

KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR CAMPURAN BUTANOL 3% PADA SALURAN KECIL POSISI KEMIRINGAN 10°

Gemilang^a, Sudarja^b, Sukamta^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

^agemilangtrifaperdana99@gmail.com, ^bsudarja_msn@yahoo.com,
^cmsukamta@gmail.com

Abstrak

Aplikasi aliran dua fase yang sangat luas pada industri, elektronik hingga otomotif mengharuskan manusia untuk menciptakan alat yang semakin kompak dan praktis. Untuk menunjang hal tersebut digunakan saluran mini yang memiliki karakteristik aliran yang berbeda dari saluran konvensional yaitu tidak dipengaruhi oleh gaya gravitasi melainkan oleh tegangan permukaan. Menurut penulis belum banyak diungkap pengaruh tegangan permukaan pada saluran mini. Sehingga perlu dilakukan kajian pengaruh tegangan permukaan terhadap karakteristik aliran dua fase pada saluran mini. Seksi uji berupa pipa kaca berdiameter dalam 1,6 mm dengan sudut kemiringan 10° terhadap posisi horizontal. Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini yaitu larutan akuades dan 3% butanol dengan tegangan permukaan 42,90 mN/m. Variasi kecepatan superfisial udara dan cairan yaitu 0 m/s – 66,3 m/s dan 0,033 m/s – 4,935 m/s. Data pola aliran dan fraksi hampa didapatkan dari gambar video yang direkam kamera berkecepatan tinggi. Gradien tekanan diperoleh dari pengolahan data dari data akuisisi. Hasil pengamatan yang telah dilakukan ditemukan lima pola aliran yang terbentuk yaitu: plug, bubbly, slug-annular, annular dan churn. Pola aliran yang terbentuk didominasi oleh aliran plug. Peta pola aliran menunjukkan kesesuaian dengan penelitian Triplett dkk., (1999) dan Chung dan Kawaji (2004). Tegangan permukaan mempengaruhi bentuk pola aliran bubbly dan plug. Meningkatnya nilai JG menyebabkan nilai fraksi hampa meningkat. Meningkatnya kecepatan superfisial gas maupun cairan mempengaruhi naiknya gradien tekanan.

Kata kunci: Dua fase, pipa kecil, butanol, kecepatan superfisial, pola aliran, peta pola aliran, fraksi hampa, gradien tekanan.

Abstract

The application of two phase-flow is very wide with the rapid of development of science and technology on industry, electronics until atutomotive causing humans to create increasingly compact and practical tools. To support this, i tis necessary to adjust the two-phase flow system using a minichannel. Different from konvensional channel, minichannels are not affected by gravity but influenced by surface tension. In the author's opinion that several studies of surface tension have not yet revealed the effect of surface tension on the characteristic of two-phase flow in minichannels. The test section was 1.6 mm with incline angle 10° to horizontal orientation. The working fluids used in this research were aquades and 3% butanol with 42.90 mN/m surface tension. Variation of gas and liquid superfisial velocities were 0 m/s – 66,3 m/s and 0,033 m/s – 4,935 m/s. Flow pattern and void fraction data obtained from video images which recorded with a high-speed camera. Pressure gradient obtained from data processing from data acquisition. As a result, there were five flow pattern that have been found in this present study: bubbly, plug, slug-annular, annular and churn. Flow pattern map showed suitability with Triplett et al. (1999) and Chung and Kawaji (2004) research. Surface tension affected shape of bubbly and plug flow pattern. Increasing the value of JG cause the value of void fraction to increase as well. Increased superfisial velocities of both gas and liquid affects the increase of pressure gradient.

Keyword: two-phase, minichannel, surface tension, superfisial velocity.

1. Pendahuluan

Aliran dua fase pada saat ini menjadi topik yang menarik untuk dibahas karena aplikasinya yang sangat luas pada industri, elektronik, hingga otomotif. Teknologi dan ilmu pengetahuan yang semakin modern dan canggih mengharuskan kita untuk menciptakan alat yang lebih kompak dan praktis dari sebelumnya. Untuk menunjang hal tersebut, dibutuhkan penyesuaian dari sistem aliran dua fase. Salah satunya adalah aliran dua fase yang digunakan pada pipa berukuran mini.

Aliran dua fase pada saluran mini dideskripsikan dengan tidak adanya aliran udara dan cairan yang terpisah. Hal tersebut menyebabkan aliran pada saluran mini memiliki karakteristik yaitu pola aliran, fraksi hampa, dan gradien tekanan yang berbeda dengan saluran konvensional. Selain ukuran saluran, karakteristik yang terjadi pada aliran dua fase saluran mini dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya seperti tegangan permukaan, viskositas, orientasi saluran, kecepatan superfisial cair dan gas.

Untuk mengetahui pola aliran dan fraksi hampa maka dilakukan analisis aliran dengan metode visualisasi menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Metode ini memberikan analisis gambar secara mendalam dengan beberapa tahapan image processing untuk mendapatkan data yang diinginkan. Salah satu keunggulan dari metode ini memungkinkan untuk menganalisis hasil visual dengan tingkat akurasi yang baik tanpa merusak atau mengganggu aliran. Sementara itu, gradien tekanan diperoleh dengan mengolah data yang didapatkan dari pengendali mikro single-board yang bersifat open-source. Metode ini mampu memberikan data yang sangat banyak dalam kurun waktu yang singkat dan akurat.

