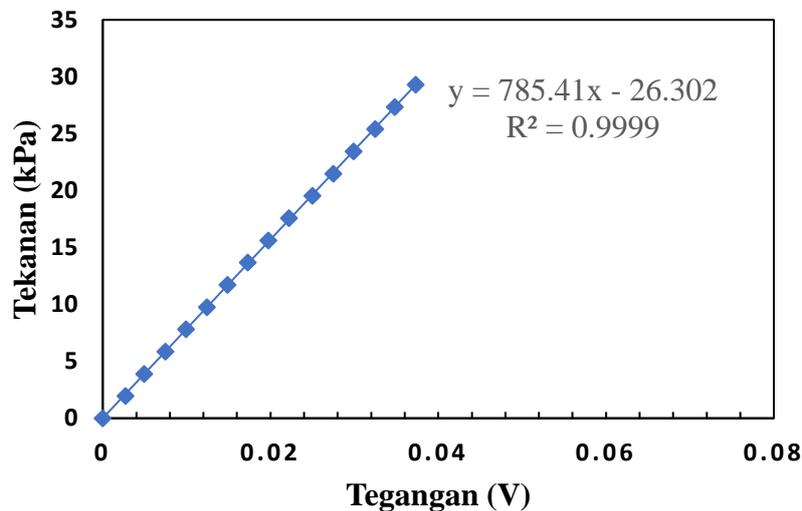


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kalibrasi Alat Ukur

Pada penelitian ini sebelumnya dilakukan kalibrasi alat terlebih dahulu. Kalibrasi tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya. Alat yang harus dilakukan kalibrasi terlebih dahulu yaitu *MPX* dan *flowmeter*. Kalibrasi *flowmeter* dilakukan dengan mengalirkan fluida cair dengan rentang waktu 1 menit dan dibandingkan dengan *flowmeter* terukur dengan volume air yang berada pada gelas ukur sedangkan kalibrasi *MPX* dilakukan dengan menggunakan manometer vertikal (manometer kolom air) pada kondisi yang stastis. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari *MPX* di ubah dalam bentuk tekanan terukur pada manometer vertikal kemudian tegangan di ubah menjadi tekanan setelah itu dibuat grafik yang berguna sebagai acuan dalam mencari *pressure drop* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik Kalibrasi *MPX*

Pembahasan hasil penelitian pada pipa mini berdiameter 1,6 mm dengan kemiringan sudut 30^0 dan menggunakan fluida campuran antara udara-aquades dan butanol 5% setelah dilakukan percobaan hasil penelitian didapatkan. Hasil dari penelitian ini berfokus pada pembahasan tentang pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran, fraksi hampa, gradien tekan dan perbandingan yang dilakukan oleh peneliti yang terdahulu.

4.2. Pola Aliran

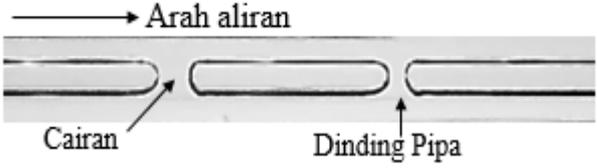
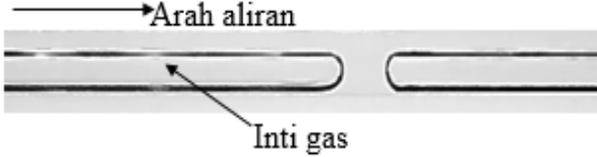
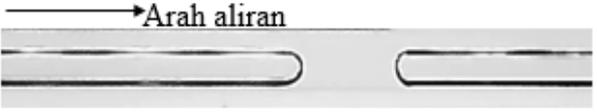
Dari hasil penelitian yang dilakukan dilakukan pengamatan dan didapatkan lima jenis pola aliran yaitu : *plug*, *bubbly*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Dengan mengatur debit fluida gas dan fluida cair, data yang didapat berupa video kemudian data hasil penelitian diambil dan diamati untuk mengetahui pola aliran yang terbentuk. Untuk pemetaan pola aliran digunakan kecepatan superfisial yang kemudian diplot sesuai koordinat kecepatan superfisial udara dan cairan.

4.2.1. Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* memiliki pola yang hampir sama dengan *bubbly* dengan bentuk yang memanjang seperti kapsul ataupun berbentuk peluru. Panjang dari tiap pola aliran *plug* selalu bervariasi. Pola aliran *plug* terbentuk karena kecepatan superfisial udara cukup besar untuk menembus aliran fluida cair tetapi tidak mampu untuk menembus aliran fluida cair.

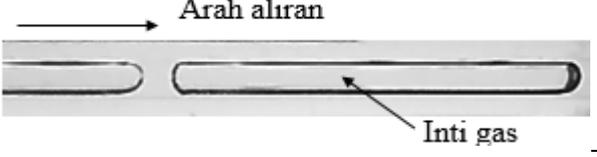
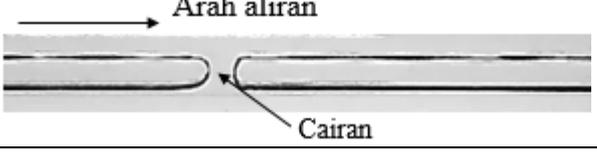
Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada $(J_G) = 0,025 \text{ m/s} - 0,871 \text{ m/s}$ sedangkan $(J_L) = 0,033 \text{ m/s} - 0,7 \text{ m/s}$, Pola aliran *plug* bergerak dengan kecepatan konsisten dengan kondisi tertentu.

Tabel 4.1. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G tetap 0,207 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

Dilihat dari Tabel 4.1 dengan J_G tetap dan J_L yang bervariasi menunjukkan hasil dari bentuk pola aliran *plug* yang berbeda, hal ini dikarenakan J_G yang tetap dan J_L yang bervariasi semakin naik maka semakin besar juga jarak antara *plug* yang satu dengan *plug* yang lainnya.

Tabel 4.2. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,232 m/s.

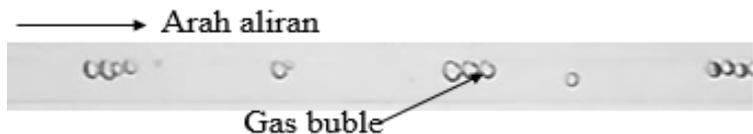
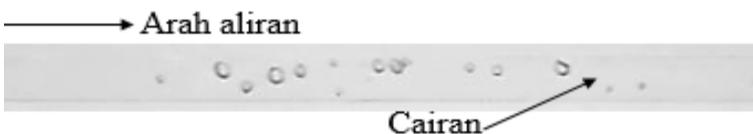
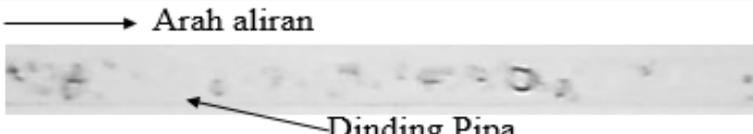
NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,066 m/s	
3	0,116 m/s	

Ditunjukkan pada Tabel 4.2 dengan J_L yang tetap 0,232 m/s dan J_G yang bervariasi, maka semakin meningkatnya nilai J_G terlihat jarak antar *plug* semakin dekat dan rapat. Semakin besar nilai kecepatan superfisial udara mengakibatkan ruang pemisah antara *plug* jadi semakin dekat karena cairan pemisah *plug* mulai tertekan oleh gas yang semakin membesar. Ketika kecepatan superfisial udara dinaikkan, kondisi tersebut akan membentuk *plug* panjang dengan jarak antar *plug* semakin dekat.

