

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pola Aliran

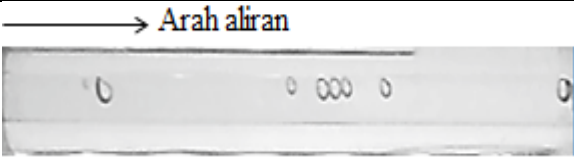
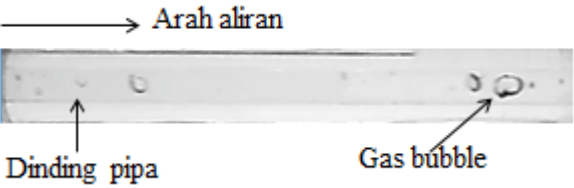
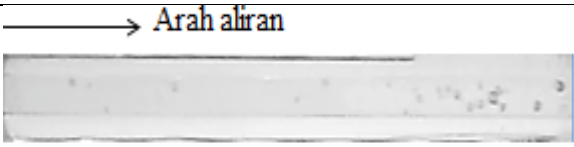
Penelitian aliran dua fase pada pipa kecil dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan kemiringan pipa 40° telah dilakukan. Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah udara-air campuran butanol dengan variasi konsentrasi butanol 7%. Dengan mengatur kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial air dengan variasi yang sudah ditentukan, data penelitian yang berupa video diambil lalu diberi kesimpulan pola apa yang sudah terbentuk. Pola aliran yang telah teramati kemudian dibuat peta pola aliran berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya. Pada peta pola aliran tersebut, absis menunjukkan kecepatan superfisial gas dan kordinat adalah kecepatan supersifial air nilai pada kedua sumbu tersebut dinyatakan secara logaritmik. Dari hasil riset yang sudah dilakukan terdapat lima pola aliran utama yang teramati yaitu: pola aliran *bubbly*, *slug*, *slug annular*, *annular*, dan pola aliran *churn*.

4.1.1 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran pada penelitian ini menggunakan campuran udara-air aquades dan butanol dengan variasi konsentrasi butanol 7% dengan diameter pipa 1,6 mm dan kemiringan 40° . Pola aliran *bubble* adalah pola aliran gelembung yang terdapat antara dominasi pada cairan. Aliran *bubble* terbentuk pada (J_G) yang kecil yaitu 0,025 m/s – 0,871 m/s, sedangkan nilai (J_L) yang besar dengan kisaran 0,879 m/s – 4,935 m/s). Dengan debit air yang tinggi maka cairan akan memenuhi ruang pada *mixer* sebelum mengalir ke seksi uji sementara itu udara akan tertahan disisi bagian atas *mixer*.

Ada beberapa jenis aliran *bubble* yang teridentifikasi pada penelitian ini, intensitas munculnya *bubble* dengan kondisi berdekatan jarang terjadi, bentuk *bubble* yang teramati bulat kecil-kecil dan ada juga bulat tidak sempurna dengan ukuran hampir mendekati saluran pipa dan bergerak gerak pada ujung dan tengah bagian *bubble*.

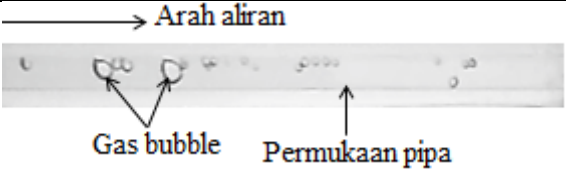
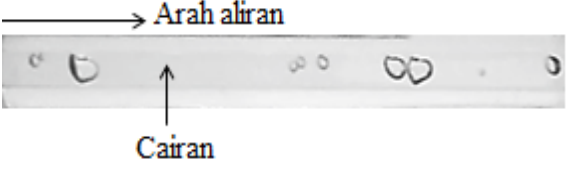
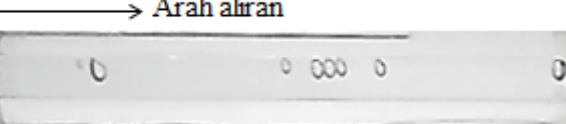
Tabel 4.1. Perbandingan pola aliran *bubbly* butanol 7%, dengan nilai J_G 0,116 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

No	J_L	Pola Aliran
1	0,879	
2	2,297	
3	4,935	

Dari gambar diatas dapat dianalisa bahwa pola aliran *bubble* mulai teridentifikasi ketika nilai J_G rendah dan nilai J_L tinggi. Namun semakin bertambahnya nilai J_L maka bentuk *bubble* mulai mengecil dan semakin tidak beraturan dikarenakan semakin tinggi nilai J_L maka gas akan sulit untuk menembus fluida cair sehingga ketika gas dapat menembus fluida cair maka gas yang keluar dari *mixer* akan bergerombol dan terpotong potong menjadi kecil.

Pada nilai J_L 0,879 m/s jumlah *bubble* yang muncul relatif banyak dan bentuknya kecil tidak beraturan. Hal serupa juga terjadi pada nilai J_L 2,297 m/s dimana *bubble* yang teramati ukuran dan bentuknya mulai tidak beraturan dan sangat sedikit.

Tabel 4.2. Perbandingan pola aliran *bubbly* butanol 7%, dengan nilai J_L 0,879 m/stetap dan nilai J_G bervariasi.

No	J_G	Pola Aliran
1	0,025	
2	0,066	
3	0,116	

Hasil analisa perbandingan bentuk pola aliran *bubble* dengan $J_L = 0,879$ m/s dan J_G bervariasi. Pada J_G 0,025 m/s terlihat bahwa jumlah *bubble* relatif banyak dan berukuran kecil seiring dengan naiknya kecepatan superfisial udara pada $J_G = 0,066$ m/s terlihat bahwa jumlah *bubble* meningkat. Selanjutnya pada $J_G = 0,116$ m/s terlihat bahwa ukuran *bubble* semakin tidak beraturan, hal ini dikarenakan kecepatan udara yang semakin cepat dalam mendorong sebuah aliran membuat jarak antar *bubble* semakin dekat.

4.1.2 Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* yaitu pola aliran dimana terdapat kantung udara yang bentuknya mirip dengan peluru, aliran *plug* umumnya berbentuk seperti *bubble* tetapi lebih memanjang dan panjangnya lebih dari diameter saluran panjangnya *bubble* dikarenakan oleh meningkatnya kecepatan superfisial gas (J_G) yang cukup besar untuk menerobos fluida cair tetapi tidak bisa untuk menghancurkan aliran fluida cair secara *konstan*. Pola aliran *plug* sendiri terbentuk saat kecepatan

superfisial gas dinaikan sedangkan kecepatan superfisial cair pada aliran *plug* cenderung rendah dibandingkan dengan aliran *bubble*.

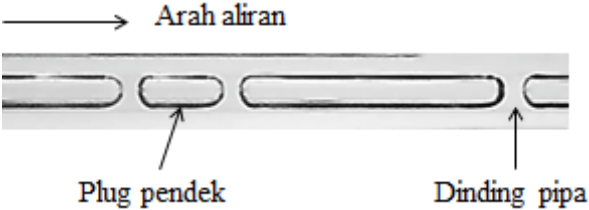
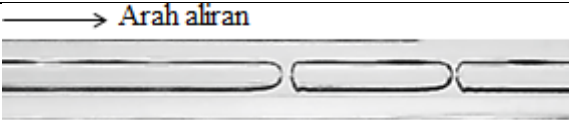
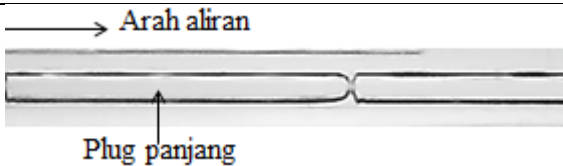
Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada kecepatan (J_G) = 0,025 m/s sedangkan kecepatan (J_L) = 0,033 m/s, Pola aliran *plug* bergerak dengan kecepatan konsisten dengan kondisi tertentu.

Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *plug* dengan J_G 0,207 m/s dengan J_L bervariasi pada konsentrasi butanol 7%

No	J_L	Pola Aliran
1	0,033	
2	0,091	
3	0,149	

Dari gambar diatas dapat dianalisa bahwa pola aliran *plug* mulai terbentuk ketika nilai J_G rendah dan nilai J_L juga rendah. ketika kecepatan superfisial cairan dinaikkan maka jarak antar *plug* akan semakin menjauh.

Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *plug* butanol 7%, dengan nilai J_L 0,033 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

No	J_G	Pola Aliran
1	0,207	
2	0,423	
3	0,871	

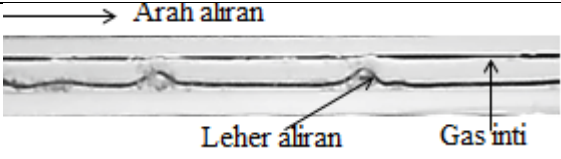
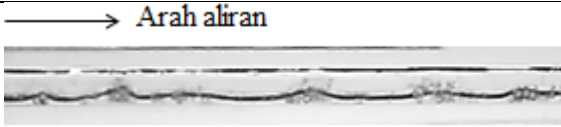
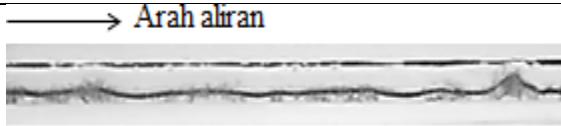
Hasil analisa gambar diatas menunjukkan bahwa jika nilai J_G dinaikkan maka panjang dari *plug* akan berdekatan. Kecepatan (J_L) dibuat tetap 0,033 m/s dan kecepatan (J_G) bervariasi, semakin bertambahnya nilai J_G maka jarak antar *plug* akan semakin berdekatan hal ini dikarenakan semakin bertambahnya nilai J_G dan nilai J_L tetap maka udara akan berusaha masuk untuk menerobos air yang membatasi jarak antar *plug*.

