

KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR CAMPURAN BUTANOL 5% PADA SALURAN KECIL POSISI KEMIRINGAN 10^0

Kurnianto^a, Sudarja^b, Sukamta^c

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

^akurnianto177@gmail.com, ^bsudarja_msn@yahoo.com, ^cmsukamta@gmail.com

Abstrak

Aliran dua fase (*two-phase flow*) merupakan bagian dari aliran multi fase yang hanya melibatkan dua macam wujud dari suatu zat dalam sebuah aliran. Aliran dua fase dapat terjadi pada saluran atau pipa berukuran besar (*large channel*), normal (*normal channel*), mini (*mini channel*), mikro (*micro channel*), dan bahkan pada saluran nano (*nano channel*). Aliran dua fase banyak dijumpai baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri, seperti pada alat penukar panas, ketel uap, *geothermal* dan sistem perpipaian. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui informasi karakteristik mengenai pola aliran, peta pola aliran, fraksi hampa dan gradien tekanan aliran dua fase pada saluran pipa mini (*mini channel*).

Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan sudut kemiringan 10^0 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. Data karakteristik dari pola aliran dan fraksi hampa diambil dengan menggunakan *high speed camera* dengan kecepatan 1200 fps. Pada penelitian ini pola aliran diproses menggunakan metode visualisasi dengan program *MOV* ke *AVI* kemudian diolah dengan *virtualdub*. 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. 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.

Kata kunci : aliran dua fase, pola aliran, fraksi hampa, gradien tekanan, tegangan permukaan.

Abstract

Two-phase flow (two-phase flow) is part of a multi-phase flow that only involves two forms of a substance in a flow. Two-phase flow can occur in large channels or pipes (large channel), normal (normal channel), mini (mini channel), micro (micro channel), and even on the nano channel (nano channel). Two-phase flow is often found both in daily life and in industrial processes, such as in heat exchangers, boilers, geothermal and piping systems. This research aims to find out characteristic information about flow patterns, flow pattern maps, vacuum fractions and two-phase pressure gradient flow in mini channels.

This research was conducted in the test section in the form of a glass pipe with a diameter of 1.6 mm with an angle of 10° 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 $JL = 0.033 - 4.93 \text{ m/s}$ and $JG = 0.025 - 66.3 \text{ m/s}$. Characteristic data of flow patterns and vacuum fractions are taken using a high speed camera with a speed of 1200 fps. In this study flow patterns are processed using visualization methods with the MOV to AVI program and then processed with virtualdub. The vacuum 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 JG and JL and the flow patterns that occur. As for the pressure gradient results show that the gas superficial velocity (JG) and liquid superficial velocity (JL) greatly affect the pressure gradient value the higher the JG and JL values, the pressure gradient value will increase.

Keywords: Two-phase flow, flow pattern, vacuum fraction, pressure gradient, surface tension.

1. Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multi-fase yang melibatkan dua macam wujud zat dalam sebuah aliran. Dua zat tersebut bisa berupa cair-padat, padat-gas dan gas-cair. Aliran dua fase dapat terjadi pada saluran atau pipa yang berukuran besar (*large pipe*), normal (*normal pipe*), mini (*mini pipe*), dan mikro (*micro pipe*). Aliran dua fase juga banyak digunakan dalam dunia industri dan kehidupan sehari-hari. Penerapan dalam dunia industri dapat dijumpai pada peralatan berupa boiler, pembangkit tenaga nuklir, *heat exchanger*, dan sistem perpipaan, *geothermal* dan lain sebagainya.

Dalam penelitian aliran dua fase terdapat beberapa parameter dasar yang penting untuk di teliti. Parameter dasar tersebut yaitu: pola aliran, fraksi hampa dan gradien tekanan. Serizawa dkk., (2015) dan Triplett dkk., (1999) berpendapat bahwa karakteristik aliran dua fase pada pipa berukuran mini sangat tergantung terhadap tegangan permukaan. Hal lain yang mempengaruhi karakteristik aliran dua fase juga terdapat pada variasi kecepatan superfisial gas (J_G) dan (J_L) kecepatan superfisial cairan.

Pola aliran terbentuk karena adanya variasi dari kedua kecepatan superfisial yaitu gas (J_G) dan cairan (J_L). Salah satu penelitian yang dilakukan Triplett dkk., (1999) mengenai aliran dua fase pada pipa berukuran mini menggunakan pipa melingkar dengan diameter 1,09 dan 1,45 mm. Fluida kerja yang digunakan pada penelitian tersebut berupa air dan udara. Untuk mendapatkan data yang beragam dilakukan variasi terhadap kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan. Variasi pada kecepatan superfisial gas dimulai dari 0,02-80 m/s, sedangkan untuk kecepatan superfisial cairan dimulai dari 0,02-8 m/s. Pola aliran yang terbentuk yaitu: *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular* dan *annular*.

