

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan untuk menentukan nilai fraksi hampa berdasarkan *time-series* menggunakan metode *digital image processing* dilakukan setelah pengambilan data selesai dilakukan. Nilai fraksi hampa tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kecepatan *bubbly* dan *plug*, frekuensi *bubbly* dan *plug*, Panjang *bubbly* dan *plug*.

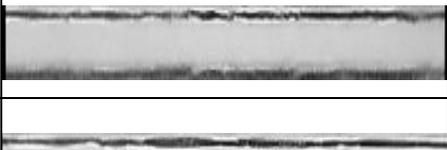
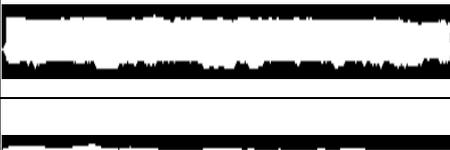
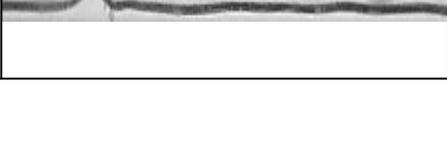
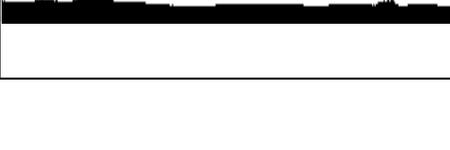
4.1 Digital image Processing

Digital Image Processing dapat digunakan untuk mendapat nilai fraksi hampa pada aliran dua fase dengan cara menganalisa karakter dari setiap pola aliran. Algoritma yang digunakan dapat mendeteksi bagian yang berupa fase gas maupun bagian yang berupa fase cair dengan cara mengubah sampel gambar dari RGB menjadi biner.

Table 4.1 menunjukkan hasil dari pengolahan gambar RGB menjadi gambar biner. Pada gambar biner tersebut warna hitam mempresentasikan fase cair dan warna putih mempresentasikan fase gas.

Table 4.1 Hasil binerisasi

Pola aliran	Gambar RGB	Gambar Biner
1 <i>Bubbly</i>		
2 <i>Plug</i>		

Pola aliran	Gambar RGB	Gambar Biner
3 <i>Churn</i>		
4 <i>Annular</i>		
5 <i>Slug-annular</i>		

4.2 Analisis *time-series* fraksi hampa.

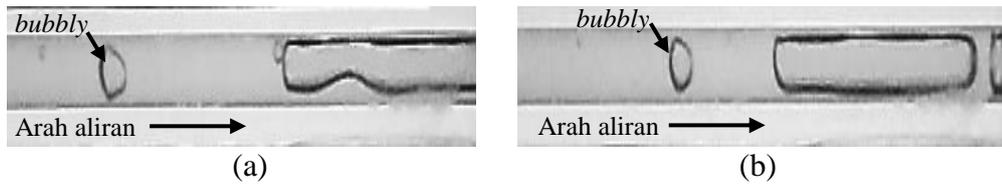
Dari hasil penelitian ini didapat 5 pola aliran yang terobservasi. Kelima pola aliran tersebut adalah *bubbly*, *plug*, *churn*, *annular*, dan *slug-annular*. Pada setiap variabel yang dipakai adalah campuran gliserin dan akuades dengan masing-masing campuran mengandung 0%, 10%, 20%, dan 30% gliserin. Analisis dilakukan untuk kelima aliran selama 1 detik. Hasil *time-series* fraksi hampa kemudian diolah kembali untuk menentukan grafik PDF.

4.2.1 Fraksi hampa aliran *bubbly*

Pola aliran *bubbly* ditunjukkan oleh munculnya gelembung-gelembung udara yang berbentuk meyerupai bola pada aliran. Pola aliran ini terbentuk saat pada kecepatan superfisial gas (J_G) rendah sedangkan kecepatan superfisial dari cairan (J_L) lebih tinggi.

1. Campuran Gliserin 0% dan akuades 100%

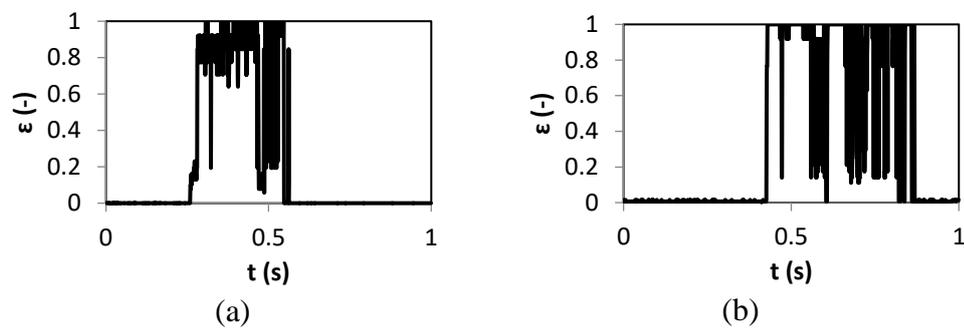
Pola aliran *bubbly* pada variabel ini muncul dengan frekuensi yang cukup sedikit dibanding pada variabel lain. Pola aliran *bubbly* pada fluida udara murni akuades pada $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s. dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 pola aliran *bubbly* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

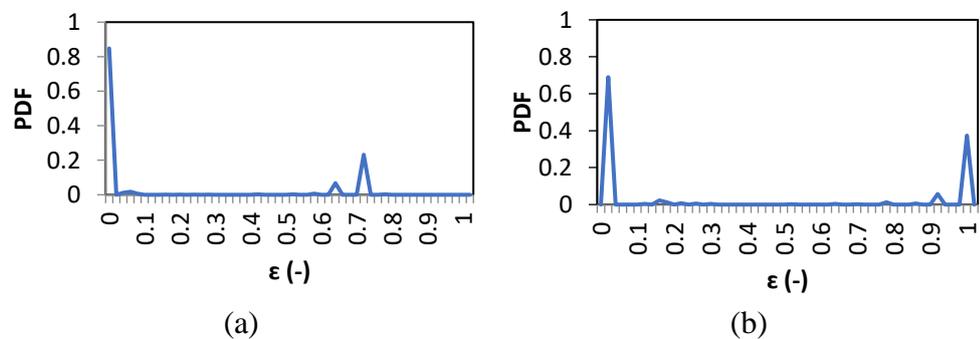
Gambar 4.1 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang berbentuk hampir bulat sempurna yang bermunculan sedikit di ekor *plug*.



Gambar 4.2 *time-series* fraksi hampa aliran *bubbly* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Aliran *bubbly* tidak sepenuhnya diisi oleh pola aliran *bubbly*, tetapi juga terdapat *plug-plug* udara yang panjang muncul mengakibatkan fraksi hampa naik secara tiba-tiba secara signifikan pada rentang waktu tertentu muncul *plug* dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, bisa jadi bergabungnya dua atau lebih gelembung atau mengumpul udara pada sisi *inlet mixer*.



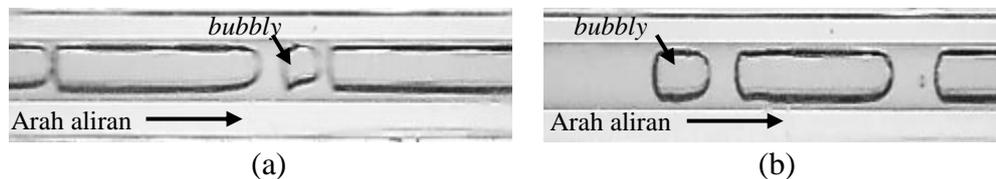
Gambar 4.3 *PDF* aliran *bubbly* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada variabel ini dapat dilihat pada gambar 4.3 yang menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yaitu 0,02 dengan probabilitas 0,84 untuk $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan 0,02 dengan probabilitas 0,69 untuk $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s.

2. Campuran Gliserin 10% dan akuades 90%

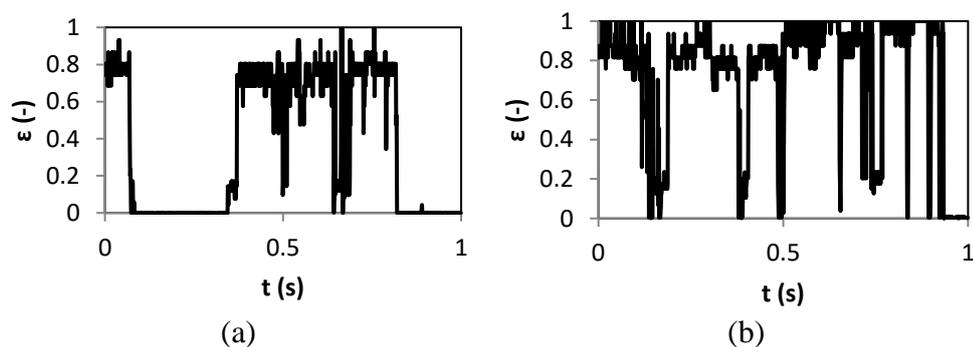
Pola aliran *bubbly* pada variabel ini terbentuk seperti bola yang mengurucut dibagian ekornya dan berbentuk menyerupai *plug* pada bagian pipa ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 pola aliran *bubbly* gliserin 10% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

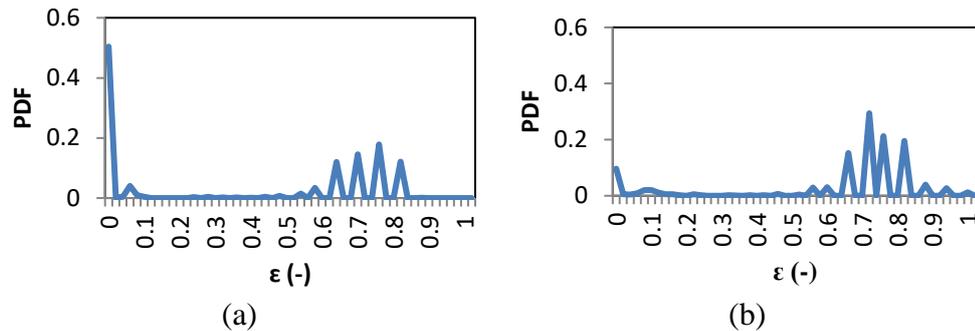
Gambar 4.4 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang berbentuk hampir bulat yang bermunculan sedikit dari ekor *plug*.



Gambar 4.5 *time-series* fraksi hampa aliran *bubbly* gliserin 10% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Time-series fraksi hampa pada variabel ini yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5 dimana secara tiba-tiba fraksi hampa naik secara signifikan pada rentang waktu tertentu. Kemunculan ini disebabkan oleh beberapa kemungkinan. Antara lain bergabungnya dua gelembung atau lebih.



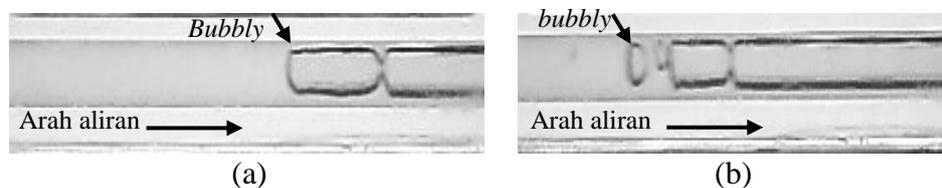
Gambar 4.6 PDF aliran *bubbly* gliserin pada 10% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada campuran gliserin 10% dapat dilihat pada Gambar 4.6 yang menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yaitu 0,02 dengan probabilitas 0,50 untuk $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan 0,72 dengan probabilitas 0,29 untuk $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s.

