

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Fraksi Hampa

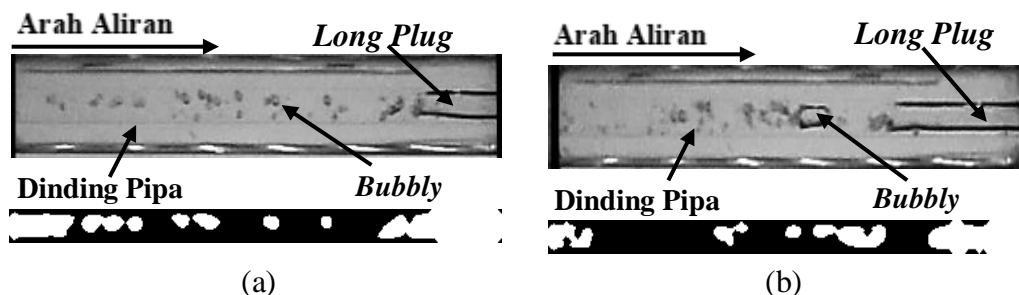
Hasil penelitian aliran dua fase fraksi hampa pada pipa mini berdiameter 1,6 mm dengan kemiringan  $45^\circ$  terhadap posisi horizontal pada berbagai konsentrasi 40%, 50%, 60% dan 70% gliserin ini menghasilkan pola aliran *plug*, *bubbly*, *slug*, *annular*, *annular*, dan *churn*. Hasil *Time-Average* fraksi hampa kemudian diolah untuk menentukan nilai *Probability Distribution Function* (PDF) sebagai fungsi  $\varepsilon$  [-] (nilai fraksi hampa) dengan analisa pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (sisi inlet).

#### 4.1.1 Fraksi Hampa pada Aliran *Bubbly*.

Pola aliran *bubbly* ini ditandai dengan adanya pola berupa gelembung-gelembung udara kecil yang biasanya menyerupai bola (lingkaran). Pola aliran *bubbly* ini akan terbentuk ketika posisi kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) rendah dan posisi kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) tinggi.

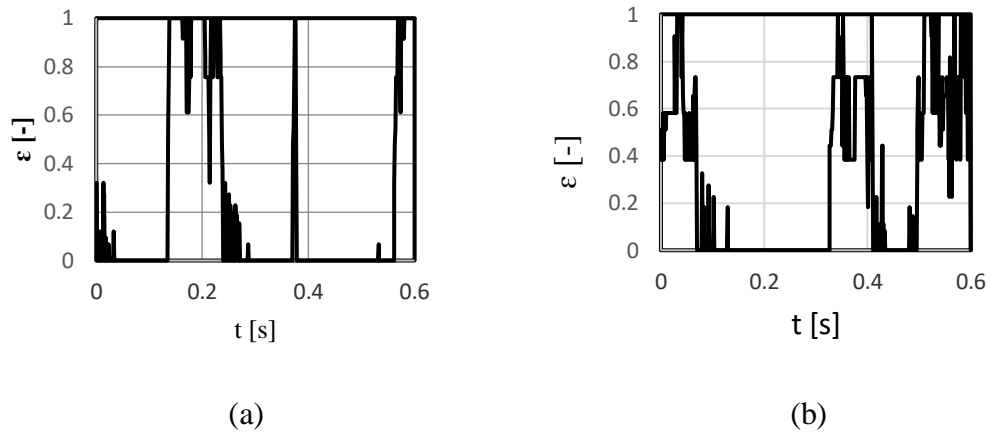
##### 4.1.1.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Pola aliran *bubbly* yang ditunjukkan pada gambar 4.1 munculnya gelembung udara kecil yang berbentuk seperti bola yang mengambang di sekitaran dinding pipa seperti yang terlihat pada gambar. Pola aliran ini muncul pada saat kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) rendah dan kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) mengalami kecepatan sangat tinggi.



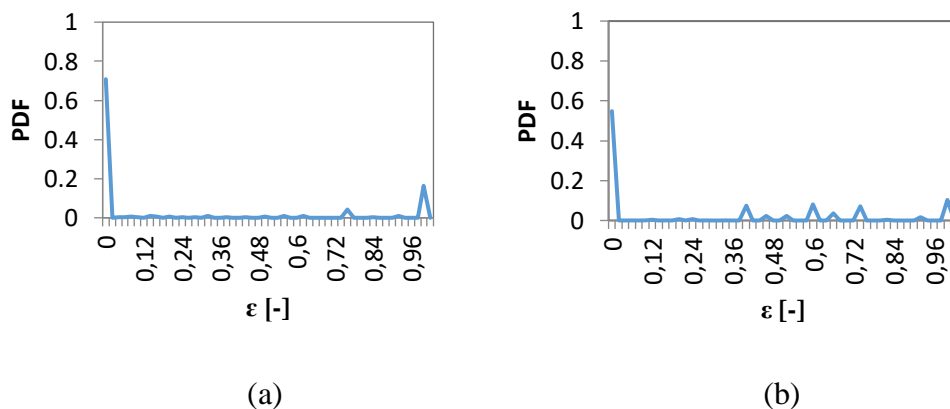
**Gambar 4.1** Pola aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s.

Pada konsentrasi gliserin 40% *bubbly* berbentuk bulat dan memiliki ukuran diameter *bubbly* sangat kecil dan susunannya terdispersi.



**Gambar 4.2** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Gambar 4.2 menunjukkan pada aliran *bubbly* tidak sepenuhnya terisi dengan bubbly, tetapi terdapat juga aliran *plug* yang pendek. Dilihat dari hasil grafik terdapat kenaikan secara signifikan pada rentang waktu tertentu. Munculnya aliran *plug* bisa kemungkinan bisa diakibatkan karena adanya dua atau lebih gelembung (*coalescence*) yang bergabung pada saat mengumpulnya udara pada sisi *inlet mixer*.



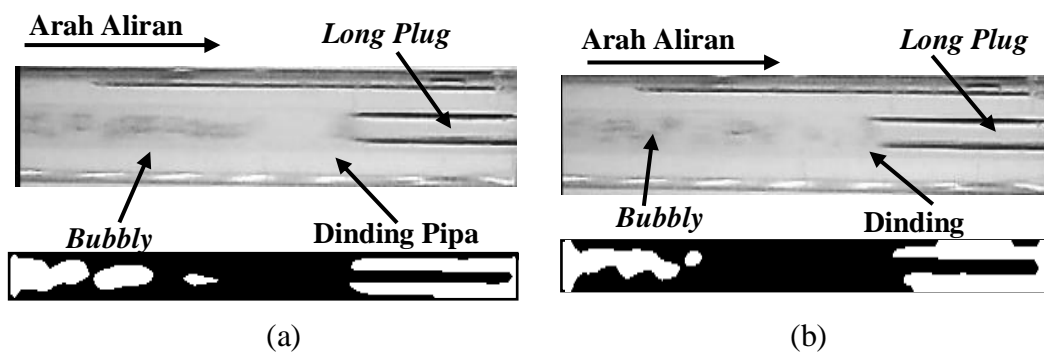
**Gambar 4.3.** Grafik PDF aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s.

Grafik PDF pola aliran *bubbly* variabel ini dapat dilihat pada gambar 4.3 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,2 dengan nilai probabilitas 0,70 dan

gambar 4.3 (b) menunjukkan fraksi hampa yang dominan adalah 0,2 dengan nilai probabilitas 0,54.

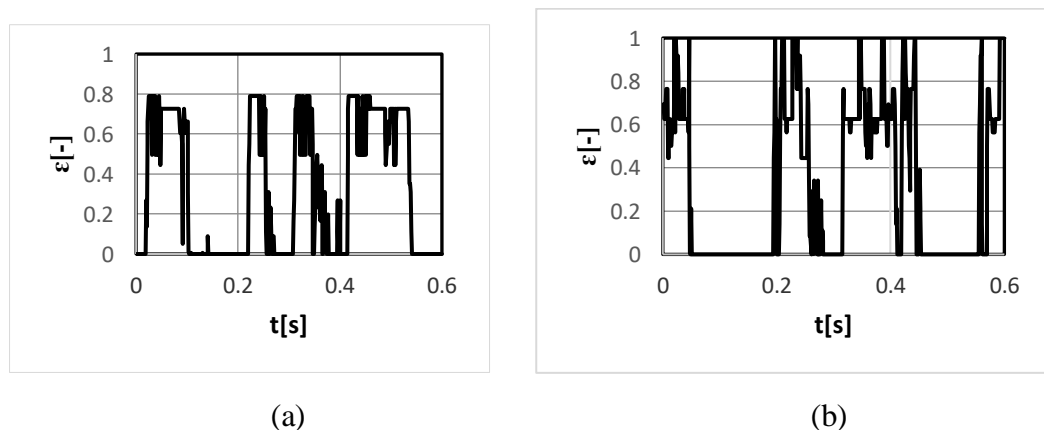
#### 4.1.1.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Pola aliran *bubbly* presentase 50% muncul dengan frekuensi lebih banyak dibandingkan pola aliran *bubbly* presentase 40% tetapi bentuk *bubbly* masih sama sangat kecil.



**Gambar 4.4.** Pola Aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

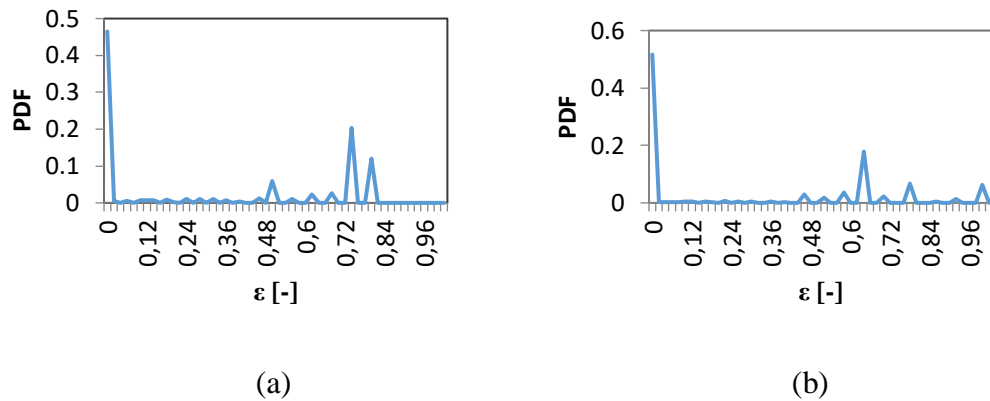
Gambar 4.4 Pola aliran *bubbly* pada  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s yang berbentuk bulat, susunannya terdispersi tersebar merata dan memiliki ukuran diameter yang sangat kecil.



**Gambar 4.5.** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Gambar 4.5 menunjukkan grafik fraksi hampa yang tidak beraturan yang dikarenakan adanya kenaikan dan penurunan grafik dalam waktu sekala tertentu. Hal

ini disebabkan adanya kemunculan plug yang mana membuat grafik mengalami kenaikan dan bentuk *bubbly* itu sendiri masih sangat kecil.

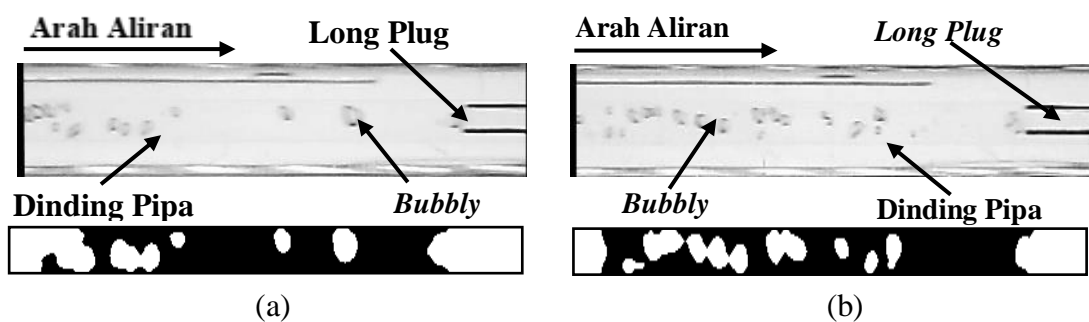


**Gambar 4.6.** PDF aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Grafik PDF pola aliran *bubbly* pada variabel ini ditunjukkan oleh gambar 4.6 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,46 dan gambar 4.6 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,51.

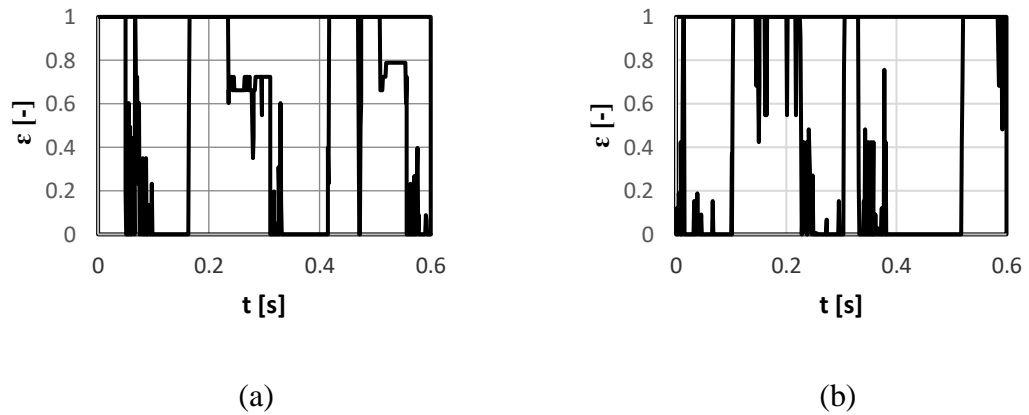
#### 4.1.1.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

Pada variabel ini pola aliran *bubbly* muncul dengan frekuensi yang cukup banyak. Pola aliran *bubbly* persentase campuran 60% gliserin dengan  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s ditunjukkan oleh Gambar 4.7



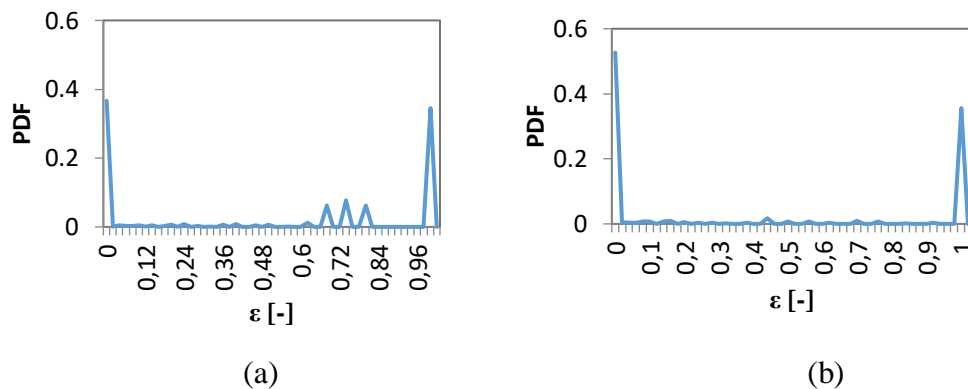
**Gambar 4.7** Pola aliran pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Gambar 4.7 Menunjukkan pola aliran *bubbly* yang berbentuk bulat susunan terdispersi dan ukuran diameter pola ini yang kecil.