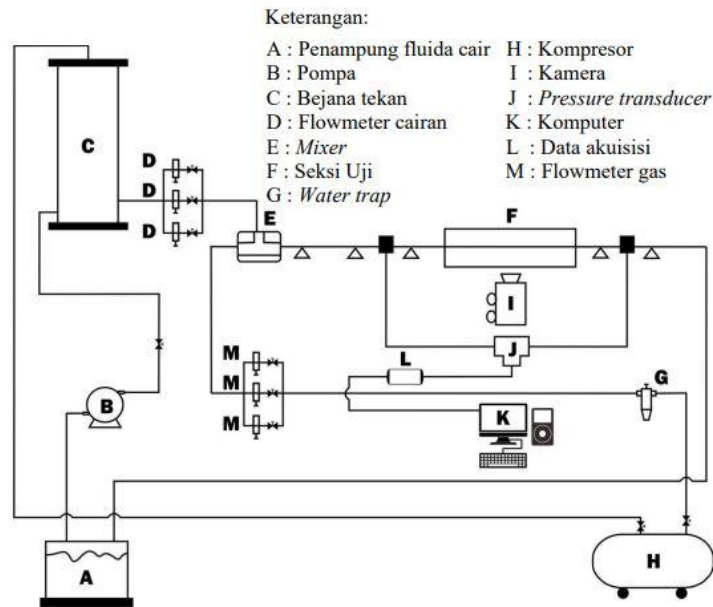
Fraksi hampa merupakan suatu parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui karakter aliran yaitu kecepatan relatif, menentukan prediksi perubahan transisi pola aliran, perpindahan panas dan menjadi dasar dalam perhitungan penurunan tekanan. Salah satu penelitian mengenai fraksi hampa pernah dilakukan oleh Sudarja dkk., (2015). Pipa yang digunakan memiliki diameter 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja udara dan akuades. Nilai fraksi hampa didapatkan dengan melakukan *image processing* video yang didapatkan menggunakan kamera Nikon J4 dengan kecepatan 1200 fps. Penelitian ini dilakukan dalam kondisi adiabatik dengan kecepatan superfisial gas 0,83 - 65,4 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,02 - 4,14 m/s.

Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian mengenai karakteristik aliran dua fase udara-air dan campuran butanol 5% pada pipa berukuran mini dengan kemiringan 10° terhadap posisi horizontal. Butanol yang digunakan memiliki nilai tegangan permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan air, hal tersebut dilakukan agar tegangan permukaan campuran memiliki nilai yang lebih rendah terhadap air.

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 5% 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* VirtualDub. 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

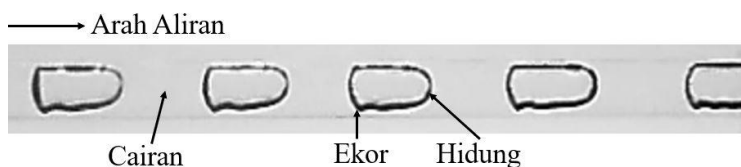
Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan video yang kemudian diamati sehingga teridentifikasi pola aliran yang terbentuk. Pola aliran yang terbentuk tersebut dipengaruhi oleh kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cairan (J_L). Pola aliran memiliki lima jenis bentuk yaitu *plug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*. Lima jenis pola aliran tersebut kemudian dimasukkan kedalam koordinat berdasarkan kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cairan (J_L) sehingga terbentuk peta pola aliran. Setelah terbentuk peta pola aliran kemudian hasilnya dibandingkan dengan peneliti yang terdahulu.

3.1.1 Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* memiliki bentuk memanjang yang menyerupai kapsul dengan ujung yang berbentuk setengah lingkaran. Pola aliran ini mulai terbentuk pada kecepatan superfisial gas $J_G = 0,025$ m/s dan kecepatan superfisial cairan $J_L = 0,033$ m/s. Bentuk dan panjang pola aliran *plug* berubah-ubah sesuai dengan kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cairan (J_L), semakin tinggi nilai kecepatan superfisial gas (J_G) maka bentuk *plug* akan semakin panjang sedangkan semakin tinggi kecepatan superfisial cairan (J_L) maka bentuk *plug* yang terbentuk akan semakin pendek sehingga dapat terbentuk pola baru berupa *bubbly*.



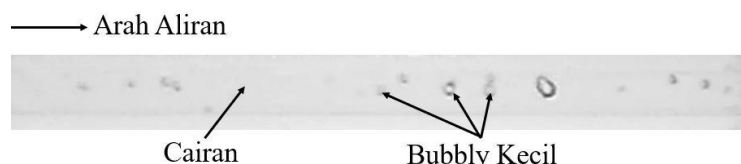
Gambar 2. Pola aliran *plug* pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s



Gambar 3. Pola aliran *plug* pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,700$ m/s

3.1.2 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* adalah pola aliran yang terbentuk ketika nilai J_G lebih rendah daripada nilai J_L . Ketika debit cairan lebih besar daripada gas, cairan akan terlebih dahulu masuk ke dalam *mixer* kemudian dengan debit udara yang kecil udara berkumpul didalam *mixer* kemudian terbentuklah pola aliran *bubbly*.