3. Campuran Gliserin 20% dan akuades 80%

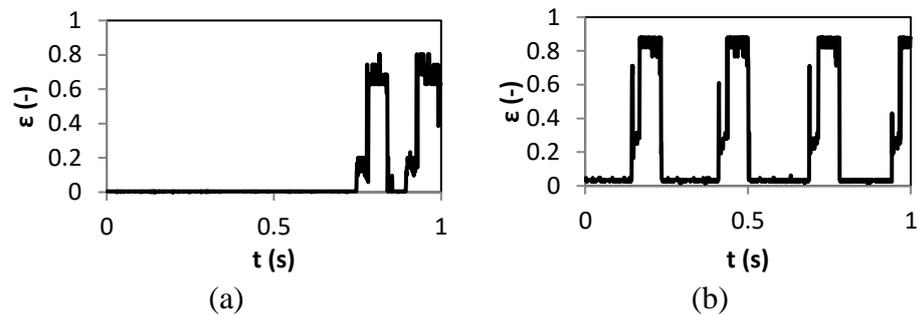
Pola aliran *bubbly* pada variabel ini yang muncul dengan frekuensi yang sedikit dari gliserin 10% dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 pola aliran *bubbly* gliserin 20% pada

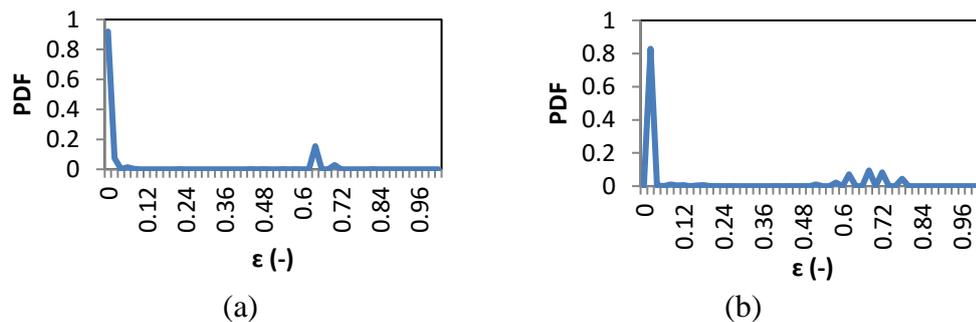
(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Gambar 4.7 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang berbentuk hampir bulat yang bermunculan sedikit dari ekor *plug* sama seperti campuran gliserin 10%.



Gambar 4.8 *time-series* fraksi hampa aliran *bubbly* gliserin 20% pada
 (a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Time-series fraksi hampa pada variabel ini yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8 menunjukkan fraksi hampa yang naik jika fraksi udara semakin banyak dan turun fraksi cairan meningkat.



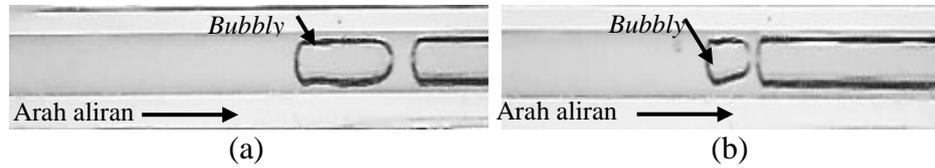
Gambar 4.9 *PDF* aliran *bubbly* gliserin 20% pada
 (a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Grafik *PDF* untuk pola aliran *bubbly* pada campuran 20% dapat dilihat pada Gambar 4.9 yang menunjukkan nilai *PDF* pada pola aliran *bubbly* menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yaitu 0,02 dengan probabilitas 0,92 untuk $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan 0,02 dengan probabilitas 0,82 untuk $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s.

4. Campuran Gliserin 30% dan akuades 70%

Pola aliran *bubbly* pada variabel ini yang muncul dengan frekuensi yang lebih banyak dibandingkan campuran gliserin 20%. Pola aliran *bubbly* ini

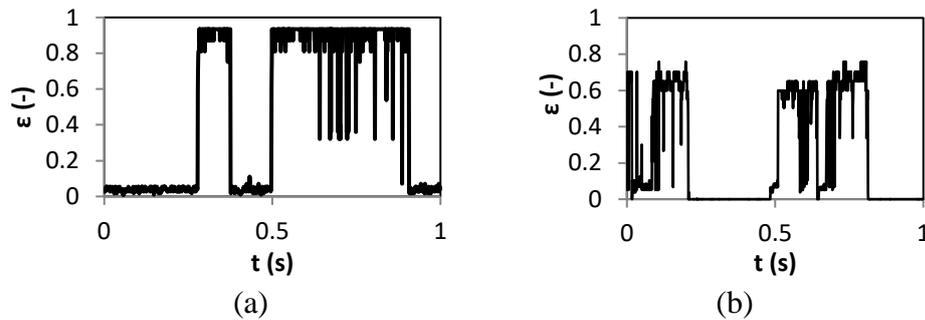
terbentuk seperti bola yang mengurucut dibagian ekornya dan berbentuk menyerupai *plug* pada bagian pipa. dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 pola aliran *bubbly* Gliserin 30% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

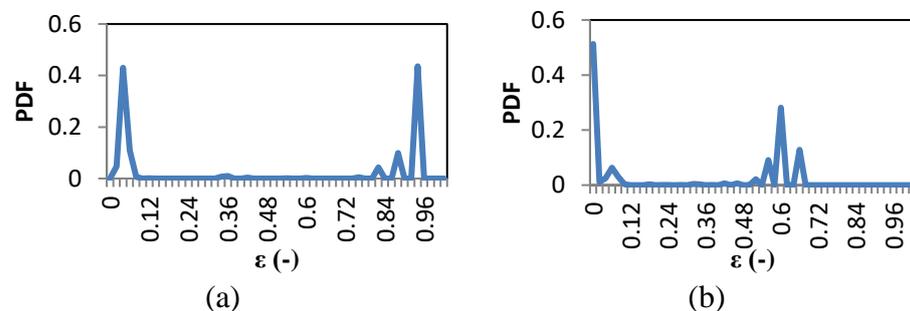
Gambar 4.10 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang berbentuk hampir bulat yang bermunculan sedikit dari ekor *plug* sama seperti campuran 20%.



Gambar 4.11 *time-series* fraksi hampa aliran *bubbly* gliserin 30% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

Gambar 4.11 menunjukkan grafik *time-series* fraksi hampa yang yang naik secara signifikan pada rentang waktu tertentu.



Gambar 4.12 *PDF* aliran *bubbly* gliserin 30% pada

(a) $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s

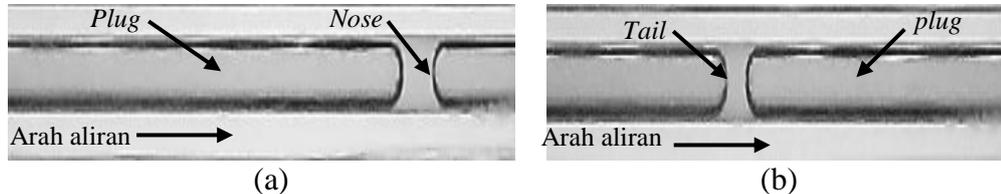
Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada variabel ini dapat dilihat pada Gambar 4.12 yang menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yaitu 0,04 dengan probabilitas 0,43 dan 0,94 dengan probabilitas 0,43 untuk $J_G = 0,025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan 0,2 dengan probabilitas 0,51 untuk $J_G = 0,116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s.

4.2.2 Fraksi hampa aliran *plug*

Pola aliran *plug* ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding saluran dengan Panjang *plug* yang bervariasi. Berdasarkan fasenya pola aliran *plug* dibedakan menjadi dua yaitu *plug* udara dan *plug* air. *plug* udara merupakan pola aliran *bubbly* yang bentuknya lebih Panjang hingga menyerupai peluru.

1. Campuran Gliserin 0% dan Akuades 100%

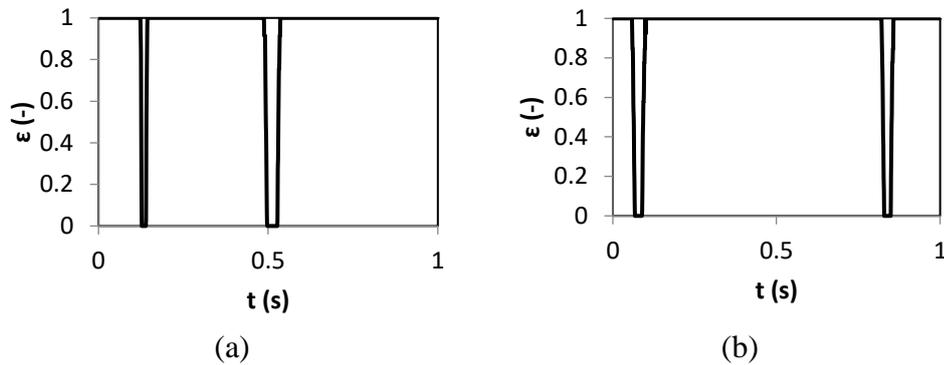
Fluida variabel ini menggunakan udara-campuran gliserin 0% dan akuades 100%.



Gambar 4.13 pola aliran *plug* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L 0,232$ m/s

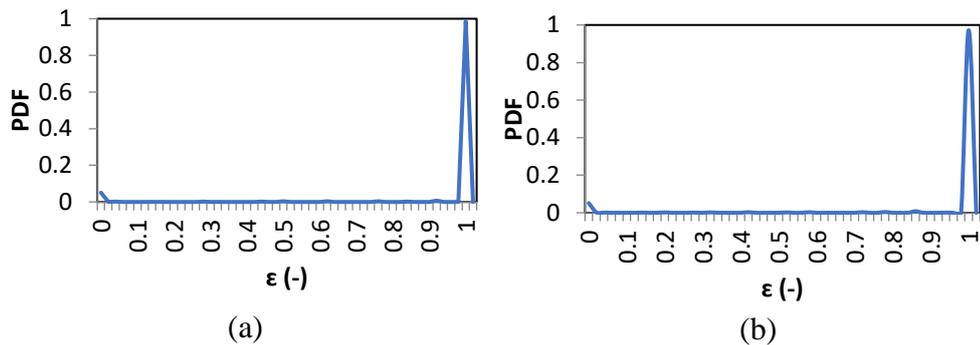
Gambar 4.13 menunjukkan bahwa *plug* udara terdiri dari dua jenis yaitu *plug* udara panjang, *plug* udara panjang adalah *plug* yang *nose* dan *tail*-nya saling berjauhan.



Gambar 4.14 *time-series* fraksi hampa aliran *plug* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.14 menjelaskan nilai fraksi hampa mencapai nilai 1 pada rentang waktu tertentu. Hal ini disebabkan *plug* udara yang hampir memenuhi seksi uji sehingga fase yang dominan adalah fase udara.



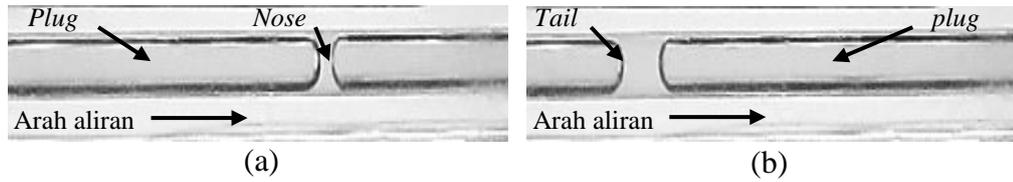
Gambar 4.15 *PDF* aliran *plug* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.15 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yang terjadi pada pola aliran *plug* yaitu nilai 0.98 dengan probabilitas 0.98 pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan 0.98 dengan probabilitas 0.97 sama seperti Gambar (a) untuk $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.

2. Campuran Gliserin 10% dan Akuades 90%

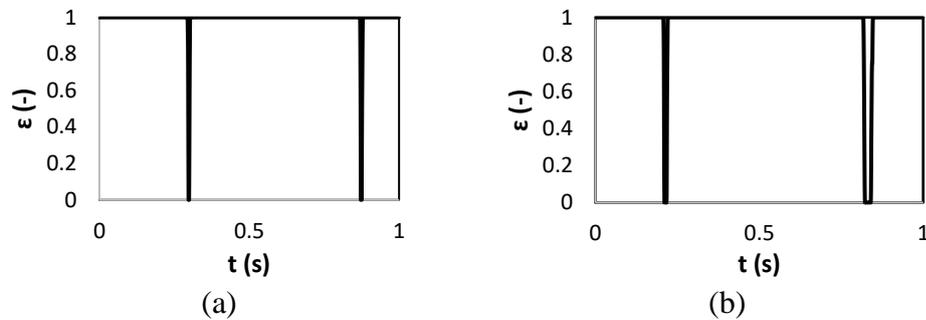
Fluida campuran ini menggunakan udara-campuran gliserin 10% dan akuades 90%.