Penelitian aliran dua fase pada saluran berukuran mini menggunakan fluida kerja udara dan air menurut pendapat penulis sudah cukup sering dilakukan. Namun, studi aliran dua fase pada saluran mini dengan menggunakan fluida kerja berupa udara dan air sudah dianggap tidak dapat diterapkan lagi karena untuk meningkatkan performa suatu alat dibutuhkan pengembangan cairan baru yang pada umumnya memiliki tegangan permukaan yang lebih kecil dari pada air. Setyawan dkk., (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh dari sifat fisik cairan terhadap kecepatan dan frekuensi gelombang aliran annular pada aliran dua fase udara air dan butanol dengan variasi tegangan permukaan. Namun, penelitiannya tidak membahas secara keseluruhan mengenai pengaruh tegangan permukaan terhadap karakteristik aliran dua fase.

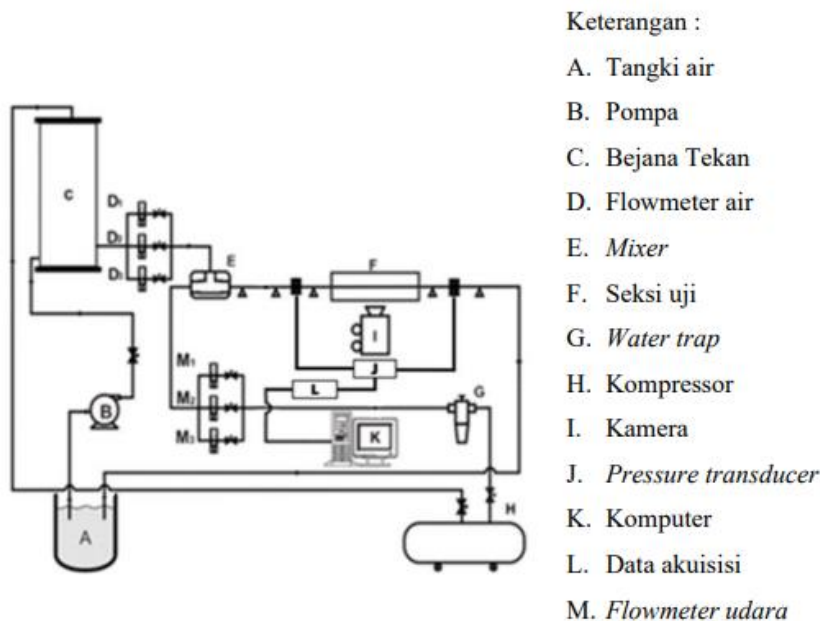
Penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa tegangan permukaan berpengaruh signifikan terhadap karakteristik aliran dua fase. Butanol memiliki tegangan permukaan lebih kecil dari air yang tentu akan mempengaruhi karakteristik aliran dua fase. Karena terbatasnya penelitian tentang pengaruh tegangan permukaan terhadap karakteristik aliran dua fase menggunakan fluida kerja udara, campuran air dan butanol. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang studi karakteristik untuk udara-air dan campuran butanol 3% pada pipa berukuran mini dengan kemiringan 10° terhadap posisi horizontal untuk mendapatkan pengetahuan yang lebih mendalam dari percobaan sebelumnya.

2. Metode Penelitian

Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas yang digunakan adalah udara yang memiliki kelembaban rendah yang didapat dari kompresor yang telah dilengkapi dengan *water trap*, sedangkan untuk fluida cair yang digunakan adalah campuran air dan butanol 3% yang dialirkan ke dalam bejana bertekanan dengan bantuan pompa. Penelitian ini dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,025 - 66,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan (J_L) = 0,033 - 4,935 m/s.

Penelitian dilakukan pada suatu Instalasi peralatan yang ditunjukkan pada gambar 1. Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama: tangki air, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *mixer*, *test section*, konektor dan separator. Peralatan yang mendukung dalam penelitian ini antara lain: kamera, amplifier, komputer, *optical correction box*, *acquisition system*, dan video *processing system*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : Mpx, data

akuisisi, temperature indicator, pressure indicator, flowmeter udara, flowmeter air. dan thermocouple.



Gambar 1. Skema alat penelitian

2.1. Pola aliran

Untuk pengolahan data pola aliran diperoleh dari pengujian berupa video yang didapat dari kamera berkecepatan tinggi. Dari hasil video yang berhasil terekam pada kamera kemudian hasil video diamati sehingga dapat ditentukan jenis pola alirannya. Kemudian pola aliran yang berhasil diamati didistribusikan ke dalam peta pola aliran sesuai dengan nilai kecepatan superfisialnya.

2.2. Fraksi hampa

Pengolahan fraksi hampa didapatkan dari video yang telah direkam dengan menggunakan kamera dengan kecepatan 1200 fps dipindah ke komputer. Masing-masing video tersebut kemudian diberi garis hitam pada sisi kanan dan sisi kiri *software* AVS video editor untuk memudahkan MATLAB dalam membaca nilai fraksi hampa. Setelah semua video diberi garis hitam di sisi kanan dan sisi kiri, video tersebut dipecah menjadi gambar-gambar menggunakan *software* Virtual Dub. Gambar-gambar tersebut kemudian diolah menggunakan *software* MATLAB.

2.3. Gradien tekanan

Untuk mengukur *pressure drop*, digunakan sensor beda tekanan berupa pressure transducer dari *MPX sytem* yang dihubungkan dengan sisi masuk dan sisi keluar seksi uji. Data yang didapatkan dari sensor tersebut masih berupa data analog. Untuk mengubah data analog menjadi data digital digunakan akuisisi data dari *arduino UNO*. Sebelum digunakan sensor beda tekanan dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan manometer vertikal pada kondisi statis.