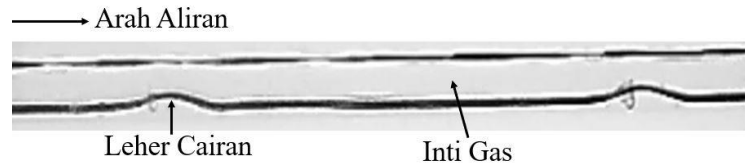
Gambar 4. Pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s



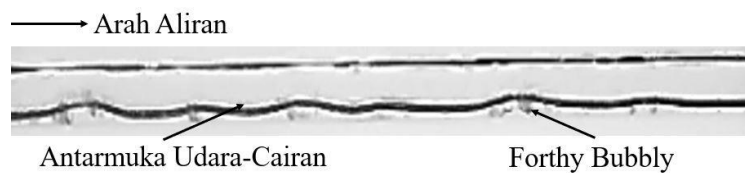
Gambar 5. Pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

3.1.3 Pola Aliran *Slug-annular*

Pola aliran *slug annular* memiliki bentuk yang hampir menyerupai *plug* panjang namun dibagian atas dan bawahnya terdapat aliran yang menyerupai gelombang. Pola aliran ini mulai terbentuk pada kecepatan superfisial gas $J_G = 3$ m/s dan kecepatan superfisial cairan $J_L = 0,033$ m/s. Pola aliran *slug annular* biasanya bercampur dengan pola aliran *bubbly*, hal tersebut terjadi karena pada saat kecepatan superfisial gas naik menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh cairan berhasil di terobos masuk oleh udara.



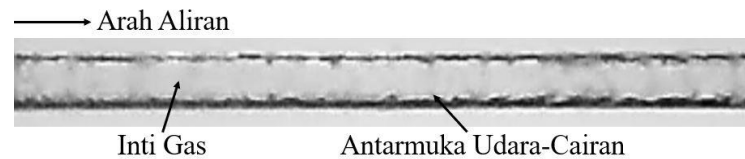
Gambar 6. Pola aliran *slug-annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s



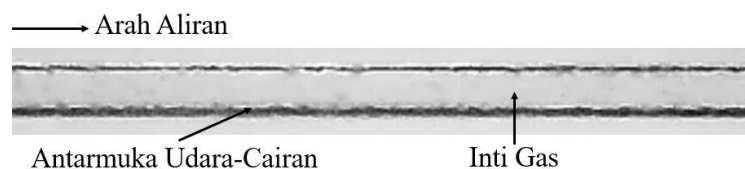
Gambar 7. Pola aliran *slug-annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

3.1.4 Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* merupakan pola yang terbentuk dari kumpulan cincin yang bersatu dalam satu aliran sehingga terbentuklah pola aliran *annular* tersebut. Pola ini terjadi ketika kecepatan superfisial gas lebih besar dibandingkan kecepatan superfisial liquid. Pola ini termasuk transisi dari pola aliran *slug annular* yang mengalami peningkatan nilai J_G dan J_L . Pola aliran *annular* banyak didominasi oleh gas yang berada dibagian tengah dan memiliki lapisan cairan tipis dibagian atas bawah dinding pipa, dibagian tersebut terdapat gelombang kecil yang membatasi antara gas dan liquid.



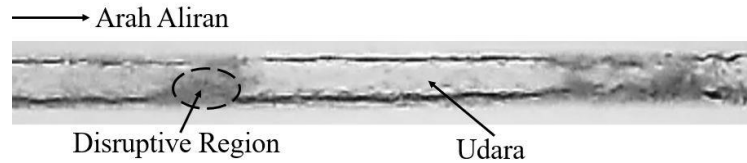
Gambar 8. Pola aliran *annular* pada $J_G = 58,08$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s



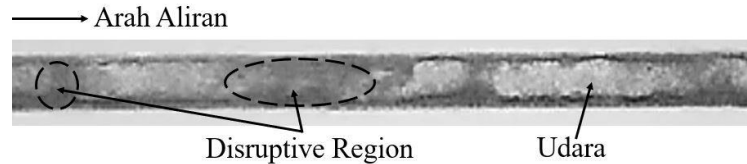
Gambar 9. Pola aliran *annular* pada $J_G = 66,30$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

3.1.5 Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial gas dan cairan yang relatif tinggi. Pola aliran ini terbentuk dari aliran *plug* yang diikuti oleh gelembung-gelembung kecil dibagian depan dan belakang dengan J_G dan J_L yang tinggi. Hal tersebut terjadi karena cairan dan udara bercampur jadi satu dengan kecepatan yang tinggi. Pola aliran *churn* ditandai dengan adanya bayangan hitam yang berada pada ujung inti gas disertai aliran udara yang sangat cepat.



