

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Fraksi Hampa (*Void Fraction*)

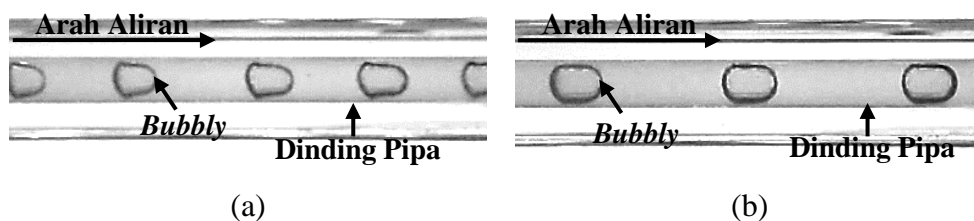
Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan 5 derajat menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang masing-masing campuran mengandung 0%, 10%, 20%, dan 30% gliserin. Dari penelitian tentang pola aliran, aliran yang terdeteksi pada kenaikan persentase gliserin adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular* dan *churn*. Perbedaan yang terjadi diantara beberapa persentase gliserin tadi adalah proses transisi antara pola aliran. Analisa fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (sisi inlet). Hasil *time-average* fraksi hampa kemudian diolah untuk menentukan nilai *Probability Distribution Function* (PDF) sebagai fungsi ϵ [-] (nilai fraksi hampa).

4.1.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

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

4.1.1.1 Persentase dengan Campuran 0% Gliserin

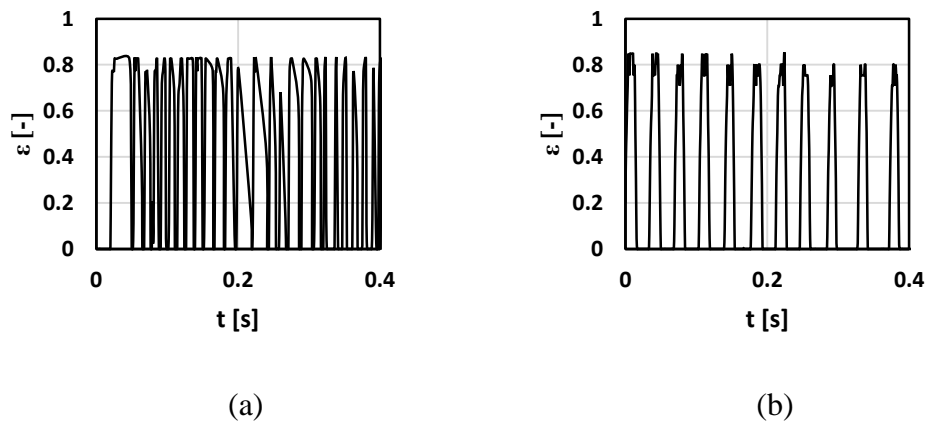
Gambar 4.1 pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung yang melayang diantara dinding pipa. Pola aliran ini biasanya muncul ketika kecepatan superfisial gas (J_G) lebih jauh rendah dibandingkan kecepatan superfisial air (J_L).



(a) (b)

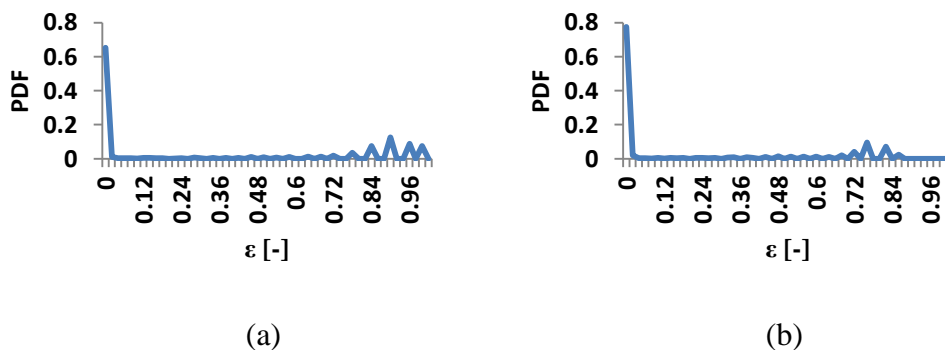
Gambar 4.1. Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Pada variabel ini pola aliran *bubbly* muncul dengan frekuensi yang cukup sedikit dibandingkan persentase 10%, 20%, dan 30%. Gambar 4.1 menunjukkan bentuk pola yang menyerupai lingkaran tetapi tidak sempurna, dimana ukuran diameter *bubbly* lebih kecil daripada diameter ukuran pipa.



Gambar 4.2. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 4.2 menunjukkan grafik fraksi hampa yang naik secara signifikan pada rentang waktu tertentu, hal tersebut disebabkan oleh pola aliran *plug* yang muncul terlebih dahulu sebelum pola aliran *bubbly*. Kemungkinan munculnya *plug* udara dikarenakan gelembung-gelembung yang dapat berkumpul dan bergabung disisi *inlet mixer*.

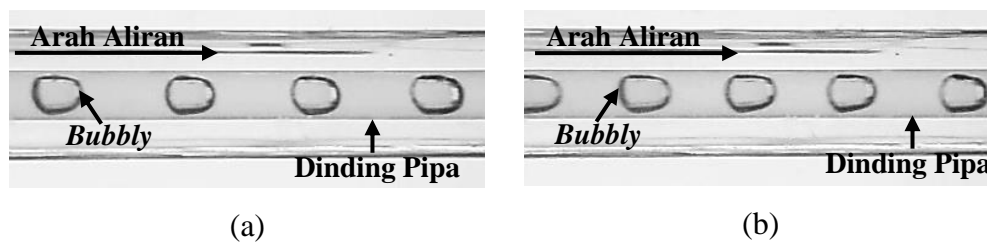


Gambar 4.3. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada pasangan variabel yang ditunjukkan Gambar 4.3 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0 dengan nilai probabilitas 0,65 dan Gambar 4.6 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0 dengan nilai probabilitas 0,78. Pada grafik yang mengalami peningkatan menunjukkan *bubbly* yang muncul pada aliran.

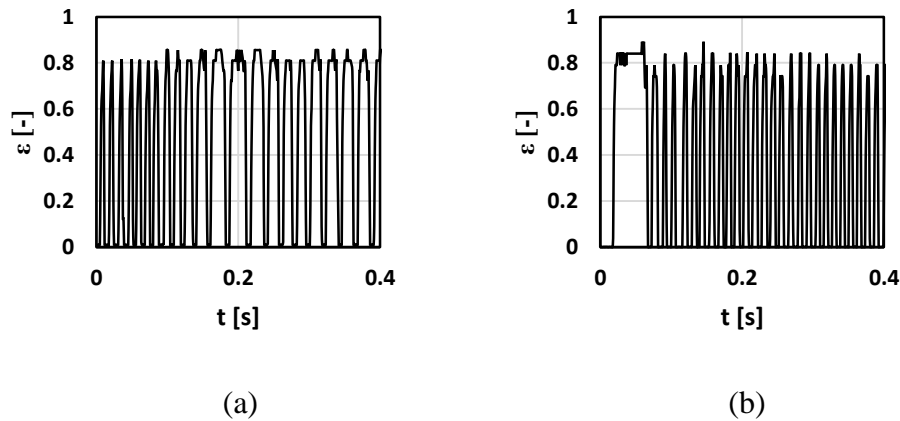
4.1.1.2 Persentase dengan Campuran 10% Gliserin

Pola aliran *bubbly* pada pasangan J_G dan J_L ini muncul dengan frekuensi yang cukup sedikit dibanding *bubbly* pada 3 persentase campuran gliserin dan akuades lainnya. Pola aliran *bubbly* pada fluida udara-campuran gliserin dengan pasangan $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s dan $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s ditunjukkan Gambar 4.4



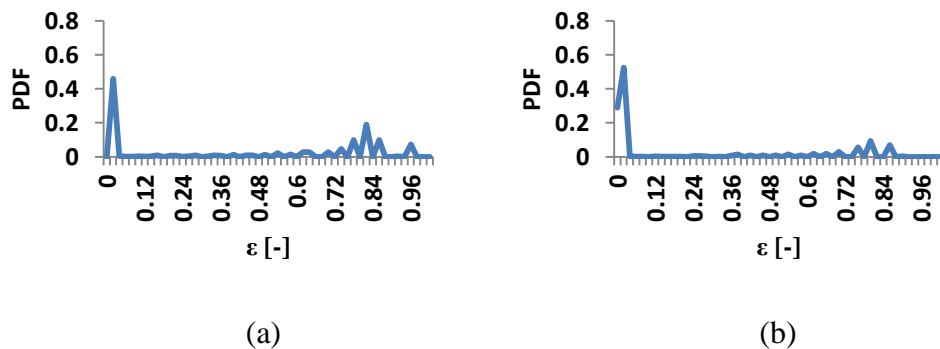
Gambar 4.4. Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 4.4 pola aliran *bubbly* yang hampir berbentuk bulat sempurna dimana aliran *bubbly* tidak sepenuhnya diisi pola aliran *bubbly*. Pola aliran hanya menyebar tidak beraturan diantara dinding pipa mendekati ukuran diameter pipa.



Gambar 4.5. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 4.5 menunjukkan grafik *Time-Average* fraksi hampa cukup teratur pada (J_G) rendah dan ketika (J_G) mengalami kenaikan grafik menjadi sedikit tidak beraturan. Pada grafik fraksi hampa menunjukkan frekuensi pola aliran yang semakin lama semakin sedikit, karena disebabkan dari (J_G) yang semakin membesar akibatnya udara yang masuk semakin banyak.

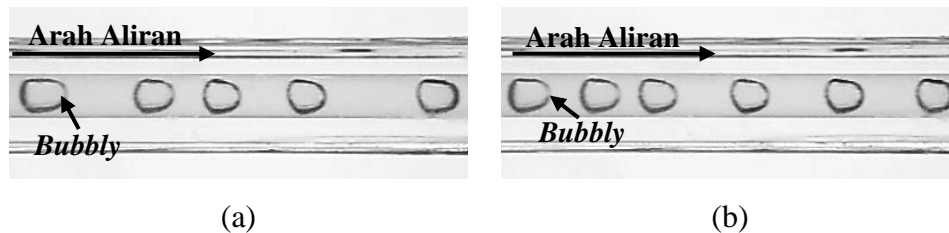


Gambar 4.6. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada pasangan variabel yang ditunjukkan Gambar 4.6 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,46 dan Gambar 4.6 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,52. Pada grafik yang mengalami peningkatan menunjukkan *bubbly* yang muncul pada aliran.

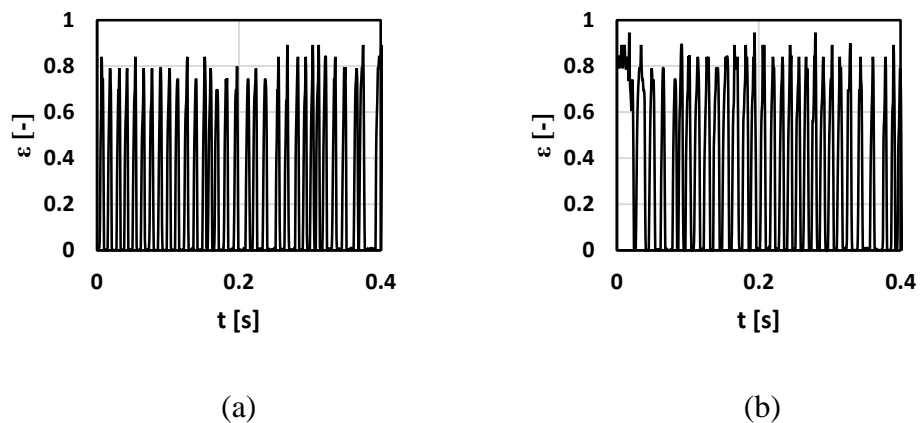
4.1.1.3 Persentase dengan Campuran 20% Gliserin

Pada pola aliran *bubbly* dengan variabel ini mulai muncul frekuensi yang cukup banyak, hal tersebut disebabkan penambahan persentase dari gliserin. Pola aliran *bubbly* pada persentase campuran 20% gliserin dengan $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s dan $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s ditunjukkan Gambar 4.7



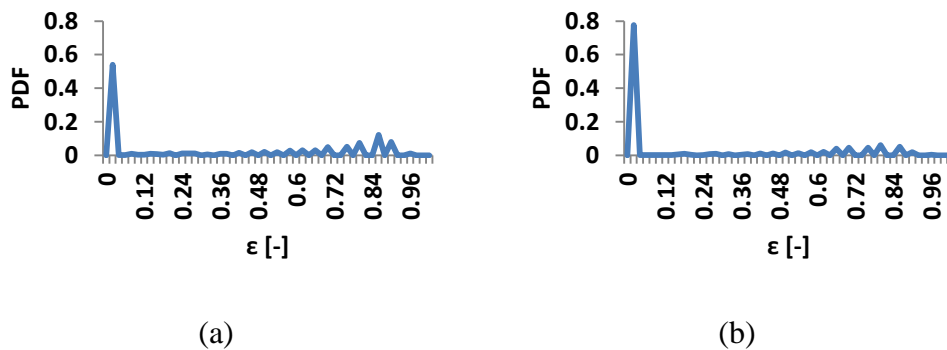
Gambar 4.7. Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 4.7 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang hampir menyerupai bulat sama halnya dengan Gambar 4.1 dan Gambar 4.4 namun dengan frekuensi yang cukup banyak. Semakin meningkatnya (J_G) maka frekuensi kemunculan *bubbly* akan semakin banyak.



