

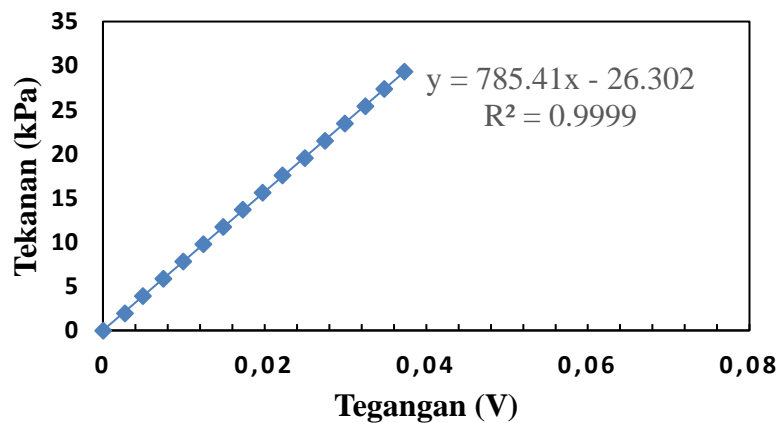
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian pada aliran dua fase pipa mini horizontal dengan ukuran diameter 1,6 mm yang terpasang pada sudut kemiringan 20° dengan fluida kerja dalam bentuk campuran udara-aquades dan butanol 3%. 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.

#### 4.1 Kalibrasi Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah *flowmeter* dan *MPX*. 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. Alat *MPX* ini dikalibrasi menggunakan manometer vertikal (manometer kolom air) pada kondisi statis. Adapun tegangan keluar dari *MPX* di konversi dalam bentuk tekanan terukur pada manometer vertikal kemudian tegangan di konversi menjadi tekanan dibuat grafik yang berguna sebagai acuan dalam mencari *pressure drop*. Dari hasil kalibrasi akan didapatkan persamaan kalibrasi yang digunakan dalam pengolahan data *pressure gradient*.



Gambar 4.1. Grafik kalibrasi *MPX*


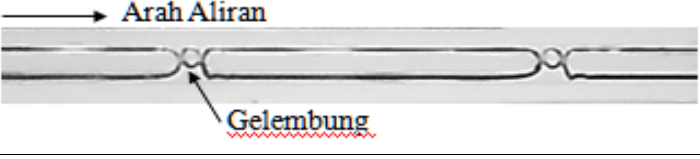

## 4.2. Pola Aliran

Hasil dari pengamatan yang dilakukan pada penelitian aliran dua fase berukuran pipi mini horizontal dengan diameter 1,6 mm dengan kemiringan  $20^\circ$  berupa campuran antara aquades dan butanol 3% didapat 5 jenis pola aliran : *plug*, *bubble*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Setelah mengetahui pola yang teridentifikasi kemudian diplot berdasarkan kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial cair ( $J_L$ ).

### 4.2.1. Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* mempunyai bentuk yang sama dengan *bubble* tapi aliran *plug* lebih memanjang seperti kapsul atau peluru. Pola aliran *plug* terjadi saat  $J_G$  lebih besar dari pada nilai  $J_L$  yang lebih rendah. Pola aliran *plug* terbentuk dikarenakan pada saat kecepatan superfisial gas cukup besar menembus suatu aliran fluida cair tapi tidak cukup besar untuk menerobos aliran fluida cair. Bentuk dari pola aliran *plug* bervariasi ada yang panjang dan pendek, begitu juga dengan jarak fase celah cair yang memisahkan antar tiap pola aliran *plug*.

**Tabel 4.1** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  tetap 0,207 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi.


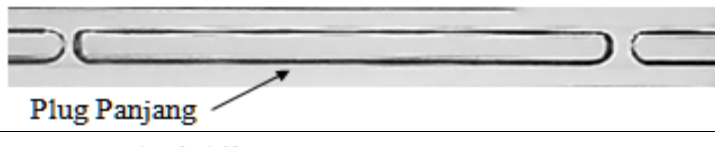

NO	$J_L$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,149 m/s	
2	0,239 m/s	
3	0,539 m/s	

Dari hasil pengamatan pada tabel 4.1 dengan  $J_G$  tetap dan  $J_L$  yang bervariasi menunjukkan perbedaan bentuk pola aliran *plug*. Terlihat  $J_G$  yang tetap dan  $J_L$  yang

bervariasi semakin naik pola aliran pada *plug* semakin pendek. Jika kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) dinaikan maka panjang dari pemisah antar *plug* semakin panjang. Kejadian ini disebabkan oleh udara yang tertekan oleh air yang mengalami peningkatan.

Gelembung-gelembung kecil yang muncul pada pola aliran *plug* terjadi disebabkan nilai  $J_L$  yang semakin besar pada  $J_L$  0,239 m/s dan 0,539 m/s terlihat *bubble* kecil yang menempel antar *plug*. Jadi pada tabel 4.1 dengan kecepatan superfisial yang bervariasi pola aliran *plug* tidak banyak perubahan hanya saja jarak pada *plug* semakin jauh dan ukuran pada pola aliran semakin pendek dan juga terdapat *bubble* kecil yang menempel.

**Tabel 4.2** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  bervariasi dan nilai  $J_L$  tetap 0,149 m/s.

NO	$J_G$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,066 m/s	
2	0,116 m/s	
3	0,871 m/s	

Dari tabel 4.2 dapat diamati dengan  $J_L$  tetap 0,149 m/s dan  $J_G$  yang bervariasi menunjukkan hasil bentuk pola aliran *plug* yang hampir sama. Terlihat bahwa semakin  $J_G$  bertambah naik panjang dari *plug* akan terus bertambah panjang. Tetapi dari kenaikan superfisial gas ( $J_G$ ) terlihat juga jarak antar *plug* pun terlihat semakin menempel dan rapat.. Pada  $J_G$  0,871 m/s dapat dilihat jarak antar *plug* sampai menempel yang diakibatkan tingginya  $J_G$  dengan  $J_L$  yang rendah. Kejadian jarak antar *plug* semakin rapat karena cairan pemisah *plug* mulai tertekan oleh gas


yang semakin menigkat sehingga menerobos cairan yang membatasi antar *plug* menjadi semakin menempel rapat.

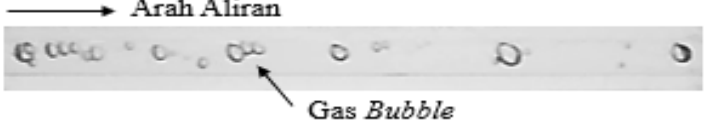

#### 4.2.2. Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* terbentuk saat nilai kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) yang tinggi. Pada saat di *mixer* debit air yang lebih tinggi dari pada gas menyebabkan cairan menumpuk di area *mixer*. Ketika gas yang terkumpul di bagian atas *mixer* yang menerobos cairan yang sudah terkumpul maka pola aliran *bubbly* akan muncul.