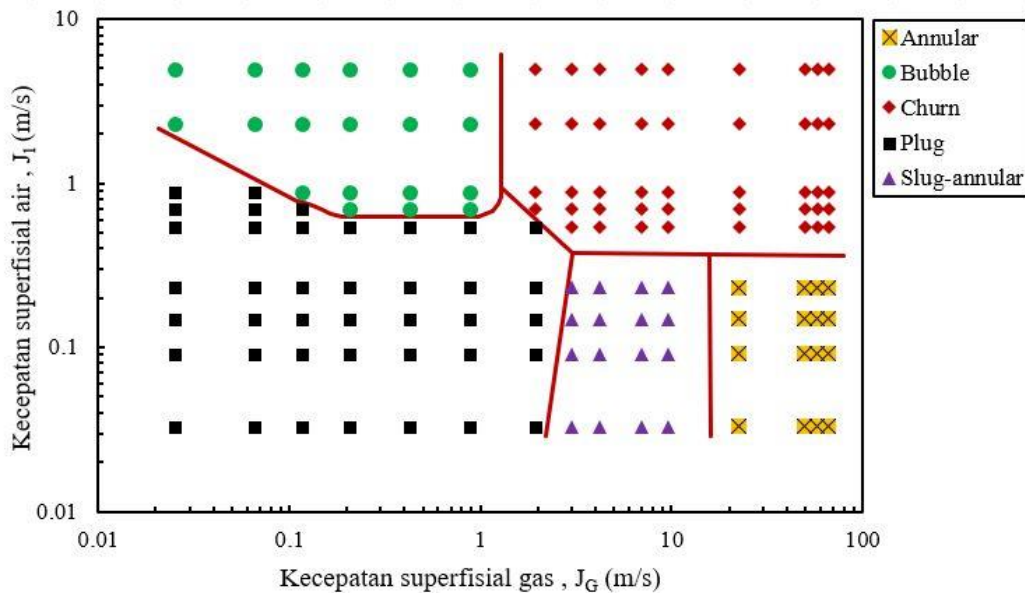
Gambar 10. Pola aliran *churn* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s



Gambar 11. Pola aliran *churn* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

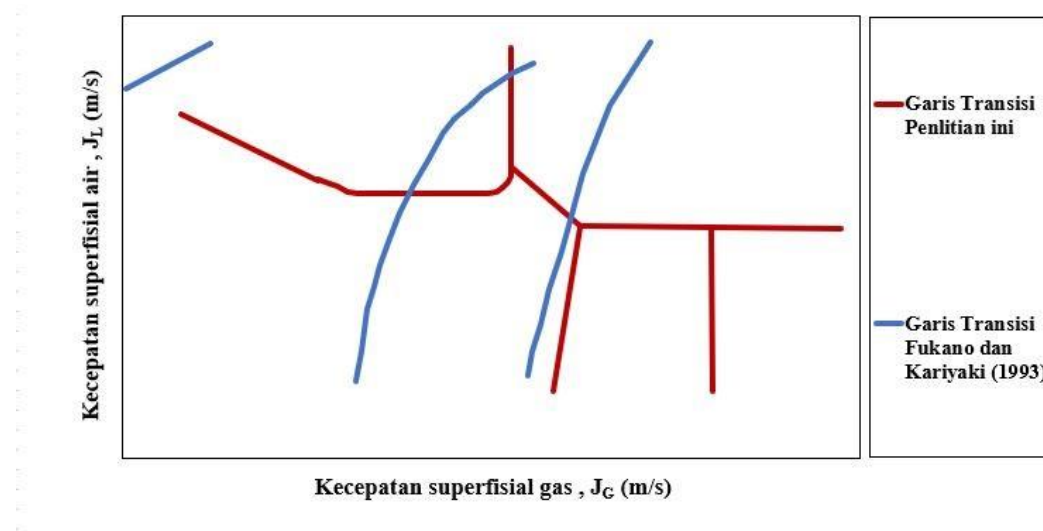
3.1.6 Peta Pola Aliran

Peta pola aliran terbentuk ketika semua pola aliran telah teridentifikasi kemudian pola tersebut dikelompokkan berdasarkan kecepatan superficial gas dan kecepatan superficial liquid. Pada sumbu x merupakan kecepatan superficial dengan nilai 0,01 m/s sampai 10 m/s sedangkan pada sumbu y merupakan kecepatan superficial cairan dengan nilai 0,01 m/s sampai 100 m/s. Nilai dari J_G dan J_L tersebut dinyatakan dalam skala logaritmik untuk mendapatkan data transisi yang akurat. Garis yang terlihat pada peta pola aliran merupakan transisi perpindahan pola aliran satu dengan yang lainnya.



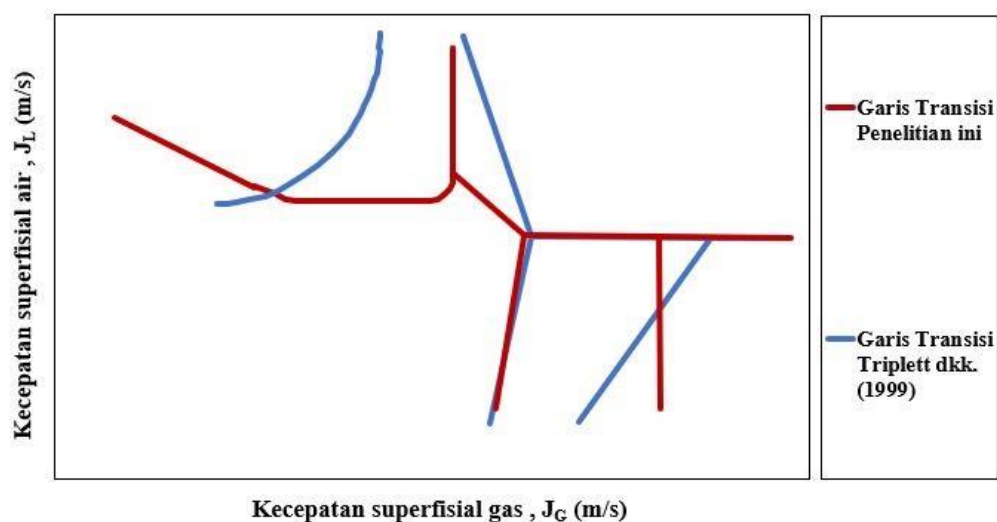
Gambar 12. Peta pola aliran dengan konsentrasi butanol 5%