4.1.3 Pola Aliran *Slug Annular*

Pola aliran *slug annular* merupakan peralihan dari aliran *plug* ke aliran *annular*. Pola ini terjadi pada saat aliran udara sudah *continue* dan sementara aliran air bagian bawah maupun atas saluran pipa membentuk gelombang. Lapisan air yang ada pada bagian atas saluran pipa biasanya cenderung lebih tipis dari bagian bawah, terbentuknya pola aliran *slug annular* akibat adanya kenaikan



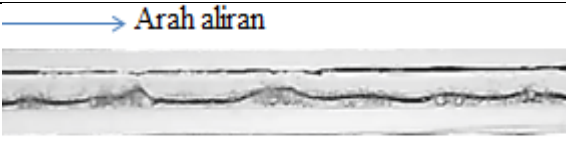
pada kecepatan superfisial gas (J_G). sehingga yang tadinya pola aliran *plug* yang terpotong oleh air kini berhasil ditembus oleh aliran udara, karena tegangan permukaan tak mampu mempertahankan bentuknya dan terbentuklah pola aliran *slug annular*. Pola aliran *slug annular* mulai teramati pada kecepatan superfisial fluida gas (J_G) = 3 m/s dan pada fluida cair (J_L) = 0,033 m/s.

Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *Slug annular* butanol 7%, dengan nilai J_G 4,238 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

No	J_L	Pola Aliran
1	0,033	
2	0,091	
3	0,149	

Hasil analisa menunjukkan bahwa semakin bertambahnya nilai J_L membuat kemunculan gelombang yang semakin banyak dan mencapai setengah diameter pipa. Hal tersebut dikarenakan nilai J_L bertambah hal ini yang membuat bertambahnya volume fluida cair yang masuk ke *mixer* sehingga dapat membuat bertambah tinggi gelombang dan bertambahnya intensitas kemunculan gelombang. Seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair gelombang pada bagian bawah pipa semakin besar namun tetap belum mampu memutus aliran udara.

Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan J_L 0,091 m/s dengan J_G bervariasi pada konsentrasi butanol 7%

No	J_G	Pola Aliran
1	4,238	
2	7	
3	9,620	

Dalam setiap kenaikan nilai kecepatan superfisial gas gelombang yang terlihat pada bagian bawah pipa menjadi semakin sedikit, hal ini diakibatkan oleh aliran air yang berusaha menembus aliran udara namun tidak mampu menembusnya dikarenakan kecepatan aliran udara yang semakin tinggi.

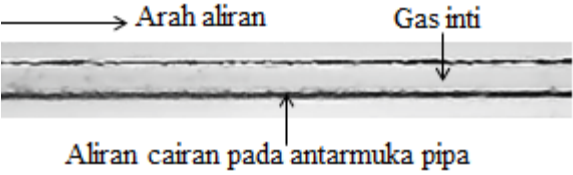
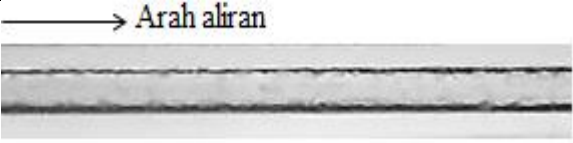
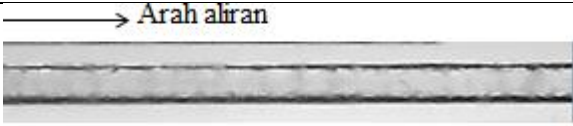
4.1.4 Pola Aliran *Annular*

Bentuk pola aliran *annular* dengan aliran *slug annular* hampir mirip, terdapat gelombang di kedua aliran tersebut akan tetapi gelombang yang terdapat pada aliran *annular* lebih halus atau lebih tenang, hal ini dikarenakan kecepatan superfisial fluida gas (J_G) lebih besar dibandingkan dengan kecepatan superfisial fluida cair (J_L). Perbedaan fluida air dan udara yang cukup besar, hal ini dapat menyebabkan aliran gas mengalir ditengah lapisan air yang tipis terdistribusi secara merata pada dinding pipa sepanjang saluran.

Pada konsentrasi butanol 7% pola aliran *annular* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial fluida gas (J_G) = 22,6 – 66,3 m/s dan fluida cair (J_L) = 0,033




– 0,232 m/s. Pola aliran *annular* didominasi oleh aliran gas dibagian tengah dan lapisan cairan tipis yang terdapat dibagian bawah dan atas saluran pipa, kelihatan gelombang kecil terdapat di sepanjang aliran.

Tabel 4.7 Perbandingan pola aliran *Annular* butanol 7%, dengan nilai J_G 58,05 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

No	J_L	Pola Aliran
1	0,033	
2	0,091	
3	0,149	

Hasil analisa diatas menunjukkan bahwa pola aliran annular mulai teramati pada nilai J_G tinggi dan nilai J_L rendah. pada nilai J_G 58,05 m/s dan nilai J_L dibuat bervariasi, semakin bertambahnya nilai J_L membuat kemunculan gelombang-gelombang kecil yang berada pada bagian bawah liquid film semakin banyak, hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya volume cairan yang berada pada *mixer* membuat udara berhasil menembus cairan kemudian menekan cairan sehingga semakin banyak cairan yang masuk membuat gelombang kecil juga semakin banyak.

Tabel 4.8 Perbandingan pola aliran *Annular* butanol 7%, dengan nilai J_L 0,149 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

No	J_G	Pola Aliran
1	50	
2	58,05	
3	66,3	


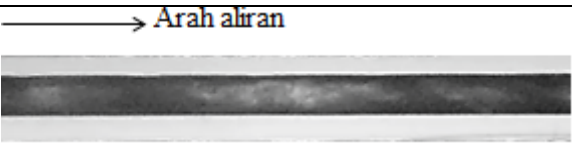

Hasil analisa pada nilai J_L yang dibuat tetap 0,149 m/s dan nilai J_G dibuat bervariasi sangat berpengaruh. Karena semakin bertambahnya nilai J_G membuat gelombang kecil yang berada pada bagian bawah liquid film semakin rata, hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya volume gas pada *mixer* membuat gas akan menekan cairan sehingga membuat cairan semakin tertekan dan memenuhi dinding pipa.

4.1.5 Pola Aliran Churn

Pola aliran *churn* dapat terjadi dari transisi aliran *plug*, *slug annular*, dan *annular* aliran *churn* terjadi ketika kecepatan superfisial cairan (J_L) dan kecepatan superfisial gas (J_G) sama-sama tinggi. ketika nilai (J_L) tinggi seharusnya pola yang terbentuk adalah pola aliran *plug* tapi karena nilai (J_G) juga tinggi maka cairan terdispersi menjadi ukuran yang sangat kecil dengan kecepatan sangat tinggi sehingga pola yang teramati hanya terlihat bayangan hitam bergerak sangat cepat pada aliran inti gas dan disertai fluida cair. Pada aliran *churn* yang bertransisi dengan aliran *slug annular* masih tersisa gelembung yang mengganggu aliran




udara, sedangkan untuk pola aliran *churn* yang bertransisi dengan pola aliran *annular* cairan akan cenderung mendatar tanpa ada gelombang.

Tabel 4.9 Perbandingan pola aliran *Churn* butanol 7%, dengan nilai J_G 50 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

No	J_L	Pola Aliran
1	0,879	
2	2,297	
3	4,935	

Hasil analisa menunjukkan bahwa pola aliran churn pada J_G tetap 50 m/s dan J_L dibuat bervariasi sangat berpengaruh. Karena semakin bertambahnya nilai J_L membuat kemunculan bayangan hitam semakin banyak, hal ini dikarenakan semakin bertambahnya volume air yang ada dimixer sehingga membuat udara akan sulit untuk keluar ketika udara dapat menembus cairan maka udara tersebut akan terpotong-potong menjadi kecil sehingga muncul bayangan hitam yang sangat banyak.