Gambar 4.16 pola aliran *plug* gliserin 10% pada

(a) $J_G = 0,116 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 0,116 \text{ m/s}$, $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

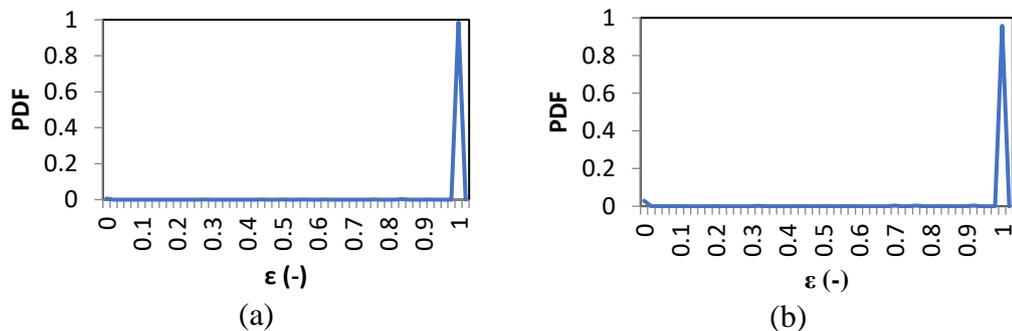
Gambar 4.16 menunjukkan bahwa *plug* udara yang terbentuk menyerupai *plug* panjang. *Plug* udara Panjang adalah *plug* yang *nose* dan *tail* saling berjauhan



Gambar 4.17 *time-series* fraksi hampa aliran *plug* gliserin 10% pada

(a) $J_G = 0,116 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 0,116 \text{ m/s}$, $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Gambar 4.17 menjelaskan fraksi hampa hampir mendekati nilai 1 pada rentang waktu tertentu. Hal ini disebabkan oleh *plug* udara yang hampir memenuhi seksi uji sehingga fase yang dominan adalah fase udara.



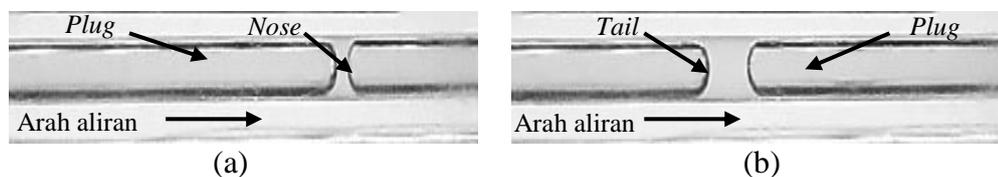
Gambar 4.18 *PDF* aliran *plug* gliserin 10% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.18 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yang terjadi pada pola aliran *plug* yaitu nilai 0.98 dengan nilai probabilitas 0.98 pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0.033$ m/s, dan nilai 0.92 dengan probabilitas mendekati 0.93 pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.

3. Campuran Gliserin 20% dan akuades 80%

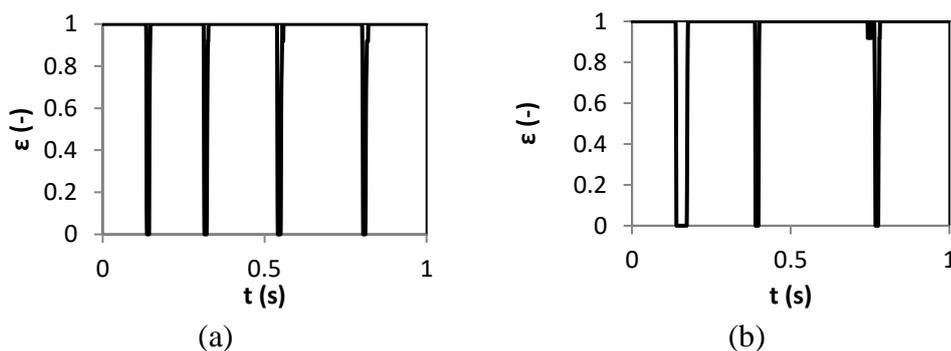
Variabel ini menggunakan udara campuran gliserin 20% dan akuades 80%.



Gambar 4.19 pola aliran *plug* gliserin 20% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

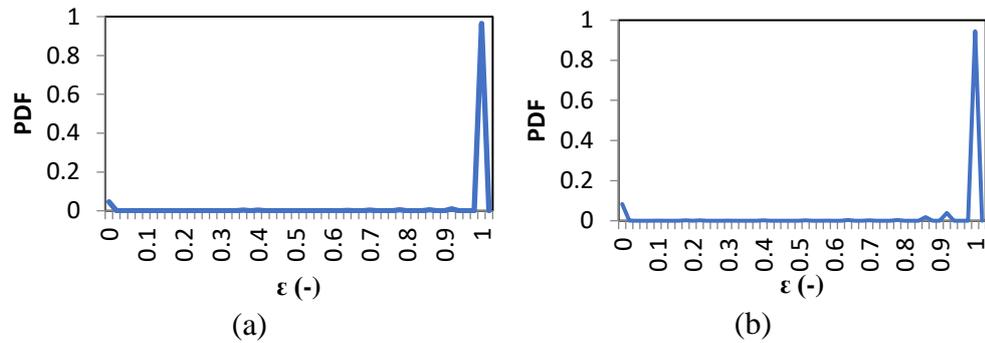
Gambar 4.19 menunjukkan pola aliran *plug* yang muncul dengan frekuensi yang lebih banyak dari pada pada gliserin 10%, namun dengan ukuran *plug* yang lebih pendek dibandingkan dengan campuran gliserin 10%. Variabel ini menunjukkan hampir semua *plug* yang muncul adalah *plug* udara panjang.



Gambar 4.20 *time-series* aliran *plug* Gliserin 20% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.20 menjelaskan fraksi hampa mencapai 1 pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh *plug* udara memenuhi seksi uji sehingga fase dominan adalah fase udara.



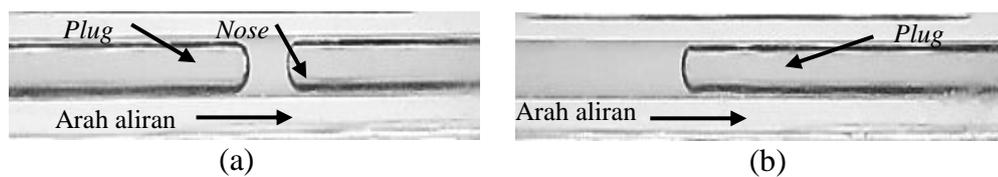
Gambar 4.21 PDF aliran *plug* gliserin 20% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.21 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yang terjadi pada pola *plug* yaitu nilai 0,98 dengan nilai probabilitas 0,96 pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan 0,98 dengan probabilitas 0,94 pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.

4. Campuran Gliserin 30% dan akuades 70%

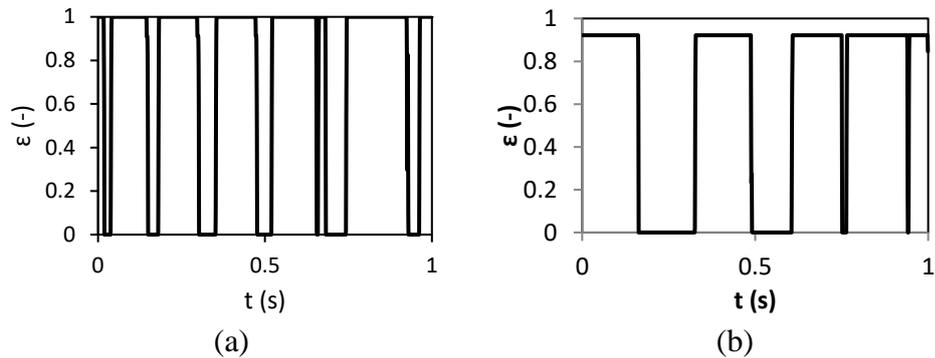
Variabel ini menggunakan udara-campuran gliserin 30% dan akuades 70%.



Gambar 4.22 pola aliran *plug* gliserin 30% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

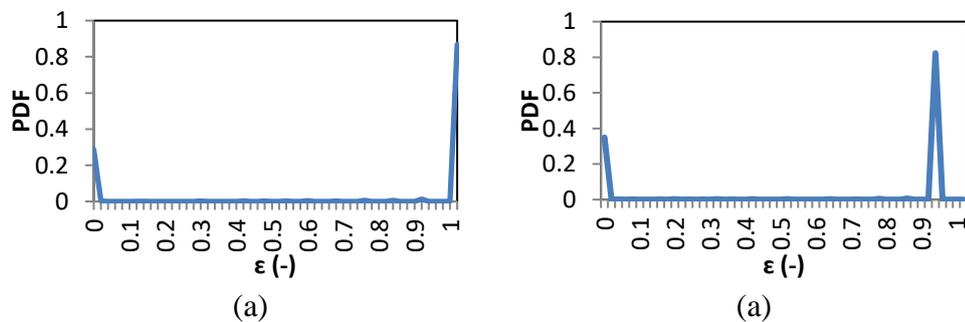
Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran *plug* yang muncul dengan frekuensi yang lebih banyak dari pada pada gliserin 0%, 10%, dan 20%, namun dengan ukuran *plug* yang lebih pendek dibandingkan dengan campuran gliserin 10%. Variabel ini menunjukkan hampir semua *plug* yang muncul adalah *plug* udara pendek.



Gambar 4.23 *time-series* fraksi hampa aliran *plug* gliserin 30% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L 0,232$ m/s

Gambar 4.23 juga menjelaskan fraksi hampa mencapai nilai 1 pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh *plug* udara memenuhi bagian dari seksi uji sehingga dominan fase udara. Akan tetapi pada gambar (b) menjelaskan hampir mencapai 1 pada seksi uji. Itu karena terdapat cairan pada seksi dinding seksi uji.



Gambar 4.24 *PDF* aliran *plug* gliserin 30% pada

(a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L 0,232$ m/s

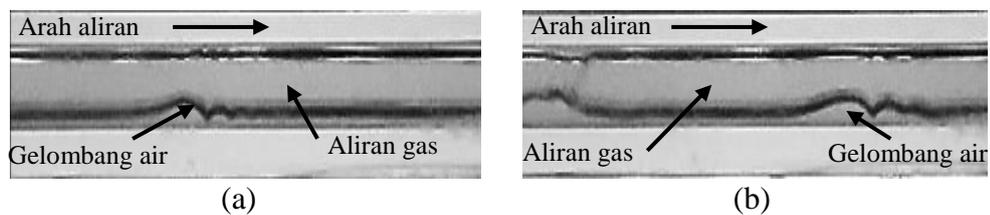
Gambar 4.24 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yang terjadi pada pola aliran *plug* yaitu 1 dengan probabilitas 0,86 pada $J_G = 0,116$ m/s, 0,033 m/s. dan nilai 0,94 dengan nilai probabilitas 0,82 pada $J_G 0,116$ m/s, $J_L 0,232$ m/s.

4.2.3 Fraksi hampa pada pola aliran *slug-annular*

Pola aliran *slug-annular* merupakan pola transisi peralihan dari *plug* ke *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara semetri pada dinding pipa, namun pada satu titik atau lebih terdapat film cairan yang lebih tebal dibanding titik yang lainnya. Adanya lapisan film cairan yang tebal tersebut berasal dari jembatan cairan yang memisahkan kantong-kantong udara pada aliran *plug*. Pada saat J_G tinggi dinaikan maka udara akan berusaha untuk menembus jembatan cairan tersebut sehingga muncul lapisan cairan yang lebih tebal pada suatu titik tertentu.

