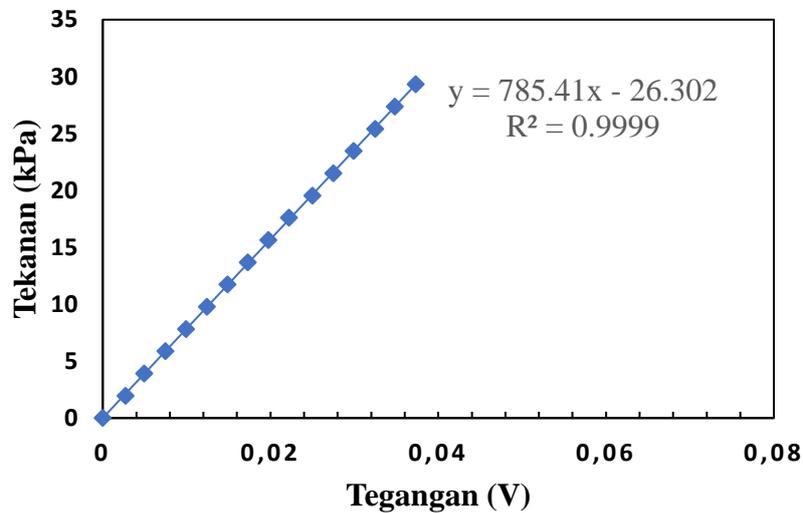


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi Alat Ukur

Kalibrasi pada alat ukur diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang akan dilakukan dan konsisten. Adapun alat ukur yang digunakan dan akan dikalibrasi adalah *flowmeter* dan Alat ukur. Kalibrasi *flowmeter* dilakukan dengan mengalirkan fluida cair dengan rentang waktu 1 menit kemudian dibandingkan *flowmeter* terukur dengan volume air yang berada pada gelas ukur. Kalibrasi alat ukur dilakukan dengan menggunakan manometer vertikal (manometer kolom air) pada kondisi yang statis. Tegangan yang dihasilkan dari MPX dikonversi dalam bentuk tekanan terukur pada manometer vertikal, kemudian tegangan dikonversi menjadi tekanan. Setelah itu dibuat grafik yang berguna sebagai acuan dalam mencari *pressure drop* yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik kalibrasi alat ukur

Penelitian aliran dua fase mengenai campuran butanol 5% dan kemiringan 20° menghasilkan beberapa parameter yaitu : pola aliran, peta pola aliran, fraksi

hampa, dan gradien tekanan. hasil dari penelitian ini kemudian dibandingkan dengan penelitian yang sebelumnya.

4.2 Pola Aliran

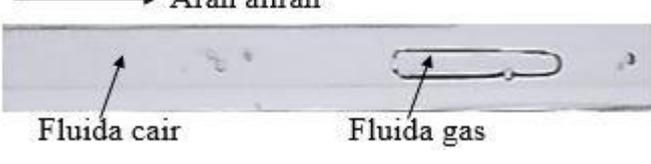
Pola aliran dapat diketahui melalui pengamatan visual langsung menggunakan pipa transparan, fotografi menggunakan sinar X atau analisis sinyal menggunakan metode konduktansi (Lin, 1987 dan Madhane, 1974) dan metode pengukuran tekanan (Spedding, 1979 dan Spedding, 1993). Pada penelitian ini menggunakan metode pengamatan visual dengan menggunakan pipa transparan dan diambil datanya menggunakan video kamera. Proses pengambilan pola aliran menggunakan kecepatan superfisial gas dan cair yang diatur di dalam *flowmeter* gas dan cair. hasil dari identifikasi pola aliran yang diperoleh dari video berupa : *plug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*.

4.2.1 Pola Aliran *Plug*

pola aliran *plug* adalah aliran gas berbentuk gelembung pendek atau panjang dan juga gas yang mengalir dalam bentuk kantung-kantung atau mirip dengan peluru. Terbentuknya pola aliran *plug* dikarenakan kecepatan superfisial gas yang tidak terlalu besar, kemudian gas menembus aliran cair tetapi tidak sampai memecah atau menghancurkan aliran cair. Semakin besar kecepatan superfisial gasnya maka bentuk dari peluru *plug* semakin panjang dan sebaliknya semakin kecil kecepatan superfisial gasnya maka bentuk peluru *plug* semakin pendek.

Pada penelitian ini pola aliran *plug* muncul pada kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,025 m/s, sedangkan pada kecepatan superfisial cair (J_L) muncul pada nilai = 0,033 m/s. Untuk lebih jelasnya pemetaan mengenai pola aliran *plug* dapat dilihat di peta pola aliran atau di lampiran pada penelitian ini.

Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_G tetap, $J_G = 0,423$ m/s dan J_L bervariasi

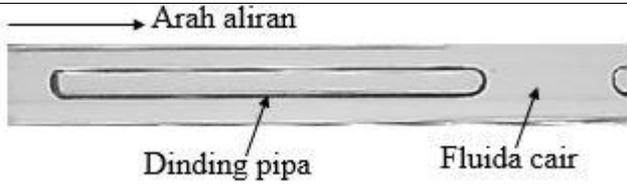
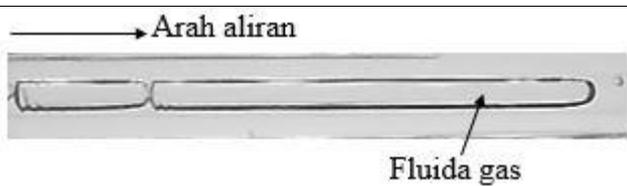
No	J_L	Pola Aliran
1	0,232 m/s	
2	0,539 m/s	
3	0,7 m/s	

Analisis yang didapatkan dari Tabel 4.1. yaitu untuk $J_G = 0,423$ m/s dengan variasi $J_L = 0,232$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, dan $J_L = 0,7$ m/s menunjukkan perbedaan bentuk pola aliran *plug*. Pola aliran *plug* pada $J_G = 0,423$ m/s dengan $J_L 0,232$ m/s terlihat lebih panjang dari variasi J_L lainnya. Hasil pola aliran *plug* panjang disebabkan pengaruh kecepatan superfisial cairan (J_L) yang kecil.

Ketika kecepatan superfisial cairan (J_L) dinaikan maka panjang dari pemisah antar *plug* semakin panjang. Kejadian ini disebabkan oleh udara yang tertekan oleh air yang mengalami peningkatan. Dengan demikian ukuran pola aliran *plug* semakin pendek. Munculnya gelembung-gelembung kecil pada pola aliran *plug* disebabkan karena kecepatan superfisial (J_L) yang semakin tinggi. Pada $J_L = 0,7$ m/s terlihat aliran *bubble* yang menempel pada bagian ekor *plug*.

Kesimpulan yang didapatkan pada Tabel 4.1. yaitu pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 5% nilai J_G tetap yaitu $J_G = 0,423$ m/s dan J_L bervariasi yaitu 0,232 m/s; 0,539 m/s; dan 0,7 m/s adalah terlihat ukuran pola aliran *plug* yang semakin pendek dan jarak antar *plug* yang semakin panjang.

Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_L tetap, $J_L = 0,232$ m/s, dan J_G bervariasi

No	J_G	Pola Aliran
1	0,025 m/s	
2	0,116 m/s	
3	0,423 m/s	

Pada tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 5% nilai J_L tetap, $J_L = 0,232$ m/s dan J_G bervariasi, menunjukkan hasil bentuk pola aliran *plug* yang hampir sama. Akan tetapi dengan kenaikan superficial gas (J_G) terlihat jarak antar *plug* semakin rapat. Kejadian jarak antar *plug* semakin rapat karena cairan pemisah *plug* mulai tertekan oleh gas yang semakin meningkat.

