

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Fraksi Hampa (*Void Fraction*)

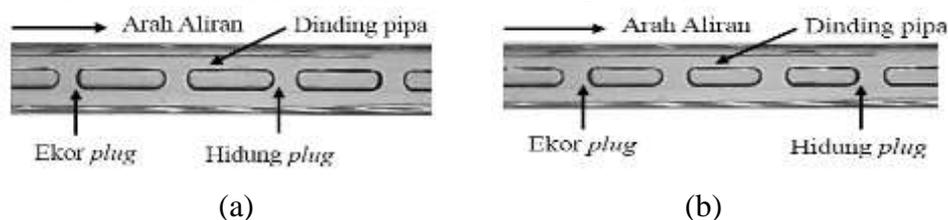
Hasil dari penelitian aliran dua fasa pada pipa mini dengan kemiringan 5 derajat dan campuran gliserin yang masing masing campuran mengandung 40 %, 50 %, 60 %, dan 70% gliserin menghasilkan beberapa jenis pola aliran. Pola aliran yang didapat pada kenaikan persentase gliserin adalah *plug*, *bubbly*, *annular*, *slug-annular*, dan *churn*. perbedaan yang terjadi karena perbedaan variasi gliserin tadi adalah proses transisi pola aliran. Analisa fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sisi 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 *Plug*

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

4.1.1.1 Persentase dengan campuran 40 % gliserin

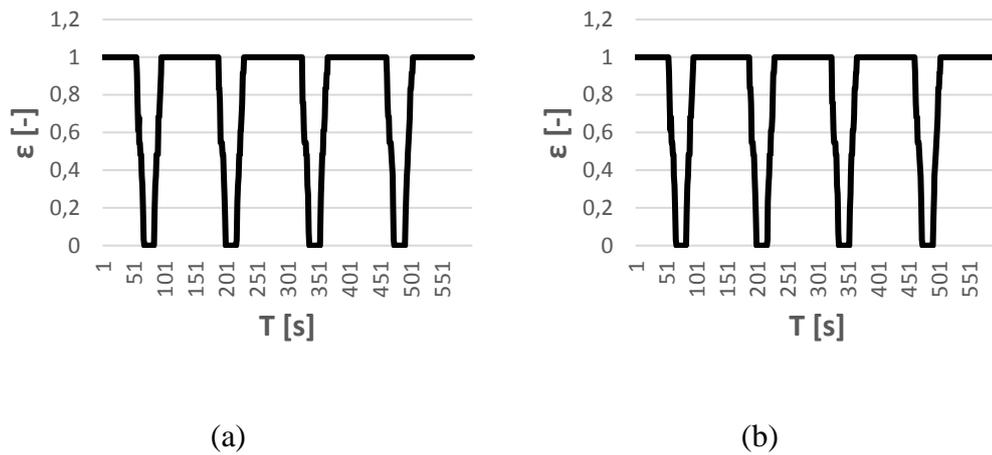
Fluida variabel pola aliran *plug* pada variasi J_G dan J_L seperti pada gambar 4.6 menunjukkan panjang pola yang merata disetiap alirannya.



Gambar 4. 1. Pola aliran *plug* (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

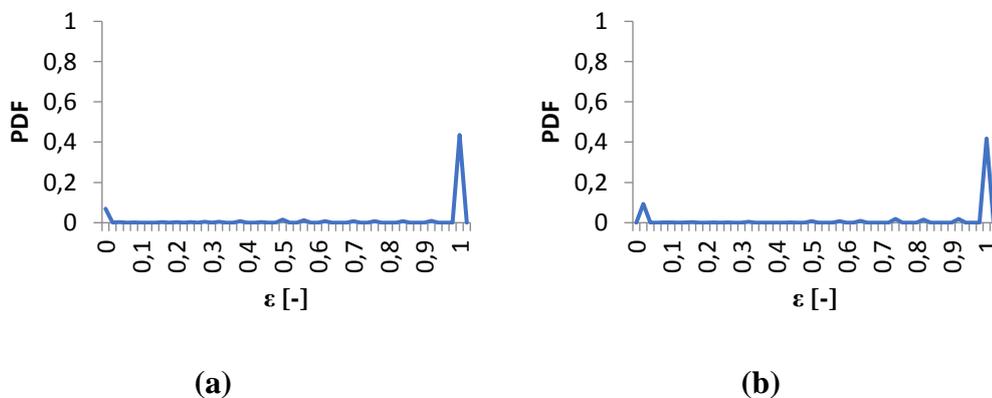
Gambar 4.1 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug* dan *short plug*. Pola aliran *short plug* biasanya muncul pada kecepatan superficial gas (J_G)

dan kecepatan superfisial fluida (J_L) berada pada kondisi yang cukup tinggi. Walaupun kecepatan superfisial gas nya sama pola yang terbentuk tidak bisa dikategorikan sama karena ada perbedaan kecepatan superfisial fluida yang mana membuat pola yang terbentuk menjadi berbeda yaitu pola *short plug* dan *long plug*.



Gambar 4. 2 Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

Gambar 4.2 menunjukkan grafik *time-Average* aliran *plug* dengan variabel nilai kecepatan superfisial gas dan (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, nilai fraksi hampa yang mencapai 1 pada kondisi dan rentang waktu tertentu, walaupun secara jenis *plug* berbeda. Hal ini dikarenakan aliran *plug* yang memenuhi diameter dalam pipa mini sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara

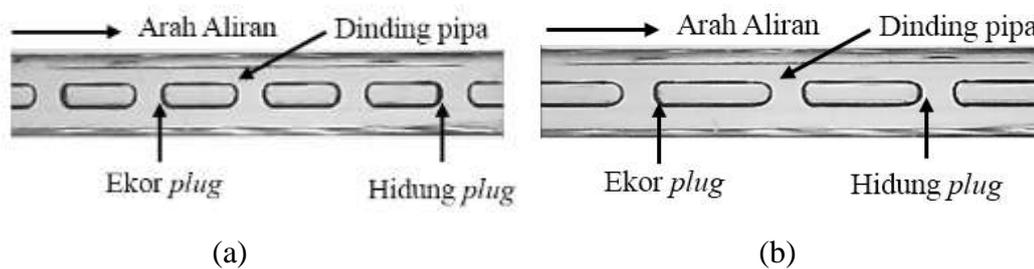


Gambar 4. 3 PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

Gambar 4.3 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 1 pada kecepatan superfisial gas yang sama namun berbeda pada kecepatan superfisial fluida. Dan nilai probabilitas yang hampir sama yaitu 0,42 untuk $J_L = 0,232$ m/s dan 0,43 untuk $J_L = 0,539$ m/s

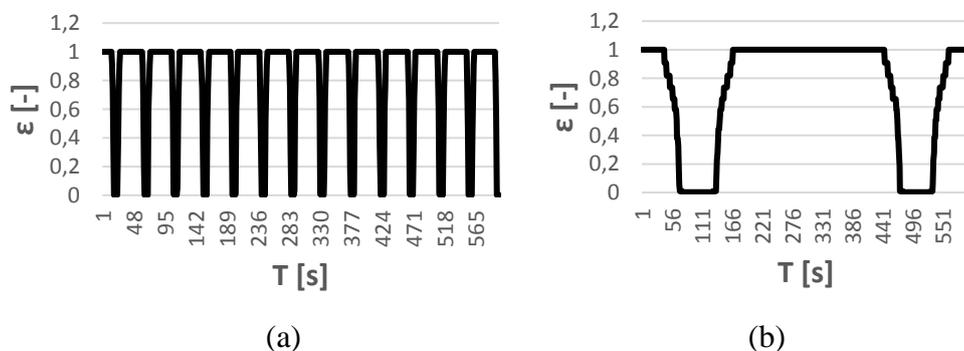
4.1.1.2 Persentase dengan campuran 50 % gliserin

Fluida variabel pola aliran *plug* pada variasi J_g dan J_L seperti pada gambar 4.6 menunjukkan panjang pola yang merata disetiap alirannya.



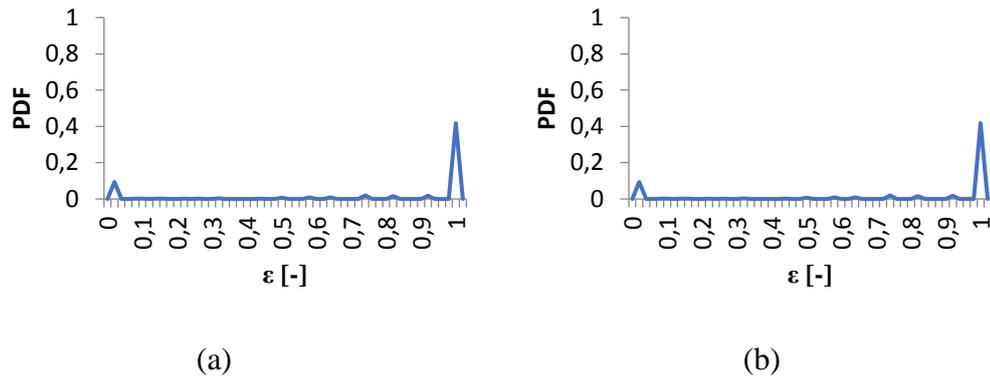
Gambar 4. 4. Pola aliran plug (a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.4 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug* dan *short plug* . Pola aliran *short plug* biasanya muncul pada kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial fluida (J_L) berada pada kondisi yang cukup tinggi. *Short plug* bisa didefinisikan sebagai *plug* yang *nose* dan *tail* saling berdekatan, sedangkan untuk aliran *long plug* muncul pada J_G dan J_L yang relatif rendah. Dan jarang antara *nose* dan *tail* saling berjauhan.



Gambar 4. 5 Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.5 menunjukkan grafik *time-Average* aliran *plug* dengan variabel nilai kecepatan superfisial gas dan (a) $J_G = 0,423$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, nilai fraksi hampa yang mencapai 1 pada kondisi dan rentang waktu tertentu. Hal ini dikarenakan aliran *plug* yang memenuhi diameter dalam pipa mini sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara.

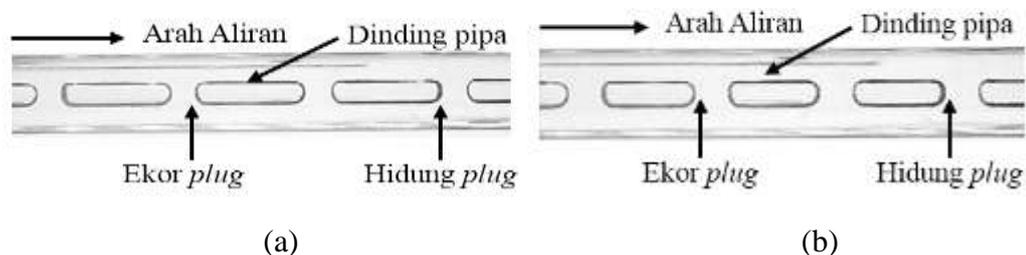


Gambar 4. 6 PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.6 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 1 dengan nilai probabilitas 0,45 pada $J_G = 0,423$ m/s, dan pada $J_G = 0,066$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 1 dengan nilai probabilitas 0,42

4.1.1.3 Persentase dengan campuran 60 % gliserin

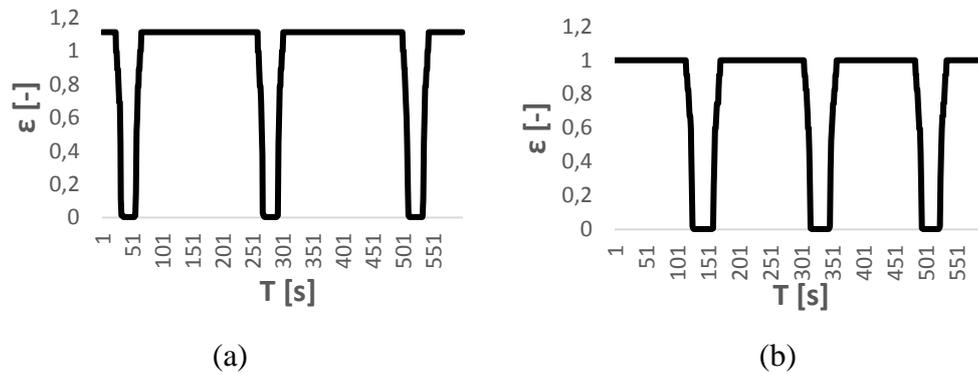
Dapat dilihat pada gambar 4.7, pola aliran *plug* dengan campuran viskositas 40% gliserin.



