

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian visualisasi pola aliran pada pipa kapiler dilakukan setelah percobaan dilakukan dan hasil penelitian didapatkan. Penelitian ini berfokus pada pembahasan tentang pola aliran dua fasa pada pipa kapiler yang terbentuk berdasarkan variasi kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial air (J_L) yang sudah ditentukan. Hasil dari ini dapat diaplikasikan dibidang *biomedik* khususnya pada sistem *kardiovaskular* juga biasa dikenal sebagai sistem peredaran darah, darah mengalir melalui pembuluh darah arteri lalu menuju pembuluh darah arteri yang paling kecil dan urukarnya hampir mirip dengan pipa yang digunakan pada penelitian ini. Dengan dilakukan visualisasi pola aliran pada penelitian ini semoga kedepannya dapat tercipta alat yang berkaitan dengan pola aliran pada pembuluh darah manusia.

4.1 Pola aliran

Investigasi aliran dua fasa pada pipa kapiler dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan kemiringan pipa 5° terhadap posisi horizontal telah dilakukan. Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini, adalah udara dan campuran air gliserin dengan variasi konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20% dan 30%. Dengan mengatur kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial air (J_L) dengan variasi yang sudah ditentukan, data penelitian yang berupa video diambil lalu dijustifikasi pola apa yang terbentuk. Pola aliran yang telah dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya. Pada peta pola aliran tersebut, absis menunjukkan kecepatan superfisial gas (J_G) dan ordinat adalah kecepatan superfisial air (J_L) nilai pada kedua sumbu tersebut dinyatakan secara logaritmik.

Dari hasil investigasi terdapat lima pola aliran utama antara lain : *bubbly*, *slug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*.

4.1.1 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* adalah pola aliran dengan gelembung yang terdapat pada antara dominasi cairan. Aliran *bubbly* terbentuk pada (J_G) yang kecil yaitu 0,025

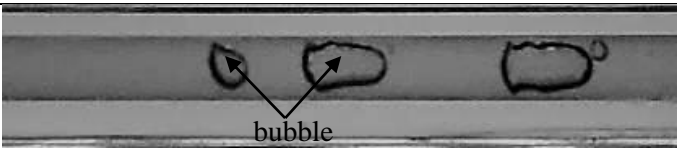
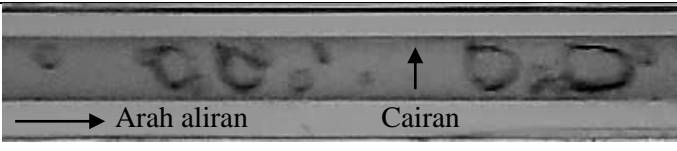

m/s - 0,423 m/s, sedangkan nilai (J_L) yang besar dengan kisaran 0,879 m/s - 4,935 m/s). Dengan debit air yang tinggi maka cairan memenuhi ruang pada *mixer* sebelum mengalir ke seksi uji sementara itu udara akan tertahan disisi bagian atas *mixer*.

Ada beberapa jenis aliran *bubbly* yang teridentifikasi pada penelitian ini, intensitas munculnya *bubble* dengan kondisi berdekatan jarang terjadi, bentuk *bubbly* yang teramati bulat pada bagian depannya dan ada juga bulat tidak sempurna dengan ukuran hampir mendekati saluran pipa dan bergerak gerak pada ujung dan tengah bagian *bubbly*. Dengan naiknya kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial air (J_L) maka ukuran *bubbly* mulai mengecil dan ekor yang meruncing pada ujungnya. Jika dinaikan kembali maka bentuk *bubbly* semakin mengecil, lebih tinggi, kondisi ini menyebabkan udara masuk ke pipa dan menjadi terdispersi didalam cairan. Pola aliran *bubbly* pada konsentrasi gliserin 0% mulai teramati pada (J_G) = 0,033 m/s dan (J_L) = 0,879 m/s. Pada kondisi ini *bubbly* berbentuk hidung yang bulat memiliki ekor yang terlihat bergerak di bagian tengah ujung *bubble*.