3.1.7 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 13. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

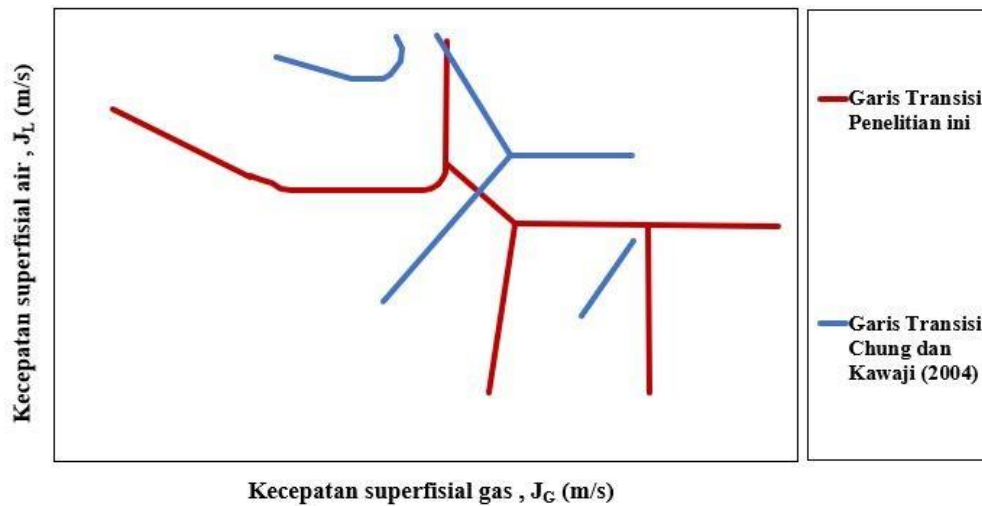
Penelitian yang dilakukan oleh Fukano dan Kariyaki. (1993) tentang aliran dua fase menggunakan tiga variasi saluran yaitu 1 mm, 2,4 mm dan 4,9 mm dengan menggunakan fluida kerja air dan udara. Selain itu parameter yang dibahas pada penelitiannya adalah orientasi saluran. Fukano dan Kariyaki (1993) memvariasikan salurannya menjadi tiga arah yaitu horizontal, vertikal ke bawah dan vertikal ke atas. Perbandingan peta pola aliran Fukano dan Kariyaki (1993) terhadap butanol 5% dapat dilihat pada gambar 13. 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 *bubbly*, *intermittent* dan *annular*. Garis transisi *intermittent/annular* Fukano dan Kariyaki (1993) hampir sejajar dengan garis transisi *plug/slugannular* butanol 5%.



Gambar 14. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

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 14. menunjukkan peta pola aliran Triplett dkk., (1999) memiliki garis transisi yang menyerupai garis transisi butanol 5%. Namun, garis transisi antara *bubbly/plug* Triplett dkk. (1999) tidak seluas garis transisi butanol 5%. Selain

itu, garis transisi antara *slug-annular/annular* bersilangan dengan garis transisi butanol 5% tetapi lebih condong ke arah kiri dengan nilai J_G yang lebih kecil. Garis transisi antara *slug-annular/annular* yang condong ke kiri menandakan bahwa pola aliran *annular* Triplett dkk. (1999) muncul pada J_G yang lebih rendah dibandingkan dengan butanol 5%.



Gambar 15. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

Peta pola aliran yang dihasilkan pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) juga hampir menyerupai dengan peta pola aliran butanol 5%. 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 4.4 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 butanol 5%. Garis transisi antara pola plug/churn yang terbentuk pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) hampir menyerupai garis transisi butanol 5%. Selain itu, perbedaan yang sangat mencolok dapat dilihat pada garis transisi churn/slug-annular yang sejajar dengan garis transisi butanol 5%. Namun, garis transisi churn/slug-annular Chung dan Kawaji (2004) muncul pada nilai J_L yang lebih tinggi dari kedua garis transisi churn/slug-annular lainnya.

3.2 Fraksi Hampa

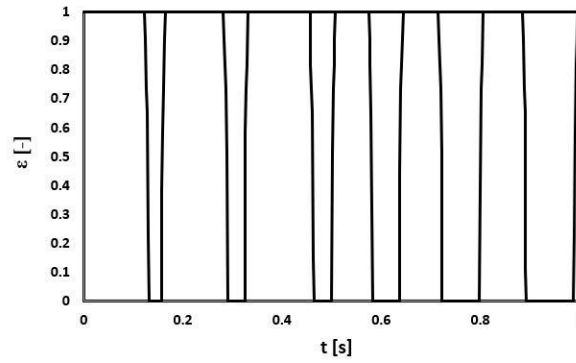
Fraksi hampa pada penelitian ini didapatkan dari pengolahan data pola aliran yang berhasil didapatkan dari pembahasan sebelumnya yaitu *plug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*. Pola aliran yang didapat kemudian diproses menggunakan *image processing* pada posisi 26 pixel (6,879 mm) dari sisi *inlet* yang kemudian menghasilkan *time-average*. Hasil *time-average* yang didapat kemudian digunakan untuk mengetahui nilai *Probability Distribution Function* (PDF) dengan fungsi fraksi hampa (ϵ [-]).

