction of Air-Water Two-Phase Flow in a Horizontal Circular Mini-Channel," in *AIP Conference Proceeding*. (2015).
- [11] S. Saisorn and S. Wongwises, "Flow Pattern, Void Fraction and Pressure Drop of Two-Phase Air-Water Flow in a Horizontal Circular Micro-Channel," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 32, no. 3, pp. 748–760. (2008).
- [12] 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.
- [13] Sukamta, Aldi Rahadian Ilham, Sudarja, 2019, The Investigation Of Void Fraction Of Two-Phase Flow Air-Water And Glycerine (0-30%) In The Capillary Pipe With Slope Of 5^0 To Horizontal Position, *Media Mesin*, vol. 20. No. 1. Pp. 8-17.
- [14] Sukamta, Sudarja, 2019, Korelasi Signifikan antara Kecepatan Superfisial dan Viskositas Cairan Menggunakan Pola Aliran Dua Fase pada Pipa Mini dengan Kemiringan 30^0 , *TURBO* Vol. 8 No. 1. 2019.