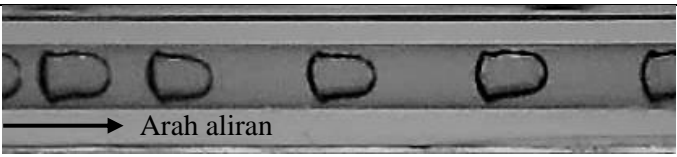
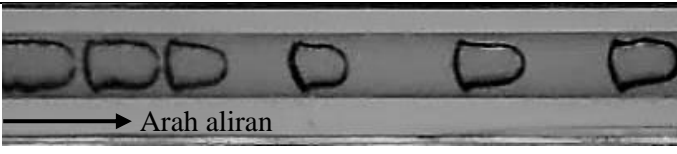
Jika nilai kecepatan superfisial air dan kecepatan superfisial udara dinaikan maka bentuk *bubbly* akan semakin kecil dengan bentuk hidung bulat sementara bagian ekor menjadi meruncing dan menghadap ke atas. Aliran *slug* yang teramati menjadi lebih pendek ukurannya dibandingkan aliran sebelumnya. Hal ini diakibatkan oleh udara yang tidak mampu menahan gaya geser, selain itu pula dispersed *bubbly* mulai muncul pada kondisi ini.

Pada campuran gliserin 10% aliran *bubbly* teramati pada titik kordinat (J_L) = 4,935 m/s dan (J_G) = 0,033 m/s. Dikonsentrasi ini terjadi perbedaan bentuk *bubbly* yang dimana pada konsentrasi yang 0% bentuk *bubbly* teramati dengan hidung bulat serta ekor seloah olah bergerak ukuran *bubbly* lebih kecil dan jarak antar *bubbly* semakin dekat. Sedangkan dikonsentrasi 10%. Bentuk *bubby* pada J_L 0,879 m/s dan (J_G) = 0,025 m/s hampir menyerupai plug tetapi plug berukuran kecil dan jarak antar *bubby* berdekatan, dengan dinaikan kecepatan superfisial gas (J_G) maka bentuk *bubbly* yang semula menyerupai *plug* kecil dengan adanya kenaikan (J_G) bentuk *bubbly* semakin kecil dan jarak antar *bubbly* tidak beraturan hal ini bisa

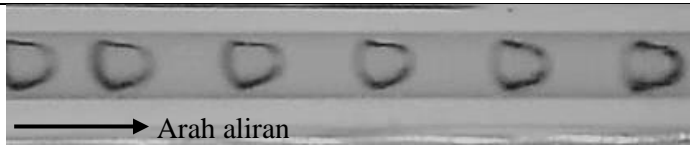
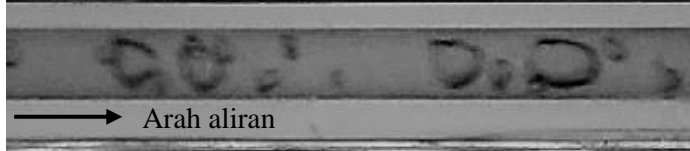
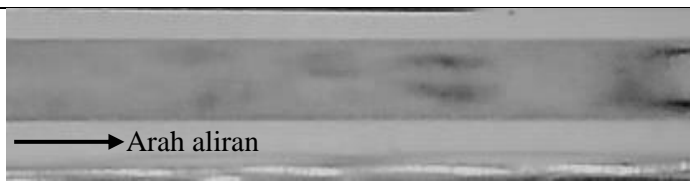
Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL0, dengan nilai J_G 0,207 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,879 m/s	
2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	