**Gambar 4.8** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s.

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa aliran *bubbly* tidak terisi dengan bubbly namun juga terdapat aliran plug yang pendek. Hal ini dapat kita lihat dari hasil grafik diatas terlihat naik turun secara signifikan dengan waktu tertentu.

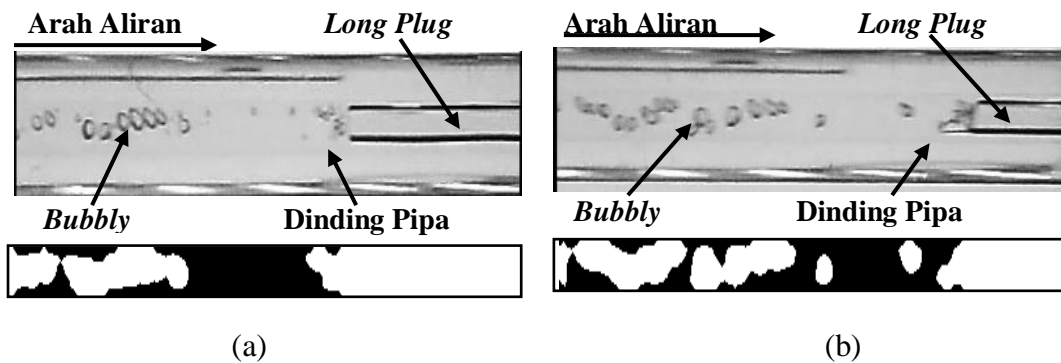


**Gambar 4.9** PDF aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

Grafik PDF pola aliran *bubbly* pada variabel ini ditunjukkan oleh Gambar 4.9 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,36 dan Gambar 4.9 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,52.

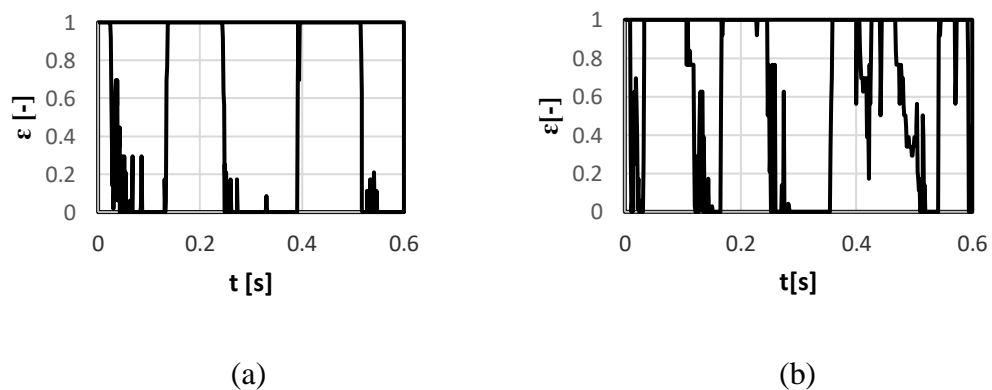
#### 4.1.1.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Pola aliran bubbly persentase 70% gliserin dilihat pada gambar 4.10. pada variabel ini pola aliran bubbly memiliki frekuensi paling banyak dari 3 variabel lainnya.



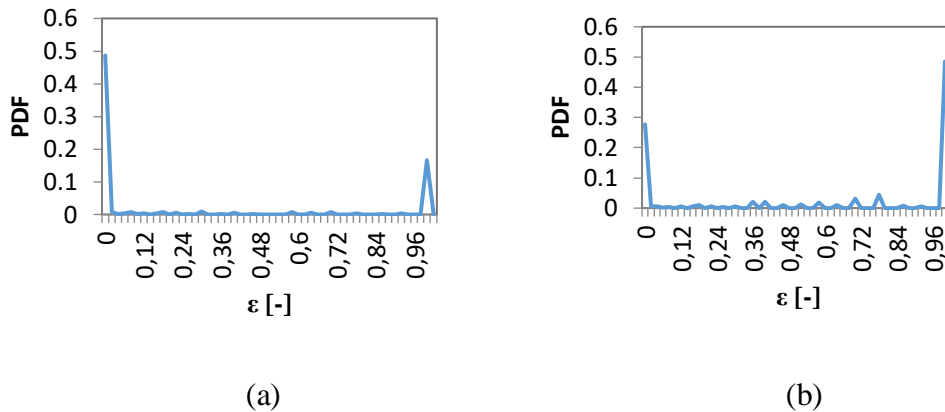
**Gambar 4.10** Pola Aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,423 \text{ m/s}$ ,  $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ , dan (b)  $J_G = 0,871 \text{ m/s}$ ,  $J_L = 2,297 \text{ m/s}$

Gambar 4.10 pola aliran bubbly berbentuk lonjong, sehingga tampak bubbly yang memiliki ekor dan ukuran diameter lebih besar dibanding presentase 40%, 50%, 60%.



**Gambar 4.11.** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,207 \text{ m/s}$ ,  $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ , dan (b)  $J_G = 0,423 \text{ m/s}$ ,  $J_L = 2,297 \text{ m/s}$

Gambar 4.11 menunjukkan grafik fraksi hampa tidak jauh berbeda dengan persentase lainnya. Pola aliran *bubbly* yang didahului oleh pola aliran plug mengakibatkan kenaikan nilai fraksi hampa pada rentang waktu tertentu.



**Gambar 4.12.** PDF aliran *bubbly* pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,871$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

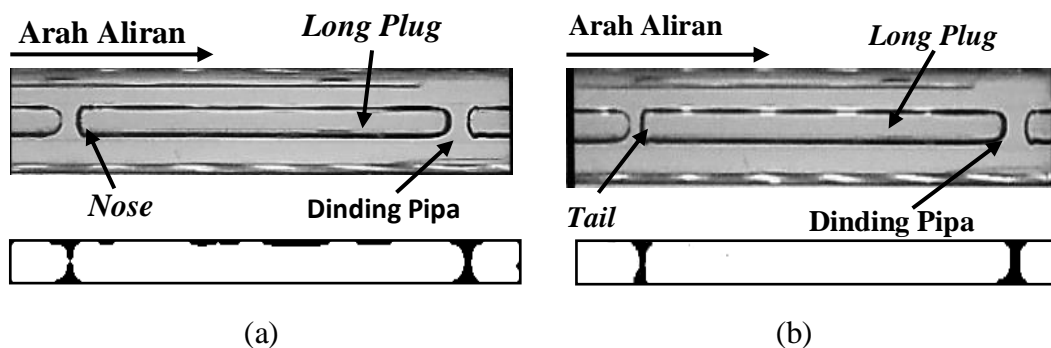
Gambar PDF pada pola *bubbly* campuran 70% gambar 4,12 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,2 dengan nilai probabilitas 0,48 dan gambar 4.12 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,48.

#### 4.1.2 Fraksi Hampa untuk pola aliran *plug* 40%

Pola aliran *plug* memiliki bentuk mirip dengan *bubbly* yang memanjang (*elongated bubbly*) yang pola alirannya seperti peluru yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola yang berbeda-beda. Pola aliran ini biasanya terjadi saat kecepatan superfisial gas dan cairan rendah.

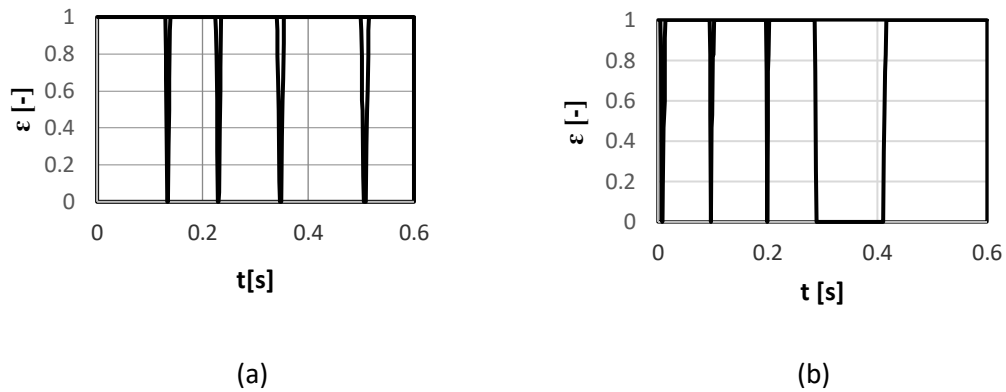
##### 4.1.2.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Gambar 4.13 menunjukkan pola aliran *plug* dengan persentase campuran gliserin 40%.



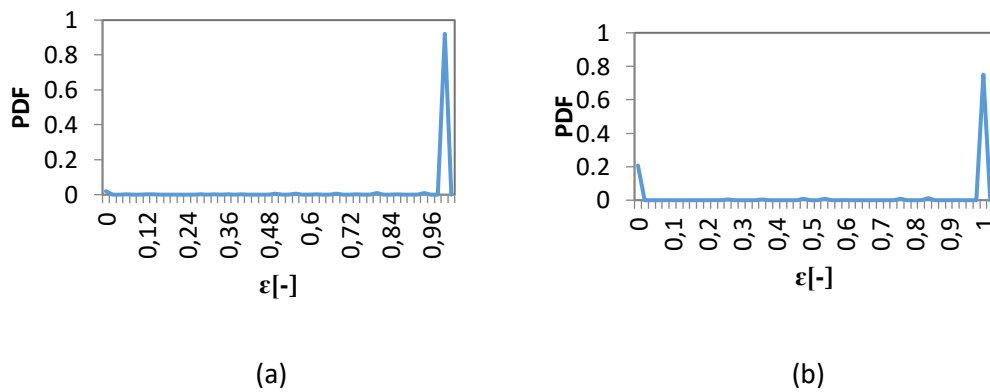
**Gambar 4.13** Pola Aliran *plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s.

Gambar 4.13 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *longe plug*. Pola aliran *long plug* memiliki ciri *nose* dan *tail* saling berjauhan.



**Gambar 4.14** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

Gambar 4.14 menunjukkan frksi hampa aliran plug pada kondisi atau rentang waktu tertentu mencapai angka 1. Disebabkan pada pola aliran plug udara yang hampir memenuhi diameter dinding pipa.



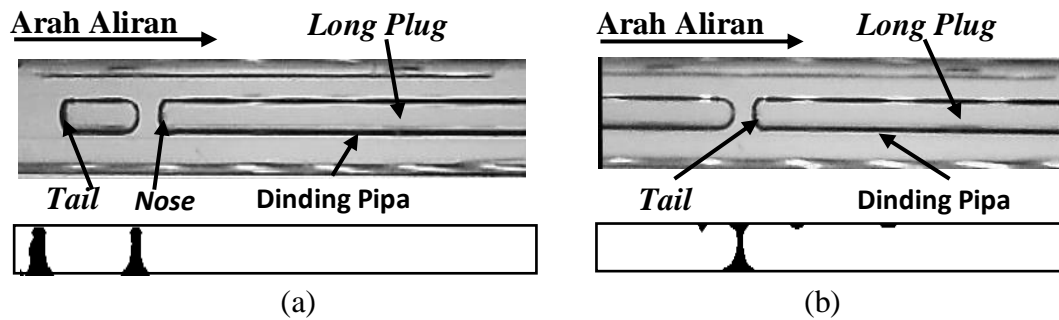
**Gambar 4.15** Grafik PDF aliran plug dengan konsentrasi campuran gliserin 40% pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

Gambar 4.15 nilai fraksi hampa dominan terjadi pada pola aliran plug pada  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,92 dan  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s nilai fraksi hampa dominan yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,75.



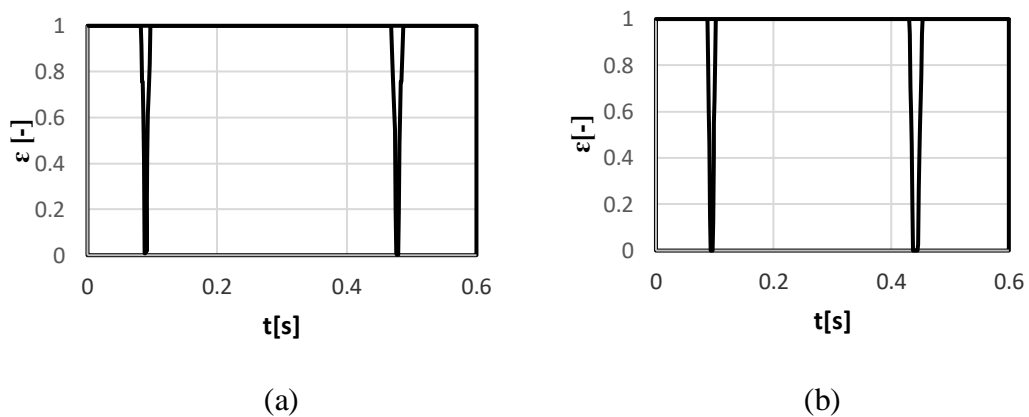
#### 4.1.2.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Gambar 4.16 menunjukkan pola aliran *plug* dengan persentase campuran gliserin 50%.