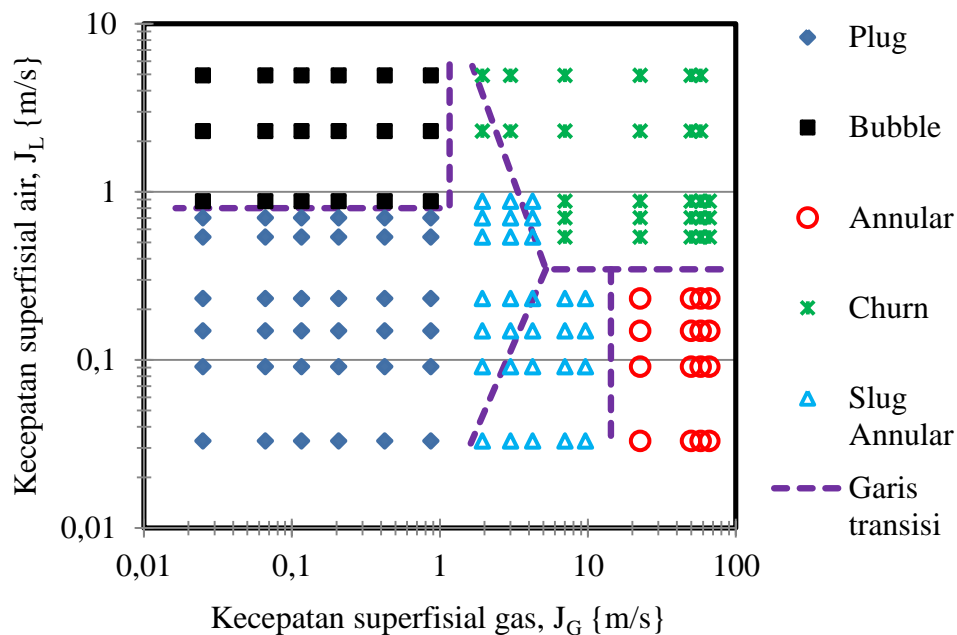
Tabel 4.10 Perbandingan pola aliran *Churn* butanol 7%, dengan nilai J_L 0,879 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

No	J_G	Pola Aliran
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

Meningkatnya nilai J_G membuat aliran yang sebelumnya didominasi bayangan hitam yang merupakan aliran dari air semakin berkurang. Hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya volume gas yang ada dimixer sehingga membuat udara dapat menembus cairan.

4.2 Peta Pola Aliran

Pola aliran yang telah dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya. Pada peta pola aliran tersebut jarak titik menunjukkan kecepatan superfisial fluida gas (J_G) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan titik kordinat kecepatan superfisial fluida cair (J_L) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 10. nilai pada kedua sumbu tersebut dinyatakan secara logaritmik. Pada peta pola aliran yang telah didapatkan terdapat pula garis transisi antar pola yang dimana garis transisi ini menunjukkan titik kordinat aliran manakah yang berubah antar pola aliran satu dengan pola alirannya.



Gambar 4.1 Peta pola aliran pada konsentrasi butanol 7%

Pada gambar 4.1 diatas terlihat bahwa pola aliran *bubbly* terdapat pada posisi kiri atas peta pola aliran, nilai kecepatan superficial fluida gas yang kecil dan memiliki kecepatan superficial fluida cair yang sangat besar. Aliran *bubbly* pada konsentrasi butanol 7% mulai terdapat pada $J_L = 0,879$ m/s dan meluas sampai $J_G = 0,871$ m/s.

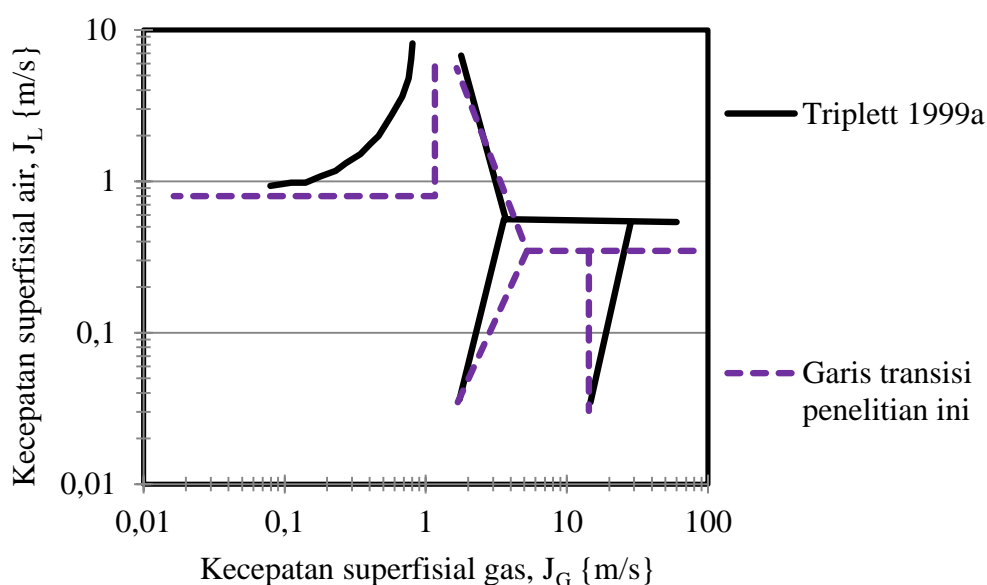
Pada peta pola aliran ini pola aliran *plug* sangat mendominasi serta aliran *churn* juga terlihat dominan. Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada kecepatan (J_G) rendah 0,025 m/s dan (J_L) rendah 0,033 m/s. Setelah itu meluas dengan peningkatan kecepatan superficial fluida gas dan fluida cair sampai mencapai garis transisi dengan pola aliran *slug annular*.

Pola aliran *slug annular* terbentuk di kecepatan superficial fluida gas yang cukup tinggi 1,941 m/s, sementara untuk nilai kecepatan superficial fluida cair rendah 0,033 m/s. Pola aliran *slug annular* terbentuk sampai kecepatan superficial fluida cairnya mendekati garis transisi pola aliran *churn*, sedangkan untuk kecepatan superficial fluida gas posisi garis transisi berdekatan dengan pola aliran *annular*.

Pola aliran *annular* posisinya berada pada kanan bawah peta pola aliran nilai $J_G = 22,6$ m/s dan nilai J_L 0,033 m/s sedangkan jika kecepatan superfisial fluida cair dinaikan sampai $J_L = 0,232$ m/s maka aliran *annular* berbatasan dengan aliran *churn*.

Pola aliran *churn* sendiri terbentuk ketika (J_G) dan (J_L) sama-sama tinggi, pola aliran *churn* berada di kanan atas pada peta pola aliran.

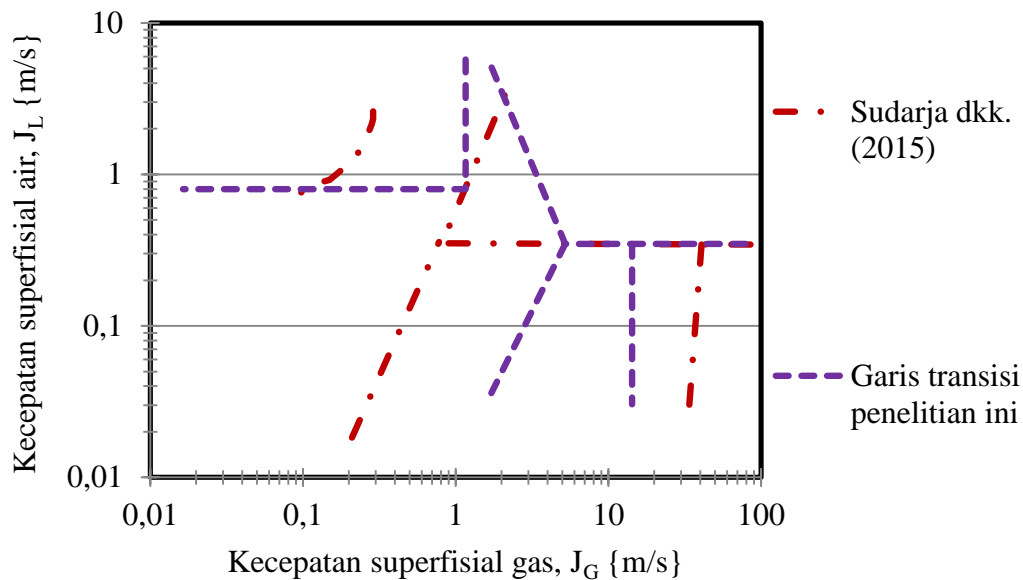
4.3 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 4.2. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Triplet dkk. (1999).

Dapat dilihat pada gambar 4.2 garis transisi penelitian ini dengan penelitian triplet dkk. (1999) dapat dibedakan pada garis transisi pola aliran *bubbly* dimana pada penelitian triplet dkk. (1999a) pola aliran *bubbly* lebih sedikit dari penelitian ini. Pola aliran yang terbentuk pada penelitian ini sama dengan penelitian Triplet dkk (1999) yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Pada penelitian ini menggunakan saluran pipa mini dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu air-udara dan campuran butanol 7% dengan variasi sudut kemiringan pipa 40° . Sedangkan penelitian Triplet dkk. (1999a) saluran yang digunakan semi segitiga dengan diameter dalam pipa 1,09 mm dengan fluida kerja yang digunakan yaitu air-udara.

Pergeseran yang terjadi akibat pengaruh fluida kerja yang digunakan karena pada penelitian ini menggunakan campuran butanol 7%.



Gambar 4.3 Perbandingan hasil penelitian peta pola aliran dengan peta pola aliran Sudarja dkk. (2015)

Pada gambar 4.3 garis transisi penelitian ini dengan penelitian Sudarja dkk. (2015) dapat dibedakan pada garis transisi pola aliran *churn* dan *bubbly* dimana pada penelitian Sudarja dkk. (2015) pola aliran *churn* lebih mendominasi, dan pola aliran *bubbly* pada penelitian Sudarja dkk. (2015) lebih sedikit dari penelitian ini. Pola aliran yang terbentuk pada penelitian ini sama dengan penelitian Sudarja dkk (2015) yaitu : *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Pada penelitian ini menggunakan saluran pipa mini diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu air-udara dan campuran butanol 7% dengan variasi sudut kemiringan pipa 40^0 . Sedangkan penelitian Sudarja dkk. (2015) saluran yang digunakan pipa mini dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan fluida kerja yang digunakan yaitu air-udara. Pergeseran yang terjadi akibat pengaruh fluida kerja yang digunakan karena pada penelitian ini menggunakan campuran butanol 7%..