1. Campuran 0% Gliserin dan akuades 100%

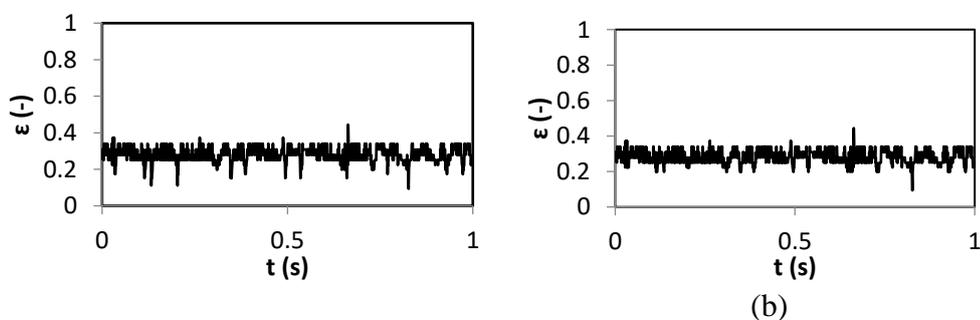
Pola aliran *slug-annular* pada udara-campuran gliserin 0% dan akuades 100% dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.25 pola aliran *slug-annular* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

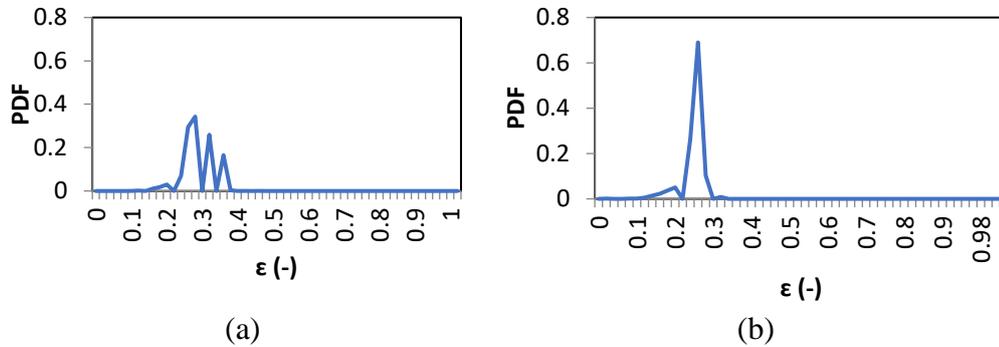
Gambar 4.25 menunjukkan *liquid neck* yang terjadi disebabkan oleh udara yang menembus jembatan cairan pada aliran *plug*.



Gambar 4.26 *time-series* fraksi hampa *slug-annular* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Gambar 4.26 menunjukkan nilai fraksi hampa akan menurun pada rentang waktu tertentu disebabkan oleh *liquid neck* yang terjadi pada pola aliran.



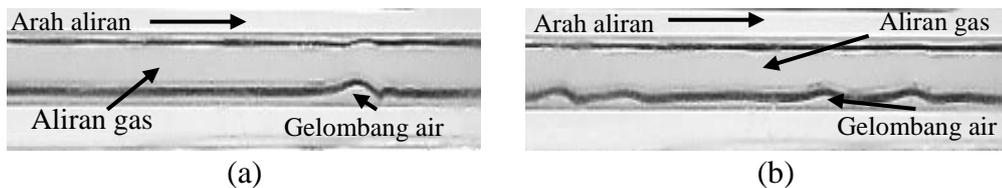
Gambar 4.27 PDF aliran *slug-annular* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Gambar 4.27 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada gliserin 0% yaitu 0,28 dengan probabilitas 0,34 untuk $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan 0,26 dengan probabilitas 0,69 untuk $9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$.

2. Campuran 10% Gliserin dan akuades 90%

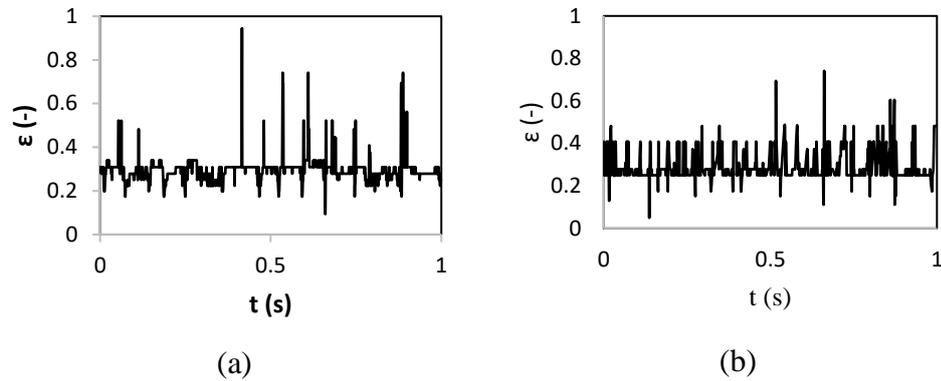
Pola aliran *slug-annular* pada campuran gliserin 10% dan akuades 90% dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 pola aliran *slug-annular* Gliserin 10% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

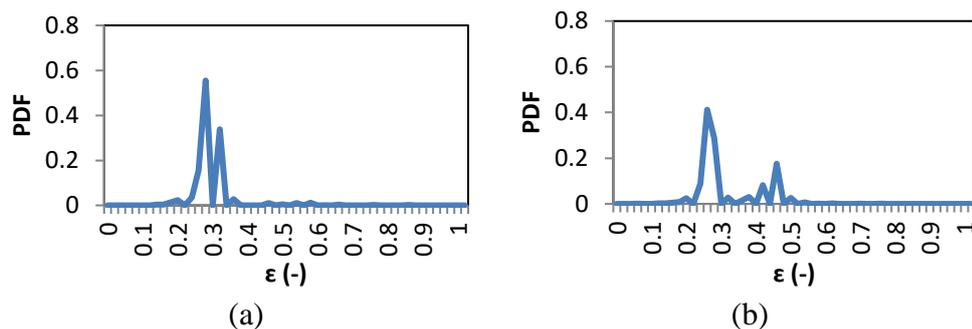
Gambar 4.28 menunjukkan *liquid neck* yang terjadi disebabkan oleh udara yang menembus jembatan cairan pada aliran *plug*.



Gambar 4.29 *time-series* fraksi hampa *slug-annular* Gliserin 10% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Gambar 4.29 menunjukkan nilai fraksi hampa akan menurun dikarenakan adanya *liquid neck* yang terjadi pada pola aliran *slug-annular*.



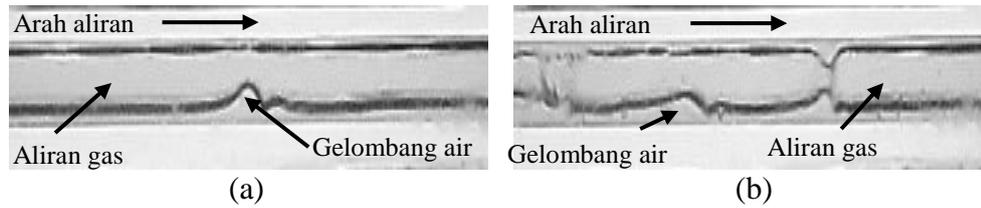
Gambar 4.30 *PDF* fraksi hampa *slug-annular* Gliserin 10% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232$

Gambar 4.30 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada gliserin 10% yaitu 0,28 dengan probabilitas 0,55 dan 0,32 dengan probabilitas 0,33 untuk $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan 0,26 dengan probabilitas 0,41 dan 0,46 dengan probabilitas 0,17 untuk $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,232 \text{ m/s}$.

3. Campuran Gliserin 20% dan akuades 80%

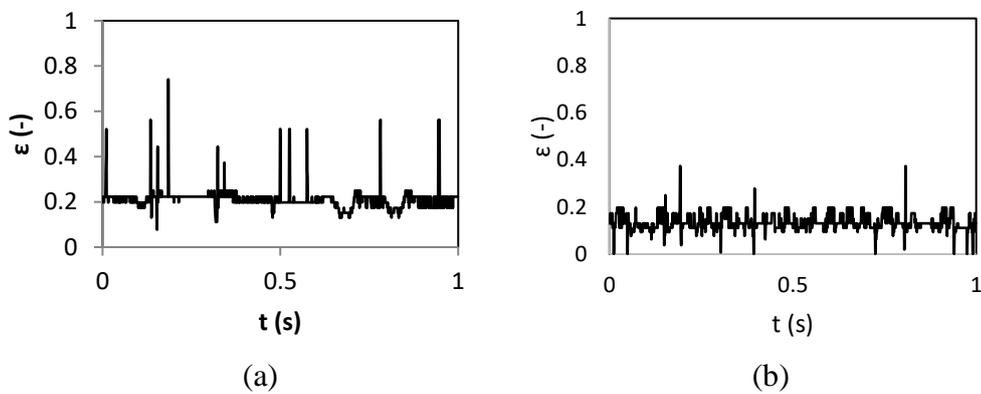
Pola aliran *slug-annular* pada campuran 20% gliserin dan 80% akuades dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 pola aliran *slug-annular* gliserin 20% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

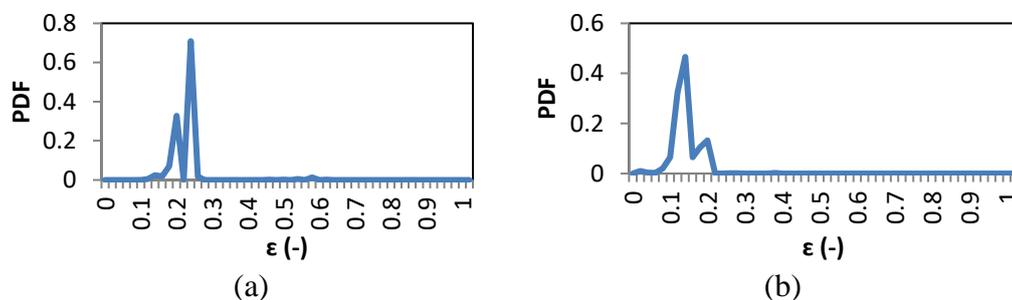
Gambar 4.31 menunjukkan *liquid-neck* yang terjadi disebabkan oleh udara yang menembus jembatan cairan pada aliran *plug*.



Gambar 4.32 *time-series* fraksi hampa *slug-annular* Gliserin 20% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.32 menunjukkan nilai fraksi hampa akan menurun dikarenakan adanya semakin banyak *liquid neck* yang terjadi pada pola aliran *slug-annular*.



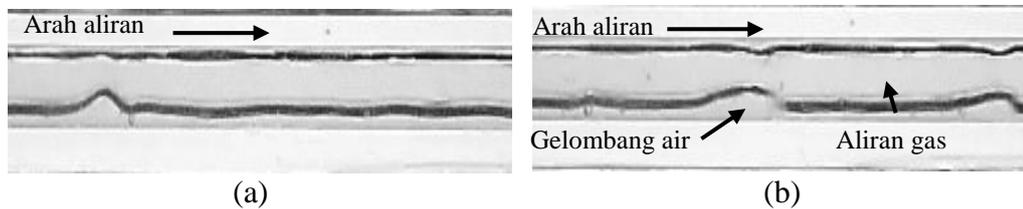
Gambar 4.33 *PDF* fraksi hampa *slug-annular* gliserin 20% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.33 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada campuran gliserin 20% yaitu 0,24 dengan probabilitas 0,70 dan 0,24 dengan probabilitas 0,32 untuk $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,033$ m/s. dan 0,14 dengan probabilitas 0,46 dan 0,2 dengan probabilitas 0,13 untuk $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,232$ m/s.

4. Campuran 30% Gliserin dan akuades 70%

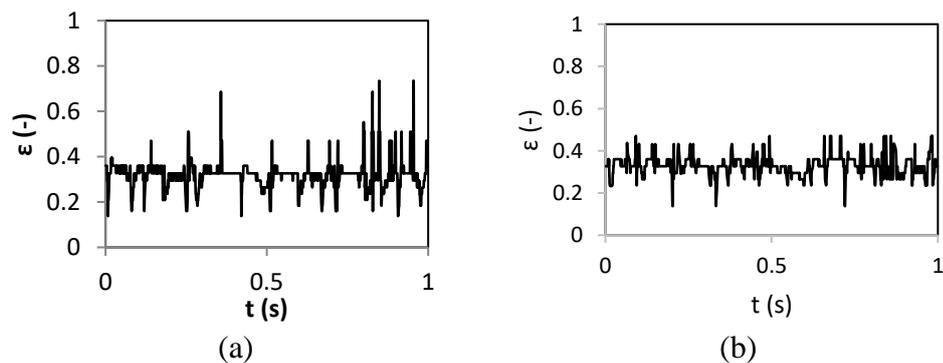
Pola aliran *slug-annular* pada campuran gliserin 30% dan akuades 70% dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 pola aliran *slug-annular* gliserin 30% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

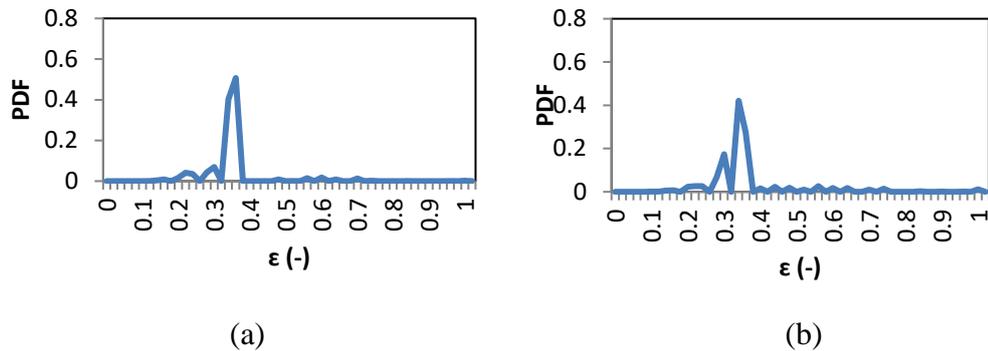
Gambar 4.34 menunjukkan *liquid-neck* yang terjadi disebabkan oleh udara yang menembus jembatan cairan pada aliran *plug*.