Gambar 4.8. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Pola aliran *bubbly* biasanya diawali dengan munculnya pola aliran *plug*. *Plug* disini muncul mengakibatkan naiknya nilai fraksi hampa secara drastis dan signifikan pada rentang waktu tertentu yang bisa ditunjukkan Gambar 4.8. Kemunculan *plug* disini kemungkinan diakibatkan dari mengumpulnya udara didalam *inlet mixer* atau bergabungnya beberapa gelembung (*coalescence*).

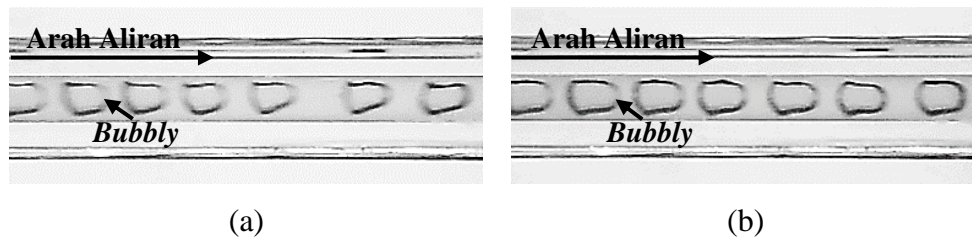


Gambar 4.9. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada pasangan variabel yang ditunjukkan Gambar 4.9 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah sekitar 0,02 dengan nilai probabilitas 0,54 dan Gambar 4.6 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,78. Pada grafik yang mengalami peningkatan menunjukkan pola *bubbly* yang muncul pada aliran.

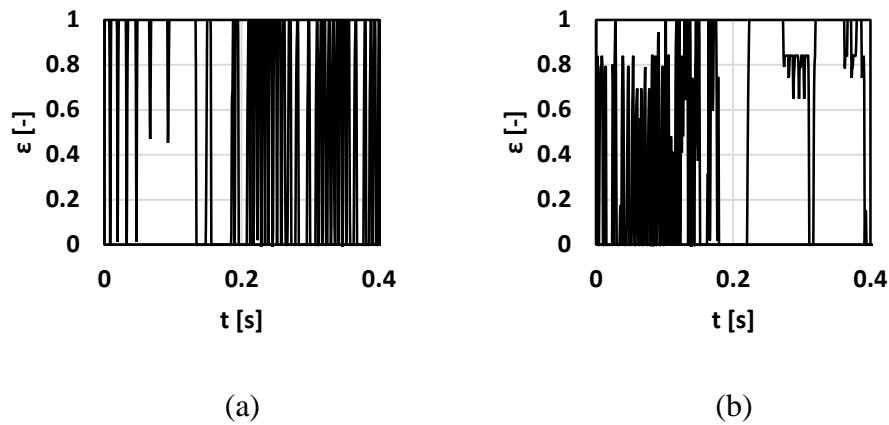
4.1.1.4 Persentase dengan Campuran 30% Gliserin

Gambar 4.10 menunjukkan pola aliran *bubbly* pada persentase campuran 30% gliserin. Pada variabel ini pola *bubbly* menunjukkan frekuensi kemunculan yang lebih banyak dari persentase 0%, 10%, dan 20% gliserin, dikarenakan oleh cairan yang semakin megental yang mengakibatkan udara sulit untuk masuk kedalam sela-sela dari pipa.



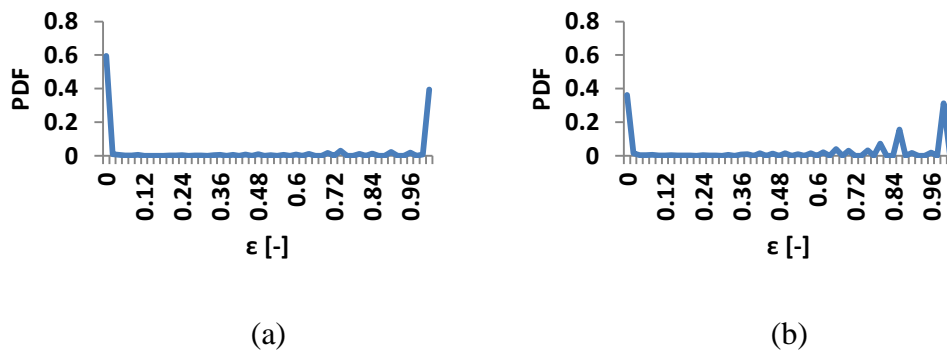
Gambar 4.10. Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 4.10 menunjukkan perbedaan yang terlihat, hal tersebut ditunjukkan dari kenaikan (J_G) yang diberikan mengakibatkan pola *bubbly* akan semakin mendekati bulat sempurna dan akan jauh lebih rapat.



Gambar 4.11. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 4.11 menunjukkan grafik fraksi hampa akan lebih stabil jika (J_G) rendah dan grafik akan tidak teratur jika (J_G) tinggi.



Gambar 4.12. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

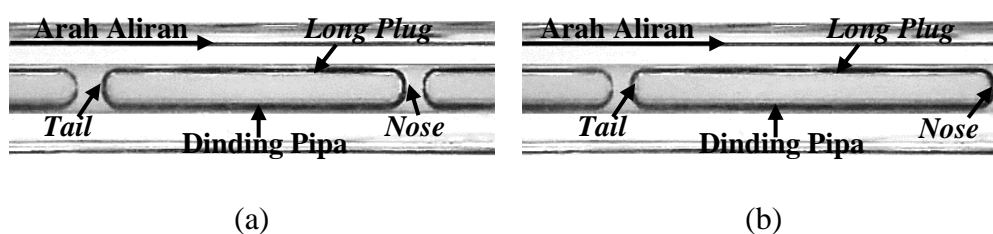
Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada pasangan variabel yang ditunjukkan Gambar 4.12 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0 dengan nilai probabilitas sekitar 0,6 dan Gambar 4.6 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0 dengan nilai probabilitas 0,36 dan 0,98 dengan nilai probabilitas 0,31. Pada grafik yang mengalami peningkatan menunjukkan *bubbly* yang muncul pada aliran.

4.1.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* seringkali ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa ini. Berdasarkan fasenya pola aliran *plug* dibedakan menjadi dua yaitu *plug* udara dan *plug* air. *Plug* adalah pola aliran yang berdasarkan bentuknya dikategorikan sebagai aliran *bubbly* yang memanjang (*elongated bubbly*).

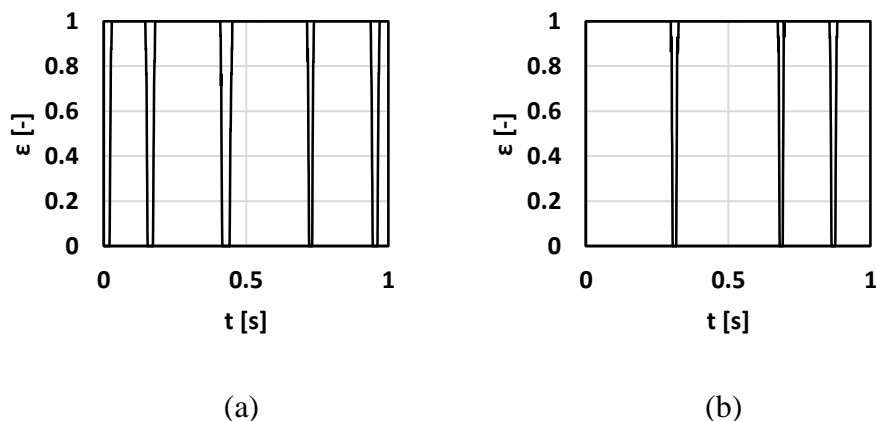
4.1.2.1 Persentase dengan Campuran 0% Gliserin

Gambar 4.13 menunjukkan pola aliran *plug* dengan campuran viskositas 0% gliserin.



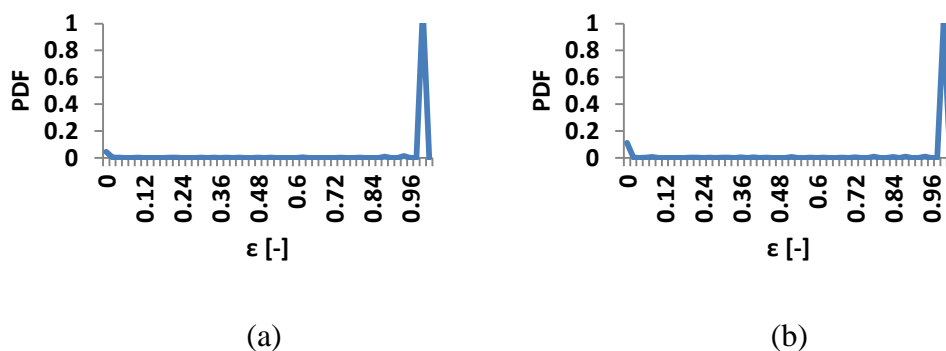
Gambar 4.13. Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.13 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug*. Pola aliran *long plug* biasanya muncul dikarenakan kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial (J_L) berada pada kondisi rendah. *Long plug* bisa didefinisikan sebagai *plug* yang *nose* dan *tail* saling berjauhan.



Gambar 4.14. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,166$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.14 menunjukkan grafik *time-Average* aliran *plug* dengan variabel pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,166$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, nilai fraksi hampa mencapai angka 0,98 pada kondisi atau rentang waktu tertentu. Hal tersebut di karenakan oleh *plug* yang hampir memenuhi diameter dalam pipa sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara.

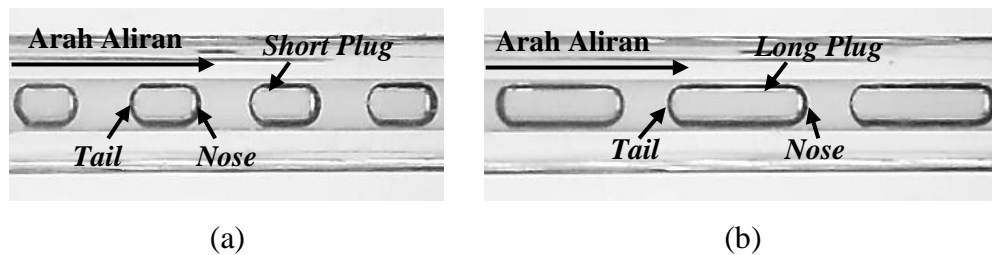


Gambar 4.15. PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.15 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,98 pada $J_G = 0,025$ m/s, dan pada $J_G = 0,116$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,98 dengan probabilitas 0,99.