4.4 Fraksi Hampa (Void Fraction)

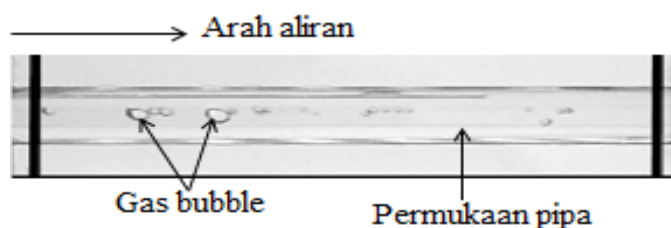
Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan 40° menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang mengandung campuran butanol 7%. Dari penelitian tentang pola aliran, aliran yang terdeteksi pada kenaikan persentase butanol adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Analisa fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (sisi inlet). Hasil *time-average* fraksi hampa kemudian diolah untuk menentukan nilai *Probability Distribution Function* (PDF) sebagai fungsi ε [-] (nilai fraksi hampa).

4.4.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

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

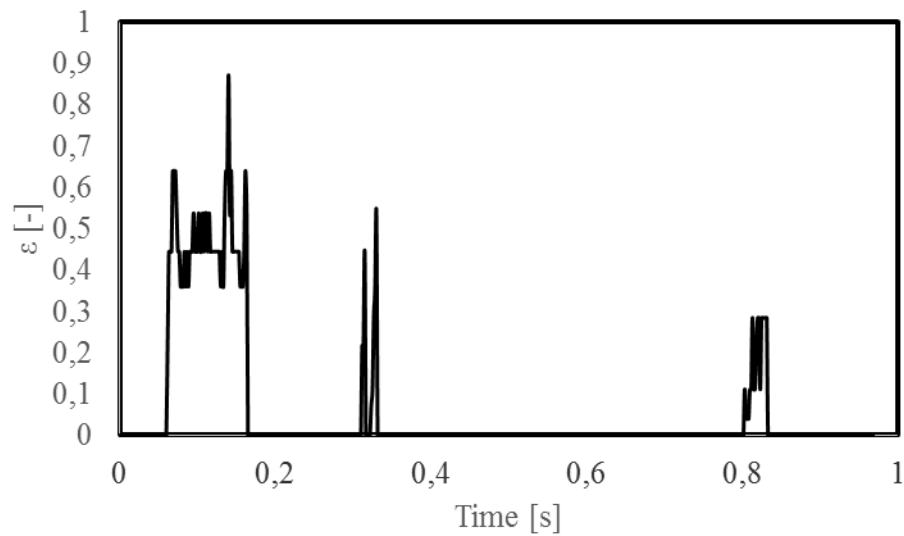
4.4.1.1 Campuran dengan Presentase Butanol 7%

Gambar 4.4 pola aliran *bubbly* ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung yang melayang diantara dinding pipa. Pola aliran ini biasanya muncul ketika kecepatan superfisial gas (J_G) jauh lebih rendah dibandingkan kecepatan superfisial air (J_L).



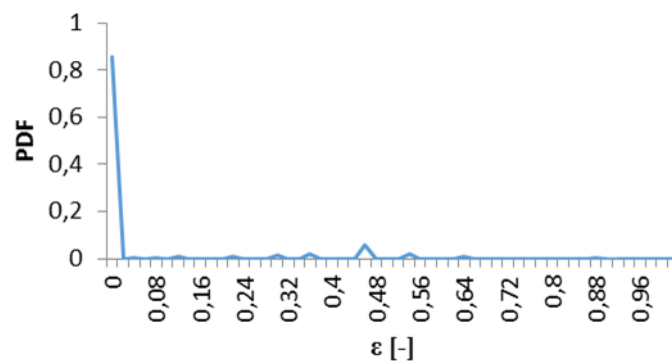
Gambar 4.4 Pola Aliran *bubby* pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s.

Gambar 4.4 menunjukkan bentuk dimana ukuran diameter *bubbly* lebih kecil daripada diameter ukuran pipa.



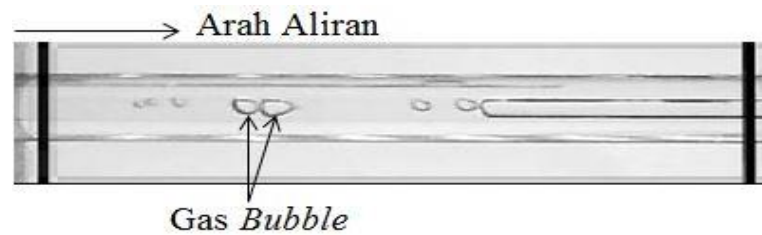
Gambar 4.5 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s.

Gambar 4.5 menunjukkan grafik fraksi hampa yang naik secara signifikan pada rentang waktu tertentu. Hal ini dikarenakan pola aliran *plug* muncul terlebih dahulu sebelum pola aliran *bubbly*. Kemungkinan munculnya *plug* udara dikarenakan gelembung-gelembung yang dapat berkumpul dan bergabung disisi *inlet mixer*.



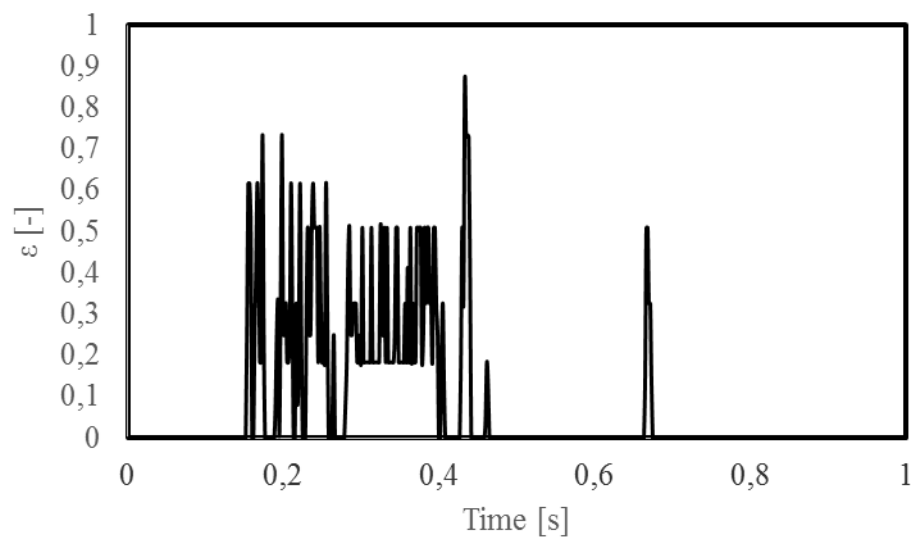
Gambar 4.6 PDF aliran *bubbly* pada $J_G = 0,025$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s.

Grafik PDF untuk pola aliran *bubbly* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0 dengan nilai probabilitas 0,85.



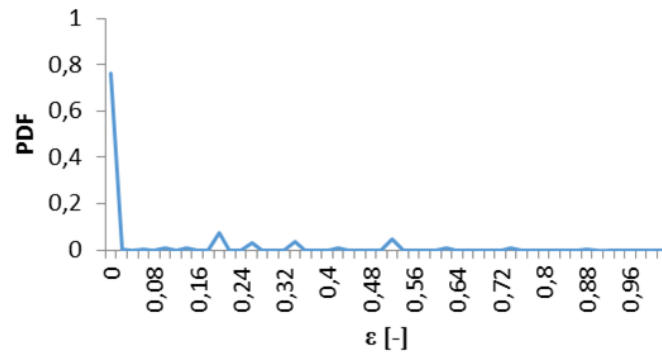
Gambar 4.7 Pola Aliran *bubbly* pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s.

Gambar 4.7 menunjukkan jarak pola aliran *bubbly* tidak beraturan dan bentuk pola aliran lebih kecil daripada diameter ukuran pipa.



Gambar 4.8 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s.

Gambar 4.8 menunjukkan grafik fraksi hampa yang naik secara signifikan pada rentang waktu tertentu, hal ini dikarenakan pola aliran *plug* muncul terlebih dahulu sebelum pola aliran *bubbly*.



Gambar 4.9 PDF aliran *bubbly* pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s.

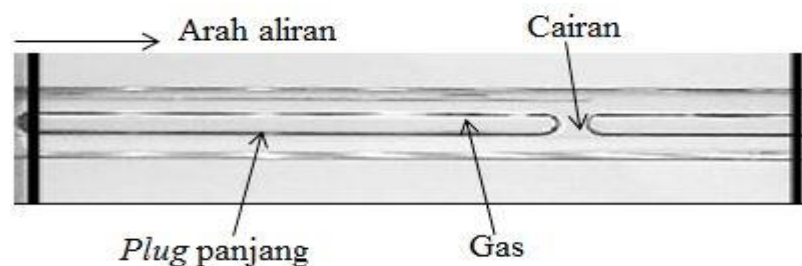
Gambar 4.9 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan adalah 0 dengan nilai probabilitas 0,76 Pada grafik yang mengalami peningkatan menunjukkan *bubbly* yang muncul pada aliran.

