

Fraksi Hampa Aliran Dua-Fase Udara-Air dan Minyak pada Pipa Kapiler dengan Kemiringan 75 Derajat Terhadap Horizontal

Two-Phase Void Fraction of Air-Water and Oil on the 75 Degrees Slope Capillary Pipe Against Horizontal

Sukamta^{1*}, Fani Nur Hidayat¹, Sudarja¹, Sri Sundari²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia.

²Program Studi Kedokteran, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia.

*Corresponding author email: sukamta@umy.ac.id



Kata Kunci:

kecepatan superfisial;
fraksi hampa; pipa mini;
viskositas; pola aliran

Keywords:

*superficial velocity; void
fraction; mini pipe;
viscosity; the flow pattern*

Abstrak

Parameter cukup berperan dalam kestabilan aliran dua fase pada peralatan mesin adalah fraksi hampa, karena akan berpengaruh pada fluktuasi tekanan dan pola aliran yang terjadi, sehingga dapat membahayakan sistem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mendapatkan data primer tentang fraksi hampa yang terjadi pada pipa mini/kapiler khususnya pada kemiringan 75 derajat terhadap horizontal. Penelitian ini menggunakan pipa uji $d_o=1,6$ mm dan panjang 160 mm. Fluida kerja berupa udara dan campuran air dengan minyak kelapa konsentrasi 350 mg/dl dan 500 mg/dl. Kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,08 – 74,6 m/s dan kecepatan superfisial cairan (J_L) = 0,04 – 4,15 m/s. Pola aliran diamati menggunakan kamera berkecepatan tinggi, dan olah data menggunakan *image processing*. Diperoleh hasil pola aliran *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Perbedaan konsentrasi fluida tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pola aliran dan fraksi hampa, akan tetapi justru tegangan permukaan yang memiliki pengaruh cukup besar pada nilai fraksi hampa dan pola aliran.

Abstract

The parameter that plays a sufficient role in the stability of the two-phase flow in machine tools is the vacuum fraction. It will affect the pressure fluctuations and flow patterns that occur so that it can harm the system. Therefore, this study aims to obtain primary data on the void fraction in mini pipes, especially at an inclination of 75 degrees to the horizontal. This study used a test pipe made of glass pipes with a diameter of 1.6 mm and a length of 160 mm. The working fluid is in the form of air and a mixture of water with coconut oil concentrations of 350 mg/dl and 500 mg/dl. The superficial speed of the gas (J_G) = 0.08 – 74.6 m/s and the liquid (J_L) = 0.04 – 4.15 m/s. Flow patterns are observed using high-speed cameras. Data processing is carried out using image processing and results in plug, slug-annular, annular, and churn flow patterns. The difference in fluid concentration does not significantly affect flow patterns and vacuum fractions but rather surface tensions that considerably influence the value of hollow fractions and flow patterns.

PENDAHULUAN

Fluida merupakan suatu zat yang memiliki kemampuan mengalir serta menyesuaikan bentuk wadah yang ditempati, hal ini dikarenakan fluida tidak memiliki kemampuan untuk menahan gaya atau tegangan geser apapun yang menyebabkan fluida tersebut bergerak dan berubah bentuk sesuai wadahnya. Berbeda dengan zat gas yang memiliki sifat hidrostatis yang akan memuai bebas membentuk atmosfer hingga tertahan oleh tempat yang membatasinya, zat cair mempunyai sifat untuk mempertahankan volumenya dan membutuhkan permukaan bebas dalam medan gravitasi (Mahmuddin & Makhsud, 2019). Fase merupakan kondisi dari suatu zat baik padat, cair, dan gas. Aliran dua fase yaitu aliran yang terdiri dari dua fase yang berbeda (cair-gas, gas-padat, padat-cair) dalam satu saluran, dan merupakan bagian dari aliran multifase (*multiphase flow*) yang paling

sederhana. Sedangkan aliran multifase (*multiphase flow*) adalah aliran simultan dari beberapa fase dari sebuah zat (padat, gas, dan cair) yang saling berinteraksi dan saling mempengaruhi. Aplikasi dari aliran dua fase dan multifase sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun proses industri, misalnya proses reaktor nuklir pada sistem pembangkit tenaga nuklir, industri perminyakan, industri pertambangan, dan bidang medis yaitu pada aliran darah pada pembuluh darah dan sperma tubuh manusia (Awaluddin, dkk., 2014).

Parameter penting pada aliran dua fase meliputi pola aliran (*flow pattern*), fraksi hampa (*void fraction*), dan gradien tekanan (*pressure gradient*). Nilai fraksi hampa dapat digunakan untuk menentukan karakter suatu aliran seperti panjang pola aliran *bubbly* dan *plug*, kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug*, mengetahui frekuensi pola aliran, dan memprediksi transisi pola aliran. Menurut Sudarja dkk., (2014) pipa yang digunakan dalam penelitian aliran dua fasa mempunyai berbagai ukuran saluran pipa yang kecil ke besar yaitu nano (*nano channel*), mikro (*micro channel*), mini (*mini channel*), normal (*normal channel*), dan besar (*large channel*). Sedangkan berdasar arah aliran dibagi menjadi dua yaitu aliran berlawanan arah dan aliran searah.

Penelitian sebelumnya Sukamta, Rianda, & Sudarja (2020) menemukan fraksi hampa aliran dua fase pada pipa mini dengan kemiringan 30° terhadap horisontal. Pengujian menggunakan campuran aquades-gliserin dengan konsentrasi tertentu yaitu 40, 50, 60, dan 70 persen dengan seksi uji pipa kapiler diameter 1,6 mm. Nilai fraksi hampa akan turun jika kecepatan superfisial cairan bertambah, namun jika kecepatan superfisial udara naik didapatkan nilai fraksi hampa yang akan bertambah. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan superfisial fluida dan udara mempengaruhi nilai fraksi hampa.