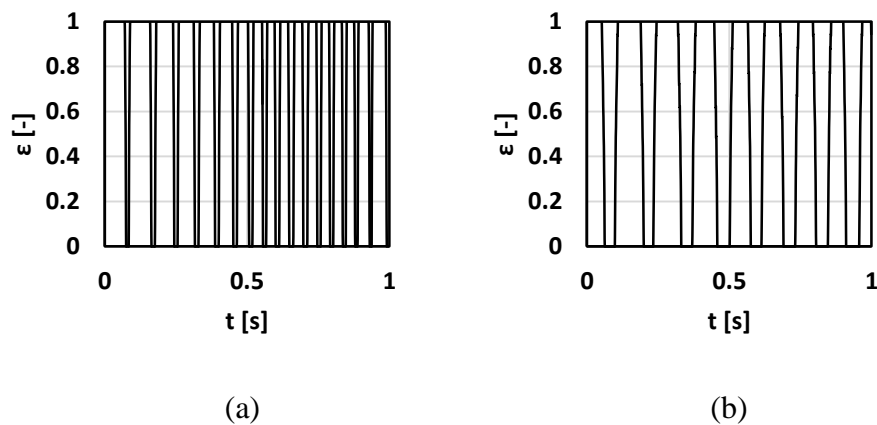
4.1.2.2 Persentase dengan Campuran 10% Gliserin

Fluida variabel pola aliran *plug* pada pasangan J_G dan J_L berikut menunjukkan panjang pola yang cukup merata disetiap alirannya.



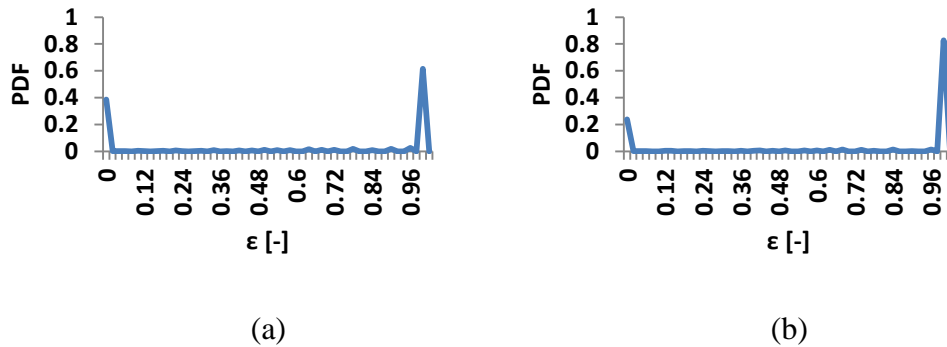
Gambar 4.16. Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa *plug* udara terdiri dari 2 jenis diantaranya adalah *long plug* dan *short plug*. *Long plug* adalah *plug* yang dimana *nose* dan *tail* tidak saling berdekatan, sedangkan *short plug* adalah *plug* yang *nose* dan *tail* tidak saling berjauhan.



Gambar 4.17. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,166$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.17 menjelaskan bahwa nilai fraksi hampa mencapai angka 0,98 pada kondisi atau rentang waktu tertentu. Hal tersebut di karenakan oleh *plug* yang hampir memenuhi diameter dalam pipa sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara.

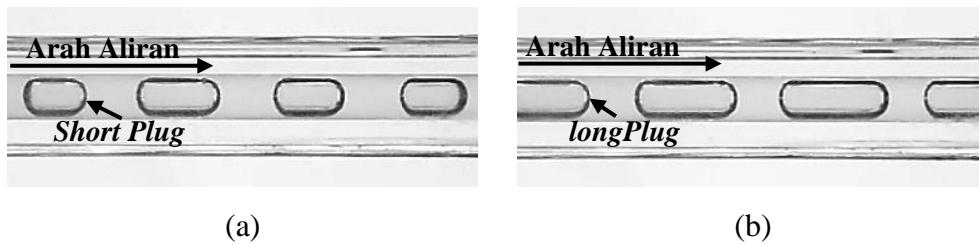


Gambar 4.18. PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.18 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,61 pada $J_G = 0,025$ m/s, dan pada $J_G = 0,116$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,98 dengan probabilitas 0,83.

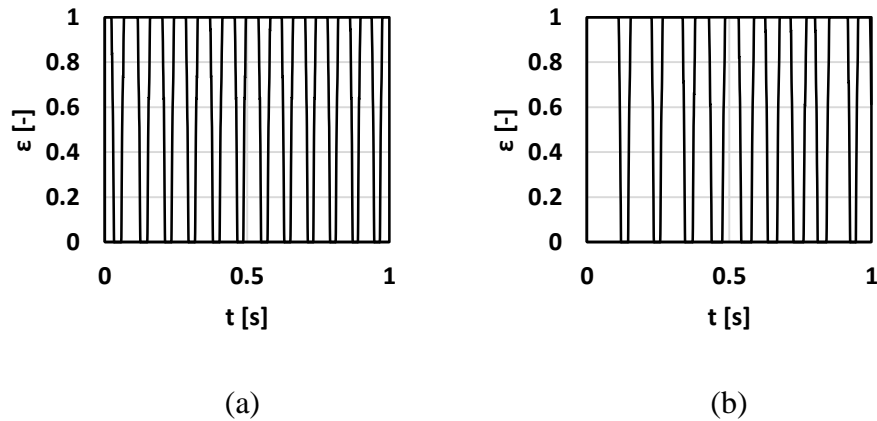
4.1.2.3 Persentase dengan Campuran 20% Gliserin

Fluida variabel pola aliran *plug* pada pasangan J_G dan J_L berikut menunjukkan panjang pola yang merata disetiap alirannya.



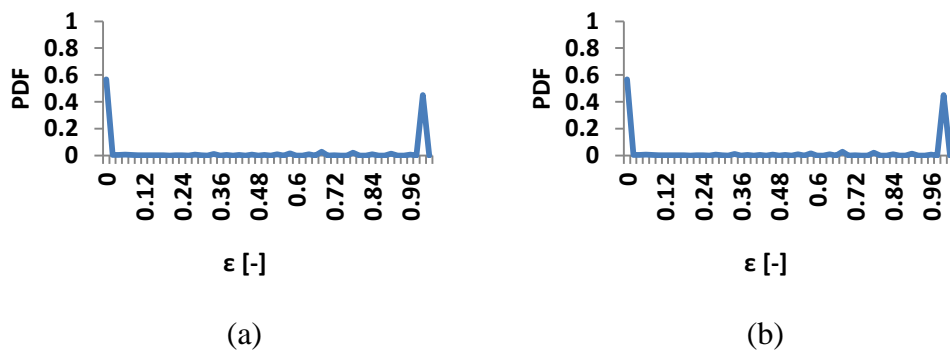
Gambar 4.19. Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.19 menunjukkan pola aliran berjenis *short plug* dan *long plug*. *Plug* untuk persentase 20% gliserin muncul dengan frekuensi lebih banyak dibandingkan *plug* pada persentase 10% gliserin dan dengan ukuran pola *plug* yang lebih pendek.



Gambar 4.20. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,166$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.20 menunjukkan fraksi hampa mencapai nilai 0,98 pada rentang waktu tertentu yang diakibatkan dari pola *plug* udara yang memenuhi dinding pipa sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara.

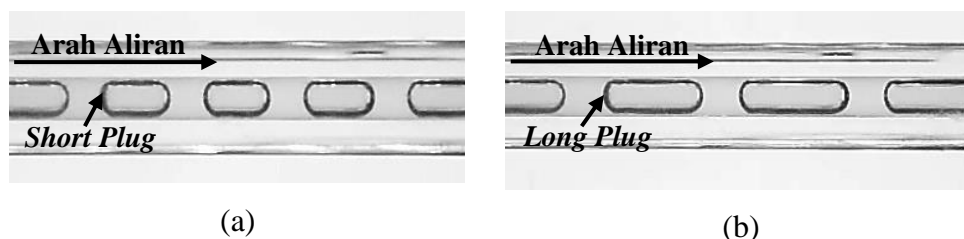


Gambar 4.21. PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.21 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,57 dan 0,98 dengan nilai probabilitas 0,45 pada $J_G = 0,025$ m/s, dan pada $J_G = 0,116$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,57 dan 0,98 dengan probabilitas 0,45.

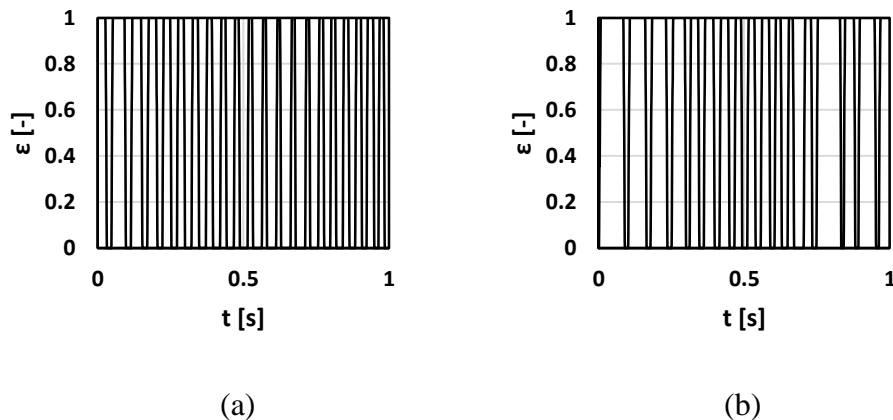
4.1.2.4 Persentase dengan Campuran 30% Gliserin

Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran *plug* dengan campuran viskositas 30% gliserin.



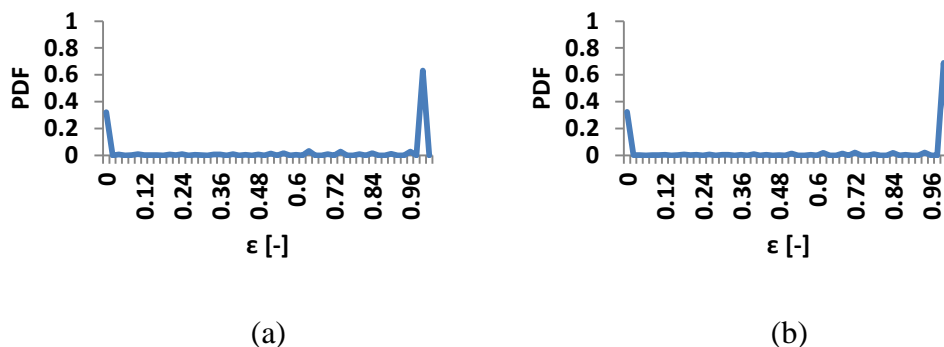
Gambar 4.22. Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.22 menunjuka perbedaan yang cukup menonjol dari kedua pola, hal tersebut disebabkan dari (J_G) yang mengalami kenaikan. Dari kedua pasangan (J_G) dan (J_L) menunjukkan pola aliran *plug* yang terjadi adalah *short plug* dan *long plug*.



Gambar 4.23. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,166$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.23 menunjukkan fraksi hampa mencapai nilai 1 pada rentang waktu tertentu yang diakibatkan dari pola *plug* udara yang memenuhi dinding pipa sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara. Pola aliran *plug* dengan variabel ini muncul lebih banyak dibandingkan persentase 0%, 10%, dan 20% gliserin.



Gambar 4.24. PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

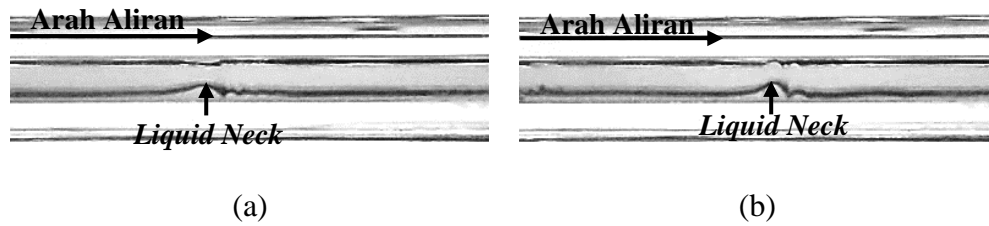
Gambar 4.24 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,63 pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ nilai fraksi hampa yang dominan 0,98 dengan probabilitas 0,69.

4.1.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug-Annular*

Pola aliran *slug-annular* adalah pola transisi antara pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada titik tertentu lebih terdapat lapisan film cairan yang lebih tebal dibanding titik lainnya. Hal tersebut disebabkan karena udara pada saat J_G mengalami kenaikan maka udara akan berusaha untuk menembus jembatan cairan yang memisahkan antara udara pada aliran *plug*, sehingga munculnya lapisan film cairan yang terjadi akan lebih tebal.