Kecilnya saluran pada *mixer* akan mengakibatkan udara yang terkumpul tadi mendorong cairan sehingga terjadi aliran dua fase dan aliran udara yang keluar terlihat terpisah-pisah. Dapat diamati pada penelitian pola aliran *bubbly* terkadang masih terlihat campuran adanya pola aliran *plug*, kemunculan seperti itu ketika koordinat aliran *bubbly* berada setelah aliran nilai koordinat aliran *plug*. Saat nilai kecepatan superfisial cairan yang tinggi maka pola aliran *bubbly* akan penuh tanpa adanya *plug*, namun bentuk dari aliran akan terlihat kecil dan semakin tidak beraturan dengan kecepatan yang tinggi. Meningkatnya  $J_L$  dan  $J_G$  aliran *bubbly* maka intensitas kemunculan *bubbly* semakin tinggi dan akan terlihat jarak antar *bubbly* semakin beragam. Penelitian yang diamati pada pola *bubbly* muncul pada nilai  $J_G = 0,025$  m/s sedangkan untuk  $J_L$  lebih tinggi pada nilai  $J_L = 0,879$  m/s dan juga semakin tinggi lagi hingga  $J_L = 2,297$  m/s. Pola aliran *bubbly* akan terlihat perbedaannya ketika kecepatan superfisial air dan udara divariasikan.

**Tabel 4.3** Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  tetap 0,207 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi.

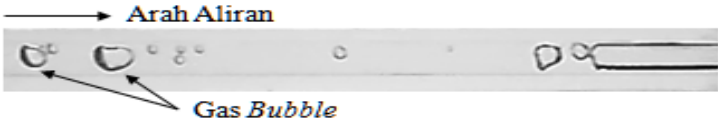


NO	$J_L$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,7 m/s	

2	0,879 m/s	
3	2,297 m/s	

Dapat diamati pada tabel 4.3 dengan  $J_L$  yang bervariasi pada  $J_G$  tetap terlihat semakin lama sulit untuk diamati karena aliran *bubbly* yang semakin acak dan mempunyai kecepatan yang tinggi. Pola aliran *bubbly* mempunyai bentuk yang bulat semakin lama menjadi acak tidak beraturan pada bentuknya karena faktor  $J_L$  yang semakin tinggi.

Saat semakin tinggi  $J_L$  pada pola *bubbly* lama-lama terlihat samar dan hampir membentuk pola *churn*. Jarak yang terjadi pada pola aliran *bubbly* semakin terlihat rapat. Debit fluida cairan yang semakin tinggi mengakibatkan fluida sulit ditembus oleh udara, sehingga pola *bubbly* yang keluar semakin kecil dan terlihat acak karena *bubble* tadi menumpuk pada *mixer*.

**Tabel 4.4** Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi butanol 3%, 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	0,871 m/s	
3	0,423 m/s	

Pada tabel 4.4 masih terlihat ada nya *plug* yang muncul dengan diikuti di belakangnya *bubble* yang terlihat besar dengan jarak yang tidak berdekatan. Hal tersebut disebabkan gas yang menumpuk pada *mixer* yang dapat mendorong cairan. Semakin tingginya  $J_G$  terlihat *bubbly* yang muncul semakin banyak dan jarak semakin rapat karena gas yang menumpuk pada *mixer* semakin banyak dan juga *bubbly* terlihat kecil-kecil. Nilai  $J_G$  yang semakin besar mengakibatkan pola aliran *bubble* hampir menyerupai aliran *churn*.

#### 4.2.3. Pola Aliran Slug Annular


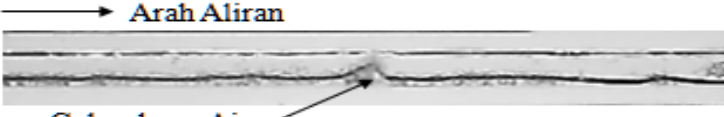

Pola pada *slug annular* dapat terbentuk saat nilai  $J_G$  berada antara garis transisi setelah munculnya *plug* dan sebelum pola *annular* muncul, untuk nilai  $J_L$  nyaberada antara berbatasan dengan *plug* dan *churn*. Pola *slug annular* mempunyai gelombang cairan yang hampir terpisah pada bagian atas dan bawah dari saluran. Ketika kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) naik dapat menyebabkan pola aliran *plug* terpisah oleh air yang berhasil diterobos oleh udara jadi terbentuk lah *slug annular*. Penelitian pada pola *slug annular* mulai diamati pada  $J_G = 1,941$  m/s dan  $J_L = 0,033$  m/s.

**Tabel 4.5** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  tetap 3 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi.

NO	$J_L$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,539 m/s	

Dapat diamati pada tabel 4.5 pola aliran *slug annular* perbedaan yang terjadi dengan  $J_L$  yang bervariasi tidak begitu terlihat jauh berbeda. Terlihat pada bentuk pola *slug annular* seperti gelombang naik turun pada bagian bawah pada saluran dan terdapat gelembung-gelembung kecil yang terhimpit. Hal tersebut dikarenakan bertambahnya nilai  $J_L$  yang membuat bertambahnya volume fluida cair yang masuk ke *mixer* sehingga dapat membuat bertambahnya tinggi gelombang dan bertambahnya intensitas kemunculan gelombang. Pada pola *slug annular* semakin tinggi  $J_L$  dapat dilihat aliran udara akan terdorong sehingga pola aliran *slug annular* terlihat hampir putus akibat gelombang air yang tinggi hampir menyerupai *plug*.

**Tabel 4.6** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  bervariasi dan nilai  $J_L$  tetap 0,149 m/s.




NO	$J_G$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	1,941 m/s	
2	7 m/s	
3	9,620 m/s	

Dapat kita amati pada tabel 4.6 pola aliran *slug annular* dengan  $J_G$  yang bervariasi tidak terlalu terjadi perbedaan yang signifikan. Tetapi, ketebalan lapisan bagian bawah air lebih tebal atau pekat dan jauh lebih bergelombang cairan dibanding lapisan atas saluran. Jumlah-jumlah gelombang air juga lebih banyak yang berdatangan, tapi lebih kecil dibanding  $J_G$  yang kecil. Nilai  $J_G$  yang semakin tinggi membuat aliran *slug annular* memiliki gelombang yang lebih kecil, dikarenakan aliran gas yang jauh lebih dominan dari aliran air sehingga aliran air yang semula terlihat memotong aliran dan mendorong aliran *slug annular* hingga terdorong oleh aliran gas yang besar.

#### 4.2.4. Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* terbentuk ketika nilai  $J_G = 50$  m/s dan  $J_L = 0,033$  m/s. Aliran *annular* mirip seperti pola aliran *slug annular* berbentuk gelombang kecil yang lebih banyak terlihat seperti aliran air yang tenang. Hal tersebut dikarenakan oleh kecepatan superficial gas yang lebih besar dibandingkan kecepatan superficial cairan. Dapat diamati bahwa aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang tapi, jika dilihat lebih jelas dan seksama aliran *annular* ini terlihat seperti gelombang-gelombang kecil yang bergerak cepat.

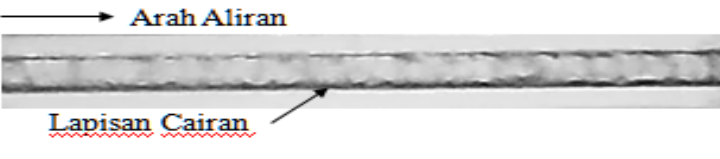

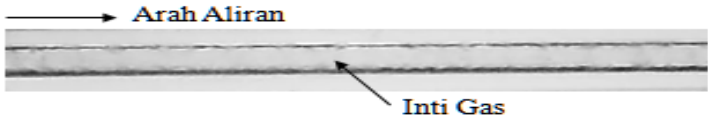
**Tabel 4.7** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  tetap 58,05 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi.