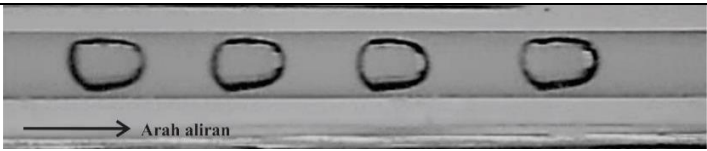
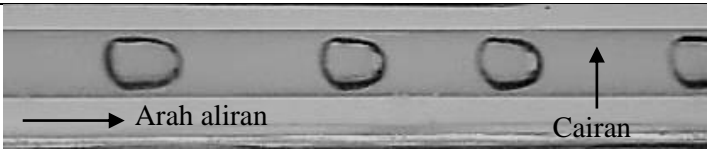
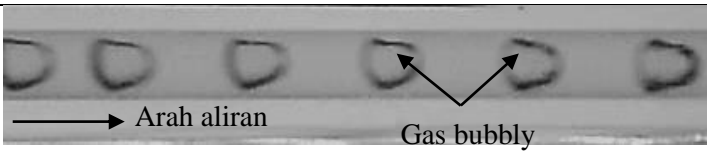
Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL0, dengan nilai J_L 0,879 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,025m/s	
2	0,116 m/s	
3	0,207 m/s	




Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL10, dengan nilai J_G 0,207 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0.879 m/s	
2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	




Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL10, dengan nilai J_L 0,879 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,025m/s	
2	0,116 m/s	
3	0,207 m/s	



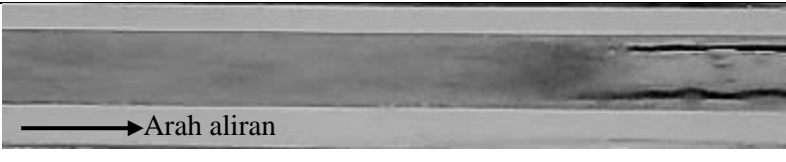
Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL20, dengan nilai J_G 0,207 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,879 m/s	
2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	



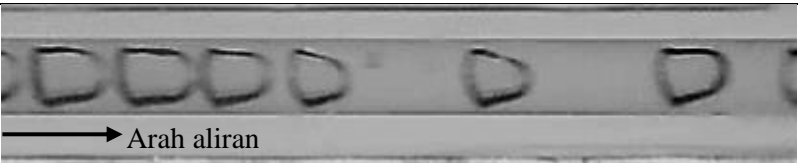
Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL20, dengan nilai J_L 0,879 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,025m/s	
2	0,116 m/s	
3	0,207 m/s	

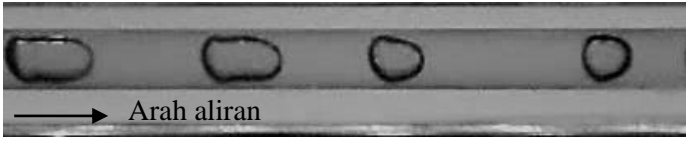
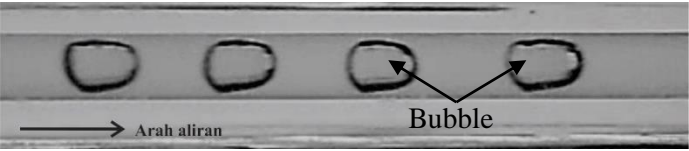
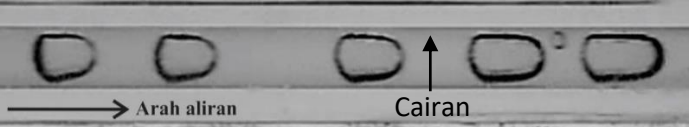
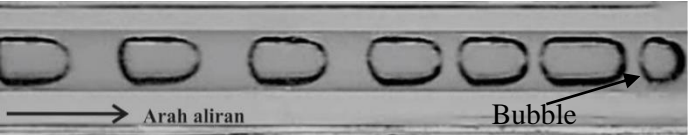
Tabel 4.7 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL30, dengan nilai J_G 0,207 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,879 m/s	
2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	

Tabel 4.8 Perbandingan pola aliran *bubbly* GL30, dengan nilai J_L 0,879 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,116 m/s	
3	0,207 m/s	