3.2.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

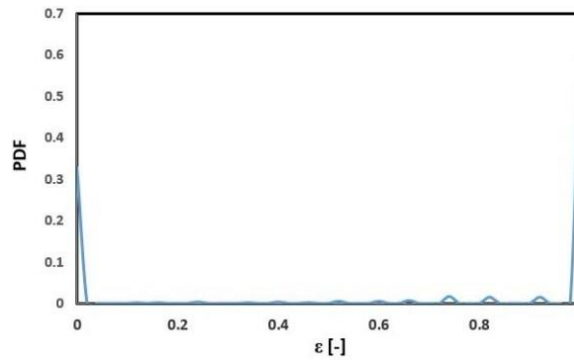
Pola aliran *plug* sering di temui dengan bentuk gelembung udara menyerupai bentuk peluru. Udara pada pola aliran *plug* hampir menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola yang bervariasi. Pola aliran *plug* pada saluran mini muncul ketika nilai J_G dan nilai J_L sama-sama rendah ditandai dengan munculnya *elongated bubble* atau yang biasa disebut dengan *plug*.



Gambar 16. Fraksi hampa pola aliran *plug* pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s



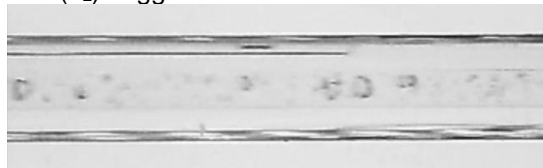
Gambar 17. Time average pola aliran *plug* pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s



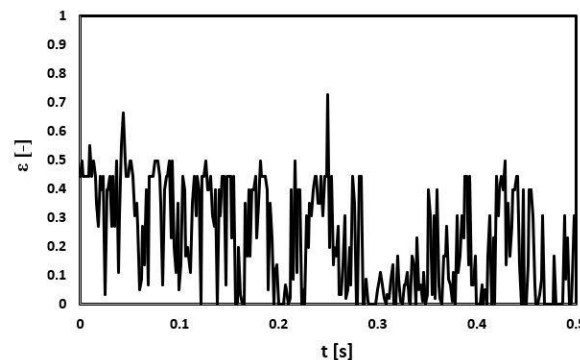
Gambar 18. PDF pola aliran *plug* pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

3.2.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

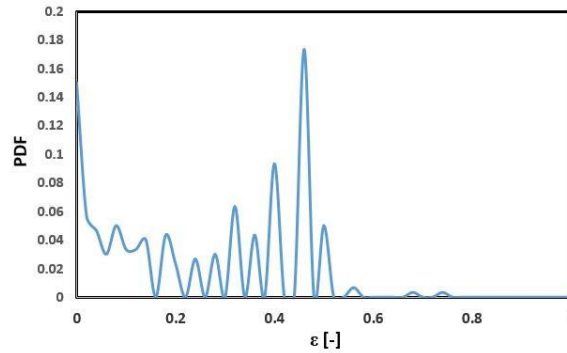
Pada pola aliran *bubbly* yang terjadi biasanya diawali dengan munculnya gelembung-gelembung udara yang berbentuk bulatan kecil yang mengambang di antara batas dinding pipa. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial cairan (J_L) tinggi.



Gambar 19. Fraksi hampa pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s



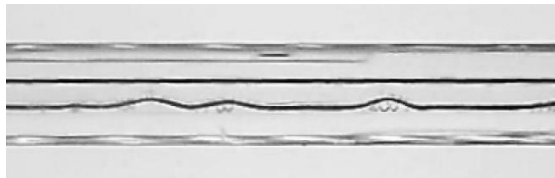
Gambar 20. Time average pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s



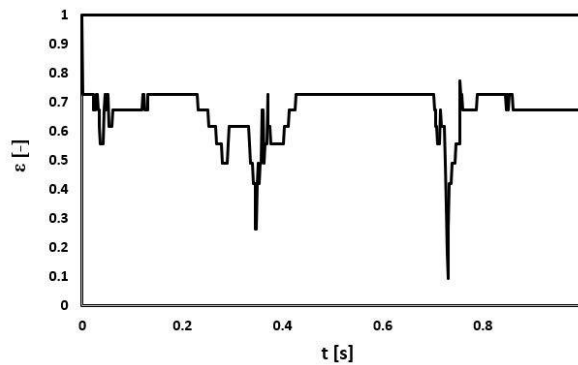
Gambar 21. PDF pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

3.2.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug Annular*

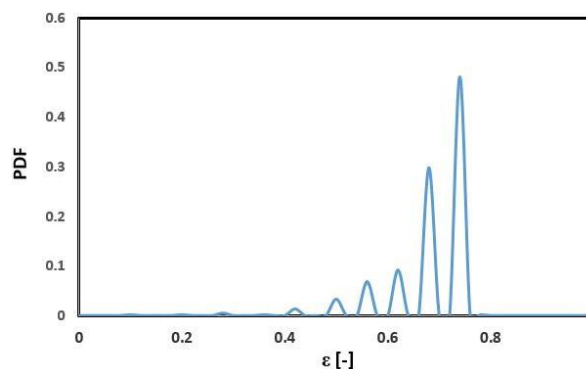
Pola aliran *slug-annular* adalah pola transisi antara pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada titik tertentu lebih terdapat lapisan film cairan yang lebih tebal dibanding titik lainnya. Hal tersebut 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 22. Fraksi hampa pola aliran *slug annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s