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

Dapat diamati tabel 4.7 dengan bertambah naiknya  $J_L$  cairan yang muncul pada bagian bawah dan atas terlihat lebih jelas dan lebih pekat. Semua itu disebabkan aliran air yang mengalir memiliki pertambahan debit aliran sehingga air yang terdorong udara semakin banyak. Ketika semakin tingginya  $J_L$  aliran *annular* akan terdapat bayangan hitam dan lebih pekat pada gelombang-gelombang saluran. Kecepatan naik air gelombang-gelombang pola aliran *annular* akan terlihat lebih cepat pada bagian atas dan bawah saluran.



**Tabel 4.8** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  bervariasi dan nilai  $J_L$  tetap 0,232 m/s.

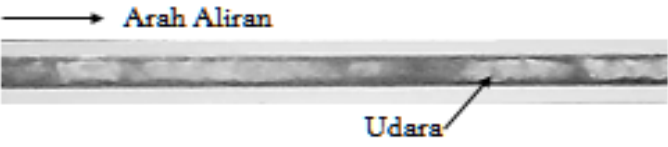
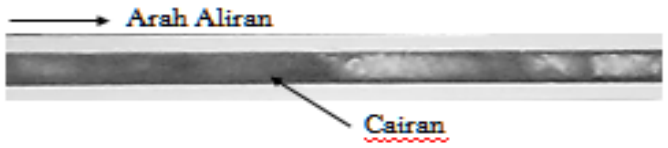

NO	$J_G$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	50 m/s	
2	58,05 m/s	
3	66,3 m/s	

Pada tabel 4.8 terlihat  $J_G$  yang semakin bertambah berbanding terbalik dengan  $J_L$  yang semakin bertambah pada tabel 4.7. Perbedaan nya yaitu semakin  $J_G$  bertambah pola aliran *annular* terlihat lebih mengalami penipisan dan juga lebih tenang pada gelombang-gelombang saluran dan tidak pekat pada bagian atas dan bawah saluran. Pada  $J_G$  yang lebih rendah dapat dilihat pola aliran *annular* lebih pekat dan hitam hampir terlihat pola *churn* yang muncul. Hal tersebut dikarenakan  $J_L$  yang tetap dan  $J_G$  yang bervariasi yang semakin naik sehingga aliran gas mendorong aliran air yang berada pada kedua sisi jadi aliran air di kedua sisi tidak terlihat jelas.

#### 4.2.5. Pola Aliran *Churn*



Pola aliran *churn* terbentuk ketika kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan yang tinggi. Ketika  $J_L$  dan  $J_G$  sama-sama tinggi pola terlihat hitam pekat muncul bayangan-bayangan hitam. Kecepatan alirannya pun diamati sangat cepat sehingga pola yang dilihat saat pengambilan video hanya terlihat bayangan hitam yang muncul sekali pada ujung inti gas yang diikuti aliran fluida yang sangat cepat atau bisa *full* bayangan hitam semua.

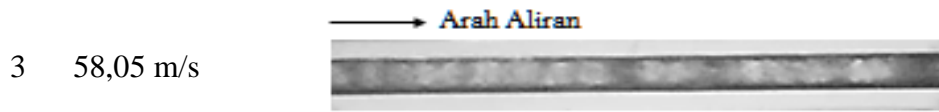
**Tabel 4.9** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  tetap 22,6 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi.

NO	$J_L$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,539 m/s	
2	0,897 m/s	
3	4,935 m/s	

Pada tabel 4.9 dapat dilihat perbandingan pola aliran *churn* ketika nilai  $J_L$  yang divariasikan bertambah. Dapat terlihat dari  $J_L$  yang rendah bayangan hitam muncul sedikit tidak banyak sedangkan pada  $J_L$  yang tinggi bayangan hitam terlihat jelas dan lebih panjang. Hal itu disebabkan karena debit air yang masuk semakin besar yang mengakibatkan udara terdispersi sehingga bayangan hitam semakin terlihat. Bayangan hitam itu pun akan terlihat sangat dominan dan aliran semakin cepat menyebabkan pengambilan gambar tidak optimal.

**Tabel 4.10** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai  $J_G$  bervariasi dan nilai  $J_L$  tetap 0,7 m/s.

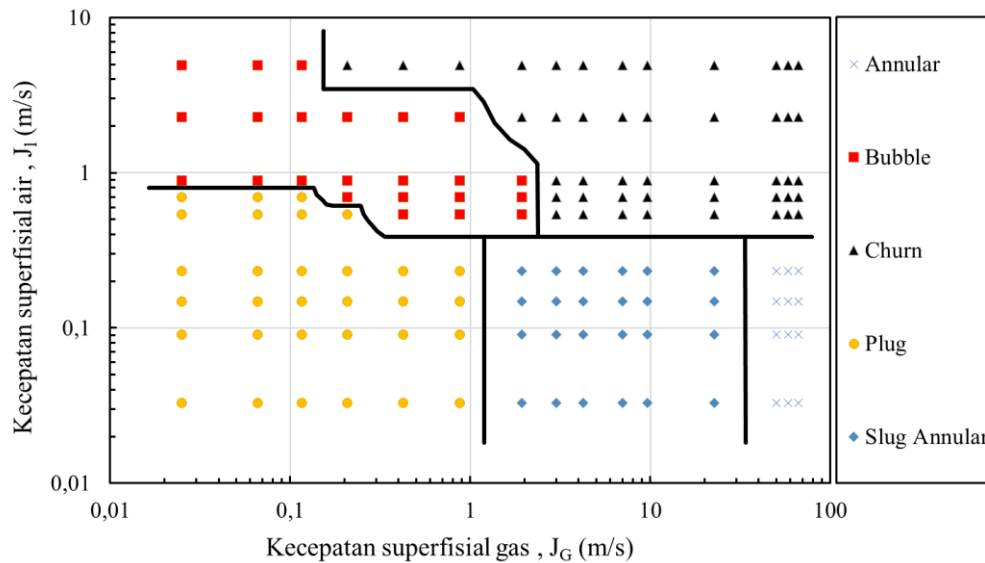
NO	$J_G$	GAMBAR POLA ALIRAN
1	22,6 m/s	
2	50 m/s	



Dapat diamati pada tabel 4.10 terlihat  $J_G$  yang semakin bertambah berbanding terbalik dengan  $J_L$  yang semakin bertambah pada tabel 4.9. Dengan semakin bertambahnya  $J_G$  membuat aliran gas lebih dominan yang menyebabkan bayangan hitam yang terlihat semakin berkurang dan tidak panjang. Hal itu membuat bayangan hitam berkurang yang semula didominasi oleh bayangan hitam yang berupa air karena meningkatnya aliran gas yang lebih dominan pada aliran *churn*.