4.2.2. Pola Aliran *Bubbly*

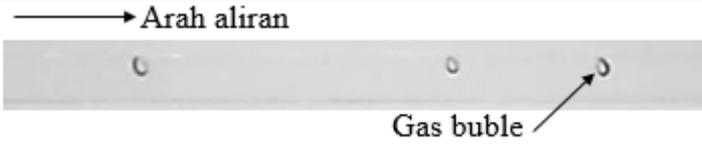
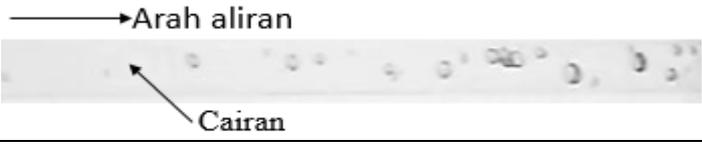
Pola aliran *bubbly* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial udara (J_G) lebih rendah dari kecepatan superfisial cairan (J_L). Dengan debit air yang lebih besar daripada debit gas menyebabkan cairan di area *mixer* menumpuk, *bubbly* muncul ketika gas yang terkumpul dibagian atas dari *mixer* menerobos 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. Aliran *bubble* terbentuk pada (J_G) yang kecil yaitu 0,025 m/s – 1,941 m/s, sedangkan nilai (J_L) yang besar dengan kisaran 0,879 m/s – 4,935 m/s).

Tabel 4.3. Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G tetap 0,207 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,7 m/s	
2	0,879 m/s	
3	2,297 m/s	

Pola aliran *bubbly* mulai muncul penuh ketika nilai J_L tinggi namun semakin bertambahnya nilai J_L maka bentuk dari *bubble* mulai mengecil dan semakin tidak beraturan karena kecepatan yang semakin tinggi. Dapat dilihat pada Tabel 4.3 saat nilai J_G tetap 0,207 m/s dan nilai J_L dibuat bervariasi meningkat, pada nilai J_L 2,297 m/s *bubbly* yang muncul ukurannya relatif kecil dengan jumlah yang banyak dan tidak beraturan.

Tabel 4.4. Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,879 m/s.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,066 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

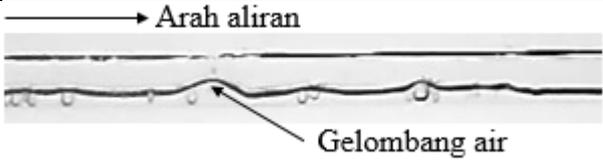
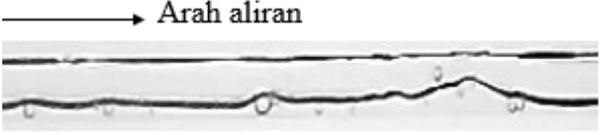
Hasil pengamatan yang dilakukan memiliki perbandingan bentuk pola *bubbly* dengan $J_L = 0,879$ m/s dengan J_G bervariasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Pada saat *bubbly* berada pada J_G 0,066 m/s terlihat bahwa jumlah *bubbly* yang sedikit dan berukuran kecil dan jarak yang Panjang. Hal ini dikarenakan kecepatan udara yang semakin cepat dalam mendorong sebuah aliran membuat jarak antar *bubbly* semakin dekat.

4.2.3. Pola Aliran *Slug Annular*

Pola aliran *slug annular* terbentuk ketika nilai J_G berada di antara garis transisi setelah munculnya aliran *plug* dan sebelum munculnya aliran *annular*, sedangkan untuk nilai J_L nya berbatasan dengan aliran *plug* dan *churn*. Pola aliran *slug annular* memiliki aliran air yang bergelombang pada bagian atas dan bagian

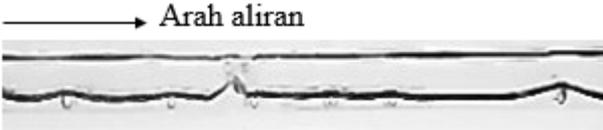
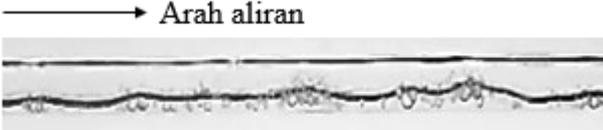
bawah dari saluran. Terbentuknya pola aliran *slug annular* ketika kecepatan superfisial udara naik menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh air berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran *slug annular*. Pola aliran *slug annular* mulai teramati pada kecepatan superfisial fluida gas (J_G) = 1,941 m/s – 22,6 m/s dan pada fluida cair (J_L) = 0,033 m/s – 0,149 m/s.

Tabel 4.5. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G tetap 1,941 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

Pada Tabel 4.5 pola aliran *slug annular* dengan nilai J_G tetap dan J_L bervariasi tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Bentuk pola aliran *slug annular* terlihat seperti gelombang yang naik turun pada bagian bawah aliran dan terdapat gelembung-gelembung kecil yang terlihat pada pola aliran. Hal tersebut terjadi karena bertambahnya kecepatan superfisial cairan yang mengakibatkan volume fluida cair yang masuk kedalam *mixer* bertambah sehingga membuat tinggi gelombang dan intensitas kemunculan gelombang bertambah banyak.

Tabel 4.6. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,232 m/s.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	1,491 m/s	
2	3 m/s	
3	4,238 m/s	

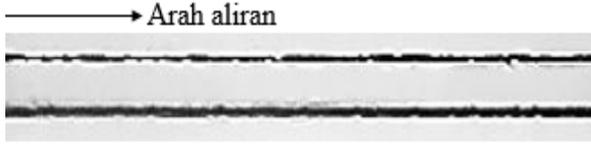
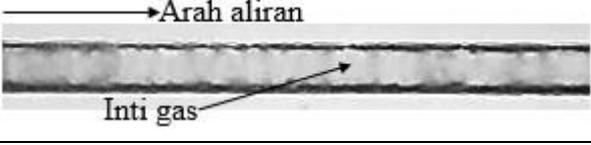
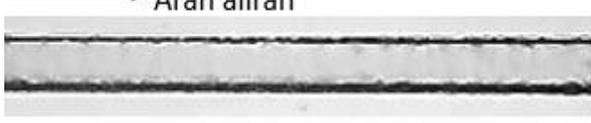
Pada setiap kenaikan nilai kecepatan superfisial udara, gelombang yang terlihat pada bagian bawah pola aliran menjadi semakin sedikit hal ini diakibatkan karena aliran air yang berusaha memotong aliran udara namun tidak mampu memotongnya dikarenakan kecepatan aliran udara yang semakin tinggi. Seperti terlihat pada Tabel 4.6.