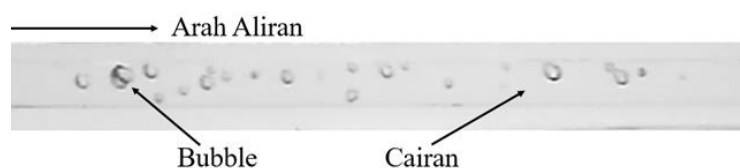
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pola Aliran

Dari hasil indentifikasi yang diperoleh dari video terdapat lima macam pola aliran yang terdeteksi yaitu : *plug*, *bubble*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Dengan mengatur kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L) .

3.1.1 Pola Aliran *Bubbly*

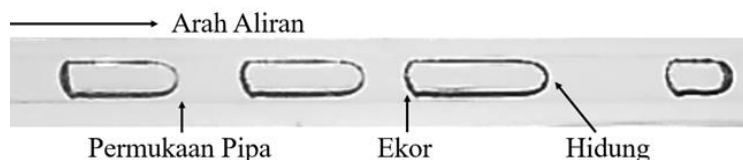
Terbentuknya pola aliran *bubble* ketika nilai kecepatan superfisial udara lebih rendah dari kecepatan superfisial cairan. Dengan debit air yang lebih besar daripada debit gas menyebabkan cairan di area mixer menumpuk, oleh sebab itu aliran *bubble* muncul ketika gas yang terkumpul dibagian atas dari *mixer* menerobos cairan yang terkumpul. Semakin kecilnya saluran pada *mixer* mengakibatkan udara yang terkumpul terus mendorong cairan sehingga menyebabkan terjadinya aliran dua fase, kemudian aliran udara yang berhasil keluar seperti terpotong-potong.



Gambar 2. Pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

3.1.2 Pola Aliran *Plug*

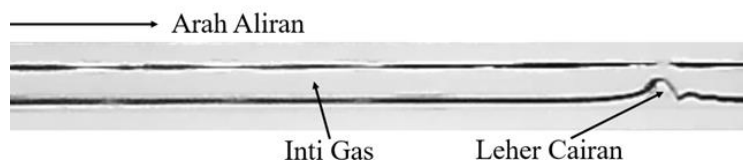
Pola aliran *plug* terbentuk saat kecepatan superfisial gas dinaikan sedangkan kecepatan superfisial cair pada aliran *plug* cenderung rendah dibandingkan dengan aliran *bubble*. Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada kecepatan (J_G) = 0,025 m/s sedangkan kecepatan (J_L) = 0,033 m/s, Pola aliran *plug* bergerak dengan kecepatan konsisten dengan kondisi tertentu.



Gambar 3. Pola aliran *plug* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

3.1.3 Pola Aliran *Slug-annular*

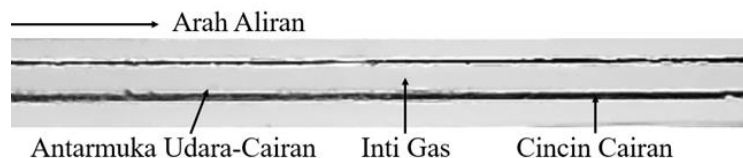
Pola ini terjadi pada saat aliran udara sudah *continue* dan sementara aliran air bagian bawah maupun atas saluran pipa membentuk gelombang. Lapisan air yang ada pada bagian atas saluran pipa biasanya cenderung lebih tipis dari bagian bawah, terbentuknya pola aliran *slug annular* akibat adanya kenaikan pada kecepatan superfisial gas (J_G). sehingga yang tadinya pola aliran *plug* yang terpotong oleh air kini berhasil ditembus oleh aliran udara, karena tegangan permukaan tak mampu mempertahankan bentuknya dan terbentuklah pola aliran *slug annular*.



Gambar 4. Pola aliran *slug-annular* pada $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.1.4 Pola Aliran *Annular*

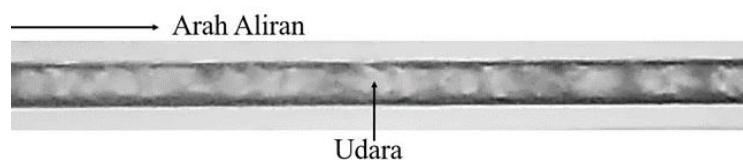
Pola aliran *annular* seperti pola aliran *slug annular* yang memiliki gelombang kecil yang lebih banyak yang terdapat pada bagian atas dan bawah *liquid film*. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan lebih jelas aliran *annular* memiliki gelombang kecil dibagian atas dan bawah yang bergerak cepat.



