

KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR DAN BUTANOL 7% PADA SALURAN KECIL POSISI MIRING 20°

Timur Brawijaya Devayana^a, Sudarja^b, Sukamta^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
[a](mailto:timurbrawijaya@gmail.com)[b](mailto:sudarja_msn@yahoo.com)[c](mailto:msukamta@gmail.com)

Abstrak

Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan panjang 130 mm dengan sudut kemiringan 20° terhadap posisi horizontal. Fluida yang digunakan yaitu campuran udara-air dan butanol 5%. Nilai kecepatan superfisial air dan udara dibuat bervariasi yaitu $J_L = 0,033 - 4,93$ m/s dan $J_G = 0,025 - 66,3$ m/s. Pada penelitian ini pola aliran diproses menggunakan metode visualisasi dengan program MOV to AVI kemudian diolah dengan *virtual dub*. Fraksi hampa dihitung menggunakan metode *digital image processing* dengan program MATLAB R2014a. Gradien tekanan menggunakan sensor tekanan fluida MPX System yang dihubungkan ke komputer. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pola aliran yang didapatkan yaitu : *annular, bubbly, churn, plug* dan *slug annular*. Peta pola aliran yang didapatkan pada penelitian ini lebih dominan pada pola aliran *plug* dan *churn*. Nilai fraksi hampa dipengaruhi oleh J_G dan J_L yang bervariasi dan pola aliran yang terjadi, ketika J_L tetap dengan J_G bervariasi menyebabkan nilai fraksi hampa naik sedangkan ketika J_G tetap dengan J_L bervariasi menyebabkan nilai fraksi hampa menurun. Sedangkan untuk hasil gradien tekanan menunjukkan bahwa kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cair (J_L) sangat mempengaruhi nilai gradien tekanan semakin tinggi nilai J_G dan J_L maka nilai gradien tekanan akan semakin naik. Nilai tegangan permukaan dan sudut kemiringan mempengaruhi terhadap bentuk pola aliran dan nilai gradien tekanan.

Kata kunci : aliran dua fase, tegangan permukaan, saluran kecil, kemiringan.

Abstract

*This research was conducted in the test section in the form of a glass pipe with a diameter of 1.6 mm with a length of 130 mm with an angle of 20° to the horizontal position. The fluid used is a mixture of air-water and 5% butanol. The superficial velocity values of water and air are varied, namely $J_L = 0.033 - 4.93$ m / s and $J_G = 0.025 - 66.3$ m / s. In this study flow patterns are processed using visualization methods with the MOV to AVI program and then processed with virtual dub. The void fraction was calculated using the digital image processing method with the MATLAB R2014a program. The pressure gradient uses the MPX System fluid pressure sensor that is connected to the computer. Based on the results of research conducted on the flow patterns obtained are: *annular, bubbly, churn, plug* and *annular slug*. The flow pattern map obtained in this study is more dominant in the *plug* and *churn* flow patterns. The value of the vacuum fraction is influenced by the varied J_G and J_L and the flow patterns that occur, when J_L remains with J_G varies causing the value of the void fraction to rise while when J_G remains with J_L varies causes the value of the empty fraction decreases. As for the pressure gradient results show that the gas superficial velocity (J_G) and liquid superficial velocity (J_L) greatly affect the pressure gradient value the higher the J_G and J_L values, the pressure gradient value will increase. The value of surface tension and the tilt angle affect the shape of the flow pattern and the pressure gradient value.*

Keywords: two-phase flow, surface tension, minni channel, declivity.

1. Pendahuluan

Aliran dua fase seringkali dijumpai dalam beberapa ilmu teknik dan fasilitas industri seperti *plant* tenaga uap konvensional, pembangkit listrik tenaga panas bumi dan kondensor. Aliran dua fase adalah bentuk yang paling sederhana dari aliran multifasa. Aliran multifasa merupakan aliran simultan beberapa fasa dapat gas, cair, dan padat. Aliran dua fase mempunyai fenomena yang sangat kompleks dibandingkan aliran satu fase diantaranya adalah interaksi antar fase, pengaruh deformasi permukaan dan pergerakan antara fluida, pengaruh ketidakseimbangan fase, dan perubahan *pressure drop*.