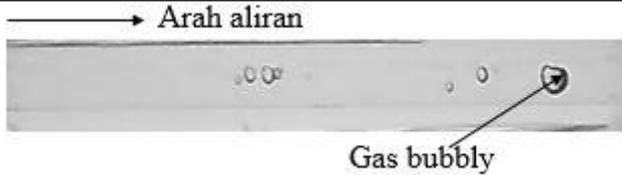
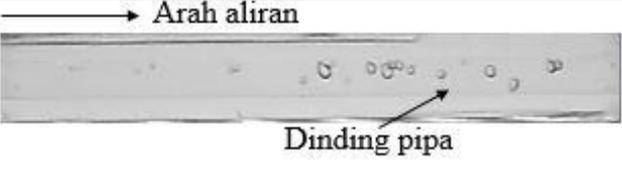
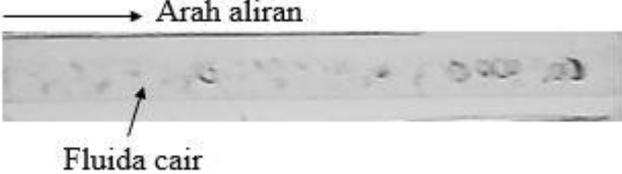
Jika dilihat sekilas memang bentuk pola aliran *plug* terlihat sama, tetapi jika dilihat secara detail bentuk pola aliran *plug* semakin memanjang. Maka bisa disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan superficial gas mengakibatkan bentuk pola aliran *plug* yang semakin panjang dan jarak antar *plug* semakin rapat.

4.2.2 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* adalah pola aliran yang terdapat gelembung-gelembung kecil di dalamnya. Terbentuknya *bubbly* karena kecepatan superficial cair yang tinggi dengan kecepatan superficial gas yang rendah. Dengan debit air yang lebih tinggi dari debit gas menyebabkan susahnyanya fluida gas menembus fluida cair sehingga menumpuknya gelembung-gelembung gas kecil di dalam *mixer*, *bubbly*

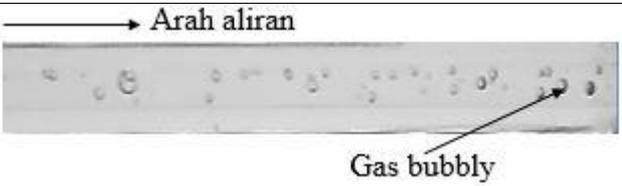
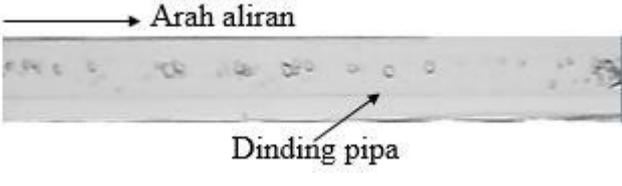
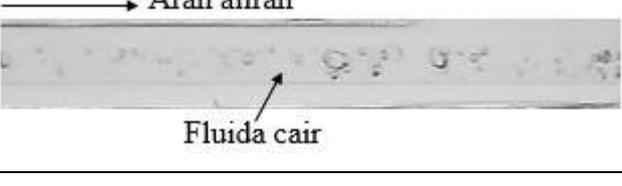
muncul ketika gelembung-gelembung gas kecil tersebut dapat menerobos debit air yang cukup tinggi.

Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_G tetap, $J_G = 0,116$ m/s dan J_L bervariasi

No	J_L	Pola Aliran
1	0,7 m/s	
2	0,879 m/s	
3	2,297 m/s	

Analisis yang didapat dari tabel 4.3 adalah ketika $J_L = 0,7$ m/s terlihat gas *bubbly* lebih lambat gerakannya dari $J_L = 0,879$ m/s, akan tetapi berbeda dengan $J_L = 2,297$ m/s terlihat gas *bubbly* semakin cepat gerakannya. Pola aliran *bubbly* yang semula terlihat bulat mulai berubah menjadi tidak beraturan/acak. Ketika kecepatan superfisial cair sangat tinggi maka terlihat pola aliran *bubbly* seperti pola aliran *churn*. Maka bisa disimpulkan bahwa pola aliran *bubbly* muncul pada kecepatan superfisial cair (J_L) yang tinggi dan kecepatan superfisial gas (J_G) yang rendah, kemudian jika semakin tinggi nilai J_L maka pola aliran *bubbly* semakin sulit untuk diamati.

Tabel 4.4 Perbandingan pola *bubbly* aliran dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_L tetap, $J_L = 0,879$ m/s dan J_G bervariasi

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

Analisis yang didapatkan dari Tabel 4.4 pada $J_L = 0,879$ m/s dengan variasi $J_G = 0,207$ m/s; $0,423$ m/s; dan $0,871$ m/s menunjukkan perbedaan pola aliran *bubbly* di setiap kenaikan kecepatan superfisial gasnya. Pada variasi nilai $J_L = 0,879$ m/s dengan $J_G = 0,871$ m/s terlihat gas *bubbly* lebih banyak dan rapat dari J_G lainnya, hal ini dikarenakan kecepatan superfisial gas yang lebih tinggi.

Ketika kecepatan superfisial gas di naikan jarak antar gas *bubbly* juga semakin dekat, hal ini dikarenakan bertambah banyaknya gelembung-gelembung gas yang mengumpul pada *mixer* sehingga pada saat gas *bubbly* keluar jumlahnya lebih banyak dan jarak antar *bubbly* semakin rapat.

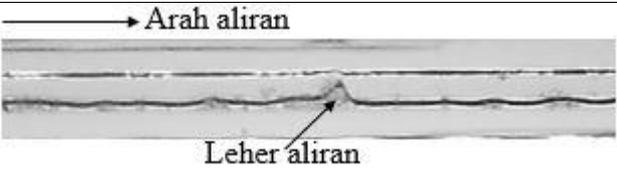
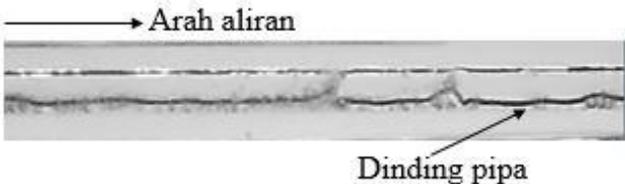
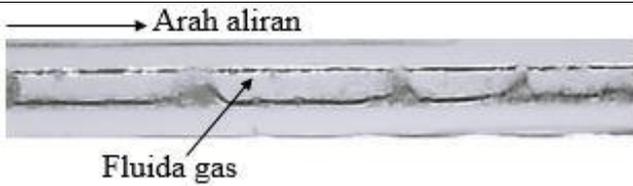
Kesimpulan sementara yang didapatkan pada Tabel 4.4 dengan konsentrasi butanol 5% nilai J_L tetap yaitu $J_L = 0,879$ m/s dan J_G bervariasi yaitu $0,207$ m/s; $0,423$ m/s; dan $0,871$ m/s adalah dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas maka menunjukkan perbedaan perbandingan pada jumlah gas *bubbly* yang semakin banyak dan rapat.

4.2.3 Pola Aliran Slug Annular

Pola aliran *slug-annular* terjadi pada kecepatan superfisial gas tinggi, akan tetapi bukan yang paling tinggi dengan kecepatan superfisial cair rendah. Pola ini terjadi ketika aliran gas sudah konstan kemudian di selipi aliran cair yang rendah sehingga terlihat seperti gelombang atau leher aliran (*liquid necks*). *Liquid necks* pada pola aliran *slug-annular* terbentuk karena pengaruh viskositas dan tegangan permukaan.

Pada kecepatan superfisial cair rendah terlihat bentuk *liquid necks* masih beraturan. Tetapi seiring kecepatan superfisial cair terus meningkat, bentuk *liquid necks* mulai tidak beraturan sehingga menjadi aliran *churn*. Sedangkan ketika kecepatan superfisial gas terus mengalami peningkatan dengan kecepatan superfisial cair rendah, maka akan terbentuk pola aliran *annular*.