Gambar 5. Pola aliran *annular* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.1.5 Pola Aliran Churn

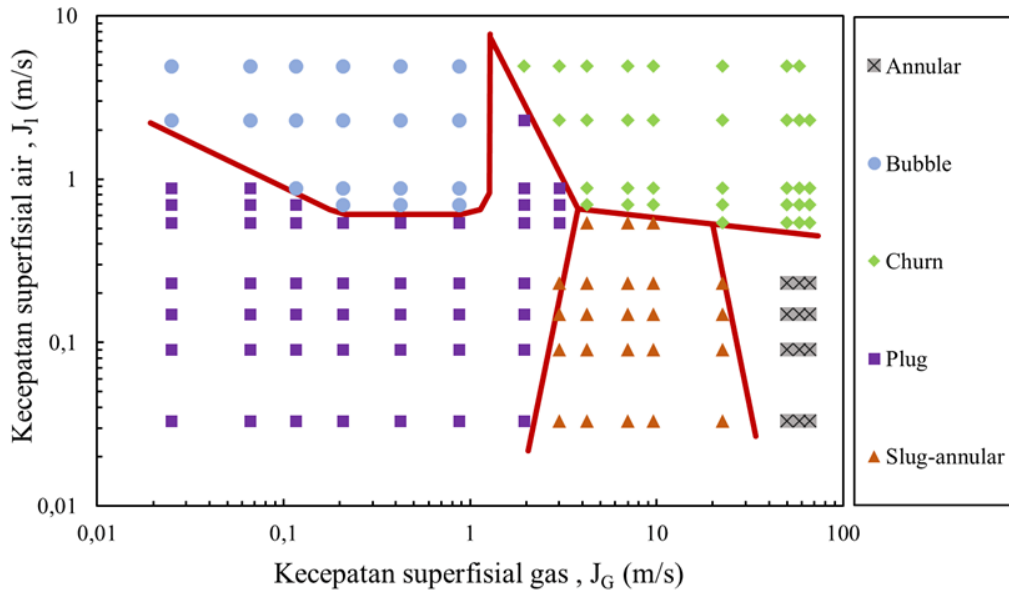
Pola aliran *churn* dapat terjadi dari transisi aliran *plug*, *slug annular*, dan *annular*. Aliran *churn* terjadi ketika kecepatan superfisial cairan (J_L) dan kecepatan superfisial gas (J_G) sama-sama tinggi. ketika nilai (J_L) tinggi seharusnya pola yang terbentuk adalah pola aliran *plug* tapi karena nilai (J_G) juga tinggi maka cairan terdispersi menjadi ukuran yang sangat kecil dengan kecepatan sangat tinggi sehingga pola yang teramati hanya terlihat bayangan hitam bergerak sangat cepat pada aliran inti gas dan disertai fluida cair. Pada aliran *churn* yang bertransisi dengan aliran *slug annular* masih tersisa gelembung yang mengganggu aliran udara, sedangkan untuk pola aliran *churn* yang bertransisi dengan pola aliran *annular* cairan akan cenderung mendatar tanpa ada gelombang.



Gambar 6. Pola aliran *churn* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

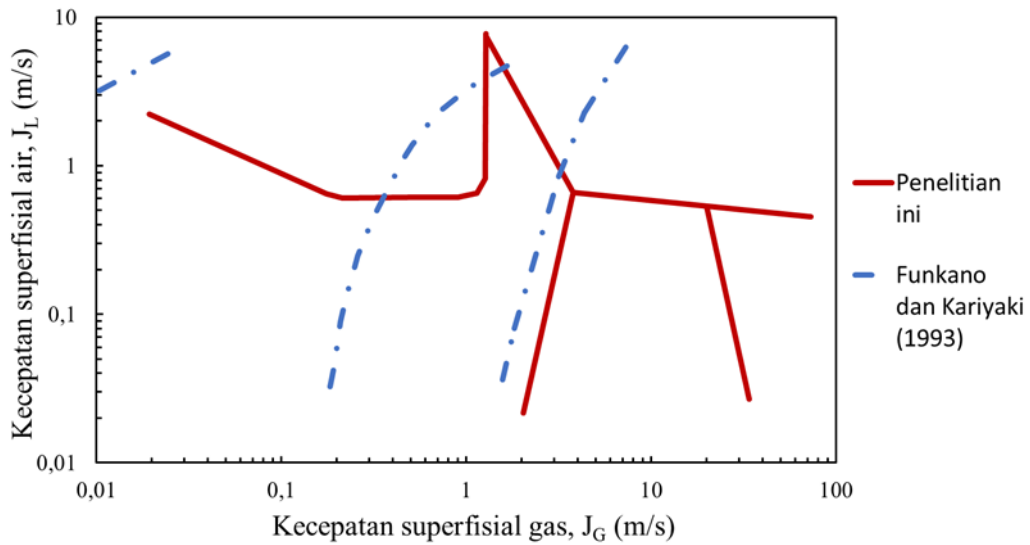
3.1.6 Peta Pola Aliran

Pola aliran yang telah dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya. Pada peta pola aliran tersebut jarak titik menunjukkan kecepatan superfisial fluida gas (J_G) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan titik kordinat kecepatan superfisial fluida cair (J_L) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 10. nilai pada kedua sumbu tersebut dinyatakan secara logaritmik. Pada peta pola aliran yang telah didapatkan terdapat pula garis transisi antar pola yang dimana garis transisi ini menunjukkan titik kordinat aliran manakah yang berubah antar pola aliran satu dengan pola alirannya.