#### 4.3. Peta Pola Aliran

Setelah didapatkan pola aliran yang telah diamati lalu diidentifikasi dan dimasukkan ke dalam peta pola aliran yang berbentuk grafik. Pada peta pola aliran sumbu x adalah kecepatan superfisial gas, sedangkan sumbu y adalah kecepatan superfisial cair. Peta pola aliran ditentukan pada daerah transisi dan analisis mengenai daerah transisi yang terjadi. Nilai minimum yang terdapat pada sumbu x adalah 0,01, sedangkan nilai maksimumnya adalah 100. Nilai minimum pada sumbu y adalah 0,01, sedangkan nilai maksimumnya adalah 10. Adapun gambar peta pola aliran terdapat pada gambar 4.1

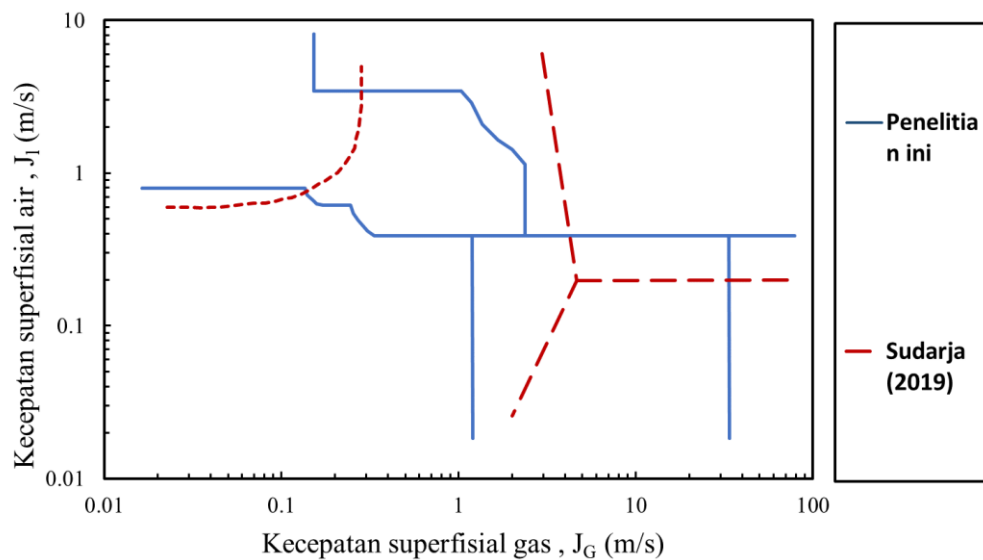


Gambar 4.2. Peta pola aliran butanol 3%

Peta pola aliran pada konsentrasi butanol 3% dari gambar 4.1 didapat hasil lima pola aliran yang didapat dengan 144 data. Dapat dilihat dari peta pola aliran pada gambar 4.1 pola jenis *plug* dan *churn* lebih terlihat banyak dibanding pola aliran lainnya, sedangkan untuk pola *annular* terlihat paling sedikit diantara lima pola aliran yang diamati. Pola aliran *plug* pada peta terlihat dibagian kiri bawah pada  $J_G$  awal = 0,025 m/s dan  $J_L$  awal = 0,033 m/s yang terus meluas hingga  $J_G$  mendekati garis transisi dengan *slug annular* pada  $J_G = 1,941$  m/s sedangkan  $J_L$  yang mendekati garis transisi *bubbly* pada  $J_L$  yang tinggi ke rendah. Pola aliran *churn* terdapat di kanan atas yang berada pada garis transisi *bubbly*, *slug annular*, dan *annular* yang berada di garis transisi yang berada di paling kanan bawah. Aliran *bubbly* ada dibagian kiri atas ketika kecepatan superficial gas lebih rendah daripada kecepatan superficial cairannya. Untuk pola aliran *slug annular* saat kecepatan superficial udara tinggi dibanding kecepatan superficial yang rendah, sampai  $J_G$  yang mendekati garis transisi *annular* di  $J_G = 50$  m/s dan  $J_L$  mencapai 0,539 m/s jika melebihi akan terdapat pola *churn*. Pola aliran *churn* sendiri akan terlihat muncul pada saat nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang tinggi.

#### 4.4. Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

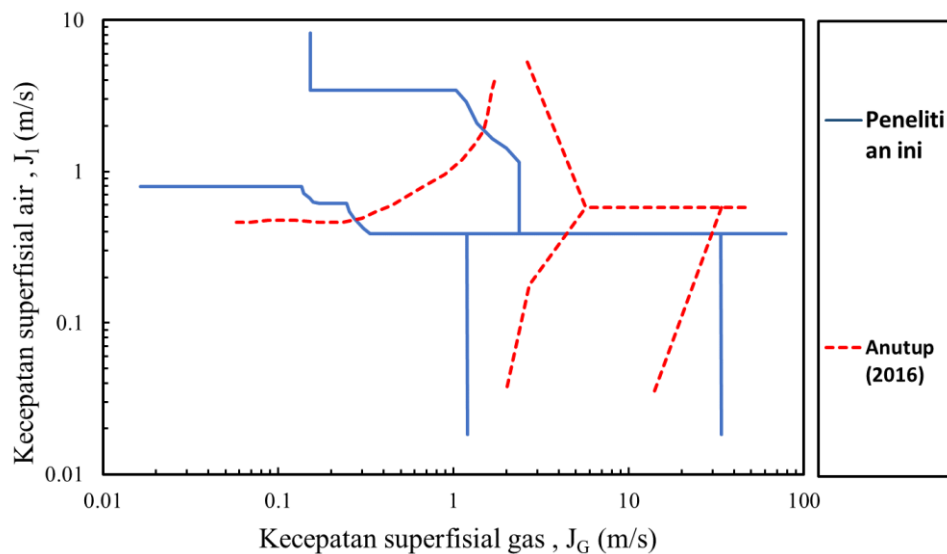
Perbandingan peta pola aliran yang didapat dari hasil penelitian dengan penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui perbedaan garis transisi yang disebabkan oleh perbedaan jenis fluida dan tegangan permukaan yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan terdahulu antara lain : Sudarja (2019) dan Anutup (2016).



Gambar 4.3. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Sudarja (2019).

Dapat dilihat pada gambar 4.2. garis transisi penelitian ini jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Sudarja (2019). Pola aliran yang terbentuk pada penelitian ini sama dengan penelitian Sudarja (2019) yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Pada penelitian ini sama dengan penelitian Sudarja (2019) menggunakan saluran pipa mini horisontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm. Perbedaan metode penelitian ini dengan Sudarja (2019) pada fluida kerja dan kemiringan sudut. Penelitian ini menggunakan fluida kerja yaitu air-udara dan campuran butanol 3% dengan variasi sudut kemiringan pipa 20°, sedangkan pada penelitian Sudarja (2019) fluida kerja yang digunakan yaitu air dan udara dengan posisi horisontal. Pada penelitian ini garis transisi *bubbly* terjadi pergeseran kebawah dikarenakan pola aliran *bubbly* muncul lebih banyak, sedangkan pada

penelitian Sudarja (2019) pola aliran plug lebih mendominasi dan garis transisi nya terjadi antara *bubbly* dan *churn*. Dapat dilihat pada gambar 4.2. garis transisi *annular*, *churn* dan *slug annular* pada penelitian ini mengalami pergeseran keatas. Pergeseran yang terjadi akibat pengaruh fluida kerja yang digunakan karena pada penelitian ini menggunakan campuran butanol 3%.



Gambar 4.4. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Anutup (2016).