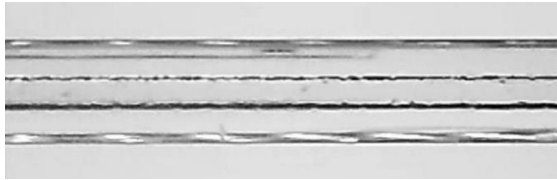
Gambar 23. *Time average* pola aliran *slug annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s



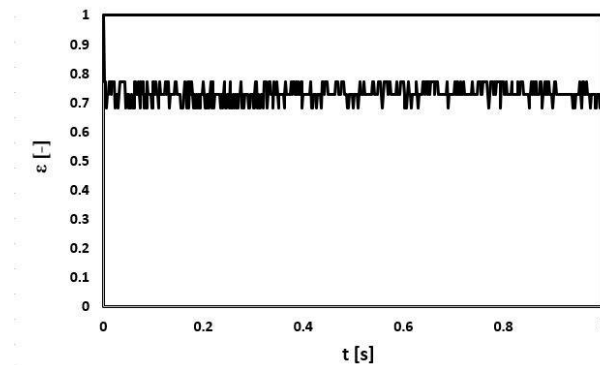
Gambar 24. PDF pola aliran *slug annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.2.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

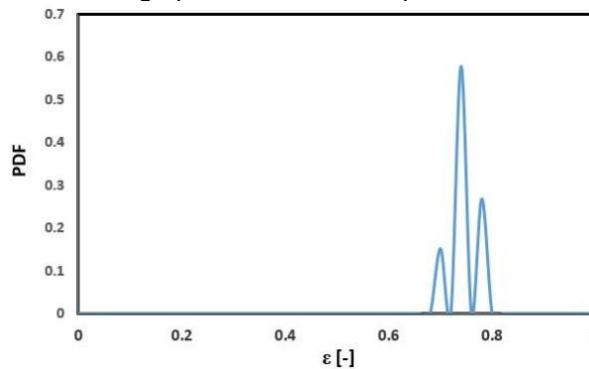
Pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana kecepatan superfisial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang rendah mengakibatkan udara menembus bagian dari tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi secara merata dan simetris pada bagian 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 25. Fraksi hampa pola aliran *annular* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s



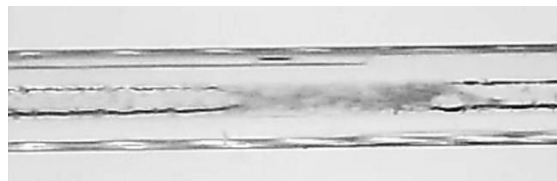
Gambar 26. *Time average* pola aliran *annular* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s



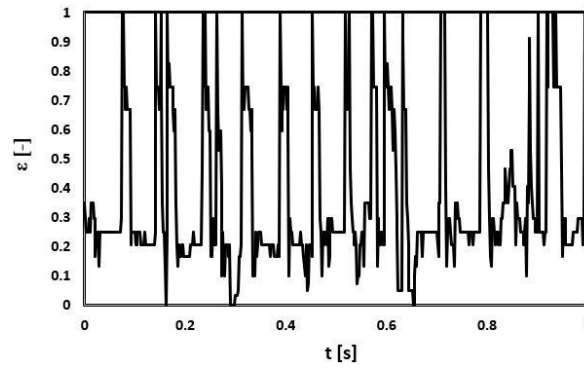
Gambar 27. PDF pola aliran *annular* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

3.2.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

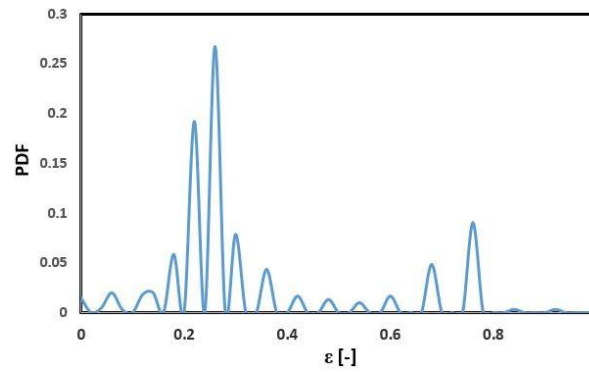
Pola aliran *churn* terbentuk ketika kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang sama-sama cukup tinggi dimana selisih keduanya cukup besar. Pola aliran ini termasuk kedalam bentuk jenis pola aliran yang sangat tidak stabil pada sisi ekornya, sehingga terdapat bagian bagian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



Gambar 28. Fraksi hampa pola aliran *churn* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s



