

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Fraksi Hampa

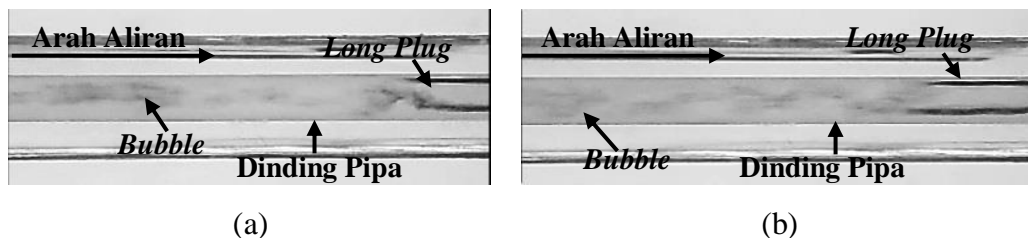
Penelitian yang dilakukan pada pipa mini berukuran 1,6 mm dan kemiringan 30 derajat dengan campuran gliserin dan akuades yang masing-masing campuran mengandung 40%, 50%, 60%, dan 70% gliserin ini menghasilkan 5 pola aliran yaitu *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*. Analisa dilakukan 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 pada Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung udara kecil yang berbentuk menyerupai bola pada pola aliran. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial cairan (J_L) tinggi.

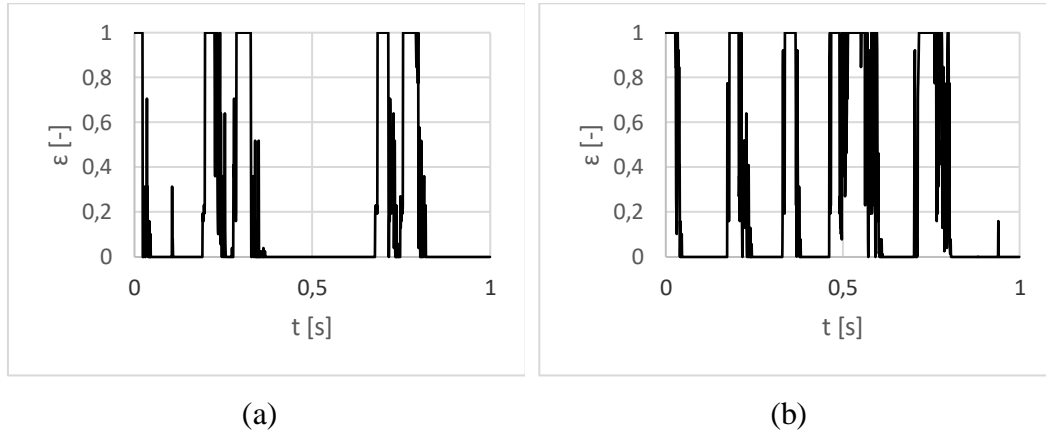
4.1.1.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung udara kecil yang berbentuk menyerupai bola yang mengambang dekat dengan dinding pipa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pola aliran ini muncul saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial air (J_L) sangat tinggi.



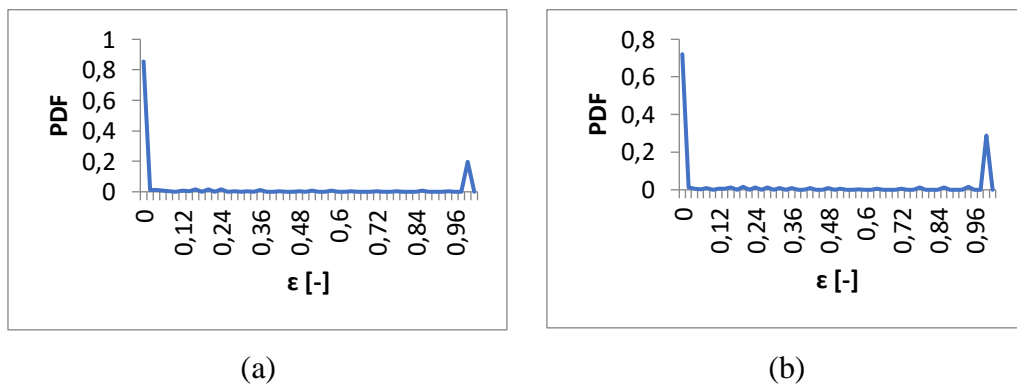
Gambar 4.1. Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

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



Gambar 4.2. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa aliran *bubbly* tidak sepenuhnya terisi dengan *bubbly*, tetapi terdapat juga aliran *plug*. Hal ini dapat dilihat pada grafik yang naik secara signifikan pada rentang waktu rentang waktu tertentu. Munculnya aliran *plug* dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, diantaranya yaitu bergabungnya dua atau lebih gelembung (*coalescence*) atau mengumpulnya udara pada sisi *inlet mixer*.



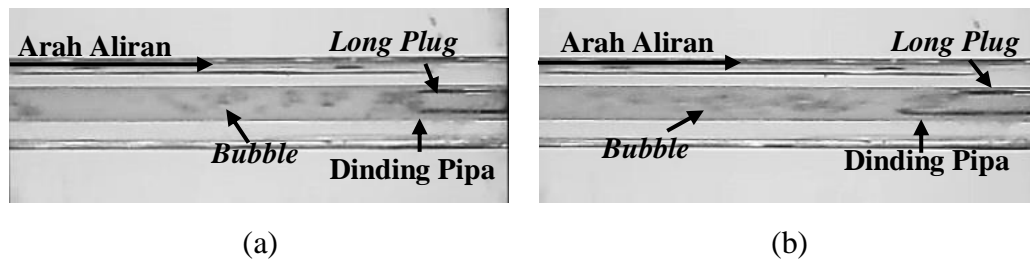
Gambar 4.3. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada variabel ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 yang menunjukkan nilai PDF pada pola aliran *bubbly*. Gambar 4.3 (a)

menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,85 dan Gambar 4.3 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,72.

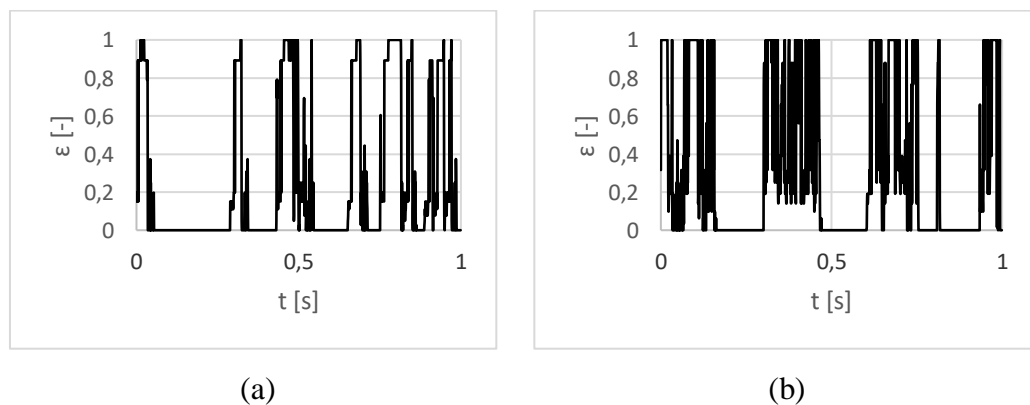
4.1.1.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Pola aliran *bubbly* pada variabel ini muncul dengan frekuensi lebih banyak dibanding pola aliran *bubbly* pada persentase campuran gliserin 40%. Gambar 4.4 menunjukkan pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.



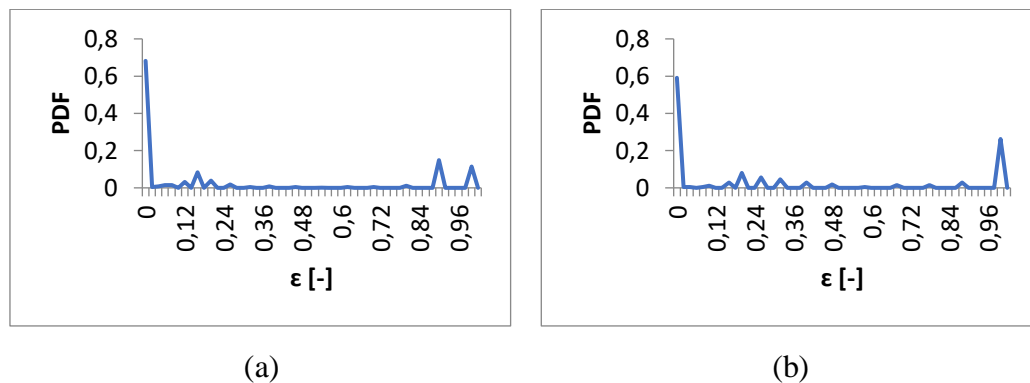
Gambar 4.4. Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.4 pola aliran *bubbly* yang berbentuk bulat, susunannya terdispersi dan memiliki ukuran diameter yang sangat kecil.



Gambar 4.5. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.5 menunjukkan grafik fraksi hampa yang tidak beraturan. Kemunculan *plug* mengakibatkan nilai fraksi hampa naik secara signifikan pada rentang waktu tertentu. Kemunculan *plug* disebabkan karena mengumpulnya udara didalam *inlet mixer* atau bergabungnya beberapa gelembung (*coalescence*).

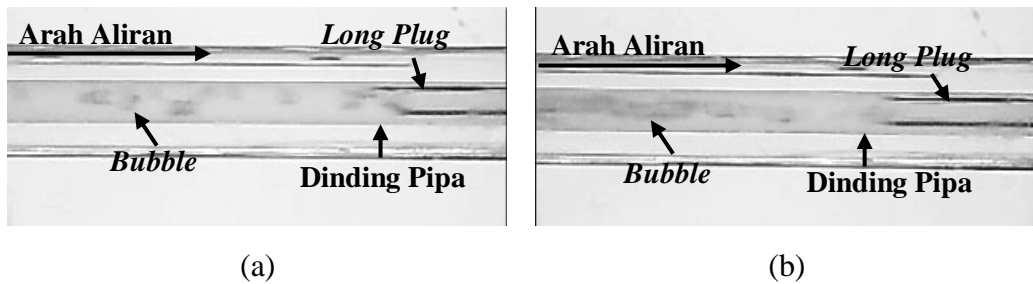


Gambar 4.6. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Grafik PDF pola aliran *bubbly* pada variabel ini ditunjukkan oleh Gambar 4.6 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,68 dan Gambar 4.2 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,59.

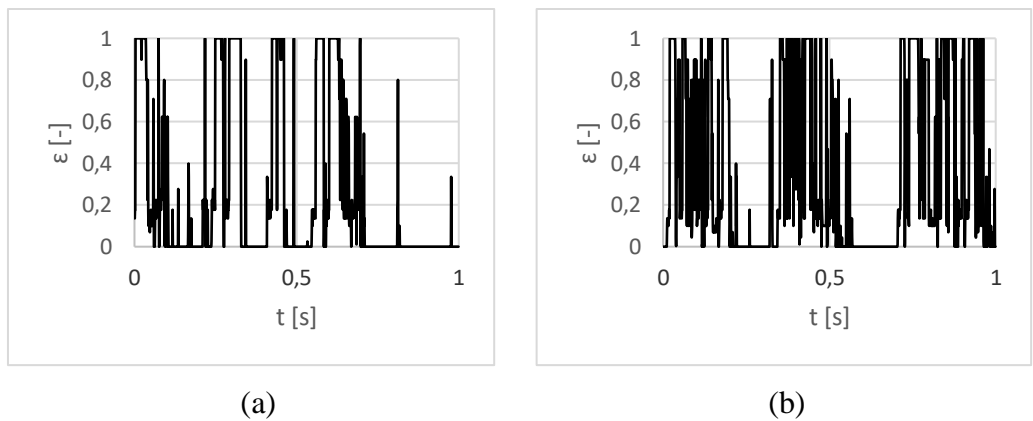
4.1.1.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

Pada variabel ini pola aliran *bubbly* muncul dengan frekuensi yang paling banyak dibanding 3 persentase campuran gliserin dan akuades lainnya. Pola aliran *bubbly* pada persentase campuran 60% gliserin dengan $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s ditunjukkan oleh Gambar 4.7.