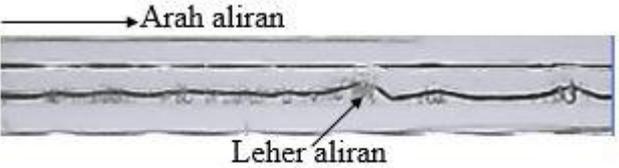
Tabel 4.5 Perbandingan pola *slug annular* aliran dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_G tetap, $J_G = 7$ m/s dan J_L bervariasi

No	J_L	Pola Aliran
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,232 m/s	

Dari tabel 4.5 terlihat perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi butanol 5% kemiringan 20° , menggunakan nilai J_G tetap dan nilai J_L bervariasi. Dapat dianalisis bahwa dengan meningkatnya nilai J_L maka leher aliran

(*liquid necks*) bertambah banyak dan bentuknya semakin tidak beraturan. Dengan bertambahnya distribusi aliran cair pada aliran *slug-annular* tersebut, maka kandungan viskositas dan tegangan permukaan juga meningkat sehingga menyebabkan aliran *slug-annular* hampir berubah menjadi aliran *churn*.

Tabel 4.6 Perbandingan pola *slug annular* aliran dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_L tetap, $J_L = 0,033$ dan J_G bervariasi

No	J_G	Pola Aliran
1	3 m/s	 <p>Arah aliran</p> <p>Leher aliran</p>
2	4,238 m/s	 <p>Arah aliran</p> <p>Dinding pipa</p>
3	9,620 m/s	 <p>Arah aliran</p> <p>Fluida gas</p>

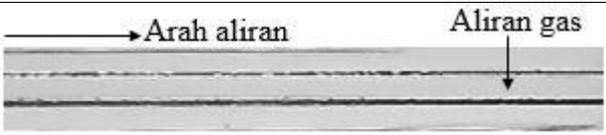
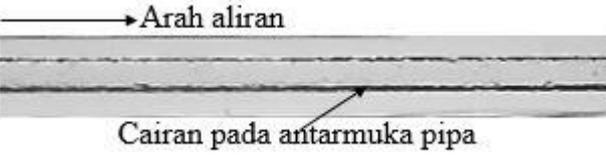
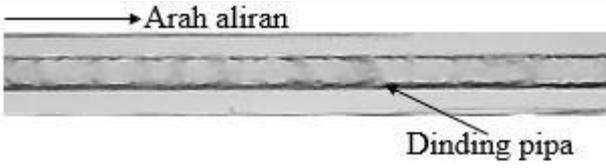
Analisis yang didapatkan dari Tabel 4.6 yaitu untuk $J_L = 0,033$ m/s dengan variasi $J_G = 3$ m/s; 4,238 m/s; dan 9,620 m/s menunjukkan pola aliran *slug-annular* yang berbeda. Perbedaannya terlihat pada setiap kenaikan nilai J_G nya. Apabila diamati *liquid necks* berkurang jika kecepatan superfisial gasnya meningkat, hal ini dikarenakan semakin besarnya distribusi aliran gas sehingga aliran cair hanya mengisi pada antarmuka pipa saja. Ketika kecepatan superfisial gas semakin besar maka pola aliran *slug-annular* akan berubah menjadi pola aliran *annular*.

4.2.4 Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* dengan *slug-annular* hampir mirip, terdapat gelombang di kedua aliran tersebut. Gelombang pada aliran *annular* lebih halus dan konstan. Hal tersebut dikarenakan kecepatan superfisial gas yang sangat tinggi sedangkan kecepatan superfisial cair rendah. Perbedaan distribusi fluida air dan gas ini, menyebabkan fluida gas mengalir pada bagian tengah pipa sedangkan fluida cair mengalir pada dinding atas dan bawah pipa.

Pada konsentrasi butanol 5% kemiringan pipa 20° pola aliran *annular* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial fluida gas (J_G) = 50-66.3 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.

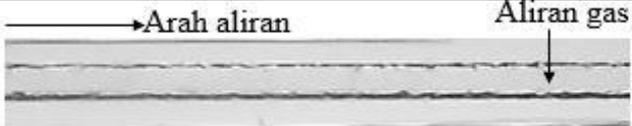
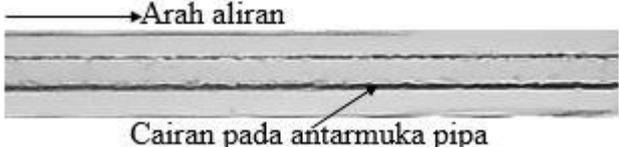
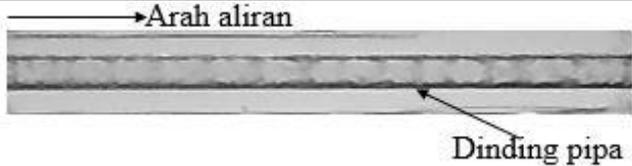
Tabel 4.7 Perbandingan pola *annular* aliran dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_G tetap, $J_G = 58,05$ m/s dan J_L bervariasi

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

Dari tabel 4.7 pada konsentrasi butanol 5% dan kemiringan pipa 20° dengan nilai kecepatan superfisial gas (J_G) tetap dan kecepatan superfisial cair (J_L) bervariasi menunjukkan riak-riak air terlihat paling banyak pada $J_L = 0,149$ m/s. Riak-riak air pada $J_L = 0,149$ m/s terlihat paling banyak dikarenakan kecepatan

superfisial cairannya lebih tinggi dari $J_L = 0,033$ m/s dan $0,091$ m/s. Ketika kecepatan superfisial cair semakin tinggi, maka pola aliran *annular* akan transisi menjadi pola aliran *churn*.

Tabel 4.8 Perbandingan pola *annular* aliran dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_L tetap, $J_L = 0,149$ m/s dan J_G bervariasi

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

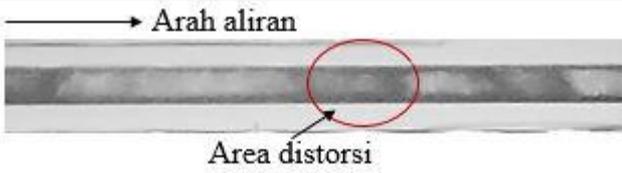
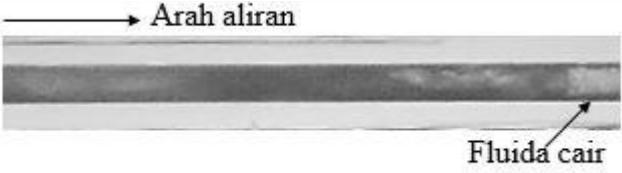
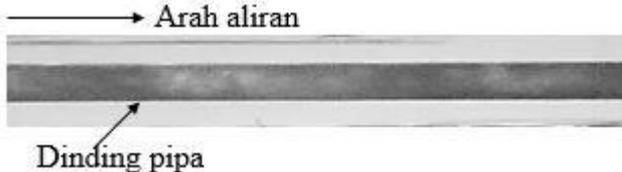
Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan pola aliran *annular* pada konsentrasi butanol 5% kemiringan pipa 20° dengan nilai J_L tetap = $0,149$ m/s. Terlihat perbedaan yang terjadi yaitu penipisan riak riak air dibagian atas dan bawah pola aliran *annular*. Hal tersebut dikarenakan kecepatan superfisial cair yang tetap dengan kecepatan superfisial gas yang selalu bertambah sehingga aliran gas mendorong aliran air yang berada di kedua sisi menjadikan riak-riak air tidak terlihat jelas. Ketika diamati dengan video semakin tinggi aliran gasnya mengakibatkan aliran *annular* semakin tenang.