Gambar 4.35 *time series* fraksi hampa *slug-annular* gliserin 30% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.35 menunjukkan nilai fraksi hampa yang terbaca selama 1 detik. Grafik turun saat *liquid neck* yang condong ke tengah pipa muncul dan naik saat terjadi *liquid neck* yang condong ke arah dinding pipa.



Gambar 4.36 PDF fraksi hampa *slug-annular* gliserin 30 % pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

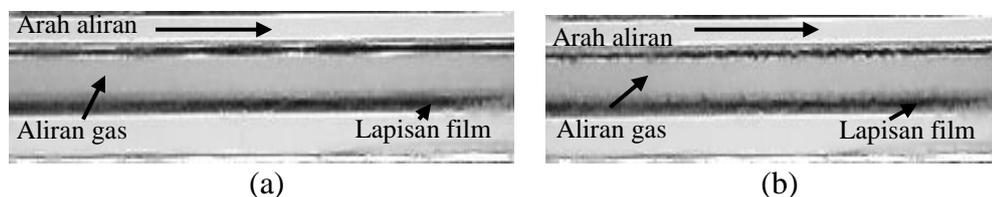
Gambar 4.36 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada campuran gliserin 30% yaitu 0,36 dengan probabilitas 0,50 pada $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$. dan 0,34 dengan probabilitas 0,42 pada $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$.

4.2.4 Fraksi hampa pada pola aliran *annular*

Pola aliran ini merupakan kelanjutan dari pola aliran *slug-annular* terjadi akibat kecepatan superficial dari fase gas (J_G) jauh lebih besar jika dibandingkan dengan fase cairan (J_L) yang rendah yang menyebabkan udara menembus bagian tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi merata pada dinding pipa.

1. Campuran 0% Gliserin dan akuades 100%

Pola aliran *annular* pada campuran gliserin 20% dapat dilihat pada Gambar 4.37.

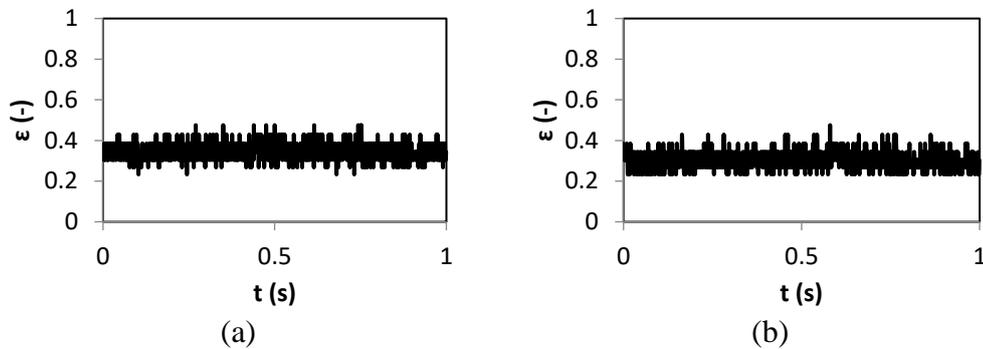


Gambar 4.37 pola aliran *annular* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

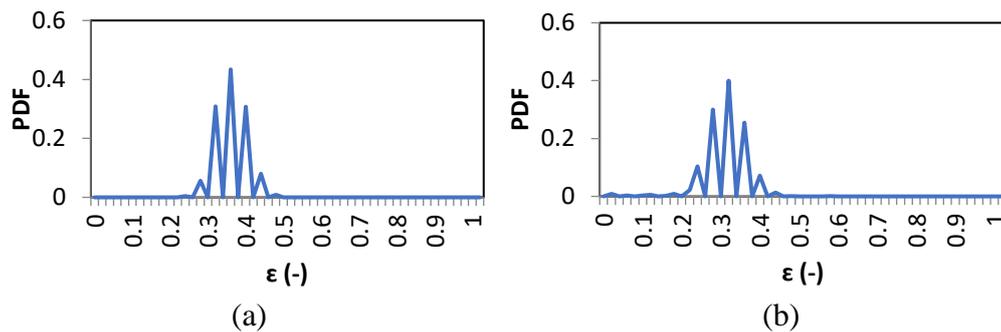
Film pada Gambar 4.37 (a) secara teori akan lebih tipis dibandingkan film cairan pada Gambar (b). hal ini disebabkan oleh nilai J_G yang besar

mengibatkan udara yang memasuki seksi uji pipa akan banyak sehingga J_L yang berbeda, volume udara akan lebih besar.



Gambar 4.38 *time-series* fraksi hampa *annular* gliserin 0% pada
(a) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

Fraksi hampa pada aliran ini fluktuatif tetapi penurunan dan kenaikan tidak terlalu signifikan yang dapat dilihat pada Gambar 4.38.



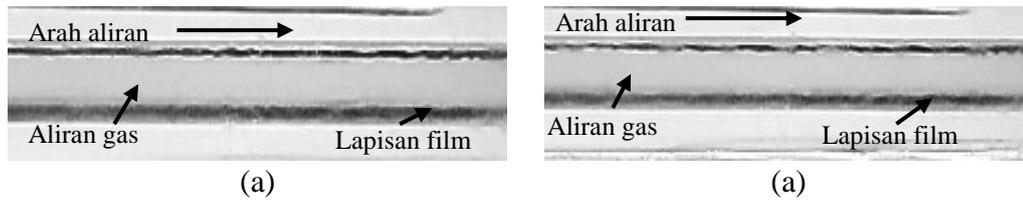
Gambar 4.39 *PDF* aliran *annular* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.39 adalah gambar grafik PDF yang menunjukkan nilai fraksi hampa pada pola aliran *annular*. Fraksi hampa dominan pada variabel ini 0,36 dengan probabilitas sekitar 0,43 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan 0,32 dengan probabilitas sekitar 0,40 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s.

2. Campuran 10% Gliserin dan akuades 90%

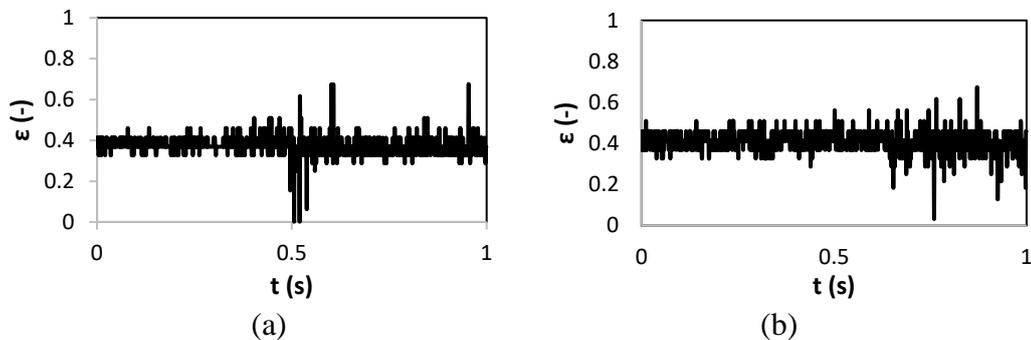
Pola aliran *annular* campuran gliserin 10% dan akuades 90% dapat dilihat pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40 pola aliran *annular* gliserin 10% dan akuades 90% pada

(a) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

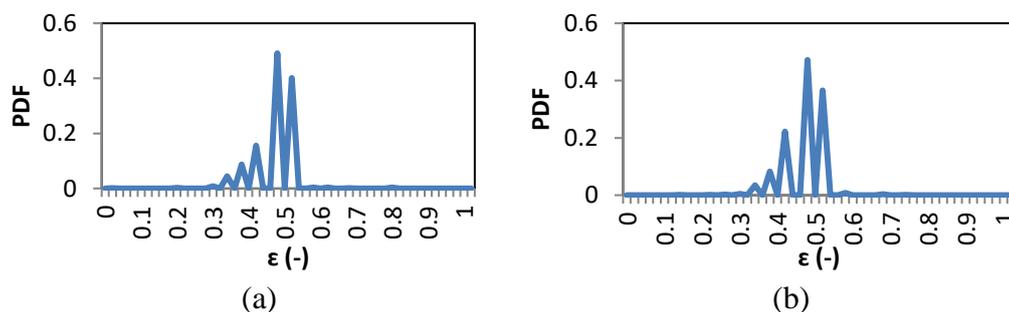
Gambar 4.40 menunjukkan film cair pada (a) secara teori akan lebih tipis dibandingkan film cairan pada gambar pada gambar (b). hal ini disebabkan oleh nilai J_G yang besar yang mengakibatkan udara yang memasuki pipa akan banyak sehingga pada J_L yang sama, volume udara pada pipa akan lebih besar.



Gambar 4.41 *time-series* fraksi hampa annular gliserin 10% pada

(a) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Fraksi hampa pada pola aliran ini fluktuatif tetapi penurunan dan kenaikan tidak terlalu signifikan yang dapat dilihat pada Gambar 4.41



Gambar 4.42 *PDF* fraksi hampa annular gliserin 10 % pada

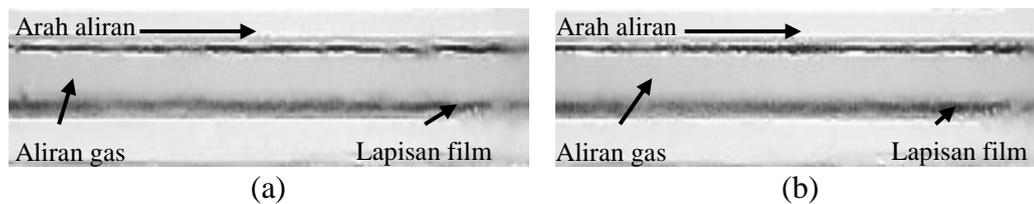
(a) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Gambar 4.42 adalah grafik *PDF* yang menunjukkan nilai fraksi hampa pada aliran *annular*. Fraksi hampa dominan pada variabel ini 0,48 dengan probabilitas

sekitar 0,49 untuk $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan 0,48 dengan probabilitas 0,47 untuk $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

3. Campuran Gliserin 20% dan akuades 80%

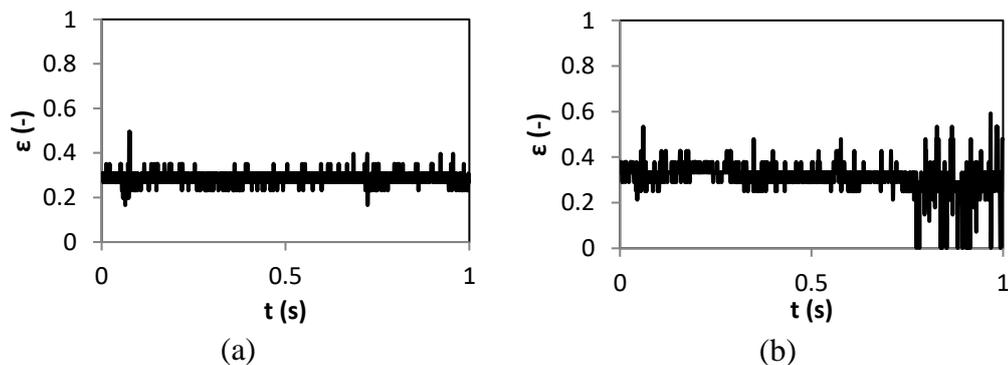
Pola aliran *annular* pada campuran gliserin 20% dan akuades 80% dapat dilihat pada Gambar 4.43.