4.2.4. Pola Aliran *Annular*

Pola aliran annular mirip seperti pola aliran slug annular tetapi memiliki gelombang kecil yang lebih banyak sehingga terlihat seperti aliran air yang tenang. Hal ini disebabkan oleh kecepatan superfisial gas (J_G) yang lebih besar dibandingkan kecepatan superfisial cairan (J_L).

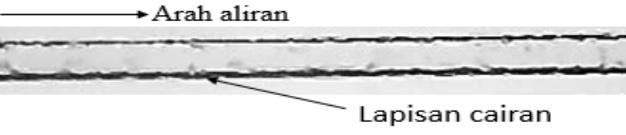
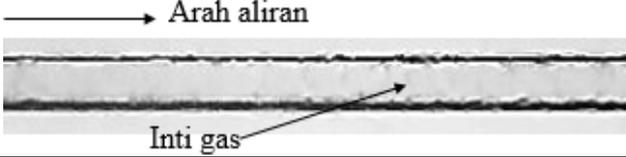
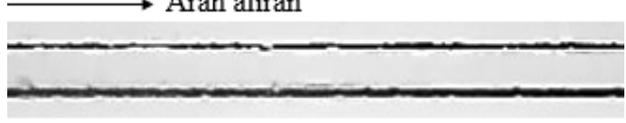
Pola aliran *annular* selalu sama pada tiap konsentrasi. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan seksama, aliran annular memiliki gelombang-gelombang kecil yang bergerak cepat. pola aliran *annular* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial fluida gas (J_G) = 50 m/s – 66,3 m/s dan fluida cair (J_L) = 0,033 – 0,149 m/s.

Tabel 4.7. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G tetap 66,3 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,149 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

Pada Tabel 4.7 dimana pada nilai J_G yang dibuat tetap 66,3 m/s dan nilai J_L dibuat bervariasi meningkat berpengaruh pada semakin bertambahnya nilai J_L membuat kemunculan gelombang-gelombang kecil yang berada pada bagian bawah aliran semakin banyak. Ketika kecepatan superficial cairan semakin tinggi, maka pola aliran *annular* akan terlihat semakin berwarna gelap

Tabel 4.8. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,149 m/s.

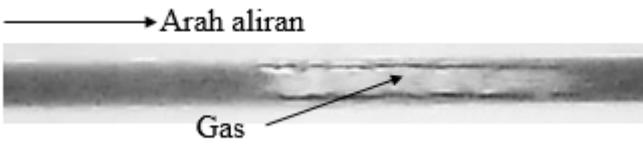
NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	50 m/s	
2	58,05 m/s	
3	66,3 m/s	

Pada Tabel 4.8 dimana pada nilai J_L yang dibuat tetap 0,149 m/s dan nilai J_G dibuat bervariasi meningkat mengakibatkan pengaruh pada semakin bertambahnya nilai J_G membuat gelombang kecil yang berada pada bagian sisi atas dan bawah aliran semakin rata hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya volume gas pada *mixer* membuat gas akan menekan cairan sehingga bertambahnya fluida gas membuat cairan semakin tertekan dan mendekati rata.

4.2.5. Pola Aliran *Churn*

Terbentuknya pola aliran *churn* adalah ketika kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan tinggi. Ketika nilai J_L besar seharusnya aliran yang terbentuk adalah aliran *plug*, tetapi karena nilai J_G yang juga besar mengakibatkan air terdispersi menjadi kecil. Kecepatan alirannya pun sangat cepat sehingga pola yang teramati ketika melakukan pengambilan video hanya terlihat bayangan hitam pada ujung inti gas yang diikuti aliran fluida yang sangat cepat. pola aliran *churn* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial fluida gas (J_G) = 3 m/s – 66,3 m/s dan fluida cair (J_L) = 0,232 – 4,935 m/s.

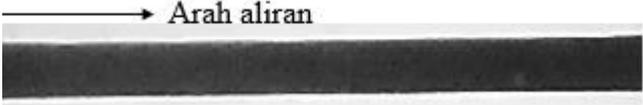
Tabel 4.9. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G tetap 7 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,7 m/s	
2	0,879 m/s	
3	2,297 m/s	

Pada Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa pola aliran *churn* pada J_G tetap 7 m/s dan J_L dibuat bervariasi meningkat berpengaruh pada semakin bertambahnya nilai J_L membuat kemunculan bayangan hitam yang semakin banyak hal tersebut

dikarenakan semakin bertambahnya volume air yang ada di *mixer* sehingga membuat udara akan sulit untuk keluar ketika udara dapat menembus cairan maka udara tersebut akan terpotong-potong menjadi kecil atau terdispersi sehingga muncul banyangan hitam yang sangat banyak.

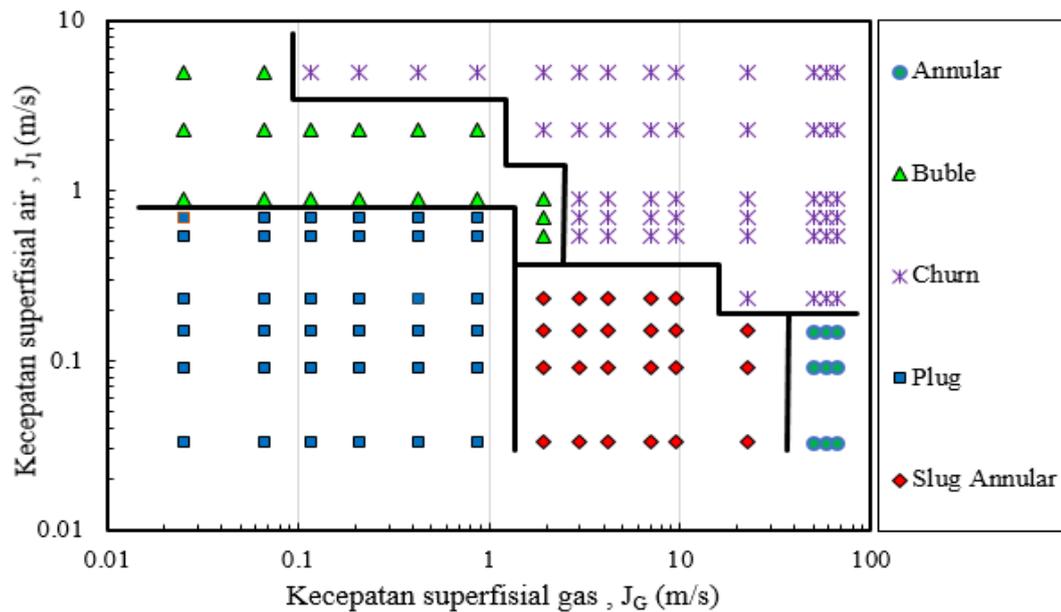
Tabel 4.10. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi butanol 5%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 2,297 m/s.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	22,6 m/s	
2	50 m/s	
3	58,5 m/s	

Pada Tabel 4.10 pola aliran *churn* dengan J_L tetap 2,297 m/s dan J_G bervariasi mengakibatkan pola aliran yang sebelumnya terlihat gelap dan pekat menjadi semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena J_G yang semakin meningkat menyebabkan fluida gas lebih mendominasi pola aliran tersebut.