4.2.5 Pola Aliran *churn*

Terbentuknya pola aliran *churn* karena kecepatan superfisial cair yang sangat tinggi dengan kecepatan superfisial gas rendah, sedang ataupun tinggi. Munculnya pola aliran *churn* dapat terjadi pada saat transisi aliran *bubbly*, *slug-annular*, dan

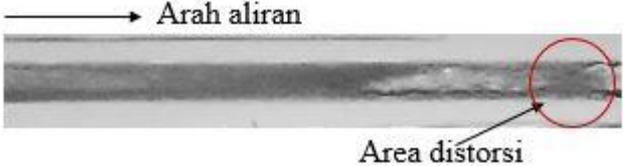
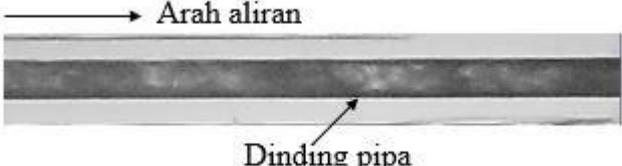
annular. Pada saat transisi dari aliran *bubbly* ke aliran *churn* nilai J_G tidak begitu besar, akan tetapi pada nilai J_L sangat besar sehingga pada saat divideo alirannya sangat cepat dan gas dari aliran tersebut terdistorsi oleh aliran cair. Berbeda dengan saat transisi antara aliran *annular* ke aliran *churn*, pada kejadian transisi ini nilai kecepatan superfisial gas dan cairnya sudah sama sama tinggi.

Tabel 4.9 Perbandingan pola *anular* aliran dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_G tetap, $J_G = 22,6$ m/s dan J_L bervariasi

No	J_G m/s	Pola Aliran
1	0,7	
2	0,879	
3	2,297	

Analisis yang di dapatkan dari tabel 4.9 ketika J_G tetap = 22,6 dan J_L bervariasi adalah pada saat kecepatan superfisial cair dinaikan maka bayangan hitam terlihat bertambah banyak. Hal ini dikarenakan debit air yang tinggi mengakibatkan udara terdistorsi sehingga terlihat bayangan hitam. Pada percobaan ini, nilai $J_L = 2,297$ terlihat paling banyak bayangan hitam.

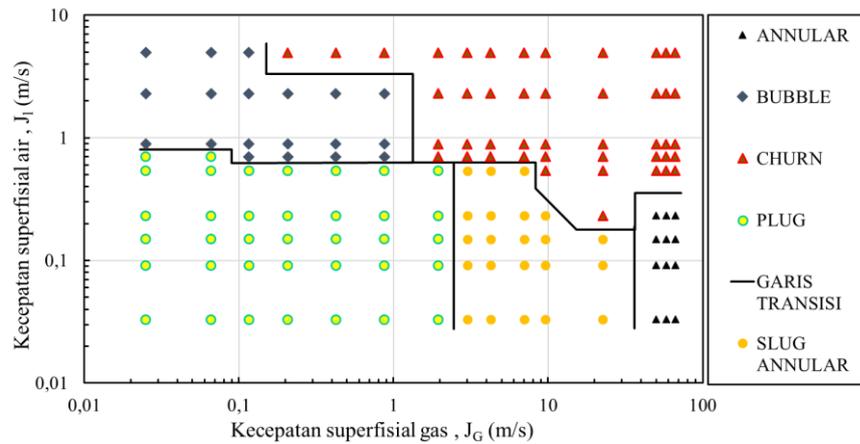
Tabel 4.10 Perbandingan pola *anular* aliran dengan konsentrasi Butanol 5% nilai J_L tetap, $J_L = 0,879$ m/s dan J_G bervariasi

No	J_G m/s	Pola Aliran
1	9,620	
2	50	
3	66,3	

Perbandingan peta pola aliran *churn* pada tabel 4.10 dengan J_L tetap = 0,879 m/s dan J_G bervariasi 9,620 m/s; 50 m/s; dan 66,3 m/s adalah ketika nilai J_G semakin besar maka aliran gas semakin dominan. Pada nilai $J_G = 66,3$ m/s terlihat bayangan hitam lebih sedikit dibanding dengan $J_G = 50$ m/s.

4.3 Peta Pola Aliran

Setelah diidentifikasi pola aliran pada penelitian studi eksperimental aliran dua fase udara-air dan butanol 5% dengan kemiringan 20° , kemudian dilakukan pembuatan peta pola aliran. Sumbu pada peta pola aliran menggunakan kecepatan superfisial gas pada sumbu x, sedangkan sumbu y menggunakan kecepatan superfisial cair. Nilai minimum sumbu-x yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan untuk nilai minimum sumbu-y yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 10. Pada peta pola aliran ini dapat diidentifikasi daerah transisi antar pola aliran dan analisis yang terjadi. Berikut gambar peta pola aliran pada penelitian ini yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Peta pola aliran udara-air dan butanol 5% kemiringan pipa 20°

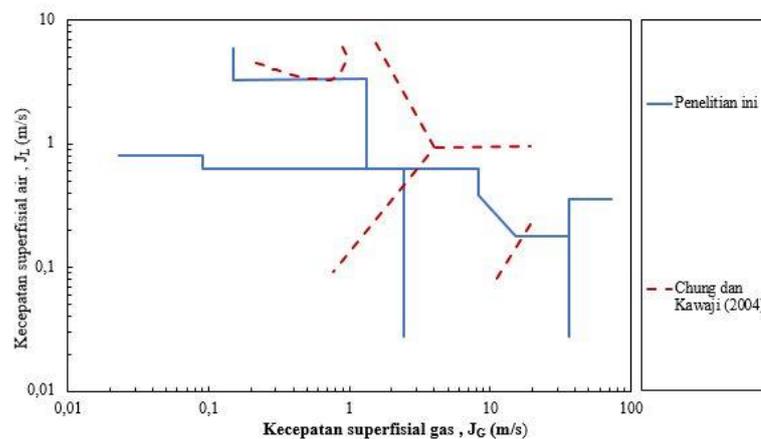
Analisis peta pola aliran dua fase campuran butanol 5% dengan kemiringan pipa 20° adalah sebagai berikut :

1. Dari semua data yang di dapat dengan kombinasi kecepatan superfisial gas dan superfisial cair yang totalnya 144, terdapat 5 pola aliran yaitu : plug, bubble, slug-annular, annular dan churn.
2. Pola aliran plug mulai muncul pada $J_G = 0,025$ m/s meningkat sampai 1,941 m/s, kemudian setelah lebih dari $J_G = 1,941$ m/s bertransisi menjadi pola aliran slug-annular. Berbeda dengan nilai J_L , ketika nilai J_L terus meningkat maka pola aliran plug akan bertransisi menjadi pola aliran bubble dan churn tergantung besar dari J_G nya.
3. Jika dilihat dari peta tersebut pola aliran bubble terdapat pada bagian kiri atas. Pola aliran bubble muncul pada $J_L = 0,879$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s sampai bertransisi dengan pola aliran churn. Pada J_G muncul pada nilai 0,025 m/s sampai pada $J_G = 0,116$ m/s dan 0,871 m/s pola aliran bubble bertransisi menjadi pola aliran churn.
4. Pola aliran slug-annular jika dilihat dari peta pola aliran tersebut berada diantara pola aliran plug, churn, dan annular. Pola aliran slug-annular muncul pada nilai J_L rendah pada 0,033 m/s dan $J_G = 3$ m/s. Ketika nilai kecepatan superfisial cair terus meningkat maka pola aliran slug-annular berubah menjadi churn sedangkan ketika nilai J_G terus meningkat pola slug-annular akan berubah menjadi pola aliran annular.