Gambar 4.43 pola aliran *annular* Gliserin 20% pada

(a) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

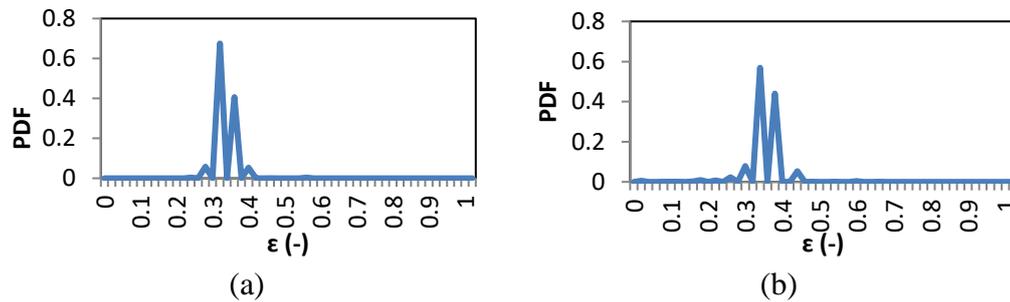
Pola aliran *annular* pada gliserin 20% tidak berbeda jauh dengan pola aliran *annular* gliserin 10% hal ini disebabkan oleh visikositas pada pola aliran *annular* tidak memiliki pengaruh yang signifikan untuk pola aliran *annular* sehingga terlihat tidak ada perbedaan,



Gambar 4.44 *time series* fraksi hampa *annular* gliserin 20% pada

(a) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

Gambar 4.44 menunjukkan nilai fraksi hampa yang fluktuatif dan perubahan nilai fraksi hampa yang tidak terlalu signifikan.

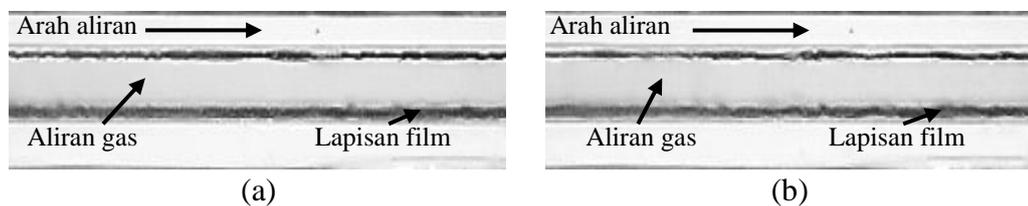


Gambar 4.45 PDF fraksi hampa *annular* gliserin 20% pada
(a) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

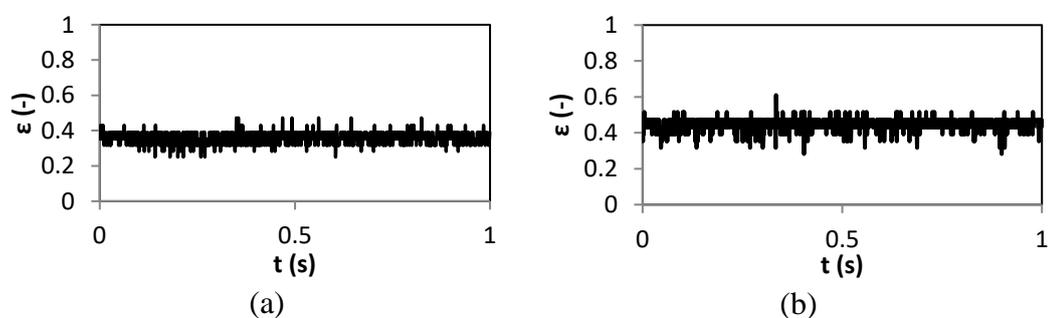
Gambar 4.45 menunjukkan fraksi hampa dominan pada variabel ini yaitu 0,32 dengan probabilitas 0,67 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan 0,34 dengan probabilitas 0,56 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s.

4. Campuran Gliserin 30% dan akuades 70%

Pola aliran *annular* pada campuran gliserin 30% dapat dilihat pada Gambar 4.46. Pada variabel ini juga terlihat film cairan yang lebih jelas yang menunjukkan viskositas cairan yang lebih tinggi.

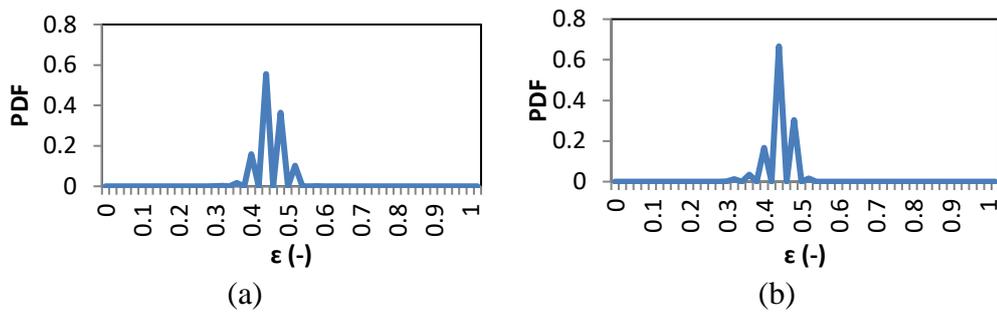


Gambar 4.46 pola aliran *annular* campuran gliserin 30% dan akuades 70% pada
(a) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s



Gambar 4.47 *time-series* fraksi hampa *annular* campuran gliserin 30% pada
(a) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.47 menunjukkan nilai fraksi hampa yang fluktuatif dan perubahan fraksi hampa tidak terlalu signifikan walaupun pada titik tertentu terdapat penurunan nilai fraksi hampa yang cukup kecil yang disebabkan oleh ada jembatan cairan yang belum tertembus oleh udara.



Gambar 4.48 PDF fraksi hampa gliserin 30% dan akuades 70% pada (a) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s

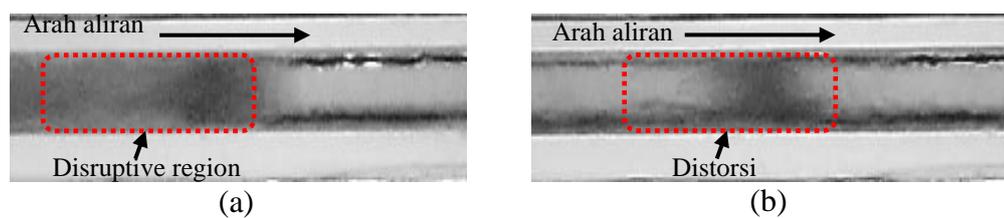
Gambar 4.48 menunjukkan fraksi hampa dominan pada variabel ini yaitu 0,44 dengan probabilitas 0,55 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,033$ m/s dan 0,44 di probabilitas 0,66 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 0,232$ m/s.

4.2.5 Fraksi hampa pada aliran *churn*

Pola aliran *churn* terbentuk saat kecepatan superfisial gas yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan yang cukup besar tetapi selisih keduanya cukup besar. Pola aliran ini merupakan pola aliran yang mengalami ketidakstabilan pada bagian ekor pola, sehingga terdapat bagian yang terdistorsi.

1. Campuran Gliserin 0% dan akuades 100%

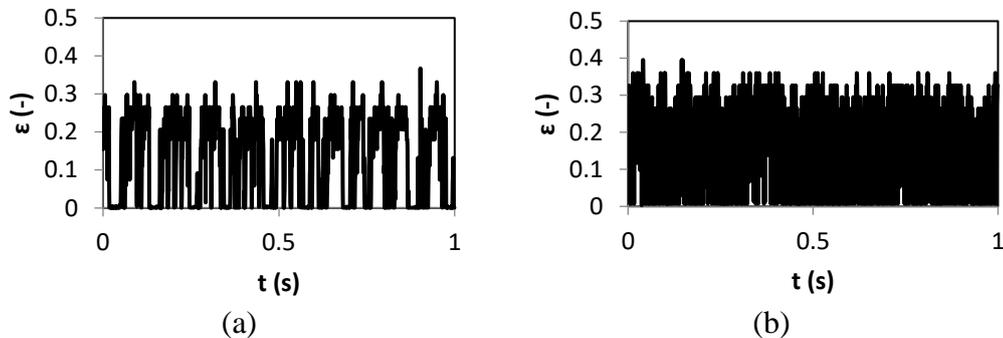
Pola aliran *churn* pada campuran gliserin 20% dan akuades 80% dapat dilihat pada Gambar 4.49.



Gambar 4.49 pola aliran *churn* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s

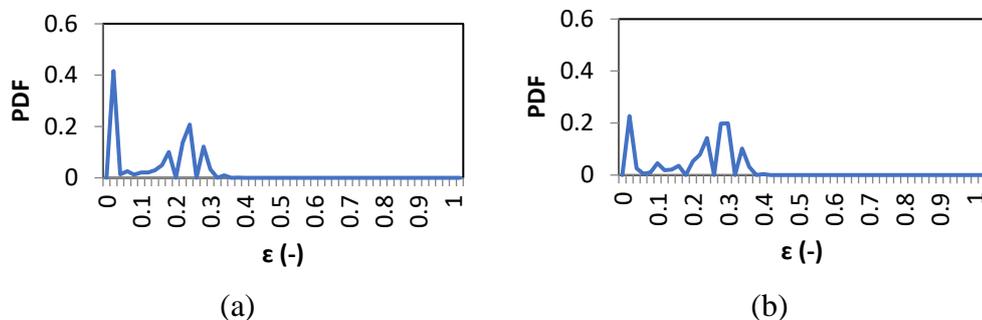
Gambar 4.49 menunjukkan ketidakstabilan aliran bagian ekor. Kenaikan nilai J_G berpengaruh terhadap bentuk distorsi yang terjadi. Akibat bagian ekor yang terdistorsi akan membentuk aliran *churn*.



Gambar 4.50 *time-series* fraksi hampa *churn* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.50 menunjukkan nilai fraksi hampa pada pola aliran *churn* yang tidak beraturan. Pada rentang waktu tertentu nilai fraksi hampa tidak beraturan yang menunjukkan pada rentang waktu tersebut terjadi distorsi yang cukup besar, sedangkan pada waktu tertentu nilai fraksi hampa menurun tajam sampai 0 yang menunjukkan rentang waktu tersebut tidak terjadi distorsi.



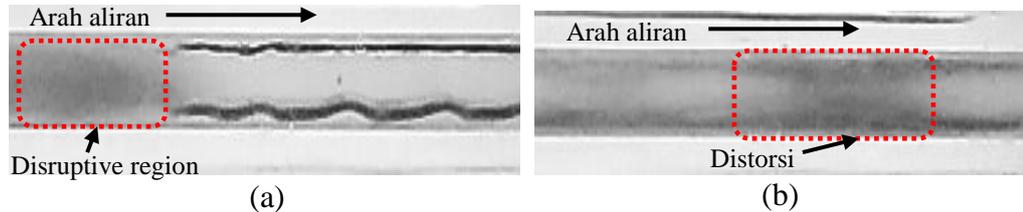
Gambar 4.51 *PDF* fraksi hampa *churn* gliserin 0% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.51 menunjukkan grafik PDF pola aliran *churn* memiliki nilai dominan 0,02 dengan probabilitas 0,41 untuk $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan 0,02 dengan probabilitas 0,22 untuk $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$.

2. Campuran Gliserin 10% dan akuades 90%

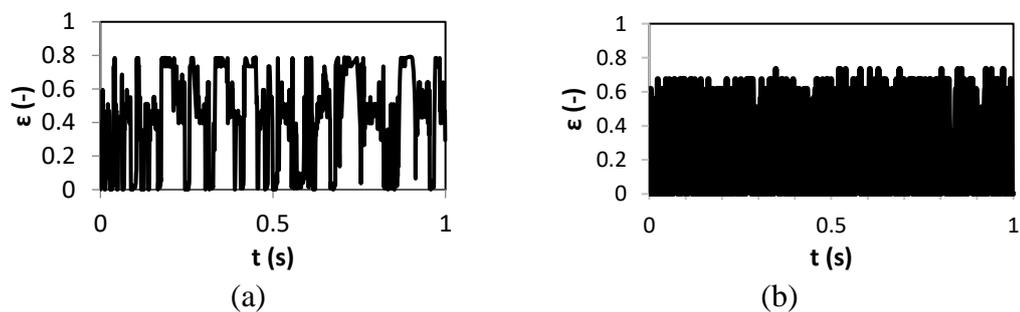
Pola aliran *churn* pada campuran gliserin 10% dan akuades 90% dapat dilihat pada Gambar 4.52.