Tabel 4.9 Perbandingan pola aliran *bubbly* (J_G) 0,025 m/s (J_L) 0,879 m/s dengan pengaruh tiap konsentrasi gliserin

NO	KONSENTRASI GLISERIN	POLA ALIRAN
1	0%	
2	10%	
3	20%	
4	30%	

Perbandingan viskositas ini menggunakan kecepatan superfisial cair (J_L) 0,879 m/s. Dimana (J_L) tersebut adalah massa transisi dari aliran *plug* dan aliran *bubbly* bisa dilihat pada table 4.3 masih ada aliran *plug* yang ikut tercampur pada pipa tersebut, terlihat bentuk *bubbly* yang besar pada semua konsentrasi gliserin, serta jarak antar *bubbly* pada konsentrasi 0% tidak beraturan. Dengan meningkatnya konsentrasi gliserin jarak antar *bubbly* semakin rapat satu sama lain.

Pengaruh viskositas gliserin pada kemunculan aliran *bubbly* memiliki kecepatan lebih lambat dengan meningkatnya konsentrasi gliserin pada kecepatan superfisial fluida gas dan fluida cair.

4.1.2 Pola Aliran *Plug*



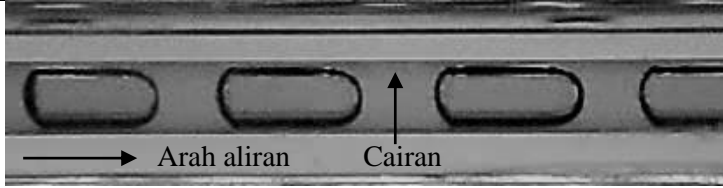
Pola aliran *plug* adalah pola aliran dimana terdapat kantung udara yang bentuknya hampir mirip dengan peluru, aliran *plug* umumnya berbentuk *bubbly* tetapi memanjang dan panjangnya lebih dari diameter saluran, panjangnya *bubbly* dikarenakan oleh meningkatnya kecepatan superfisial gas (J_G) yang cukup besar untuk menerobos fluida cair tetapi tidak bisa untuk menghancurkan aliran fluida cair secara *continue*. Pola aliran *plug* terbentuk ketika kecepatan superfisial (J_G) dinaikan sedangkan kecepatan superfisial cair (J_L) pada aliran *plug* cenderung rendah dibandingkan dengan aliran *bubbly*. Aliran *plug* yang terbentuk hampir sama pada setiap konsentrasi gliserin, tetapi tergantung besar kecilnya kecepatan superfisial fluida cair dan gas karena mempengaruhi Panjang *plug* dan jarak antar *plug*.

Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,025 m/s sedangkan kecepatan superfisial cair (J_L) = 0,033 m/s, Aliran *plug* bergerak dengan kecepatan konsisten dengan kondisi tertentu. Kemunculan aliran *plug* pada kecepatan superfisial fluida cair dan fluida gas yang sama, tidak ada perbedaan aliran *plug* pada konsentrasi yang berbeda.


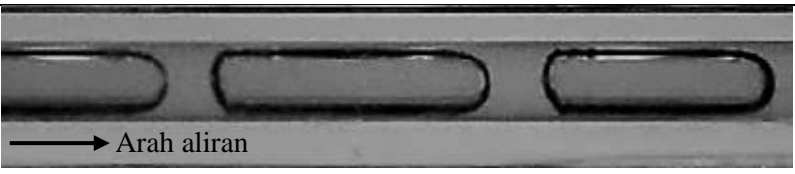
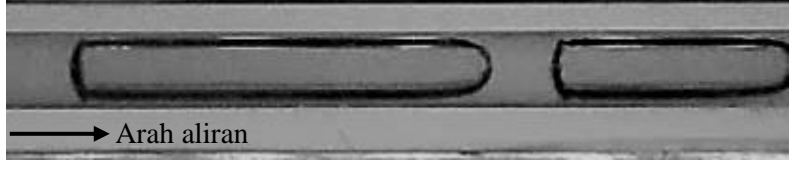
Ketika kecepatan superfisial fluida cair dinaikan maka bentuk *plug* yang awalnya Panjang dengan dinaikannya (J_L) maka bentuk *plug* akan terpotong potong lebih kecil hal ini disebabkan oleh udara yang tertekan oleh air yang mengalami kenaikan. Menunjukkan bahwa nilai (J_G) tetap dan nilai (J_L) yang divariasikan naik terlihat jarak antar *plug* semakin panjang dan diisi oleh fluida cair.