5. Ketika kecepatan superfisial gas terus meningkat sampai pada nilai yang tertinggi maka pola aliran annular akan muncul. Nilai $J_G = 50$ m/s merupakan kemunculan pertama pola aliran annular sampai pada $J_G = 66,3$ m/s. Sedangkan nilai J_L pada pola aliran annular sangat rendah yaitu pada 0,033 m/s sampai 0,232 m/s, lebih dari J_L tersebut pola yang terbentuk adalah churn.
6. Pola aliran churn adalah pola yang terbentuk dari transisi pola aliran plug, bubble, slug-annular, dan annular. Dari setiap transisi tersebut bisa terjadi dengan kecepatan superfisial gas dan cair yang berbeda-beda. Yang jelas adalah terbentuknya pola aliran *churn* karena kecepatan superfisial cair yang sangat tinggi dengan kecepatan superfisial gas rendah, sedang ataupun tinggi.

4.3.1 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

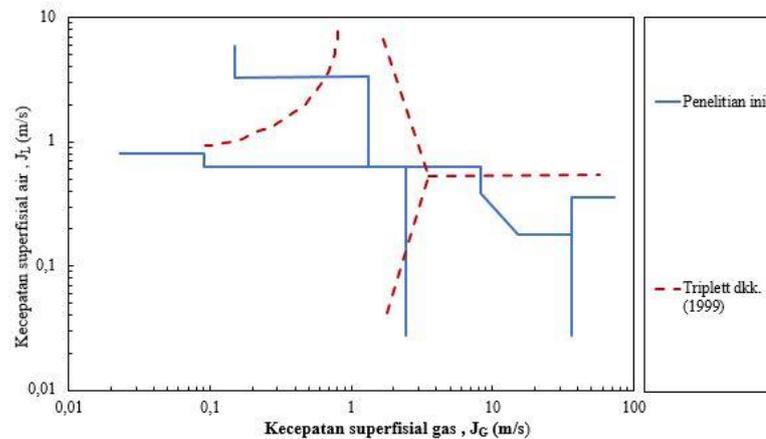
Perbandingan peta pola aliran yang didapat dari hasil penelitian dengan penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui perbedaan garis transisi yang disebabkan oleh perbedaan jenis fluida dan tegangan permukaan. Penelitian ini dibandingkan dengan dua peneliti terdahulu yaitu Chung dan Kawaji (2004) dan Triplett dkk. (1999).



Gambar 4.3 Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian ini dengan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004).

Jenis fluida dan tegangan permukaan sangat mempengaruhi hasil pola aliran. Perbandingan peta pola aliran pada gambar 4.3 antara penelitian ini dengan Chung

dan Kawaji (2004) memperlihatkan pemetaan pola aliran yang berbeda. Chung dan Kawaji (2004) menggunakan campuran gas nitrogen dan air, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara-air dan campuran butanol 5%. Dari kedua penelitian tersebut menghasilkan bentuk pola aliran yang sama yaitu *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Dapat dilihat pada gambar 4.3 garis transisi *bubbly* pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) lebih keatas dibandingkan pada penelitian hal ini dikarenakan jumlah *bubbly* pada penelitian ini lebih mendominasi dan garis transisi antara *annular*, *churn* dan *slug annular* mengalami pergeseran ke atas dibanding dengan penelitian ini hal ini dikarenakan pada penelitian Chung dan Kawaji pola aliran yang mendominasi adalah *plug*.



Gambar 4.4 Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian ini dengan peta pola aliran Triplett dkk. (1999).

Pada gambar 4.4 memperlihatkan perbedaan garis transisi pola aliran antara penelitian ini dengan Triplett dkk. (1999). Penelitian ini menggunakan menggunakan saluran pipa mini horizontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu udara-air dan campuran butanol 5% dengan variasi sudut kemiringan pipa 20° , sedangkan pada penelitian Triplett dkk. (dkk) saluran yang digunakan *mikro sirkular* dengan diameter 1,097 mm dengan fluida kerja yang digunakan yaitu air dan udara. Perbedaan jenis fluida, tegangan permukaan, jenis pipa, dan sudut pipa menyebabkan perbedaan transisi pola aliran antara penelitian ini dengan Triplett dkk. (1999). Perbedaan yang paling jelas terlihat yaitu pada pola aliran *churn*, pada penelitian ini ketika J_G rendah pola aliran

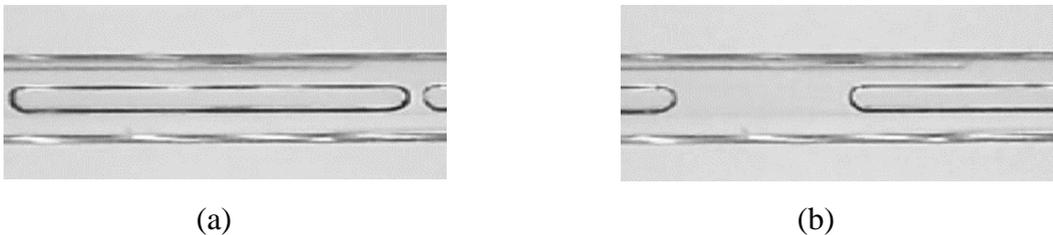
churn sudah mulai muncul sedangkan pada Triplett dkk. (1999) pola aliran *churn* muncul ketika J_G sudah mulai tinggi.

4.4 Fraksi Hampa (*Void Fraction*)

Fraksi hampa merupakan salah satu parameter penting dalam penelitian aliran dua fase. Dalam pengolahan penelitian fraksi hampa menghasilkan *time average*, kemudian diolah kembali untuk mencari PDF (*Probability Distribution Function*). Dalam penelitian ini berhasil mengidentifikasi *time average* pola aliran *plug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*.

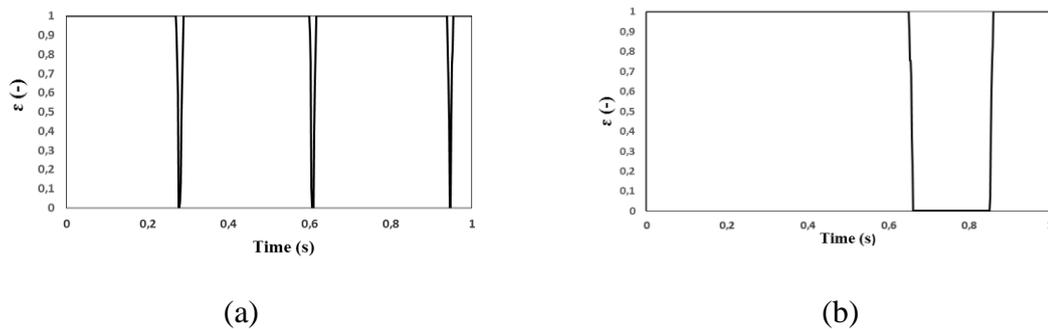
4.4.1 Fraksi Hampa Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* sering di temui dengan bentuk gelembung udara menyerupai bentuk peluru. Udara pada pola aliran *plug* hampir menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola yang bervariasi. Pola aliran *plug* diperlihatkan pada gambar 4.5.



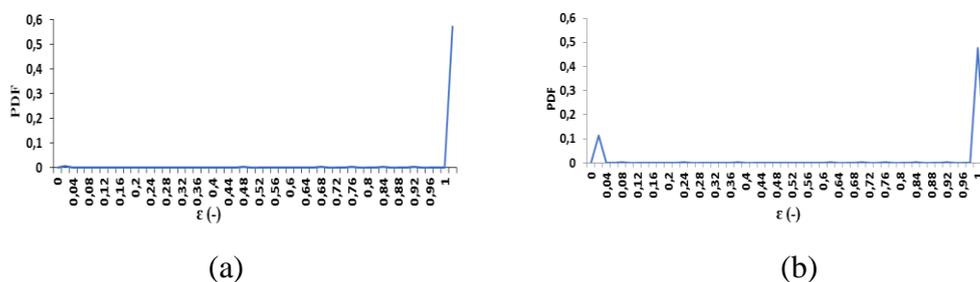
Gambar 4.5 Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s (b) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_G = 0,091$ m/s

Pada gambar 4.5 terdapat dua jenis *plug* yaitu *plug* panjang dan *plug* pendek pada *plug* pendek jarak antara *nose* dan *tail* saling berjauhan berbeda dengan *plug* panjang jarak antara *nose* dan *tail* saling berdekatan.