4.3. Peta Pola Aliran

Pola aliran yang telah diamati dan diidentifikasi selanjutnya dimasukkan ke dalam sebuah peta pola aliran. Sumbu pada peta pola aliran menggunakan kecepatan superfisial gas pada sumbu x, sedangkan sumbu y menggunakan kecepatan superfisial cair. Nilai minimum sumbu-x yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan untuk nilai minimum sumbu-y yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 10. Pada peta aliran dapat ditentukan daerah transisi dan analisis mengenai daerah transisi yang terjadi. Berikut gambar peta pola aliran yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

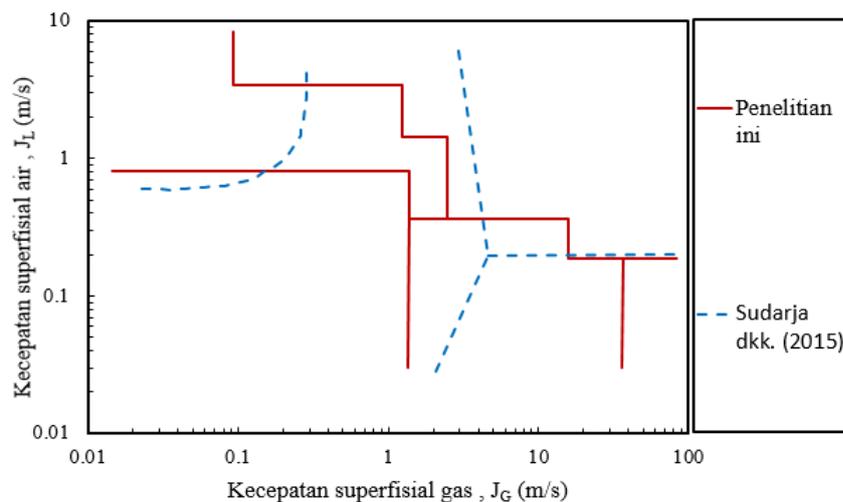


Gambar 4.2. Peta pola aliran butanol 5%

Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa pola aliran *plug* dan pola *churn* lebih banyak dari pola aliran yang lainnya pada peta pola aliran ini. Pada posisi bagian sebelah kiri atas peta ditempati oleh pola aliran *bubbly*, dimana kondisi nilai kecepatan superfisial gas rendah dan nilai kecepatan superfisial cairan tinggi. Pada bagian kiri bawah peta ditempati oleh pola aliran *plug*, pola aliran *plug* ini mulai terbentuk pada J_G dan J_L yang sangat rendah kemudian meluas seiring dengan naiknya nilai kecepatan superfisial gas dan cairan hingga mencapai garis batas transisi dengan pola aliran *slug-annular* disebelah kanan bawah aliran *plug*. Aliran *slug-annular* sendiri terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial cairan di naikan pada kondisi J_G yang sama maka pola aliran *slug-annular* berbatasan dengan aliran *churn*. Pola aliran *slug-annular* terbentuk pada saat kecepatan superfisial udara cukup tinggi sedangkan kecepatan superfisial cairan yang rendah. Pada posisi sebelah kanan bawah ditempati oleh pola aliran annular, dimana pada kecepatan superfisial udara sangat tinggi. Pada sisi sebelah kanan atas peta ditempati oleh pola aliran *churn*, pola aliran *churn* ini mulai terbentuk ketika kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas yang tinggi.

4.4. Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

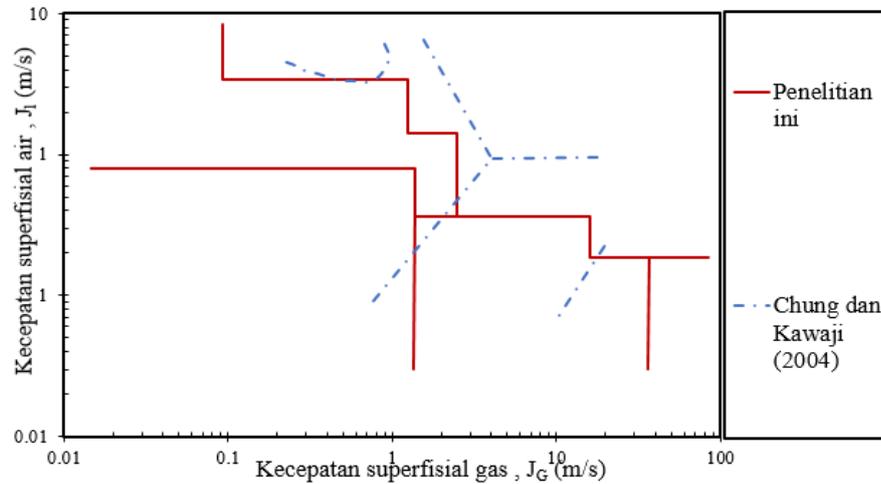
Perbandingan peta pola aliran yang didapat dari hasil penelitian dengan penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui perbedaan garis transisi yang disebabkan oleh perbedaan jenis fluida, viskositas cairan dan tegangan permukaan yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan terdahulu antara lain : Sudarja dkk. (2015) dan Kawahara dkk. (2002).



Gambar 4.3. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Sudarja dkk. (2015).

Dapat dilihat pada Gambar 4.3. garis transisi penelitian hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sudarja dkk. (2015). Pada penelitian ini menggunakan saluran pipa mini horisontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu air-udara dan campuran butanol 5% dengan variasi sudut kemiringan pipa 30° , sedangkan pada penelitian Sudarja dkk. (2015) saluran yang saluran pipa mini horisontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu air-udara. Perbedaan metode pada penelitian ini dengan Sudarja dkk. (2015) terletak pada fluida kerja dan posisi kemiringan pipa. Pola aliran yang terbentuk pada penelitian ini sama dengan penelitian Sudarja dkk (2015) yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Pada garis transisi *bubbly* terjadi pergeseran kekanan atas dikarenakan pola aliran *bubbly* lebih banyak, sedangkan pada penelitian Sudarja dkk. (2015) pola aliran *annular* lebih mendominasi dibandingkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.3. Pergeseran yang terjadi akibat pengaruh fluida kerja yang digunakan

karena pada penelitian ini menggunakan campuran butanol 5% dengan kemiringan sudut sebesar 30° .



Gambar 4.4. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004).

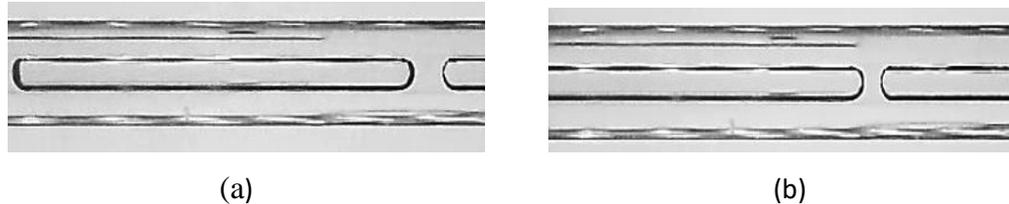
Perbandingan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004) dengan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 posisi garis transisi berbeda dari hasil penelitian ini dikarenakan Penelitian menggunakan campuran gas nitrogen dan air, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara-air dan campuran butanol 5% dengan kemiringan 30° dari kedua penelitian tersebut menghasilkan bentuk pola aliran yang sama yaitu *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Perbedaan garis transisi *bubbly* pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) lebih keatas dibandingkan pada penelitian ini dikarenakan jumlah *bubbly* pada penelitian ini lebih mendominasi dan garis transisi antara *annular*, *churn* dan *slug annular* mengalami pergeseran ke atas dibanding dengan penelitian ini hal ini dikarenakan pada penelitian Chung dan Kawaji pola aliran yang mendominasi adalah *plug*.