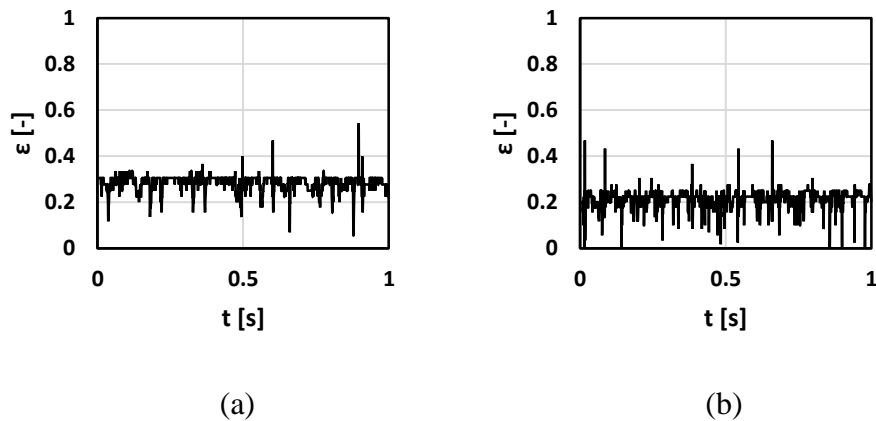
4.1.3.1 Persentase dengan Campuran 0% Gliserin

Gambar 4.25 menunjukkan pola aliran *slug-annular* dengan campuran viskositas 0 % gliserin.



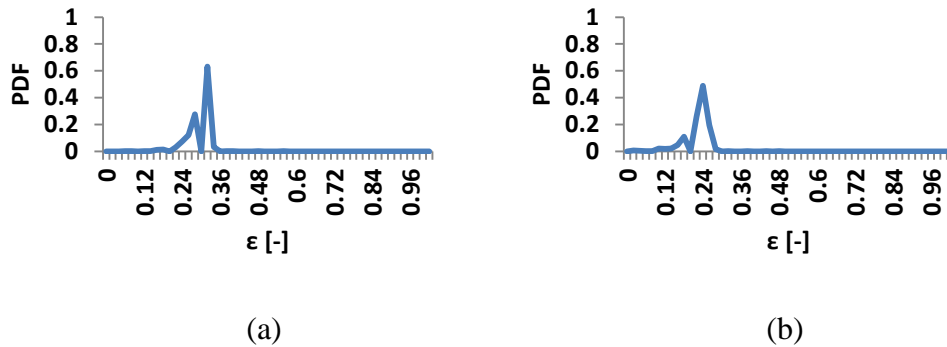
Gambar 4.25. Pola Aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.25 menunjukkan bahwa terjadi sejenis *liquid neck* yang disebabkan oleh udara dapat menembus pada jembatan cairan pola aliran *plug*. Sehingga pada satu titik J_G tertentu dua buah kantong udara akan menjadi satu kesatuan.



Gambar 4.26. *Time-Average* fraksi hampa 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 4.26 menjelaskan nilai fraksi hampa selama 1 detik. Pada saat grafik turun menunjukkan *liquid neck* yang muncul lebih condong ke tengah pipa dan pada saat grafik naik menunjukkan *liquid neck* yang muncul lebih ke arah dalam dinding pipa.

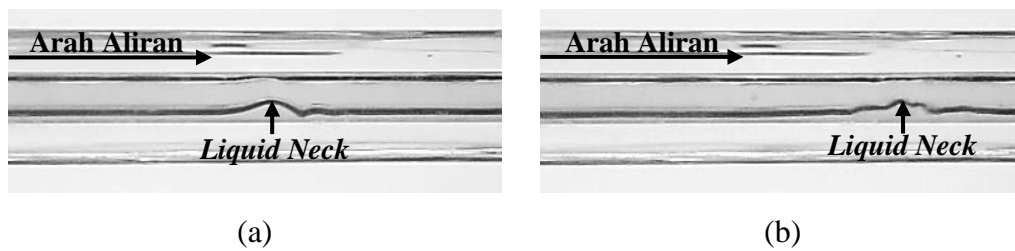


Gambar 4.27. PDF aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.27 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,28 dengan nilai probabilitas 0,27 dan 0,32 dengan nilai probabilitas 0,63 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ nilai fraksi hampa yang dominan 0,24 dengan probabilitas 0,49.

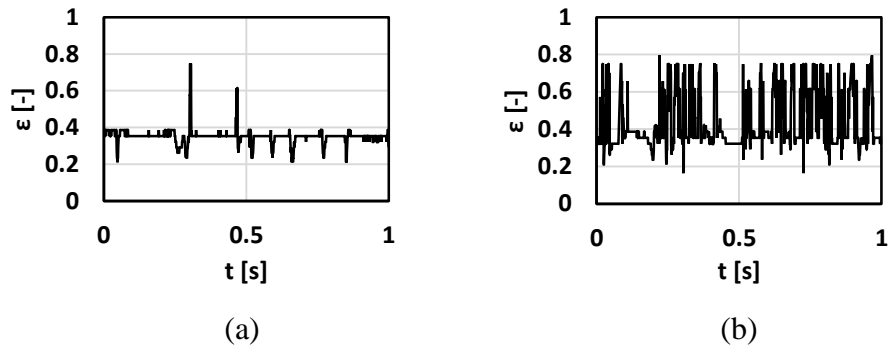
4.1.3.2 Persentase dengan Campuran 10% Gliserin

Gambar 4.28 menunjukkan pola aliran *slug-annular* dengan campuran viskositas 10 % gliserin.



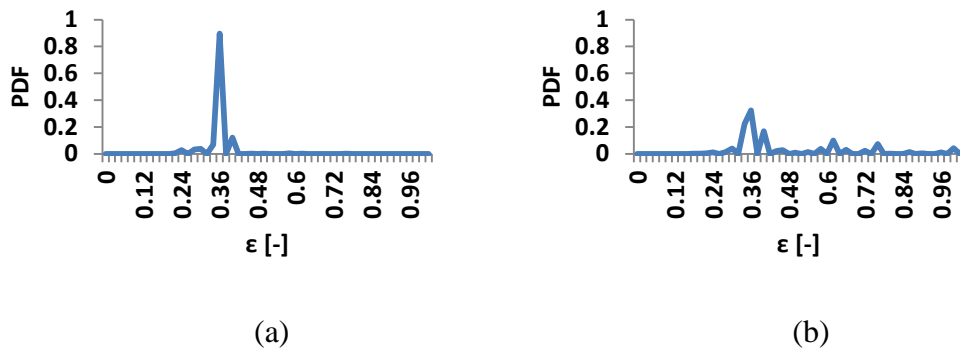
Gambar 4.28. Pola Aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.28 menunjukkan pola aliran *slug-annular* yang hampir sama dengan jenis pola aliran *slug-annular* viskositas 0 % gliserin.



Gambar 4.29. *Time-Average* fraksi hampa 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 4.29 menunjukkan nilai fraksi hampa akan terus menurun dan cukup tidak stabil seiring kenaikan J_G dan J_L pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh *liquid neck* yang terjadi.

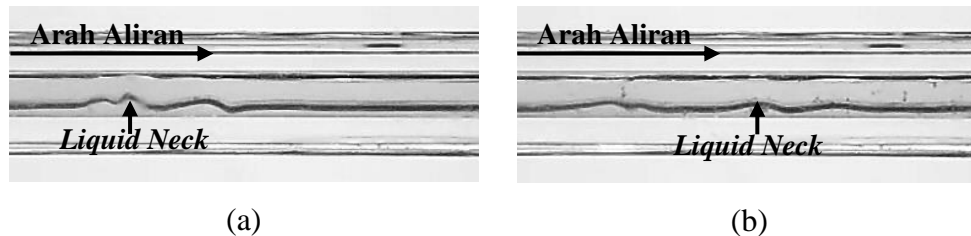


Gambar 4.30. PDF aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.30 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,36 dengan nilai probabilitas 0,89 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ nilai fraksi hampa yang dominan 0,36 dengan probabilitas 0,32 dan 0,4 dengan probabilitas 0,17.

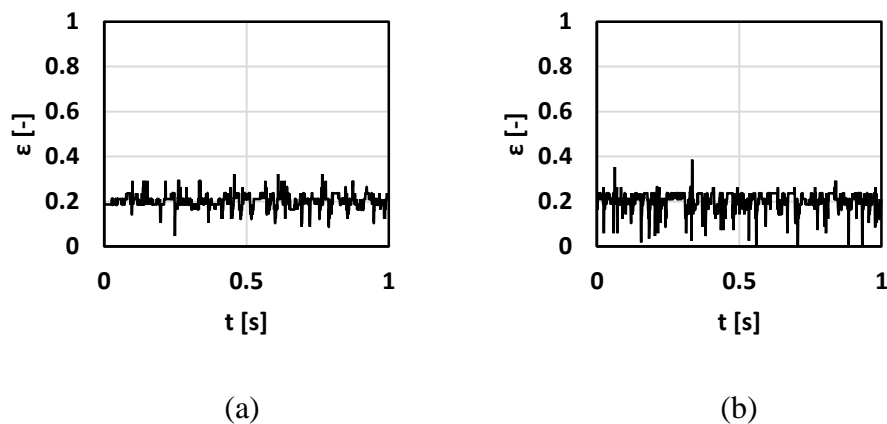
4.1.3.3 Persentase dengan Campuran 20% Gliserin

Pola aliran *slug-annular* pada persentase 20% gliserin dapat ditunjukkan Gambar 4.31.



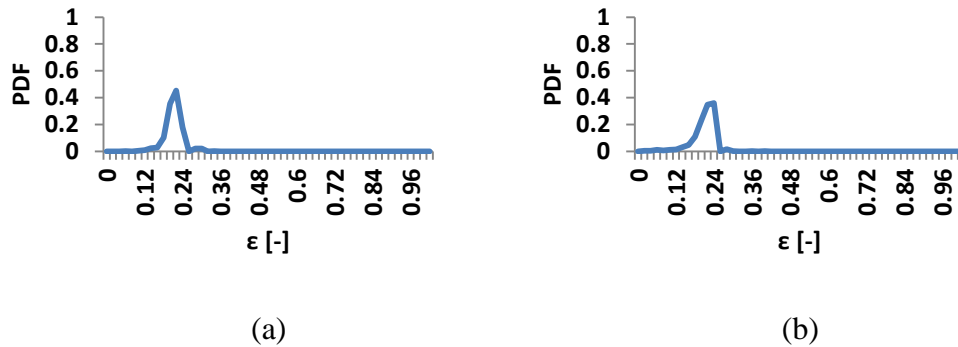
Gambar 4.31. Pola Aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.31 menunjukkan *liquid neck* yang lebih banyak dibandingkan dari Gambar 4.22, hal tersebut disebabkan dari pengaruh persentase gliserin.



Gambar 4.32. *Time-Average* fraksi hampa 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 bahwa grafik akan mengalami penurunan jika terjadi *liquid neck* dan jika terjadi pola aliran konstan grafik akan stabil.

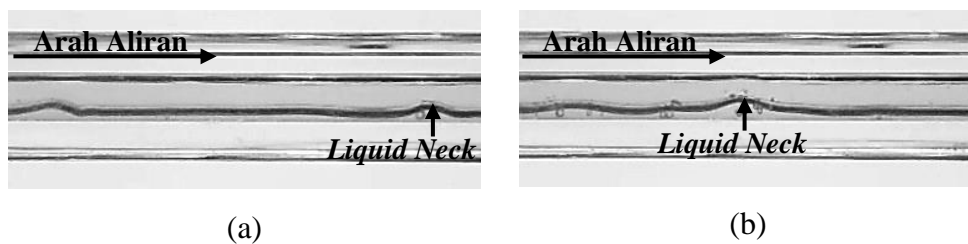


Gambar 4.33. PDF aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.33 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu sekitar 0,22 dengan nilai probabilitas 0,45 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ nilai fraksi hampa yang dominan 0,24 dengan probabilitas 0,36.