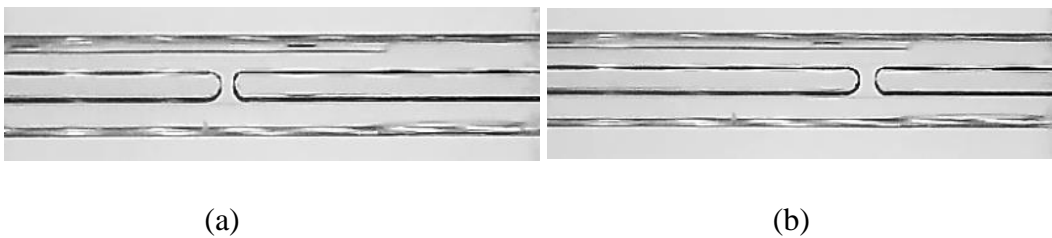
Perbandingan peta pola aliran Anutup (2016) dapat dilihat pada gambar 4.4. posisi garis transisi berbeda dari hasil penelitian ini dikarenakan pada penelitian Anutup (2016) menggunakan campuran fluida gas dan fluida cair dengan tambahan gliserin pada saluran mini horizontal berukuran 1,6 mm, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara-air dan campuran butanol 3% kemiringan  $20^\circ$ . Pola aliran yang didapatkan masih sama yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Dapat dilihat pada gambar 4.4 garis transisi *bubbly* dengan *plug* pada penelitian Anutup (2016) lebih miring sedangkan pada pola aliran *plug* terlihat sangat lebih dominan dibandingkan pada penelitian ini. Untuk garis transisi antara *annular*, *churn* dan *slug annular* mengalami pergeseran ke atas dibanding dengan penelitian ini hal ini dikarenakan pada penelitian Anutup pola aliran yang mendominasi adalah *plug*.

#### 4.5. Fraksi Hampa (*Void Fraction*)

Hasil penelitian fraksi hampa pada pipa mini horizontal dengan kemiringan 20 derajat dengan campuran 3% butanol. Nilai fraksi hampa dipengaruhi oleh kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial liquid ( $J_L$ ). Pembahasan 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  $\varepsilon$  (-).

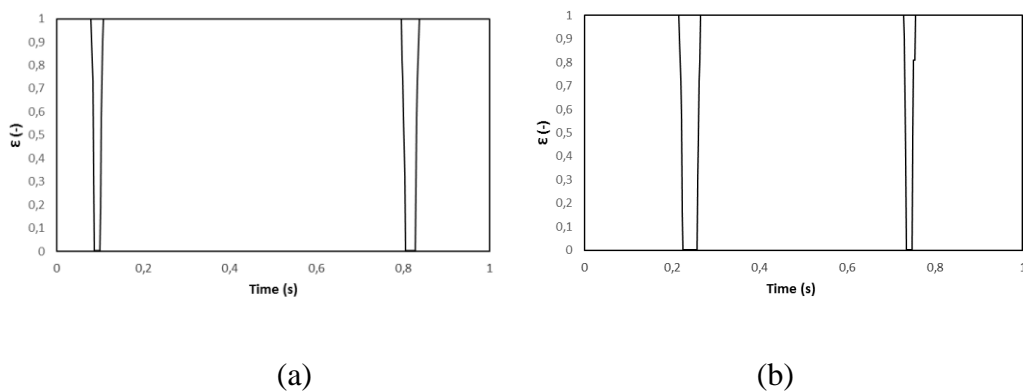
##### 4.5.1. Pola Aliran Plug

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



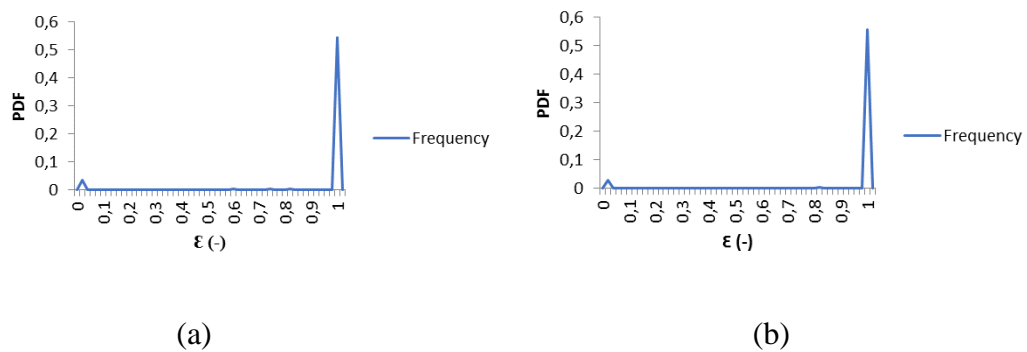
Gambar 4.4. Pola aliran *plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,116$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s

Pada gambar 4.4. terdapat dua jenis *plug* yaitu *plug* panjang dan *plug* pendek pada *plug* pendek jarak antara *nose* dan *tail* saling berjauhan berbeda dengan *plug* panjang jarak antara *nose* dan *tail* saling berdekatan.



Gambar 4.5. *Time-Average* fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,116$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s

Grafik *time-average* aliran *plug* yang ditunjukkan pada gambar 4.5. yang berada pada variabel (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,116$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, nilai fraksi hampa pada pola aliran *plug* mencapai 0,98 karena pola aliran *plug* memenuhi dinding pipa yang merupakan fase udara.

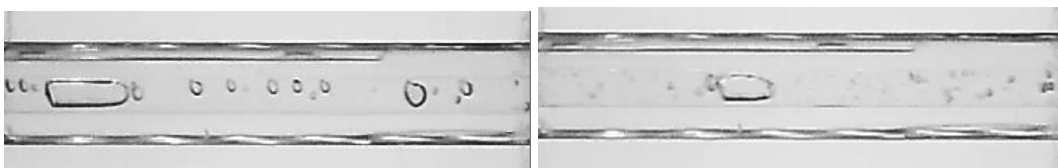


Gambar 4.6. PDF aliran *plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,116$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s

Pada  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,54 dan pada  $J_G = 0,116$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,57 dikarenakan pola aliran *plug* yang muncul banyak dan panjang seperti ditunjukkan pada gambar 4.3.

#### 4.5.2. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

Terbentuknya pola aliran *bubbly* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial udara lebih rendah dari kecepatan superfisial cairan yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



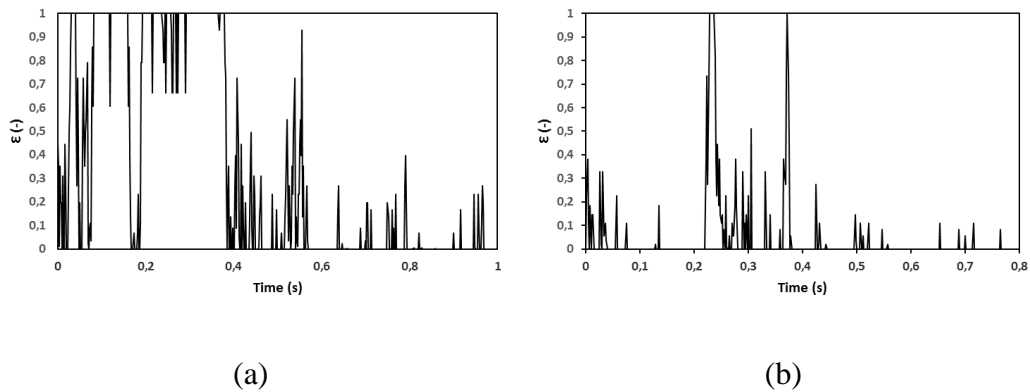
(a)