4.4.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* biasanya ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa mini. *Plug* adalah pola aliran yang berdasarkan bentuknya dikategorikan sebagai aliran *bubble* yang memanjang (*elongated bubble*).

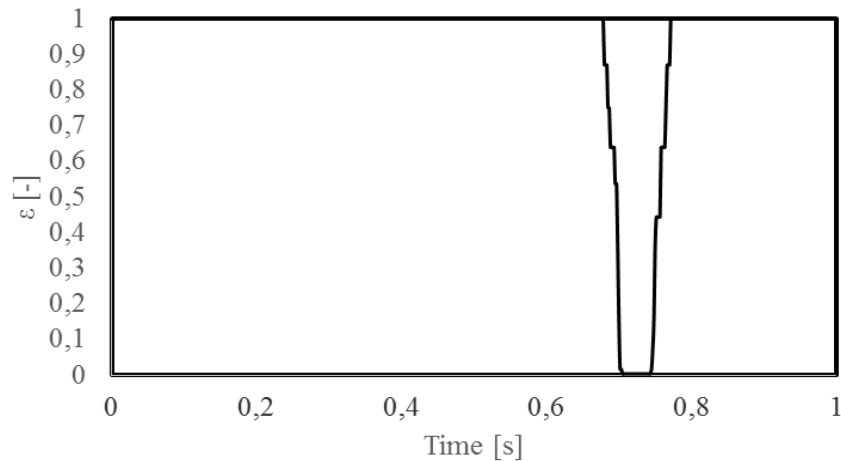
4.4.2.1 Campuran dengan Presentase Butanol 7%

Gambar 4.10 menunjukkan pola aliran *plug* dengan campuran viskositas butanol 7%.



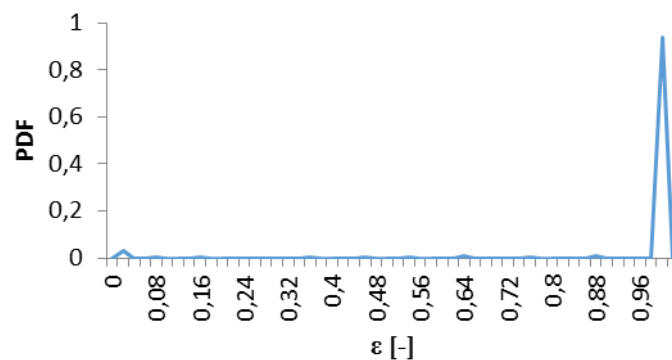
Gambar 4.10 Pola Aliran *plug* pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

Gambar 4.10 menunjukkan pola aliran *plug* panjang. Pola aliran *plug* panjang biasanya muncul dikarenakan kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial (J_L) berada pada kondisi rendah.



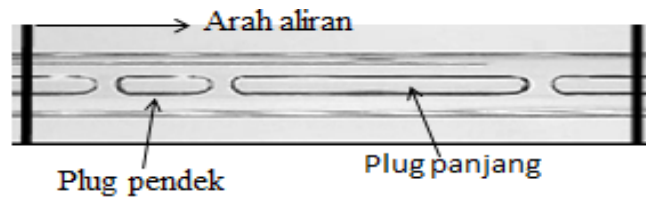
Gambar 4.11 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

Gambar 4.11 menunjukkan grafik *time-average* pola aliran *plug* dengan variabel $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s. Nilai fraksi hampa mencapai angka 1 pada kondisi atau rentang waktu tertentu, hal tersebut di karenakan oleh *plug* yang hampir memenuhi diameter dalam pipa.



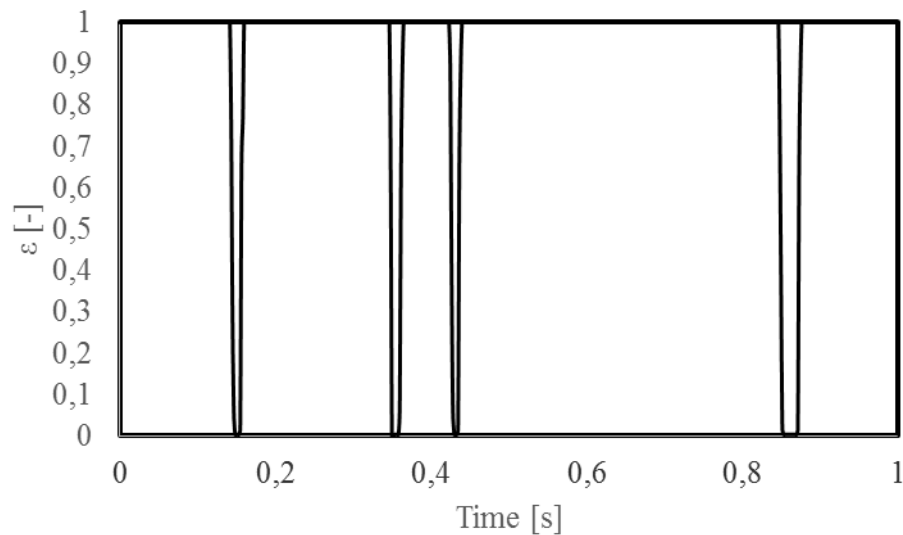
Gambar 4.12 PDF aliran *plug* pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

Gambar 4.12 menunjukkan nilai fraksi hampa pada pola aliran *plug* pada $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L 0,033$ nilai fraksi hampa yang dominan yaitu 1 dengan nilai probabilitas 0,93.



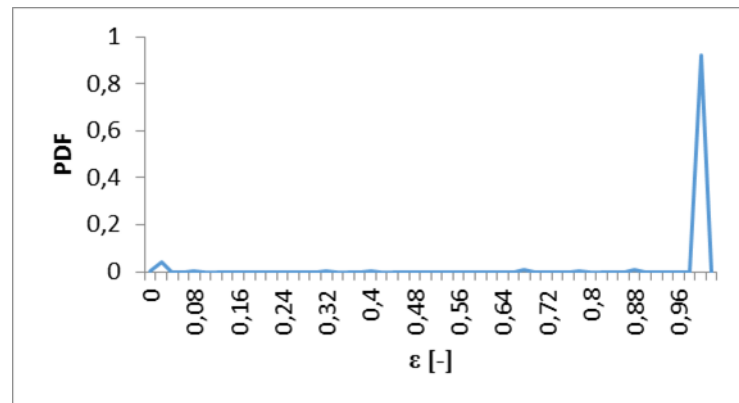
Gambar 4.13 Pola Aliran *plug* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

Gambar 413 menunjukkan pola aliran *plug* yang berjenis plug pendek dan plug panjang. Pola aliran *plug* panjang biasanya muncul dikarenakan kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial (J_L) berada pada kondisi rendah. *Long plug* bisa didefinisikan sebagai *plug* yang *nose* dan *tail* saling berjauhan.



Gambar 4.14 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

Gambar 4.14 menunjukkan grafik *time-average* aliran *plug* dengan variabel $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s. Nilai fraksi hampa mencapai angka 1 pada kondisi atau rentang waktu tertentu. Hal tersebut di karenakan oleh plug yang memenuhi diameter dalam pipa sehingga fase yang paling dominan adalah fase udara.



Gambar 4.15 PDF aliran *plug* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

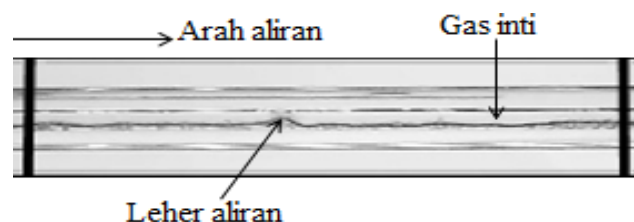
Gambar 4.15 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *plug* yaitu 1 dengan nilai probabilitas 0,92 pada $J_G = 0,207$ m/s.

4.4.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug-Annular*

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

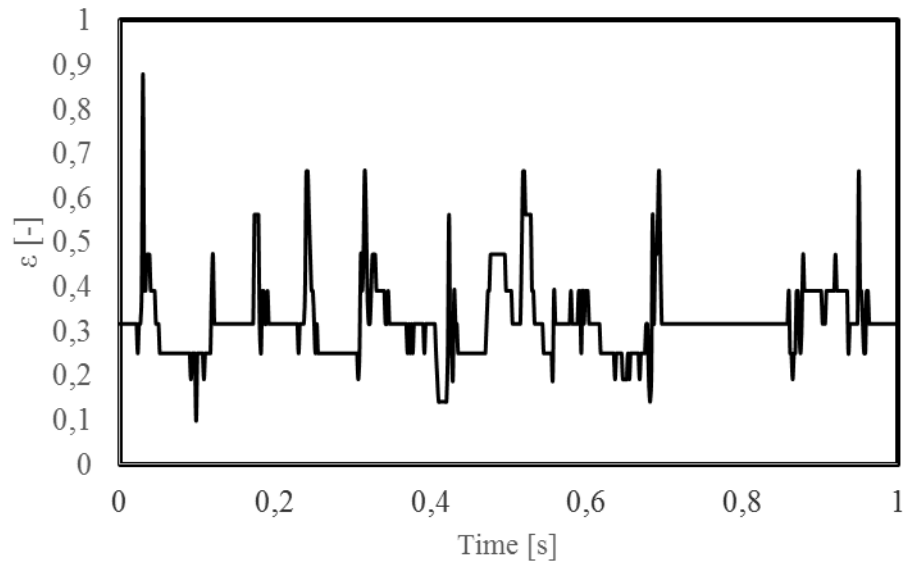
4.4.3.1 Campuran dengan Presentase Butanol 7%

Gambar 4.16 menunjukkan pola aliran *slug-annular* dengan campuran viskositas butanol 7%.