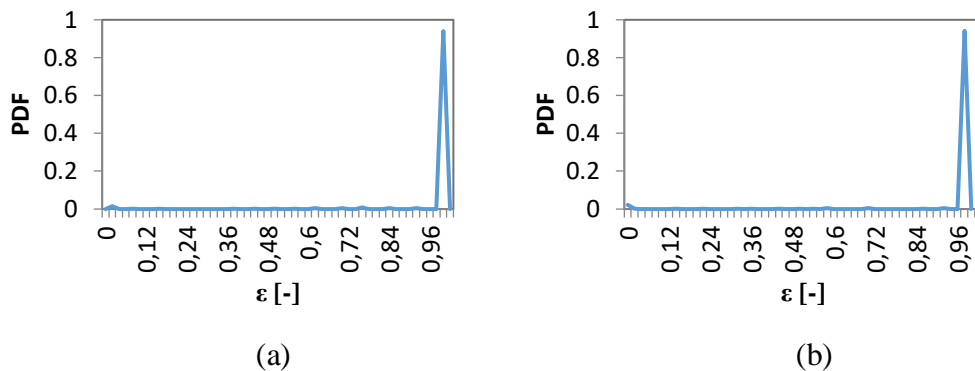
**Gambar 4.16** Pola Aliran *plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s.

Gambar 4.16 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug* yang panjang.



**Gambar 4.17.** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s.

Gambar 4.17 menunjukkan grafik fraksi hampa mencapai nilai 1 pada kondisi rentang waktu tertentu, disebabkan plug udara hampir memenuhi diameter dalam pipa. Fase udara terlihat dominan dibandingkan fase cair.

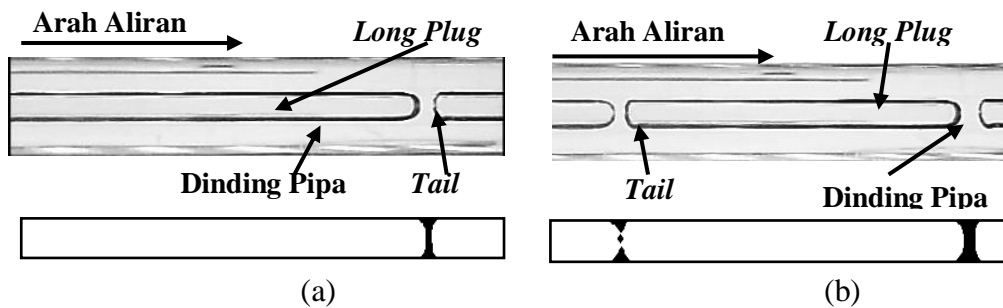


**Gambar 4.18.** PDF Pola Aliran *plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s.

Gambar 4.18 menunjukkan nilai fraksi hampa pada  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,94 dan  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,98 dengan probabilitas 0,93.

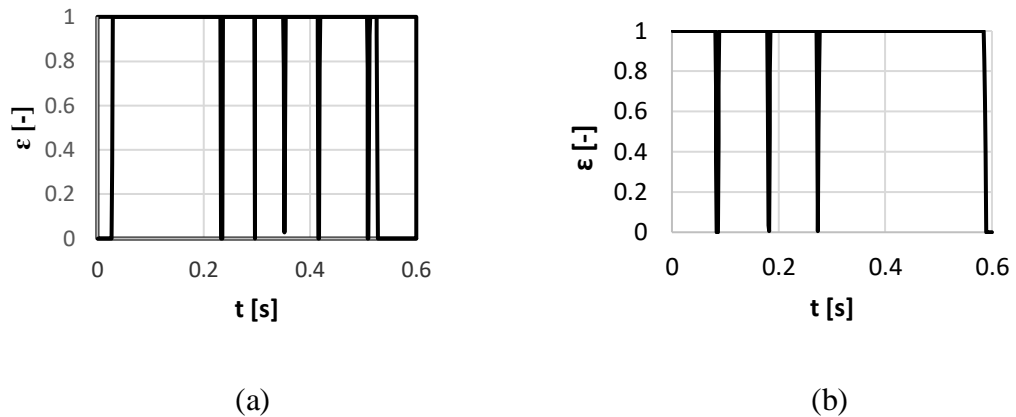
#### 4.1.2.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

Gambar 4.19 menunjukkan pola aliran *plug* dengan persentase campuran gliserin 60%.



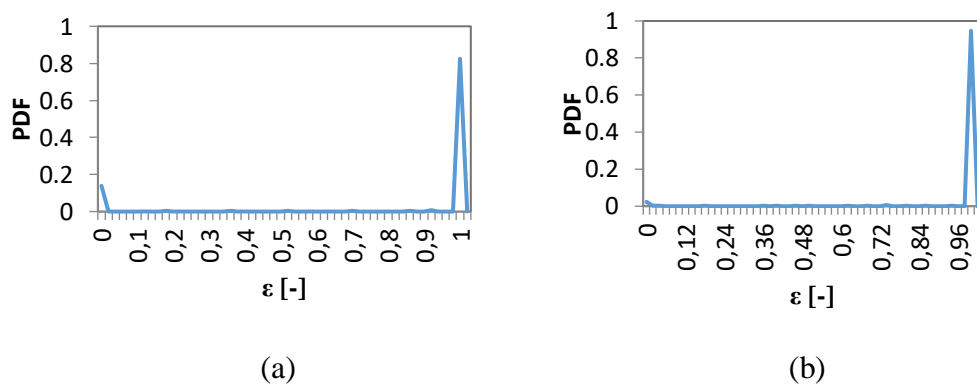
**Gambar 4.19.** Pola Aliran *plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

Gambar 4.19 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug*. Pola aliran *long plug* yang *nose* dan *tail* saling berjauhan. Plug pada persentase 60% gliserin muncul dengan frekuensi lebih banyak dibandingkan frekuensi plug pada 50%.



**Gambar 4.20.** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

Gambar 4.20 menunjukkan grafik fraksi hampa aliran plug hampir memenuhi bagian dinding dalam pipa, hal ini dikarenakan grafik menunjukkan nilai 1 yang merupakan nilai maksimal dari fraksi hampa.

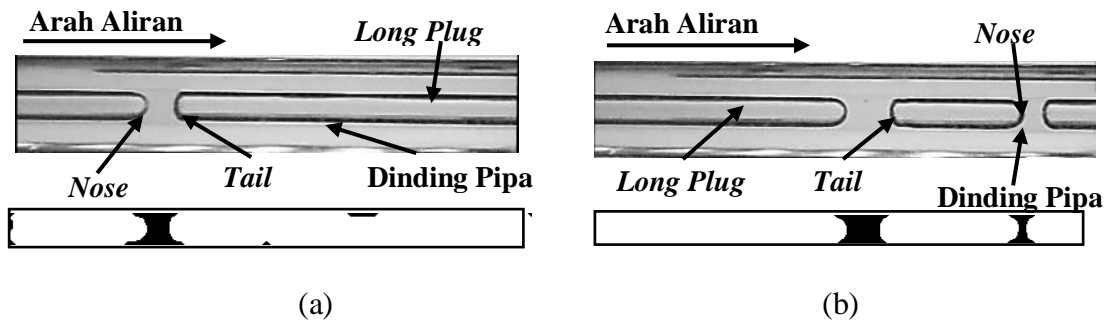


**Gambar 4.21.** PDF aliran *plug* gliserin 60% pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

Gambar 4.21 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,82 pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s nilai fraksi hampa dominan 0,98 nilai probabilitas 0,94.

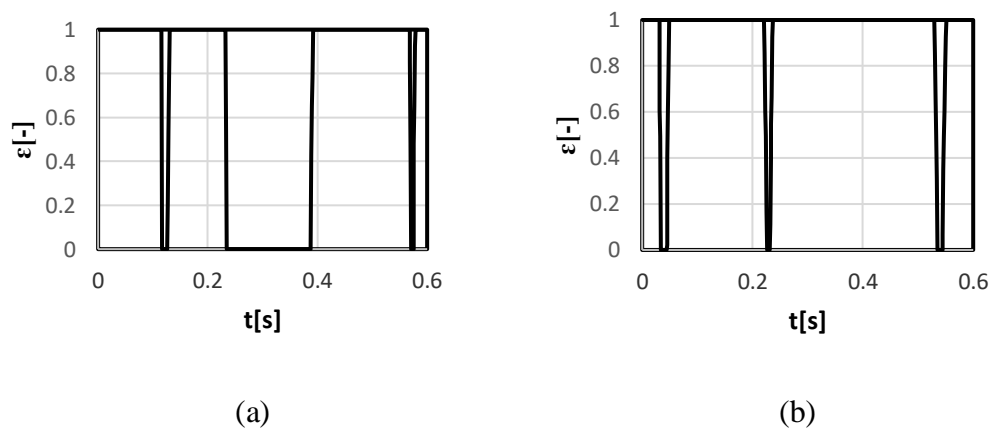
#### 4.1.2.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran plug dengan persentase campuran gliserin 70%.



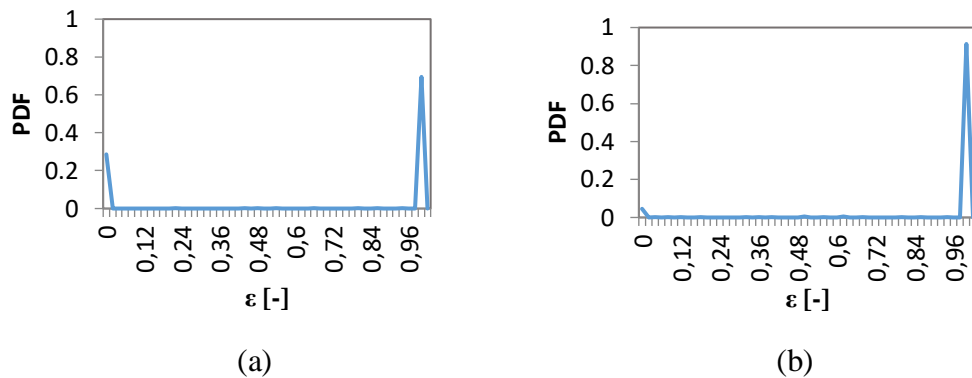
**Gambar 4.22.** Pola Aliran *plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran *plug* pada variabel ini hampir mirip dengan pola aliran plug pada persentase campuran 60% dengan jenis aliran long plug.



**Gambar 4.23.** Time average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

Gambar 4.23 menunjukkan grafik fraksi hampa mencapai nilai 1 pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh plug udara memenuhi diameter dalam pipa sehingga fase yang dominan adalah fase udara. Dan pada persentase campuran 70% tidak jauh beda dengan persentase 40%,50%,60%.



**Gambar 4.24.** PDF aliran *plug* gliserin 70% pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s

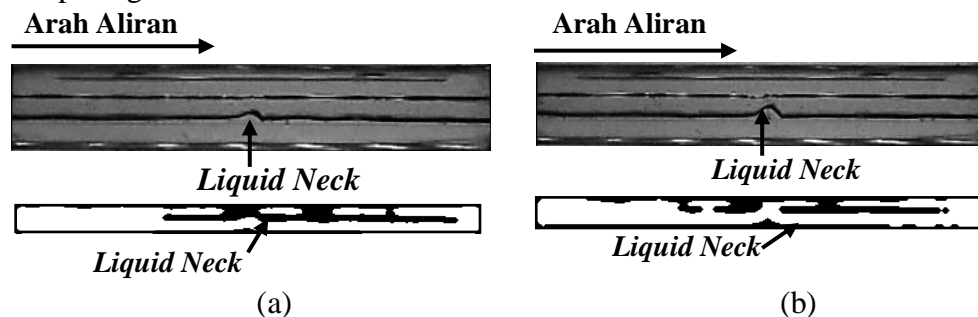
Gambar 2.24 fraksi hampa pola aliran *plug* pada  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s dengan nilai dominan 0,98 dan nilai probabilitas 0,69 pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s nilai dominan 0,98 nilai probabilitas 0,91.

#### 4.1.3 Fraksi Hampa pada Aliran *Slug-Annular*

Pola aliran *slug-annular* merupakan bagian pola aliran transisi dari pola aliran *plug* menuju ke pola aliran *annular*. Pola aliran ini terbentuk ketika udara mengalir secara kontinu dan cairan mengalir pada bagian atas dan bawah pipa. Cairan yang mengalir pada bagian bawah lebih tebal dari bagian atas disertai dengan munculnya gelombang menyentuh bagian atas pipa. Pola aliran *slug-annular* terjadi saat kecepatan superficial fluida gas ditingkatkan.

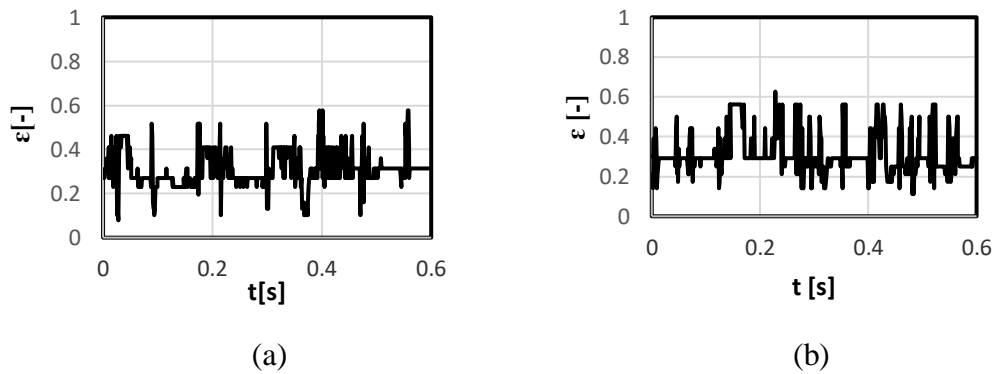
##### 4.1.3.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 40% dapat dilihat pada gambar 4.25.