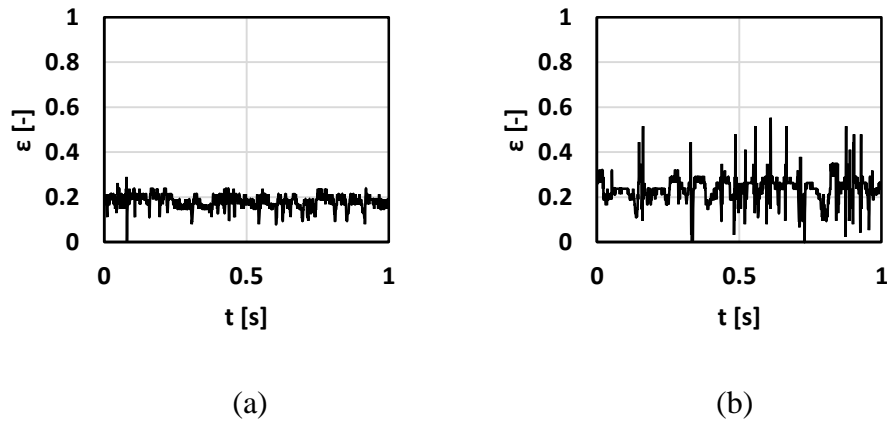
4.1.3.4 Persentase dengan Campuran 30% Gliserin

Pola aliran *slug-annular* pada persentase 20% gliserin dapat ditunjukkan Gambar 4.34.



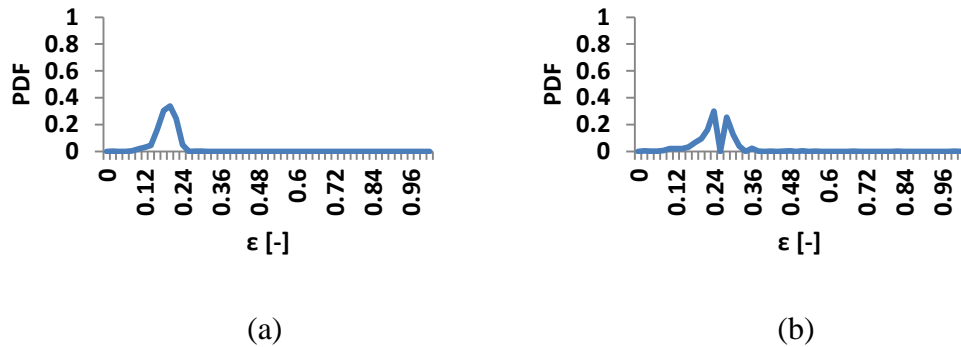
Gambar 4.34. Pola Aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.34 menunjukkan pola aliran *slug-annular* variabel ini memiliki *liquid neck* yang lebih sedikit dibandingkan 3 variabel lainnya, hal tersebut disebabkan oleh viskositas cairan yang meningkat menyebabkan film cairan akan lebih sulit untuk membentuk *liquid neck*.



Gambar 4.35. *Time-Average* fraksi hampa 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 grafik akan mengalami *liquid neck* apabila fraksi hampa menurun dan pada saat grafik stabil pola tidak terjadi *liquid neck*.



Gambar 4.36. PDF aliran *slug-annular* 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

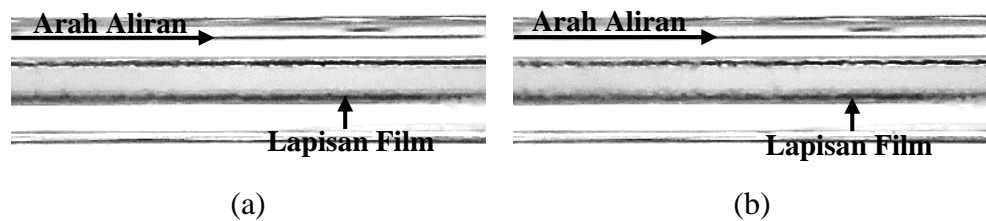
Gambar 4.36 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu sekitar 0,2 dengan nilai probabilitas 0,34 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,24 dengan probabilitas 0,3 dan 0,28 dengan probabilitas sekitar 0,26.

4.1.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

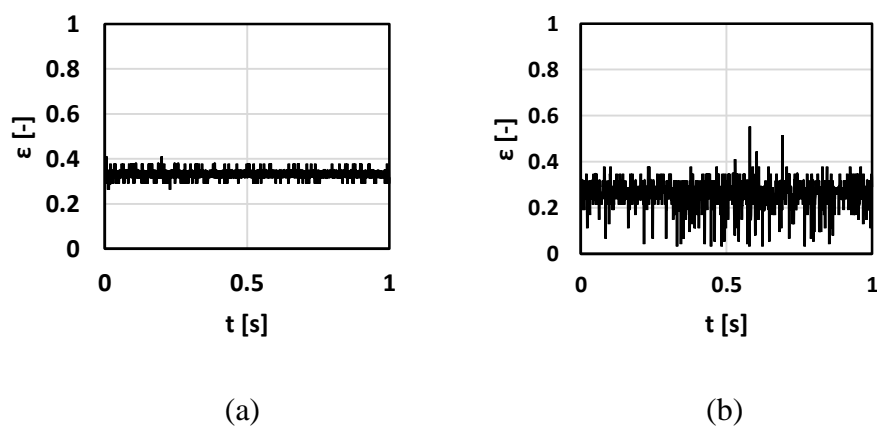
Pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana kecepatan superfisial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang rendah mengakibatkan udara menembus bagian dari tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi secara merata dan simetris pada bagian dinding pipa. Hal ini disebabkan oleh fase gas melewati tengah – tengah fase cair. Pola *annular* bisa juga disebut sebagai kelanjutan dari pola aliran *slug-annular*.

4.1.4.1 Persentase dengan Campuran 0 % Gliserin

Gambar 4.37 menunjukkan pola aliran *annular* dengan campuran viskositas 0 % gliserin.

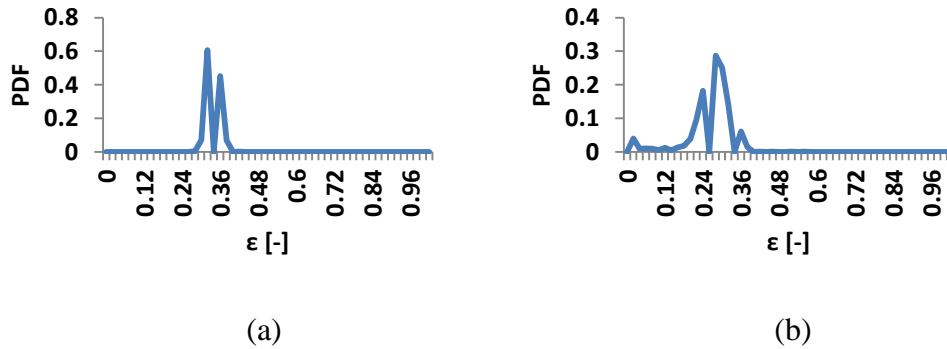


Gambar 4.37. Pola Aliran *annular* pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s



Gambar 4.38. *Time-Average* fraksi hampa 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 (a) menunjukkan grafik fraksi hampa yang cukup teratur dikarenakan kecepatan superfisial (J_L) yang rendah, dan Gambar 4.38 (b) grafik fraksi hampa terlihat cukup tidak stabil disebabkan dari (J_L).

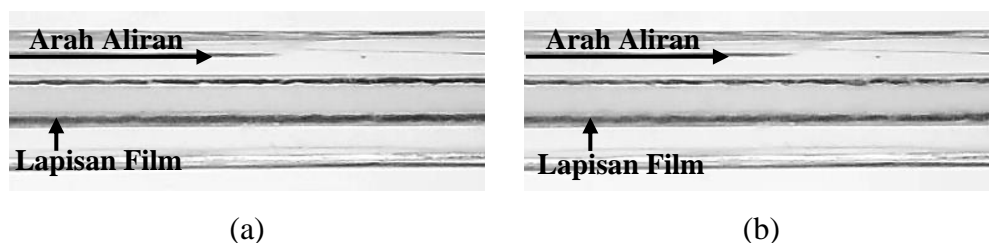


Gambar 4.39. PDF aliran *annular* pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.39 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,32 dengan nilai probabilitas 0,61 dan 0,36 dengan nilai probabilitas 0,45 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,28 dengan nilai probabilitas 0,29.

4.1.4.2 Persentase dengan Campuran 10% Gliserin

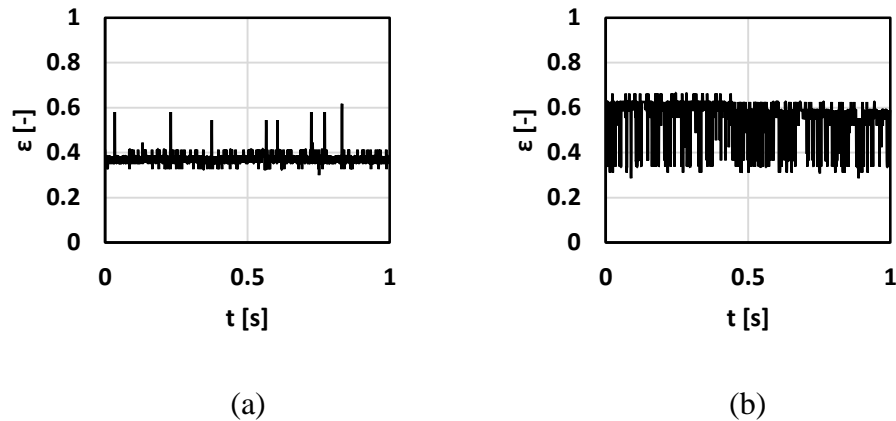
Gambar 4.40 menunjukkan pola aliran *annular* dengan campuran viskositas 10 % gliserin.



Gambar 4.40. Pola 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

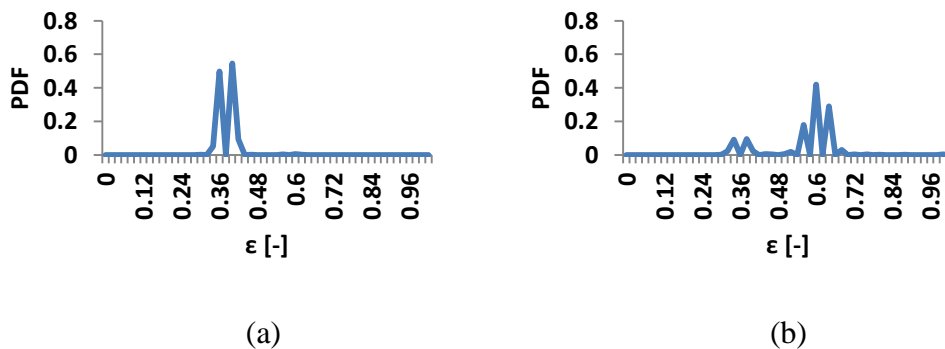
Gambar 4.40 menunjukkan perbedaan antara gambar (a) dan (b) tidak terlalu terlihat, walaupun perbandingan (J_G) dan (J_L) jauh lebih besar. Secara teori lapisan film cairan pola aliran *annular* dengan $J_L = 0,232$ m/s

akan lebih sedikit tipis dibandingkan lapisan film cairan dengan $J_L = 0,033$ m/s. Hal ini dikarenakan dengan J_L yang lebih besar maka laju aliran gas yang akan memasuki pipa mempunyai volume gas pada pipa yang lebih besar.



Gambar 4.41. *Time-Average* fraksi hampa 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 fraksi hampa pada pola aliran ini mengalami penurunan dan kenaikan yang cukup signifikan.

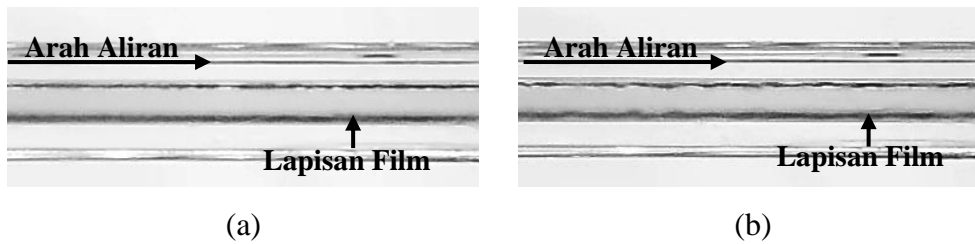


Gambar 4.42. PDF aliran *annular* pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.42 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,36 dengan nilai probabilitas 0,5 dan 0,4 dengan probabilitas 0,54 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,6 dengan nilai probabilitas 0,42 dan 0,64 dengan nilai probabilitas 0,29.