Gambar 4.52 pola aliran *churn* Gliserin 10% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

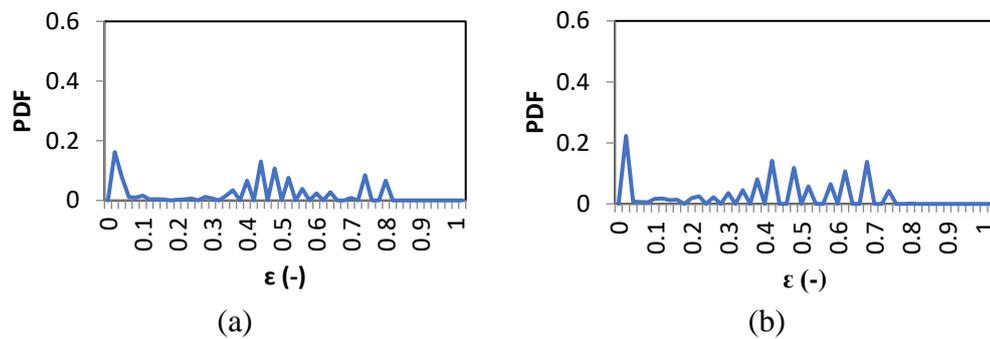
Gambar 4.53 menunjukkan ketidakstabilan aliran bagian ekor. kenaikan nilai J_G berpengaruh terhadap bentuk distorsi yang terjadi. Akibat bagian ekor yang terdistorsi akan membentuk aliran *churn*.



Gambar 4.53 *time-series* fraksi hampa *churn* gliserin 10% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.53 menunjukkan nilai fraksi hampa pada pola aliran *churn* yang tidak beraturan. Pada rentang waktu tertentu nilai fraksi hampa tidak beraturan yang menunjukkan pada rentang waktu tersebut terjadi distorsi yang cukup besar, sedangkan pada waktu yang lain nilai fraksi hampa menurun tajam sampai mendekati 0 yang menunjukkan pada rentang waktu tersebut tidak terjadi distorsi nilai fraksi hampa tidak berbeda jauh dengan campuran 0% gliserin.



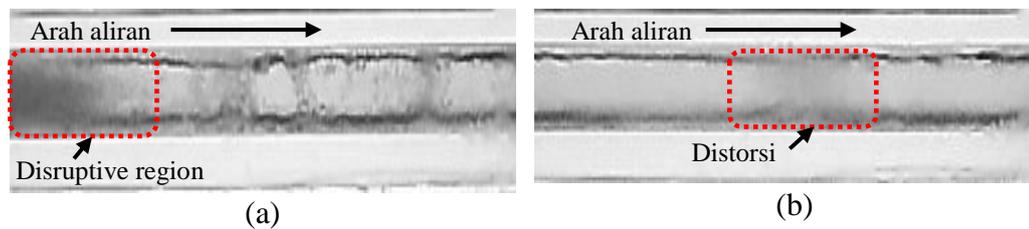
Gambar 4.54 PDF fraksi hampa *churn* gliserin 10% pada

(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.54 menunjukkan grafik PDF fraksi hampa pada pola aliran *churn* memiliki nilai dominan pada 0,02 dengan probabilitas 0,16 untuk $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan 0,02 dengan probabilitas sampai 0,22 untuk $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$.

3. Campuran Gliserin 20% dan akuades 80%

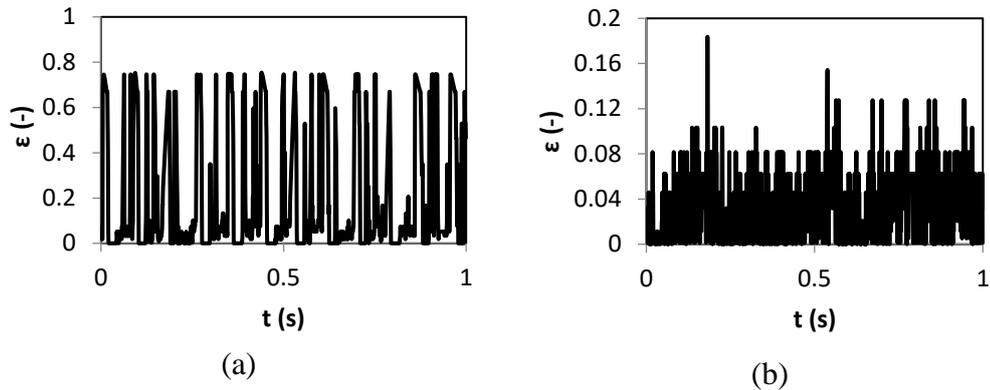
Pola aliran *churn* pada campuran 20% dan akuades 80% dapat dilihat pada Gambar 4.55.



Gambar 4.55 pola aliran *churn* Gliserin 20% pada

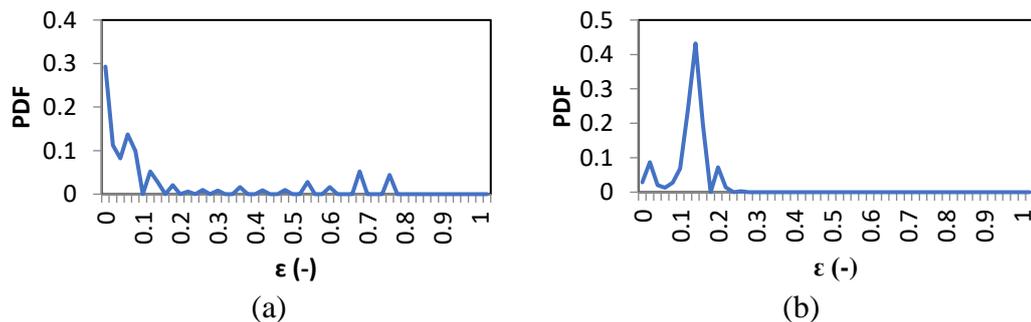
(a) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 66,2 \text{ m/s}$ $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.55 menunjukkan pola aliran *churn* yang terlihat tidak begitu berbeda jauh dengan pola *churn* campuran gliserin 10%.



Gambar 4.56 *time-series* fraksi hampa *churn* Gliserin 20% pada
 (a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.56 menunjukkan nilai fraksi hampa yang fluktuatif dan tidak beraturan juga disebabkan oleh bagian aliran yang normal dan bagian aliran yang terdistorsi.

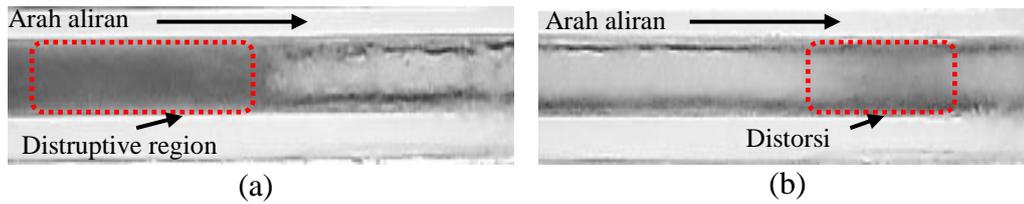


Gambar 4.57 *PDF* fraksi hampa *churn* Gliserin 20% pada
 (a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.57 yang menunjukkan nilai fraksi hampa pada aliran *churn* pada variabel ini memiliki nilai yang dominan pada 0,02 pada probabilitas 0,29 untuk $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan 0,14 dengan probabilitas 0,43 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s.

4. Campuran Gliserin 30% dan akuades 70%

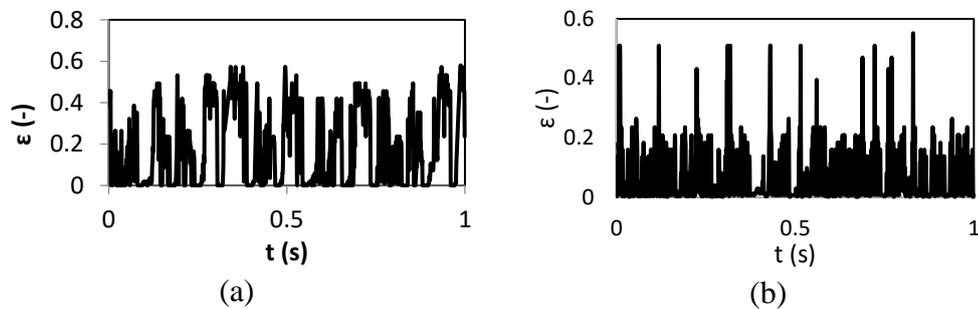
Pola aliran *churn* pada campuran gliserin 30% dan akuades 70% dapat dilihat pada Gambar 4.58.



Gambar 4.58 pola aliran *churn* Gliserin 30% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s

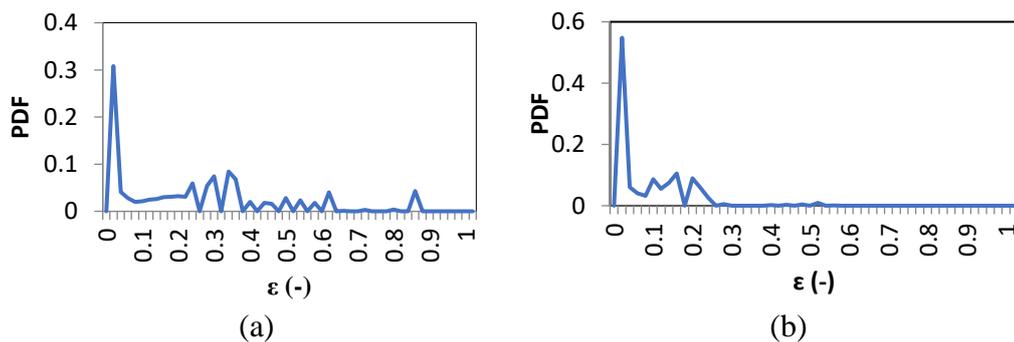
Gambar 4.58 menunjukkan pola aliran *churn* yang terlihat tidak begitu berbeda jauh dengan pola *churn* campuran gliserin 20%.



Gambar 4.59 *time-series* fraksi hampa *churn* Gliserin 30% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.59 menunjukkan nilai fraksi hampa yang fluktuatif dan tidak beraturan juga yang disebabkan oleh bagian aliran yang normal dan bagian aliran yang terdistorsi.



Gambar 4.60 *PDF* fraksi hampa *churn* Gliserin 30% pada

(a) $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.60 menunjukkan nilai fraksi hampa pada pola aliran *churn* pada variabel ini memiliki nilai yang dominan pada 0,02 dengan nilai probabilitas

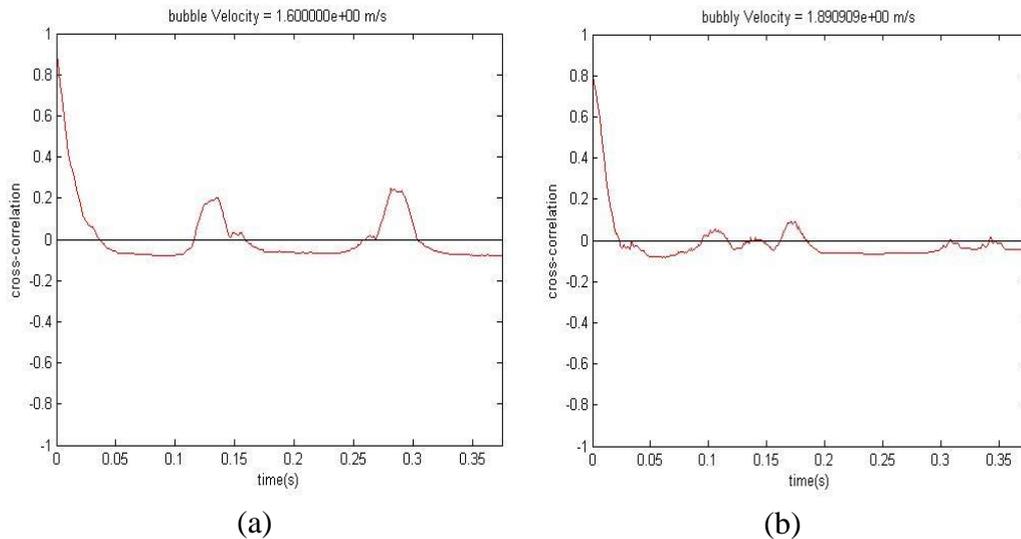
0,30 untuk $J_G = 9,62$ m/s $J_L = 4,935$ m/s dan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,54 untuk $J_G = 66,2$ m/s $J_L = 4,935$ m/s.