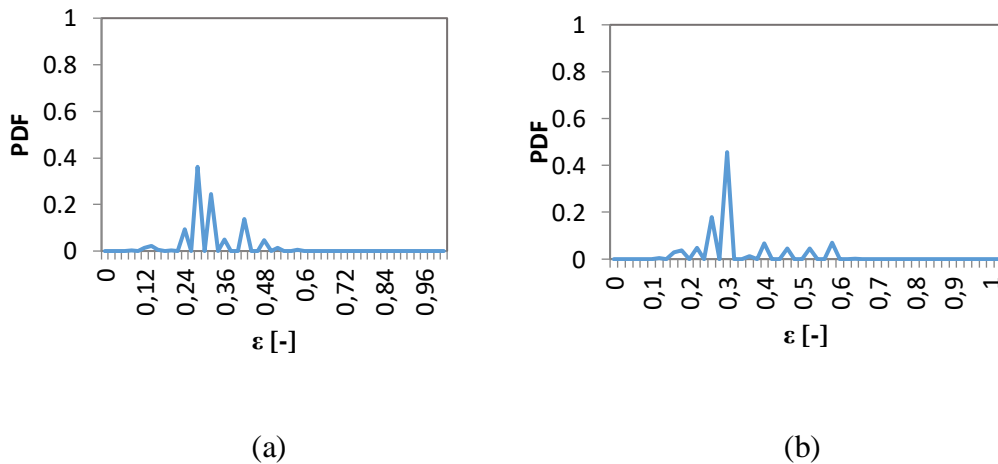
**Gambar 4.25.** Pola Aliran *Slug-Annular* (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.25 Menunjukkan aliran *slug-annular* yang terdapat *liquid neck* yang terjadi karena udara menembus jembatan pada aliran plug. Pada gambar *binner* fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,25 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.26.** Time average fraksi hampa aliran *slug-annular* pada (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s.

Gambar 4.26 Menjelaskan nilai fraksi hampa akan mengalami naik dan turun pada rentang waktu tertentu disebabkan dimana terdapat *liquid neck* pada aliran *slug-annular*.

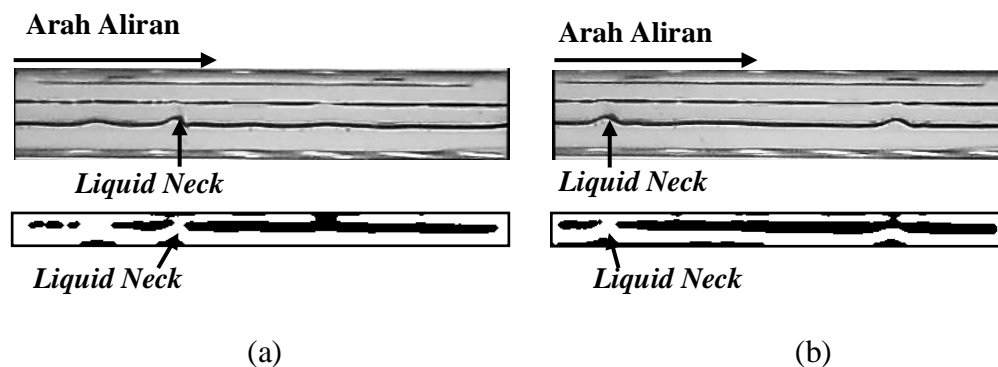


**Gambar 4.27.** PDF aliran *slug-annular* pada (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s.

Gambar 4.27 (a) nilai fraksi hampa yang dominan pada aliran slug-annular adalah 0,28 dengan nilai probabilitas 0,36 dan gambar (b) nilai fraksi hampa dominan adalah 0,3 dengan nilai probabilitas 0,45.

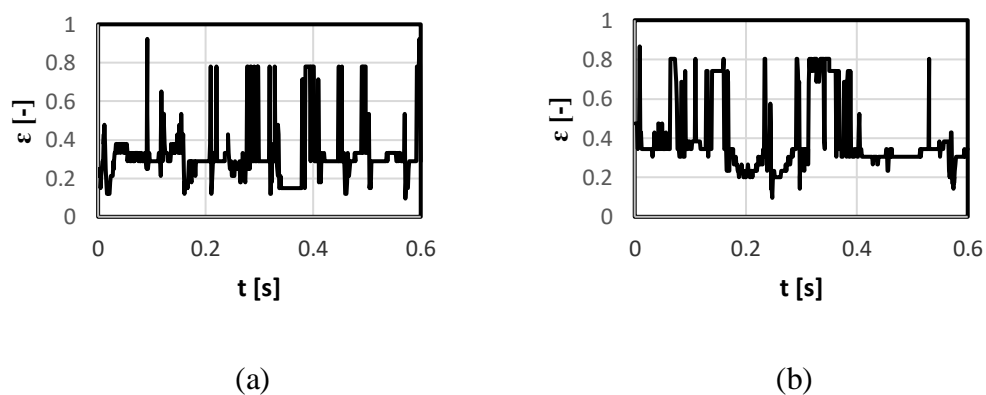
#### 4.1.3.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Pola aliran slug-annular dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dapat dilihat pada gambar 4.28.



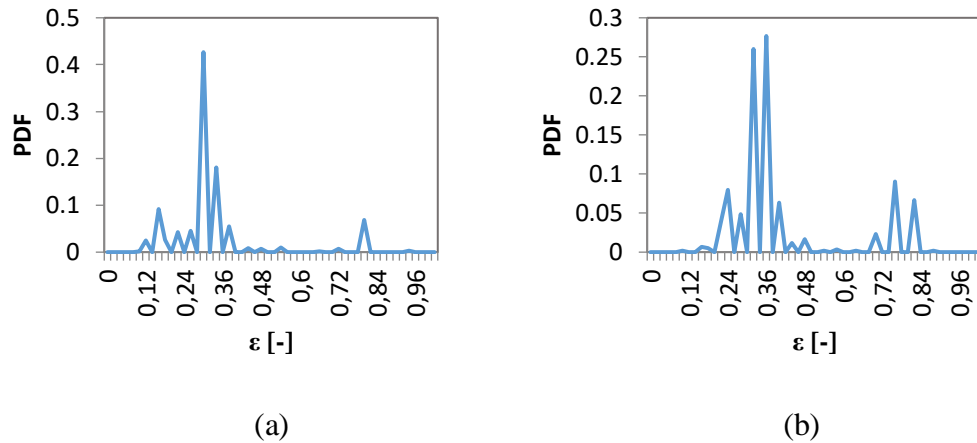
**Gambar 4.28.** Pola Aliran *Slug-Annular* (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.28 menunjukkan aliran slug-annular hampir sama dengan campuran 40% gliserin mengalami *liquid neck*. Pada gambar *binner* dengan campuran 50% gliserin fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,28 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.29.** Time average fraksi hampa Aliran *Slug-Annular* (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.29 Menunjukkan grafik fraksi hampa pada  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s mengalami perubahan penurunan dan cukup tidak setabil seiring kenaikan  $J_G - J_L$  disebabkan liquid neck yang terjadi dalam rentang waktu tertentu.

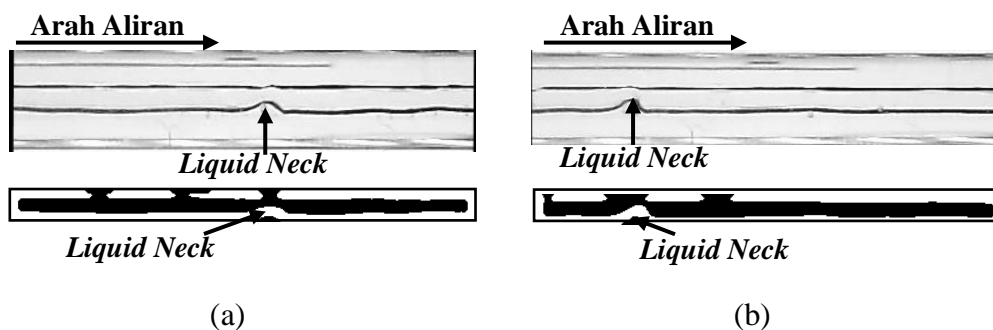


**Gambar 4.30.** PDF aliran *slug-annular* pada (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.30  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,3 dengan nilai probabilitas 0,42. dan nilai fraksi hampa dominan 0,36 dengan nilai probabilitas 0,27 pada  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s.

#### 4.1.3.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

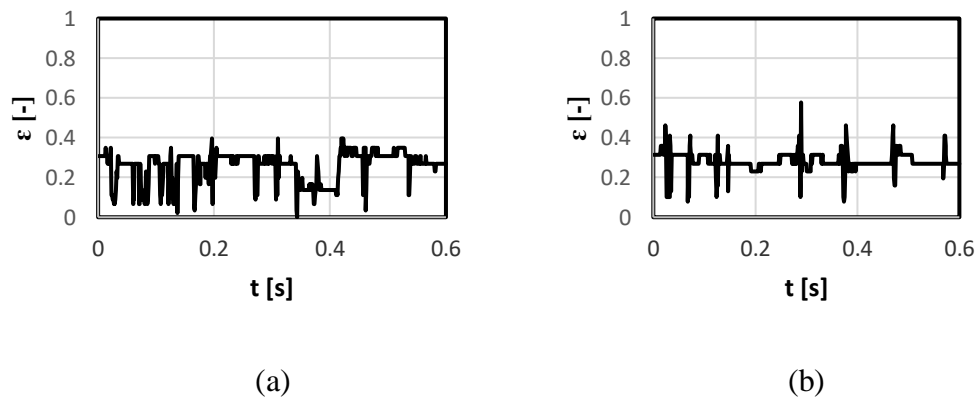
Pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dapat dilihat pada gambar 4.31.



**Gambar 4.31.** Pola Aliran *Slug-Annular* (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

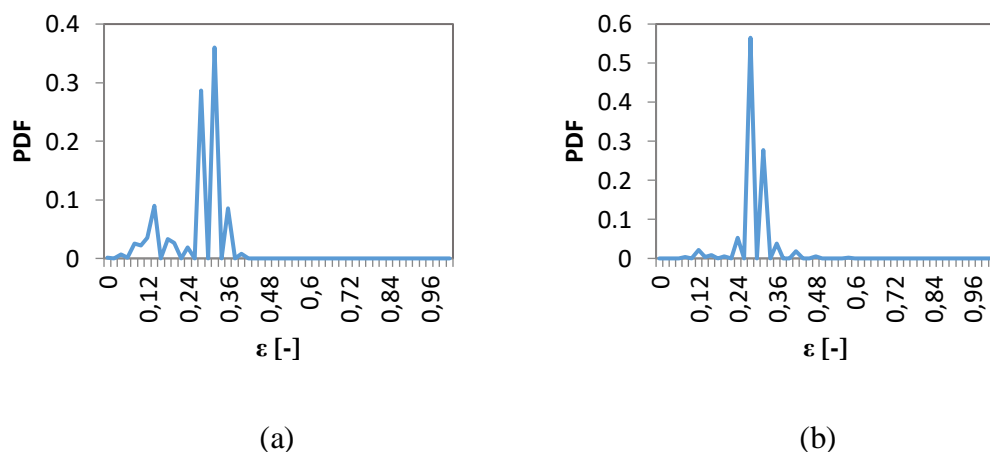


Gambar 4.31 Menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada *liquid neck* lebih banya dipengaruhi campuran gliserin. Hal ini terjadi karena perbedaan campuran presentase gliserin. Pada gambar *binner* dengan campuran 60% gliserin fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,31 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



Gambar 4.32. Time average fraksi hampa Aliran *Slug-Annular* (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.32 menunjukkan bentuk grafik turun saat *liquid neck* yang condong ketengah pipa dan akan naik saat terjadi *liquid neck* yang mengarah ke dinding pipa.

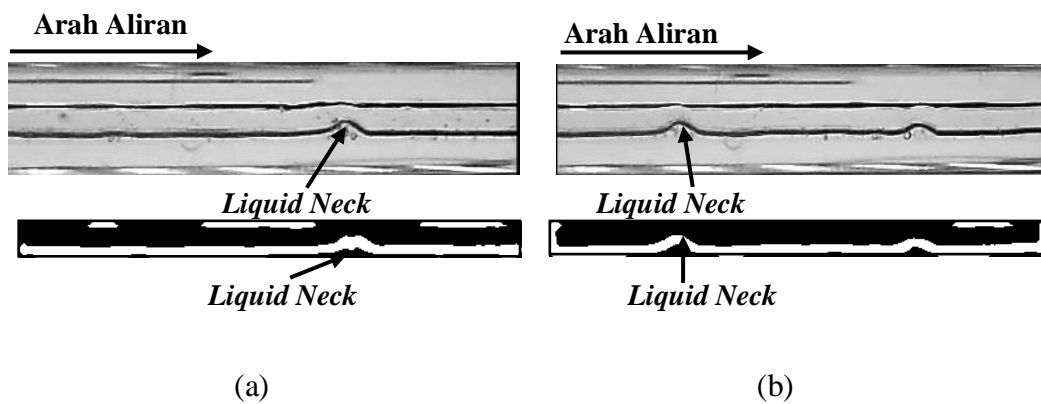


Gambar 4.33. PDF aliran *slug-annular* gliserin 60% pada (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.33  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,32 dengan nilai probabilitas 0,36 pada  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s nilai fraksi hampa dominan 0,28 dengan nilai probabilitas 0,56.

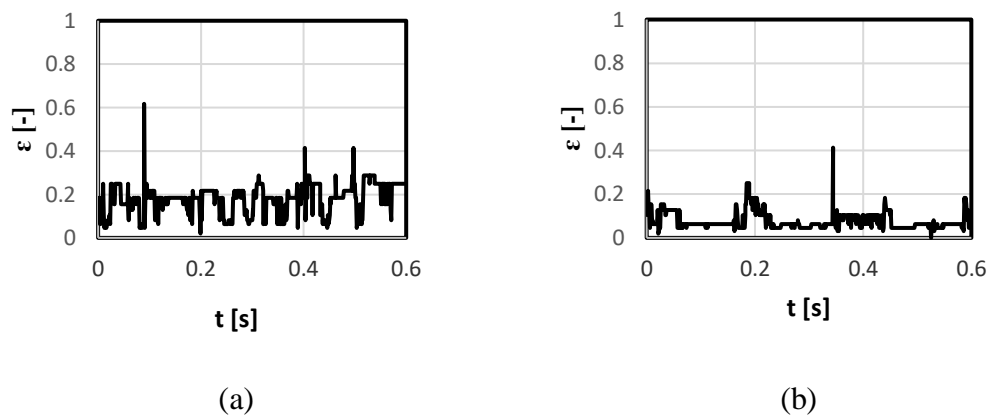
#### 4.1.3.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Pola aliran slug-annular dengan konsentrasi campuran gliserin 70% dapat dilihat pada gambar 4.34.