Gambar 4. 7. Pola aliran *plug* (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

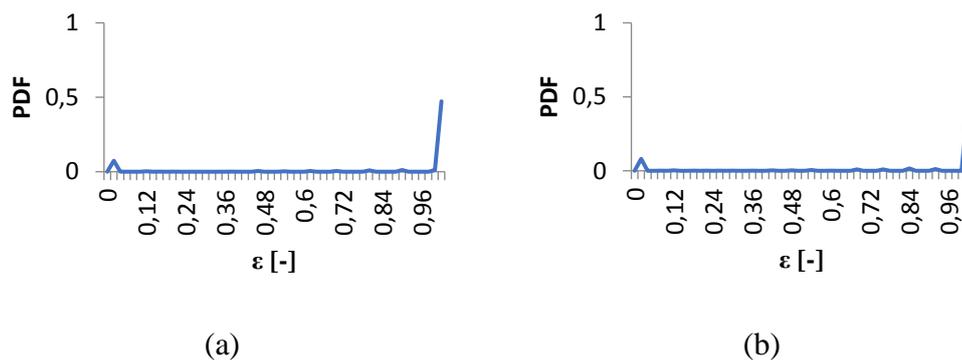
Gambar 4.6 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis *long plug* dan *short plug*. Pola aliran *short plug* biasanya muncul pada kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial fluida (J_L) berada pada kondisi yang cukup tinggi. *Short*

plug bisa didefinisikan sebagai *plug* yang *nose* dan *tail* saling berdekatan, sedangkan untuk aliran *long plug* muncul pada J_G dan J_L yang relatif rendah. Dan jarak antara *nose* dan *tail* saling berjauhan.



Gambar 4. 8. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.8 menunjukkan grafik *time-Average* aliran *plug* dengan variabel nilai kecepatan superfisial gas dan fluida (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s, nilai fraksi hampa yang hampir mencapai 1 pada kondisi dan rentang waktu tertentu. Hal ini dikarenakan aliran *plug* yang hampir memenuhi diameter dalam pipa mini sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara.

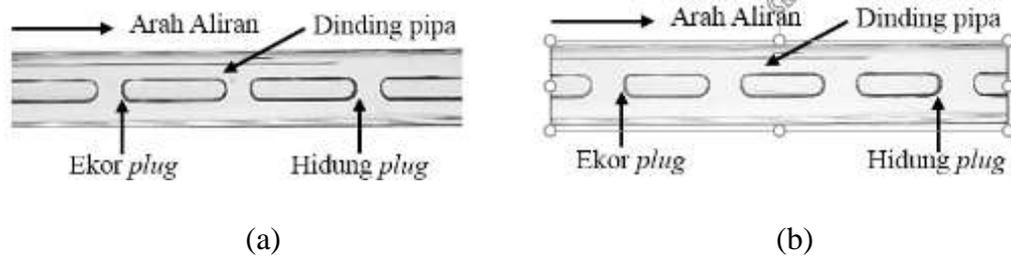


Gambar 4. 9 Grafik PDF terhadap fraksi hampa aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.9 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,5 pada $J_G = 0,025$ m/s, dan pada $J_G = 0,116$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,99 dengan nilai probabilitas 0,4

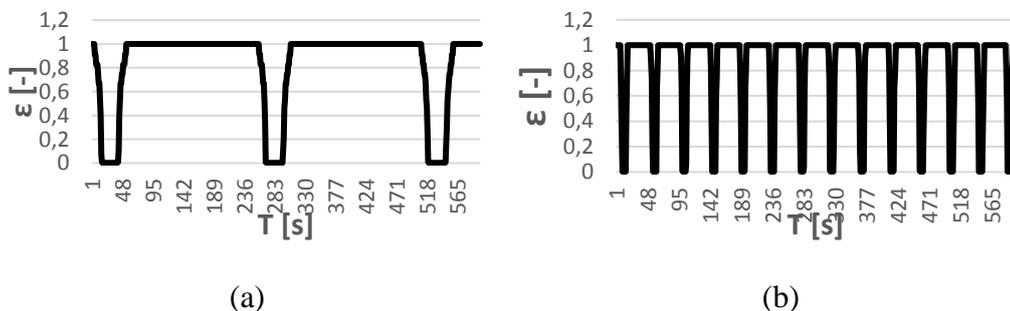
4.1.1.4 Persentase dengan campuran 70 % gliserin

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



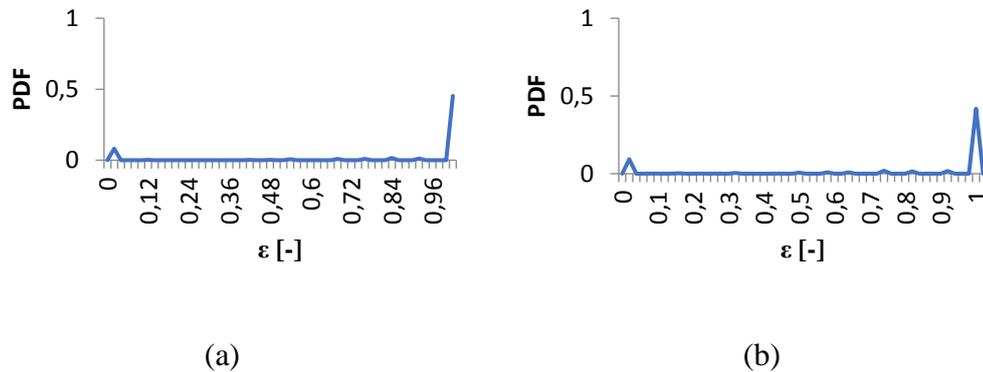
Gambar 4. 10. Pola aliran plug (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa *plug* udara terdiri dari dua jenis plug, yaitu *long plug* dan *short plug*. *Short plug* adalah plug dimana *tail* dan *nose* memiliki jarak yang berdekatan. Sedangkan *long plug* untuk bagian *tail* dan *nose* memiliki jarak yang berjauhan.



Gambar 4. 11. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Gambar 4.11 menjelaskan nilai fraksi hampa pada kedua variasi J_G dan J_L di atas hampir mencapai angka 1 pada kondisi dan rentang waktu tertentu. Hal tersebut terjadi karena disebabkan oleh aliran *plug* yang hampir memenuhi diameter dalam pipa sehingga fase yang dominan adalah fase udara.



Gambar 4. 12. Grafik PDF terhadap fraksi hampa aliran plug pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

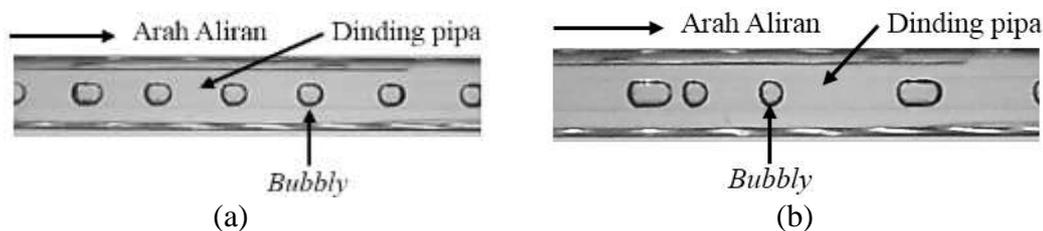
Gambar 4.12 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,44 pada $J_G = 0,066$ m/s, dan pada $J_G = 0,116$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,99 dengan nilai probabilitas 0,4.

4.1.2 Fraksi Hampa untuk Pola Bubbly

Pola aliran *bubbly* biasanya terjadi diawali dengan munculnya gelembung-gelembung udara yang berbentuk bulatan kecil yang mengambang diantara diameter dalam pipa. Pola aliran ini terbentuk pada saat variasi kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial fluida (J_L) tinggi.

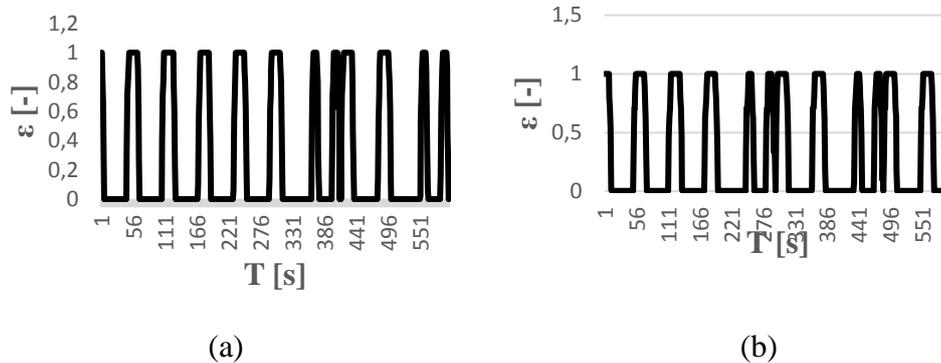
4.1.2.1 Persentase dengan Campuran 40% Gliserin

Pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung yang melayang diantara batas dinding pipa. Pola aliran ini biasanya muncul pada saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial fluida (J_L) tinggi.



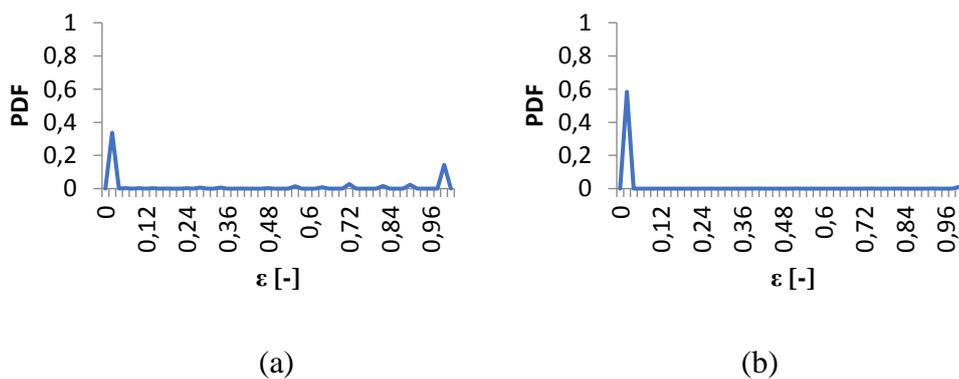
Gambar 4. 13. Pola aliran bubbly (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Pada variabel pola ini aliran *bubbly* muncul dengan frekuensi paling banyak dibanding persentasi 50%, 60%, dan 70%. Gambar 4.13 menunjukkan bentuk pola yang menyerupai lingkaran tetapi tidak sempurna, dan besarnya lebih hampir menyamai diameter pipa.



Gambar 4. 14. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa nilai fraksi hampa pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s hampir mencapai 1. Hal ini terjadi karena pola aliran *bubbly* yang hampir menutupi bagian dalam pipa.

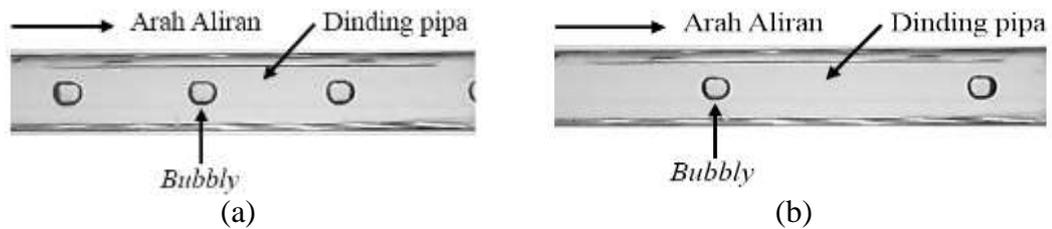


Gambar 4. 15. PDF aliran bubbly pada (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Gambar 4.15 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola *plug* yaitu 0,98 dengan nilai probabilitas 0,44 pada $J_G = 0,207$ m/s, dan pada $J_G = 0,149$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,99 dengan nilai probabilitas 0,4.

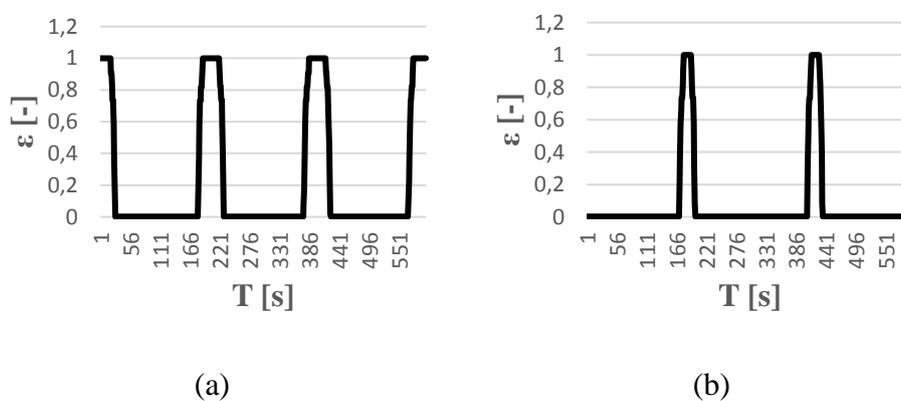
4.1.2.2 Persentase dengan Campuran 50% Gliserin

Pola aliran *bubbly* pada pasangan J_G dan J_L ini muncul dengan frekuensi yang lebih sedikit dibanding dengan dengan persentase campuran gliserin 40%. Pola aliran *bubbly* pada campuran gliserin dengan persentase 50% dapat dilihat pada gambar 4.16.