Penelitian tentang pengaruh fraksi hampa terhadap perpindahan kalor dengan variasi debit air dan udara dilakukan (Wardoyo, Wiganda, & Wahrudin, 2015). Seksi uji yang digunakan berupa pipa tembaga dengan diameter dalam 14 mm dan panjang 2200 mm. Variasi yang digunakan pada aliran air dengan debit 2, 4, dan 6 LPM. Debit udara sebesar $20 \text{ cm}^3/\text{menit}$, $40 \text{ cm}^3/\text{menit}$, dan $60 \text{ cm}^3/\text{menit}$. Lilitan *nikelin* digunakan untuk memanaskan pipa sepanjang 2000 mm. Dari penelitian tersebut didapat pertambahan nilai fraksi hampa mempengaruhi jumlah gelembung. Penelitian Sudarja dkk., (2015) secara eksperimental tentang pola aliran dan fraksi hampa menggunakan seksi uji pipa *mini channel* berdiameter 1,6 mm posisi pipa horisontal. Penelitian ini menggunakan fluida kerja berupa udara-aquades, dengan kondisi tidak ada perpindahan kalor selama pengujian berlangsung. Metode yang digunakan yaitu *digital image processing*. Dari penelitian di atas terbentuk pola aliran *bubbly*, *slug*, *slug-annular*, *churn*, dan *annular*.

Penelitian eksperimental sebelumnya juga telah dilakukan Mahadiputra, Karnowo, & Anis (2019) yaitu tentang karakteristik dan parameter aliran *stratified* pada pipa horisontal berukuran normal (*normal channel*) dengan diameter dalam 19 mm aliran yang searah. Penelitian menggunakan pipa berbahan *acrylic* transparan dengan menggunakan fase cair yaitu air dan udara. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa pola aliran, fraksi hampa, dan gradien tekanan dipengaruhi oleh kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas.

Penelitian tentang karakterisasi aliran dua fase menggunakan fluida cair dengan viskositas tinggi dilakukan (Dwinanto & Indarto, 2006). Cairan yang digunakan memiliki sifat fisis dengan nilai viskositas dinamik (μ) $0,00247 \text{ kg/m.s}$, massa jenis (ρ) $898,15 \text{ kg/m}^3$, serta tegangan permukaan (σ) sebesar $0,031 \text{ N/m}$. Dari penelitian didapatkan kecepatan superfisial gas (J_G) berbanding lurus dengan fraksi hampa, hal ini ditunjukkan semakin meningkatnya kecepatan superfisial gas (J_G) berefek pada nilai fraksi hampa yang akan bertambah.

Ditemukan bahwa tinggi nilai viskositas suatu fluida, maka akan mempengaruhi garis transisi suatu aliran (Jayadi dkk., 2015). Penelitian pola aliran dengan posisi pipa horisontal berukuran *mini channel* dilakukan dengan menggunakan fluida kerja gliserin-aquades konsentrasi 20%, 40%, dan 60%. Seksi uji yang digunakan berupa pipa kaca berdiameter dalam 1,6 mm. Berbagai variasi kecepatan superfisial dilakukan dengan interval tertentu pada gas (J_G) dan cairan (J_L) untuk mendapatkan berbagai jenis pola aliran.

Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Fazliogullari et al., (2010) mengungkapkan tentang pembuluh darah arteri koronia pada tubuh manusia mempunyai diameter sebesar 2 mm. Menurut Kandlikar & Grande, (2010) saluran dengan diameter 2 mm termasuk kedalam saluran *minichannel* ($3 \text{ mm} \geq D_h > 200 \mu\text{m}$). Pada aliran pembuluh darah manusia mengandung berbagai campuran seperti lemak, oksigen, dan *trigleserida*. Penelitian aliran dua fasa ini dilakukan sebagai gambaran karakteristik pola aliran pada peredaran darah tubuh manusia.

Perilaku aliran dua fasa udara-air diselidiki secara eksperimental dilakukan (Jagan & Satheesh, 2016). Seksi uji berdiameter 8 mm dan panjang 2 m dengan variasi kemiringan pada 0° , 30° , 45° , 60° , dan 90° untuk menyelidiki efek gravitasi pada aliran. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan superfisial air dan udara pada rentang 0 hingga 10 m/s dan 0 hingga 15 m/s. Rezim aliran diamati menggunakan perekam video berkecepatan tinggi dan data visualisasi aliran dua fasa dianalisis menggunakan teknik pengolahan citra. Pada pipa posisi horisontal aliran bertingkat tidak ditemukan, tetapi terdapat pola aliran *bubbly* dan *bubbly* panjang. Untuk kecepatan air dan udara yang sama efek turbulensi mengarah ke aliran *churn* ditemukan ketika kemiringan pipa meningkat. Pada laju aliran gas dan udara rendah dan sedang, nilai fraksi hampa relatif tinggi. Nilai fraksi hampa yang stabil dihasilkan pada laju aliran yang lebih tinggi. Kemiringan 60° pola aliran *slug* terdistorsi yang menyebabkan perubahan nilai fraksi hampa. Pada kemiringan dan laju aliran yang lebih tinggi, permukaan cairan digeser fase gas sehingga menyebabkan penurunan kepekaan nilai fraksi hampa.

Penelitian tentang karakteristik nilai fraksi hampa pada sudut kemiringan 45° dilakukan (Sukamta, dkk., 2021). Penelitian menggunakan seksi uji pipa mini diameter 1,6 mm dengan panjang 130 mm. Selain itu, fase cair yang digunakan berupa campuran air distilasi (air murni) dan gliserin berbagai variasi konsentrasi antara lain; 40%, 50%, 60%, dan 70%. Eksperimen dilakukan pada J_G dan J_L masing masing 0,025 – 66,3 m/s dan 0,033 – 4,935 m/s. Metode digital *image processing* digunakan dalam mencari nilai fraksi hampa. Peneliti menemukan aliran *bubbly* menunjukkan kondisi yang kurang stabil dengan nilai fraksi hampa yang rendah. Pada aliran *plug* menunjukkan nilai fraksi hampa cenderung mendekati 1 dalam periode tertentu, fenomena ini disebabkan karena udara mendominasi di dalam pipa seksi uji. Pada pola aliran *churn* nilai fraksi hampa berfluktuasi cenderung ke nilai sedang.

Penyelidikan juga telah dilakukan Pabon, et al., (2019) tentang fraksi hampa kondisi adiabatik pada pipa tembaga posisi horisontal dengan panjang 2 m dan diameter 4,8 mm. Pengaruh kualitas uap, fluks massa, dan suhu saturasi pada fraksi hampa R1234yf diselidiki, sedangkan R134a digunakan sebagai referensi pembanding. Pengujian dilakukan sebanyak 53 titik pada suhu saturasi 15°C dan 25°C dengan kualitas uap berkisar 0,1 hingga 1 dan masa laju aliran 180 kg/m^2 dan 280 kg/m^2 . Fraksi hampa mengalami peningkatan saat suhu saturasi turun, hal ini dikarenakan densitas uap menurun, sedangkan fluks massa hampir tidak mempengaruhi fraksi hampa.