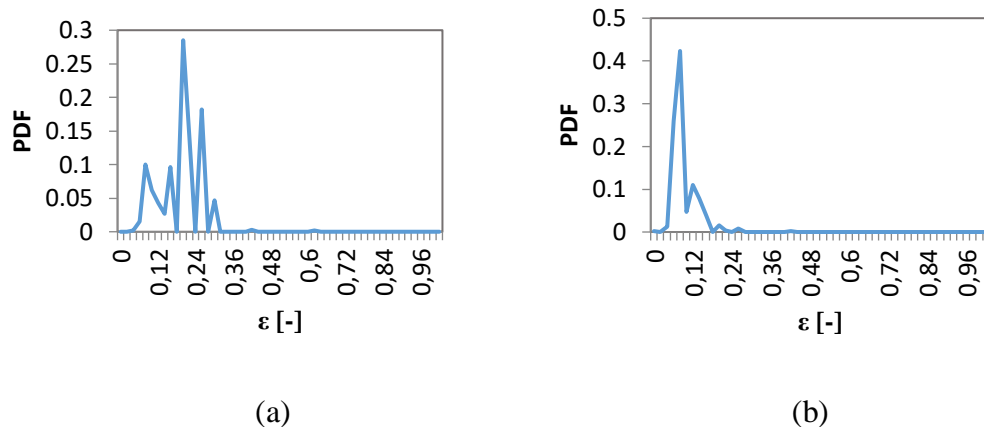
**Gambar 4.34.** Pola Aliran *Slug-Annular* (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s.

Gambar 4.34 Pola aliran slug-annular pada campuran gliserin 70%. Pada variabel ini *liquid neck* terlihat lebih sedikit. Hal ini disebabkan viskositas cairan yang meningkat menyebabkan cairan akan lebih sulit membentuk *liquid neck*. Gambar *binner* pada campuran 70% sama dengan pola biner 40,50,60% fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,34 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.35.** Time average fraksi hampa Aliran *Slug-Annular* (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.35 menunjukkan grafik akan turun dan tidak stabil saat terjadi liquid neck dan konstan saat tidak terjadi liquid neck.



**Gambar 4.36.** PDF aliran *slug-annular* gliserin 60% pada (a)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s, dan (b)  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.36  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,2 dengan nilai probabilitas 0,28 pada  $J_G = 9,62$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s nilai fraksi hampa dominan 0,8 dengan nilai probabilitas 0,42.

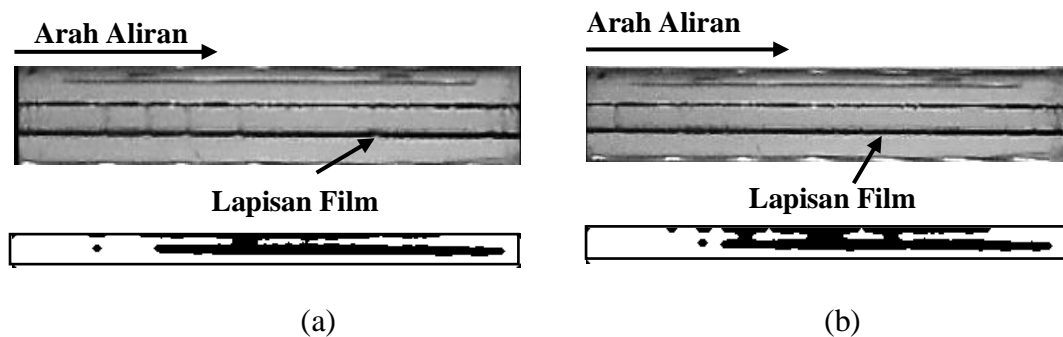
#### 4.1.4 Fraksi Hampa pada Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* juga sering disebut dengan pola aliran cincin karena pada aliran ini terdapat lapisan cairan yang berada di sekeliling dinding pipa hanya

saja terdapat lapisan cairan pada bagian bawah akan lebih tebal dari bagian atas, sedangkan fluida gas akan mengalir pada bagian tengah dari cairan secara terus-menerus. Pola ini dapat terjadi karena nilai fluida gas lebih tinggi dibandingkan dengan fluida cair sehingga gas dapat menembus fluida cair dan akhirnya fluida cair akan mengalir di sepanjang dinding pipa.

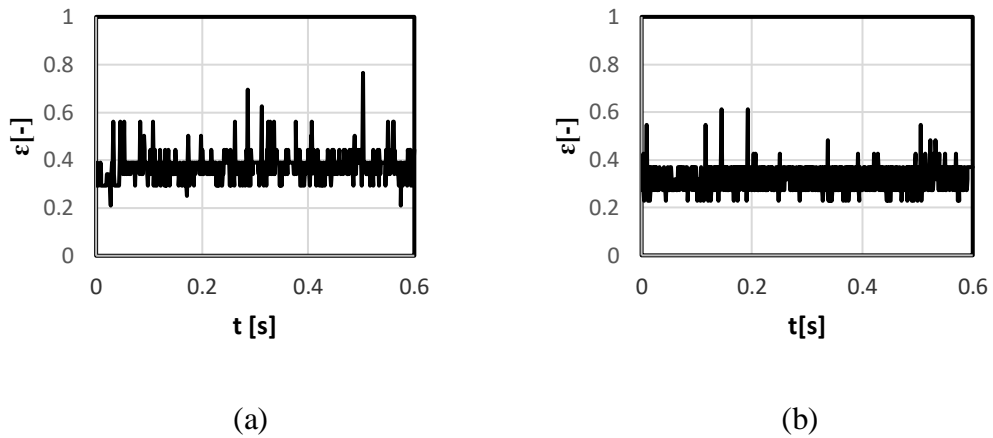
#### 4.1.4.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Pola aliran annular pada campuran 40% gliserin dapat dilihat pada gambar 4.37.



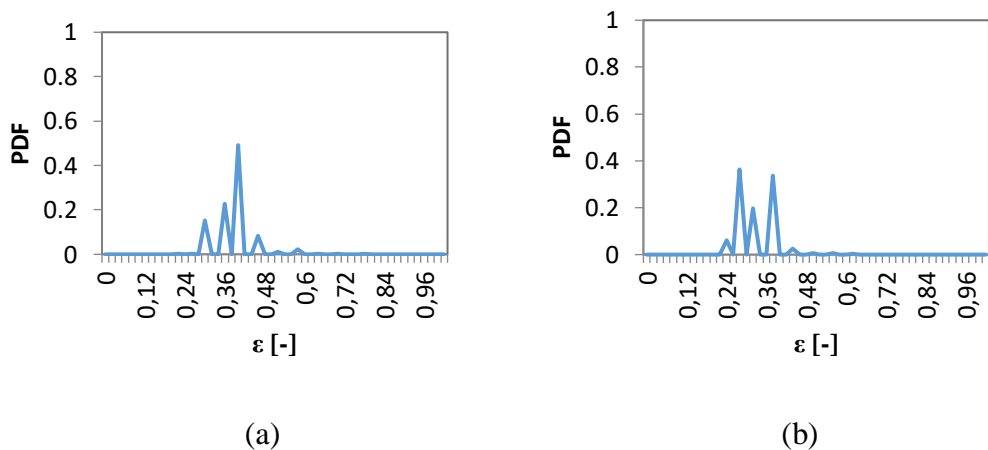
**Gambar 4.37** Pola annular pada (a)  $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ ,  $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ , dan (b)  $J_G = 66,3 \text{ m/s}$ ,  $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Gambar 4.37 Menunjukkan karakter fraksi hampa pola aliran *annular* yang terlihat fluktuatif tidak terjadi penurunan atau kenaikan yang signifikan. Viskositas pada pola aliran annular tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada pola aliran annular sehingga tidak terlihat perbedaan. Pada gambar *binner* fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,37 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.38** Time average fraksi hampa aliran annular pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.38 menunjukkan nilai fraksi hampa tidak jauh berbeda tidak mengalami kenaikan dan penurunan tidak signifikan.

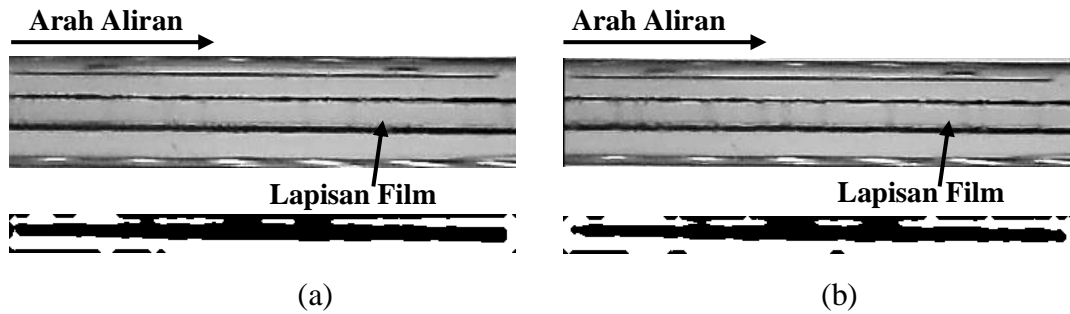


**Gambar 4.39** PDF aliran annular pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s.

Gambar 4.39  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,4 dengan nilai probabilitas 0,49 dan  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s nilai fraksi hampa dominan 0,28 dengan nilai probabilitas 0,36 dan 0,38 nilai probabilitas 0,33.

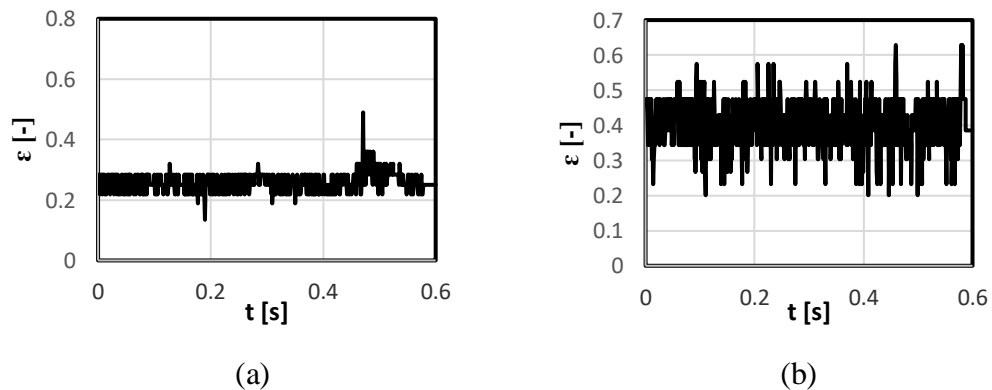
#### 4.1.4.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Pola aliran *annular* pada campuran 50% gliserin dapat dilihat pada gambar 4.37.



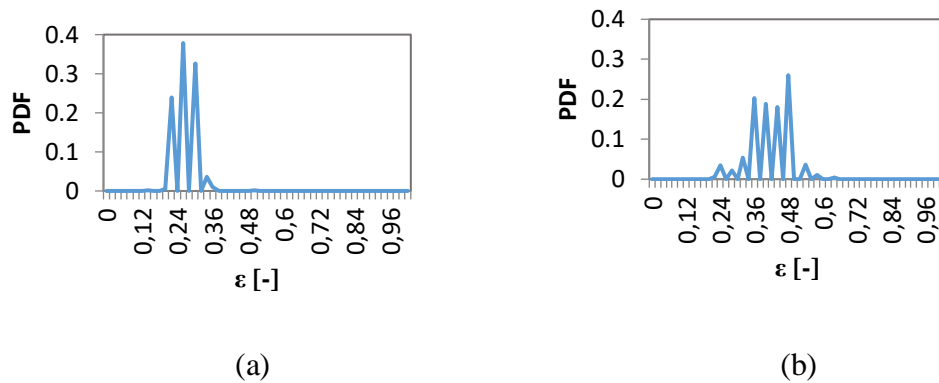
**Gambar 4.40** pola *annular* pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.40 menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan pada gambar (a) dan (b) walaupun perbedaan  $J_L$  yang lebih jauh lebih besar. Pada gambar *binner* fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,40 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.41** Time average fraksi hampa aliran annular pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.41 fraksi hampa cukup teratur mengalami penurunan dan kenaikan tidak terlalu signifikan yang tidak jauh berbeda dengan campuran 40% gliser

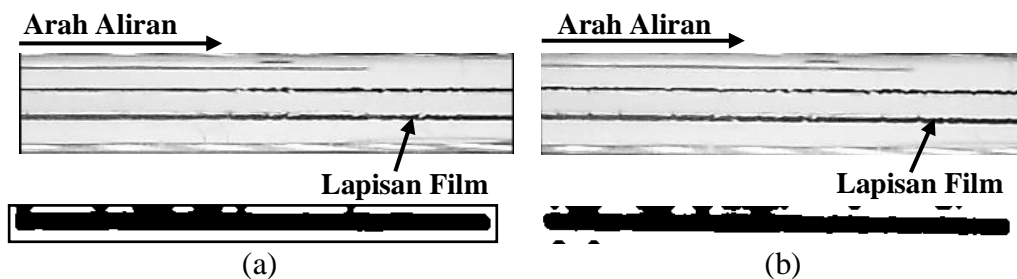


**Gambar 4.42** PDF aliran *annular* pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s.

Gambar 4.42  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,26 dengan nilai probabilitas 0,37 dan  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s nilai fraksi hampa dominan 0,48 dengan nilai probabilitas 0,26.

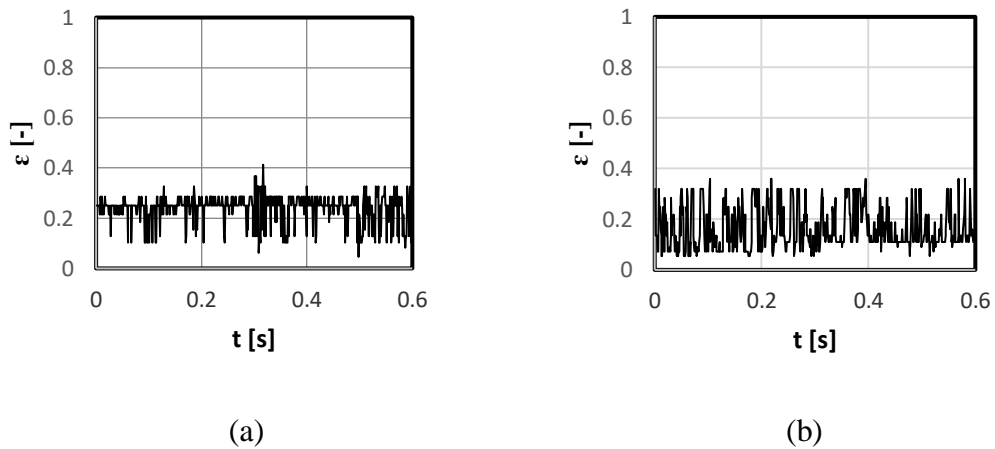
#### 4.1.4.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

Pola aliran *annular* pada campuran 60% gliserin dapat dilihat pada gambar 4.43.