Gambar 7. Peta pola aliran

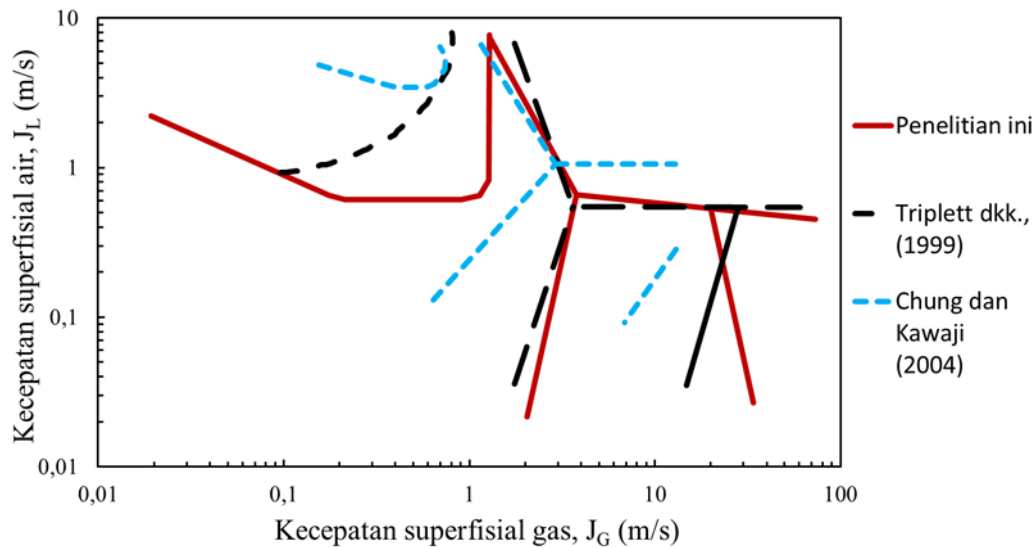
3.1.7 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 8. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

Pada gambar 8 garis transisi penelitian ini dengan penelitian Fukano dan Kariyaki. (1993) tentang aliran dua fase menggunakan tiga variasi saluran yaitu 1 mm, 2,4 mm dan 4,9 mm dengan menggunakan fluida kerja air dan udara. Selain itu parameter yang dibahas pada penelitiannya adalah orientasi saluran. Fukano dan Kariyaki (1993) memvariasikan salurannya menjadi tiga arah yaitu horizontal, vertikal ke bawah dan vertikal ke atas. Perbandingan peta pola aliran Fukano dan Kariyaki (1993) terhadap penelitian ini dapat dilihat pada gambar 8 perbedaan yang sangat mencolok terjadi pada perbandingan peta pola aliran ini. Hal tersebut terjadi karena pada penelitiannya Fukano dan Kariyaki (1993) mengklasifikasikan pola alirannya menjadi tiga yaitu bubble, intermittent dan annular. Garis transisi intermittent/annular Fukano dan Kariyaki (1993) hampir sejajar dengan garis transisi plug/slugannular penelitian ini. Namun, garis transisi intermittent/annular muncul pada nilai J_G yang lebih kecil. Pola aliran bubble yang muncul pada penelitian Fukano dan Kariyaki (1993) sangat sedikit bahkan bubble kecil tidak muncul pada aliran plug. Oleh

karena itu, garis transisi bubble/plug Fukano dan Kariyaki (1993) sangat berbeda dengan penelitian ini.



Gambar 9. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

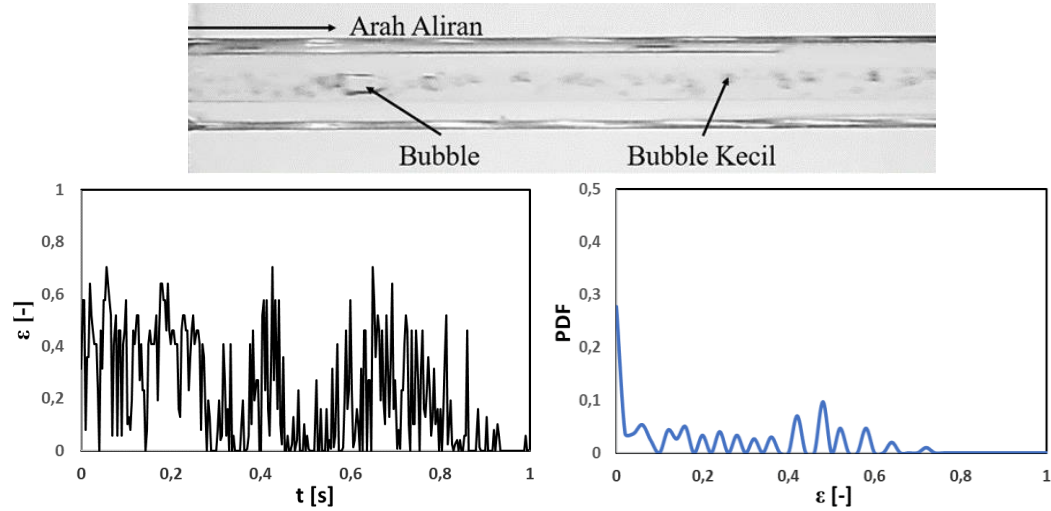
Pada gambar 9 garis transisi penelitian ini dengan penelitian Triplett dkk. (1999) melakukan penelitian aliran dua fase pada saluran 1,097 mm dan 1,45 mm menggunakan fluida kerja udara dan air. Pada penelitiannya terdapat lima pola aliran yang berhasil diamati yaitu bubbly, slug, churn, slug-annular dan annular. Perbandingan peta pola aliran pada Gambar 9 menunjukkan peta pola aliran Triplett dkk. (1999) memiliki garis transisi yang menyerupai garis transisi penelitian ini. Namun, garis transisi antara bubbly/plug Triplett dkk. (1999) tidak seluas garis transisi penelitian ini. Selain Triplett dkk. (1999) peta pola aliran yang dihasilkan pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) juga hampir menyerupai dengan peta pola aliran penelitian ini. Penelitian yang dilakukan Chung dan Kawaji (2004) membahas tentang pengaruh diameter saluran pipa terhadap karakteristik aliran dua fase. Pola aliran yang berhasil diamati yaitu bubbly, slug, churn, slug-annular dan annular. Gambar 9 menunjukkan bubbly yang terbentuk pada penelitiannya memiliki jumlah yang sedikit terlihat dari garis transisi antara bubbly/plug memiliki luas yang lebih kecil dibandingkan dengan garis transisi penelitian ini dan Triplett dkk. (1999).