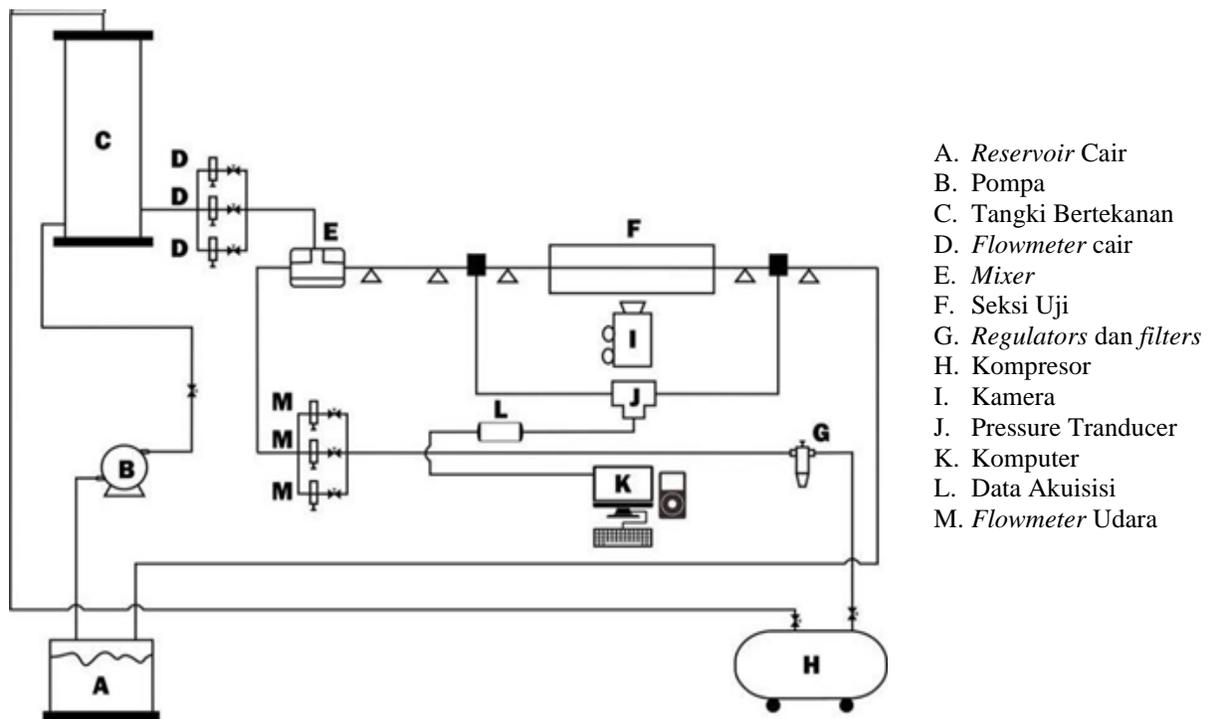
Penelitian aliran dua fase gas-cair fluida kerja nitrogen-air dengan metode baru pengukuran fraksi hampa telah dilakukan (Zhou et al., 2014). Penelitian ini fokus pada pengukuran fraksi hampa dari dua pola aliran tipikal aliran gelembung dan aliran slug dalam pipa horisontal. Seksi uji berupa pipa diameter dalam 2,8 mm, 3,9 mm, 5,3 mm, dan 7 mm. Metode baru digunakan dalam pengukuran fraksi hampa menggunakan teknik C4D (*Capacitively Coupled Contactless Conductivity Detection*). Setelah itu, hubungan antara nilai konduktansi dengan fraksi hampa diselidiki. Peneliti menemukan setiap pola aliran tertentu, terdapat hubungan selaras dan monoton antara fraksi hampa dengan nilai konduktansi. Selain itu, pola aliran memiliki pengaruh yang jelas pada pengukuran fraksi hampa. Teknik C4D digunakan untuk mengatasi pengaruh dari pola aliran terhadap pengukuran fraksi hampa. Hasil percobaan menunjukkan penggunaan teknik C4D pada pengukuran fraksi hampa aliran dua fase gas-cair dalam pipa skala milimeter layak dilakukan, hal ini ditunjukkan dengan kesalahan absolut pengukuran kurang dari 7 persen.

Investigasi Sudarja, Sukamta, & Saputra, (2021) terhadap pola aliran dan fraksi hampa pada pipa kecil dengan sudut kemiringan 30° . Penelitian ini menggunakan fluida kerja dengan tegangan permukaan rendah, udara kering mewakili fase gas sedangkan fluida cair berupa larutan campuran air distilasi dan butanol dengan presentase 3%. Butanol ditambahkan bertujuan untuk menurunkan tegangan permukaan. Selain itu, seksi uji yang digunakan berupa pipa kaca dengan diameter dalam 1,6 mm dan panjang 130 mm. Berbagai variasi kecepatan superfisial gas interval 0,025 – 66,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan antara 0,033 – 4,935 m/s. Dalam penelitian ini didapatkan berbagai jenis pola aliran berbeda antara lain, *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *churn*, dan *annular*, sedangkan aliran terpisah tidak ditemukan. Peneliti menemukan bahwa pola aliran dan fraksi hampa dipengaruhi kecepatan superfisial gas dan cairan. Hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya pola aliran *slug-annular* pada J_G dan J_L bernilai rendah, sedangkan pada kondisi J_G dan J_L tinggi diperoleh aliran *churn*.