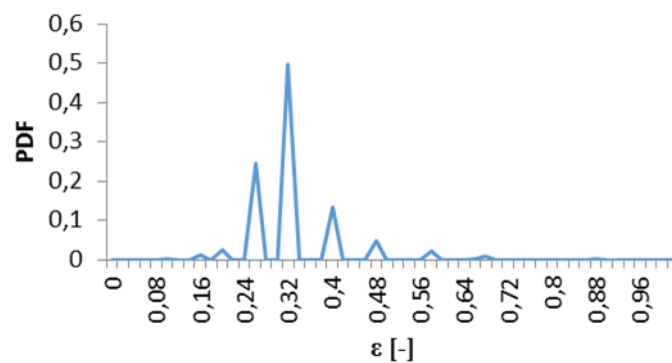
Gambar 4.16 Pola Aliran *Slug annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s.

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa terjadi sejenis leher aliran hali ini disebabkan oleh udara yang menembus pada jembatan cairan pola aliran *plug*. Sehingga pada satu titik J_G tertentu dua buah kantong udara akan menjadi satu kesatuan.



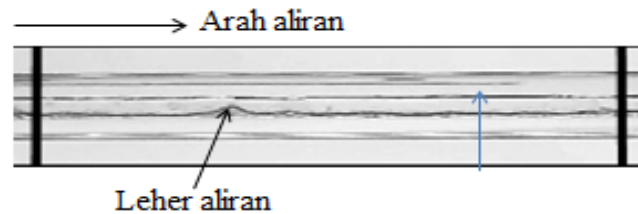
Gambar 4.17 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s.

Gambar 4.17 menjelaskan nilai fraksi hampa selama 1 detik. Pada saat grafik turun menunjukkan leher aliran yang muncul lebih condong ke tengah pipa dan pada saat grafik naik menunjukkan leher aliran yang muncul lebih ke arah dalam dinding pipa.



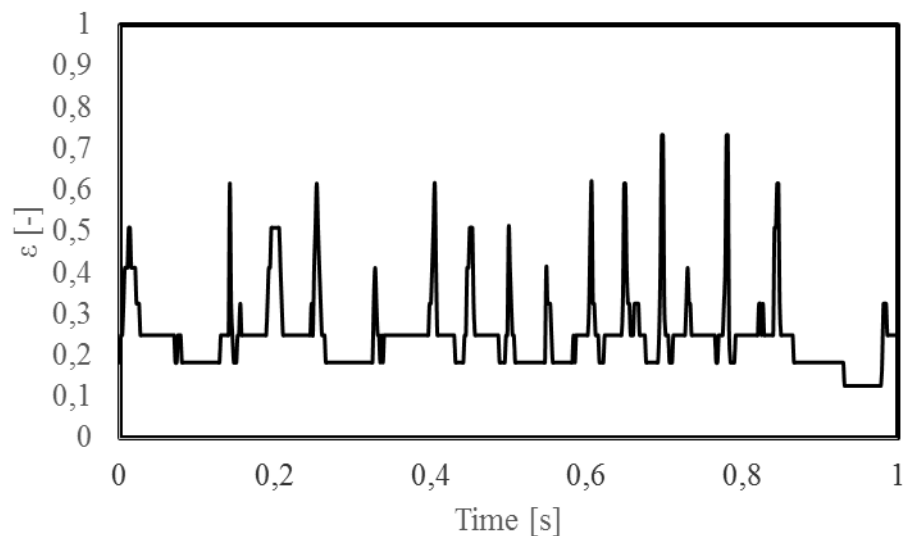
Gambar 4.18 PDF aliran *slug annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s.

Gambar 4.18 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug annular* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s yaitu 0,32 dengan nilai probabilitas 0,49.



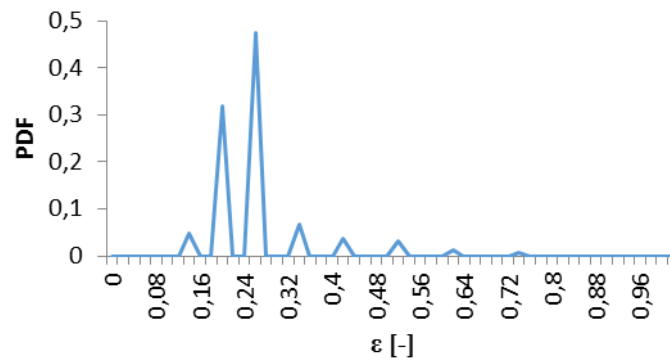
Gambar 4.19 Pola Aliran *Slug annular* pada $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s.

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa terjadi sejenis leher aliran hal ini disebabkan oleh udara yang menembus pada jembatan cairan pola aliran *plug*.



Gambar 4.20 *Time-Average* fraksi hampa $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s.

Gambar 4.20 menjelaskan nilai fraksi hampa selama 1 detik. Pada saat grafik turun menunjukkan leher aliran yang muncul lebih condong ke tengah pipa dan pada saat grafik naik menunjukkan leher aliran yang muncul lebih ke arah dalam dinding pipa.



Gambar 4.21 PDF aliran *slug annular* pada $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s.

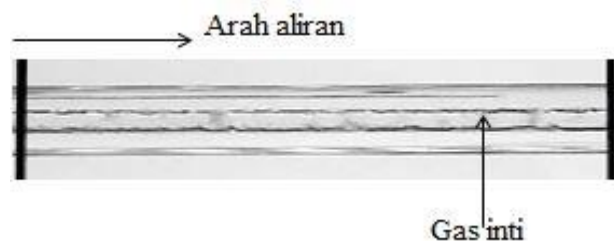
Gambar 4.21 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran *slug annular* pada $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s. Nilai fraksi hampa yang dominan 0,26 dengan nilai probabilitas 0,47.

4.4.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

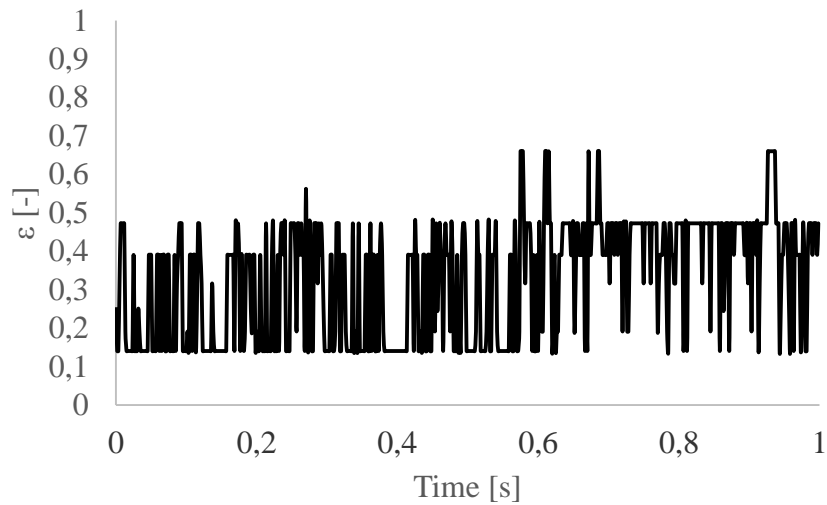
Pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana kecepatan superfisial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang rendah mengakibatkan udara menembus bagian dari tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi secara merata dan simetris pada bagian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

4.4.4.1 Campuran dengan Presentase Butanol 7%

Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran *annular* dengan campuran viskositas butanol 7%.

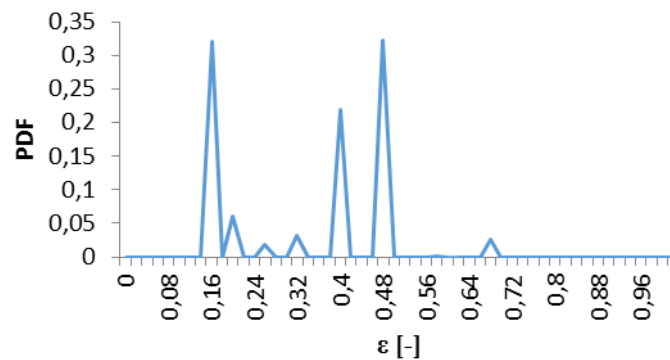


Gambar 4.22 Pola Aliran *annular* pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.



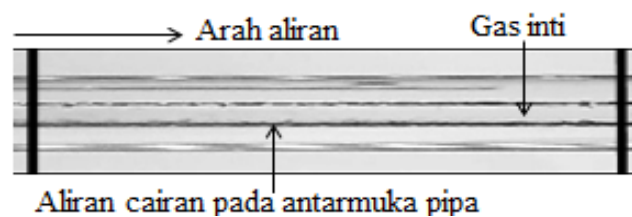
Gambar 4.23 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.23 fraksi hampa pada pola aliran ini mengalami penurunan dan kenaikan yang cukup signifikan.