4.3 Kecepatan dan *Cross-Correlation* Pola Aliran *Bubbly* dan *plug*

4.3.1 *Cross-Correlation* Pola Aliran *Bubbly* dan *Plug*

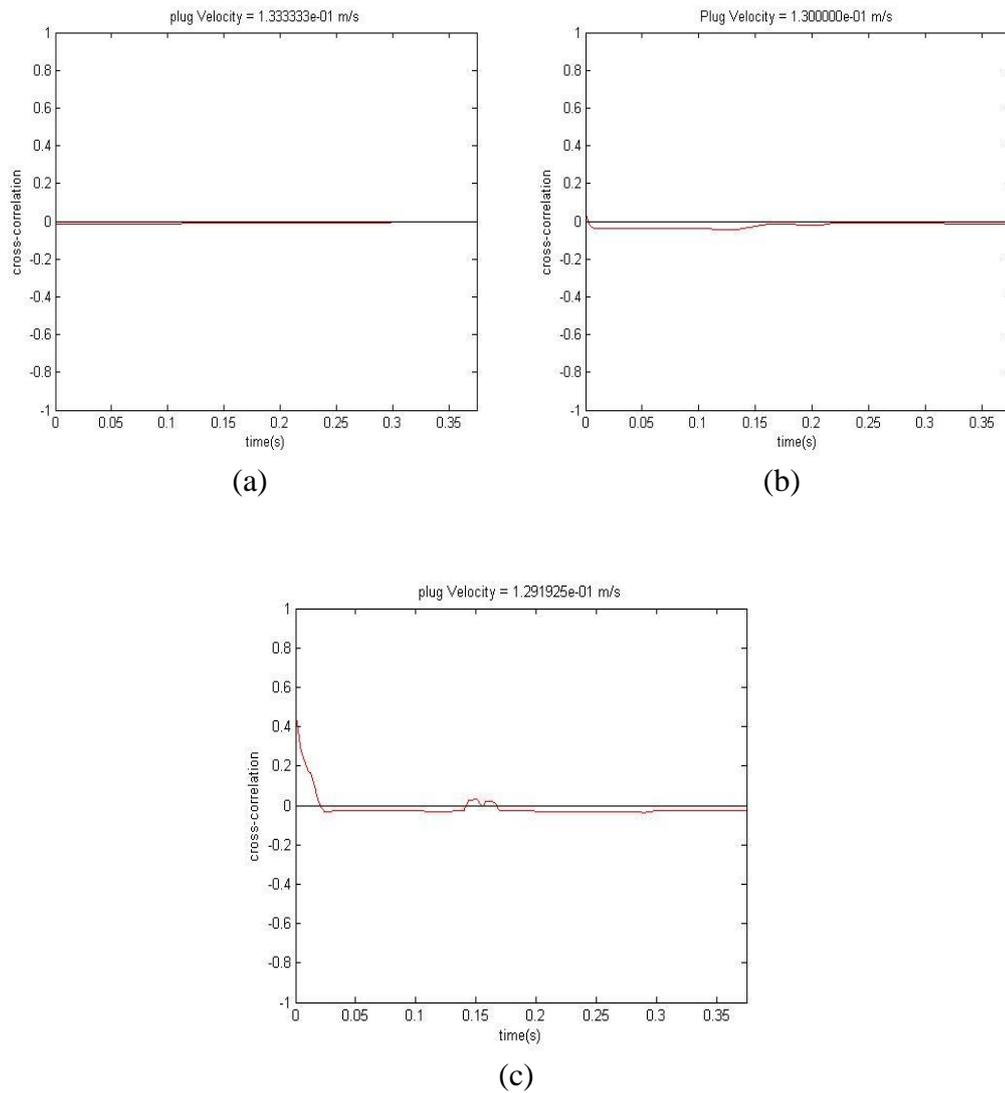
Kecepatan dari *bubbly* dan *plug* dapat dicari dengan menentukan jeda waktu antara pergerakan *bubbly* atau *plug* dari satu titik referensi ke titik referensi lainnya. Nilai *cross-correlation bubbly* dapat dilihat pada Gambar 4.61 dan nilai *Cross-correlation plug* dapat dilihat pada Gambar 4.62.

Pada Gambar 4.61 dan 4.62 terlihat grafik yang fluktuatif dimana terdapat nilai yang menunjukkan jeda waktu yang dihasilkan. Puncak tertinggi merepresentasikan jeda waktu dari hasil *cross-correlation*. Kemudian nilai dari kecepatan *bubbly* dan *plug* dihitung dari selisih jarak antara kedua referensi yang digunakan dibagi dengan jeda waktu yang sudah ditentukan.



Gambar 4.61 *cross-correlation bubbly* gliserin 20% pada

(a) $J_G = 0.025$ m/s $J_L = 0,89$ m/s dan (b) $J_G = 0.116$ m/s $J_L = 0,89$ m/s



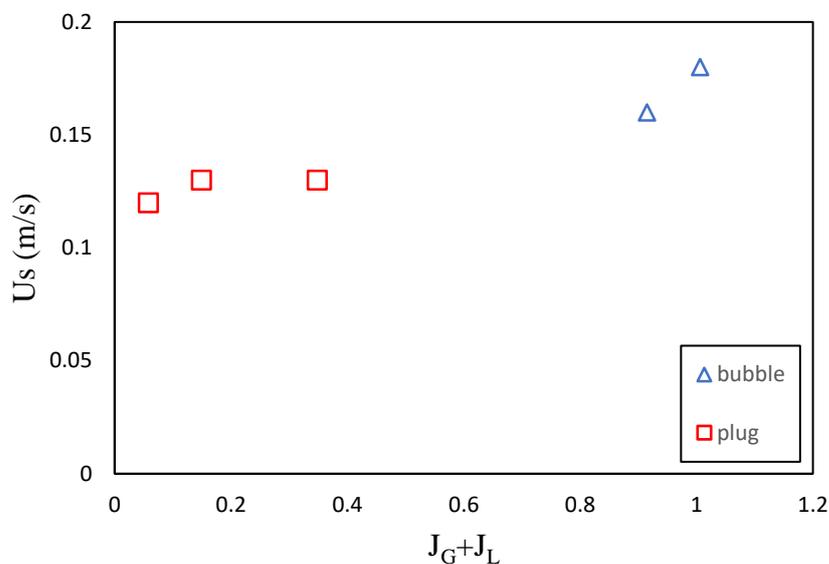
Gambar 4.62 *cross-correlation plug* gliserin 20% pada

(a) $J_G = 0.116$ m/s $J_L = 0.033$ m/s, (b) $J_G = 0.116$ m/s $J_L = 0.232$ m/s, dan (c)

$J_G = 0.025$ m/s $J_L = 0.033$ m/s.

4.3.2 Kecepatan Pola Aliran *Bubbly* dan *Plug*

Kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* dibuat dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.63. Grafik dibuat dengan menghubungkan antara kecepatan *bubbly* dan *plug* dengan total fluks volumetrik dimana $J_T = (J_G + J_L)$.

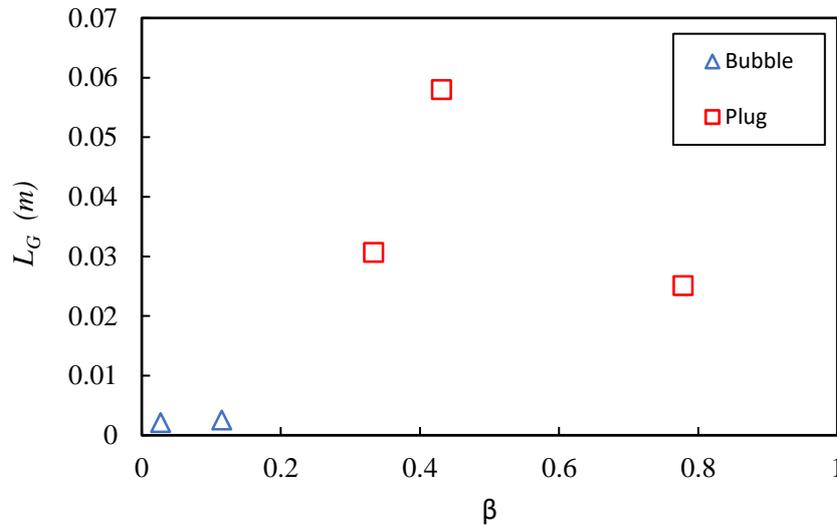


Gambar 4.63 menunjukkan kecepatan *bubbly* dan *plug*

Pada Gambar 4.63 secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai total fluks volumetrik maka kecepatan *Bubbly* dan *plug* akan meningkat.

4.4 Panjang *Bubbly* dan *Plug*

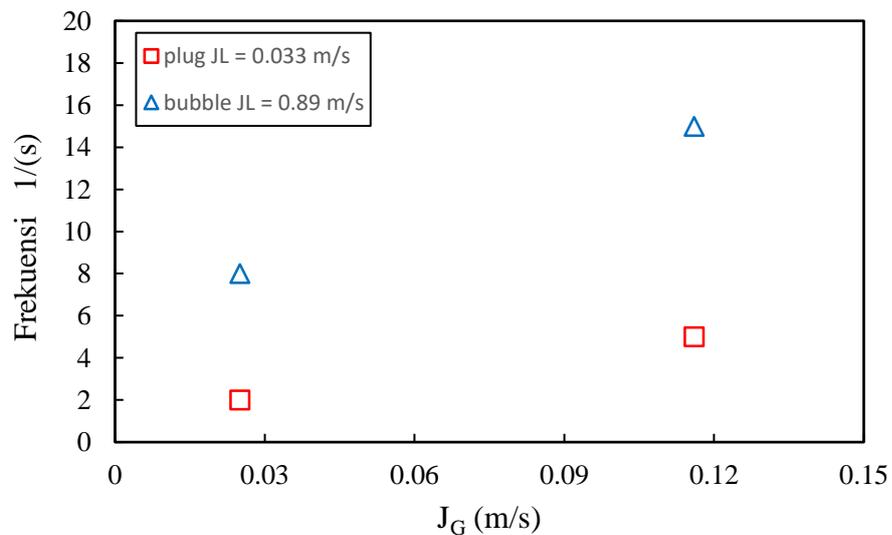
Panjang *plug* dan *bubbly* ditentukan dengan menggunakan metode menghitung manual terhadap *bubbly/plug* yang mengalir selama 1 detik kemudian diambil rata-rata untuk menentukan panjang *bubbly/plug*. Setelah diketahui ($\Delta t = t_2 - t_1$) dan mendapatkan kecepatan yang didapat dari hasil *cross-correlation* (v), dengan begitu di dapatkan nilai dari panjang *bubbly* dan *plug* dengan memperhitungkan ($L = \Delta t \cdot v$). Setelah diketahui kecepatan masing-masing *bubbly/plug*. Perlu untuk diketahui waktu tempuh *bubbly* dan *plug* terhadap jarak tertentu yang ditentukan dengan hitungan manual dengan melihat gambar selama 1 detik. Dari hasil yang didapatkan hanya sedikit Panjang *bubbly* yang memiliki ukuran kurang dari diameter pipa. Hal ini dikarekan pada aliran *bubbly* juga ditemukan aliran *plug* Panjang yang akan mempengaruhi rata-rata *bubbly* dan *plug*.



Gambar 4.64 menunjukkan panjang *bubbly* dan *Plug*

4.5 Frekuensi Kemunculan *Bubbly* dan *Plug*

Bersamaan dengan perubahan nilai J_G dan J_L baik jumlah *bubbly* dan *plug* udara, panjang *plug*, dan kecepatan *plug* ikut berubah, perubahan jumlah *plug* dan *bubbly* yang terbentuk ini menggambarkan karakteristik perubahan aliran. Dengan menghitung frekuensi *plug* dan *bubbly*, dapat diketahui pengaruh perubahan tersebut. Perhitung frekuensi *plug* dan *bubbly* menggunakan metode manual, dari video *slow motion* berdurasi 3 detik dihitung setiap *plug* dan *bubbly* yang terbentuk.



Gambar 4.65 menunjukkan frekuensi *Bubbly* dan *Plug*

Gambar 4.65 menunjukkan frekuensi kemunculan *plug* dan *bubbly* pada masing-masing nilai J_L . dari grafik terlihat bahwa secara umum dengan semakin meningkatnya nilai J_G jumlah *plug* dan *bubbly* yang terbentuk akan semakin meningkat.