Eksperimen Wiryanta (2015) tentang karakteristik pola aliran dan fraksi hampa terhadap efek yang ditimbulkan dari *elbow* 75° (R/D=0,7). Penelitian menggunakan pipa *acrylic* transparan dengan panjang pipa 3000 mm (pipa vertikal 2000 mm dan pipa miring 1000 mm) dan diameter dalam 36 mm. Dilakukan variasi pada volume gas quality (β) dengan interval 0,03 – 0,25 dan kecepatan superfisial cairan (USL) antara 0,3 – 1,1 m/s digunakan untuk mendapatkan pola aliran *bubbly* pada pipa vertikal sebelum belokan. Data *homogeneous void fraction* memiliki nilai yang lebih tinggi dari data eksperimen yang dilakukan. Peneliti juga mencari nilai deviasi pada setiap nilai *volumetric gas quality*. Hasil perbandingan menunjukkan nilai *void fraction global* mengalami peningkatan berbanding lurus dengan bertambahnya *volumetric gas quality*. Selain itu, diketahui pada percobaan kecepatan superfisial cairan nilai rendah, pola aliran *bubbly* pada pipa vertikal terjadi pergerakan ke atas. Kecepatan superfisial cairan yang tinggi menghasilkan tekanan yang besar pada outer *elbow* sehingga udara berkonsentrasi pada inner dari *elbow*, sehingga membentuk pola aliran *slug-bubbly* atau *plug-bubbly* pada pipa miring.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian dilakukan instalasi alat pengujian seperti pada Gambar 1 yang terdiri dari: kompresor, bak penampung, pompa, tangki bertekanan, *flowmeter* cairan, *mixer*, seksi uji, kamera, *flowmeter* udara, dan filter *watertrap*. Peralatan pendukung yang digunakan berupa lampu penerangan, *correction box*, katup, *flens* dan komputer. Dilakukan variasi pada kecepatan superfisial gas dan cairan dengan interval 0,08 – 74,6 m/s dan 0,04 – 4,15 m/s. Penelitian dilakukan menggunakan fluida kerja udara kering yang bersumber dari kompresor dan *emulsi* akuades-minyak konsentrasi 350 mg/dl dan 500 mg/dl. Emulsi dilakukan menggunakan gom acacia (*gummi arabicum*). Seksi uji yang digunakan berupa pipa kaca mini dengan diameter dalam 1,6 mm dan panjang 160 mm. Eksperimen dianggap dilakukan dalam kondisi tidak ada perpindahan panas. Pengambilan video pola aliran dilakukan menggunakan kamera Canon J4, selanjutnya pengolahan dilakukan menggunakan metode *digital image processing* menggunakan bantuan software MATLAB R2014a.

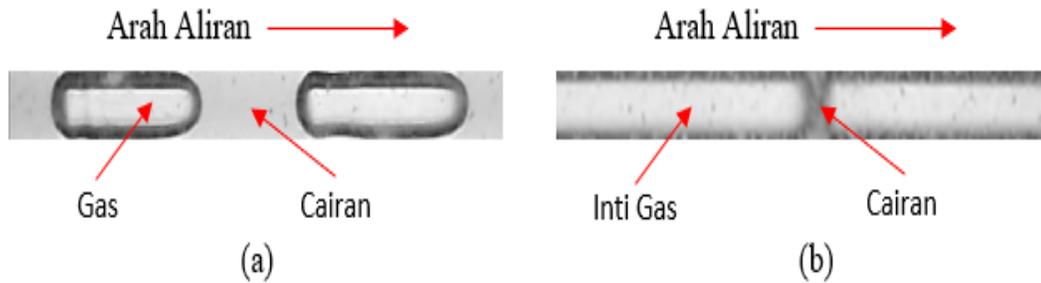


- A. Reservoir Cair
- B. Pompa
- C. Tangki Bertekanan
- D. Flowmeter cair
- E. Mixer
- F. Seksi Uji
- G. Regulators dan filters
- H. Kompresor
- I. Kamera
- J. Pressure Transducer
- K. Komputer
- L. Data Akuisisi
- M. Flowmeter Udara

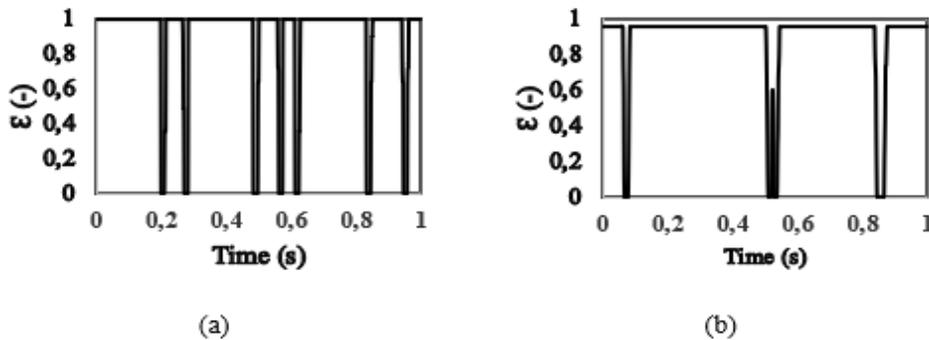
Gambar 1. Skema instalasi alat

HASIL DAN PEMBAHASAN

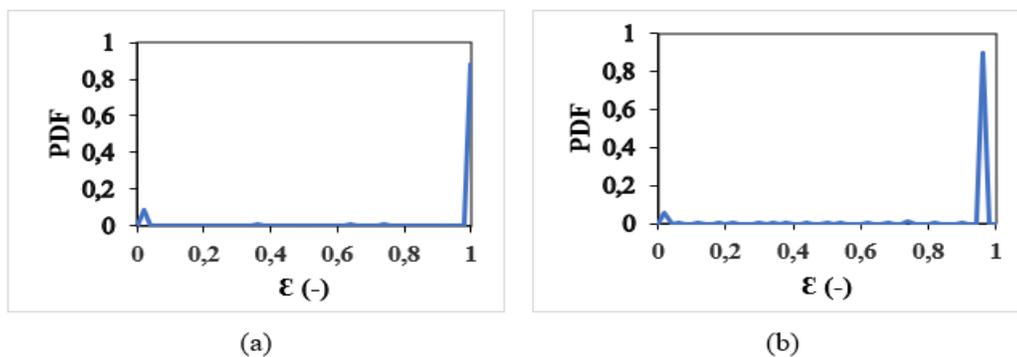
Teramati pola aliran *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Pada nilai fraksi hampa yang dihasilkan terjadi perbedaan yang tidak signifikan pada kedua fluida uji, hal ini dikarenakan perbedaan sifat fisik cairan.



Gambar 2. Pola aliran plug (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl



Gambar 3. Time average fraksi hampa aliran plug (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl

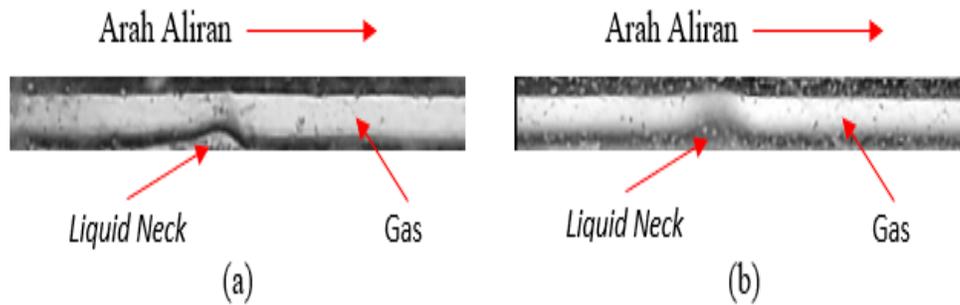


Gambar 4. PDF fraksi hampa aliran plug (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl

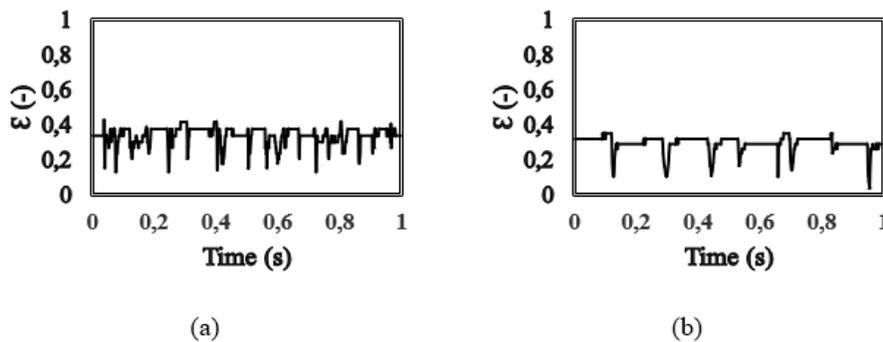
Gambar 4 menunjukkan keadaan pintu lemari asam pada kecepatan putaran yang berbeda. Gambar 4a

menunjukkan keadaan pintu pada kecepatan pertama pada 1513rpm. Adapun gambar 4b dan 4c menunjukkan kecepatan 1770rpm dan 2125rpm.

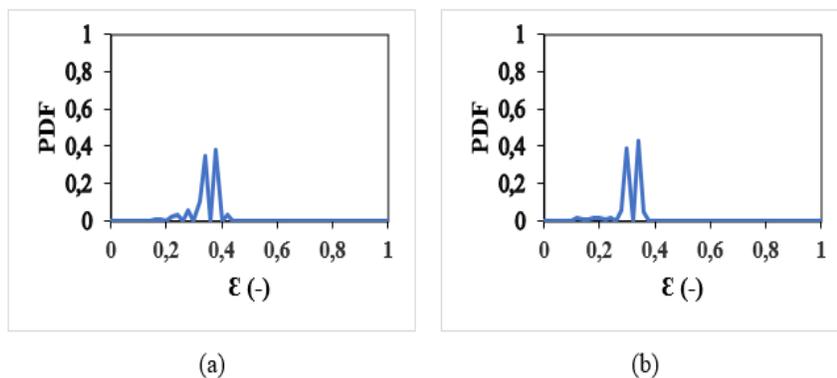
Pola aliran *plug* dapat terjadi ketika gas dan cairan pada kondisi kecepatan superfisial yang rendah. Pola aliran *plug* (elongated bubbly) dikategorikan sebagai pola aliran *bubbly* yang memanjang berbentuk menyerupai peluru yang hampir memenuhi seluruh dinding pipa dengan berbagai variasi panjang pola aliran. Sampel pola aliran *plug* didapatkan pada $J_G = 0,08$ m/s dan $J_L = 0,04$ m/s. Fluida kerja konsentrasi 350 mg/dl nilai fraksi hampa yang paling dominan yaitu 1 dengan probabilitas 0,88 sedangkan pada konsentrasi 500 mg/dl nilai fraksi paling dominan yaitu 0,96 dengan probabilitas 0,9.



Gambar 5. PDF fraksi hampa aliran plug (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl

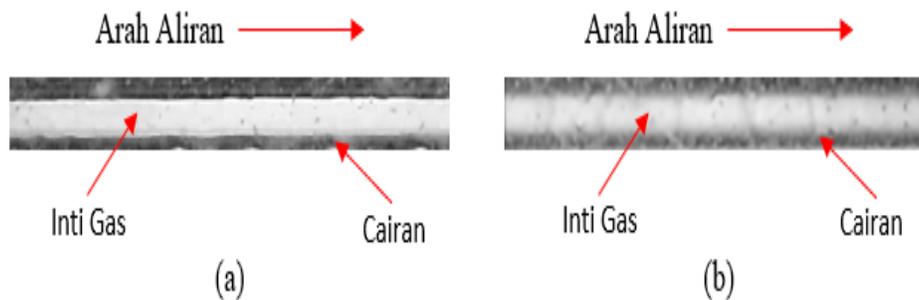
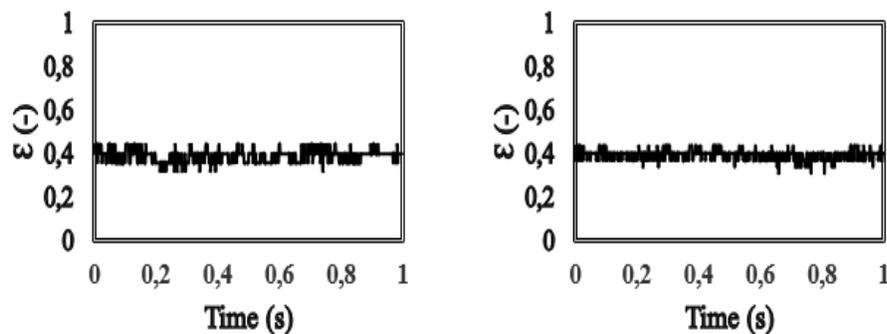


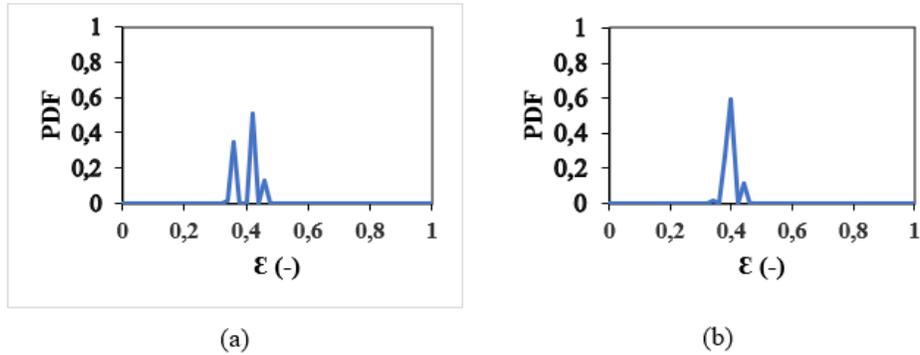
Gambar 6. Time average fraksi hampa aliran slug-annular (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl



Gambar 7. PDF fraksi hampa aliran slug-annular (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl