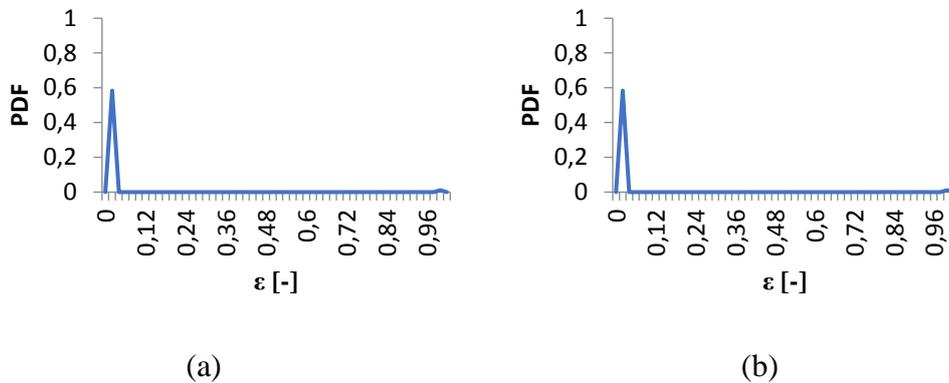
Gambar 4. 16. Pola aliran bubbly (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

Pada persentasi dengan campuran 50% gliserin ini, frekuensi pola aliran *bubbly* sedikit menurun dibanding dengan campuran 40% gliserin. Pola aliran *bubbly* yang hampir berbentuk bulat sempurna ini, juga hampir memenuhi dinding bagian dalam pipa.



Gambar 4. 17. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

Pada gambar 4.17. menunjukkan grafik *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s cukup teratur, hanya saja terdapat perbedaan pada frekuensi banyaknya pola aliran *bubbly*.

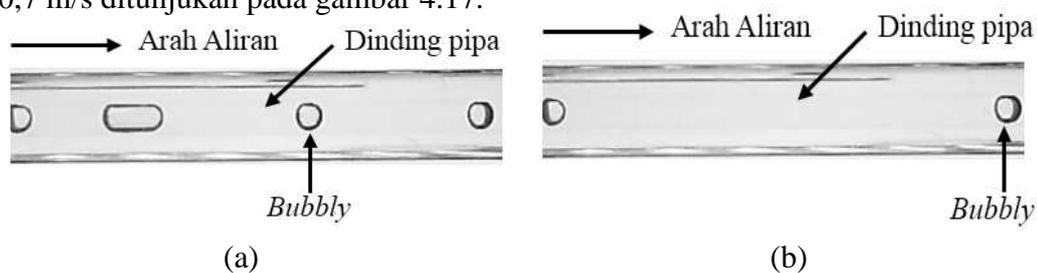


Gambar 4. 18. PDF aliran bubbly pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada gambar 4.18. menunjukkan bahwa nilai fraksi hampa pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s yang paling dominan adalah 0,02 dengan nilai probabilitas yang sama yaitu 0,59. Hal ini bisa terjadi karena kecepatan superfisial gas yang sama dan kecepatan superfisial fluida yang tidak jauh berbeda.

4.1.2.3 Persentase dengan Campuran 60% Gliserin

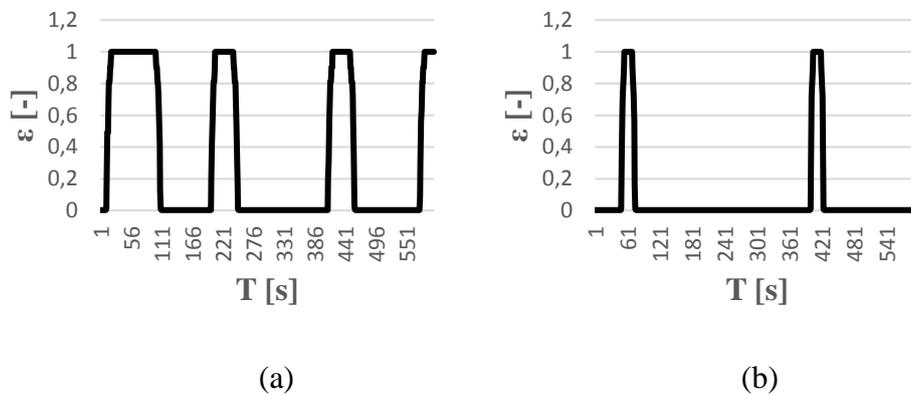
Pola aliran *bubbly* dengan variabel ini muncul dengan frekuensi lebih sedikit dari variabel 40% dan 50% sebelumnya. Pola aliran *bubbly* pada persentase campuran 50% dengan $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4. 19. Pola aliran bubbly (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

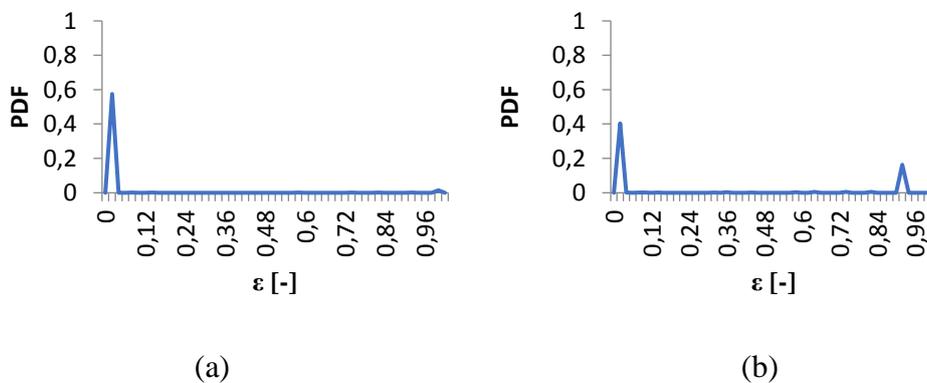
Gambar 4.19 menunjukkan bahwa frekuensi kemunculan *bubbly* tidak sebanyak campuran gliserin dengan persentase 40% dan 50%. Pola aliran *bubbly* dengan bentuk hampir bulat sempurna. Pada gambar (a) aliran *bubbly* diikuti

dengan aliran *plug* dengan jarak yang hampir sama. Sedangkan pada gambar (b) jarak antar *bubbly* sangat jauh.



Gambar 4. 20. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Pola aliran *bubbly* biasanya diawali dengan dengan munculnya pola aliran *plug*. Aliran *plug* mengakibatkan naiknya nilai fraksi hampa, hal ini juga mengakibatkan grafik *Time-Average* pada gambar (a) sedikit tidak teratur.

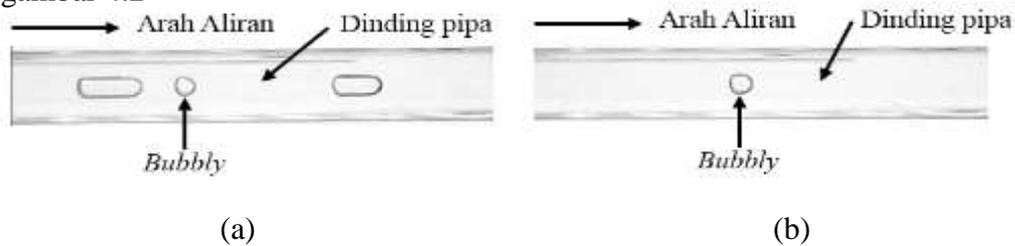


Gambar 4. 21. PDF aliran bubbly pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* pada pasangan variabel yang ditunjukkan pada gambar 4.21 menunjukkan bahwa (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s memiliki nilai probabilitas 0,58 dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s memiliki nilai probabilitas yang sama dengan gambar (a) yaitu 0,58.

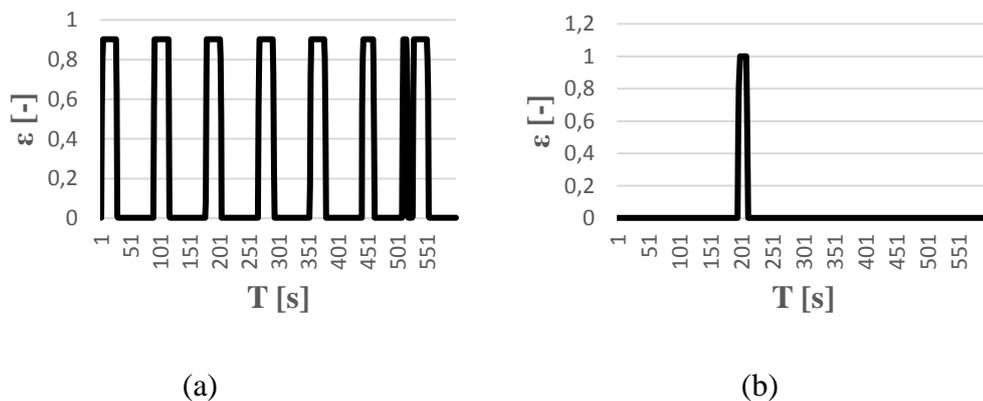
4.1.2.4 Persentase dengan Campuran 70% Gliserin

Pola aliran *bubbly* dengan variabel ini muncul dengan frekuensi paling sedikit dari variabel lainnya. Pola aliran *bubbly* pada persentase campuran 70% dengan $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 1,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s ditunjukkan pada gambar 4.2



Gambar 4. 22. Pola aliran bubbly (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

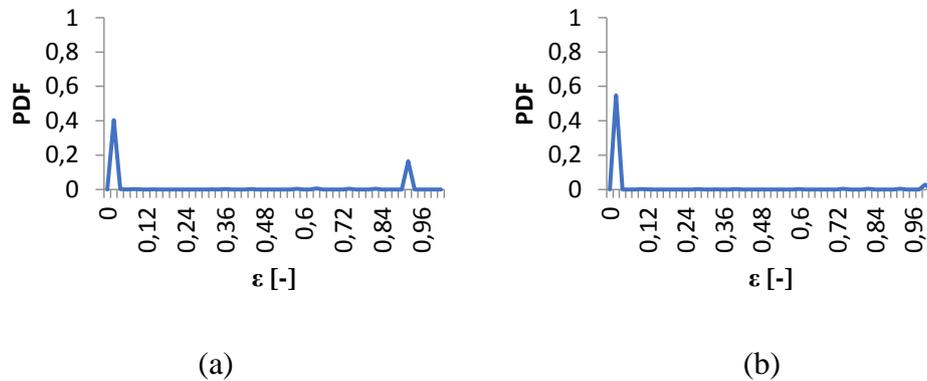
Gambar 4.22 menunjukkan bahwa frekuensi kemunculan *bubbly* tidak sebanyak campuran gliserin dengan persentase lainnya, bahkan yang paling sedikit. Pola aliran *bubbly* dengan bentuk hampir bulat sempurna. Pada gambar (a) aliran *bubbly* diikuti dengan aliran *plug* dengan jarak yang tidak beraturan. Sedangkan pada gambar (b) jarak antar *bubbly* sangat jauh.



Gambar 4. 23. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 1,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Pola aliran *bubbly* biasanya diawali dengan dengan munculnya pola aliran *plug*. Aliran *plug* mengakibatkan naiknya nilai fraksi hampa, hal ini juga mengakibatkan grafik *Time-Average* pada gambar (a) sedikit tidak teratur.

Sedangkan karena memiliki frekuensi yang kecil sehingga hanya terdapat satu pola aliran, seperti yang ditunjukkan pada gambar (b).



Gambar 4. 24. PDF aliran bubbly pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 1,879$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

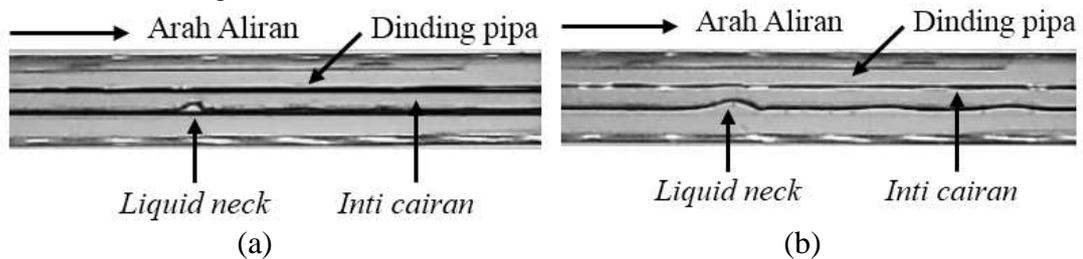
Gambar 4.24 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola *plug* yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,4 pada $J_G = 0,25$ m/s gambar (a), dan pada $J_G = 0,025$ m/s gambar (b) nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,58.