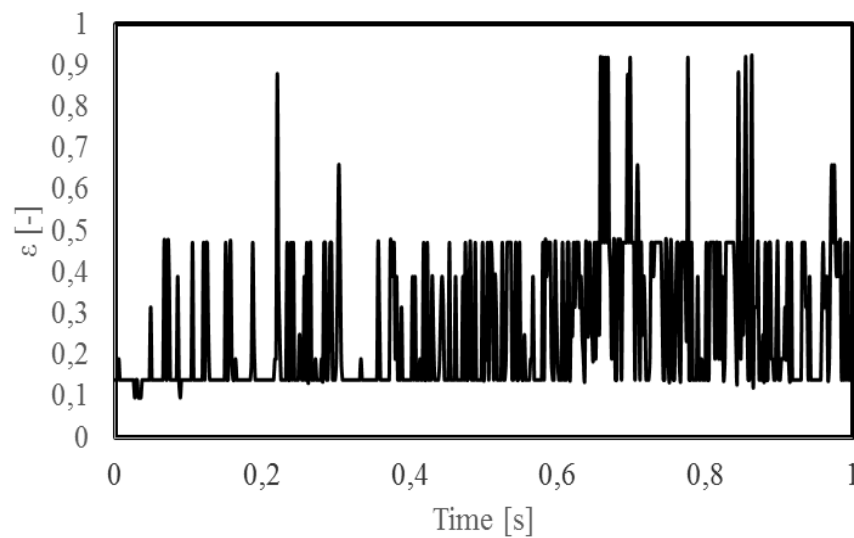


Gambar 4.24 PDF aliran *Annular* pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

Gambar 4.24 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran annular yaitu 0,48 dengan nilai probabilitas 0,32.

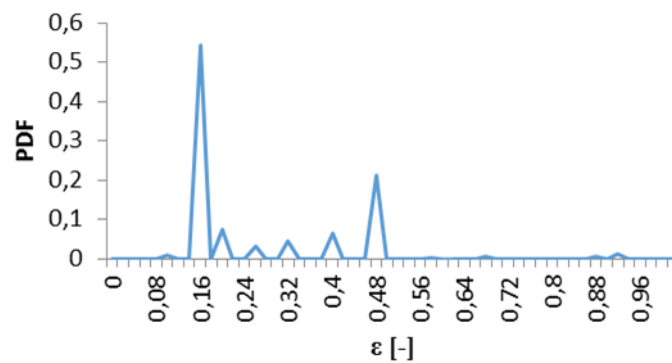


Gambar 4.25 Pola Aliran *annular* pada $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.



Gambar 4.26 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

Gambar 4.26 fraksi hampa pada pola aliran ini mengalami penurunan dan kenaikan yang cukup signifikan.



Gambar 4.27 PDF *Annular* pada $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s.

Gambar 4.27 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran annular yaitu 0,16, dengan nilai probabilitas 0,54.

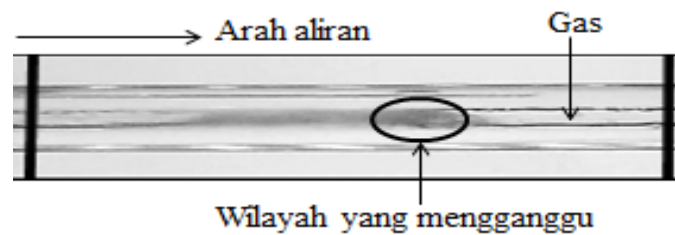
4.4.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* terbentuk ketika kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang sama-sama cukup tinggi dimana selisih

keduanya cukup besar. Pola aliran ini termasuk kedalam bentuk jenis pola aliran yang sangat tidak stabil pada sisi ekornya, sehingga terdapat bagian bagian yang terdistorsi.

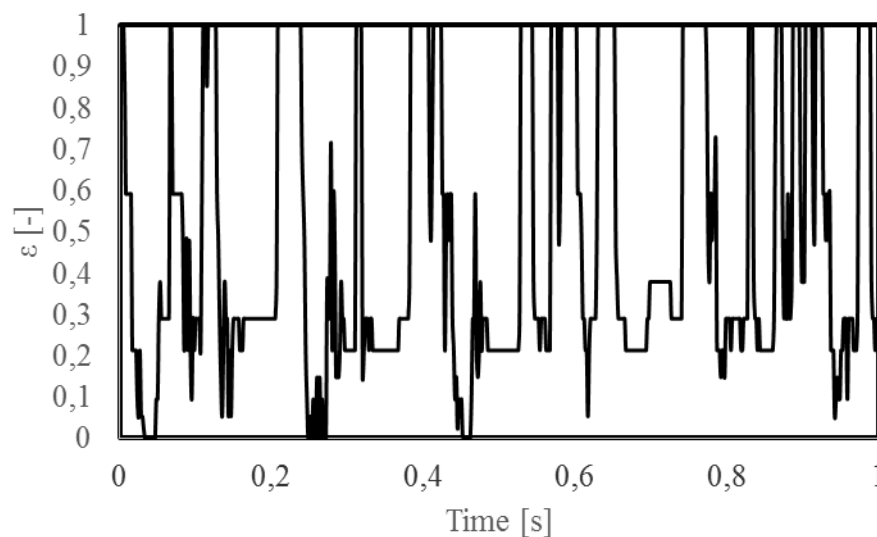
4.4.5.1 Campuran dengan Presentase Butanol 7%

Gambar 4.28 menunjukkan pola aliran *churn* dengan campuran viskositas butanol 7%.



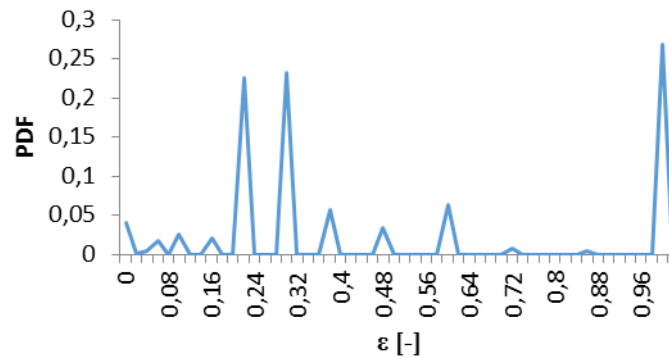
Gambar 4.28 Pola Aliran *Churn* pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.

Gambar 4.28 menunjukkan pola yang sangat tidak beraturan pada bagian ekor. Jika (J_G) mengalami kenaikan akan berakibat terhadap bentuk distorsi yang terjadi. Pada bagian ekor yang mengalami distorsi ini akan membentuk suatu pola yang dinamakan pola aliran *churn*.



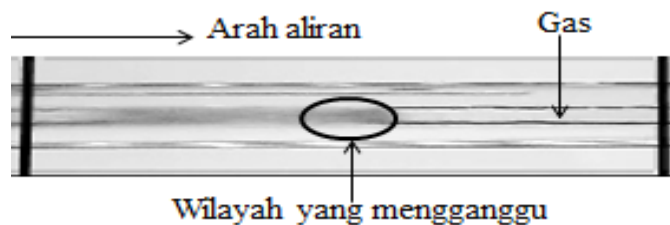
Gambar 4.29 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.

Gambar 4.29 menunjukkan grafik fraksi hampa yang sangat tidak beraturan. Disaat rentang waktu tertentu dimana grafik mengalami kenaikan tersebut terjadi distorsi.



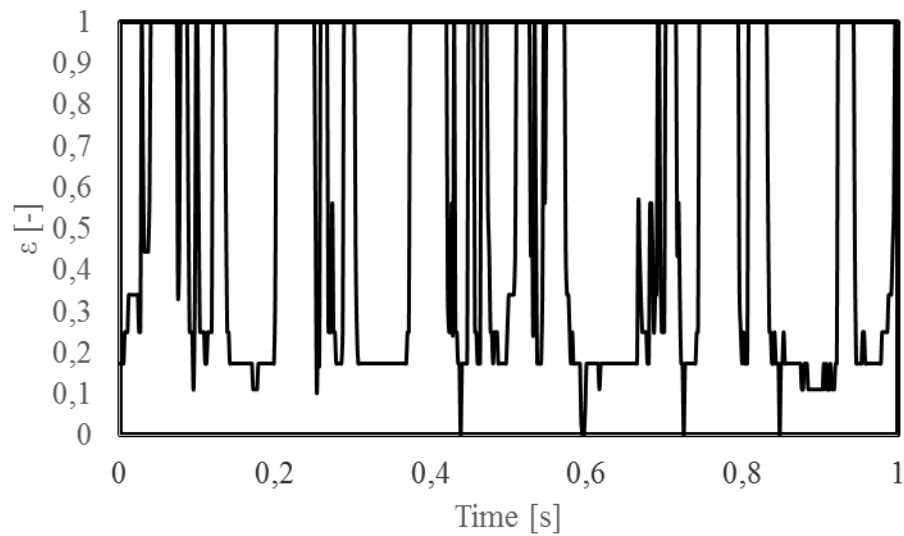
Gambar 4.30 PDF aliran *Churn* pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.

Grafik PDF untuk pola aliran *Churn* yang ditunjukkan pada gambar 4.30 menunjukkan nilai fraksi hampa yang dominan pada pola aliran churn yaitu 1 dengan nilai probabilitas 0,26.