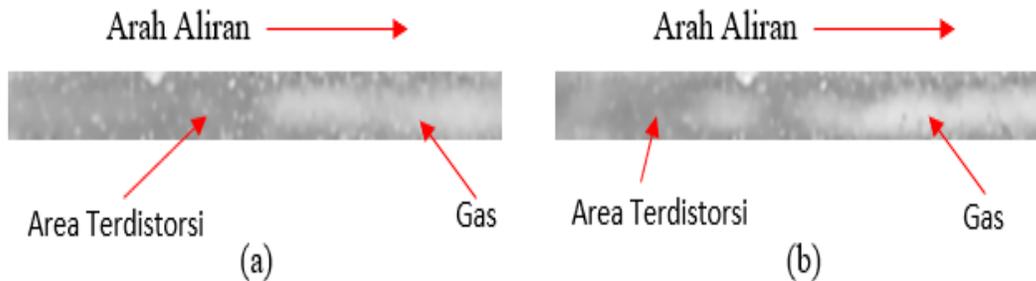
Pola aliran *slug-annular* yaitu pola aliran transisi yang terjadi pada saat pola aliran *plug* menuju perubahan menjadi pola aliran annular. Terdapat kemiripan terhadap pola aliran annular, namun pada pola ini terdapat leher cairan atau *liquid neck*. Pola aliran ini mempunyai ciri titik tertentu terdapat film fluida cair yang lebih tebal dari titik lainnya yang cenderung terdistribusi secara simetris. Fenomena ini terjadi ketika kecepatan superfisial gas mengalami kenaikan yang cukup signifikan, sehingga fase udara mampu menembus cairan penghubung sebagai pemisah fase gas pada aliran *plug*. Pada pengujian ini didapatkan beberapa pola aliran *slug-annular*, sampel didapat pada $J_G = 8,29$ m/s dan $J_L = 0,21$ m/s. Nilai fraksi hampa yang sering muncul yaitu 0,38 dengan probabilitas 0,38 pada konsentrasi 350 mg/dl sedangkan pada konsentrasi 500 nilai fraksi hampa paling dominan yaitu 0,34 dengan probabilitas 0,43.

**Gambar 8.** Pola aliran annular (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl**Gambar 9.** Time average fraksi hampa aliran annular (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl

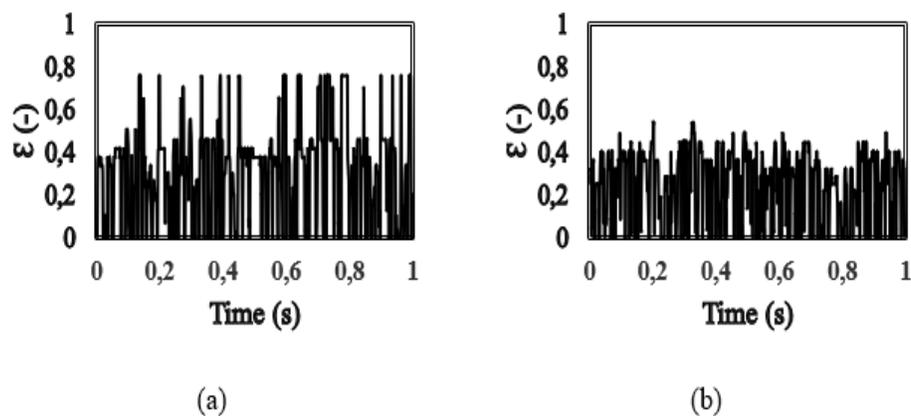


Gambar 10. fraksi hampa aliran annular (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl

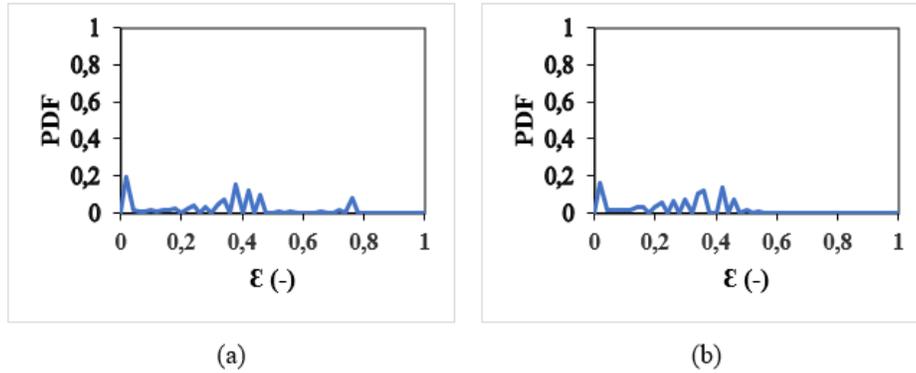
Pola aliran *annular* disebut juga pola cincin yang merupakan pola aliran yang terbentuk ketika kecepatan superfisial gas mempunyai nilai lebih tinggi dibanding kecepatan superfisial cairan. Hal ini menyebabkan udara melewati bagian tengah pipa atau menembus lapisan film pada tengah cairan menyebabkan lapisan film cairan terdistribusi merata mengalir di sekeliling dinding pipa. Pola aliran *annular* ditampilkan pada sampel yang teramati terjadi pada nilai $J_G = 49,74$ m/s dan $J_L = 0,04$ m/s. Nilai fraksi hampa 0,42 dengan probabilitas 0,51 pada cairan konsentrasi 350 mg/dl sedangkan pada percobaan konsentrasi 500 mg/dl memiliki nilai fraksi hampa 0,4 dengan nilai probabilitas 0,59.



Gambar 11. Pola aliran churn (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl



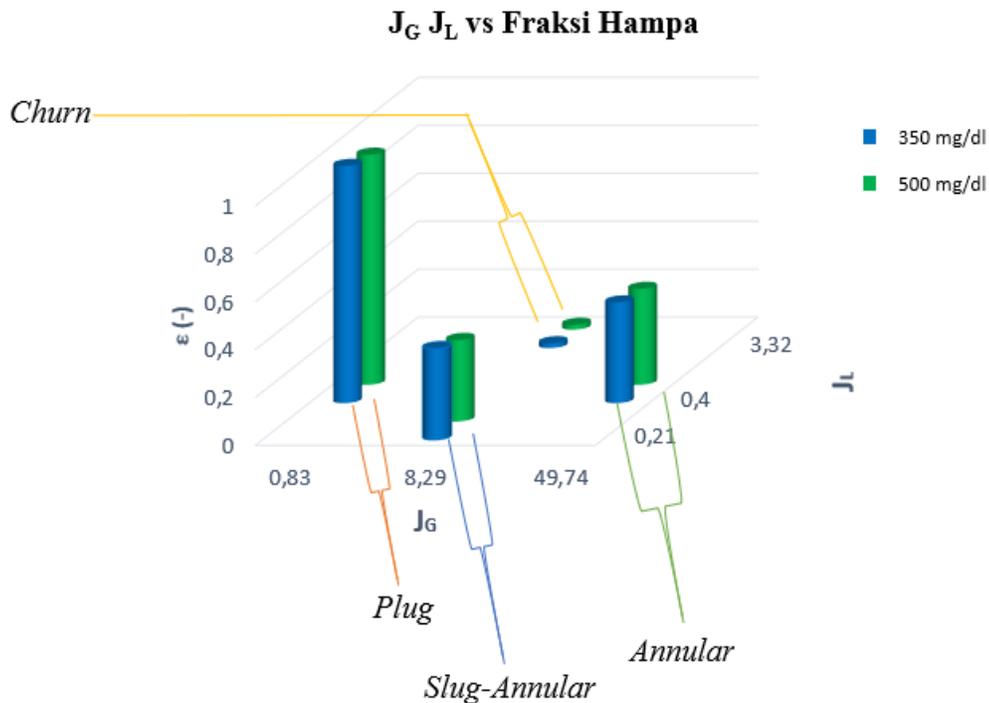
Gambar 12. Time average fraksi hampa aliran churn (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl



Gambar 13. PDF fraksi hampa aliran churn (a) Konsentrasi 350 mg/dl dan (b) Konsentrasi 500 mg/dl

Pola aliran *churn* terjadi saat J_G dan J_L tinggi dengan selisih keduanya cukup besar. Pada kondisi ini aliran gas dan cairan mengalir secara acak dan tidak stabil sehingga terdapat area pola aliran yang terdistorsi. Pada penelitian ini didapatkan beberapa variasi kecepatan yang membentuk pola aliran *churn*, gambar di atas ditampilkan sampel pada nilai $J_G = 8,29$ m/s dan $J_L = 3,32$ m/s. Pada konsentrasi 350 mg/dl nilai fraksi hampa yang paling dominan muncul yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,19 dan pada konsentrasi 500 mg/dl nilai fraksi hampa 0,02 dengan nilai probabilitas 0,16.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa pola aliran yaitu *plug*, *slug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Setelah dilakukan analisis, ditemukan beberapa perbedaan baik bentuk, panjang, dan nilai fraksi hampa antara konsentrasi 350 mg/dl dengan 500 mg/dl.



Gambar 14. Grafik J_G J_L terhadap fraksi hampa

Sebelumnya Sukamta, Rianda, & Sudarja, (2020) melakukan penelitian mengenai fraksi hampa pada pipa *minichannel* berukuran 1,6 mm kemiringan 30° dengan menggunakan fluida kerja viskositas tinggi berupa campuran air-gliserin konsentrasi 40, 50, 60, dan 70 persen. Variasi kecepatan superfisial gas dan cairan dilakukan pada penelitian ini dengan nilai 0,025 m/s – 66,3 m/s dan 0,333 m/s – 4,935 m/s. Pada penelitian ini teramati beberapa pola aliran seperti *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Pola aliran *plug* didapatkan pada $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s dengan nilai fraksi hampa mendekati nilai 1 tetapi terjadi perbedaan pada panjang *plug* setiap fluida uji. Selain itu, aliran *slug-annular* ($J_G = 9,62$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s), *annular* ($J_G = 66,3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s), dan *churn* ($J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 4,935$ m/s) ditemukan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada nilai fraksinya, perbedaan hanya terjadi pada nilai probabilitas fraksi hampa. Sementara itu, penelitian lain dilakukan oleh Sudarja, Sukamta, & Saputra, (2021) tentang pola aliran dan fraksi hampa pada pipa kaca dengan panjang 130 mm dan diameter 1,6 mm pada kemiringan 30°. Fluida kerja yang digunakan berupa campuran akuades dan butanol (3% dari volume akuades) dengan tujuan menurunkan tegangan permukaan pada fluida kerja. Dari pengujian yang dilakukan teramati pola aliran *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Penulis menampilkan dua variasi dengan salah satu nilai J_G atau J_L yang berbeda untuk pola aliran yang didapatkan sebagai perbandingan.

Terlihat pada grafik time average dan PDF jika nilai J_G dinaikan maka nilai fraksi hampa akan naik begitu dengan sebaliknya. Namun, jika nilai J_L maka nilai fraksinya akan turun. Dilakukan pengamatan oleh (Dwinanto & Indarto, 2006) karakteristik pada campuran air-gliserin dan udara dengan konsentrasi gliserin 20, 40, dan 60 persen pada pipa mini 1,6 mm posisi horisontal. Pola aliran yang muncul yaitu *slug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Selain itu, nilai fraksi hampa yang didapatkan dibandingkan dengan penelitian terdahulu terjadi adanya perbedaan pada garis transisi pola aliran sedangkan pola aliran yang teramati cenderung sama. Penelitian tentang fraksi hampa dilakukan oleh (Sowinski & Dziubinski, 2007) berfokus pada pengaruh viskositas cairan. Seksi uji berupa dua saluran dengan celah 1,23 mm dan 2,31 mm. Panjang seksi uji yang digunakan 400 mm dan lebar 15 mm. Fluida kerja berupa air dengan larutan sukrosa dengan kadar yang berbeda. Kecepatan superfisial gas dan udara masing-masing interval 0,047 m/s – 2,3 m/s dan 0,011 m/s – 5,65 m/s. Viskositas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap fraksi hampa. Dengan peningkatan viskositas cairan, nilai fraksi hampa mengalami penurunan. Viskositas cairan yang meningkat menyebabkan peningkatan ketebalan film yang memecahkan gelembung gas dari dinding saluran. Sedangkan lebar celah tidak ada efek yang jelas.