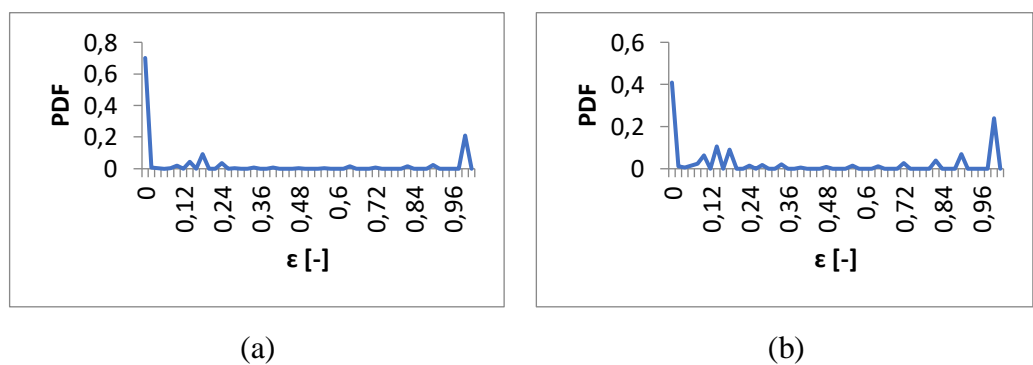


Gambar 4.7. Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.7 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang berbentuk bulat, susunannya terdispersi dan memiliki ukuran diameter yang sangat kecil.



Gambar 4.8 Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s



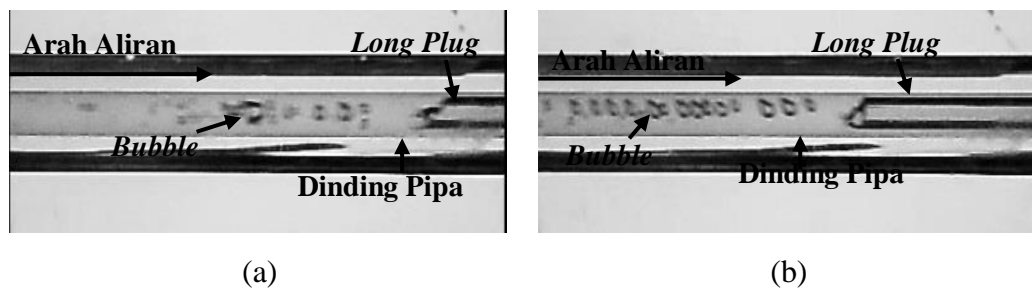
Gambar 4.9. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

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

probabilitas 0,7 dan Gambar 4.9 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,4.

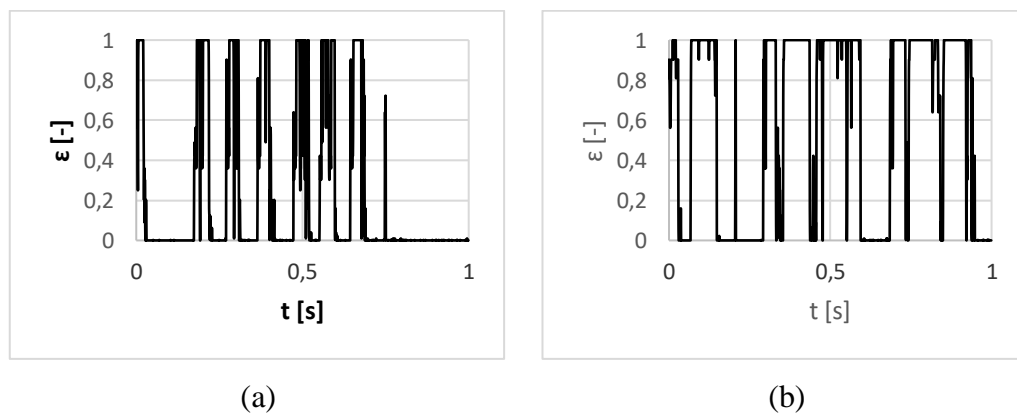
4.1.1.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Pola aliran *bubbly* persentase campuran 70% gliserin dapat dilihat pada gambar 4.10. Pada variabel ini pola aliran *bubbly* memiliki frekuensi yang paling sedikit dibanding 3 variabel lainnya.



Gambar 4.10 Pola Aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

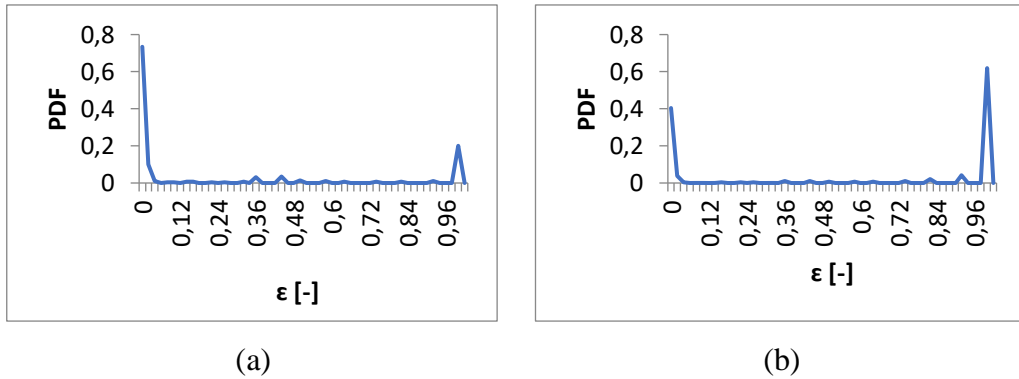
Gambar 4.10 pola aliran *bubbly* yang berbentuk lonjong, sehingga tampak bubbly yang memiliki ekor dan ukuran diameternya lebih besar dibanding 3 variabel lainnya.



Gambar 4.11. Grafik fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.11 menunjukkan grafik fraksi hampa yang tidak jauh berbeda dengan variabel lainnya. Pola aliran *bubbly* yang didahului oleh pola aliran *plug*

yang mengakibatkan naiknya nilai fraksi hampa secara signifikan pada rentang waktu tertentu.



Gambar 4.12. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

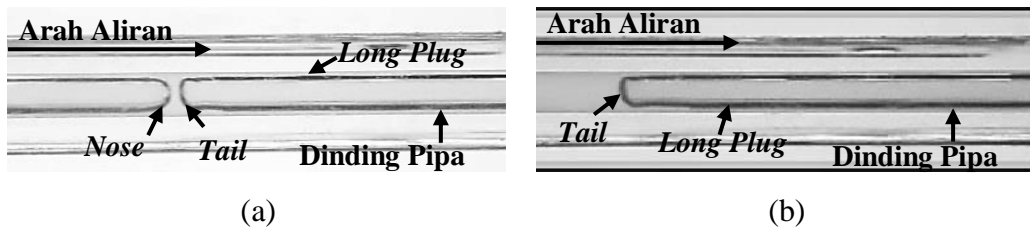
Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* campuran 70% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.12. Pada Gambar 4.12 (a) menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas 0,73 dan Gambar 4.12 (b) menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,61.

4.1.2 Fraksi Hampa pada Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang memenuhi seluruh dinding pipa dengan panjang yang bervariasi. Berdasarkan fasenya pola aliran *plug* dibagi menjadi 2 yaitu *plug* udara dan *plug* air. *Plug* merupakan pola aliran *bubbly* yang memanjang (*elongated bubbly*) disebabkan oleh meningkatnya intensitas udara dalam aliran.

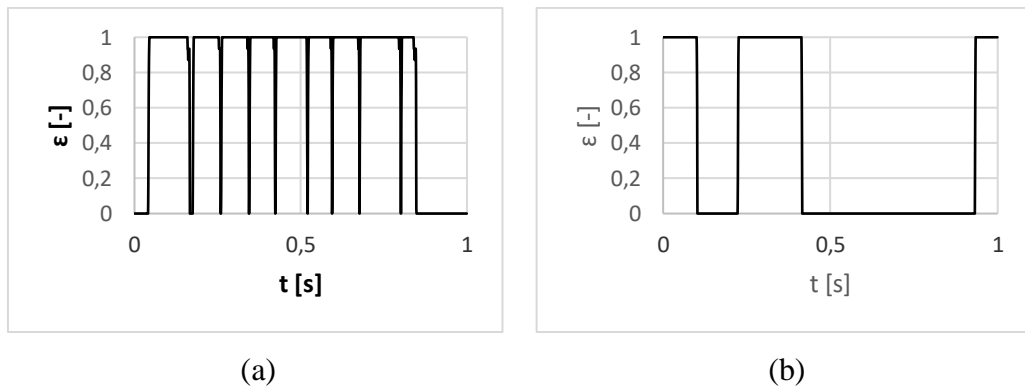
4.1.2.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

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



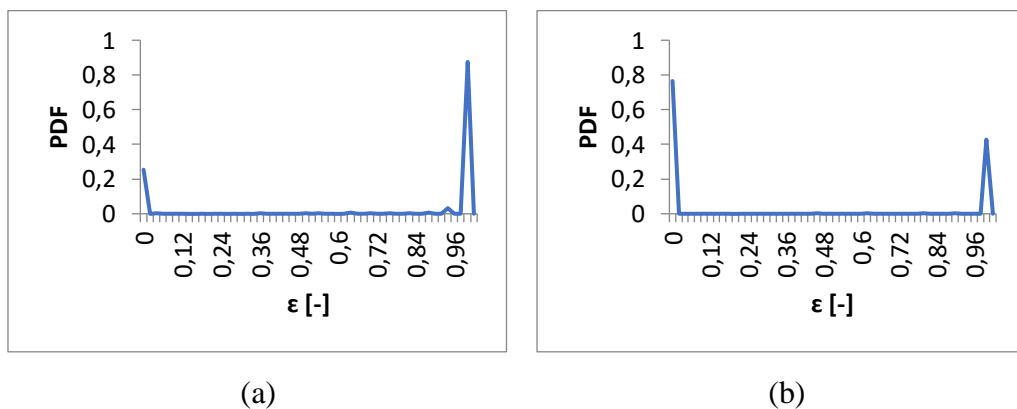
Gambar 4.13. Pola Aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.13 menunjukkan pola aliran *plug* yang sejenis *long plug*. Pola aliran jenis *long plug* adalah *plug* yang *nose* dan *tail* saling berjauhan.



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

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

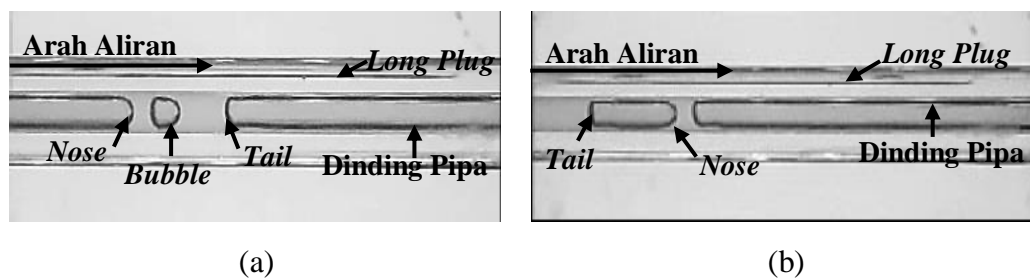


Gambar 4.15. PDF aliran *plug* gliserin 40% pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.15 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan yang terjadi pada pola aliran *plug* adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,87 pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,76 pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.