4.5. Fraksi Hampa (*Void Fraction*)

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) atau sebaran nilai fraksi hampa.

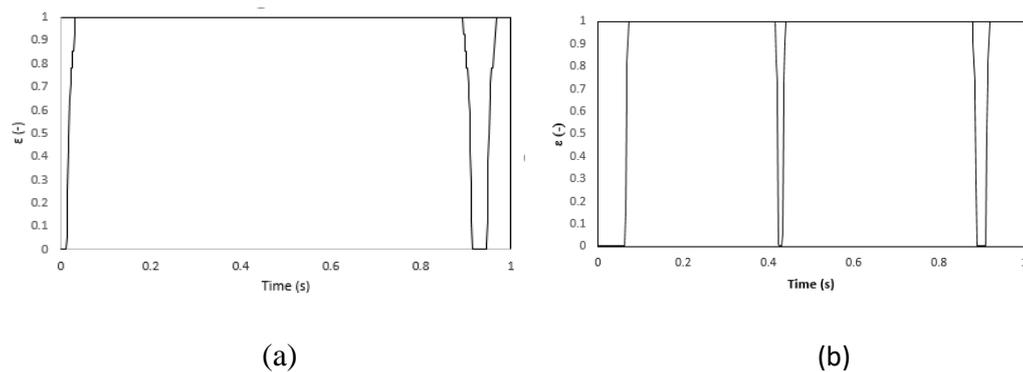
4.5.1. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* terbentuk pada saat kecepatan superfisial gas cukup tinggi menembus suatu aliran fluida cair yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



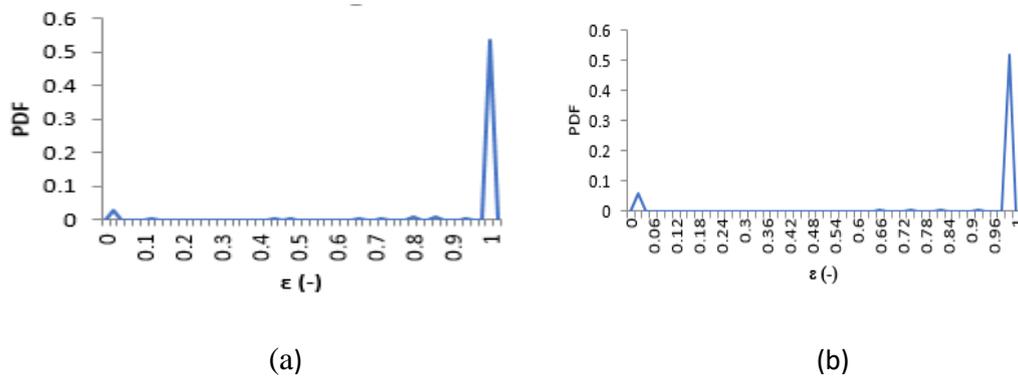
Gambar 4.5. Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ - $J_L 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ - $J_L 0,091$ m/s

Pada Gambar 4.5. menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug*. Pola aliran *long plug* biasanya muncul dikarenakan kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L) berada pada kondisi rendah.



Gambar 4.6. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,066$ - $J_L 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ - $J_L 0,091$ m/s

Grafik *time-average* aliran *plug* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. yang berada pada variabel (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, nilai fraksi hampa pada pola aliran *plug* mencapai 0,98 pada kondisi atau rentang waktu tertentu. Hal tersebut di karenakan oleh *plug* yang hampir memenuhi diameter dalam pipa sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara.

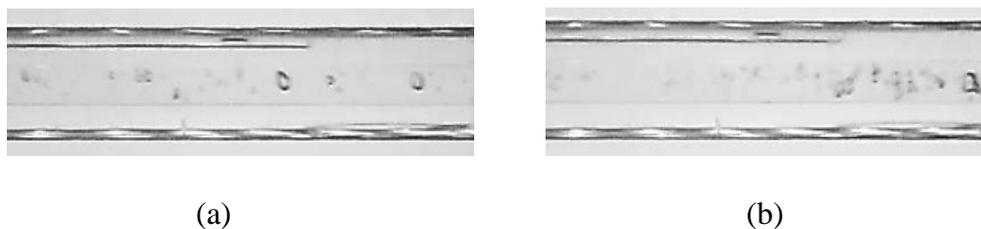


Gambar 4.7. PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ - $J_L 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ - $J_L 0,091$ m/s

Pada $J_G = 0,066$ - $J_L 0,033$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,53 dan pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0$, m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,56 dikarenakan pola aliran *plug* yang muncul banyak dan panjang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7.

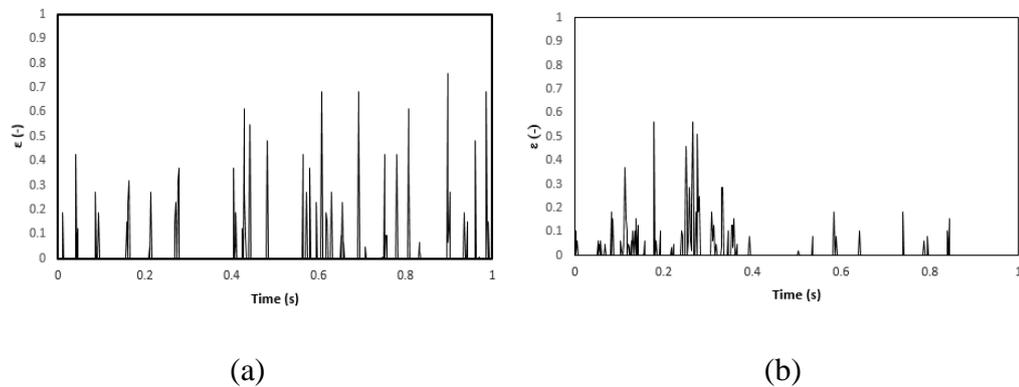
4.5.2. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubble*

pola aliran *bubble* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial udara (J_G) lebih rendah dari kecepatan superfisial *liquid* (J_L) yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



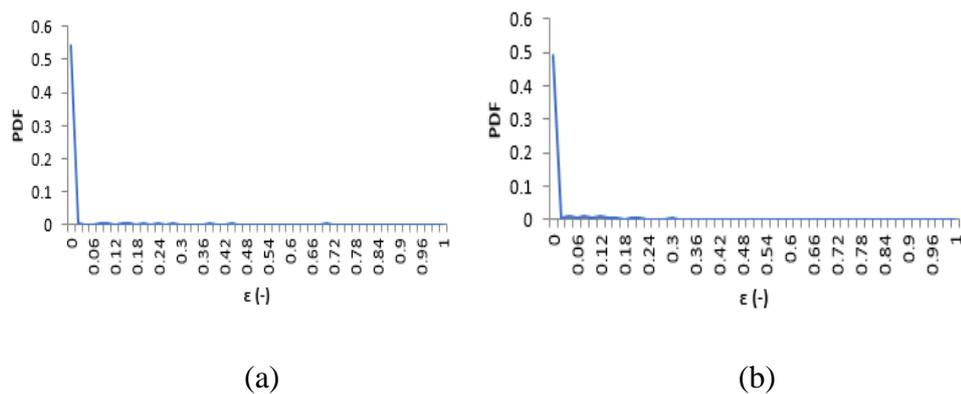
Gambar 4.8. Pola aliran *bubble* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

pada Gambar 4.8. menunjukkan bahwa semakin besar nilai J_G maka bubble yang terbentuk akan semakin banyak tetapi pola alirannya tidak beraturan.