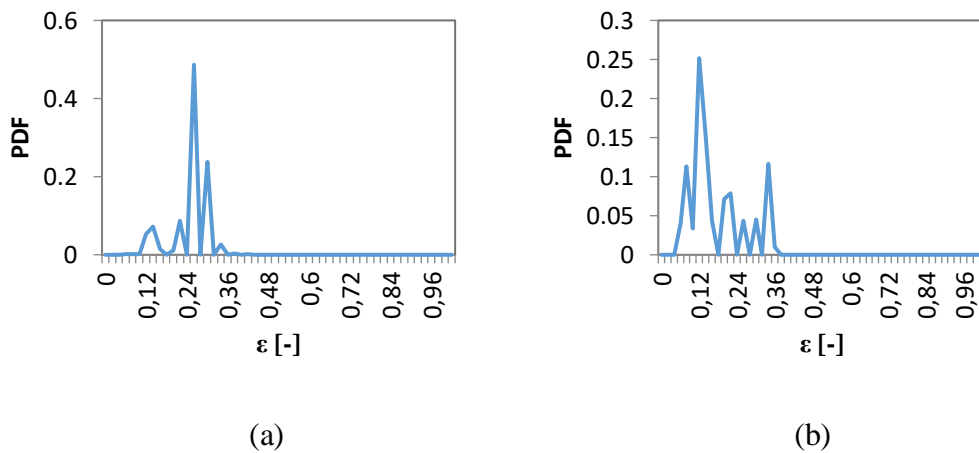
**Gambar 4.43** pola *annular* pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.43 pola aliran *annular* pada pesentase gliserin 60%. Tidak ada perbedaan yang jelas terlihat. Hal ini disebabkan viskositas pada pola aliran *annular* tidak mempunyai pengaruh yang signifikan. Pada gambar *binner* fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,43 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.44** Time average fraksi hampa aliran *annular* pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.44 menunjukkan adanya penurunan dan kenaikan pada grafik fraksi hampa tetapi tidak terlalu deratis. Perubahan pada grafik tidak terlalu signifikan.



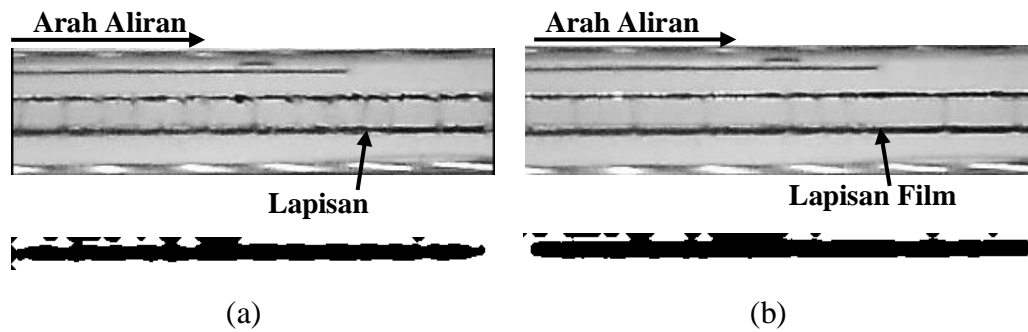
**Gambar 4.45** PDF aliran *annular* pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.45  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,26 dengan nilai probabilitas 0,48 dan  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s nilai fraksi hampa dominan 0,12 dengan nilai probabilitas 0,25.



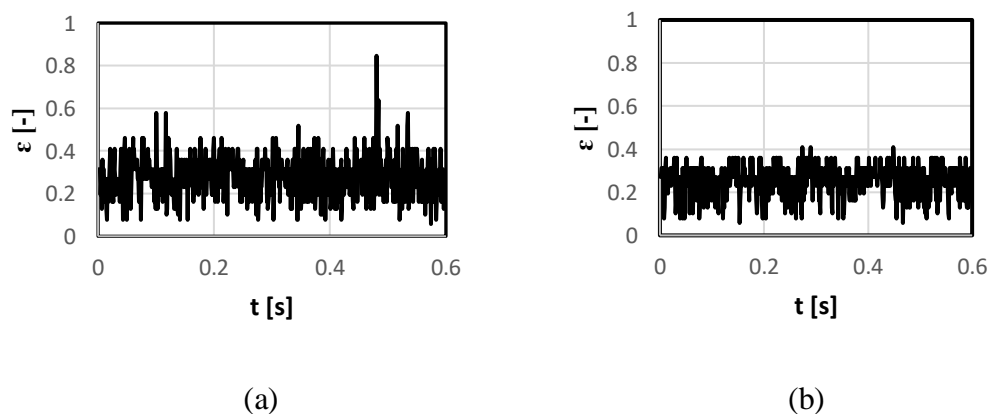
#### 4.1.4.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Pola aliran *annular* pada campuran 70% gliserin dapat dilihat pada gambar 4.46.



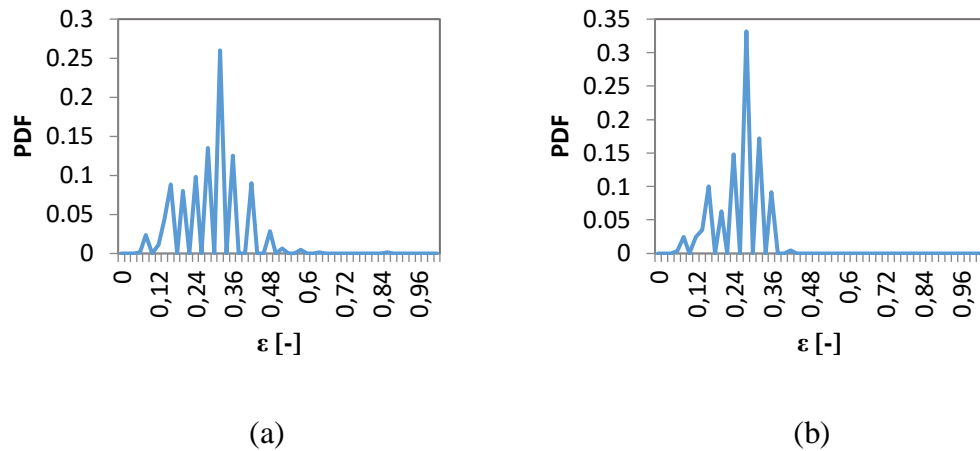
**Gambar 4.46** Pola *annular* pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.46 pola aliran annular pada campuran gliserin 70%. Terlihat film cairan yang lebih jelas dibandingkan 3 variabel lainnya. Hal ini disebabkan viskositas cairan yang pekat. Gambar *binner* pada campuran 70% sama dengan pola biner 40,50,60% fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,46 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.47** Time average fraksi hampa aliran annular pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

Gambar 4.47 grafik menunjukkan fraksi hampa pada variabel ini tidak mengalami penurunan dan kenaikan yang signifikan.



**Gambar 4.48** PDF aliran *annular* pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s.

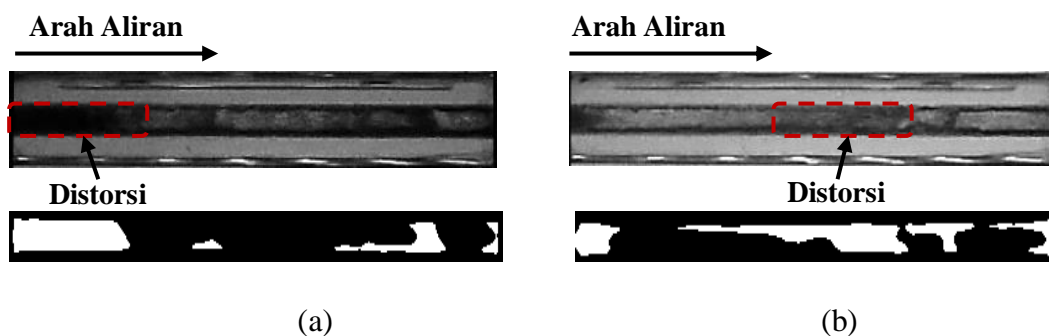
Gambar 4.48  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,32 dengan nilai probabilitas 0,26 dan  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s nilai fraksi hampa dominan 0,28 dengan nilai probabilitas 0,33.

#### 4.1.5 Fraksi Hampa pada Aliran *Churn*

Pola aliran *Churn* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial gas dan superfisial cairan sama-sama tinggi tetapi memiliki selisih sangat besar. Dimana pada kondisi ini membuat aliran gas dan aliran cairan mengalir secara acak dan mengalami ketidakstabilan sehingga terdapat bagian yang distorsi.

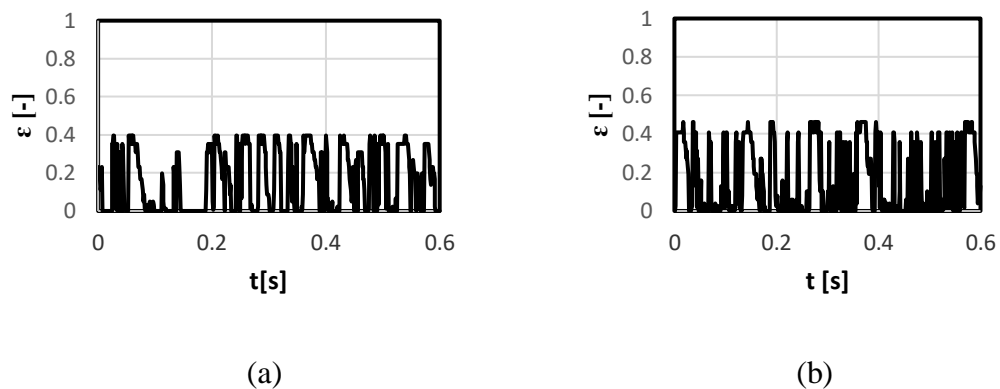
##### 4.1.5.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Gambar 4.49 menunjukkan pola aliran churn dengan campuran 40% gliserin.



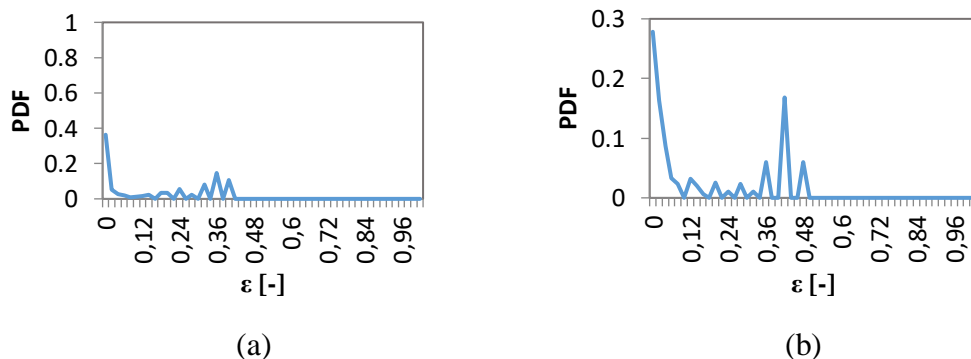
**Gambar 4.49** Pola churn pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.49 menunjukkan bagian ekor pola aliran yang sangat tidak beraturan. Dipengaruhi oleh kenaikan ( $J_G$ ) mengakibatkan terjadinya distorsi yang terjadi, bagian ekor yg distorsi akan membentuk aliran churn. Pada gambar *binner* fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,49 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam



**Gambar 4.50** Time-Average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.50 menunjukkan grafik nilai fraksi hampa yang tidak beraturan. Pada rentang tertentu grafik mengalami kenaikan yang dipengaruhi kenaikan superficial gas ( $J_G$ ) mengakibatkan terjadi distorsi dan pada rentang waktu tertentu nilai fraks hampa tidak mengalami distorsi jikan nilai fraksi hampa mendekati nilai 0.

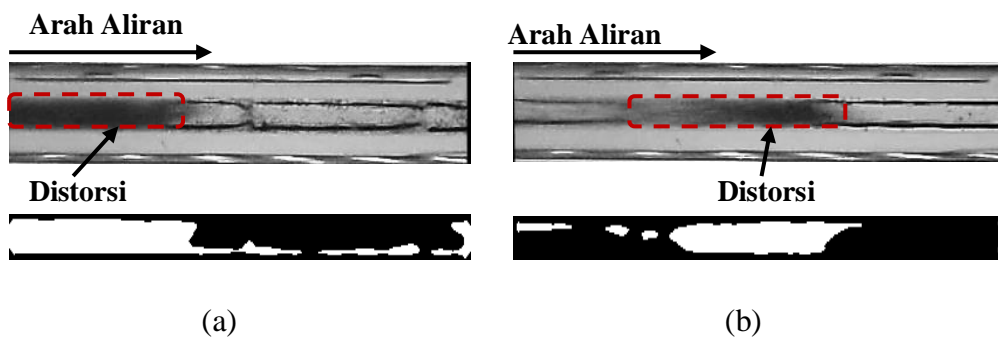


**Gambar 4.51** PDF aliran *churn* pada(a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s.

Gambar 4.51 nilai fraksi hampa yang dominan pada  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,36 pada  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,27.