3.2 Fraksi Hampa

Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan 40° menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang mengandung campuran butanol 7%. Dari penelitian tentang pola aliran, aliran yang terdeteksi pada kenaikan persentase butanol adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Analisa fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (sisi inlet). Hasil *time-average* fraksi hampa kemudian diolah untuk menentukan nilai *Probability Distribution Function* (PDF) sebagai fungsi ϵ [-] (nilai fraksi hampa).

3.2.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

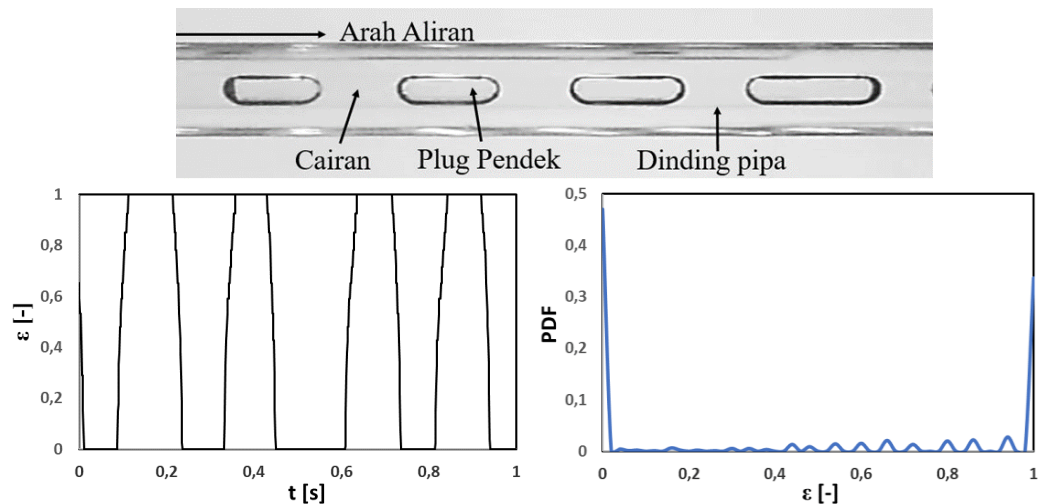
Pada pola aliran *bubbly* yang terjadi biasanya diawali dengan munculnya gelembung-gelembung udara yang berbentuk bulatan kecil yang mengambang di antara batas dinding pipa. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial cairan (J_L) tinggi.



Gambar 10. Pola aliran *bubbly*, time average dan PDF pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

3.2.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

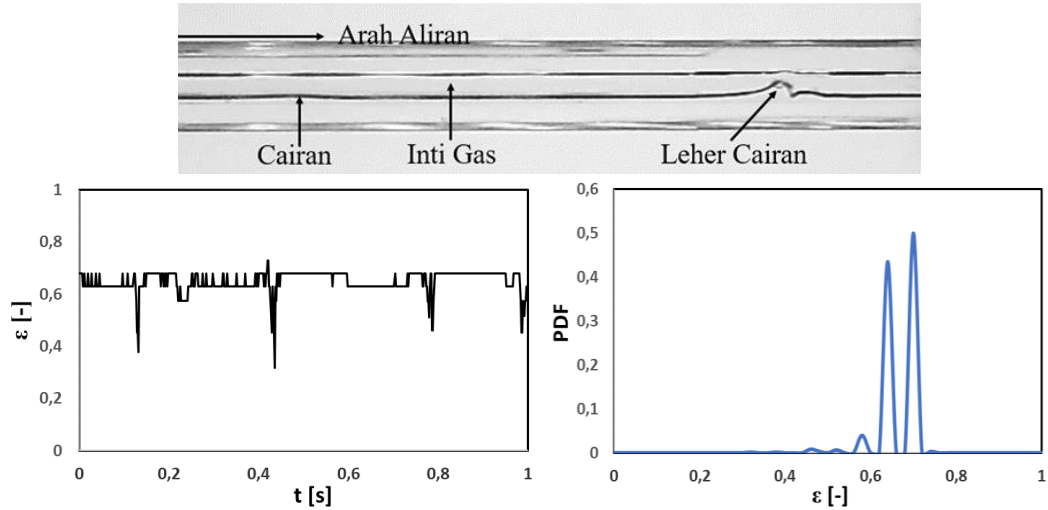
Pola aliran *plug* biasanya ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa mini. *Plug* adalah pola aliran yang berdasarkan bentuknya dikategorikan sebagai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



Gambar 11. Pola aliran *plug*, time average, dan PDF pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.2.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug Annular*