4.1.3 Fraksi Hampa untuk Pola Slug-Annular

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

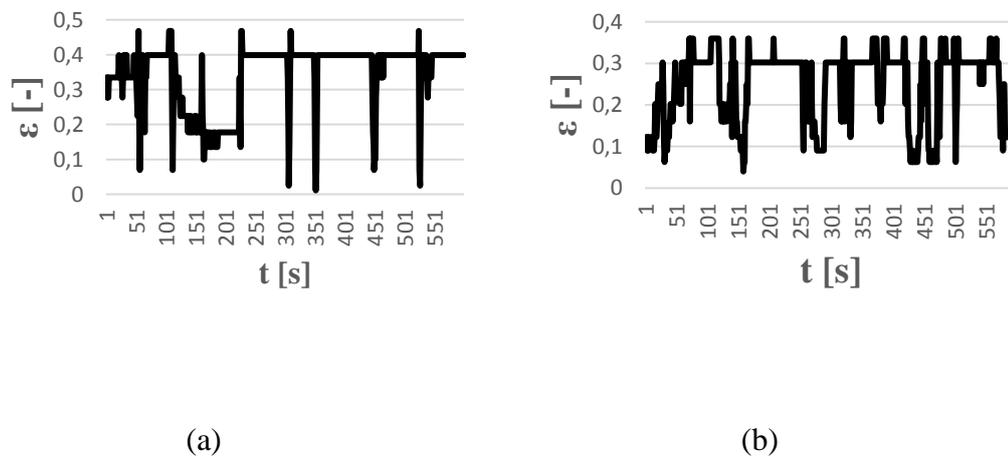
4.1.3.1 Persentase dengan Campuran 40% Gliserin

Gambar 4.25 menunjukkan pola aliran *slug-annular* dengan campuran viskositas 40% gliserin.



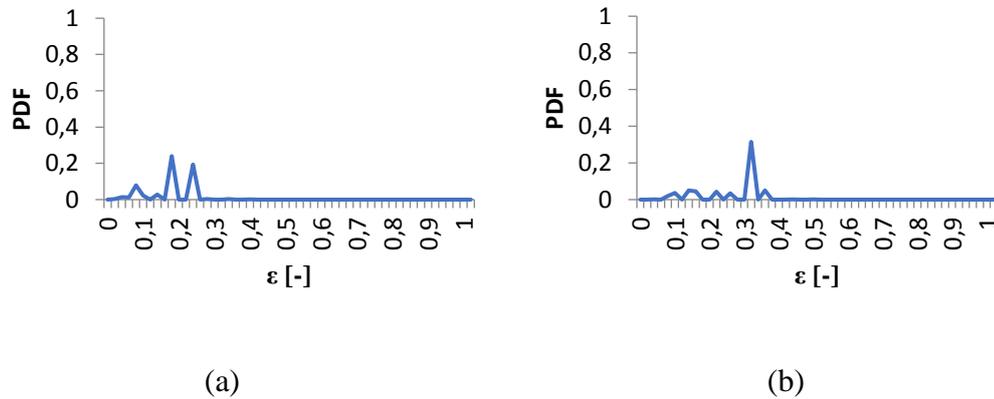
Gambar 4. 25. Pola aliran slug-annular (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$

Gambar 4.25 menunjukkan bahwa terjadi sejenis *liquid neck* yang disebabkan oleh udara yang menembus film cairan pola aliran *plug*. Sehingga pada suatu titik, kecepatan superfisial tertentu dua buah kantong udara akan menjadi satu kesatuan.



Gambar 4. 26. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Gambar 4.26 menunjukkan nilai fraksi hampa pada pola aliran churn. 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.

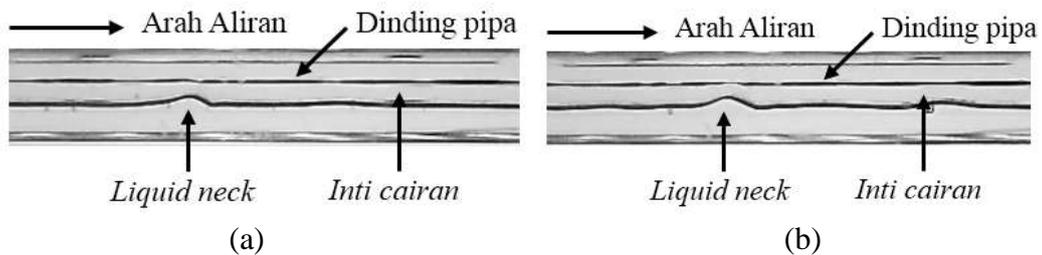


Gambar 4. 27. PDF aliran slug-annular pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Gambar 4.27 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,18 dengan nilai probabilitas 0,23 pada $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan pada $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,32 dengan nilai probabilitas 0,38.

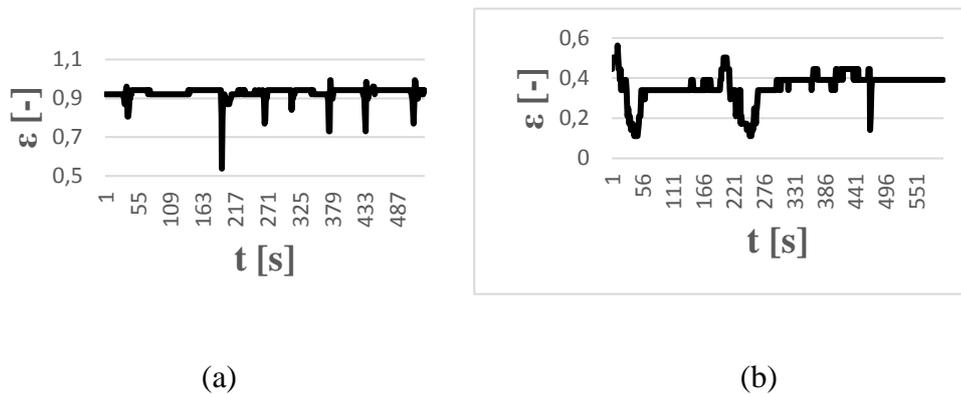
4.1.3.2 Persentase dengan Campuran 50% Gliserin

Gambar 4.28 menunjukkan pola aliran *slug-annular* dengan campuran viskositas 50% gliserin



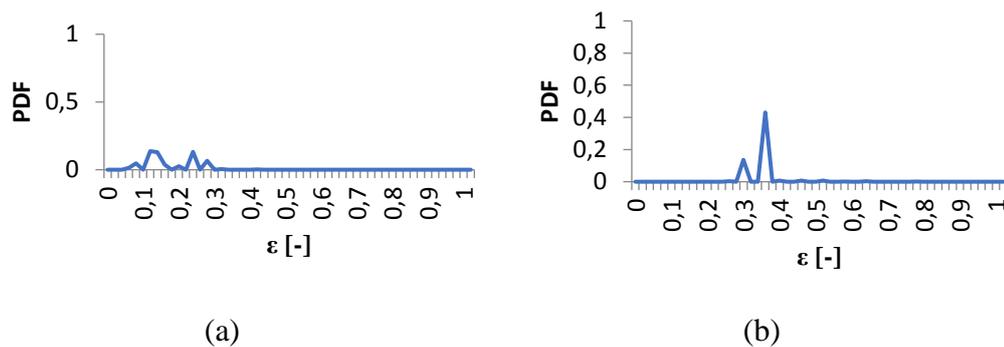
Gambar 4. 28. Pola aliran slug-annular (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Pada gambar 4.28 pada gambar (b) dengan variasi $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ terdapat *fruit bubble* kecil seperti menempel pada dinding pipa.



Gambar 4. 29. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

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

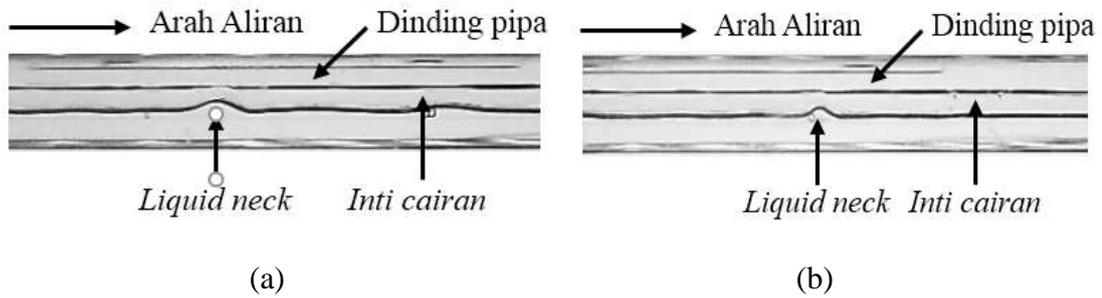


Gambar 4. 30. PDF aliran slug annular pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Gambar 4.30 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,14 dan 0,22 dengan nilai probabilitas 0,18 pada $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan pada $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,36 dengan nilai probabilitas 0,42

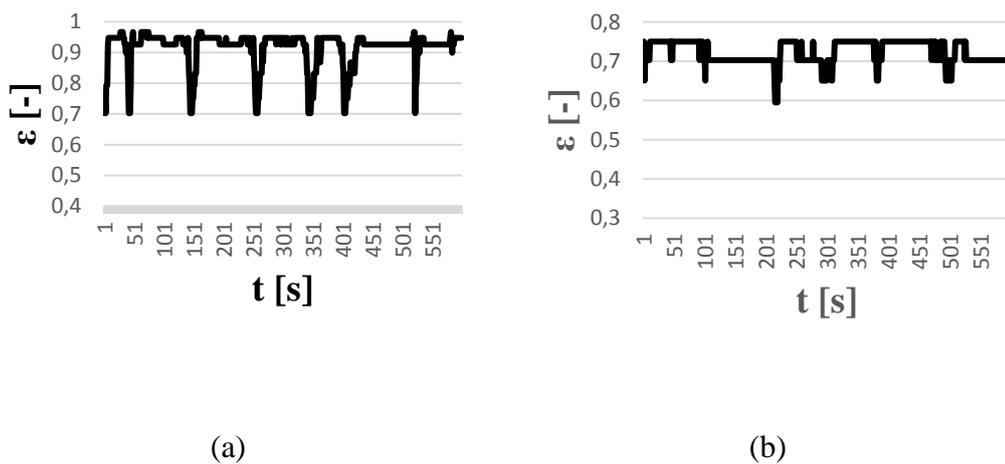
4.1.3.3 Persentase dengan Campuran 60% Gliserin

Gambar 4.31 menunjukkan pola aliran *slug-annular* dengan campuran viskositas 50% gliserin



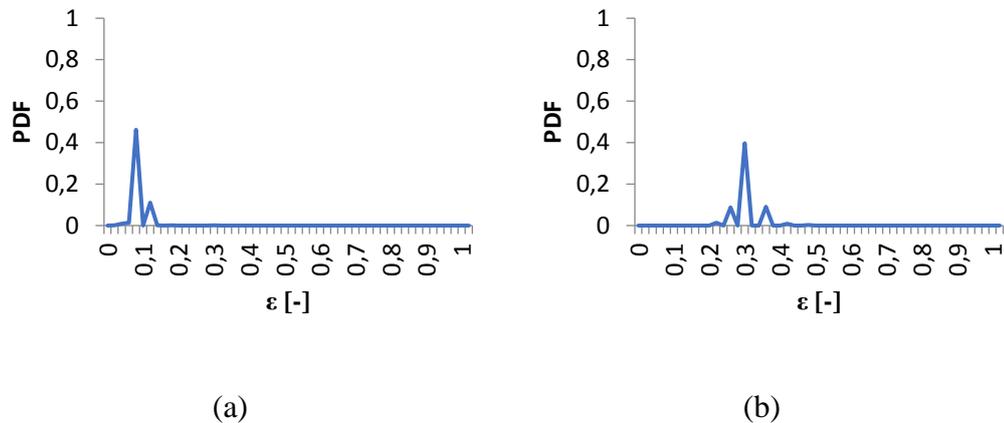
Gambar 4. 31. Pola aliran slug-annular (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Gambar 4.31 menunjukkan pola aliran *slug-annular* variabel ini memiliki *liquid neck* yang lebih sedikit dibandingkan variabel sebelumnya. Hal tersebut disebabkan oleh viskositas cairan yang meningkat menyebabkan cairan akan lebih sulit membentuk *liquid neck*.



Gambar 4. 32. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Gambar 4.32 menunjukkan kenaikan pada grafik lebih sedikit dari variabel sebelumnya. Hal ini terjadi karena aliran *liquid neck* yang lebih sedikit dibanding variabel sebelumnya karena pengaruh dari viskositas.