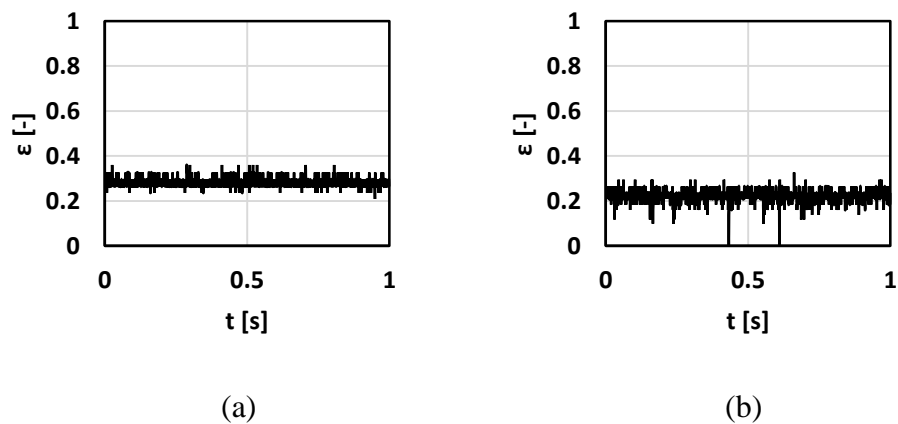
4.1.4.3 Persentase dengan Campuran 20% Gliserin

Pola aliran *annular* pada persentase 20% gliserin dapat ditunjukkan Gambar 4.43.



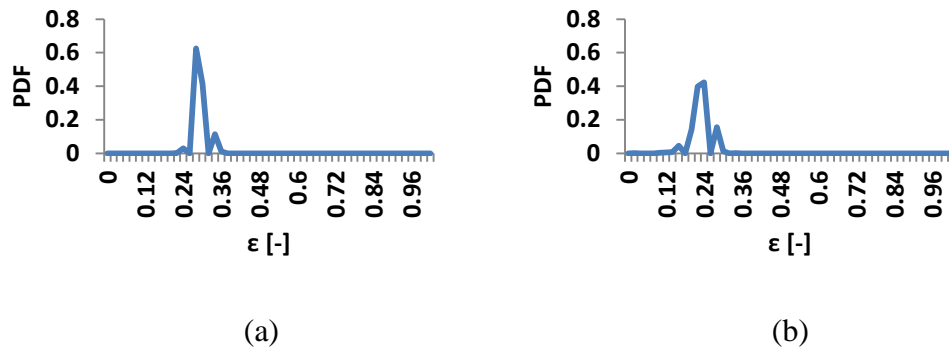
Gambar 4.43. Pola Aliran *annular* pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Pada pola aliran 20% tidak ada perbedaan yang terlalu menonjol dengan pola aliran yang terjadi pada persentase gliserin 0% dan 10%. Hal ini dikarenakan viskositas pada pola aliran annular tidak mempunyai pengaruh yang begitu besar sehingga tidak terlihat perbedaan yang jauh ditunjukkan Gambar 4.43.



Gambar 4.44. *Time-Average* fraksi hampa 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 sedikit penurunan pada grafik fraksi hampa tetapi tidak terlalu drastis, dan perubahan pada grafik tidak terlalu signifikan.

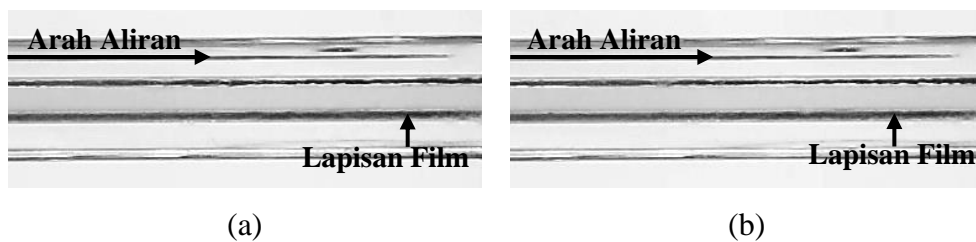


Gambar 4.45. PDF aliran *annular* pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.45 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,28 dengan nilai probabilitas 0,63 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,24 dengan probabilitas 0,42.

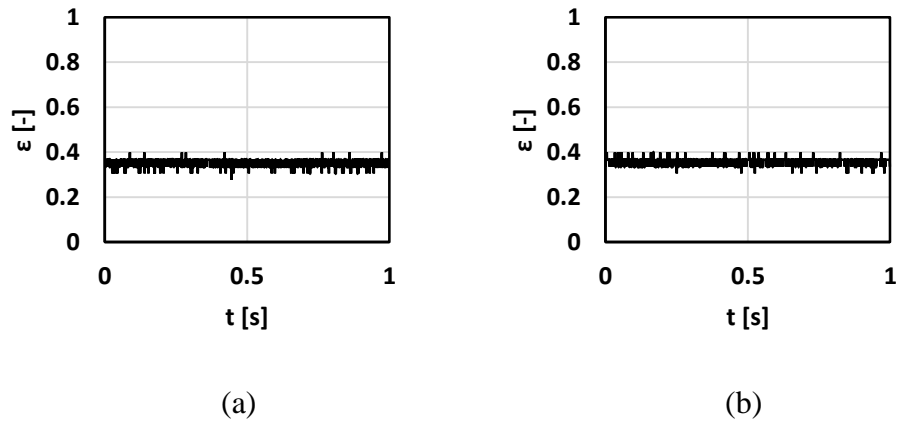
4.1.4.4 Persentase dengan Campuran 30% Gliserin

Pola aliran *annular* pada persentase 30% gliserin dapat ditunjukkan pada Gambar 4.46.



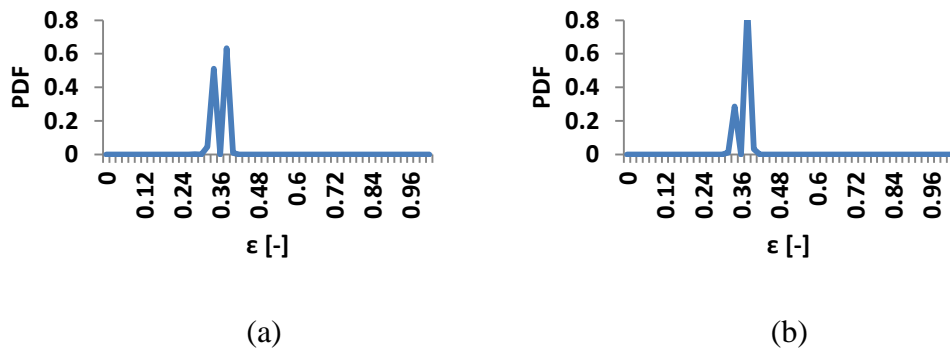
Gambar 4.46. Pola Aliran *annular* pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Pola aliran *annular* Gambar (b) secara teori akan lebih tipis dibandingkan pola *annular* Gambar (a). Hal tersebut dikarenakan (J_G) mengalami kenaikan sehingga udara yang memasuki pipa lebih banyak dan volume udara yang memasuki pipa akan lebih banyak.



Gambar 4.47. *Time-Average* fraksi hampa 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 menunjukkan fraksi hampa pada variabel berikut mengalami penurunan dan kenaikan tetapi tidak terlalu 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

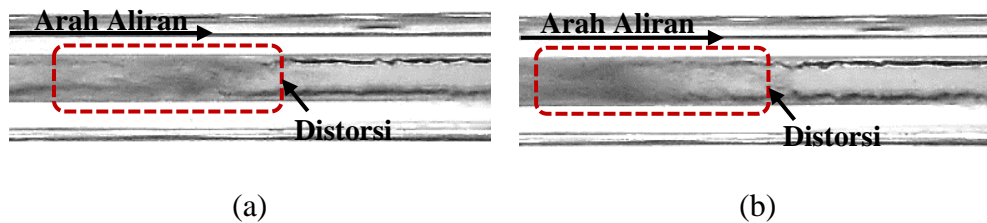
Gambar 4.48 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,38 dengan nilai probabilitas 0,63 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,38 dengan probabilitas sekitar 0,87.

4.1.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

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

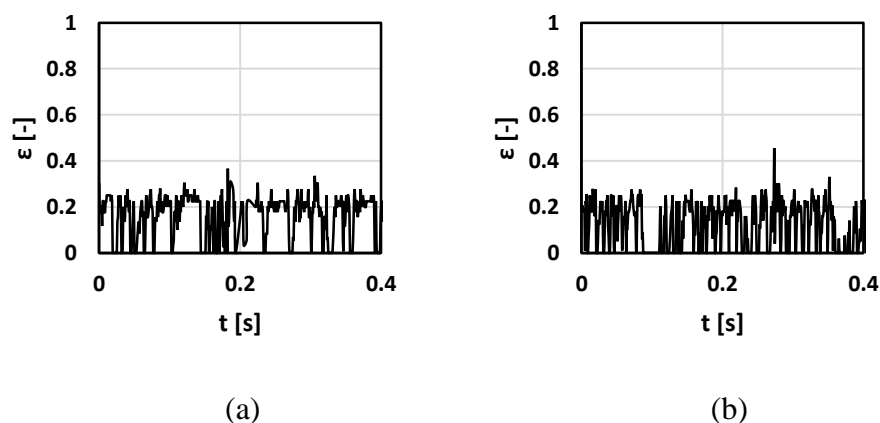
4.1.5.1 Persentase dengan Campuran 0% Gliserin

Gambar 4.49 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran viskositas 0% gliserin.



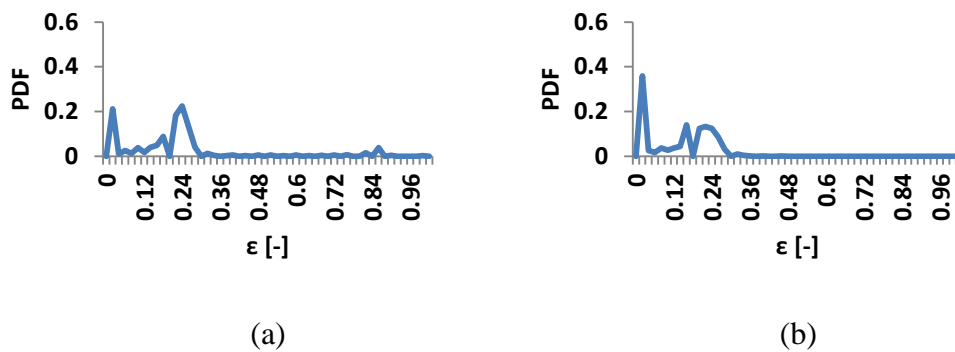
Gambar 4.49 Pola Aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.49 menunjukkan pola yang sangat tidak beraturan pada bagian ekor. Jika (J_G) mengalami kenaikan, hal ini akan berakibat terhadap bentuk distorsi yang terjadi. Pada bagian ekor yang mengalami distorsi ini akan membentuk suatu pola yang dinamakan pola aliran *churn*.



Gambar 4.50. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.50 menunjukkan grafik fraksi hampa yang sangat tidak beraturan. Disaat rentang waktu tertentu dimana grafik mengalami kenaikan tersebut terjadi distorsi dan pada rentang waktu yang menunjukkan nilai fraksi hampa hampir mendekati nilai 0 tersebut tidak terjadi distorsi.

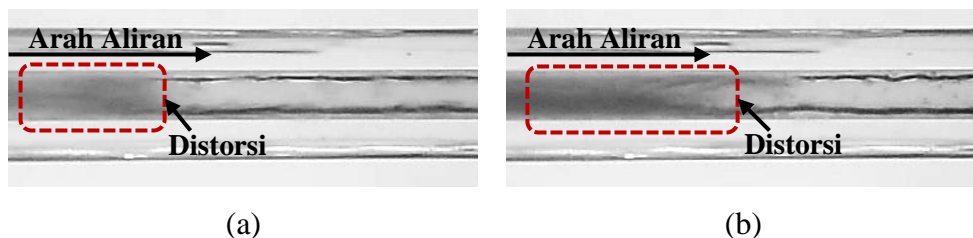


Gambar 4.51. PDF aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.51 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,21 dan 0,24 dengan nilai probabilitas 0,22 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,23 dengan nilai probabilitas 0,36.