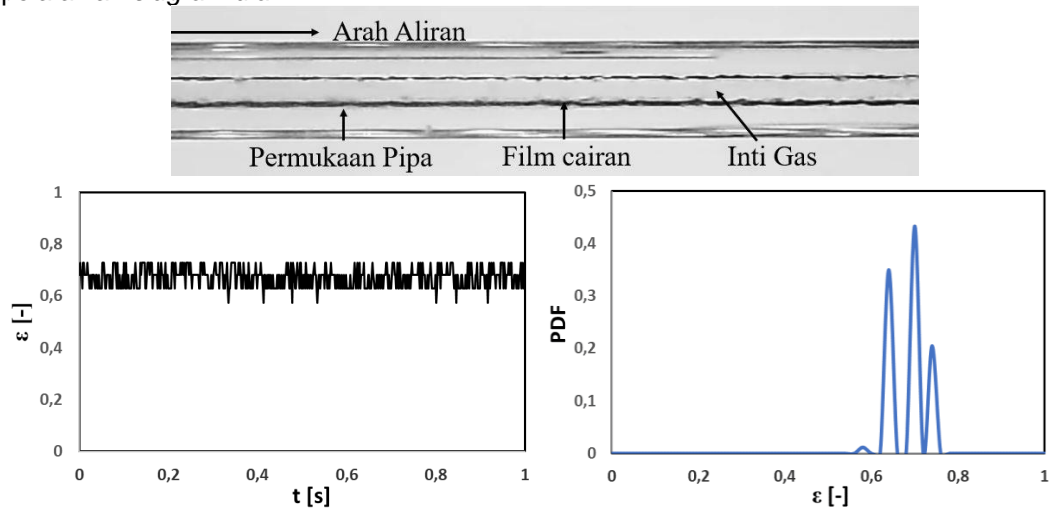
Pola aliran *slug-annular* adalah pola transisi antara pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada titik tertentu lebih terdapat lapisan film cairan yang lebih tebal dibanding titik lainnya. Hal tersebut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



Gambar 12. Pola aliran *slug annular*, time average, dan PDF pada $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.2.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

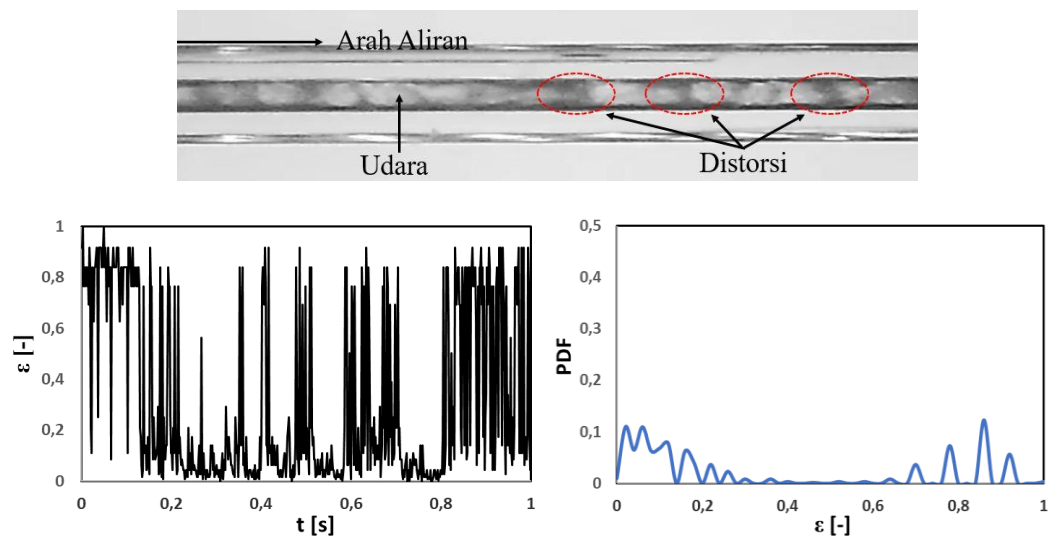
Pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana kecepatan superficial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superficial cairan (J_L) yang rendah mengakibatkan udara menembus bagian dari tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi secara merata dan simetris pada bagian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



Gambar 13. Pola aliran *annular*, time average, dan PDF pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

3.2.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

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

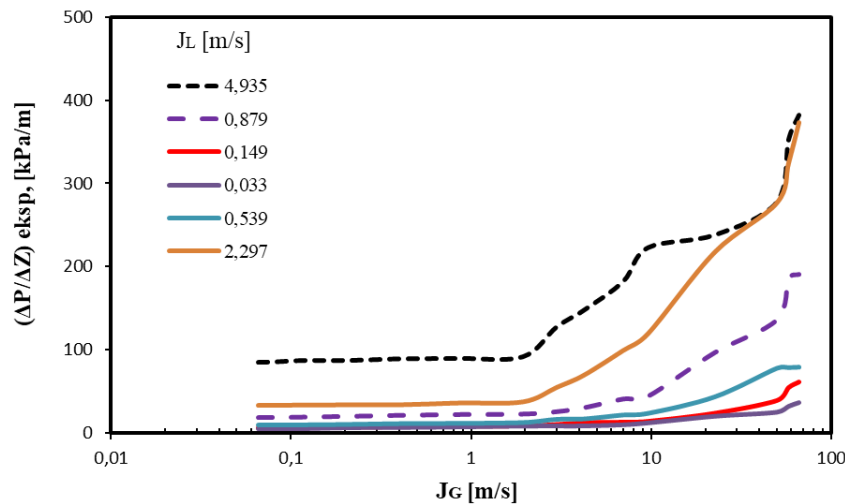


Gambar 14. Pola aliran *churn*, time average, dan PDF pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