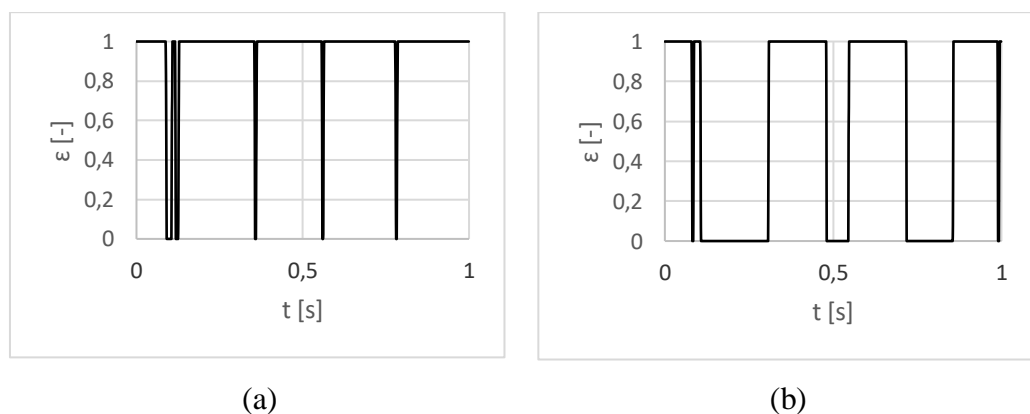
4.1.2.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

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



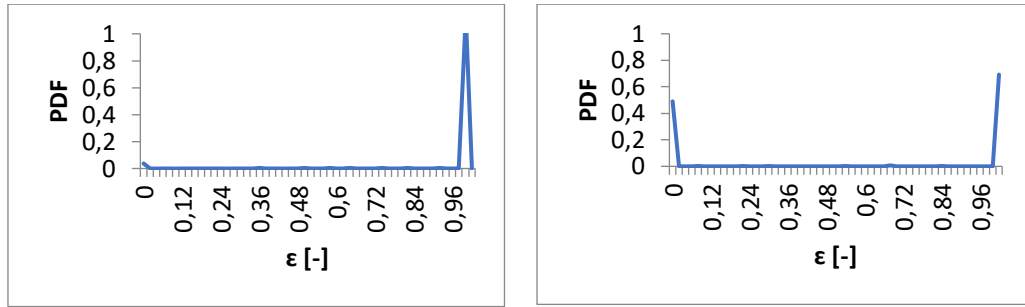
Gambar 4.16. Pola Aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.6 menunjukan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug* sama seperti persentase campuran 40% gliserin. Akan tetapi panjang plug lebih pendek dengan frekuensi yang lebih banyak. Hal ini disebabkan oleh viskositas yang lebih kental yang menyebabkan udara lebih sulit untuk menembus fluida cair.



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

Gambar 4.17 menunjukkan fraksi hampa mencapai nilai 1 pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh *plug* udara memenuhi diameter pipa sehingga fase yang dominan adalah fase udara.



(a)

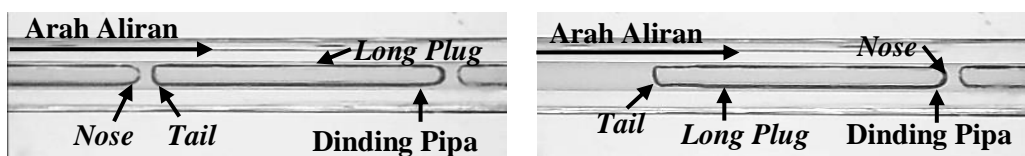
(b)

Gambar 4.18. PDF aliran *plug* gliserin 50% pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.18 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,98 pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,98 dengan nilai probabilitas 0,69 pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.

4.1.2.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

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

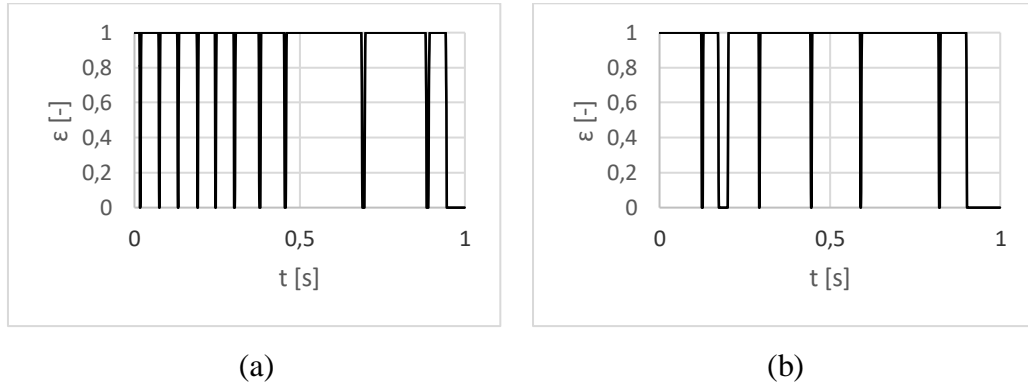


(a)

(b)

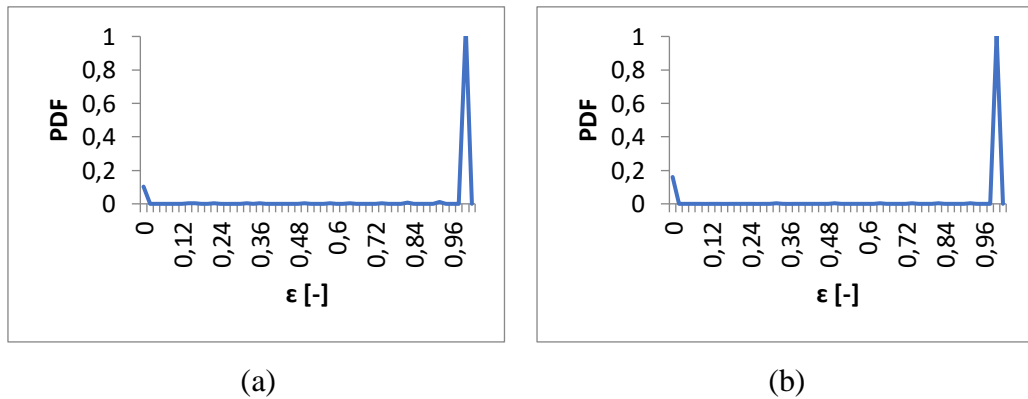
Gambar 4.19. Pola Aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.19 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug*. Pola aliran jenis *long plug* adalah *plug* yang *nose* dan *tail* saling berjauhan.



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

Gambar 4.20 menunjukkan fraksi hampa mencapai nilai 1 pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh *plug* udara memenuhi diameter pipa sehingga fase yang dominan adalah fase udara.

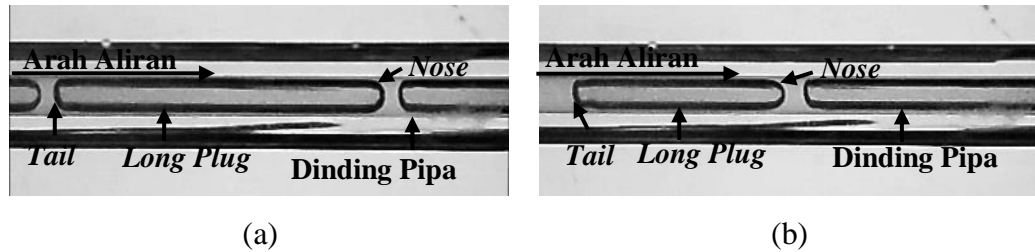


Gambar 4.21. PDF aliran *plug* gliserin 60% pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

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

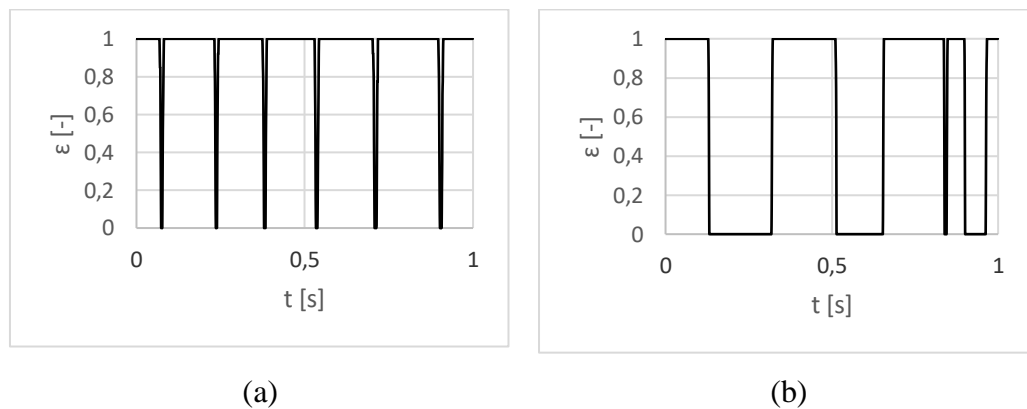
4.1.2.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran *plug* dengan persentase campuran gliserin 60%.



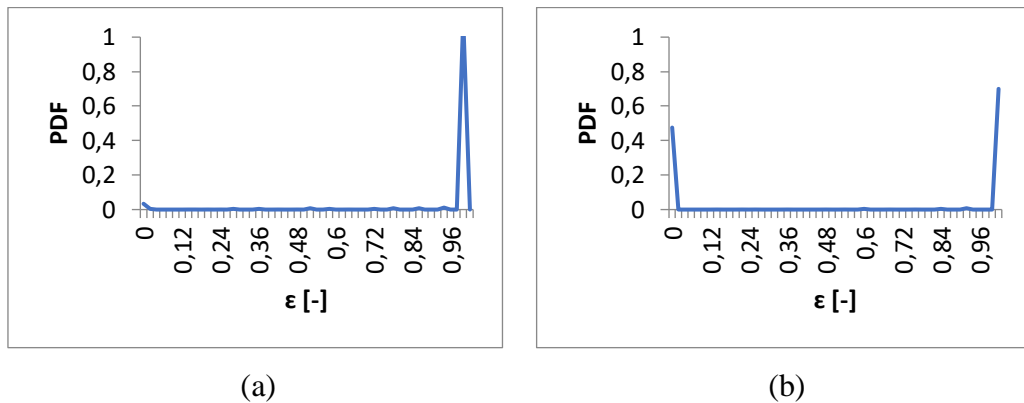
Gambar 4.22. Pola Aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug*. Pola aliran *plug* pada variabel ini hampir mirip dengan pola aliran *plug* pada persentase gliserin 60%



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

Gambar 4.23 menunjukan grafik fraksi hampa yang tidak jauh berbeda dengan 3 variabel lainnya. Fraksi hampa mencapai nilai 1 pada rentang waktu tertentu yang disebabkan oleh *plug* udara memenuhi diameter pipa sehingga fase yang dominan adalah fase udara.



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

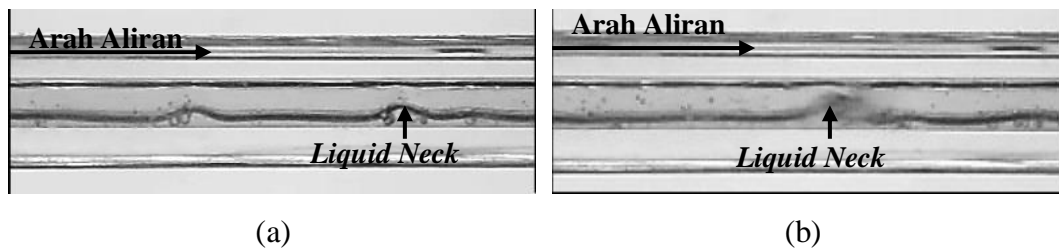
Gambar 4.24 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada pola aliran *plug* adalah 0,98 dengan nilai probabilitas 0,98 pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan nilai fraksi hampa dominan 0,98 dengan nilai probabilitas 0,7 pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s.

4.1.3 Fraksi Hampa pada Aliran *Slug-Annular*

Pola aliran *slug-annular* merupakan pola aliran transisi dari pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada satu titik atau lebih terdapat film cairan yang lebih tebal dibanding titik yang lainnya. Hal ini 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.