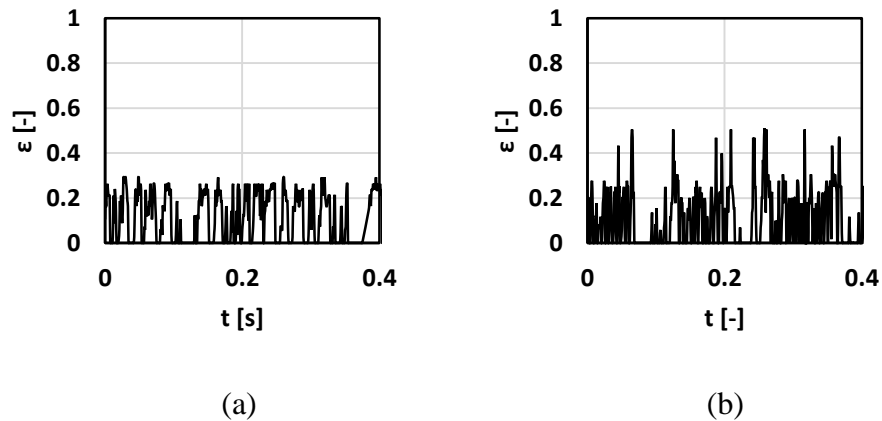
4.1.5.2 Persentase dengan Campuran 10% Gliserin

Gambar 4.52 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran viskositas 10 % gliserin.



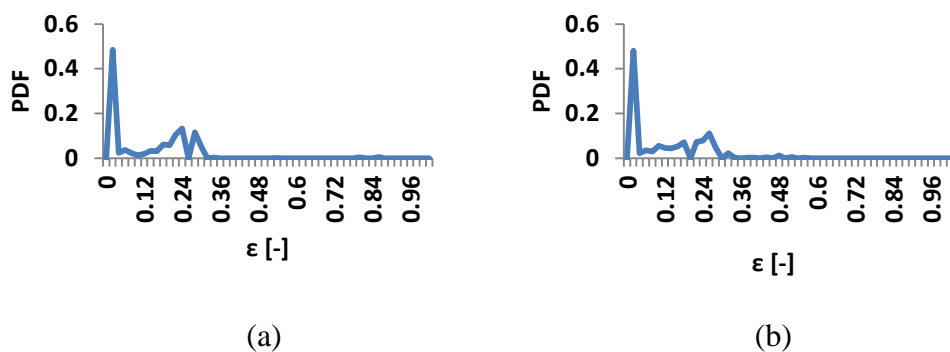
Gambar 4.52. Pola Aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.52 menunjukkan ketidakstabilan aliran yang terdapat pada bagian ekor. Akibat dari bentuk pola pada bagian ekor yang terdistorsi tersebut mengakibatkan terbentuknya pola aliran *churn*. Kenaikan (J_G) pada pola aliran *churn* dapat mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi. Pengaruh dari kenaikan (J_G) terhadap pola yang dihasilkan tidak nampak begitu jelas.



Gambar 4.53. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.53 menunjukkan fraksi hampa pada pola aliran *churn*. Kenaikan (J_G) mempengaruhi besarnya distorsi, Gambar (a) distorsi yang muncul masih kecil, dan Gambar (b) distorsi yang muncul cukup besar. Pada rentang waktu tertentu fraksi hampa menurun drastis sampai mendekati nilai 0 yang menunjukkan bahwa tidak adanya distorsi.

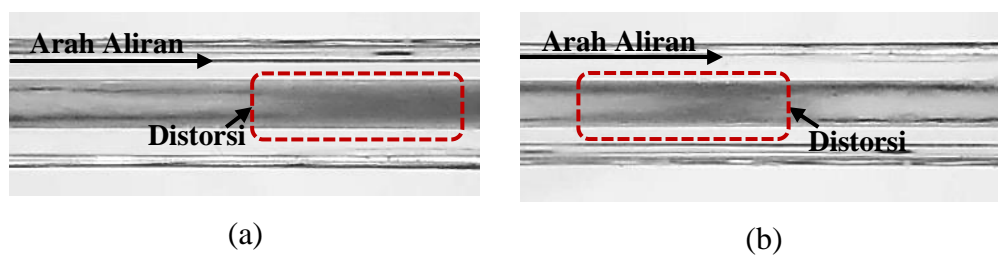


Gambar 4.54. PDF aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.54 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,49 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,48.

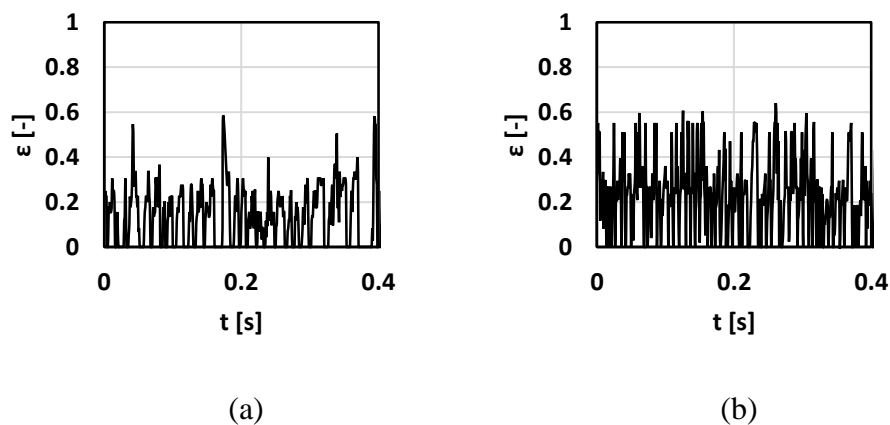
4.1.5.3 Persentase dengan Campuran 20% Gliserin

Gambar 4.55 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran viskositas 20% gliserin.



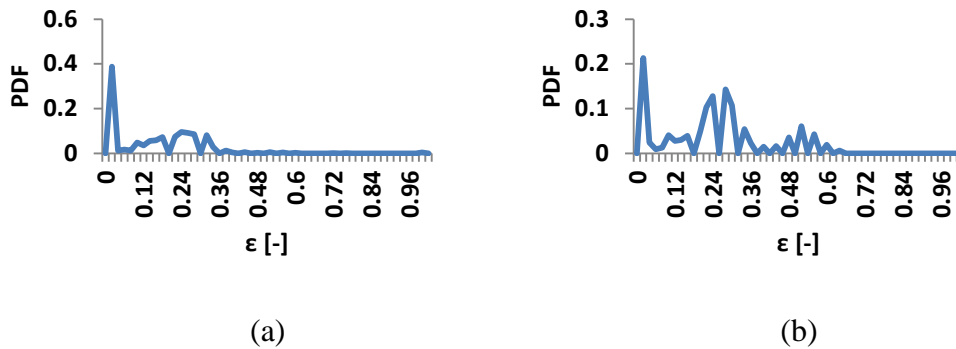
Gambar 4.55. Pola Aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.55 menunjukkan pola aliran *churn* tidak jauh berbeda dengan pola aliran *churn* dengan persentase 0% dan 10% gliserin.



Gambar 4.56. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.56 menunjukkan grafik fraksi hampa yang cukup tidak beraturan, hal ini dikarenakan oleh bagian aliran yang stabil dan terdistorsi.

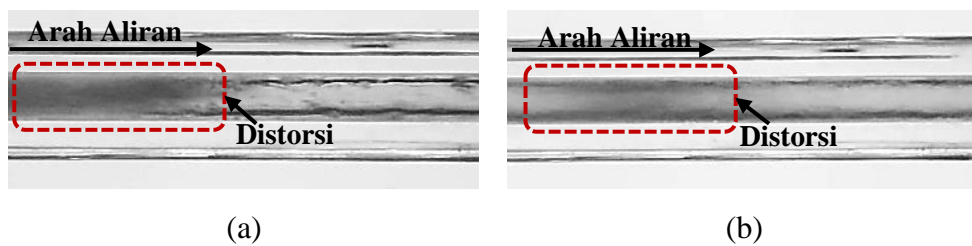


Gambar 4.57. PDF aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.57 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,39 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,21.

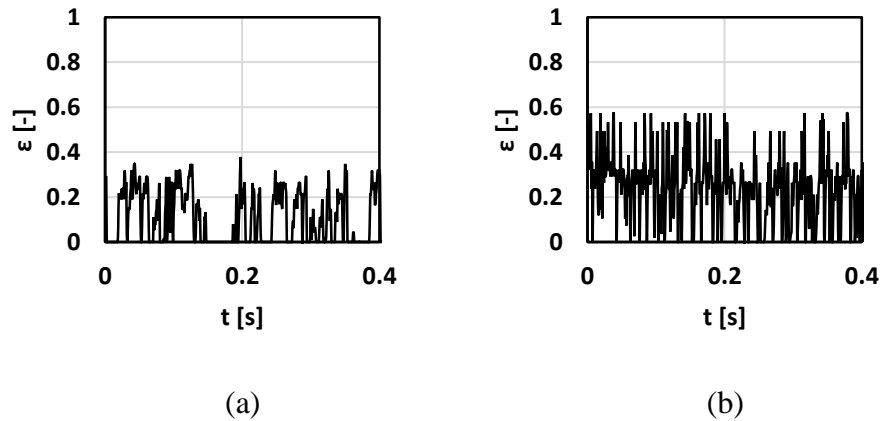
4.1.5.4 Persentase dengan Campuran 30% Gliserin

Gambar 4.58 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran persentase 30 % gliserin.



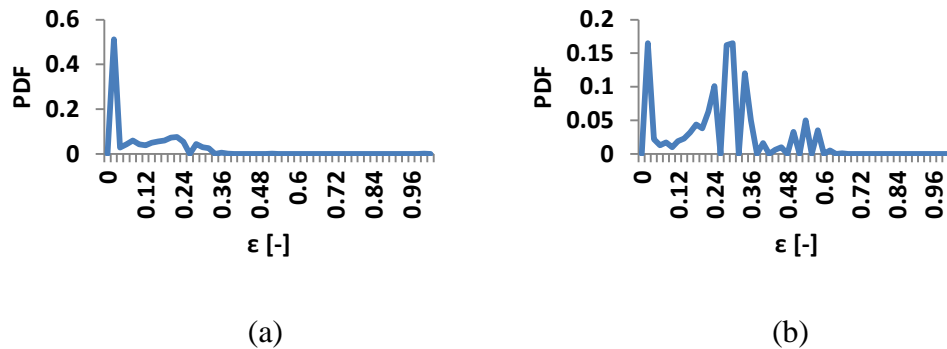
Gambar 4.58. Pola Aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.48 menunjukkan pola aliran *churn* mengalami distorsi diakibatkan oleh viskositas yang kental, sehingga udara akan semakin sulit masuk pada pipa yang mengakibatkan distorsi yang lebih pekat.



Gambar 4.59. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.59 menunjukkan grafik fraksi hampa yang masih fluktuatif, sama halnya dengan grafik dengan persentase 0%,10%, dan 20%. Perbedaan grafik fraksi hampa dengan persentase lain dengan lebih banyaknya bagian yang terdistorsi, disebabkan viskositas yang semakin kental.



Gambar 4.60. PDF aliran *churn* pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

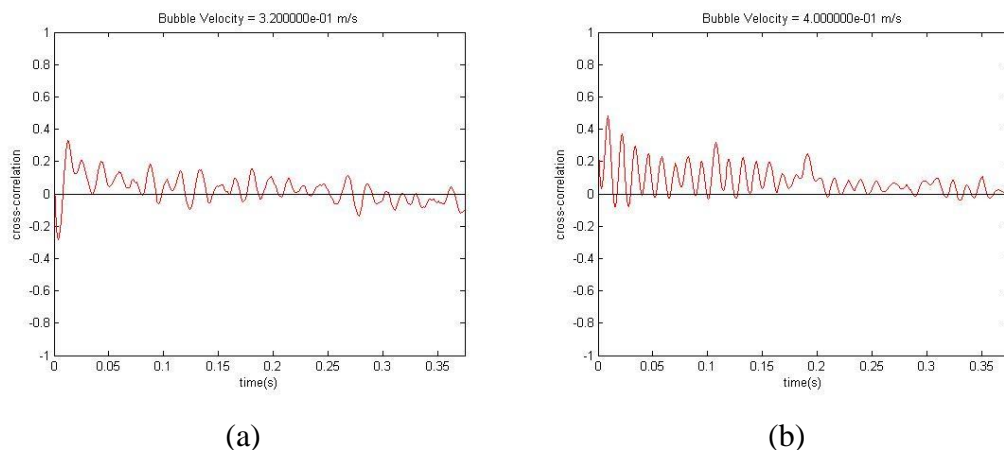
Gambar 4.60 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,51 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 0,02 dengan probabilitas 0,17 dan 0,23 dengan nilai probabilitas 0,17.