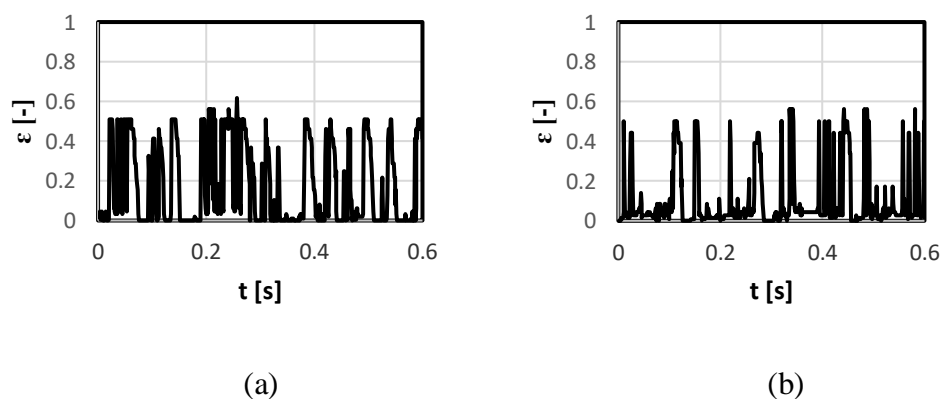
#### 4.1.5.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Gambar 4.52 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran 50% gliserin.



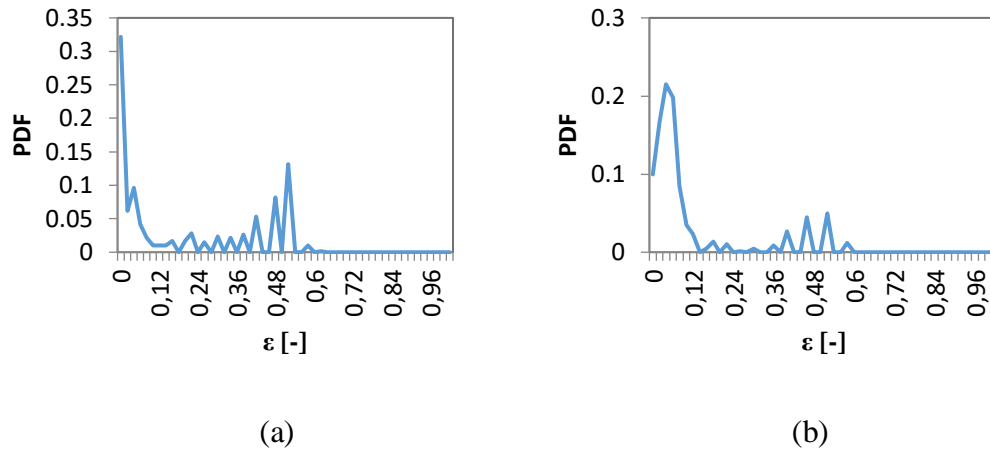
**Gambar 4.52** pola *churn* pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.52 menunjukkan ketidak setabilan aliran yang terdapat pada bagian ekor, kenaikan  $J_G$  mempengaruhi pola aliran *churn* dan mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi. Pada gambar *binner* fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,52 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam



**Gambar 4.53** Time-Average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.53 menunjukkan pola aliran *churn* yang tidak beraturan, disebabkan oleh bagian aliran yang stabil dan terdistorsi.

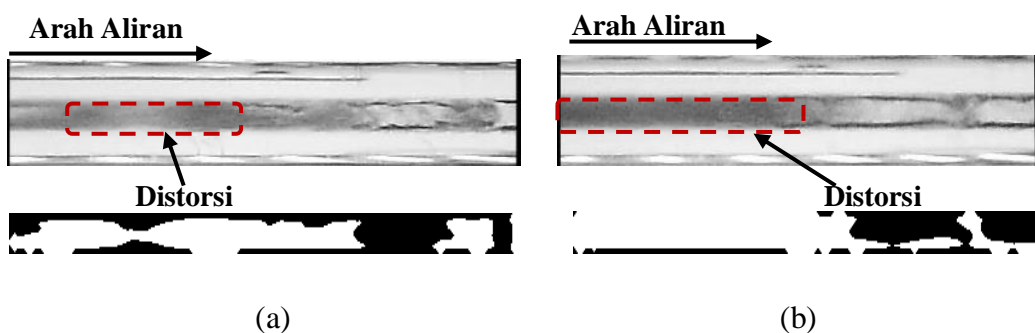


**Gambar 4.54** PDF aliran *churn* pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.54 nilai fraksi hampa yang dominan pada  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,32 pada  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,04 dengan nilai probabilitas 0,21.

#### 4.1.5.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

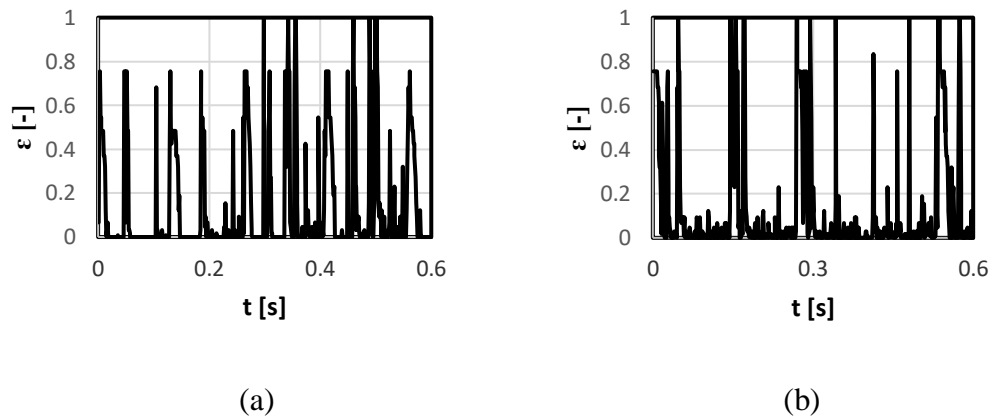
Gambar 4.55 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran 60% gliserin.



**Gambar 4.55** polan *churn* pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

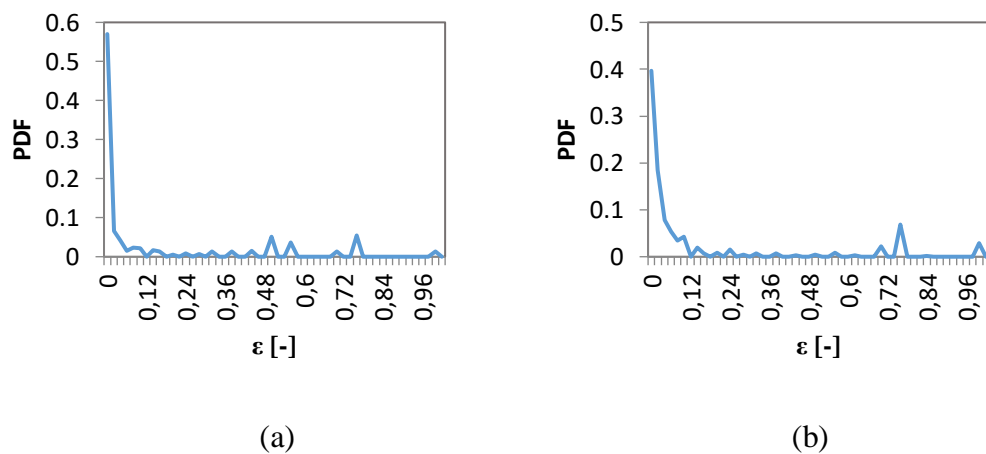
Gambar 4.55 menunjukkan pola aliran *churn* tidak jauh berbeda dengan pola aliran *churn* dengan persentase sebelumnya. Pada gambar *binner* fluida cair berwarna

hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,55 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.56** Time-Average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.56 menunjukkan grafik mengalami peningkatan mencapai nilai 1 yang menunjukkan pola aliran *churn* hampir memenuhi dinding pipa dan penurunan signifikan pada rentang waktu tertentu yang mengakibatkan grafik akan naik atau turun.

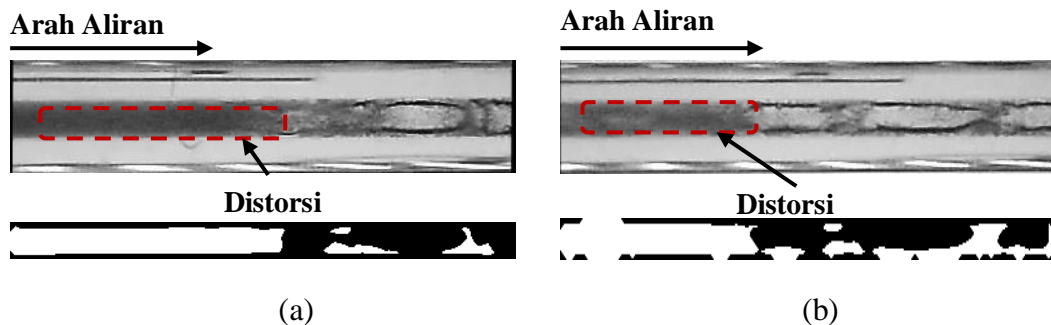


**Gambar 4.57** PDF aliran *churn* pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.57 nilai fraksi hampa yang dominan pada  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,57 pada  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,39.

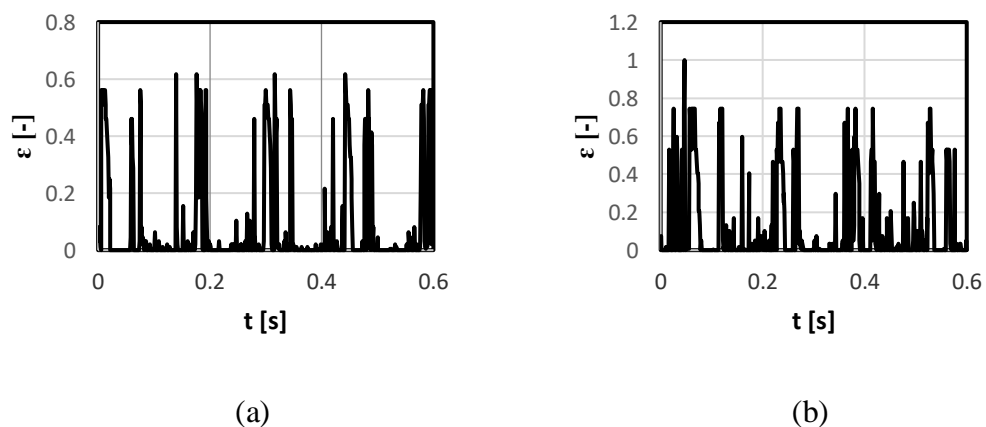
#### 4.1.5.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Gambar 4.58 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran 70% gliserin.



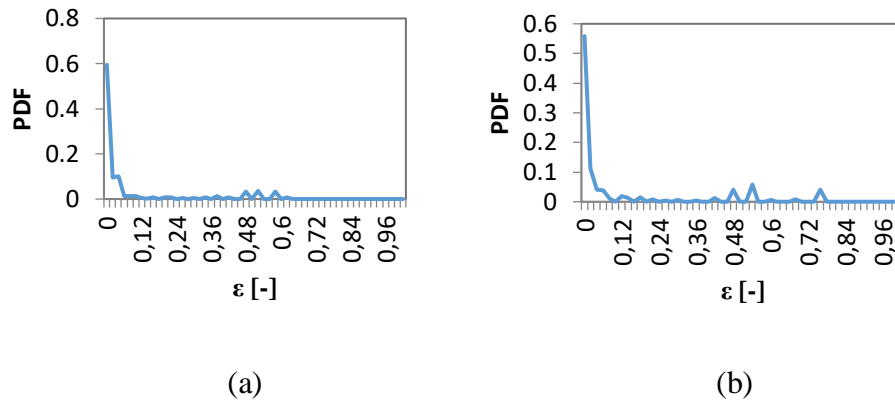
**Gambar 4.58** polan churn pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s

Gambar 4.58 menunjukkan pola aliran *churn* mengalami distorsi yang disebabkan oleh viskositas yang semakin kental, sehingga udara akan semakin sulit masuk mengalir dan mengakibatkan distorsi yang lebih pekat. Gambar *binner* pada campuran 70% sama dengan pola biner 40,50,60% fluida cair berwarna hitam dan fluida gas berwarna putih tetapi pada gambar 4,58 *binner* mengalami keterbalikan dimana fluida cair berwarna putih dan fluida gas berwarna hitam.



**Gambar 4.59** Time-Average fraksi hampa pada (a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s.

Gambar 4.59 menunjukkan grafik yang fluktuatif yang terjadi, grafik mengalami peningkatan dan penurunan signifikan pada rentang waktu tertentu yang mengakibatkan grafik akan naik atau turun.



**Gambar 4.60** PDF aliran *churn* pada(a)  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s, dan (b)  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s.

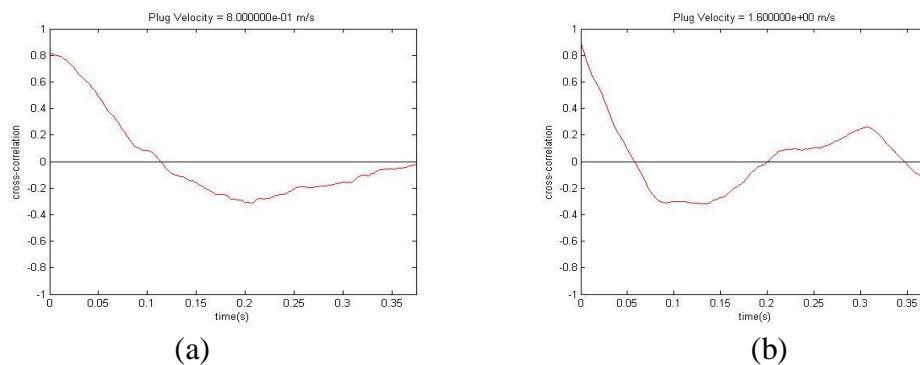
Gambar 4.60 nilai fraksi hampa yang dominan pada  $J_G = 22,6$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,59 pada  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 4,935$  m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,55.

## 4.2 Kecepatan dan *cross-correlation* aliran *Bubbly* dan *Plug*

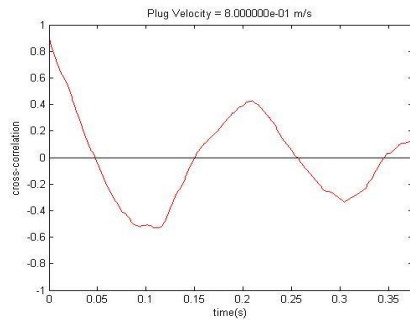
### 4.2.1 *Cross-correlation* aliran *Bubbly* dan *Plug*

Kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* dapat dicari dengan menentukan rentang waktu dimana *bubbly* dan *plug* bergerak menuju titik referensi lainnya. Diperoleh hasil yang bisa dijadikan acuan untuk menentukan kecepatan dari pola aliran *bubbly* dan *plug*. Pada gambar 4.61 menunjukkan nilai *Cross-correlation* aliran *bubbly* dan gambar 4.62 menunjukkan nilai *cross-correlation* pada aliran *plug*.