Gambar 4.9. *Time-Average* fraksi hampa pada pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Pada Gambar 4.9. menunjukkan grafik *time-average* bahwa semakin tinggi nilai J_G maka semakin banyak juga pola aliran buble yang muncul.

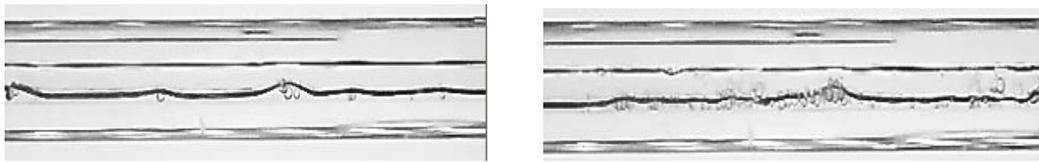


Gambar 4.10. PDF aliran *bubble* pada pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran bubble yaitu 0 dengan nilai probabilitas 0,53 dan pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0 dengan nilai probabilitas 0,49 yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.

4.5.3. Fraksi Hampa untuk 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* yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.

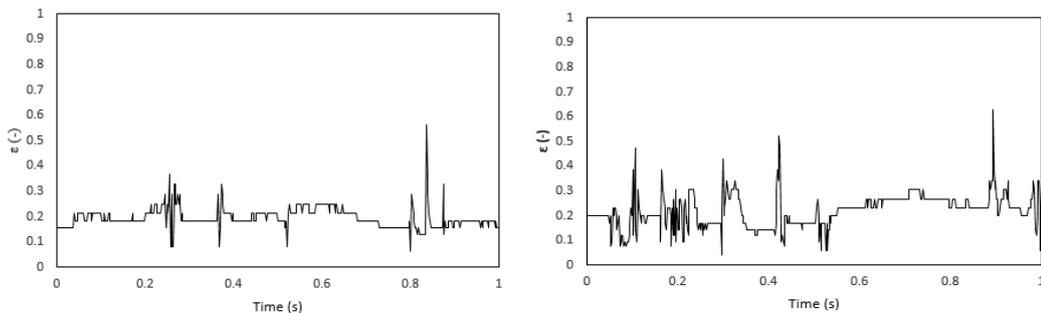


(a)

(b)

Gambar 4.11. Pola aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 1,941$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, dan (b) $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Pada Gambar 4.11. terlihat bahwa terdapat *liquid neck* yang disertai *forthly bubbly* yang disebabkan oleh aliran air yang berusaha memutus aliran udara namun tidak mampu memutusny.

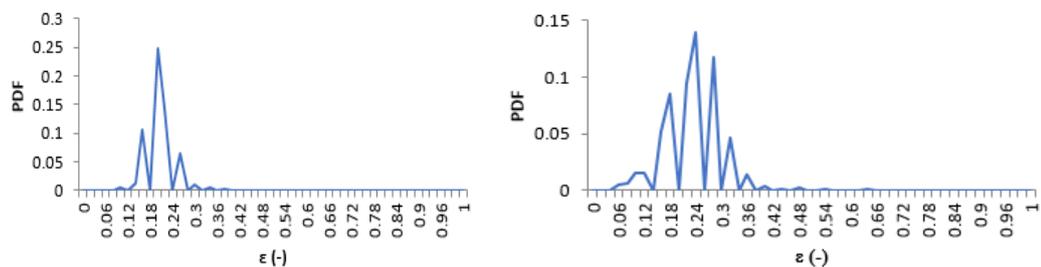


(a)

(b)

Gambar 4.12. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 1,941$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, dan (b) $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Pada gambar 4.12. menunjukkan nilai fraksi hampa mengalami penurunan seiring terjadinya *liquid neck* pada pola aliran.



(a)

(b)

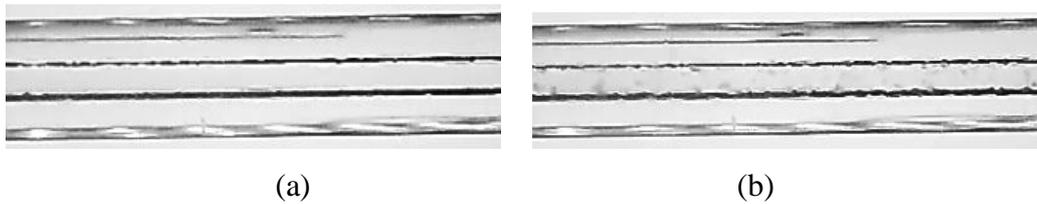
Gambar 4.13. PDF aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 1,941$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, dan (b) $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* $J_G = 1,941$ m/s, $J_L = 0,149$ yaitu 0,20 dengan nilai

probabilitas 0,27 dan pada $J_G = 1,491$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ nilai fraksi hampa yang dominan 0,24 dengan probabilitas 0,14.

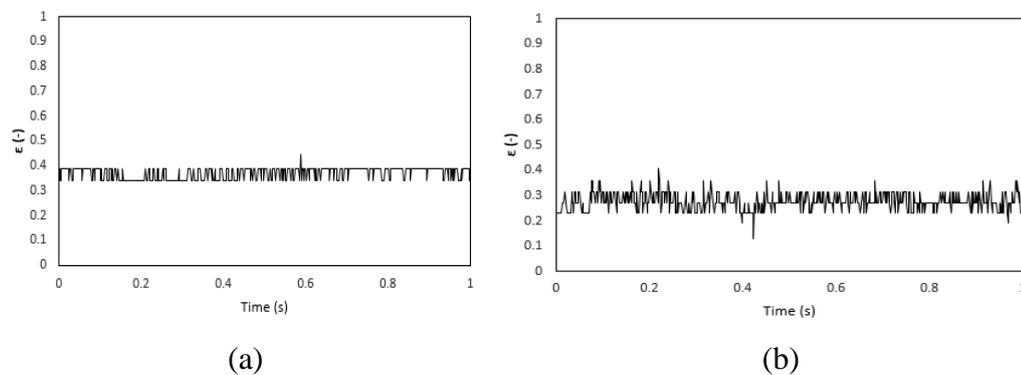
4.5.4. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan seksama, aliran annular memiliki gelombang kecil dibagian atas dan bawah yang bergerak cepat yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.