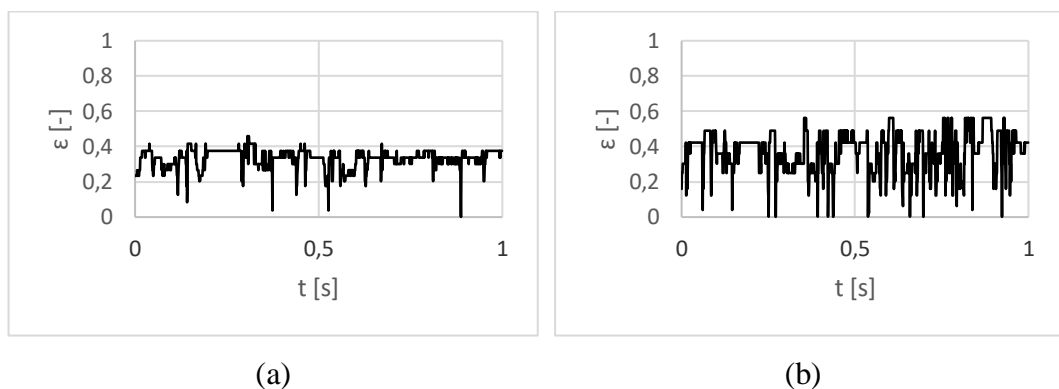
4.1.3.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Pola aliran *slug-annular* pada persentase campuran 40% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.25.



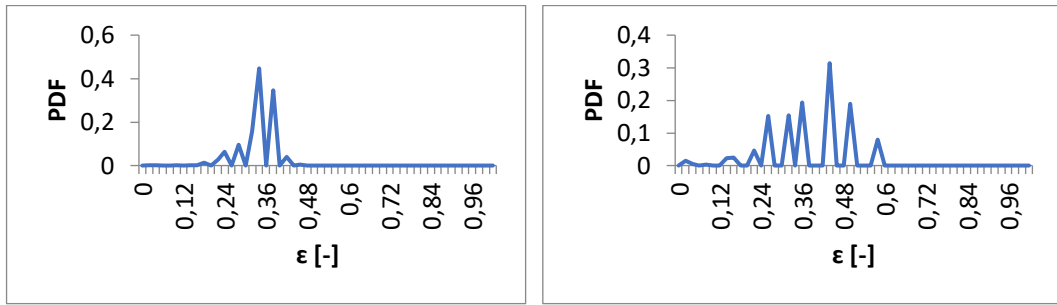
Gambar 4.25. Pola Aliran *Slug-Annular* gliserin 40% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.25 menunjukkan adanya *liquid neck* yang terjadi pada aliran *slug-annular*. Hal ini disebabkan udara yang menembus jembatan aliran pada aliran *plug*.



Gambar 4.26. Grafik fraksi hampa aliran *slug-annular* gliserin 40% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

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



(a)

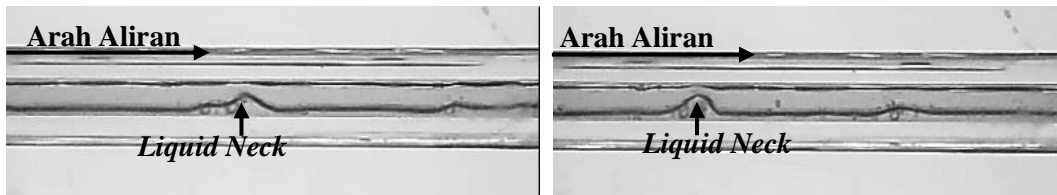
(b)

Gambar 4.27. PDF aliran *slug-annular* gliserin 40% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.27 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada aliran *slug-annular* adalah 0,34 dengan nilai probabilitas 0,44 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,44 dengan nilai probabilitas 0,31 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.

4.1.3.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Pola aliran *slug-annular* pada persentase campuran 50% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.28.

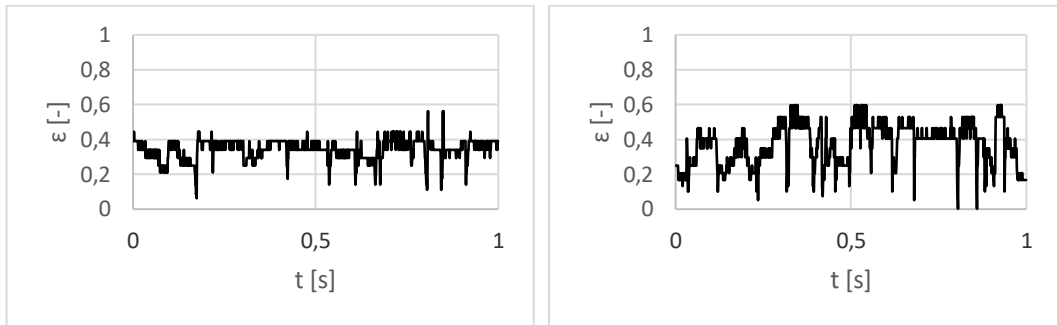


(a)

(b)

Gambar 4.28. Pola Aliran *Slug-Annular* gliserin 50% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4,28 menunjukkan liquid neck yang lebih banyak dibandingkan Gambar 4.25. Hal ini terjadi karena perbedaan campuran persentase gliserin.

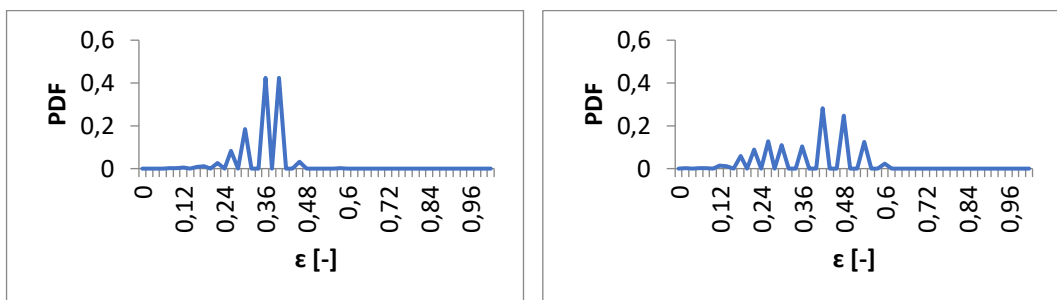


(a)

(b)

Gambar 4.29. Grafik fraksi hampa aliran *slug-annular* gliserin 50% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.29 menunjukkan jika terjadi aliran konstan grafik akan stabil dan grafik akan mengalami penurunan jika terjadi *liquid neck*.



(a)

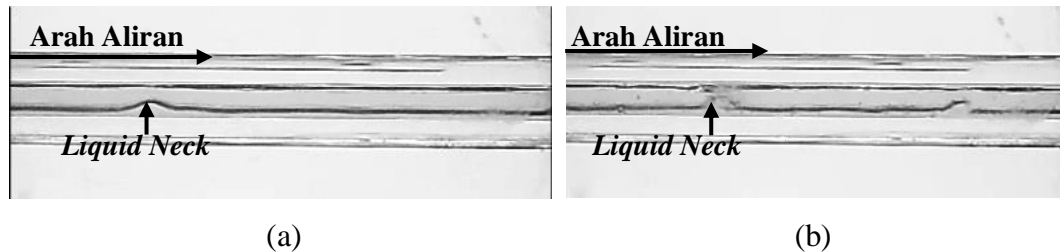
(b)

Gambar 4.30. PDF aliran *slug-annular* gliserin 50% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.30 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan 0,36 dengan nilai probabilitas 0,42 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,48 dengan nilai probabilitas 0,24 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.

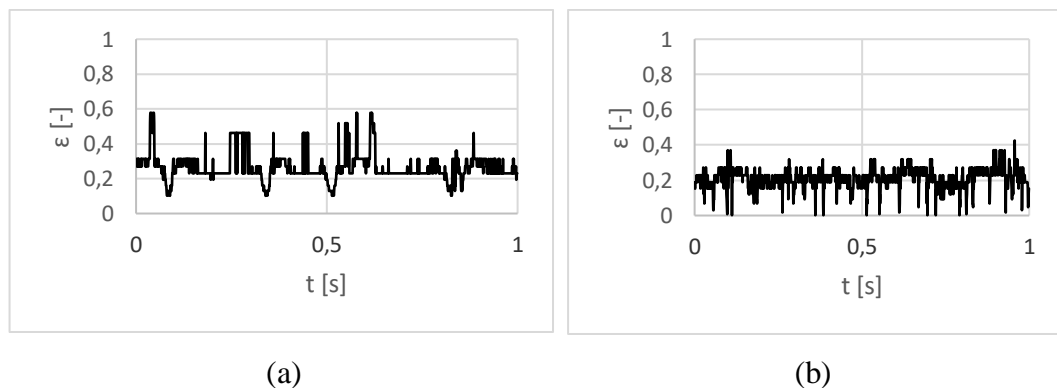
4.1.3.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

Pola aliran *slug-annular* pada persentase campuran 60% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.31.



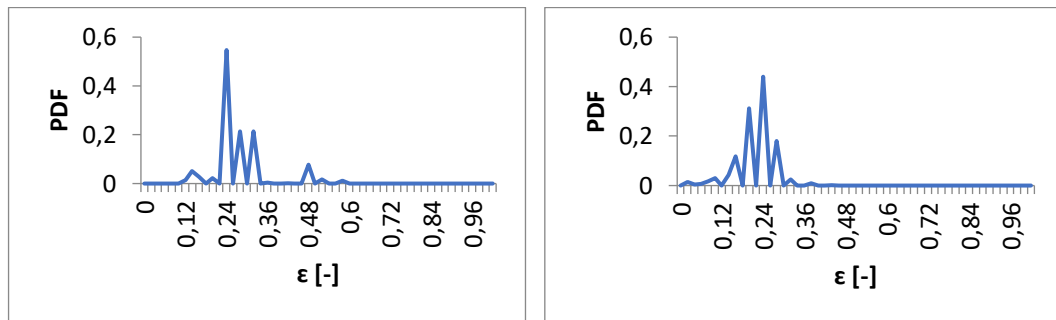
Gambar 4.31. Pola Aliran *Slug-Annular* gliserin 60% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.31 menunjukkan pola aliran *slug-annular* yang hampir sama dengan jenis pola aliran *slug-annular* pada Gambar 4.28.



Gambar 4.32. Grafik fraksi hampa aliran *slug-annular* gliserin 60% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.32 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.



(a)

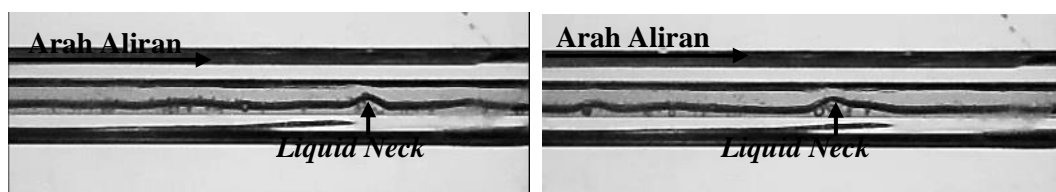
(b)

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

Gambar 4.33 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada pola *slug-annular* yaitu 0,24 dengan nilai probabilitas 0,54 pada $J_G = 9,63$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,24 dengan nilai probabilitas 0,44.