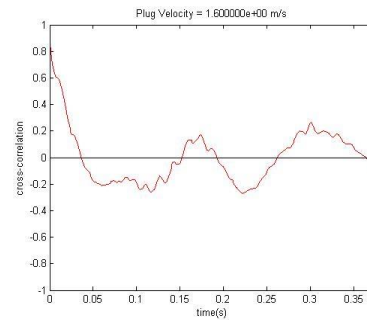
Nilai tertinggi pada grafik Gambar 4.61 dan Gambar 4.62 menunjukkan jeda waktu hasil *Cross-correlation* dan kecepatan *bubbly* dan *Plug* di dapat dari selisih jarak antara kedua titik referensi yang digunakan untuk mengukur jeda waktu.







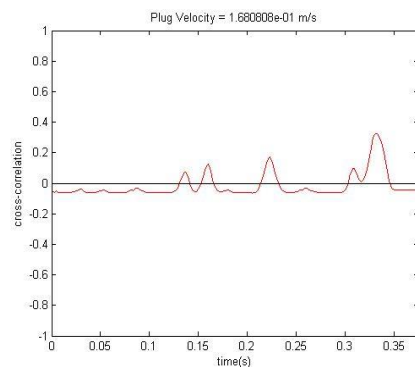
(c)



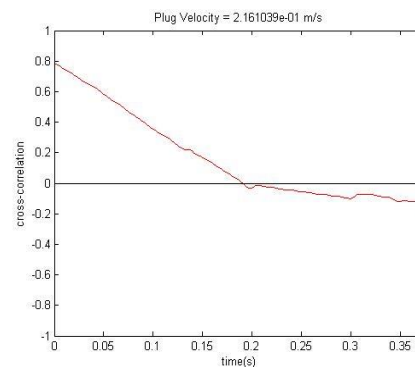
(d)

Gambar 4. 61. Grafik cross-correlation aliran bubbly pada pada (a)  $J_G = 0,423\text{m/s}$ ,  $J_L = 2,297\text{ m/s}$ , (b)  $J_G = 0,871\text{ m/s}$ ,  $J_L = 2,297\text{ m/s}$ , (c)  $J_G = 0,423\text{ m/s}$ ,  $J_L = 2,297\text{ m/s}$ , (d)  $J_G = 0,871\text{ m/s}$ ,  $J_L = 2,297\text{ m/s}$

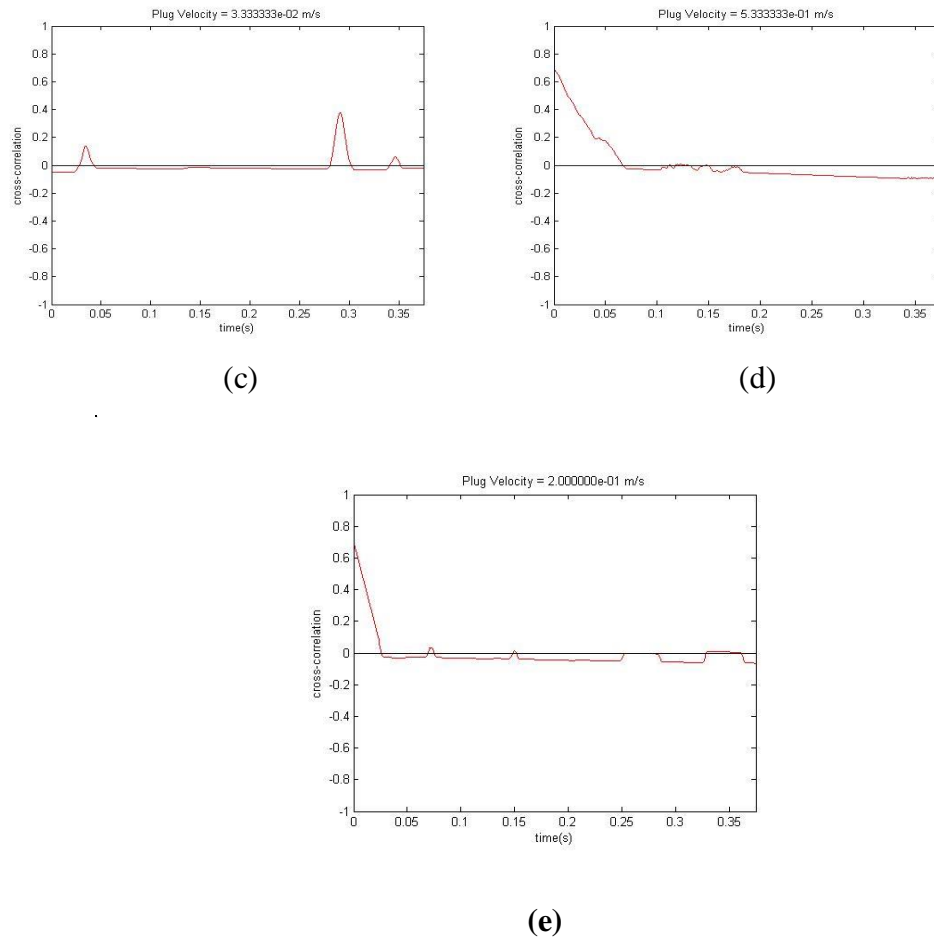
Gambar 4.61 menunjukkan grafik dari *Cross-correlation bubbly* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan superfisial fluida ( $J_L$ ) dengan nilai variabel kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) yang sama, hal tersebut dapat ditunjukkan pada gambar (a) nilai dari *bubbly velocity* = 0,8 m/s, dan gambar (b) nilai dari *bubbly velocity* = 0,16 m/s, (c) nilai dari *bubbly velocity* = 0,9 m/s, dan (d) nilai dari *bubbly velocity* = 0,16 m/s.



(a)



(b)

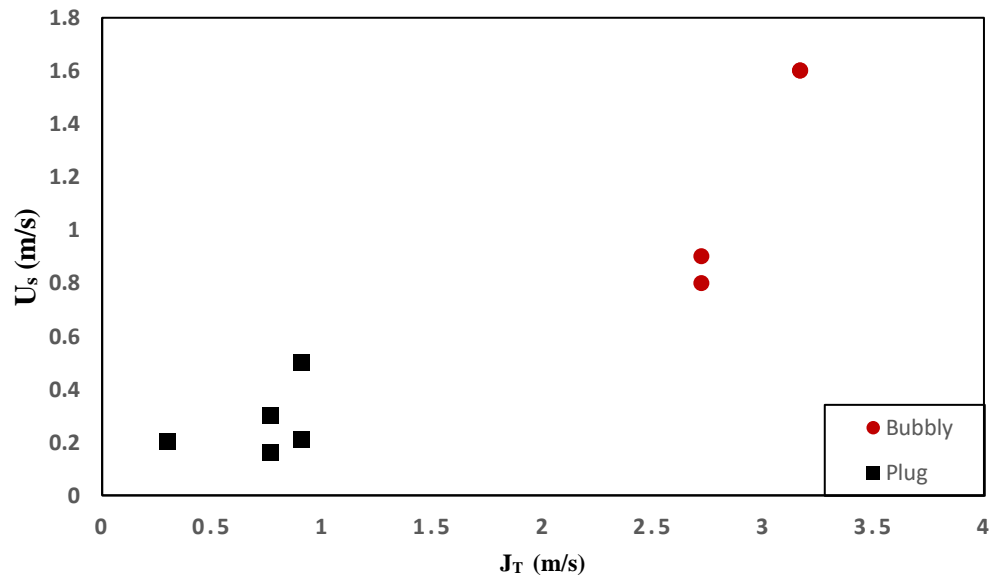


**Gambar 4.62.** *Cross-correlation plug* pada (a)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, (b)  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, (c)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, (d)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s, dan (e)  $J_G = 0,066$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s,

Gambar 4.62 menunjukkan bahwa grafik kecepatan aliran *plug* akan menurun seiring bertambahnya viskositas. Hal tersebut terjadi karena udara semakin sulit untuk masuk kedalam aliran campuran akuades dan gliserin dengan naiknya viskositas dan juga bertambahnya kecepatan superficial cairan ( $J_L$ ).

#### 4.2.2 Kecepatan aliran *Bubbly* dan *Plug*

Kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* diolah dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.63. Grafik ini dibuat dengan menjumlahkan kecepatan *bubbly* dan *plug* dengan total vluk volumetrik dimana  $J_T = (J_G + J_L)$ .



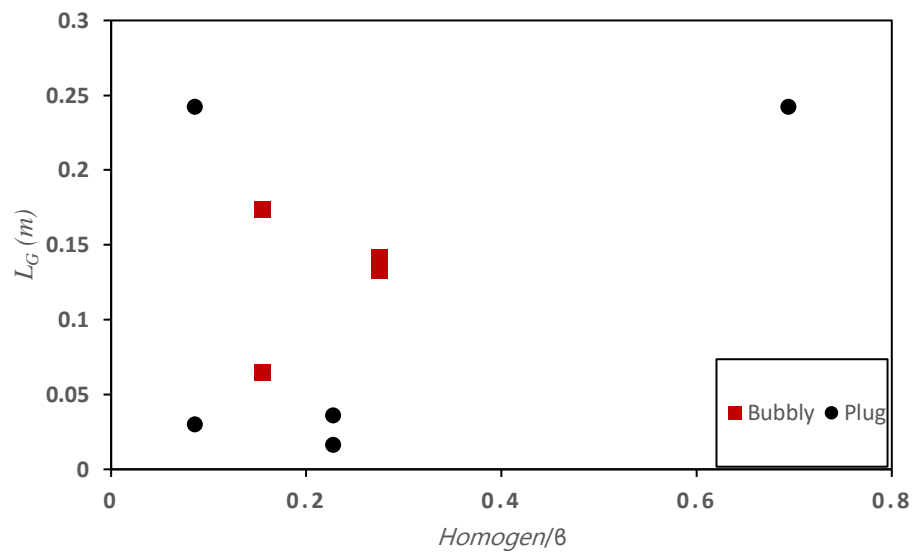
**Gambar 4.64** Grafik kecepatan *Bubbly* dan *Plug*.

Gambar 4.63 menunjukkan grafik dari kecepatan aliran *bubbly* dan *plug* akan mengalami penurunan jika viskositas dan variabel cairan semakin besar di  $J_T$  (m/s) tertentu. Secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai total  $(J_G + J_L)$  m/s maka kecepatan aliran *bubbly* dan *plug* akan semakin meningkat.

#### 4.2.3 Panjang *Bubbly* dan *Plug*

Gambar 4.64 menunjukkan grafik panjang pola *bubbly* dan *plug* yang diperoleh dengan dihitung secara manual selama 1 detik dan diambil rata-rata untuk mendapatkan nilai panjang *bubbly* dan *plug*. Setelah diketahui  $(\Delta t = t_2 - t_1)$  dan mendapatkan kecepatan yang didapat dari hasil *cross-correlation* ( $v$ ), setelah itu nilai panjang pola aliran *bubbly* dan *plug* dengan memperhitungkan  $(L = \Delta t \cdot v)$ .

Berdasarkan gambar 4.64 didapati bahwa jika semakin tinggi nilai homogen ( $\beta$ ) maka panjang pola aliran *bubbly* dan *plug* mengalami peningkatan. Dari hasil penelitian yang diperoleh bahwa *bubbly* yang dihasilkan memiliki ukuran yang kurang dari diameter pipa bagian dalam dan biasanya diawali dengan munculnya *long plug* ataupun *short plug* yang dapat mempengaruhi rata-rata panjang *bubbly*

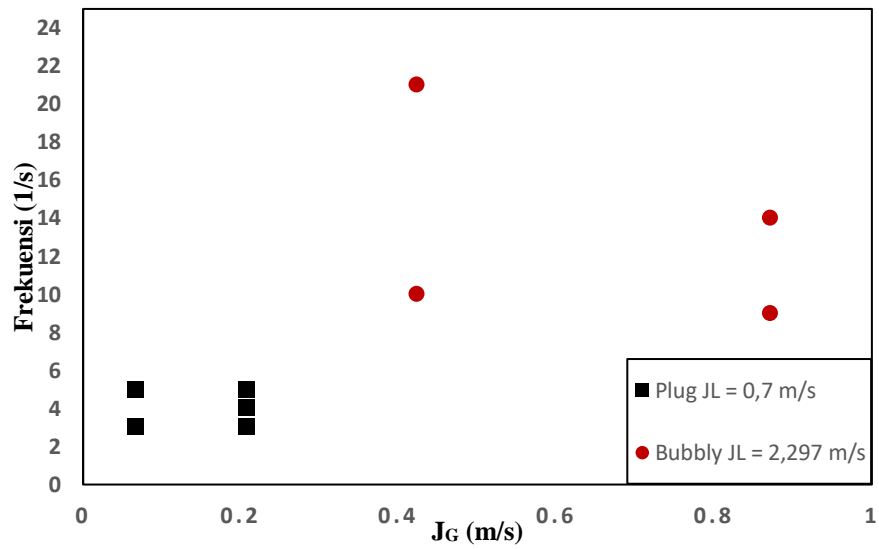


**Gambar 4.64** Grafik Panjang *Bubbly* dan *Plug*

#### 4.2.4 Frekuensi *Bubbly* dan *Plug*

Gambar 4.65 menunjukkan grafik frekuensi *bubbly* dan *plug* yang diperoleh dengan metode hitung manual dengan membandingkan frekuensi dan variasi  $J_L$ . Semakin tinggi nilai  $J_G$  dan  $J_L$  maka kemunculan frekuensi yang diperoleh akan semakin banyak muncul. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh kecepatan

superfisial fluida cair ( $J_L$ ). Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai  $J_L$  maka semakin banyak juga frekuensi pola *bubbly* dan *plug* yang akan muncul.



**Gambar 4.65** Grafik Frekuensi pola aliran *bubbly* dan *plug*.