Gambar 4.6 *Time average* fraksi hampa pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s (b) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s.

Grafik *time average* fraksi hampa pada gambar 4.6 menghasilkan nilai fraksi hampa mencapai angka 1, yang berarti udara pada pola aliran *plug* tersebut memenuhi dinding pipa. Pada *time average* $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s terdapat juga nilai 0 yang cukup banyak dikarenakan jarak antara pola aliran *plug* yang panjang.



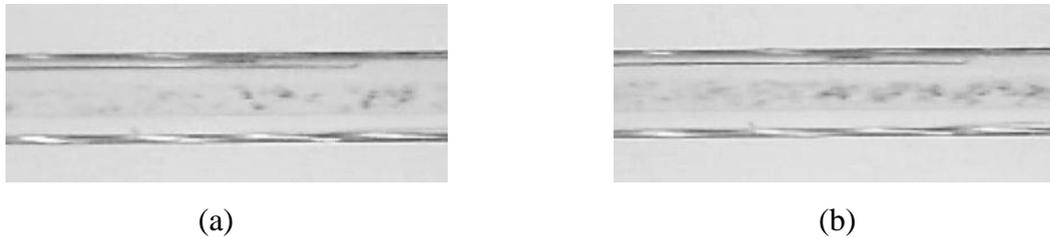
Gambar 4.7 PDF fraksi hampa pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s (b) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s

Pada gambar 4.7 di $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s nilai probabilitasnya yang paling dominan adalah 0,57 dengan nilai fraksi hampa 1, sedangkan pada $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s nilai probabilitas yang mendominasi adalah 0,47 dengan nilai fraksi hampa 1. Pada PDF fraksi hampa (b) angka 0,1 muncul dengan nilai fraksi hampa 0 yang berarti bahwa jarak antara pola aliran *plug* panjang.

4.4.2 Fraksi Hampa Pola Aliran *Bubbly*

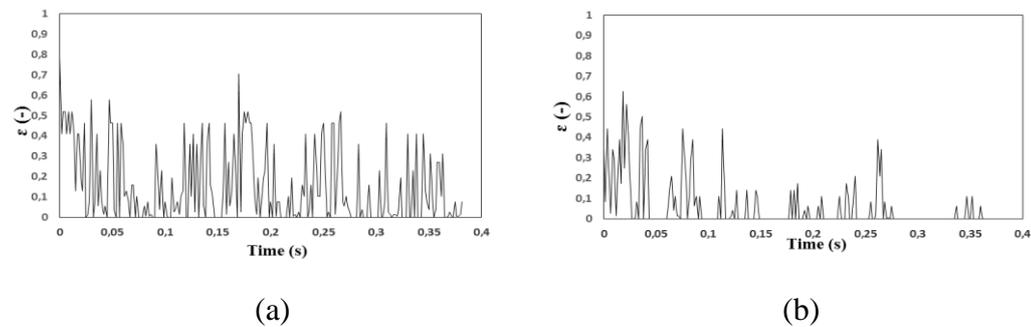
Pola aliran *bubbly* berbentuk gelembung-gelembung kecil yang mengambang antara batas dinding pipa. Pola *bubbly* biasanya terbentuk pada kecepatan

superfisial gas kecil dengan kecepatan superfisial cair besar. Gambar 4.8 menunjukkan pola aliran *bubbly*.



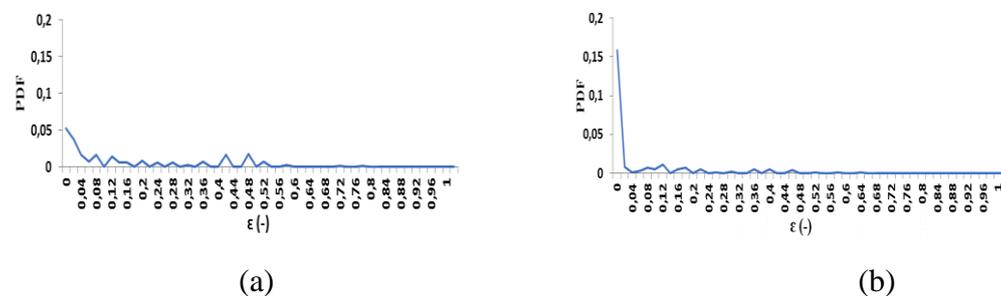
Gambar 4.8 Pola aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s (b) $J_G = 0,1160$ dan $J_L = 2,297$ m/s

Jika diamati pada gambar 4.8 terlihat gas *bubbly* semakin banyak ketika nilai J_G dinaikan, hal tersebut dikarenakan distribusi aliran gas yang semakin besar.



Gambar 4.9 *Time average* fraksi hampa pola aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s (b) $J_G = 0,1160$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s

Pada gambar 4.9 menunjukkan grafik *time-average* bahwa semakin tinggi nilai J_G maka frekuensi pola aliran akan semakin tinggi dikarenakan jika jumlah J_G tinggi udara yang masuk semakin banyak.

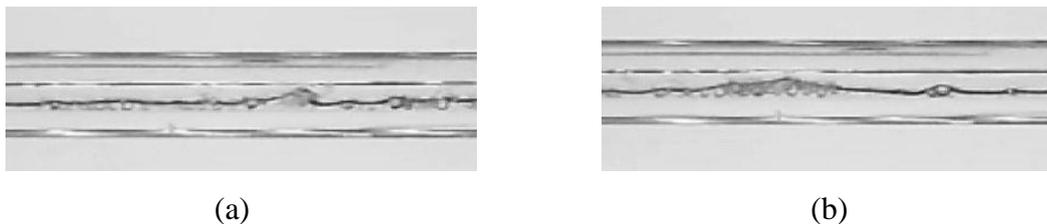


Gambar 4.10 PDF fraksi hampa pola aliran *bubbly* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s (b) $J_G = 0,1160$ dan $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.10 Pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *bubbly* yaitu 0 dengan nilai probabilitas 0,05 dan pada $J_G = 0,1160$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0 dengan nilai probabilitas 0,15.

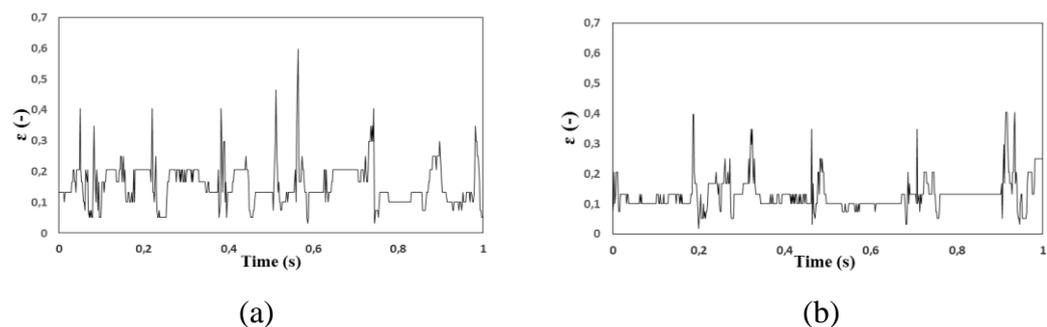
4.4.3 Fraksi Hampa Pola Aliran *Slug-Annular*

Pola aliran *slug-annular* terjadi pada kecepatan superfisial gas tinggi, akan tetapi bukan yang paling tinggi dengan kecepatan superfisial cair rendah. Pola ini terjadi ketika aliran gas sudah konstan kemudian di selipi aliran cair yang rendah sehingga terlihat seperti gelombang atau leher aliran (*liquid necks*). Pola aliran *slug-annular* ditunjukkan pada gambar 4.11.