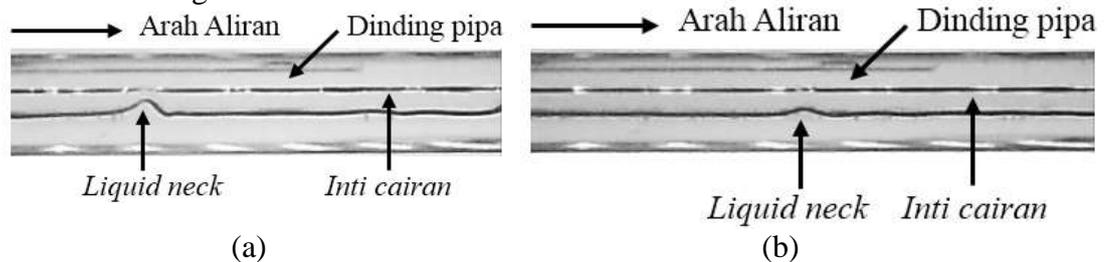


Gambar 4. 33. PDF aliran slug-annular pada (a) $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Gambar 4.33 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,09 dengan nilai probabilitas 0,44 pada $J_G = 7 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ dan pada $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,3 dengan nilai probabilitas 0,4

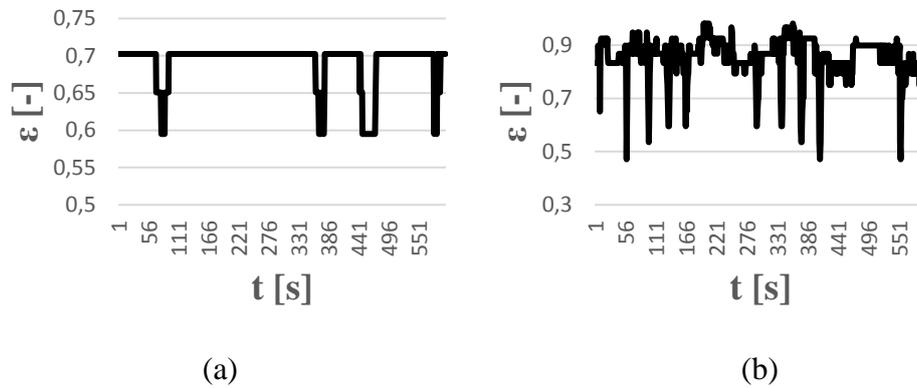
4.1.3.4 Persentase dengan Campuran 70% Gliserin

Gambar 4.34 menunjukkan pola aliran *slug-annular* dengan campuran viskositas 50% gliserin



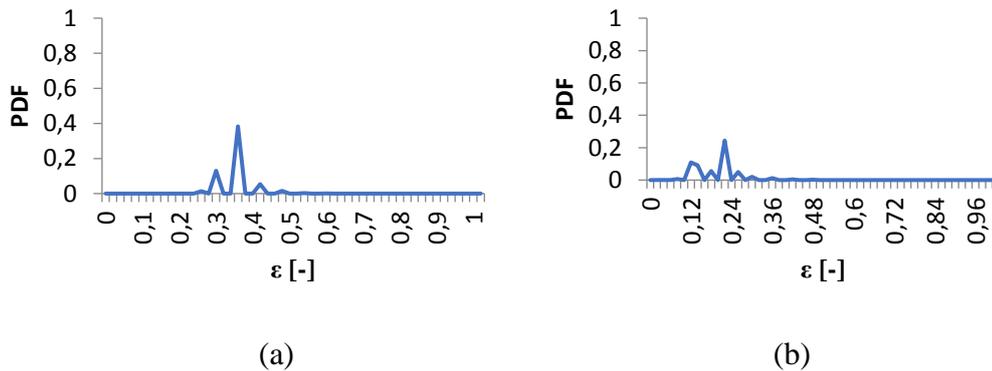
Gambar 4. 34. Pola aliran slug-annular (a) $J_G = 4,238 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$ dan (b) $J_G = 9,62 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Pada gambar 4.34 menunjukkan pola aliran *slug-annular* variabel ini memiliki *liquid neck* yang paling sedikit diantara variabel lainnya. Hal tersebut disebabkan oleh viskositas yang semakin kental membuat film cairan semakin sulit untuk membentuk *liquid neck*.



Gambar 4. 35. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ 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 aliran slug-annular pada (a) $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 9,62$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

Gambar 4.36 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,35 dengan nilai probabilitas 0,42 pada $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,23 dengan nilai probabilitas 0,24

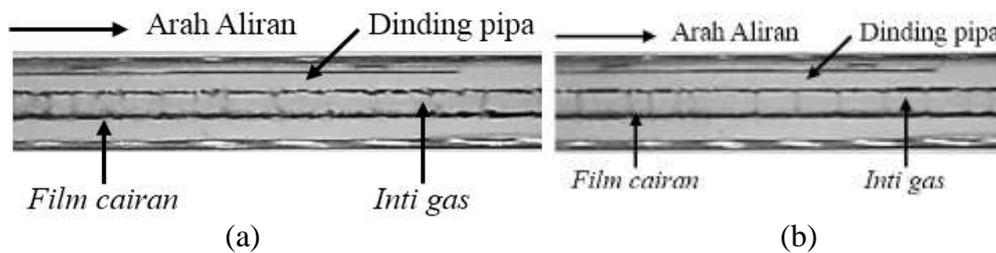
4.1.4 Fraksi Hampa untuk Pola Annular

Pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana (J_G) lebih tinggi dibandingkan kecepatan (J_L), hal ini mengakibatkan udara menembus bagian dari tengah lapisan film fluida sehingga mendorong lapisan film fluida terdistribusi secara merata dan

simetris pada bagian dinding pipa. Penyebabnya ialah karena fase gas melewati bagian tengah pipa atau tengah-tengah fase cair. Pola *annular* bisa juga disebut sebagai kelanjutan dari pola *slug-annular*.

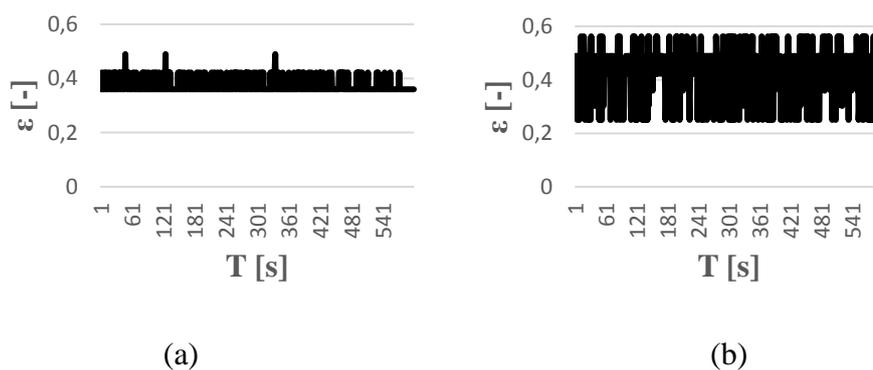
4.1.3.5 Persentase dengan Campuran 40% Gliserin

Pola annular sendiri jika dilihat secara visual, pada bagian dinding pipa bagian dalam terlihat seperti bergerigi, yang mana bagian gerigi tersebut adalah fase cair. Sedangkan pada bagian tengah yang kosong adalah fase udara. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.37.



Gambar 4. 37. Pola aliran annular (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

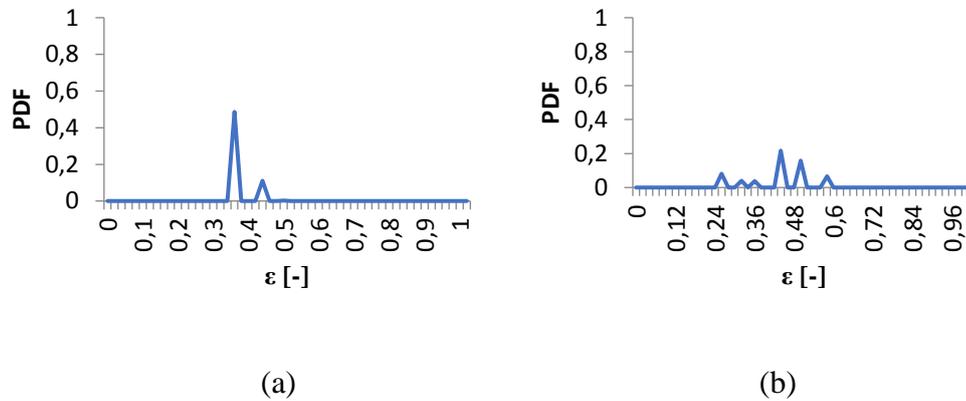
Gambar 4.37 menunjukkan terdapat perbedaan pada pola aliran *annular* di atas. Pada pola (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s fase cair pada bagian dinding pipa lebih bergerigi dibanding dengan gambar (b). Hal ini terjadi karena adanya perbedaan kecepatan superfisal cairan (J_G)



Gambar 4. 38. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Pada gambar 4.38 menunjukkan perbedaan pada gambar pada (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s fraksi hampa tidak jauh

berbeda, pada angka 0,4. Hanya saja pada gambar (b) jarak antara frekuensi fraksi hampa yang muncul lebih besar.

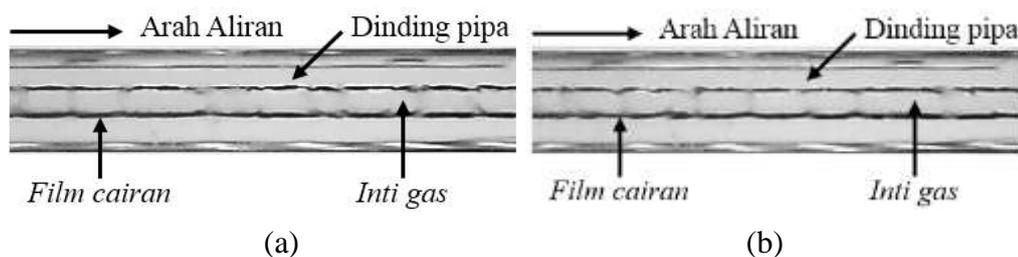


Gambar 4. 39. PDF aliran annular pada (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.39 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,36 dengan nilai probabilitas 0,44 pada) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan pada $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s fraksi hampa yang paling dominan adalah 0,44 dengan nilai probabilitas 0,23

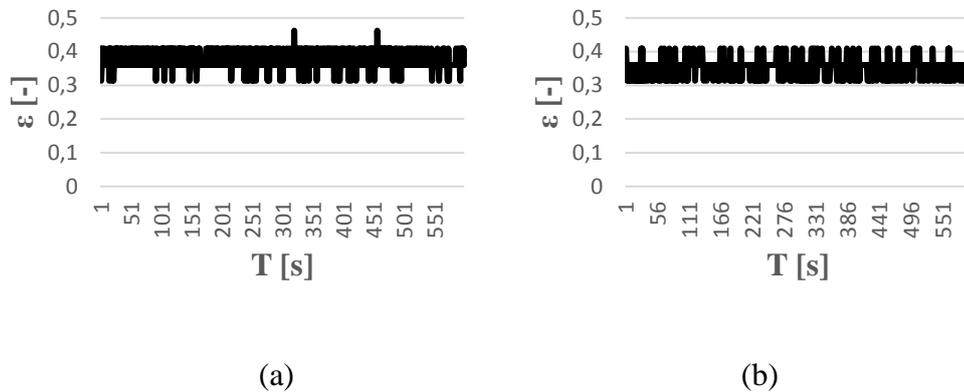
4.1.3.6 Persentase dengan Campuran 50% Gliserin

Pola *annular* pada persentase 50% gliserin dapat ditunjukkan pada gambar 4.40



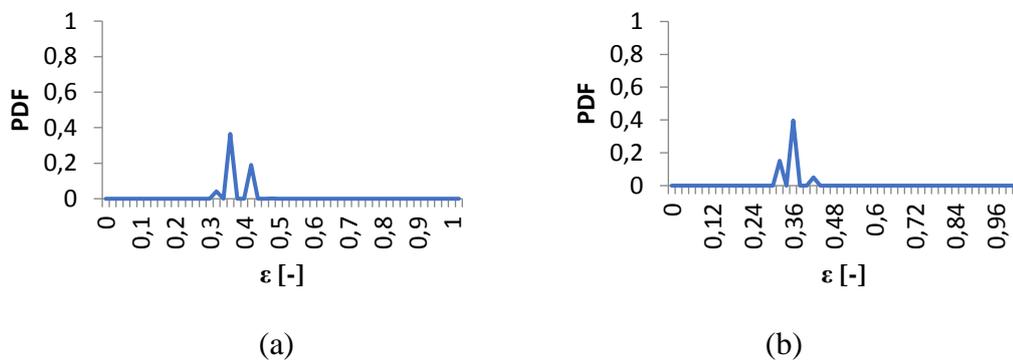
Gambar 4. 40. Pola aliran bubbly (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Pada pola aliran 50% tidak ada perbedaan yang signifikan dengan pola aliran sebelumnya. Hal ini dikarenakan viskositas pada pola aliran *annular* tidak mempunyai pengaruh yang begitu besar sehingga tidak terlihat perbedaan seperti pada gambar 4.40.