Ada beberapa macam yang dibedakan pada aliran dua fase yaitu berdasarkan fase pembentuknya (gas-cair, gas-padat, cair-padat), menurut kedudukan salurannya (mendatar, tegak, lurus, miring), menurut arah alirannya (searah keatas, searah kebawah, berlawanan arah, mendatar sejajar, mendatar berlawanan arah), menurut bentuk salurannya (lingkaran, persegi, segitiga), dan menurut ukuran salurannya (*convensional channel*, *minichannel*, *microchannel*). Hal ini menunjukkan bahwa studi mengenai aliran dua fase dapat bervariasi.

Studi tentang pola aliran pada saluran kecil pernah dilakukan oleh Sur dan Liu (2012) yaitu tentang study eksperimental dengan pipa diameter bagian dalam 100 μm , 180 μm dan 324 μm dari leburan silika. Mereka menggunakan udara dan air sebagai fluida kerja. Mereka mengidentifikasi empat bentuk aliran yang khas, yaitu, *bubbly*, *slug*, ring, dan aliran *annular*.

Jayadi dkk. (2015) memberi pengertian bahwa penelitian karakteristik aliran dua fase saluran kecil sangat tergantung pada tegangan permukaan dan viskositas. Dari ketergantungan tersebut menyebabkan beberapa parameter penting aliran dua fase yang meliputi: *flow behavior* pola aliran (*flow pattern* atau *flow regime*) dan peta pola aliran (*flow pattern map*), fraksi hampa (*void fraction*), dan perubahan tekanan (*pressure gradient* atau *pressure drop*).

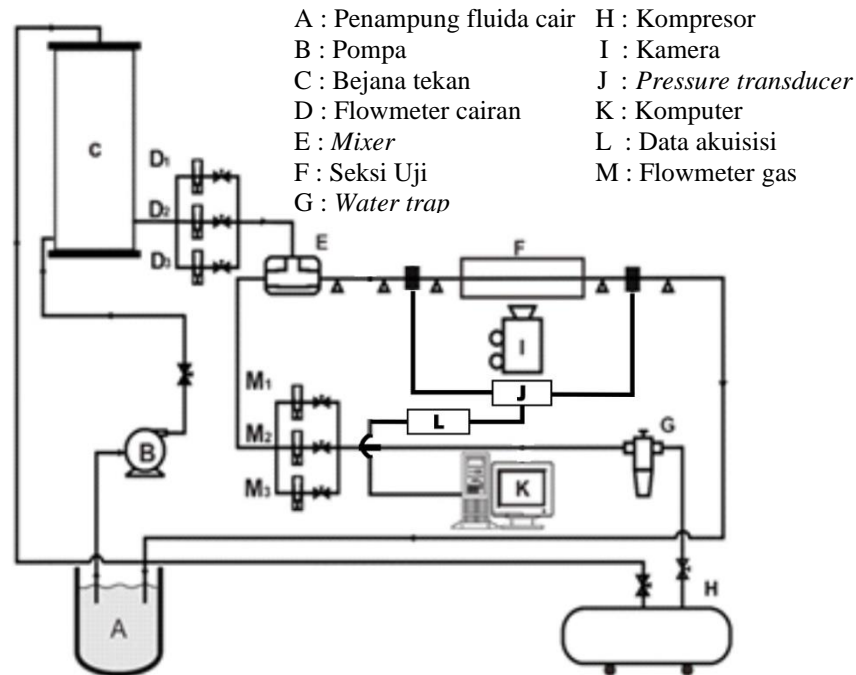
Aliran dua fase memiliki berbagai macam pola aliran seperti *bubble*, *plug*, *slug*, *annular*, *annular*, dan *churn*. Pola aliran terbentuk karena kecepatan superficial dari masing-masing fase dan arah aliran. Fraksi hampa (*void fraction*) merupakan salah satu parameter aliran dua fase yang digunakan untuk mengetahui kecepatan, panjang, dan frekuensi dari masing-masing pola aliran. Gradien tekanan adalah penurunan tekanan per satuan panjang, sepanjang pipa aliran. Ismail dkk. (2015) tentang investigasi *pressure drop*, pola aliran, dan limpahan cairan pada aliran dua fase yaitu minyak - air dan gas.

Jika pada penelitian Sudarja dkk. (2019) dengan diameter 1,6 mm dan fluida cair yang digunakan adalah air yang memiliki tegangan permukaan yang tinggi dan posisi saluran horizontal maka pada penelitian ini menggunakan campuran air dan butanol 7% yang memiliki nilai tegangan permukaan yang lebih rendah selain itu maka dibuat sudut kemiringan dibuat 20°. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek penurunan nilai tegangan permukaan dan sudut kemiringan untuk mendapatkan informasi mengenai karakteristik aliran dua fase pada saluran kecil dengan diameter yang masih 1,6 mm.