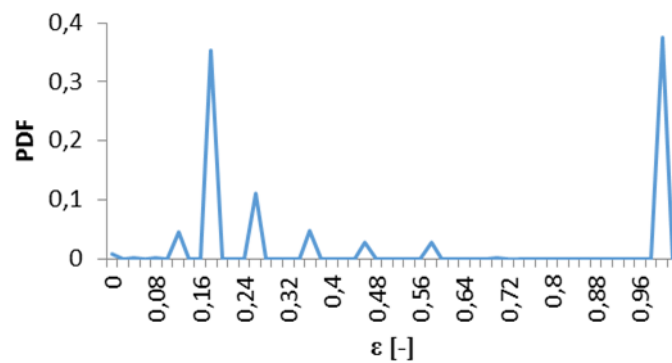
Gambar 4.31 Pola Aliran *Churn* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.

Gambar 4.31 menunjukkan pola yang sangat tidak beraturan pada bagian ekor. Pada bagian ekor yang mengalami distorsi ini akan membentuk suatu pola yang dinamakan pola aliran *churn*.



Gambar 4.32 *Time-Average* fraksi hampa pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.

Gambar 4.32 menunjukkan grafik fraksi hampa yang sangat tidak beraturan. Disaat rentang waktu tertentu dimana grafik mengalami kenaikan tersebut terjadi distorsi.



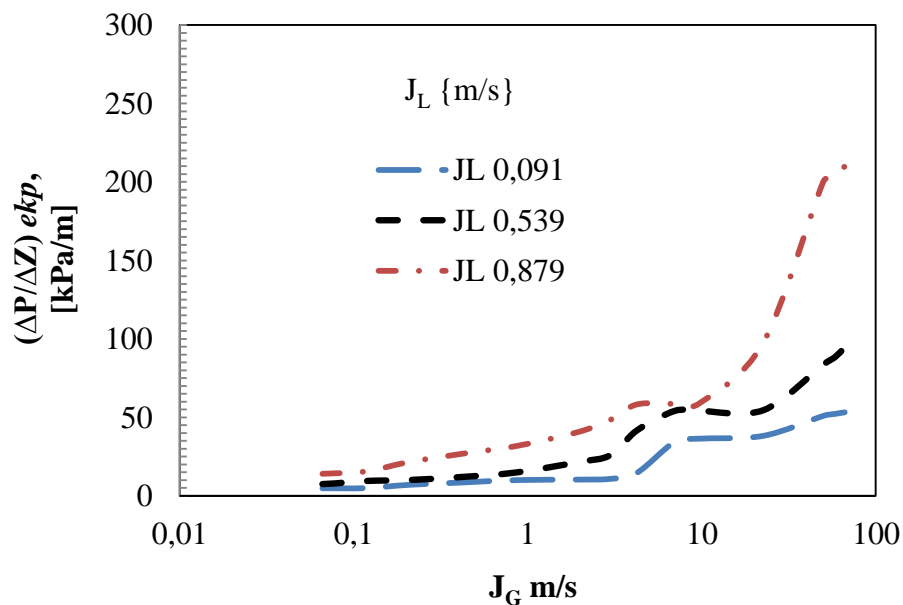
Gambar 4.33 PDF aliran *Churn* pada $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s.

Grafik PDF untuk pola aliran *churn* yang ditunjukkan pada Gambar 4.33 $J_G = 4,238$ m/s, $J_L = 2,291$ m/s nilai fraksi hampa yang dominan 1 dengan nilai probabilitas 0,37.

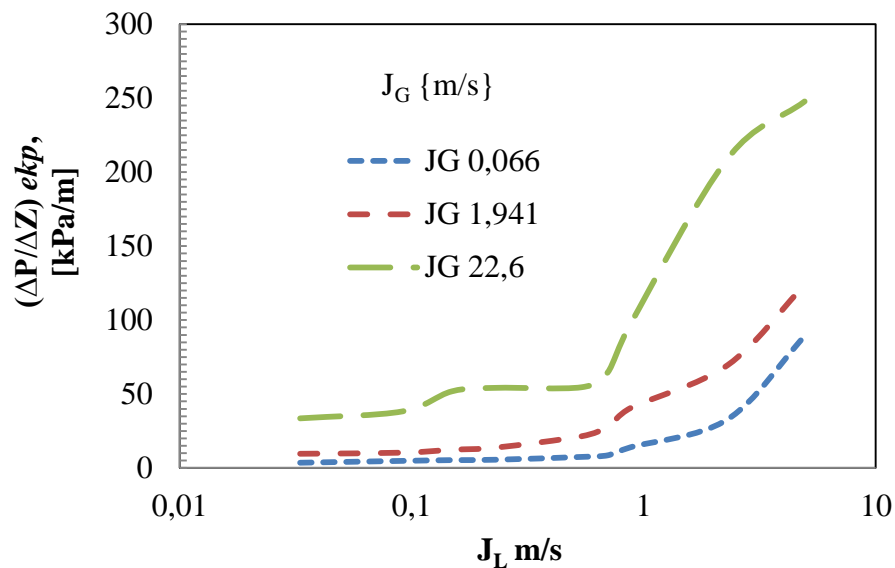
4.5. Gradien Tekanan

Penelitian ini membahas tentang penurunan tekanan per satuan panjang (gradien tekanan) aliran dua fase pada pipa kapiler dengan diameter 1,6 mm dan panjang seksi uji 130 mm dengan variasi $J_G - J_L$. Variasi dilakukan dengan cara memberikan campuran dengan presentase butanol 7%. Data yang diambil pada penelitian ini yaitu penurunan tekanan tiap satuan panjang (gradien tekanan). Data gradien tekanan diambil dengan menggunakan sensor pada *pressure transducer* (PT). Setelah sudah dilakukan penelitian maka akan didapatkan beberapa data sesuai dengan variasi kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L), selain variasi kecepatan superfisial, variasi surface tension juga dilakukan pada penelitian ini.

Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan pada Aliran Dua Fase Udara-Air campuran butanol 7%.



Gambar 4.34 Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G pada surface tension butanol 7%

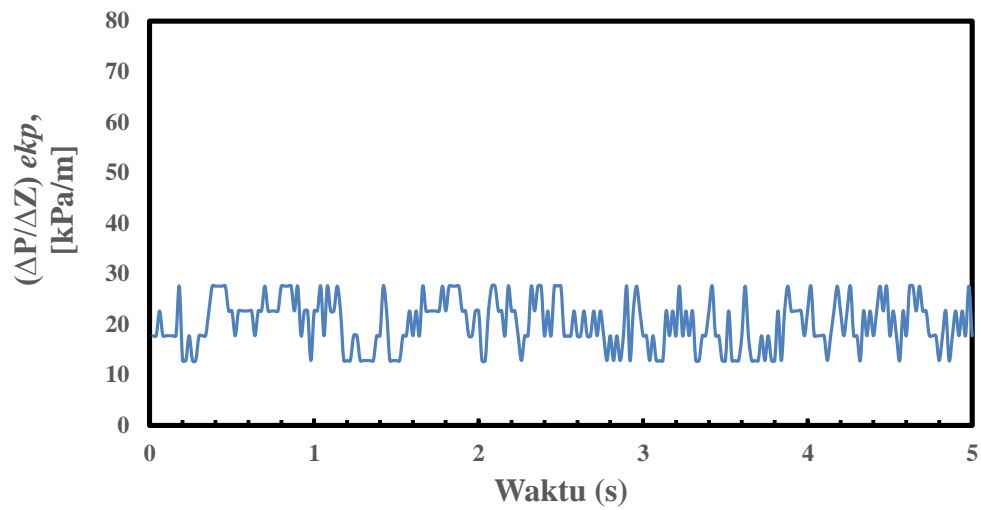


Gambar 4.35 Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L pada surface tension butanol 7%.

Pada penelitian ini dilakukan dengan memberikan variasi kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial liquid (J_L). Variasi dilakukan agar dapat mengetahui bagaimana efek yang ditimbulkan akibat kenaikan ataupun penurunan kecepatan superfisial terhadap gradien tekanan. Pada penelitian kali ini dilakukan dengan menggunakan kecepatan superfisial yang bervariasi baik itu gas maupun cairan. Hal ini dilakukan untuk menunjukkan pengaruh dari perubahan kecepatan superfisial terhadap nilai gradien tekanan pada pipa kapiler dengan diameter 1,6 mm.

Gambar 4.34 menunjukkan pengaruh dari kecepatan superfisial liquid (J_L) pada variasi kecepatan superfisial gas (J_G). Kecepatan superfisial diukur dengan menggunakan rotameter udara dan liquid dengan tiga rentang J_L (0,091, 0,539 dan 0,879 [m/s]) dan dengan mevariasikan J_G (0-66,3 [m/s]). Sedangkan Gambar 4.35 menunjukkan pengaruh dari J_G pada variasi J_L . Dari data tersebut dapat diketahui bahwa gradien tekanan ($\Delta P/\Delta Z$) merupakan fungsi dari J_G dan J_L . Berdasarkan hasil penelitian diatas dapat diketahui apabila kecepatan superfisial gas (J_g)

mengalami peningkatan maka nilai dari gradien tekanan akan ikut meningkat. Demikian juga apabila kecepatan superfisial liquid (J_L) mengalami peningkatan maka gradien tekanan juga akan semakin besar.



Gambar 4.36 *Time Series* gradien tekanan pada J_G 22,6 m/s dan J_L 0,232 m/s