Gambar 4. 41. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Pada gambar 4.41 menunjukkan nilai fraksi hampa hampir sama antara gambar (a) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s dan gambar (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s. Walaupun begitu pada gambar (a) menunjukkan adanya sedikit kenaikan pada grafik fraksi hampa tetapi tidak terlalu drastis.

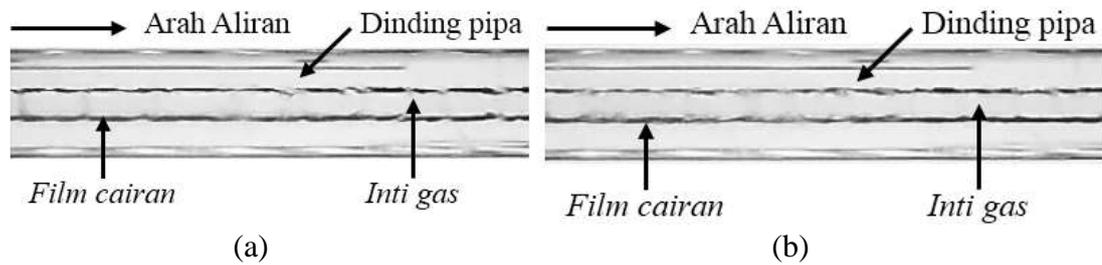


Gambar 4. 42. PDF aliran annular pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.42 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,36 dengan nilai probabilitas 0,4 pada gambar (a) dan 0,36 dengan nilai probabilitas 0,38.

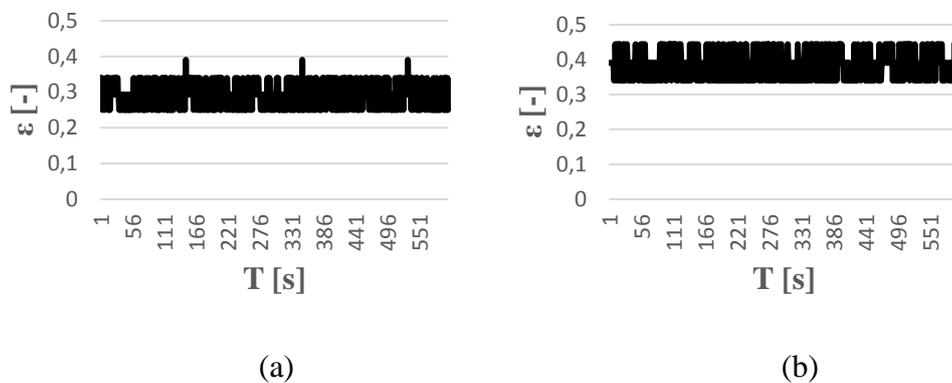
4.1.3.7 Persentase dengan Campuran 60% Gliserin

Pola aliran *annular* pada persentase 60% gliserin dapat ditunjukkan pada gambar 4.43.



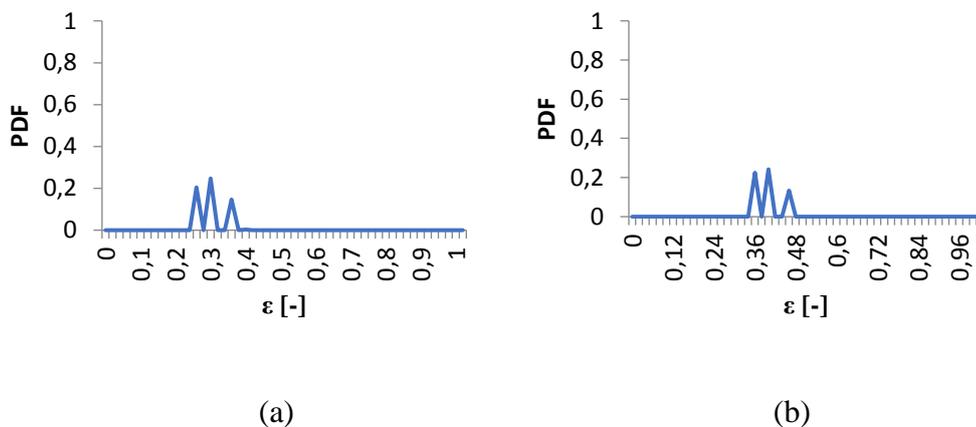
Gambar 4. 43. Pola aliran annular (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Pada gambar 4.43 menunjukkan perbedaan antara gambar (a) dan (b) tidak terlalu terlihat, walaupun perbandingan (J_G) dan (J_L) jauh lebih besar.



Gambar 4. 44. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.44 menunjukkan fraksi hampa pada pada variabel berikut mengalami kenaikan dan penurunan tetapi tidak terlalu signifikan.

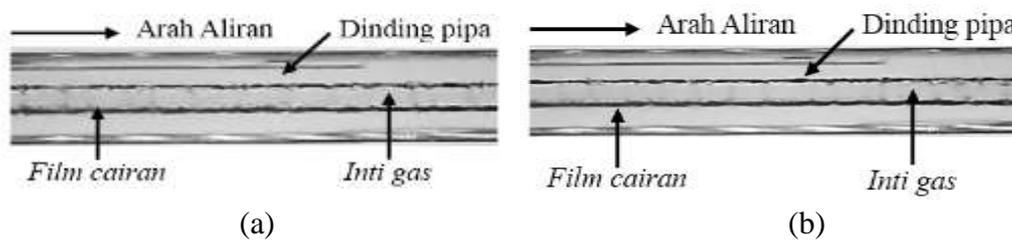


Gambar 4. 45. PDF aliran annular pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

Gambar 4.45 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,3 dengan nilai probabilitas 0,32 pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan 0,4 dengan nilai probabilitas yang sama yaitu 0,32 pada Gambar 4.32. PDF aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s

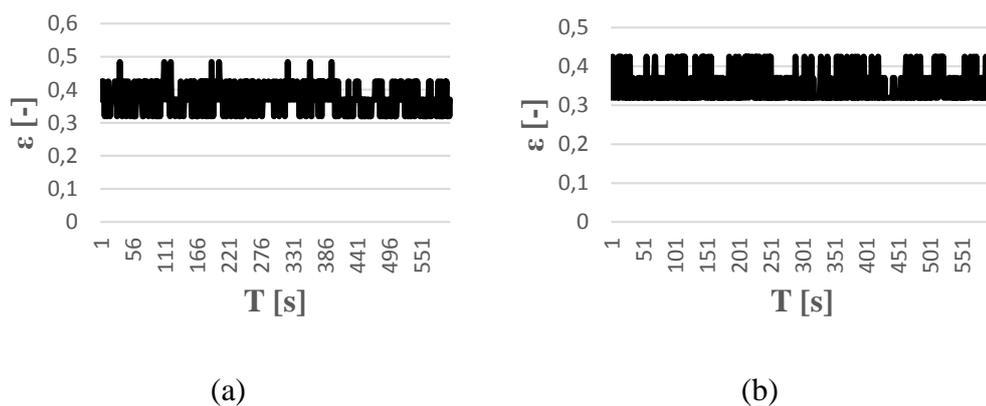
4.1.3.8 Persentase dengan Campuran 70% Gliserin

Pola aliran *annular* pada persentase 70% gliserin dapat ditunjukkan pada gambar 4.46.



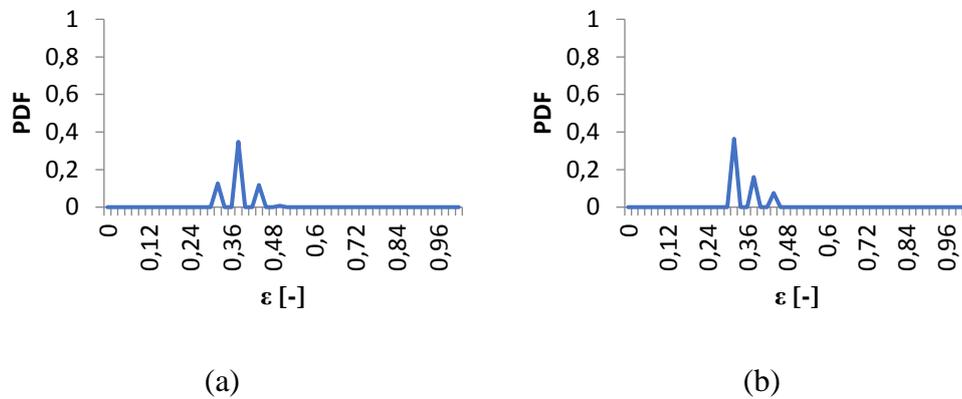
Gambar 4. 46. Pola aliran annular (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Pola aliran *annular* pada gambar 4.46 secara visual perbedaannya tidak terlalu signifikan, tetapi secara teori gambar (b) gelombang pada dinding pipa akan lebih tipis dibandingkan dengan 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) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.47 menunjukkan fraksi hampa pada variabel berikut mengalami kenaikan dan penurunan tetapi tidak terlalu signifikan.



Gambar 4. 48. PDF aliran annular pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

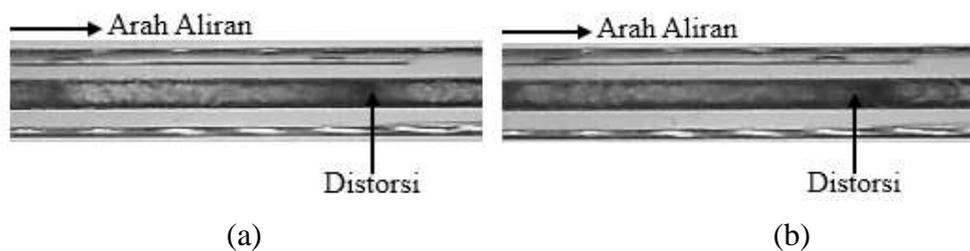
Gambar 4.48 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,38 dengan nilai probabilitas 0,38 pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan pada $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,32 dengan nilai probabilitas 0,38.

4.1.5 Fraksi Hampa untuk Pola 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.

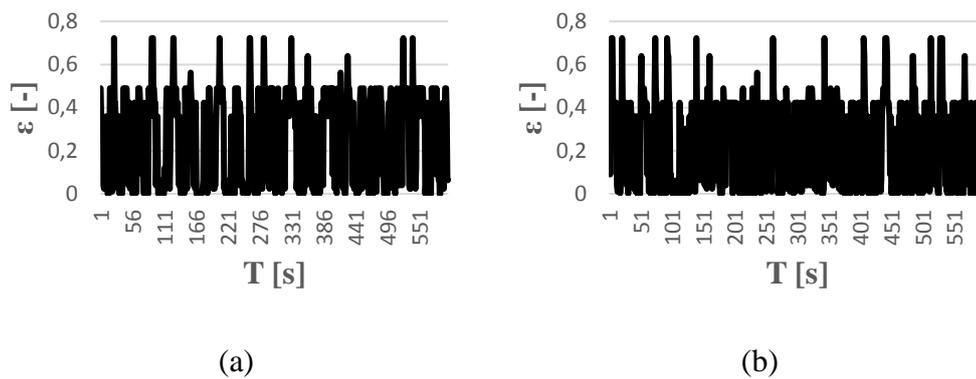
4.1.4.1 Persentase dengan Campuran 40%

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



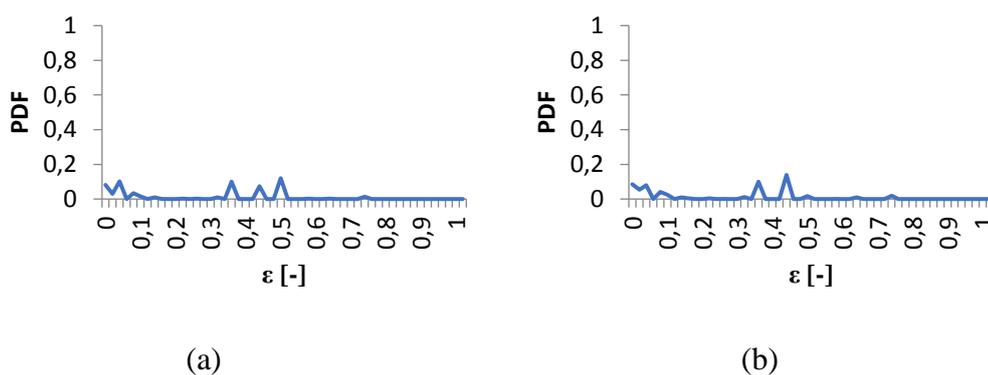
Gambar 4. 49. Pola aliran churn (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.49 menunjukkan pola yang sangat tidak beraturan pada bagian ekor. Jika kecepatan superfisial gas (J_G) mengalami kenaikan, akan menyebabkan perbedaan terhadap distorsi yang terjadi. Distorsi adalah kesetidakstabilan suatu pola aliran yang terjadi karena pengaruh kecepatan superfisial gas dan cairan yang tinggi. 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) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.50 menunjukkan grafik 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 mendekati nilai 0 yang mana hal tersebut tidak terjadi distorsi.