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 7% yang dialirkan ke dalam bejana tekan dengan bantuan pompa. Penelitian ini dilakukan pada kecepatan superficial gas (J_G) = 0,025-66,300 m/s dan kecepatan superficial cairan (J_L) = 0,033-4,935 m/s.

Penelitian dilakukan pada suatu Instalasi peralatan yang ditunjukkan pada gambar 1. Komponen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu tangki air, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *mixer*, *test section*, konektor dan *separator*. Peralatan yang mendukung dalam penelitian ini antara lain: kamera, komputer dan *correction box*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *Pressure transducer*, data akuisisi, *pressure indicator*, flowmeter udara dan flowmeter air.



Gambar 1. Skema alat penelitian

2.1 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan zat cair diakibatkan karena gaya yang bekerja pada zat cair tersebut. Di bagian dalam cairan sebuah molekul dikelilingin oleh molekul lain di sekitarnya. Oleh karena itu molekul ditarik oleh gaya yang sama besar ke segala arah maka resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut sama dengan nol. Sedangkan molekul yang berada tepat dibawah permukaan zat cair memiliki resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut tidak sama dengan nol. Hal ini disebabkan ada gaya resultan yang arahnya ke bawah karena di bagian atas molekul tersebut tidak dikelilingin oleh molekul lain dengan demikian lapisan atas seakan-akan tertutup oleh lapisan selaput elastis yang ketat.

2.2 Pola Aliran

Pola aliran ditentukan dengan pengamatan visual, meskipun metode yang lain juga berguna seperti analisis spektral dari tekanan yang berfluktuasi pada fraksi volume, sudah ditemukan untuk beberapa keadaan jika pengalaman visual sulit didapatkan (Jones dan Zuber, 1974).

2.3 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.

2.4 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.

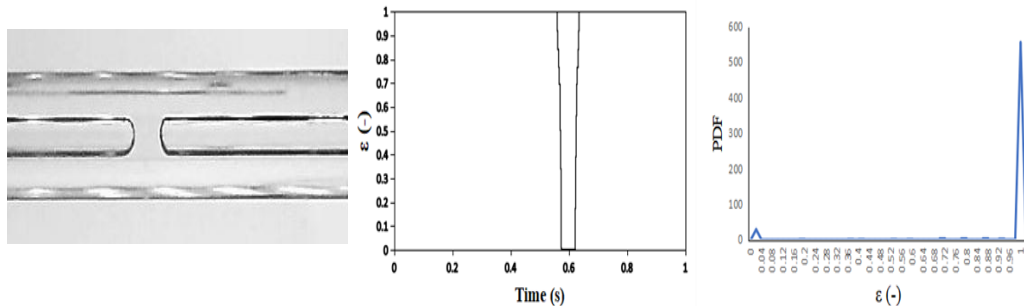
3. Hasil dan Pembahasan

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 Pola Aliran dan Fraksi Hampa

3.1.1 Pola Aliran *Plug* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Plug*

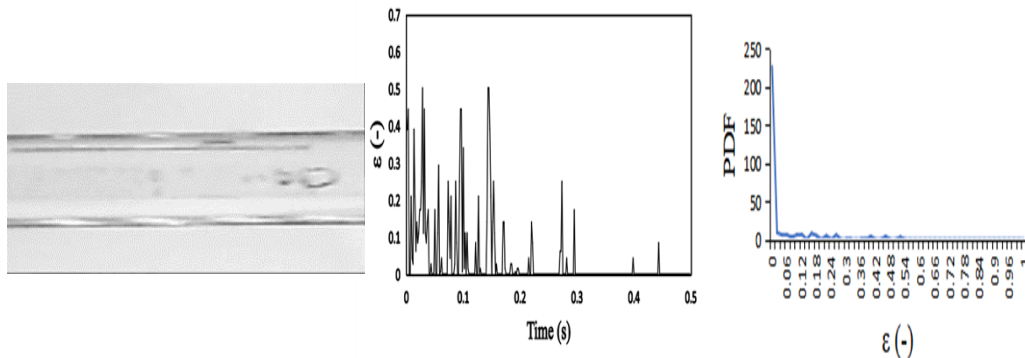
Pola aliran plug hampir sama dengan pola aliran bubble bedanya pada aliran plug bentuknya memanjang seperti peluru atau kapsul. Pola aliran plug terbentuk pada saat kecepatan superfisial gas (J_G) lebih besar dari pada nilai kecepatan superfisial cair (J_L). Bentuk