(b)



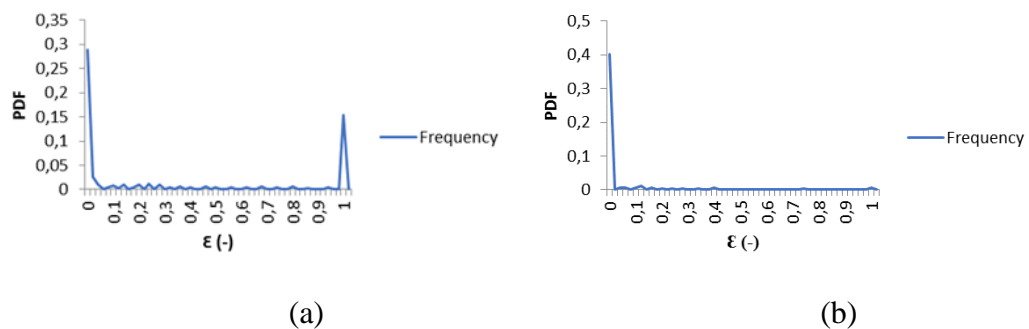
Gambar 4.7. Pola aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,879$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Dilihat pada gambar 4.7. semakin besar nilai  $J_L$  maka bubble yang terbentuk akan semakin banyak dan sedikit tetapi pola alirannya tidak beraturan.



Gambar 4.8. *Time-Average* fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,879$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Pada gambar 4.8. yang menunjukkan grafik *time-average* bahwa semakin tinggi nilai  $J_L$  maka frekuensi pola aliran akan semakin kecil dikarenakan jika jumlah  $J_L$  tinggi cairan yang masuk semakin banyak.



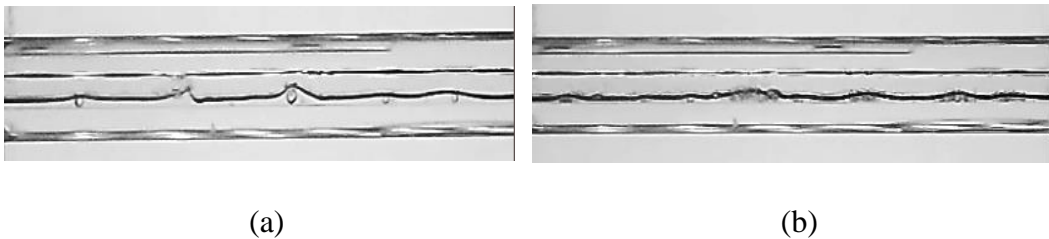
Gambar 4.9. PDF aliran *bubbly* pada pada (a)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,879$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,879$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *bubbly* yaitu 0 dengan nilai probabilitas 0,18 namun masih terlihat

pola *plug* 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 0,17 yang ditunjukkan pada gambar 4.9.

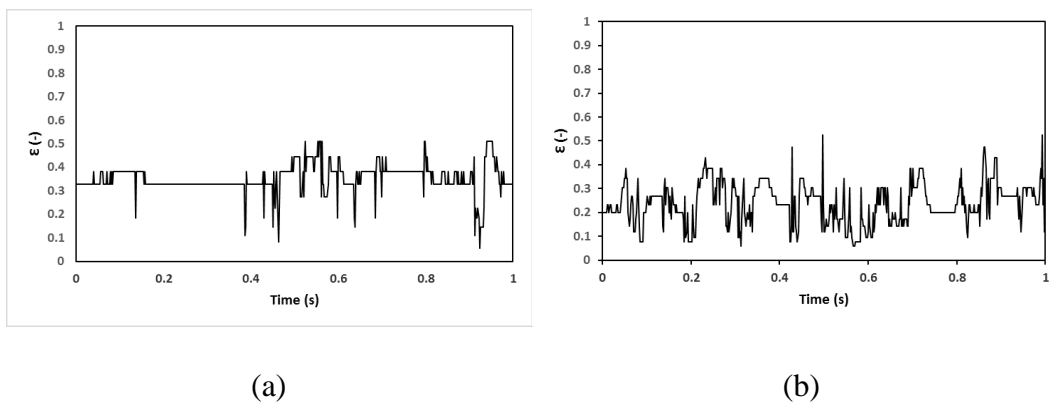
### 4.5.3. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug-Annular*

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.



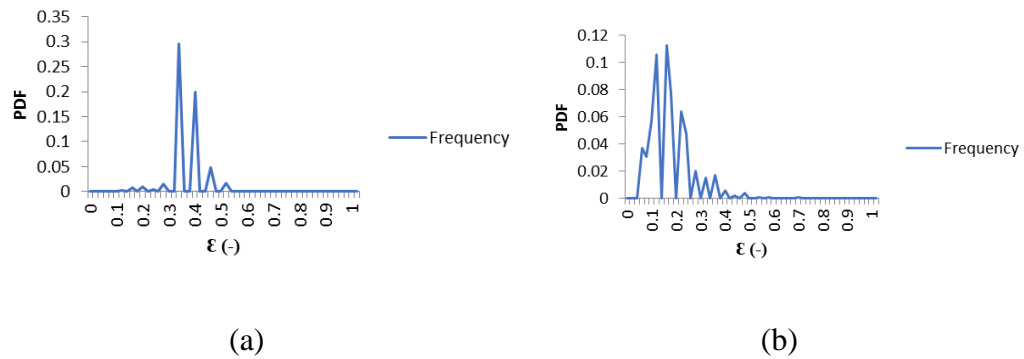
Gambar 4.10. Pola aliran *slug-annular* pada (a)  $J_G = 1,941$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 7$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s

Pada gambar 4.10. terdapat *liquid neck* yang disertai *foamy bubbly* yang disebabkan oleh aliran air yang berusaha memutus aliran udara namun aliran air tidak mampu memutusnya.



Gambar 4.11. *Time-Average* fraksi hampa pada (a)  $J_G = 1,941$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 7$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s

Pada gambar 4.11. menunjukkan nilai fraksi hampa mengalami penurunan seiring terjadinya *liquid neck* pada pola aliran.

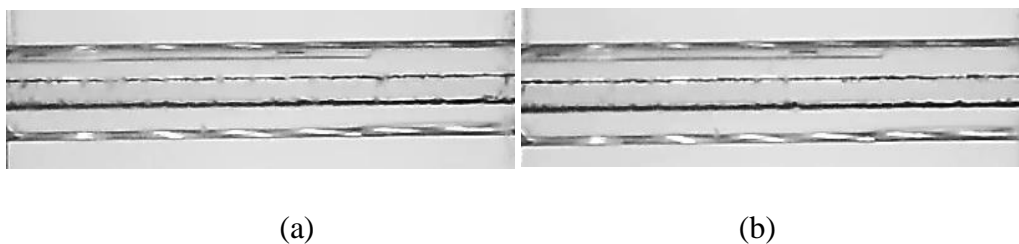


Gambar 4.12. PDF aliran *slug-annular* pada (a)  $J_G = 1,941$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 7$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s

Pada  $J_G = 1,941$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,30 dengan nilai probabilitas 0,32 dan pada  $J_G = 7$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,11 dengan nilai probabilitas 0,12 dikarenakan munculnya *liquid neck* yang ditunjukkan pada gambar 4.12.