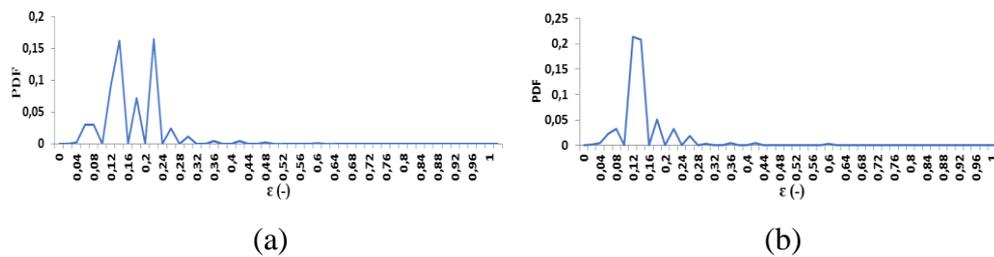
Gambar 4.11 Pola aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s (b) $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s

Pada gambar 4.11 perbandingan (a) dan (b) terlihat *liquid neck* yang semakin banyak ketika nilai kecepatan superfisial cair dinaikan.



Gambar 4.12 *Time average* fraksi hampa pola aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s (b) $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s

Gambar 4.12 menunjukkan mengurangnya nilai fraksi hampa karena *liquid neck* yang semakin banyak.

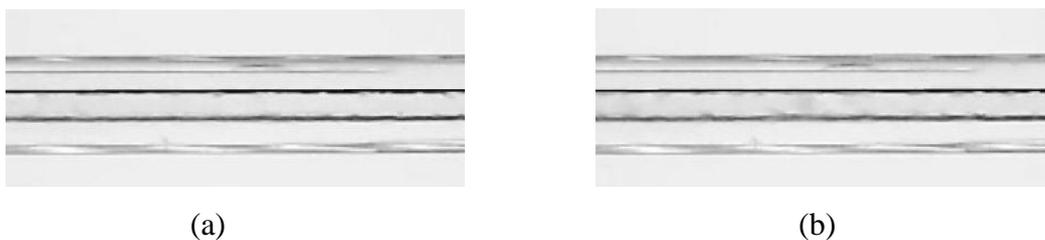


Gambar 4.13 PDF fraksi hampa pola aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s (b) $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,091$ m/s

Gambar 4.13 Pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,22 dengan nilai probabilitas 0,16 dan pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,12 dengan nilai probabilitas 0,2 nilai fraksi hampa semakin menurun dikarenakan munculnya *liquid neck* yang semakin banyak.

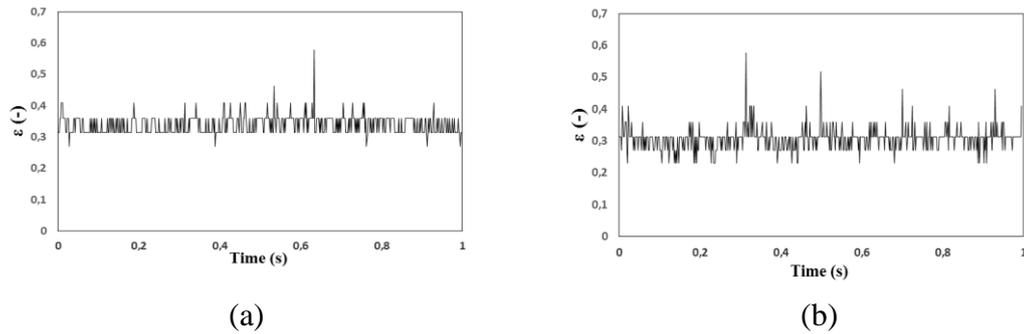
4.4.4 Fraksi Hampa Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* terjadi pada nilai kecepatan superfisial gas sangat tinggi dengan kecepatan superfisial cair rendah. Jika dilihat pola aliran *annular* seperti pola aliran yang tenang, akantetapi jika diamati lebih detail pola aliran *annular* memiliki gelombang kecil pada bagian antar muka pipa. Pola aliran *annular* ditunjukkan pada gambar 4.14.



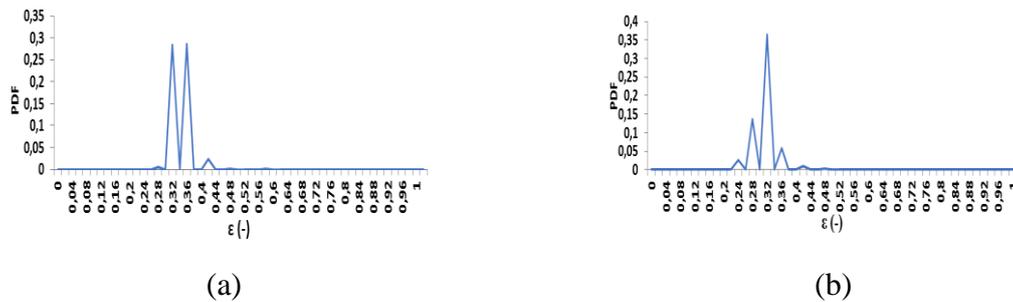
Gambar 4.14 Pola aliran *annular* pada (a) $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s (b) $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,232$ m/s

Kenaikan kecepatan superfisial cair yang ditunjukkan pada gambar 4.14 mengakibatkan lapisan film pada pola aliran *annular* semakin tebal.



Gambar 4.15 *Time average* fraksi hampa pola aliran *annular* pada (a) $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s (b) $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,232$ m/s

Pada gambar 4.15 terlihat penurunan nilai fraksi hampa, akan tetapi tidak terlalu signifikan.

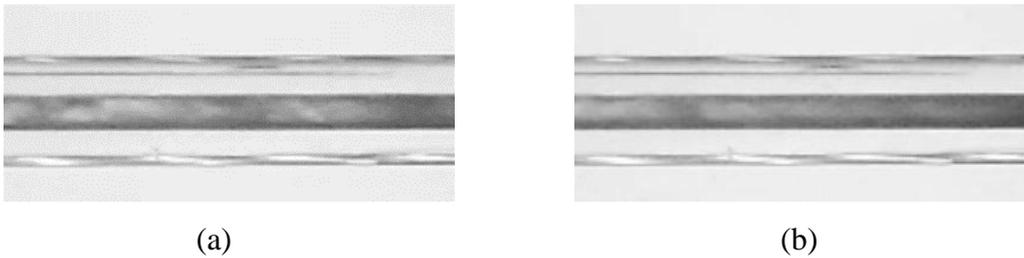


Gambar 4.16 PDF fraksi hampa pola aliran *annular* pada (a) $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s (b) $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,232$ m/s

Pada gambar 4.16 $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s pola aliran *annular* nilai probabilitasnya yang paling dominan adalah 0,284 dan 0,286 dengan nilai fraksi hampa 0,34 dan 0,3 ; sedangkan pada $J_G = 50$ m/s dan $J_G = 0,232$ m/s nilai probablilitas yang mendominasi adalah 0,36 dengan nilai fraksi hampa 0,32.

4.4.5 Fraksi Hampa Pola aliran *Churn*

Salah satu kemunculan pola aliran *churn* yaitu ketika kecepatan superfisial gas dan cair sama sama tinggi. Pola aliran *churn* ditunjukkan pada gambar 4.17.