4.1.3.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

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

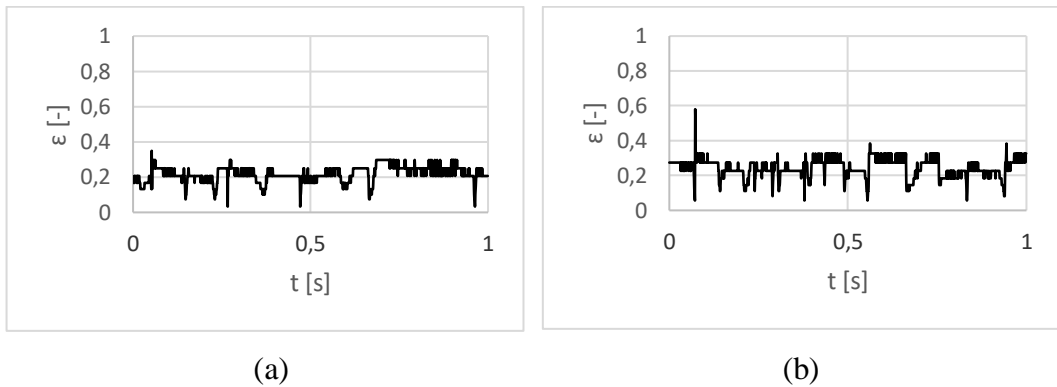


(a)

(b)

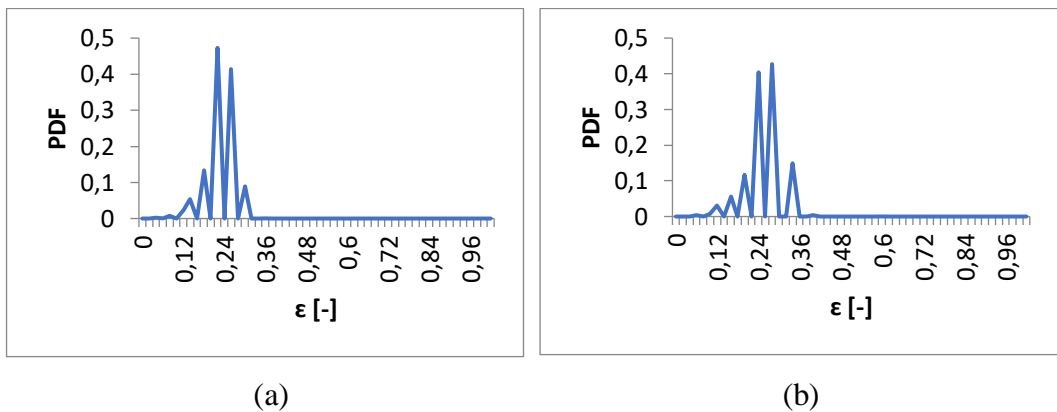
Gambar 4.34. Pola Aliran *Slug-Annular* gliserin 70% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.34 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada campuran gliserin 70%. Pada variabel ini *liquid neck* terlihat lebih sedikit dibandingkan 3 variabel lain. Hal ini disebabkan viskositas cairan yang meningkat menyebabkan film cairan akan lebih sulit membentuk *liquid neck*.



Gambar 4.35. Grafik fraksi hampa aliran *slug-annular* gliserin 70% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

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



Gambar 4.36. PDF aliran *slug-annular* gliserin 70% pada (a) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,91$ m/s, dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

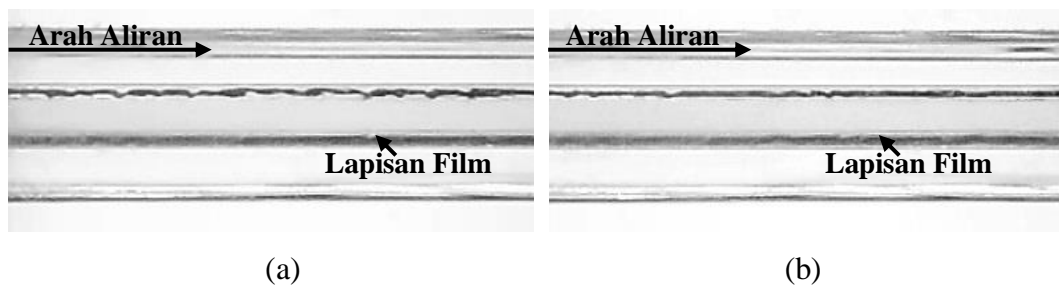
Gambar 4.36 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada aliran *slug-annular* adalah 0,22 dengan probabilitas 0,47 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,28 dengan probabilitas 0,42 pada $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s.

4.1.4 Fraksi Hampa pada Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* merupakan kelanjutan dari pola aliran *slug-annular*. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang rendah yang menyebabkan udara menembus bagian tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi merata secara simetris pada dinding pipa.

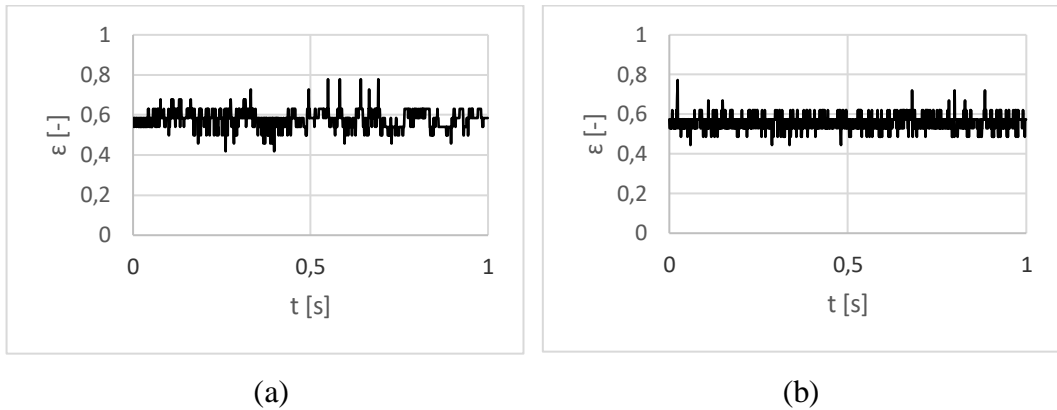
4.1.4.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Pola aliran *annular* pada persentase campuran 40% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.37.



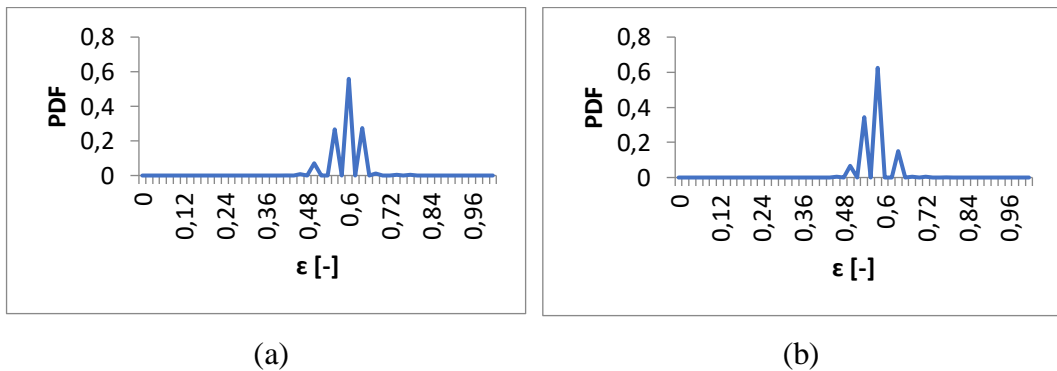
Gambar 4.37. Pola Aliran *Annular* gliserin 40% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.37 menunjukkan karakter fraksi hampa pola aliran *annular* yang terlihat fluktuatif tetapi tidak terjadi penurunan atau kenaikan yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh viskositas pada pola aliran *annular* tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada pola aliran *annular* sehingga terlihat tidak ada perbedaan.



Gambar 4.38. Grafik fraksi hampa aliran *annular* gliserin 40% pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,149 \text{ m/s}$

Gambar 4.38 menunjukkan nilai fraksi hampa yang fluktuatif dan perubahan fraksi hampanya tidak terlalu signifikan.

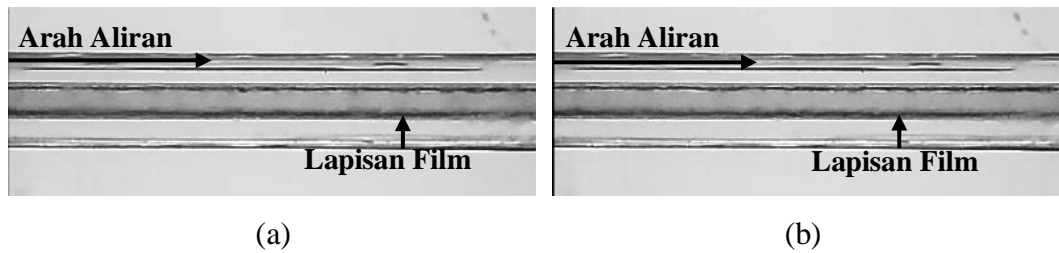


Gambar 4.39. PDF aliran *annular* gliserin 40% pada (a) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,149 \text{ m/s}$

Gambar 4.39 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,6 dengan nilai probabilitas 0,59 pada $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, dan nilai fraksi hampa dominan 0,58 dengan nilai probabilitas 0,62 pada $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,149 \text{ m/s}$.

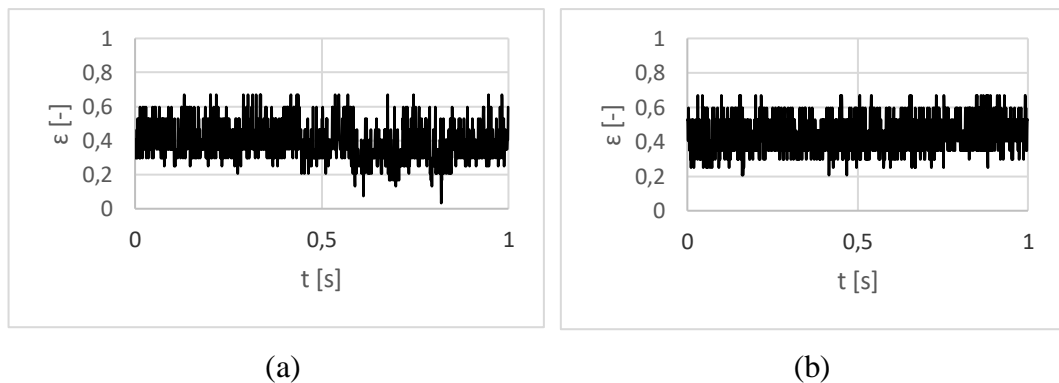
4.1.4.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Pola aliran *annular* pada persentase campuran 50% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.40.



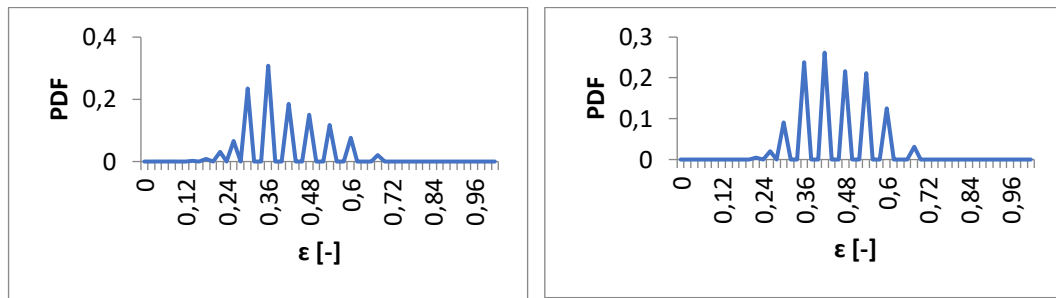
Gambar 4.40. Pola Aliran *Annular* gliserin 50% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.40 menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu terlihat pada gambar (a) dan (b) walaupun perbedaan J_L yang lebih jauh lebih besar. Secara teori lapisan film cairan pola aliran *annular* pada Gambar (b) akan lebih tipis dibandingkan lapisan film cairan pada gambar (a). Hal ini disebabkan J_L yang jauh lebih besar maka laju aliran gas yang akan memasuki pipa mempunyai volume gas pada pipa yang lebih besar.



Gambar 4.41. Grafik fraksi hampa aliran *annular* gliserin 50% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.41 menunjukkan fraksi hampa fluktuatif pola aliran *annular* yang tidak jauh berbeda dengan persentase campuran 40%.