#### 4.5.4. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

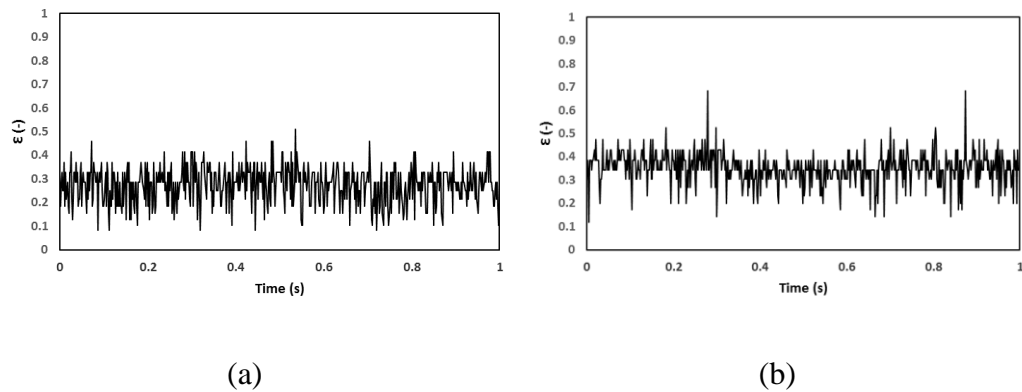
Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan seksama, aliran annular memiliki gelombang kecil dibagian atas dan bawah yang bergerak cepat yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Pola aliran *annular* pada (a)  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

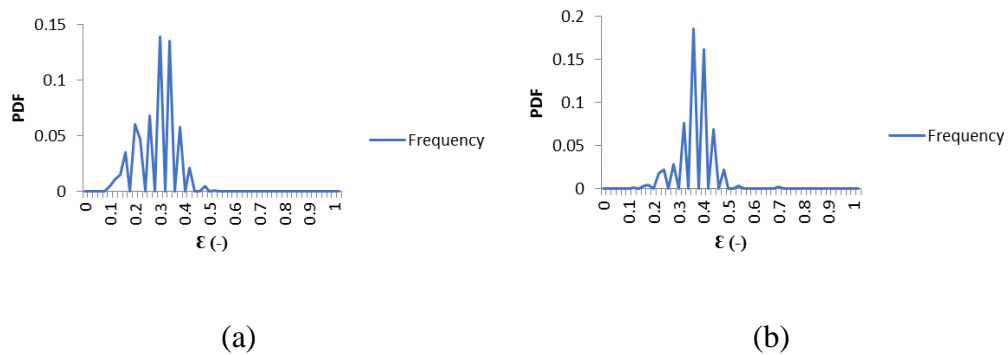
Pada gambar 4.10 terlihat perbedaan pada  $J_L$  secara teori jika  $J_L$  lebih kecil dan  $J_G$  lebih besar maka lapisan film cairan akan lebih tipis, sedangkan jika  $J_G$  lebih kecil dan  $J_L$  lebih besar maka lapisan film cairan akan lebih tebal. Hal ini

disebabkan karena semakin besar  $J_L$  maka bertambahnya volume cairan yang membuat lapisan film akan lebih tebal.



Gambar 4.14. *Time-Average* fraksi hampa pada (a)  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Seperti yang terlihat pada gambar 4.14. adanya penurunan pada grafik fraksi hampa *annular* tetapi penurunan tersebut tidak terlalu signifikan.

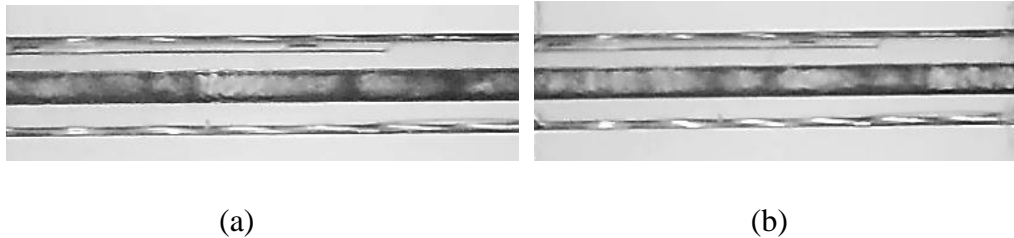


Gambar 4.15. PDF aliran *annular* pada (a)  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s, dan (b)  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Pada  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,30 dengan nilai probabilitas 0,15 dan pada  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,41 dengan nilai probabilitas 0,2 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.15.

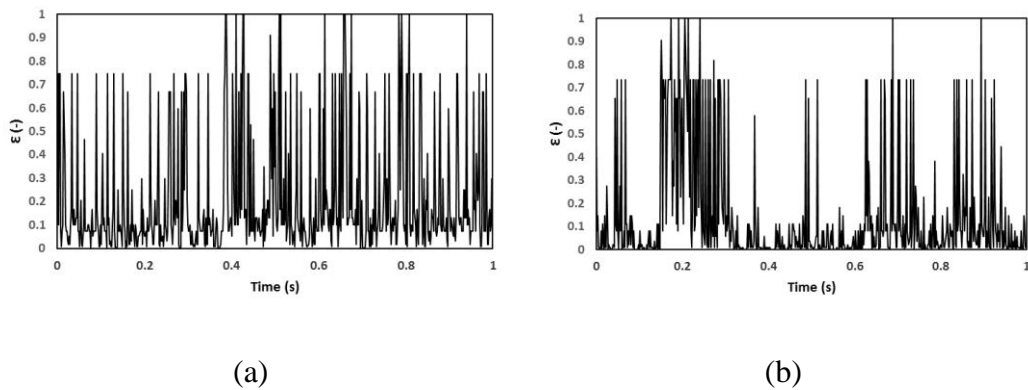
#### 4.5.5. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* mulai muncul ketika nilai  $J_G$  dan  $J_L$  sama-sama tinggi yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



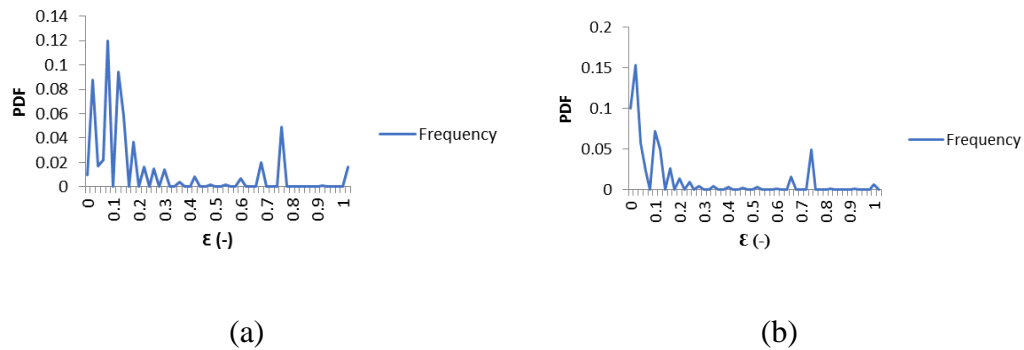
Gambar 4.16. Pola aliran *churn* pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s, dan (b)  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s

Pola aliran churn mengalami distorsi semakin tinggi  $J_G$  distorsi yang muncul akan semakin sedikit yang ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.17. *Time-Average* fraksi hampa pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s, dan (b)  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s

Kenaikan kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) sangat mempengaruhi pada distorsi yang muncul jika pada  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s distorsi yang muncul cukup besar dan panjang, sedangkan pada  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s distorsi yang muncul cukup sedikit dan kecil seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17.