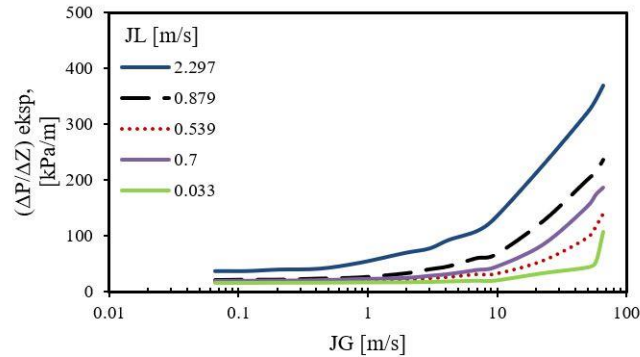
Gambar 29. Time average pola aliran *churn* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s



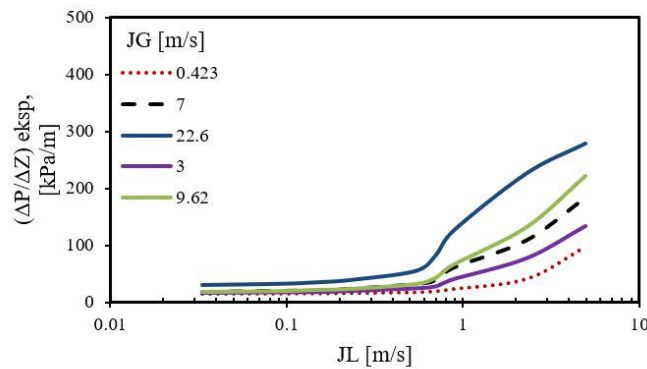
Gambar 30. PDF pola aliran *churn* pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

3.3 Gradien tekanan

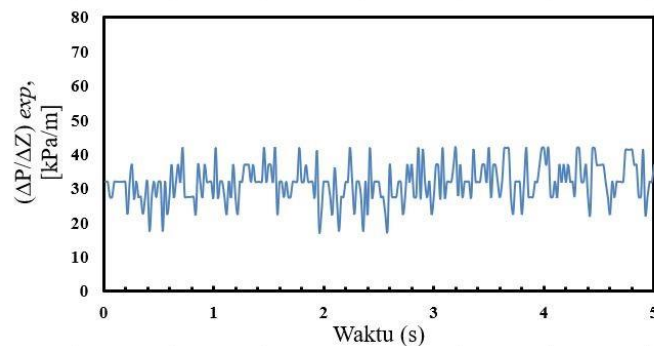
Penelitian karakteristik gradien tekanan ini dilakukan dengan pipa mini yang memiliki diameter 1,6 mm. Kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L) divariasikan untuk mengetahui pengaruh kecepatan superfisial terhadap penurunan tekanan per satuan panjang (gradien tekanan). Alat yang digunakan berupa MPX yang terhubung dengan komputer sehingga pada saat MPX bekerja data akan tercatat otomatis kedalam komputer.



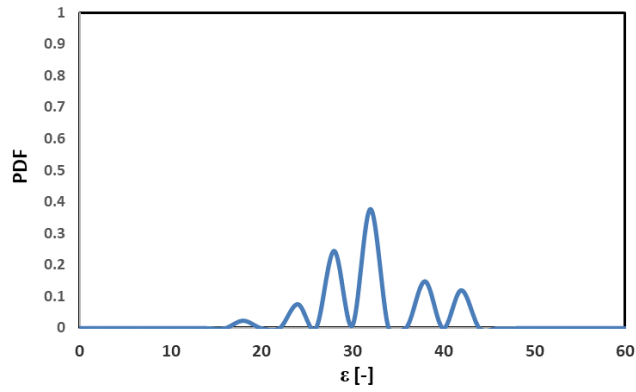
Gambar 31. Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L



Gambar 32. Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G



Gambar 33. Gradien tekanan terhadap pengaruh waktu pada aliran *annular* dengan variasi $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s



Gambar 34. Grafik PDF gradien tekanan pada aliran *annular* dengan variasi $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s

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 pada penelitian ini memiliki garis transisi yang berbeda-beda dengan penelitian terdahulu.
3. Pada pola aliran *plug* nilai fraksi hampa mencapai nilai 1, artinya udara yang berada pada pola aliran *plug* sebagian besar memenuhi dinding pipa.
4. Pola aliran *bubbly* memiliki nilai fraksi hampa yang tidak teratur dan cenderung mengalami fluktuasi, hal tersebut terjadi karena banyak ukuran *bubbly* yang bervariasi.
5. Nilai fraksi hampa pada pola aliran *slug-annular* memiliki rata-rata nilai yang berkisar diangka 0,6-0,7 hal itu terjadi karena komposisi udara sedikit lebih banyak dibandingkan dengan komposisi cairan.
6. Nilai fraksi hampa pada pola aliran *annular* biasanya cenderung stabil, karena tidak terjadi penurunan dan kenaikan yang terlalu signifikan.
7. Pada pola aliran *churn* nilai fraksi hampanya memiliki nilai yang tidak stabil (fluktuatif).
8. Variasi kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cair (J_L) sangat mempengaruhi nilai gradien tekanan yang didapatkan, semakin tinggi nilai J_G dan J_L maka nilai gradien tekanan akan semakin meningkat.

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] 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.
- [4] Serizawa, A., Feng, Z., Kawara Z., 2002, Two-Phase Flow in Microchannels. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, pp. 703–714.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.