(a)

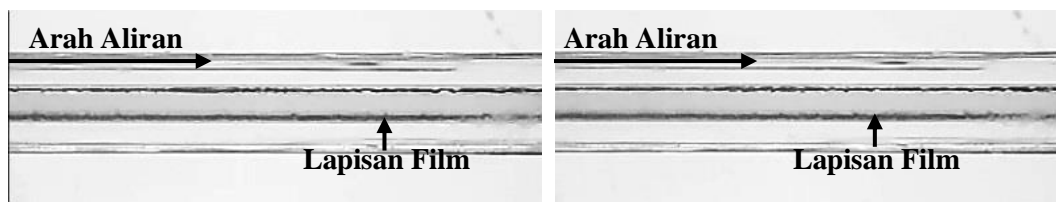
(b)

Gambar 4.42 PDF aliran *annular* gliserin 50% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.42 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,36 dengan nilai probabilitas 0,31 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan nilai fraksi hampa dominan 0,42 dengan nilai probabilitas 0,26 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

4.1.4.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

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

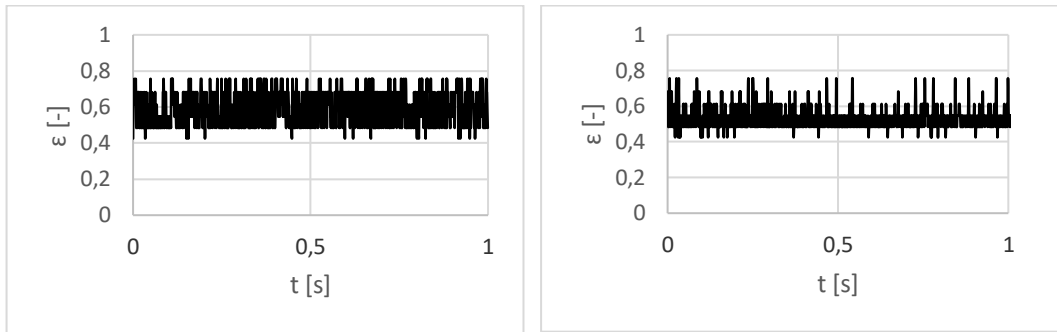


(a)

(b)

Gambar 4.43. Pola Aliran *Annular* gliserin 60% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.43 pola aliran *annular* pada persentase gliserin 60%. Tidak ada perbedaan yang jelas terlihat. Hal ini disebabkan viskositas pada pola aliran *annular* tidak mempunyai pengaruh yang signifikan.

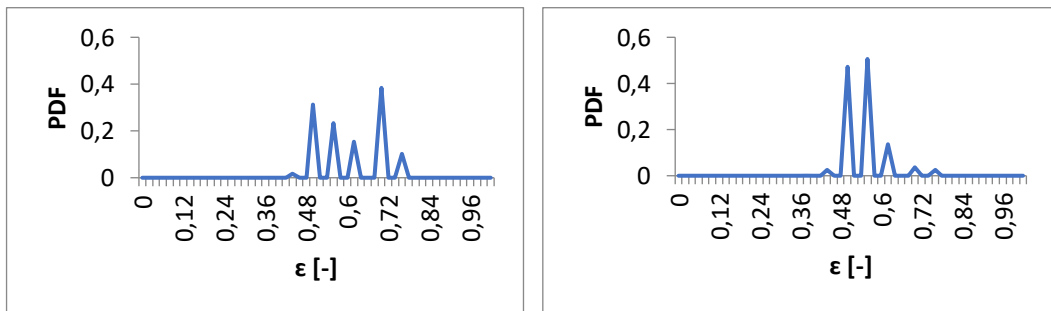


(a)

(b)

Gambar 4.44. Grafik fraksi hampa aliran *annular* gliserin 60% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.44 pada pola aliran ini fraksi hampa mengalami kenaikan pada rentang waktu tertentu.



(a)

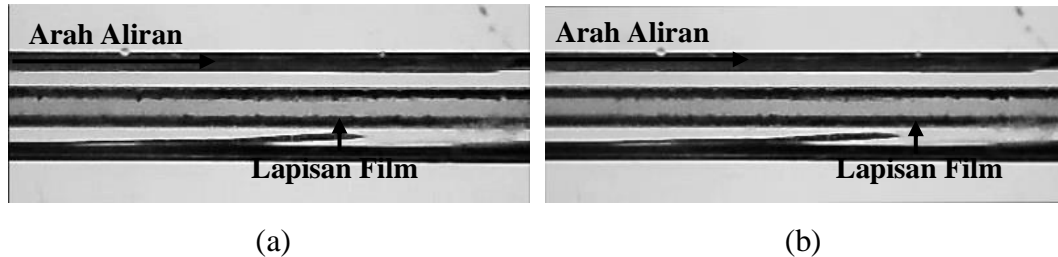
(b)

Gambar 4.45. PDF aliran *annular* gliserin 60% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.45 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada pola aliran *annular* campuran gliserin 60% adalah 0,7 dengan nilai probabilitas 0,38 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan nilai fraksi hampa dominan 0,56 dengan nilai probabilitas 0,5 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s.

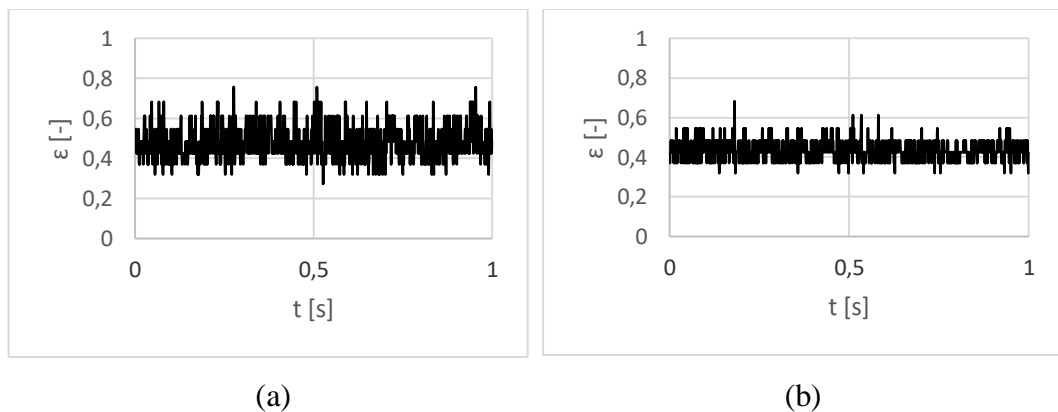
4.1.4.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

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



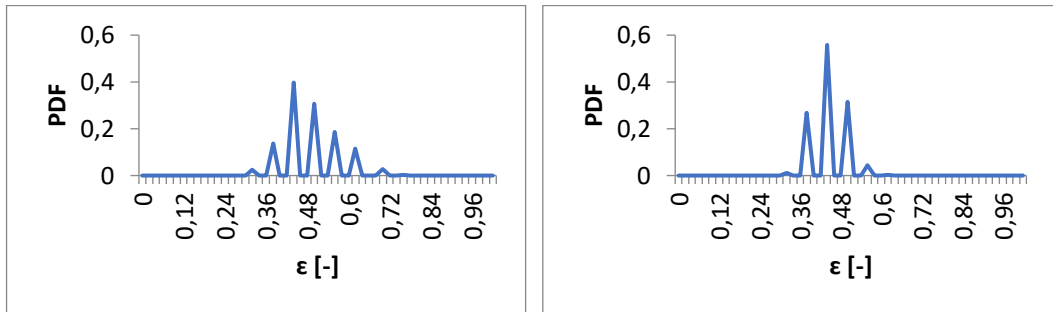
Gambar 4.46. Pola Aliran *Annular* gliserin 70% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Pada Gambar 4.46 menunjukkan pola aliran *annular* pada campuran gliserin 70%. Terlihat film cairan yang lebih jelas dibandingkan 3 variabel lainnya. Hal ini disebabkan viskositas cairan yang pekat dan asupan cahaya yang kurang.



Gambar 4.47. Grafik fraksi hampa aliran *annular* pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.47 menunjukkan fraksi hampa yang fluktuatif dan tidak mengalami kenaikan dan penurunan yang signifikan.



(a)

(b)

Gambar 4.48. PDF aliran *annular* gliserin 70% pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

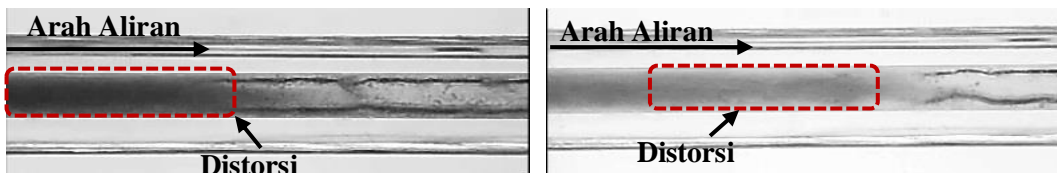
Gambar 4.48 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,5 dengan nilai probabilitas 0,39 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,44 dengan nilai probabilitas 0,55 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s.

4.1.5 Fraksi Hampa pada Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) yang sangat tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang sangat tinggi juga tetapi keduanya memiliki selisih cukup besar. Pola aliran *churn* merupakan kelanjutan dari *bubbly* yang diperpanjang, yang mengalami ketidakstabilan pada bagian ekornya sehingga terdapat bagian yang terdistorsi.

4.1.5.1 Gliserin 40% dan Akuades 60%

Pola aliran *churn* pada persentase campuran 40% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.49.

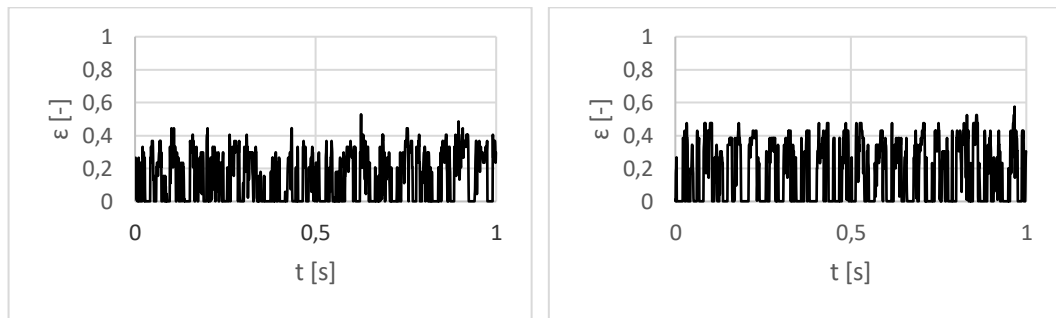


(a)

(b)

Gambar 4.49. Pola Aliran *Churn* gliserin 40% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.49 menunjukkan pola yang sangat tidak beraturan pada bagian ekor. Kenaikan nilai J_G berpengaruh terhadap bentuk distorsi yang terjadi. Bagian ekor yang mengalami distorsi ini akan membentuk aliran *churn*.

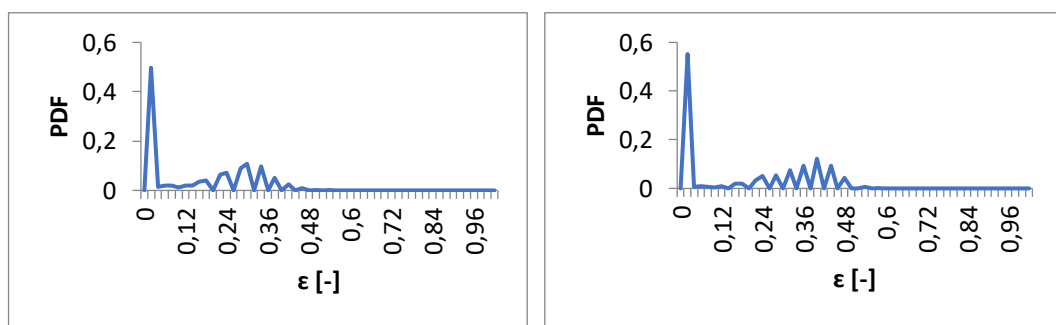


(a)

(b)

Gambar 4.50. Grafik fraksi hampa aliran *churn* gliserin 40% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.50 menunjukkan nilai fraksi hampa yang tidak beraturan. Pada rentang waktu tertentu, nilai fraksi hampa yang tidak beraturan tersebut terjadi distorsi yang cukup besar. Sedangkan pada rentang waktu tertentu, nilai fraksi hampa menurun mendekati 0 yang menunjukkan pada rentang waktu tersebut tidak terjadi distorsi.



(a)

(b)

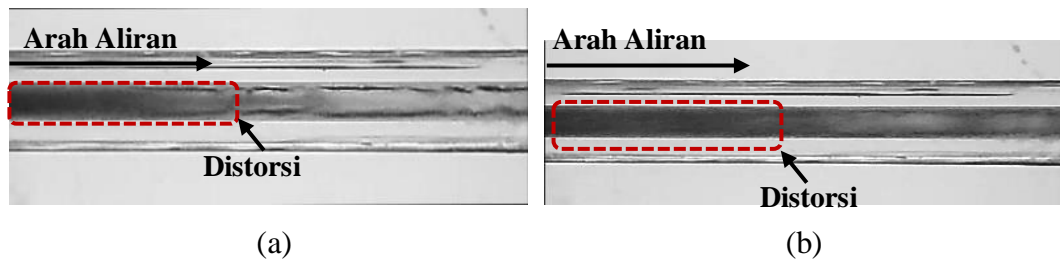
Gambar 4.51. PDF aliran *churn* gliserin 40% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.51 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pola aliran *churn* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,49 pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan

nilai fraksi hampa dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,55 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.