Pengaruh kecepatan superfisial gas (J_G) terlihat mempengaruhi bentuk dan ukuran *plug* pada nilai fluida gas (J_G) 0,116 m/s terlihat bentuk *plug* yang seperti *bubbly* berukuran besar dengan jarak antar tiap *plug relative* agak berjauhan, namun jika nilai fluida gas dinaikan lebih besar pada (J_G) 0,423 m/s yang terjadi pada bentuk *plug* semakin memanjang sampir seperti bentuk pola aliran *slug annular* yang terpotong potong dan jarak antar *plug* semakin menyempit.


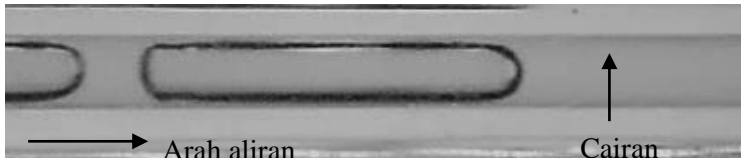
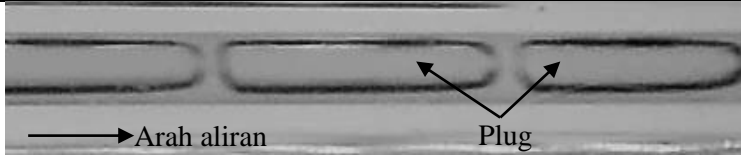
Tabel 4.10 Perbandingan pola aliran *plug* dengan J_G 0,879 m/s dengan J_L bervariasi pada konsentrasi GL0

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

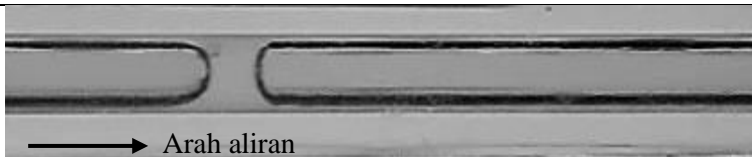
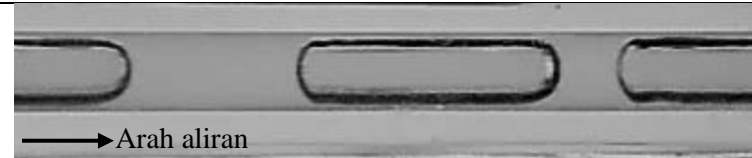

Tabel 4.11 Perbandingan pola aliran *plug* GL0, dengan nilai J_L 0,539 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,116 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	



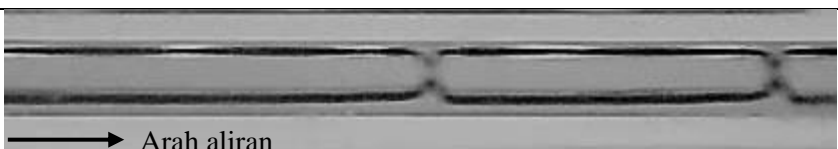
Tabel 4.12 Perbandingan pola aliran *plug* dengan J_L 0,535 m/s dan J_G bervariasi pada konsentrasi G10

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,116 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