Gambar 2. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.1.2 Pola Aliran *Bubbly* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Bubbly*

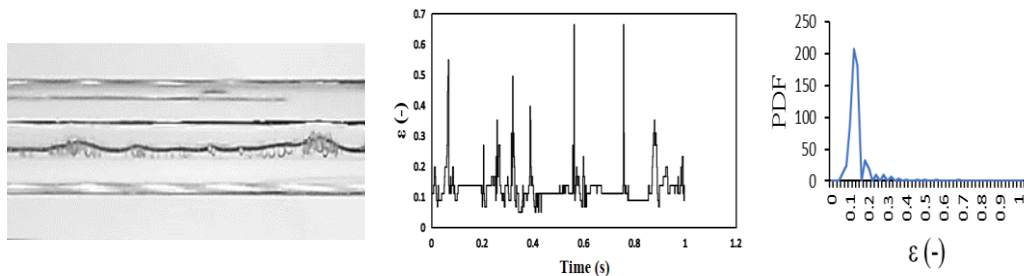
Pola aliran bubbly gelembung-gelembung kecil yang mengambang antara batas dinding pipa. Pola aliran bubbly biasanya terbentuk pada kecepatan superfisial gas kecil dengan kecepatan superfisial cair yang besar.



Gambar 3. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

3.1.3 Pola Aliran *Slug-Annular* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Slug-Annular*

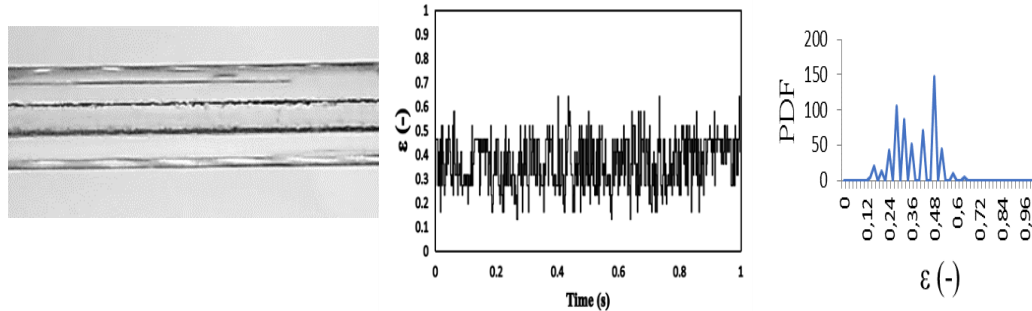
Pola aliran slug annular terbentuk ketika kecepatan superfisial udara naik menyebabkan pola aliran plug yang terpisah oleh air yang berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran slug annular.



Gambar 4. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.1.4 Pola Aliran *Annular* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Annular*

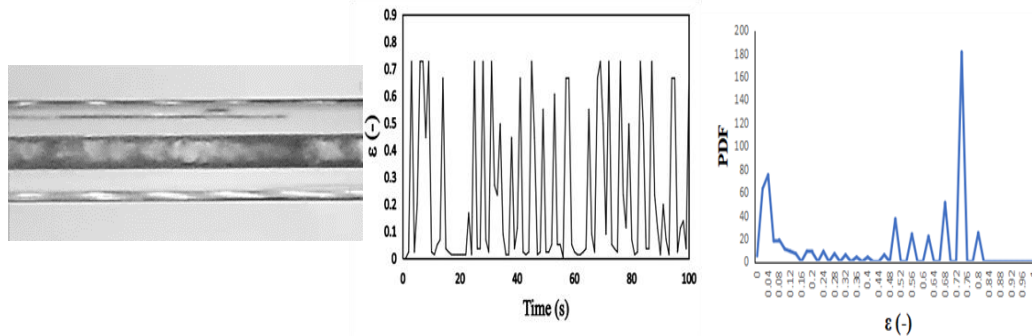
Pola aliran annular terjadi pada nilai kecepatan superfisial gas sangat tinggi dengan kecepatan superfisial cair rendah. Jika dilihat dari pola aliran annular seperti pola aliran yang tenang, akan tetapi jika diamati lebih detail pola aliran annular memiliki gelombang kecil pada bagian muka pipa.