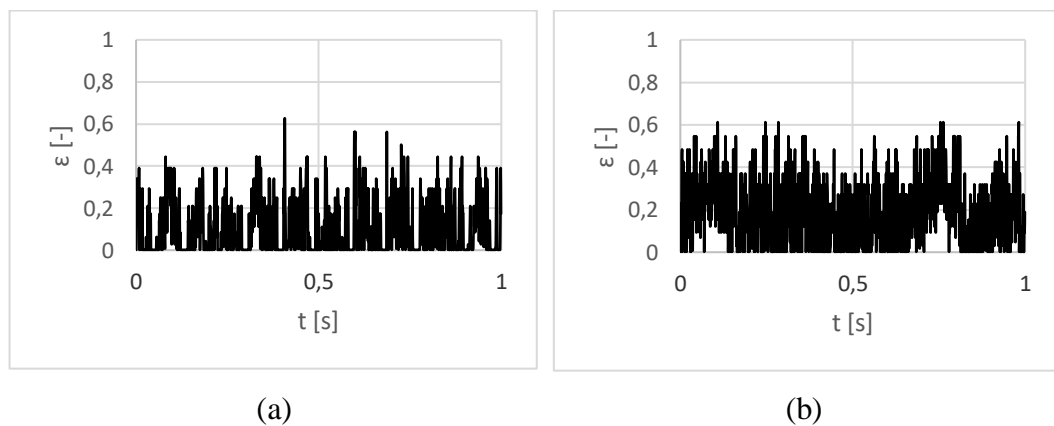
4.1.5.2 Gliserin 50% dan Akuades 50%

Pola aliran *churn* pada persentase campuran 50% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.52.



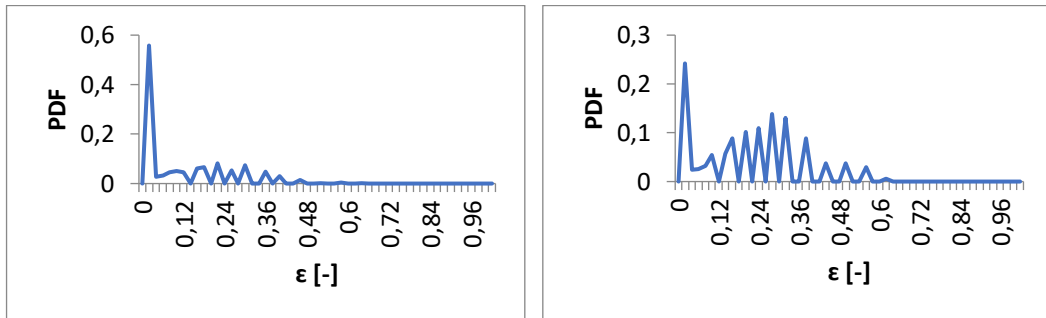
Gambar 4.52. Pola Aliran *Churn* gliserin 50% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.52 menunjukkan ketidakstabilan aliran yang terdapat pada bagian ekor. Kenaikan J_G mempengaruhi pada pola aliran *churn* mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi.



Gambar 4.53. Grafik fraksi hampa aliran *churn* gliserin 50% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.53 menunjukkan nilai fraksi hampa yang fluktuatif dan tidak beraturan juga yang disebabkan oleh bagian aliran yang normal dan bagian aliran yang terdistorsi.



(a)

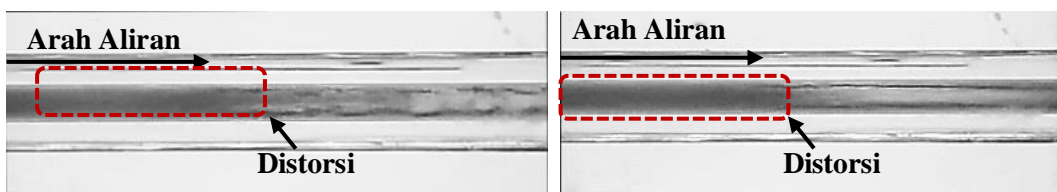
(b)

Gambar 4.54. PDF aliran *churn* gliserin 50% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.54 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pola aliran *churn* campuran gliserin 50% yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,55 pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,24 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.

4.1.5.3 Gliserin 60% dan Akuades 40%

Pola aliran *churn* pada persentase campuran 50% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.55.

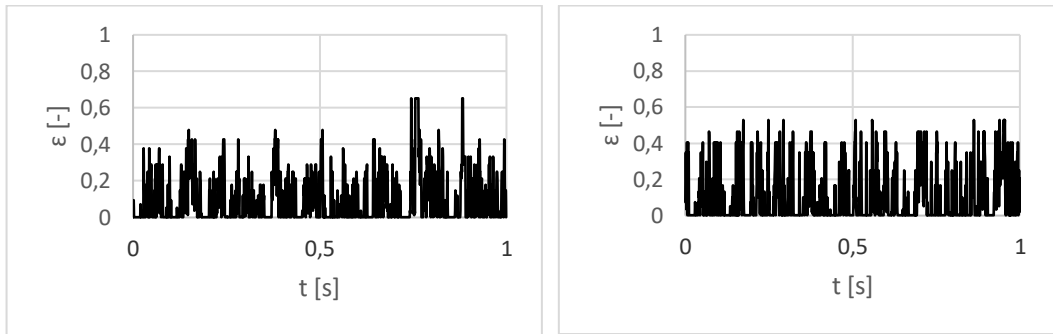


(a)

(b)

Gambar 4.55. Pola Aliran *Churn* gliserin 60% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.55 menunjukkan pola aliran *churn* yang tidak jauh berbeda dengan persentase campuran gliserin 40%.

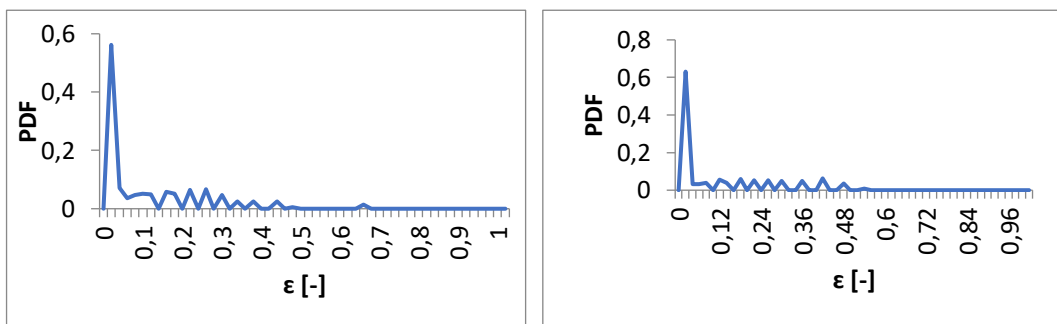


(a)

(b)

Gambar 4.56. Grafik fraksi hampa aliran *churn* gliserin 60% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.56 menunjukkan fraksi pola aliran *churn* yang tidak beraturan. Hal ini disebabkan oleh bagian aliran yang stabil dan terdistorsi.



(a)

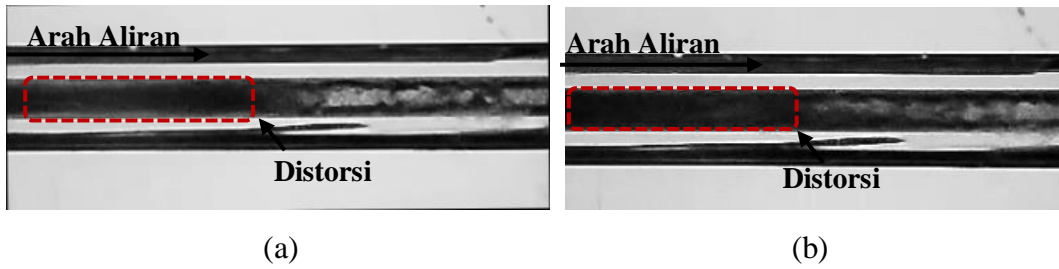
(b)

Gambar 4.57. PDF aliran *churn* gliserin 60% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.57 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pola aliran *churn* pada campuran gliserin 60% yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,56 pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan nilai fraksi hampa dominan 0,02 dengan nilai probabilitas 0,63 pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s.

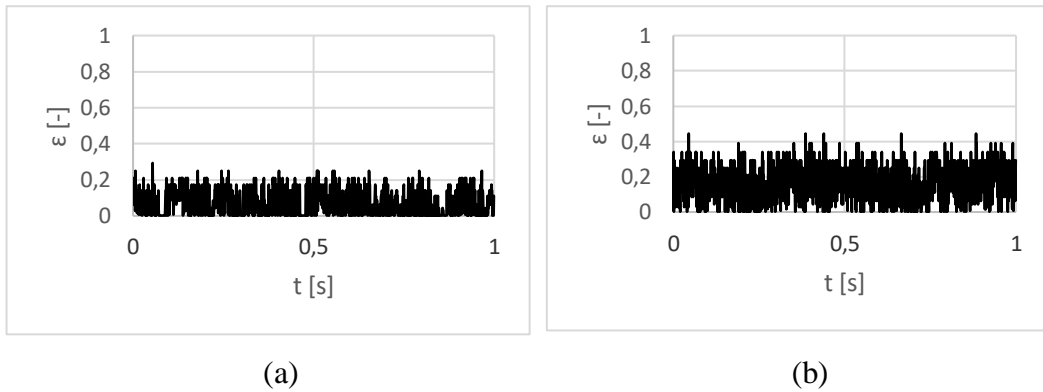
4.1.5.4 Gliserin 70% dan Akuades 30%

Pola aliran *churn* pada persentase campuran 70% gliserin dapat dilihat pada Gambar 4.58.



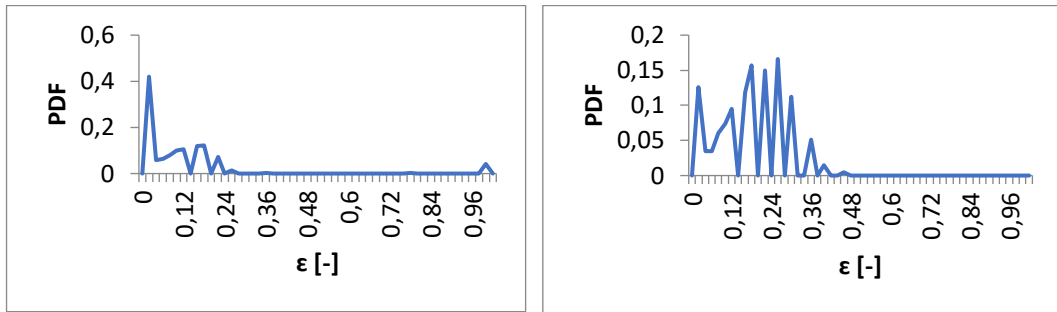
Gambar 4.58. Pola Aliran *Churn* gliserin 70% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, dan $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.58 menunjukkan distorsi yang lebih jelas akibat viskositas yang kental, sehingga udara akan semakin sulit untuk masuk pada pipa yang mengakibatkan distorsi yang semakin pekat.



Gambar 4.59. Grafik fraksi hampa aliran *churn* gliserin 70% pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s, dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.59 menunjukkan fraksi hampa yang fluktuatif. Terjadi peningkatan dan penurunan yang signifikan pada rentang waktu tertentu yang mengakibatkan grafik naik atau turun secara tiba-tiba.