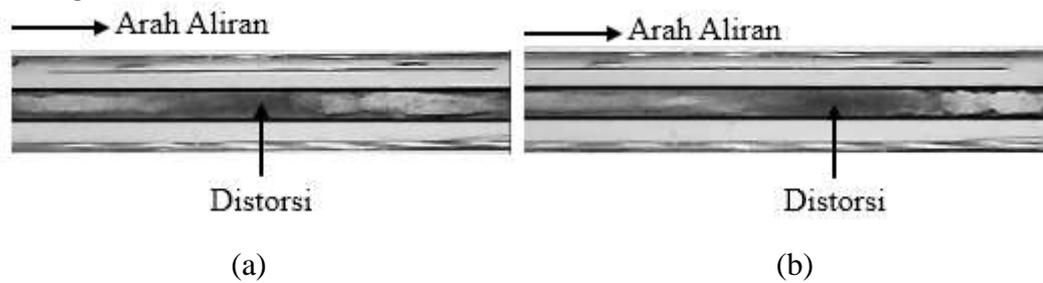
Gambar 4. 51. PDF aliran churn pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.51 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,5 dengan nilai probabilitas 0,2 pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan

pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s fraksi hampa yang mendominasi adalah 0,42 dengan nilai probabilitas 0,2.

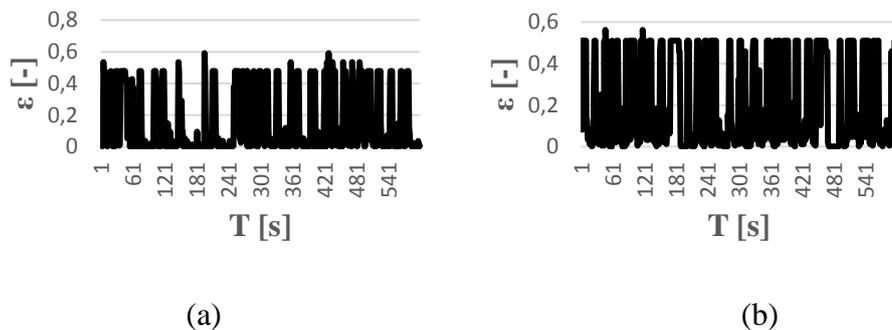
4.1.4.2 Persentase dengan Campuran 50%

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



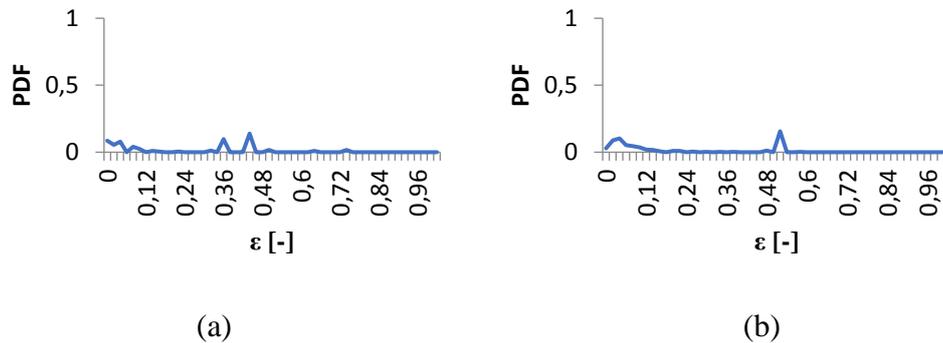
Gambar 4. 52. Pola aliran churn (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Pada gambar 4.52 dapat dilihat bahwa adanya ketidakstabilan aliran yang terdapat di bagian ekor, hal tersebut mengakibatkan terbentuknya pola aliran *churn*. Kenaikan kecepatan superfisial gas (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) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.53 menunjukkan fraksi hampa pada pola aliran *churn*. Kenaikan kecepatan superfisial gas mempengaruhi distorsi. Dan pada kedua variabel J_G dan J_L di atas pada rentang waktu tertentu fraksi hampa menurun drastis sampai mendekati nilai 0 yang menunjukkan bahwa tidak terjadi distorsi sama sekali.

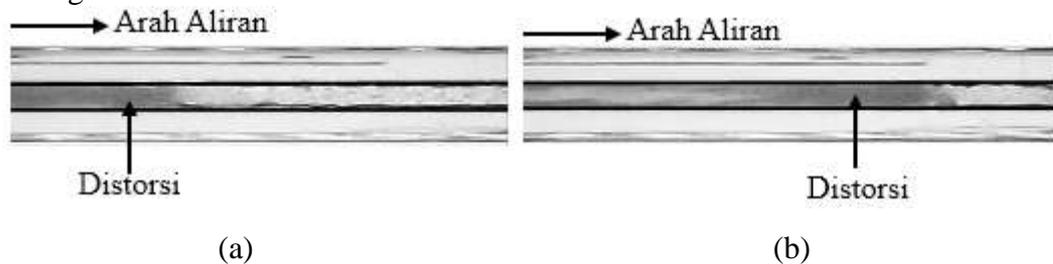


Gambar 4. 54. PDF aliran churn pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.54 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran churn yaitu 0,4 dengan nilai probabilitas 0,2 pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,52 dengan nilai probabilitas yang sama 0,2.

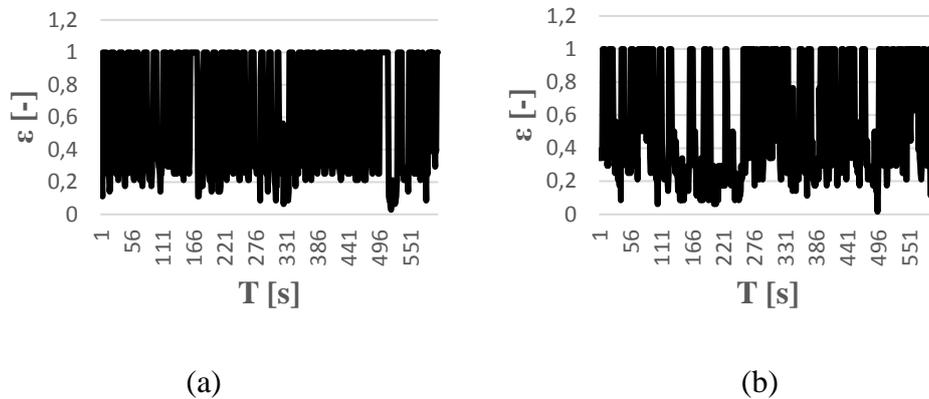
4.1.4.3 Persentase dengan Campuran 60%

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



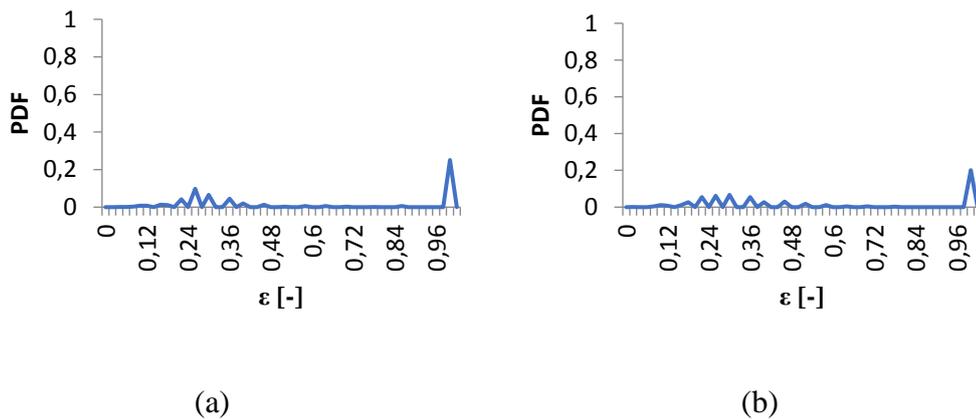
Gambar 4. 55. Pola aliran churn (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.55 menunjukkan pola aliran *churn* tidak jauh berbeda dengan pola aliran *churn* dengan persentase sebelumnya.



Gambar 4. 56. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

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

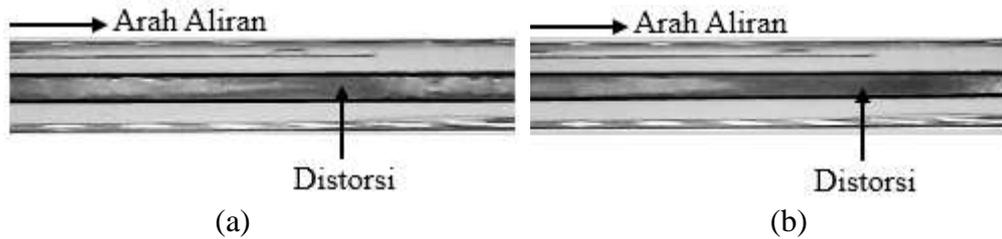


Gambar 4. 57. PDF aliran churn pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.57 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,99 dengan nilai probabilitas 0,32 pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,99 dengan nilai probabilitas 0,3

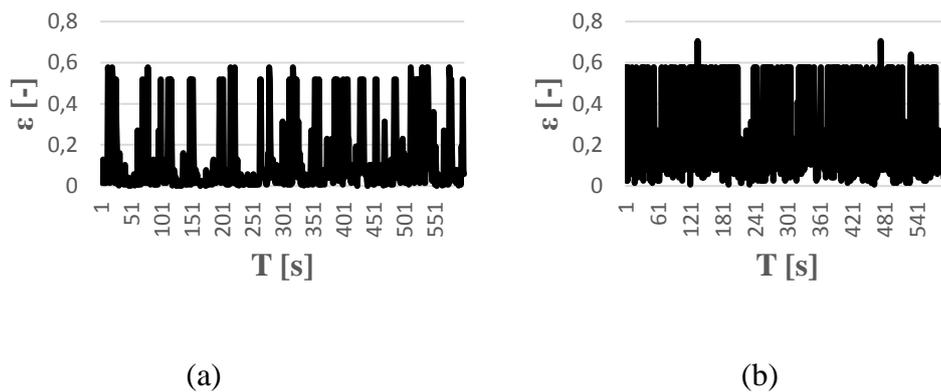
4.1.4.4 Persentase dengan Campuran 70%

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



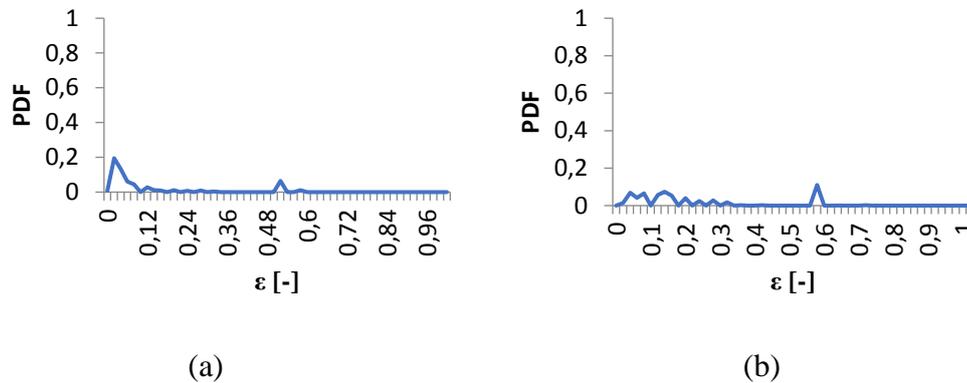
Gambar 4. 58. Pola aliran churn (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.58 menunjukkan pola aliran *churn* mengalami distorsi yang disebabkan oleh viskositas yang semakin kental, sehingga udara akan semakin sulit masuk mengalir dan mengakibatkan distorsi yang lebih pekat.



Gambar 4. 59. Time average fraksi hampa pada (a) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

Gambar 4.59 menunjukkan grafik fraksi hampa yang masih fluktuatif, sama halnya dengan grafik dengan persentase sebelumnya. Perbedaan grafik fraksi hampa dengan persentase lain dengan lebih banyaknya bagian yang terdistorsi, sebabkan oleh viskositas yang semakin kental.