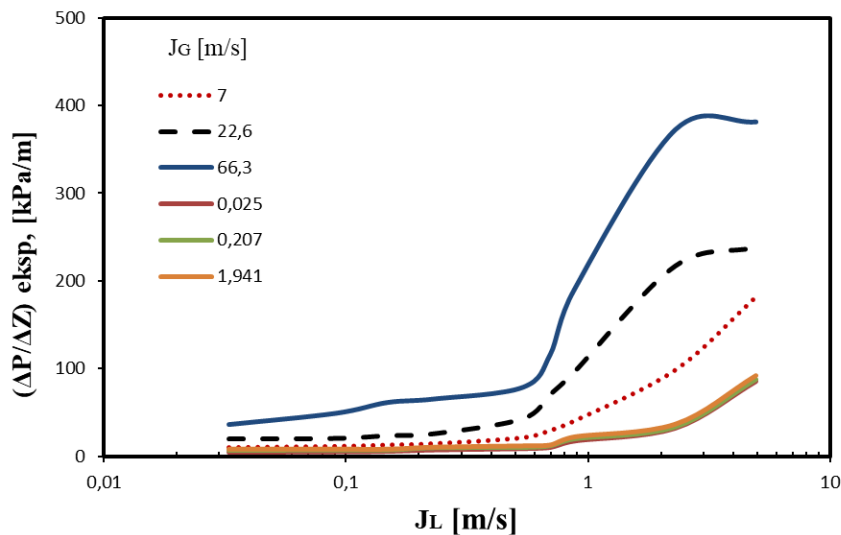
3.3 Gradien tekanan

Pada penelitian ini kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L) dibuat bervariasi untuk mengetahui pengaruh yang terjadi akibat kenaikan maupun penurunan kecepatan superfisial terhadap gradien tekanan. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari perubahan kecepatan superfisial terhadap nilai gradien tekanan.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 15 dan 16 jika kecepatan superfisial gas (J_G) mengalami peningkatan maka nilai dari gradien tekanan juga akan meningkat dan jika kecepatan superfisial liquid (J_L) mengalami peningkatan maka nilai gradien tekanan juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena kenaikan J_G dan J_L akan menaikkan superfisial total dari aliran fluida (*total volumetric flux*) yang berpengaruh pada kenaikan gradien tekanan secara signifikan.



Gambar 15. Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L



Gambar 16. Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G ,

4. Kesimpulan.

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

1. Terdapat lima pola aliran yang berhasil diamati pada penelitian ini yaitu: pola aliran plug, pola aliran bubbly, pola aliran slug-annular, pola aliran annular dan pola aliran churn.
2. Peta pola aliran didominasi oleh pola aliran plug.
3. Perbandingan peta pola aliran pada penelitian ini memiliki garis transisi yang tidak berbeda jauh dengan penelitian sebelumnya yaitu Triplett dkk. (1999) dan Chung dan Kawaji (2004). Hal tersebut terlihat pada pergeseran garis transisi yang tidak begitu jauh.
4. Pola aliran berperan penting dalam menentukan nilai fraksi hampa.
5. Pada pola aliran plug dan bubbly meningkatnya nilai JG menyebabkan nilai fraksi hampa juga meningkat.
6. Pada pola aliran slug-annular terjadi penurunan nilai fraksi hampa, hal tersebut disebabkan oleh liquid neck yang muncul pada titik tertentu pada seksi uji.
7. Kecepatan superfisial fluida gas (Jg) maupun kecepatan superfisial fluida liquid (JL) sangat berpengaruh terhadap nilai dari gradien tekanan. Gradien tekanan mengalami peningkatan akibat pengaruh (JL) dengan rentang yaitu 0,149; 0.879 dan 4,935 m/s dan variasi (JG) 0 – 66.3 m/s. Gradien tekanan juga meningkat akibat pengaruh dari (JG) dengan rentang 7; 22,6 dan 66,3 m/s dan variasi (JL) 0.033 - 4.935 m/s.

Daftar Pustaka

Journal:

- [1] 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.
- [2] Fukano, T., Kariyasaki, A., 1993, Characteristics of Gas-Liquid Two-Phase Flow in A Capillary Tube. *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 141, pp. 59-68.
- [3] He, K., Wang, S., Huang, J., 2011, The effect of surface tension on phase distribution of two-phase flow in a micro-T-junction, *Chemical Engineering Science*, Vol. 66, pp. 3962–3968.
- [4] Kawahara, A., Chung, P.M.Y., Kawaji, M., 2002, Investigation of Two-Phase Flow Pattern, Void Fraction, and Pressure Drop in A Microchannel. *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 28, pp. 1411-1435.
- [5] Rivera, F. R., Belchi, A. L., Garcia, F. V., 2015, Two phase flow pressure drop in multiport mini-channel tubes using R134a and R32 as working fluids. *Internasional Journal of Thermal Sciences*, Vol. 92, pp. 17-33.
- [6] Serizawa, A., Feng, Z., Kawara Z., 2002, Two-Phase Flow in Microchannels. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, pp. 703–714.
- [7] 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*, Vol. 21, pp. 57–62.
- [8] Sukamta, Ilham, A. R., Sudarja, 2019, The Investigation of Void Fraction of Two-Phase Flow Air-Water and Glyserine (0-30%) in The Capillary Pipe with Slope of 5° to Horizontal Position, *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 20, pp. 8–17.
- [9] Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., Abdel-Khalik, S.I., Sadowski, D. L., 1999a, Gas-Liquid Two-Phase Flow in Microchannels Part I: Two-Phase Flow Pattern, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 25, pp. 377-394.
- [10] Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., Abdel-Khalik, S.I., LeMouel, A., McCord, B. N., 1999b. Gas-Liquid Two-Phase Flow in Microchannels Part II: Void Fraction and Pressure Drop, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 25, pp. 377-394.