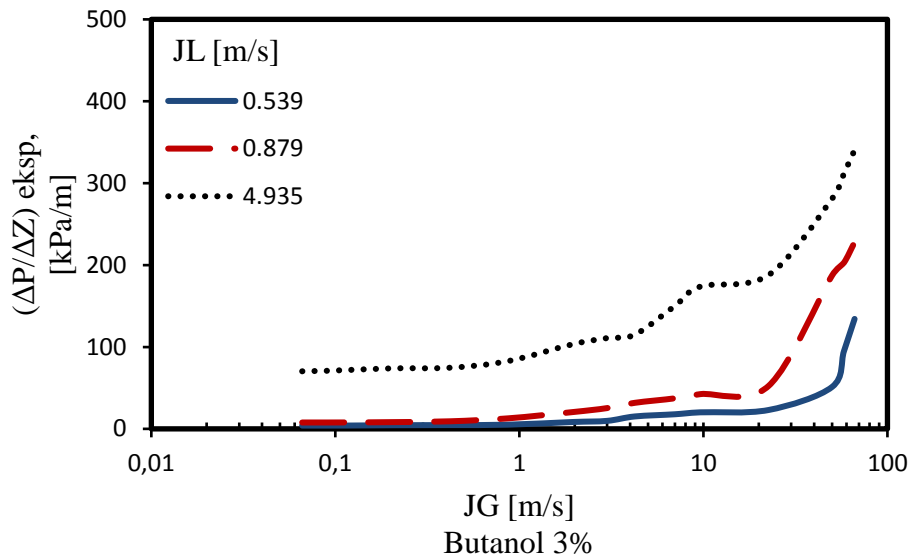
Gambar 4.18. PDF aliran *churn* pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s, dan (b)  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s

Pada  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,08 dengan nilai probabilitas 0,12 dan pada  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,539$  m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,10 dengan nilai probabilitas 0,15 yang ditunjukkan pada gambar 4.18.

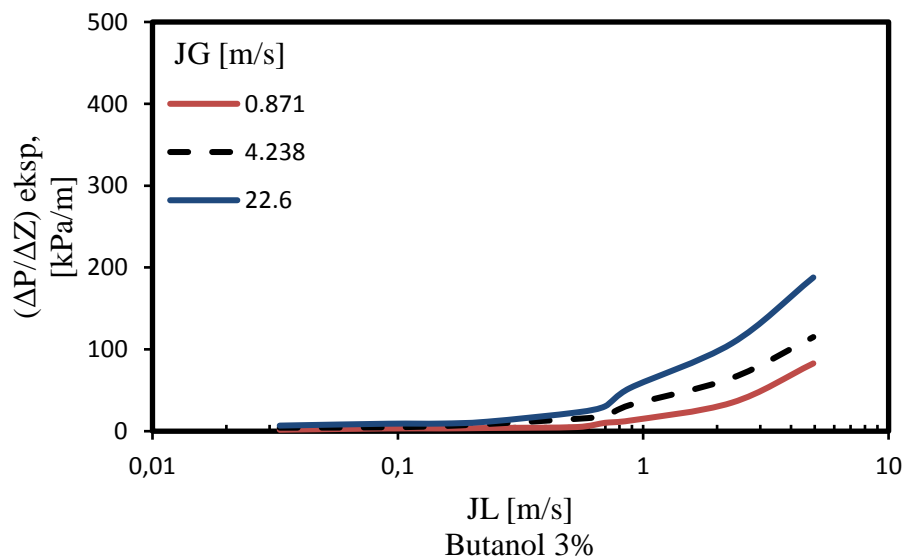
#### 4.6. Gradien Tekanan

Penelitian yang dilakukan untuk mengambil data yang akan didapat yaitu penurunan tekanan tiap satuan panjang (gradien tekanan). Alat yang digunakan untuk data yang diambil menggunakan sensor MPX system yang telah dipasang dan data disambungkan ke computer. Pembahasan tentang penurunan tekanan per satuan panjang (gradien tekanan) aliran dua fase yang dilakukan pada pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan variasi  $J_G$  dan  $J_L$ .

##### 4.6.1. Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan pada Aliran Dua Fase Udara-Akuades dan Butanol 3%



Gambar 4.19 Pengaruh  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$



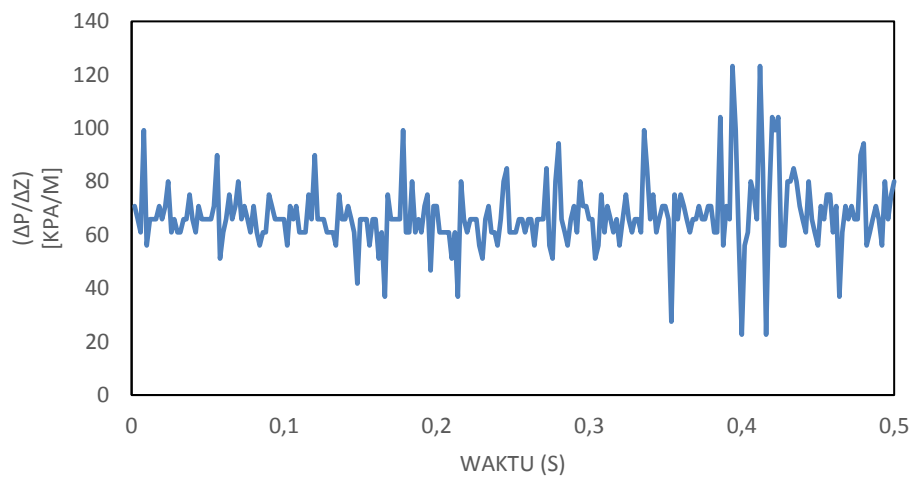
Gambar 4.20 Pengaruh  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2 jika kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) mengalami peningkatan maka nilai dari gradien tekanan akan meningkat dan jika kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ) mengalami peningkatan maka nilai gradien tekanan juga akan meningkat.  $J_G$  dan  $J_L$  dibuat bervariasi untuk mengetahui

efek yang terjadi pada kenaikan maupun penurunan terhadap gradien tekanan. Penelitian dilakukan agar terjadi pengaruh terhadap perubahan kecepatan superfisial dengan nilai gradien tekanan.

#### 4.6.2. Gradien Tekanan Terhadap Waktu

Gradien tekanan terhadap waktu dilakukan untuk melihat hasil dari gradien tekanan dari 50.000 data dalam waktu 50 detik dijadikan 500 data dengan waktu 5 detik, maka didapatkan hasil seperti berikut :



Gambar 4.21 Pengaruh gradien tekanan terhadap waktu dengan butanol 3% pada  $J_G = 0,871$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s.