Jika diamati hasil pola aliran yang didapatkan dari penelitian sebelumnya terlihat cenderung ada kesesuaian terhadap penelitian ini meskipun terdapat transisi nilai J_G dan J_L dalam membentuk pola aliran. Selain itu, tidak didapatkan perbedaan yang signifikan pada nilai probabilitas fraksi hampa. Sementara itu, terdapat perbedaan dengan penelitian sebelumnya dimana pola aliran *bubbly* yang tidak ditemukan pada penelitian ini. Pada pengujian dengan nilai J_G dan J_L tertentu pola *bubbly* teramati muncul, akan tetapi kemudian *bubbly* bertransisi menjadi *plug* atau *elongated bubbly*. Hal ini dikarenakan pola aliran *bubbly* sangat sensitif terhadap perubahan nilai J_G dan J_L , selain itu penelitian lain mengatakan bahwa aliran *bubbly* sangat dipengaruhi oleh nilai viskositas fluida kerja. Perbedaan yang signifikan yaitu pergeseran nilai J_G dan J_L dalam membentuk pola aliran tertentu. Pada penelitian sebelumnya didapatkan bahwa sifat fisik fluida kerja (viskositas) dan nilai J_G dan J_L sangat berperan terhadap fraksi hampa dan pola aliran yang terjadi pada percobaan meskipun. Fluida kerja mempengaruhi garis transisi pola aliran, sedangkan kemiringan pipa uji atau lebar celah tidak jelas pengaruhnya terhadap pola aliran dan fraksi hampa.

KESIMPULAN

Didapatkan beberapa jenis pola aliran dengan karakteristik masing-masing yaitu pada pola aliran *plug*, *slug-annular*, dan *annular* didapatkan perbedaan nilai fraksi hampa yang tidak signifikan pada setiap fluida uji. Namun, pola aliran *churn* nilai fraksi hampa sangat fluktuatif, hal ini diakibatkan karena adanya distorsi yang terjadi di sepanjang pola aliran.

Didapatkan kesesuaian terhadap jenis pola aliran yang teramati, tetapi tidak ditemukan pola aliran *bubbly* pada

penelitian. Hal ini dikarenakan pola aliran *bubbly* memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap viskositas cairan dan kecepatan superficial gas. Sehingga pada J_G kurang stabil maka akan memunculkan pola aliran *plug* atau *elongated bubbly*. Selain itu, terjadi perbedaan garis transisi pola aliran. Sifat fisik fluida kerja (viskositas dan tegangan permukaan) memiliki pengaruh yang besar terhadap fraksi hampa dan pola aliran yang terjadi.

REFERENSI

- Awaluddin, Wahyudi, S., & Widodo, A. S. (2014). Analisis aliran fluida dua fase (udara-air) melalui belokan 45o. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(3), 217–224. <https://doi.org/10.21776/jrm.v5i3.242>
- Dwinanto, M. M., & Indarto. (2006). Karakterisi aliran dua fase cair-gas searah ke atas dengan fluida cair berviskositas tinggi. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) V*, 1-9.
- Fazliogullari, Z., Karabulut, A. K., Dogan, N. U., & Uysal, I. I. (2010). Coronary artery variations and median artery in Turkish cadaver hearts. *Singapore Med J*, 51(10), 775-780.
- Jagan, V., & Satheesh, A. (2016). Experimental studies on two phase flow patterns of air–water mixture in a pipe with different orientations. *Flow Measurement and Instrumentation*, 52, 170-179. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2016.10.006>
- Jayadi, F., Sudarja, Diko, Indarto, & Deendarlianto. (2015). Pola aliran air-udara dan campuran gliserin-air dan udara. *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada*, 20-26.
- Kandlikar, S. G., & Grande, W. J. (2010). Evolution of microchannel flow passages--thermohydraulic performance and fabrication technology. *Heat Transfer Engineering*, 24(1), 37-41. <https://doi.org/10.1080/01457630304040>
- Mahadiputra, A. A., Karnowo, & Anis, S. (2019). Studi eksperimental pengaruh kecepatan superficial aliran searah terhadap karakteristik dan parameter aliran stratified pada pipa horizontal. *Journal Applied and Research Innovation in Engineering (JARE)*, 1(2), 1-8.
- Mahmuddin, M., & Makhsud, A. (2019). Studi eksperimental penurunan tekanan aliran melewati belokan pipa horizontal dengan variasi rasio R/D. *Jurnal Teknik Mesin Teknologi* 18(1), 45-51.
- Pabon, J. J., Pereira, L. C., Humia, G., Khosravi, A., Revellin, R., Bonjour, J., & Machado, L. (2019). Experimental study on the void fraction during two-phase flow of R1234yf in smooth horizontal tubes Étude expérimentale sur la fraction de vide lors de l'écoulement diphasique de R1234yf dans des tubes lisses horizontaux. *International Journal of Refrigeration*, 104, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.05.007>
- Sowinski, J., & Dziubinski, M. (2007). The effect of liquid viscosity on the void fraction in a two-phase gas-liquid flow in narrow mini-channels. *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6)*, September, 16–20.
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, & Gutama, A. (2015). Studi eksperimental mengenai pola aliran dan fraksi hampa pada aliran gas-cairan dalam pipa berukuran mini. *Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang industri ke 21*, 57-62.
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, Noverdi, R., & Gutama, A. (2014). Investigasi pola aliran dua-fase gas-cairan di dalam pipa berukuran mini pada aliran horisontal. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII)*, 423–429.
- Sudarja, Sukamta, & Saputra, F. (2021). Investigation of flow pattern and void fraction of air and low surface tension liquid in A 30° inclined small pipe. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 83(2), 73-83. <https://doi.org/10.37934/arfmts.83.2.7383>
- Sukamta, Noviyanto, Sudarja, & Sundari, S. (2021). Void fraction features using image processing on a clear capillary pipe with a 45° slope to the horizontal line of two-phase air-liquid flow with high viscosity.

Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 83(2), 164-172.
<https://doi.org/10.37934/arfmts.83.2.164172>

Sukamta, Rianda, M. P., & Sudarja. (2020). A void fraction of high-viscosity air-water flow in capillary pipes with a slope of 30 degrees to the horizontal positio. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(2), 183–193. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i2.1054>

Wardoyo, Wiganda, S., & Wahrudin, A. (2015). Pengaruh Fraksi Hampa Pada Pipa Sempit Dengan Permukaan Dalam Berbentuk Spiral Terhadap Perpindahan Kalor Dua Fasa Pola Aliran Gelembung. *JKEM : Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, 2(2), 105-110. <https://doi.org/10.21009/JKEM.2.2.8>

Wiryanta, I. K. (2015). Void fraction dan pemetaan pola aliran dua fase (air-udara) melewati elbow 75° dari pipa vertikal menuju pipa miring 15°. *Jurnal LOGIC*, 15(2), 82-89.

Zhou, Y., Huang, Z., Wang, B., Ji, H., & Li, H. (2014). A new method for void fraction measurement of gas-liquid two-phase flow in millimeter-scale pipe. *International Journal of Multiphase Flow*, 72, 298-305. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.08.005>