4.2 Kecepatan dan *Cross-Correlation* Aliran *Bubbly* dan *Plug*

4.2.1 *Cross-Correlation* Aliran *Bubbly* dan *Plug*

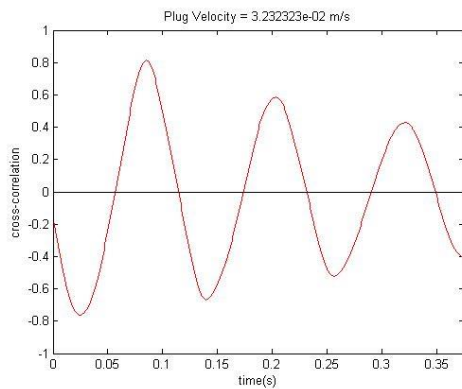
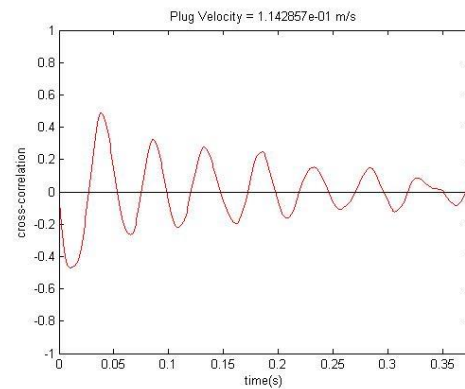
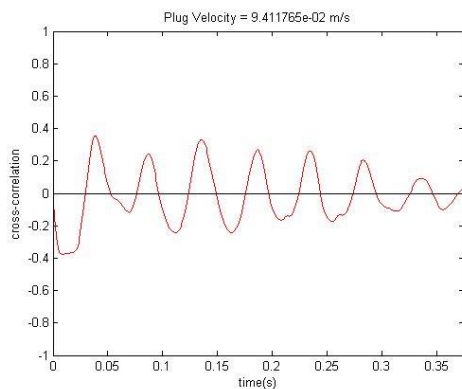
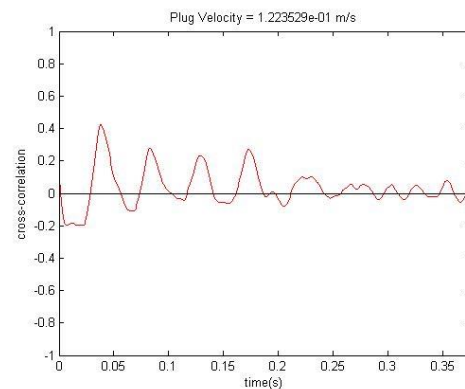
Kecepatan dari *bubbly* dan *plug* dapat dicari dengan menentukan rentang waktu dimana pergerakan antara *bubbly* dan *plug* berada pada suatu titik bertemunya referensi ke titik referensi lainnya. Hasil yang di peroleh dapat dijadikan acuan untuk menentukan kecepatan pola *bubbly* dan *plug*. Gambar 4.61 menunjukkan nilai *cross-correlation bubbly* sedangkan Gambar 4.62 menunjukkan nilai *cross-correlation plug*.

Gambar 4.61 dan 4.62 menunjukkan grafik yang fluktuatif dimana terdapat nilai dari *cross-correlation* pada jeda waktu yang dihasilkan. Puncak tertinggi menjelaskan tentang jeda waktu dari hasil *cross-correlation*. Setelah itu nilai dari kecepatan *bubbly* dan *plug* dihitung dari selisih jarak antara kedua referensi yang digunakan dibagi dengan jeda waktu yang dihasilkan oleh grafik *cross-correlation*.



Gambar 4.61. *Cross-correlation bubbly* pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s, dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

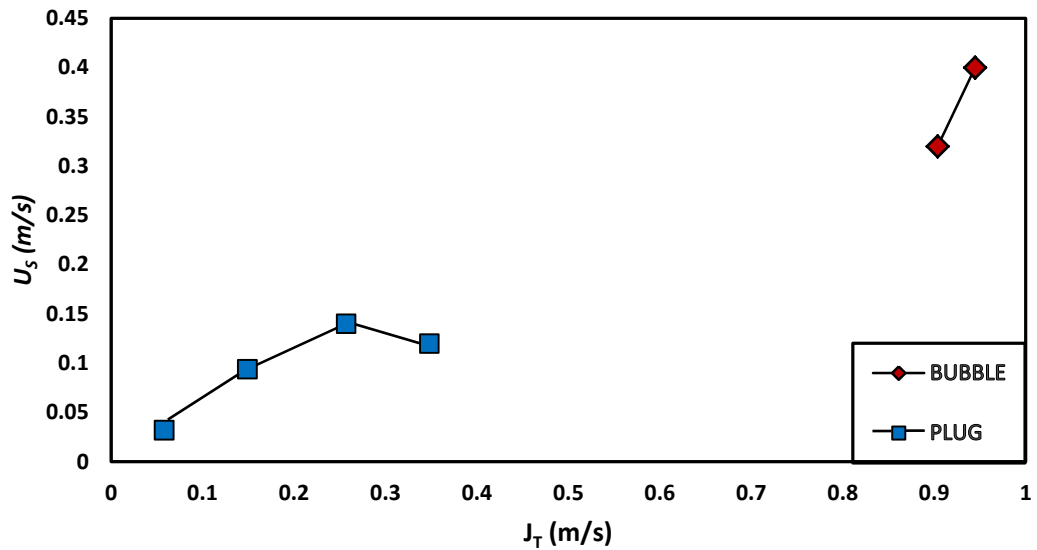
Gambar 4.61 menunjukkan grafik dari *Cross-correlation bubbly* akan semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (J_G) dengan nilai variabel kecepatan superfisial cair (J_L) yang sama, hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar (a) nilai dari *bubbly velocity* = 0,32 m/s, sedangkan Gambar (b) nilai dari *bubbly velocity* = 0,4 m/s.

(a) Kecepatan *plug* pada
 $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,033 \text{ m/s}$
(b) Kecepatan *plug* pada
 $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,232 \text{ m/s}$
(c) Kecepatan *plug* pada
 $J_G = 0,116 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,033 \text{ m/s}$
(d) Kecepatan *plug* pada
 $J_G = 0,116 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,232 \text{ m/s}$
Gambar 4.62. *Cross-correlation plug*

Gambar 4.62 menunjukkan jika viskositas mengalami kenaikan maka kecepatan *plug* akan menurun. Hal tersebut dikarenakan dari udara yang semakin susah untuk masuk kedalam aliran pipa campuran gliserin dan akuades dengan viskositas yang dinaikan seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (J_G).

4.2.2 Kecepatan *Bubbly* dan *Plug*

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

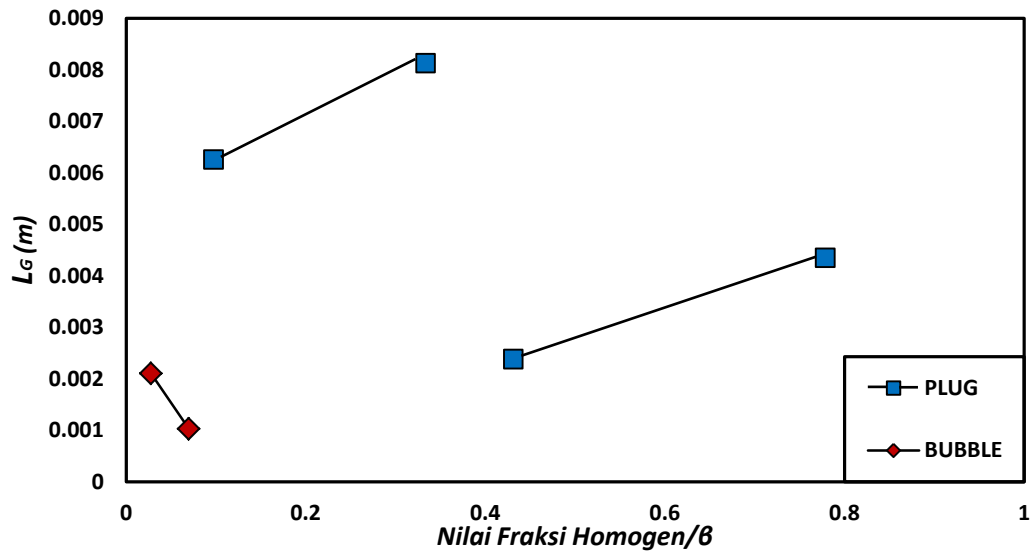


Gambar 4.63. Kecepatan *bubbly* dan *plug*

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

4.3 Panjang *Bubbly* dan *Plug*

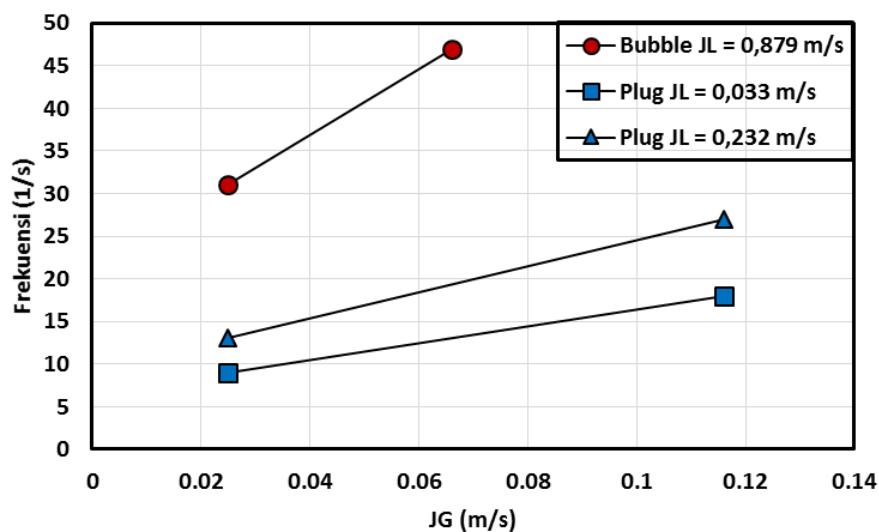
Gambar 4.64 menunjukkan grafik panjang *bubbly* dan *plug* yang diperoleh dengan hitung manual selama 1 detik dan diambil rata – rata untuk mendapatkan nilai panjang *bubbly* dan *plug*. Setelah diketahui ($\Delta t = t_2 - t_1$) dan mendapatkan kecepatan yang didapat dari hasil *cross-correlation* (v), dengan begitu di dapatkan nilai dari panjang *bubbly* dan *plug* dengan memperhitungkan ($L = \Delta t.v$). Berdasarkan Gambar 4.64 dapat diketahui jika semakin tinggi nilai homogen (β) maka panjang *bubbly* dan *plug* mengalami peningkatan. Dari hasil penelitian yang didapat bahwa *bubbly* yang dihasilkan memiliki ukuran yang kurang dari diameter pipa dan biasanya diawali dengan munculnya *long plug* dengan diiringi *short plug* yang dapat mempengaruhi rata – rata panjang *bubbly* dan *plug*.



Gambar 4.64. Panjang *bubbly* dan *plug*

4.4 Frekuensi *Bubbly* dan *Plug*

Gambar 4.65 menunjukkan grafik panjang *bubbly* dan *plug* yang didapatkan dengan metode hitung manual. Semakin tinggi nilai (J_G) dan (J_L) maka kemunculan frekuensi yang diperoleh akan semakin banyak muncul. Peningkatan frekuensi *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh kecepatan superfisial cairan (J_L). Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai (J_L) semakin banyak juga frekuensi pola *bubbly* dan *plug* yang muncul.



Gambar 4.65. Frekuensi *bubbly* dan *plug*