(a)

(b)

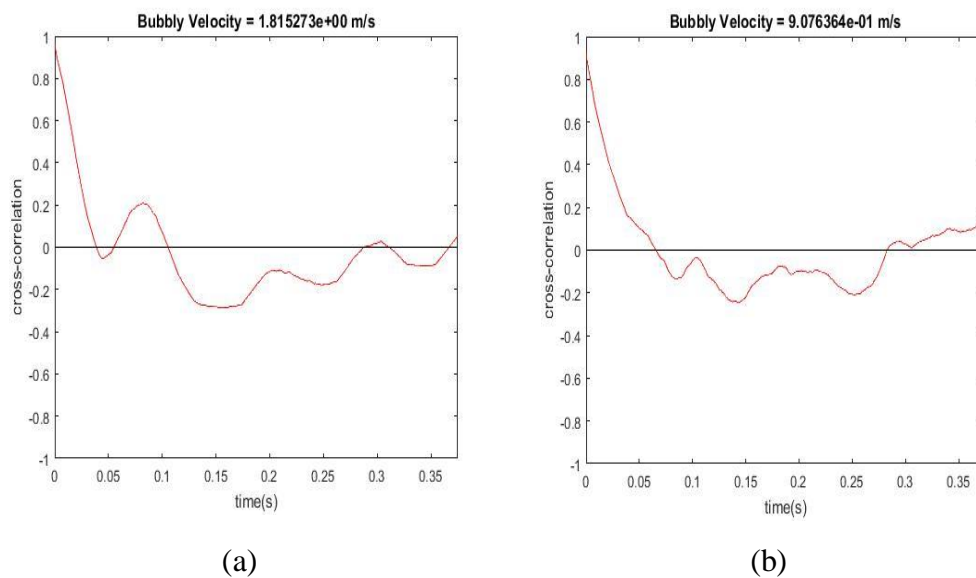
Gambar 4.60. PDF aliran *churn* gliserin 70% pada (a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$, $J_L = 4,935 \text{ m/s}$, dan (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.60 menunjukkan nilai fraksi hampa dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,42 pada $J_G = 22,6 \text{ m/s}$, $J_L = 4,935 \text{ m/s}$, dan nilai fraksi hampa dominan 0,26 dengan nilai probabilitas 0,16 pada $J_G = 66,3 \text{ m/s}$, $J_L = 4,935 \text{ m/s}$.

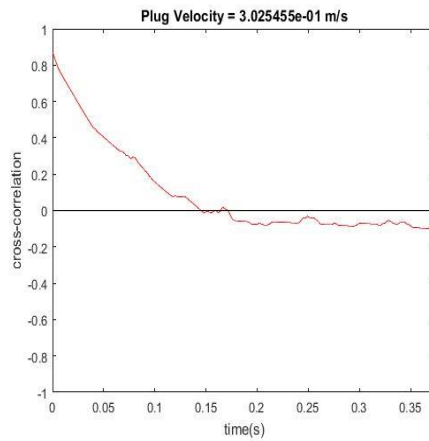
4.2 Kecepatan dan *Cross-Correlation* Aliran *Bubbly* dan *Plug* 40%

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

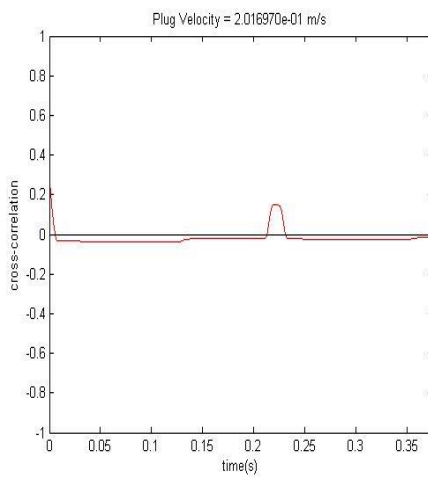
Nilai *Cross-Correlation* untuk aliran *bubbly* dapat dilihat pada Gambar 4.61 dan nilai *Cross-Correlation* untuk aliran *plug* dapat dilihat pada Gambar 4.62. Grafik yang fluktuatif pada Gambar 4.61 dan 4.62 menunjukkan jeda waktu yang dihasilkan. Nilai tertinggi pada grafik menunjukkan jeda waktu hasil *Cross-Correlation* dan kecepatan *bubbly* dan *plug* didapat dari selisih jarak antara kedua titik referensi yang digunakan untuk mengukur jeda waktu.



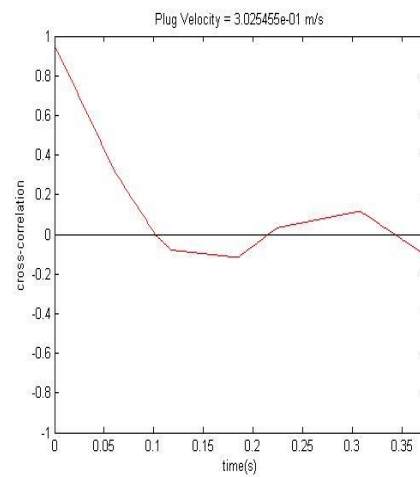
Gambar 4.61. *Cross-Correlation bubbly* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s



(a) Kecepatan *plug* pada $J_G = 0,066 \text{ m/s}$, $J_L = 0,7 \text{ m/s}$



(b) Kecepatan *plug* pada $J_G = 0,207 \text{ m/s}$, $J_L = 0,7 \text{ m/s}$



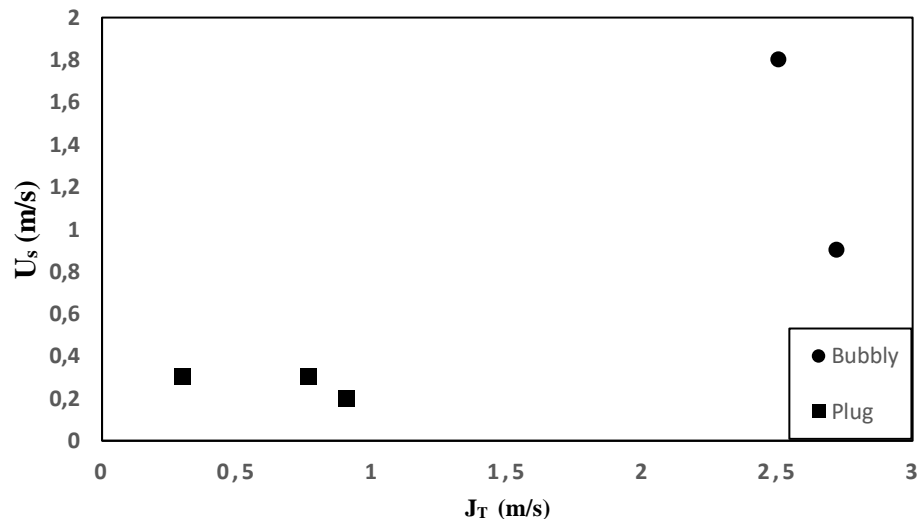
(c) Kecepatan *plug* pada $J_G = 0,207 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Gambar 4.62. *Cross-Correlation plug*

Gambar 4.61 dan 4.62 Menunjukkan jika viskositas naik maka kecepatan *bubbly* dan *plug* akan turun. Hal ini disebabkan oleh udara yang semakin sulit untuk menembus aliran campuran gliserin dan akuades jika viskositas campuran gliserin dan akuades dinaikkan.

4.2.2 Kecepatan *Bubbly* dan *Plug*

Kecepatan pola aliran *bubbly* dan *plug* ditunjukkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.54. Grafik dibuat dengan menghubungkan antara kecepatan *bubbly* dan *plug* dengan total fluks volumetrik $J_T = (J_G + J_L)$.

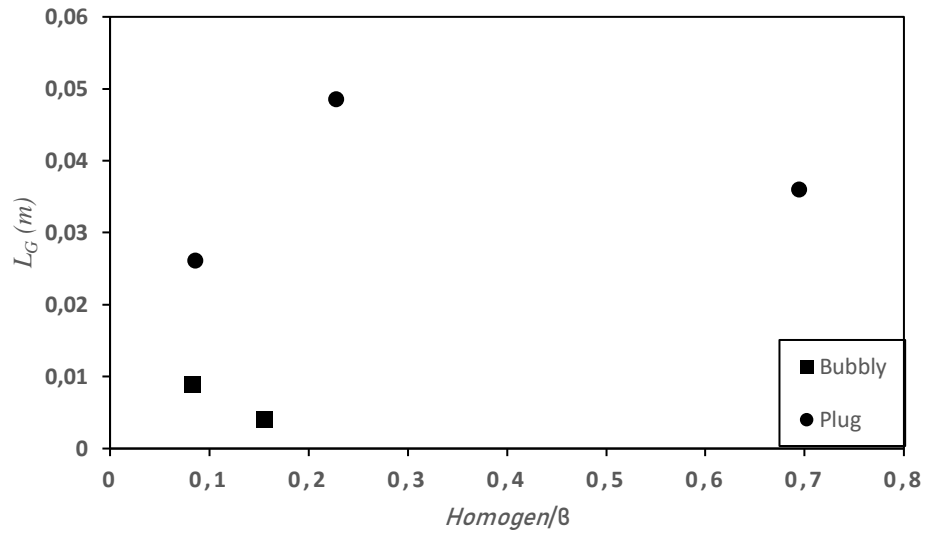


Gambar 4.63. Kecepatan *bubbly* dan *plug*

Gambar 4.63 menunjukkan kecepatan *bubbly* dan *plug* akan meningkat jika nilai total fluks volumetrik semakin tinggi. Kecepatan *bubbly* dan *plug* akan turun jika viskositas fluida semakin tinggi.

4.3 Panjang *Bubbly* dan *Plug*

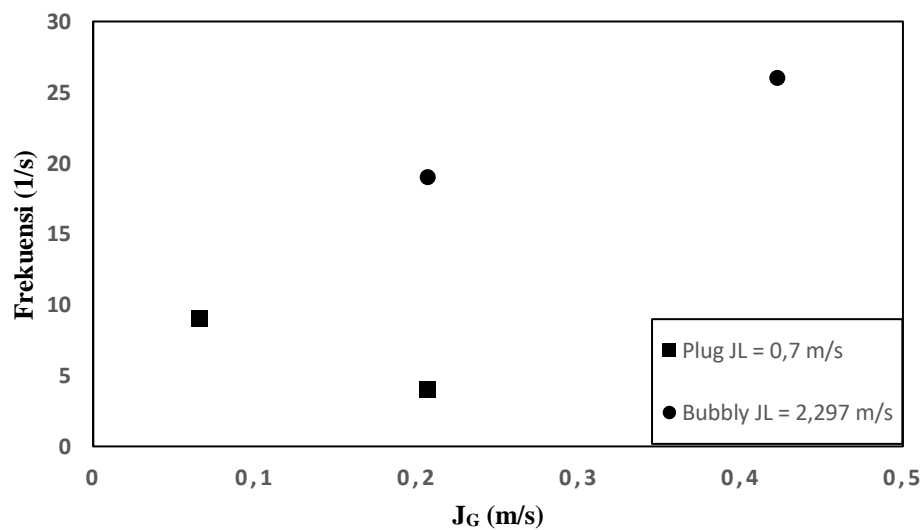
Panjang *bubbly* dan *plug* diperoleh dari hasil perhitungan manual selama 1 detik dengan diambil rata-rata untuk mendapatkan nilai Panjang *bubbly* dan *plug*. Setelah diketahui ($\Delta t = t_2 - t_1$) dan mendapatkan nilai kecepatan yang diambil dari *Cross-Correlation* (v), nilai panjang *bubbly* dan *plug* dapat diketahui dengan perhitungan ($L = \Delta t \cdot v$). berdasarkan Gambar 4.64 dapat diketahui jika semakin tinggi nilai homogen (β) maka Panjang *bubbly* dan *plug* meningkat. Dari hasil penelitian yang didapat bahwa pola aliran *bubbly* muncul diawali dengan munculnya *long 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 frekuensi kemunculan *bubbly* dan *plug*. Semakin tinggi nilai (J_G) dan (J_L) maka frekuensi kemunculan akan semakin meningkat. Peningkatan frekuensi *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh kecepatan superfisial cairan (J_L). Dapat disimpulkan jika semakin besar nilai (J_L) maka akan semakin juga pola aliran *bubbly* dan *plug* yang muncul.



Gambar 4.65. Frekuensi *bubbly* dan *plug*