Gambar 5. Pola aliran, time average dan PDF pada JG = 50 m/s, JL = 0,033 m/s

3.1.5 Pola Aliran *Churn* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Churn*

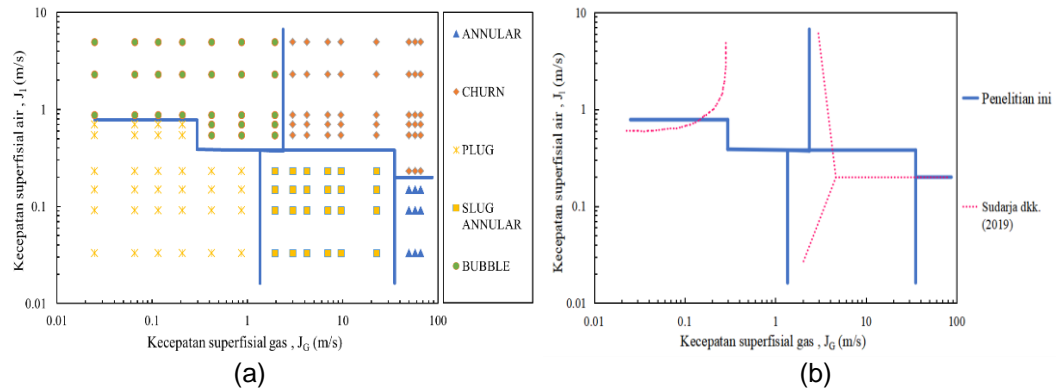
Pola aliran churn mulai muncul ketika nilai JG dan JL sama-sama tinggi, pola aliran churn muncul ketika pola aliran annular yang ditambahkan nilai JL, ketika nilai JL tinggi seharusnya yang muncul adalah pola aliran plug akan tetapi pengaruh dari nilai JG dan JL yang sama-sama tinggi membuat pola aliran yang muncul adalah pola aliran churn.



Gambar 6. Pola aliran, time average dan PDF pada JG = 22,6 m/s, JL = 0,7 m/s

3.1.6 Peta Pola Aliran

Peta pola aliran dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7. (a), sedangkan pada gambar 7. (b) adalah perbandingan garis transisi peta pola aliran dari penelitian Triplett dkk (1999) dan Chung dan Kawaji (2004). Pada Gambar 7. (b) Chung dan Kawaji (2004) menggunakan campuran gas nitrogen dan air, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara-air dan campuran butanol 5%. Dari kedua penelitian tersebut menghasilkan bentuk pola aliran yang sama yaitu *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Pada gambar 7 (b) memperlihatkan perbedaan garis transisi pola aliran antara penelitian ini dengan Triplett dkk. (1999). Penelitian ini menggunakan menggunakan saluran pipa mini horizontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu udara-air dan campuran butanol 5% dengan variasi sudut kemiringan pipa 20°, sedangkan pada penelitian Triplett dkk. (1999) saluran yang digunakan mikro sirkular dengan diameter 1,097 mm dengan fluida kerja yang digunakan yaitu air dan udara.

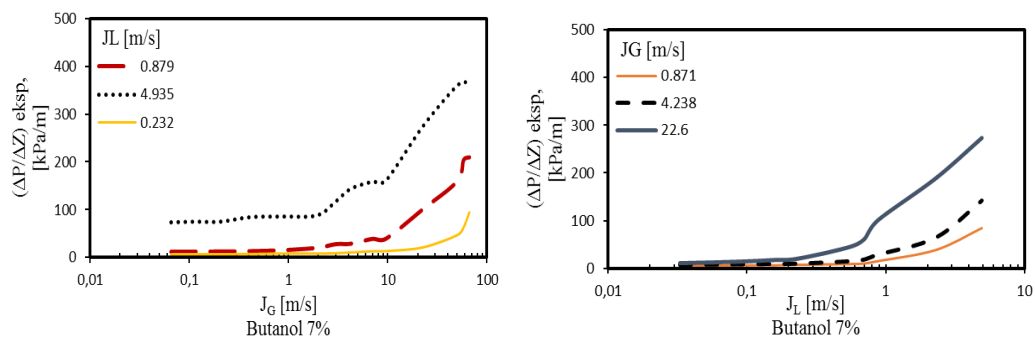


Gambar 7. (a) Peta pola aliran dan garis transisi dari penelitian ini (b) Perbandingan garis transisi peta pola aliran dengan peneliti terdahulu.