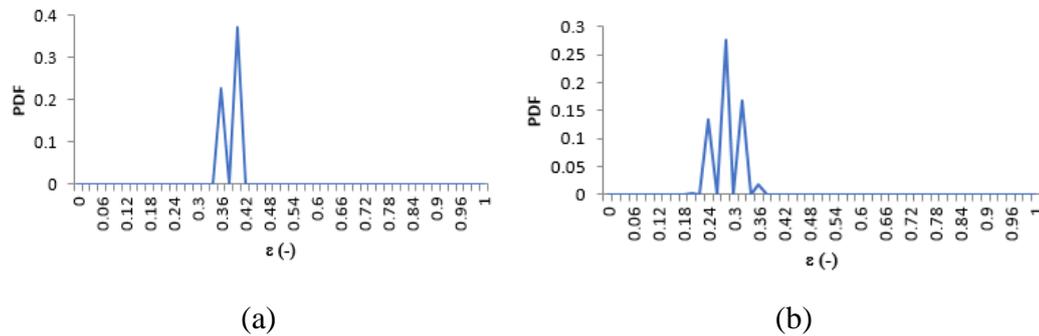
Gambar 4.14. Pola aliran *annular* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Pada Gambar 4.14 terlihat perbedaan pada J_L secara teori jika J_L lebih kecil maka riak-riak cairan akan lebih tipis, sedangkan jika J_L lebih besar maka riak-riak cairan akan lebih tebal. Hal ini disebabkan karena semakin besar J_L maka bertambahnya volume cairan yang membuat lapisan film akan lebih tebal.



Gambar 4.15. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 3.15 (a) menunjukkan grafik fraksi hampa yang cukup teratur dikarenakan kecepatan superfisial *liquid* (J_L) yang rendah, dan pada Gambar 3.14 (b) grafik fraksi hampa terlihat cukup tidak beraturan yang disebabkan karena kecepatan superfisial *liquid* (J_L) yang lebih tinggi.

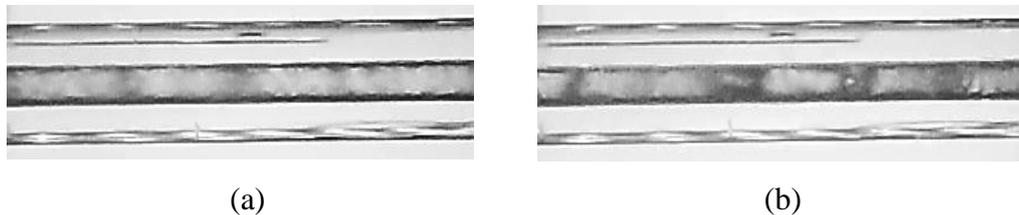


Gambar 4.16. PDF aliran *annular* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,38 dengan nilai probabilitas 0,39 dan pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,26 dengan nilai probabilitas 0,29 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.

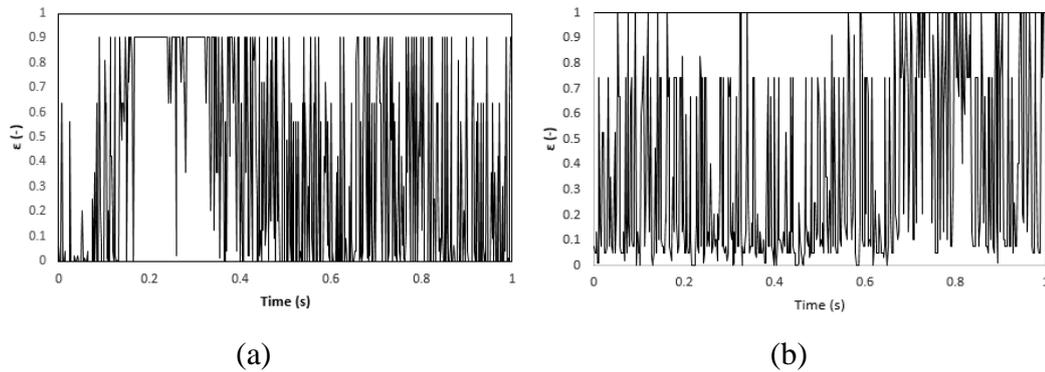
4.4.5. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* mulai muncul ketika nilai J_G dan J_L sama-sama tinggi yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.



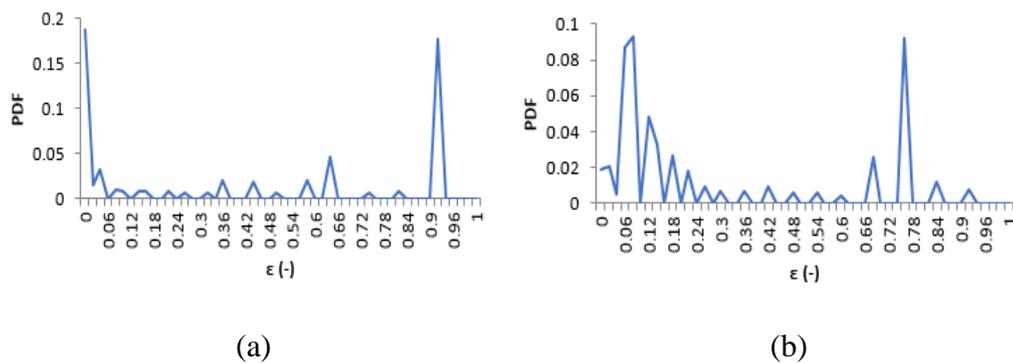
Gambar 4.17. Pola aliran *churn* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.17 menunjukkan pola yang sangat tidak beraturan pada bagian ekor. Jika (J_G) mengalami kenaikan, hal ini akan berakibat terhadap bentuk distorsi yang terjadi. Pada bagian ekor yang mengalami distorsi ini akan membentuk suatu pola yang dinamakan pola aliran *churn*.



Gambar 4. 18. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.18 menunjukkan grafik fraksi hampa yang sangat tidak beraturan. Disaat rentang waktu tertentu dimana grafik mengalami kenaikan tersebut terjadi distorsi dan pada rentang waktu yang menunjukkan nilai fraksi hampa sampai dengan 1 dikarenakan terjadinya distorsi sampai memenuhi pipa seksi uji.