Gambar 4. 60. PDF aliran churn pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan (b) $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s

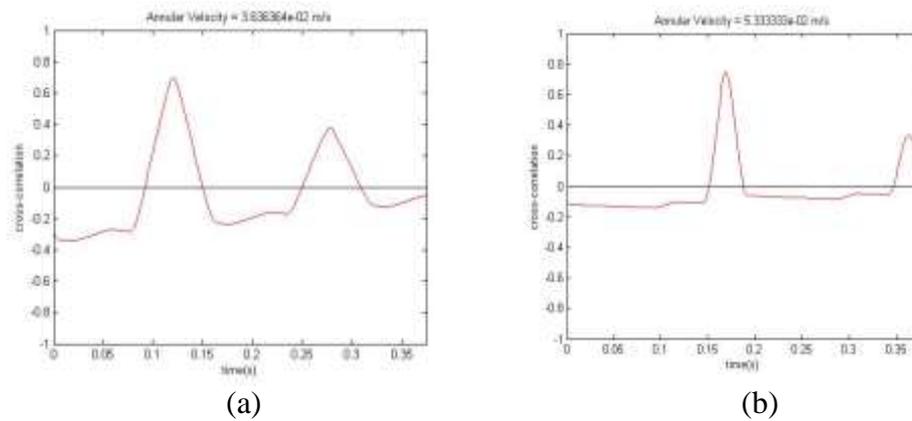
Gambar 4.60 menunjukkan nilai fraksi hampa yang mendominasi pada pola aliran *churn* yaitu 0,1 dengan probabilitas 0,2 pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s dan pada $J_G = 66,3$ m/s, $J_L = 4,935$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0,58 dengan nilai probabilitas 0,18.

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

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

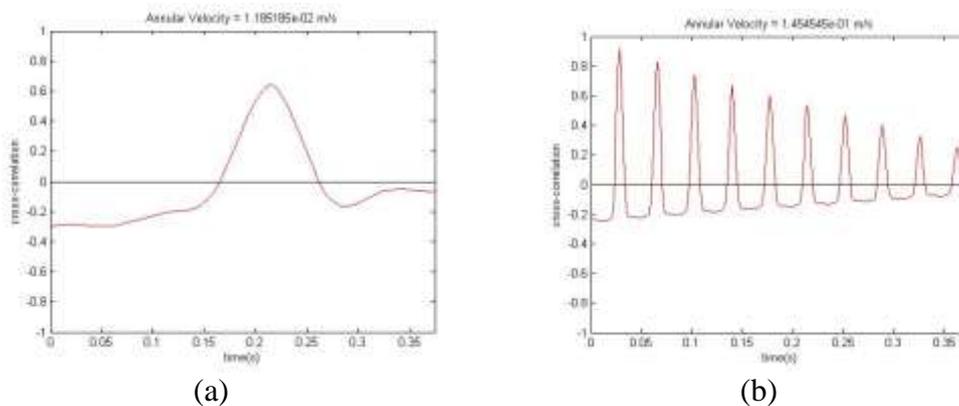
Kecepatan dari pola aliran *bubbly* dan *plug* dapat dicari dengan menentukan rentang waktu dimana pergerakan antara *bubbly* dan *plug* berada pada titik bertemunya referensi ke titik referensi lainnya. Hasil yang diperoleh bisa dijadikan acuan untuk menentukan kecepatan dari pola aliran *bubbly* dan *plug*. Pada gambar 4.61 menunjukkan nilai *cross-correlation* aliran *bubbly* dan gambar 4.62 menunjukkan nilai *cross-correlation* pada aliran *plug*.

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



Gambar 4. 61. Grafik cross-correlation aliran bubbly pada (a) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s dan (b) $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s

Gambar 4.61 menunjukkan grafik dari *Cross-correlation bubbly* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan superfisial fluida (J_L) dengan nilai variabel kecepatan superfisial gas (J_G) yang sama, hal tersebut dapat ditunjukkan pada gambar (a) nilai dari *bubbly velocity* = 0,36 m/s, dan gambar (b) nilai dari *bubbly velocity* = 0,53 m/s.

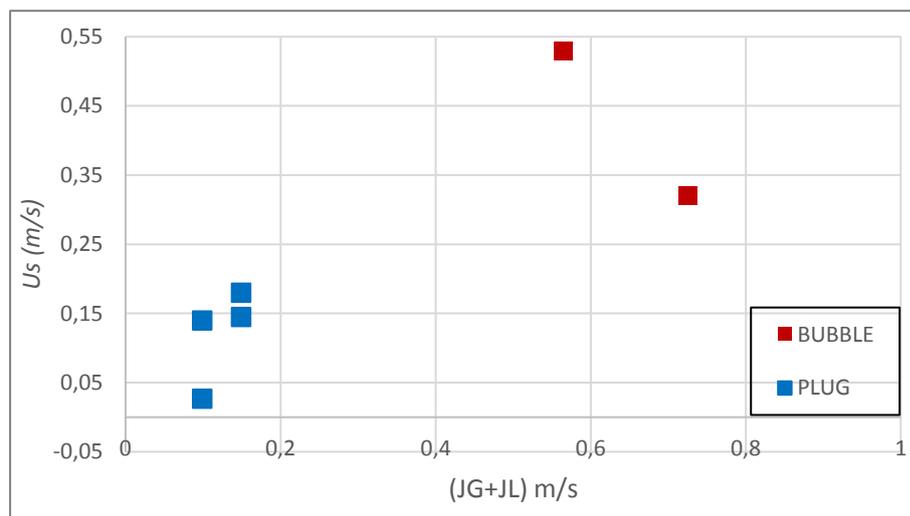


Gambar 4. 62 Grafik cross-correlation aliran plug pada (a) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s dan (b) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

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

4.2.2 Kecepatan aliran *Bubbly* dan *Plug*

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

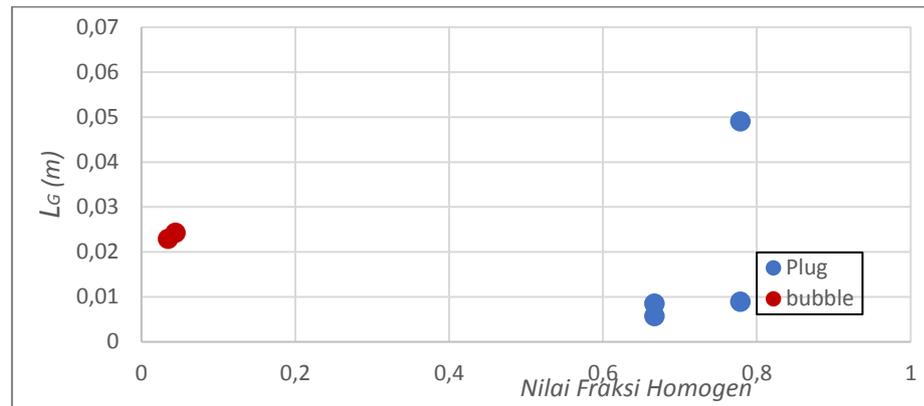


Gambar 4. 63 Grafik kecepatan aliran *bubbly* dan *plug*

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

4.3 Panjang *Bubbly* dan *Plug*

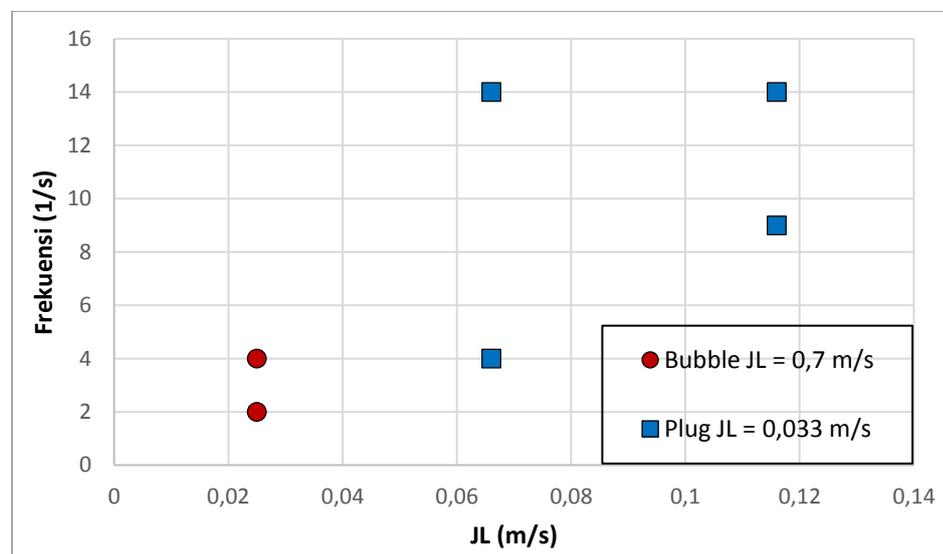
Gambar 4.64 menunjukkan grafik panjang pola *bubbly* dan *plug* yang diperoleh dengan dihitung secara manual selama 1 detik dan diambil rata-rata untuk mendapatkan nilai panjang *bubbly* dan *plug*. Setelah diketahui ($\Delta t = t_2 - t_1$) dan mendapatkan kecepatan yang didapat dari hasil *cross-correlation* (v), setelah itu nilai panjang pola aliran *bubbly* dan *plug* dengan memperhitungkan ($L = \Delta t \cdot v$). Berdasarkan gambar 4.64 didapati bahwa jika semakin tinggi nilai homogen (β) maka panjang pola aliran *bubbly* dan *plug* mengalami peningkatan. Dari hasil penelitian yang diperoleh bahwa *bubbly* yang dihasilkan memiliki ukuran yang kurang dari diameter pipa bagian dalam dan biasanya diawali dengan munculnya *long plug* ataupun *short plug* yang dapat mempengaruhi rata-rata panjang *bubbly*.



Gambar 4. 64 Grafik Panjang *Bubbly* dan *Plug*

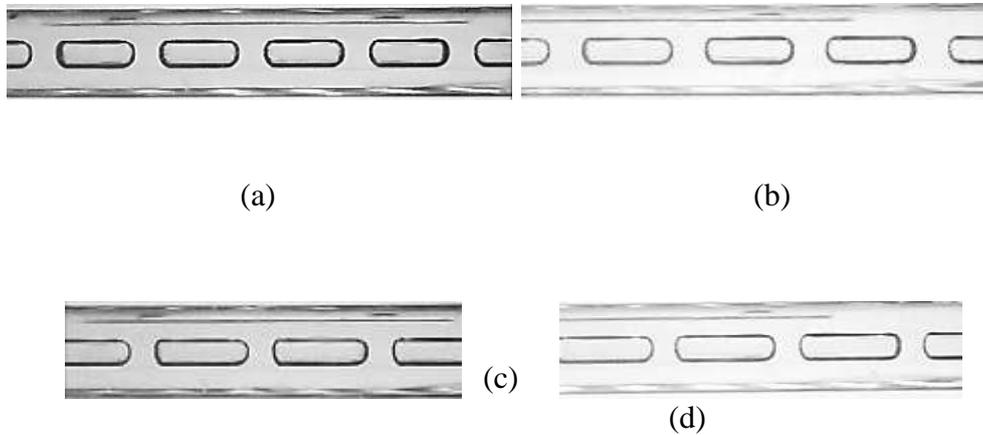
4.4 Frekuensi *Bubbly* dan *Plug*

Gambar 4.65 menunjukkan grafik frekuensi *bubbly* dan *plug* yang diperoleh dengan metode hitung manual dengan membandingkan frekuensi dan variasi J_L . Semakin tinggi nilai J_G dan J_L maka kemunculan frekuensi yang diperoleh akan semakin banyak muncul. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh kecepatan superficial fluida cair (J_L). Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai J_L maka semakin banyak juga frekuensi pola *bubbly* dan *plug* yang akan muncul.



Gambar 4. 65 Grafik Frekuensi pola aliran *bubbly* dan *plug*

4.5 Perbandingan karakteristik aliran terhadap kenaikan viskositas



Gambar 4. 66 Pengaruh viskositas terhadap karakteristik pola aliran plug (a) $J_G = 0,116$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s glisern 50%, (b) $J_G = 0,116$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s glisern 60%, (c) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s gliserin 50% (d) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s gliserin 60%

Gambar 4.66 menunjukkan pengaruh viskositas terhadap karakteristik pola aliran. Pada gambar (a) dan (b) menunjukan bahwa dengan variasi kecepatan superfisial gas dan cairan yang sama menunjukan frekuensi kemunculan aliran *plug* yang berbeda. Pada gambar (b) pola aliran *plug* lebih sedikit dibandingkan gambar (a). Sedangkan pada gambar (c) dan (d) dengan kecepatan superfisial gas dan cairan yang sama menunjukan perbedaan panjang pola aliran yang dihasilkan