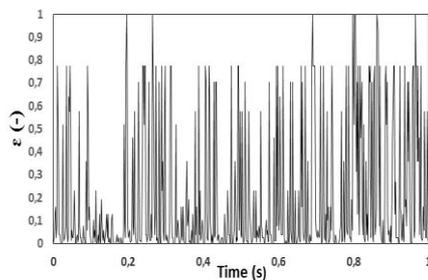


(a)

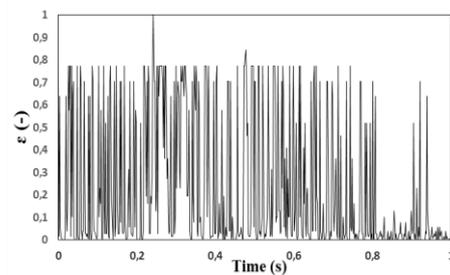
(b)

Gambar 4.17 Pola aliran *churn* pada (a) $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s (b) $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,879$ m/s

Pada gambar 4.17 distorsi terlihat semakin banyak ketika kecepatan superfisial cair terus dinaikan.



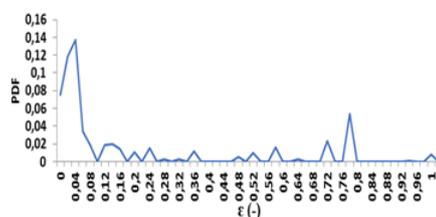
(a)



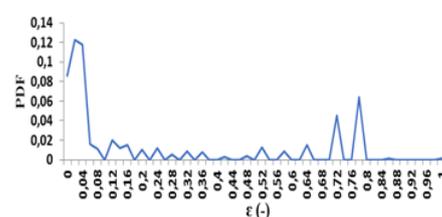
(b)

Gambar 4.18 *Time average* fraksi hampa pola aliran *churn* pada (a) $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s (b) $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,879$ m/s

Kenaikan kecepatan superfisial air (J_L) sangat mempengaruhi besarnya distorsi yang muncul jika pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s distorsi yang muncul masih kecil, sedangkan pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s distorsi yang muncul cukup besar dan panjang seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17.



(a)



(b)

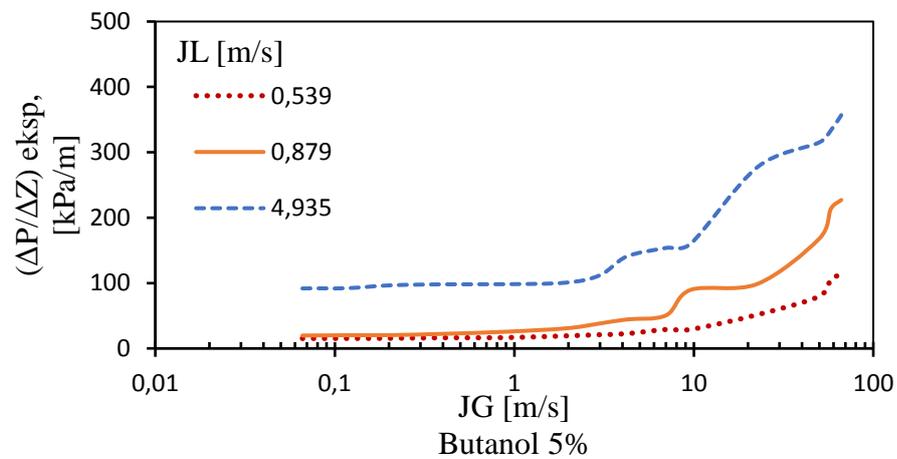
Gambar 4.19 PDF fraksi hampa pola aliran *churn* pada (a) $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s (b) $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,879$ m/s

Gambar 4.19 Pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,04 dengan nilai probabilitas 0,137 dan pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,02 dengan nilai probabilitas 0,12.

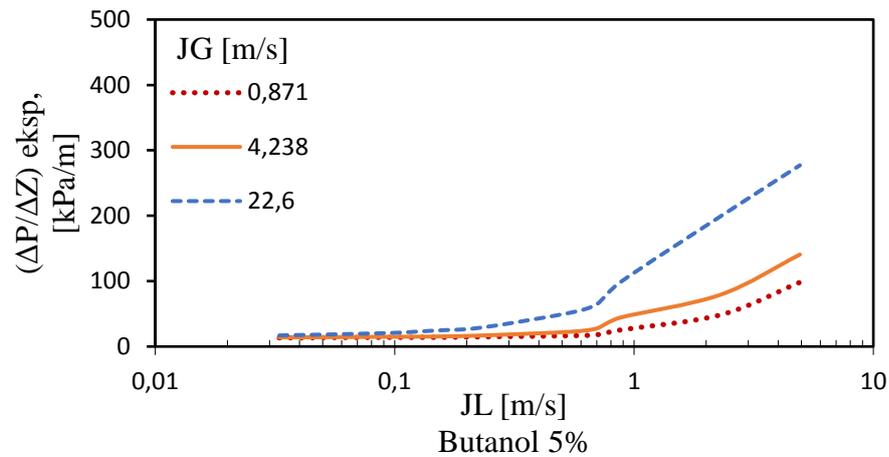
4.5 Gradien Tekanan

Penelitian tentang gradien tekanan pada pembahasan ini dilakukan dengan pipa kaca mini dengan diameter 1,6 mm dengan variasi J_G dan J_L . Data yang diambil berupa penurunan tekananya tiap satuan panjang. Data gradien tekanan diambil datanya menggunakan sensor MPX yang telah dipasang dan disambungkan ke komputer.

4.5.1 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan pada Aliran Dua Fase Udara-Akuades dan Butanol 5%



(a)



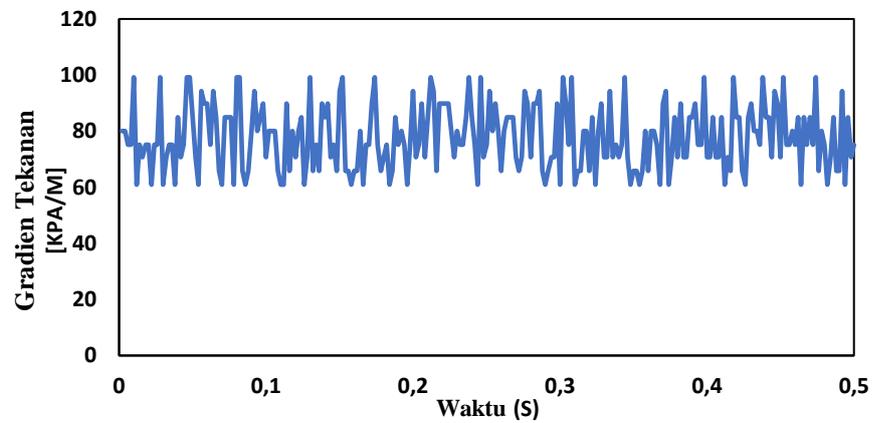
(b)

Gambar 4.20 (a) Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L , (b) Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G

Pada penelitian ini kecepatan superfisial *gas* (J_G) dan kecepatan superfisial *liquid* (J_L) dibuat bervariasi supaya dapat diketahui nilai dari gradien tekanan. Seperti pada gambar 4.20 (a) dan (b) jika kecepatan superfisial *gas* (J_G) mengalami peningkatan maka nilai dari gradien tekanan juga meningkat. Diamati kembali jika pada kecepatan superfisial *liquid* (J_L) mengalami peningkatan maka nilai gradien tekanan juga akan meningkat.

4.5.2 Gradien Tekanan Terhadap Waktu

Gradien tekanan terhadap waktu dilakukan untuk melihat hasil dari gradien tekanan dari 50.000 data dalam waktu 50 detik dijadikan 500 data dengan waktu 5 detik, maka didapatkan hasil seperti berikut.



Gambar 4.21 Pengaruh gradien tekanan terhadap waktu dengan butanol 5% pada $J_G = 0,871$ m/s dan $J_L = 4,935$ m/s

Pada gambar 4.21 menunjukkan grafik data time series pada $J_G = 0,871$ m/s dan $J_L = 4,935$ m/s yang membandingkan antara nilai gradien tekanan terhadap waktu yang diambil selama 5 detik yang memiliki nilai rata-rata 77,819 kPa/m.