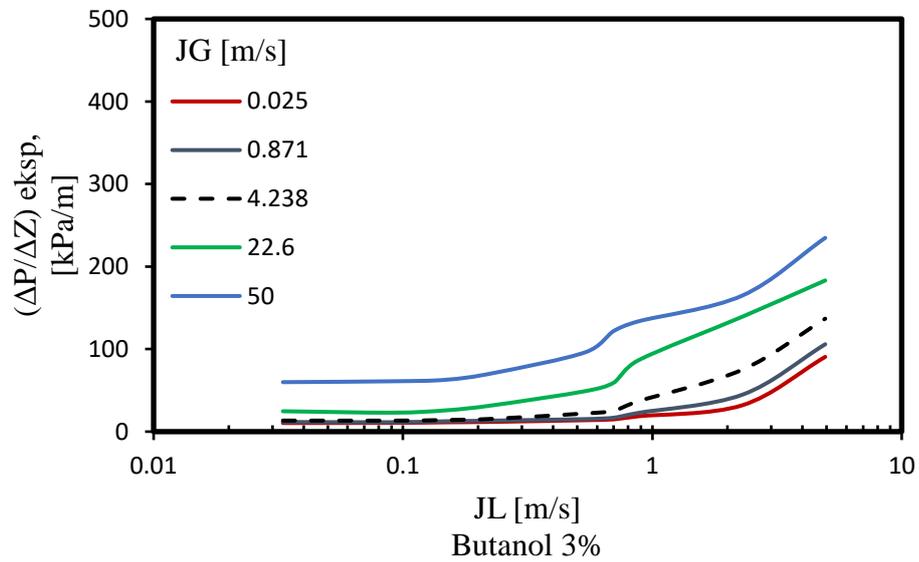
Gambar 4. 19. PDF aliran *churn* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,94 dengan nilai probabilitas 0,19 dan pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,06 dengan nilai probabilitas 0,09 yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.

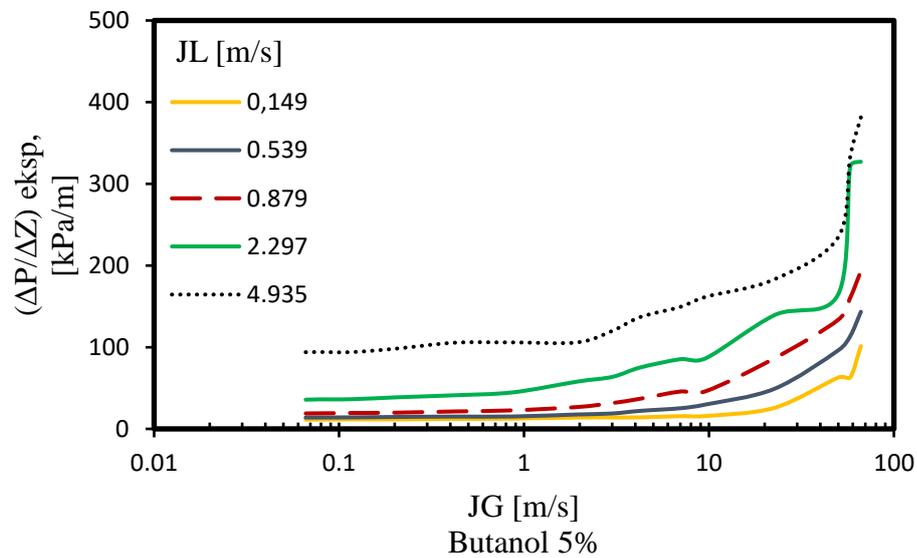
4.6. Gradien Tekanan

Penelitian tentang investigasi gradien tekanan ini dilakukan dengan pipa mini berdiameter 1,6 mm dengan variasi kecepatan superfisial gas (J_G) dan *liquid* (J_L). Pada penelitian ini data gradien tekanan diambil menggunakan sensor MPX sistem yang telah dipasang dan terhubung dengan computer.

4.6.1. Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan pada Aliran Dua Fasa Udara-Akuades dan Butanol 5%



(a)



(b)

Gambar 4. 20. (a) Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G , (b) Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L

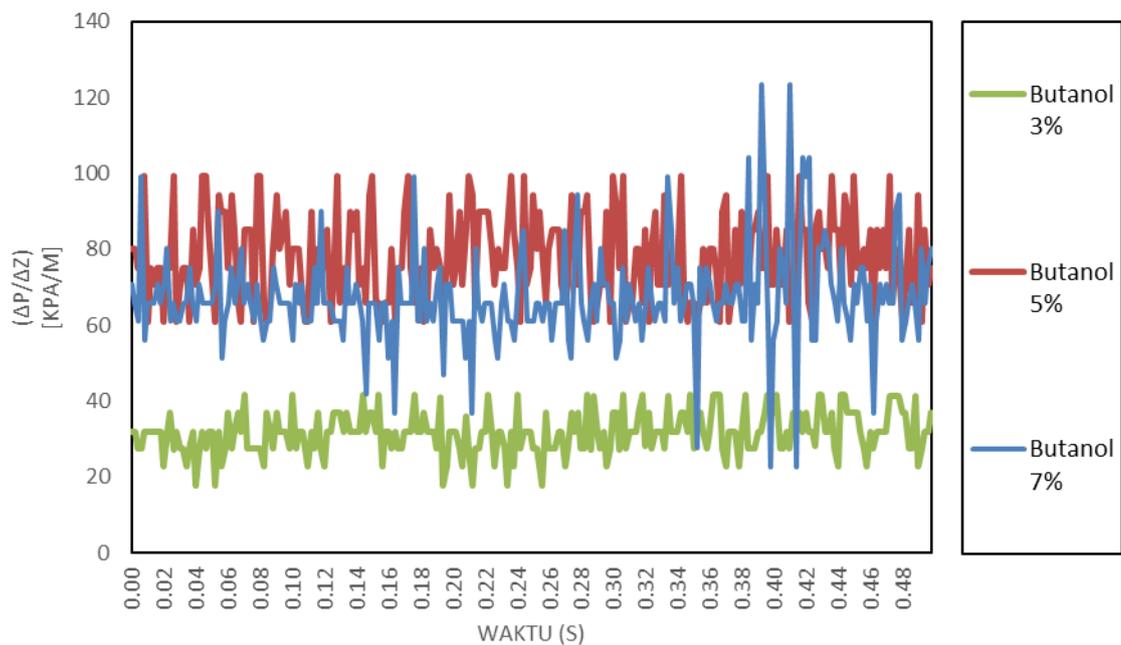
Pada penelitian ini dilakukan variasi kecepatan superfisial gas (J_G) dan liquid (J_L) bertujuan untuk mengetahui efek yang terjadi akibat kenaikan maupun

penurunan kecepatan superfisial terhadap gradien tekanan. Penelitian ini dilakukan agar terlihat pengaruh dari perubahan kecepatan superfisial terhadap nilai gradien tekanan.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 (a) dan (b) bahwa kecepatan superfisial gas dan *liquid* dapat berpengaruh terhadap graadien tekanan. Data yang dihasilkan yaitu semakin tingginya kecepatan superfisial gas maupun *liquid* maka gradien tekanan yang dihasilkan akan semakin besar. Naiknya gradien tekanan disebabkan oleh naiknya kecepatan superfisial gas dan *liquid* yang menyebabkan naiknya kecepatan superfisial total. Kenaikan dari kecepatan superfisial total juga mempengaruhi kenaikan gradien tekanan.

4.6.2. Gradien Tekanan Terhadap Waktu

Penelitian tekanan terhadap waktu dilakukan untuk mengetahui hasil dari gradien tekanan dari 50.000 data dalam waktu 50 detik dijadikan 500 data dengan waktu 5 detik, maka didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 21. Pengaruh gradien tekanan terhadap waktu dengan butanol 3%, 5%, dan 7% pada $J_G = 3 \text{ m/s}$ dan $J_L = 2,297 \text{ m/s}$