3.2 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 8. (a) dan 8. (b) 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 8. (a) Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L , (b) Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G

4. Kesimpulan.

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

1. Pola aliran yang didapat dari penelitian ini adalah *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular* dengan pola aliran yang mendominasi pada penelitian ini adalah *plug* dan *churn* dan terjadi perubahan dari pola aliran *plug* dengan penurunan nilai tegangan permukaan dan variasi sudut kemiringan tetapi pada aliran bubble, slug-annular, annular dan churn tidak signifikan.
2. Semakin tinggi kecepatan superfisial gas maka nilai fraksi hampa yang diperoleh akan semakin meningkat, sebaliknya semakin tinggi kecepatan superfisial liquid maka nilai fraksi hampa yang diperoleh akan semakin menurun.
3. Kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cair (J_L) sangat mempengaruhi nilai gradien tekanan yang didapatkan dari hasil penelitian, semakin tinggi nilai J_G dan J_L maka nilai gradien tekanan akan semakin naik. Nilai tegangan permukaan dan sudut kemiringan sangat mempengaruhi terhadap nilai gradien tekanan.

Daftar Pustaka

Journal:

- Chung, P. M. Y., & Kawaji, M. (2004). The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannels. *International Journal of Multiphase Flow*, 30(7-8 SPEC. ISS.), 735–761.
- Goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A. (2019). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. M.I. Ali, M. Sadatomi, M. K. (1993). Adiabatic Two-Phase flow in narrow channels between two flat plates. 71, 657–666.
- Ismail, A. S. I., Ismail, I., Zoveidavianpoor, M., Mohsin, R., Piroozian, A., Mohd Shahir Misnan, & Mior Zaiga Sariman. (2015). Experimental Investigation 47 of Oil-Water Two-Phase Flow in Horizontal Pipes: Pressure Losses, Liquid Holdup, and Flow Patterns. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 127, 409–420.
- Jayadi, F., & Mada, G. (2015). Pola Aliran Air-Udara dan Campuran Gliserin-Air dan Udara. 20–26.
- Kawahara, A., Chung, P. Y., & Kawaji, M. (2002). Investigation of two-phase flow pattern, void fraction and pressure drop in a microchannel. *International Journal of Multiphase Flow*, 28(9), 1411–1435.
- Khaledi, H. A., Smith, I. E., Unander, T. E., & Nossen, J. (2014). Investigation of Two-Phase Flow Pattern, Liquid Holdup and Pressure Drop in Viscous Oil–Gas Flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 67, 37–51.
- Korawan, A. D. (2015). POLA ALIRAN DUA FASE (AIR + UDARA) PADA PIPA HORISONTAL DENGAN VARIASI KECEPATAN SUPERFISIAL AIR Keywords : Abstract :, 14(September), 57–63.
- Lee, C. Y., & Lee, S. Y. (2010). Lee and Lee (2010)-Pressure drop of two-phase dry-plug flow in round mini-channels- Effect.PDF.
- Noverdi, R., & Gutama, A. (n.d.). Investigasi Pola Aliran Dua-Fase Gas-Cairan Di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horisontal. (2).
- Pehlivan, K., Hassan, I., & Vaillancourt, M. (2006). Experimental study on two-phase flow and pressure drop in millimeter-size channels. *Applied Thermal Engineering*, 26(14–15), 1506–1514.
- Sudarja, Haq, A., Deendarlianto, Indarto, & Widyaparaga, A. (2019). Experimental study on the flow pattern and pressure gradient of air-water two-phase flow in a horizontal circular mini-channel. *Journal of Hydrodynamics*, 31(1), 102–116.
- Sukamta, Purnomo, & Rohmat, A. T (2010). Identifikasi Pola Aliran Dua Fasa Uap-Kondensat Pengukuran Beda Tekanan Pada Pipa Horisontal
- Sur, A., & Liu, D. (2012). International Journal of Thermal Sciences Adiabatic air e water two-phasse fl ow in circular microchannels. *International Journal of Thermal Sciences*, 53, 18–34.

Wibowo, R., Hudaya, Z. A., & Kabib, M. (2015). Penentuan Sub-sub Pola Aliran Stratified Air-Udara Pada Pipa Horisontal Menggunakan Pengukuran Tekanan