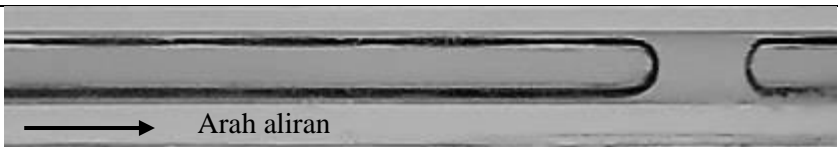


Tabel 4.13 Perbandingan pola aliran *plug* GL10, dengan nilai J_G 0,539 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	


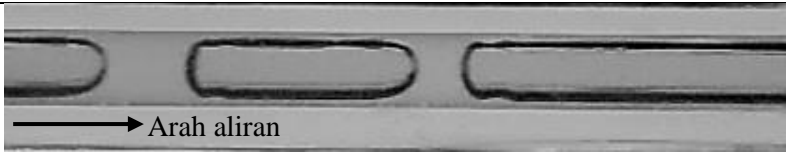
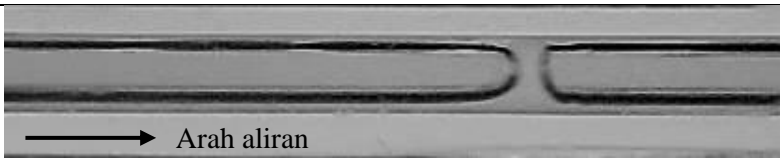
Tabel 4.14 Perbandingan pola aliran *plug* dengan J_L 0,871 m/s dengan J_G bervariasi pada konsentrasi GL20

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,116 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	


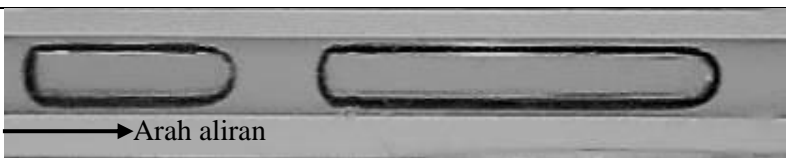

Tabel 4.15 Perbandingan pola aliran *plug* GL20, dengan nilai J_G 0,539 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

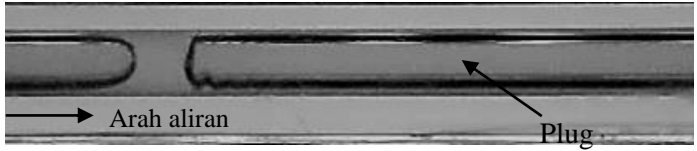
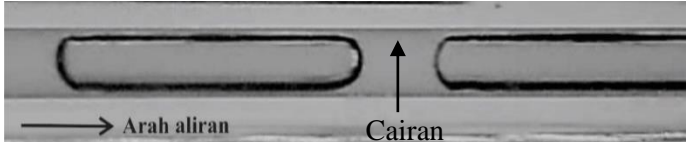
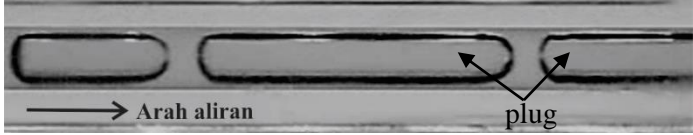

Tabel 4.16 Perbandingan pola aliran *plug* dengan J_L 0,871 m/s dengan J_G bervariasi pada konsentrasi GL30

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	0,116 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

Tabel 4.17 Perbandingan pola aliran *plug* GL30, dengan nilai J_G 0,539 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

Tabel 4.18 Perbandingan pola aliran *plug* $J_G 0,423$ m/s $J_L 0,232$ m/s dengan pengaruh tiap konsentrasi gliserin

NO	KONSENTRASI GLISERIN	POLA ALIRAN
1	0%	
2	10%	
3	20%	
4	30%	

Semakin besar nilai konsentrasi gliserin pada investigasi kali ini, menyebabkan semakin sulitnya udara untuk menerobos masuk suatu aliran yang didalamnya terdapat fluida cair. Dari hasil pengamatan bentuk *plug* tidak jauh berbeda pada semua konsentrasi gliserin.

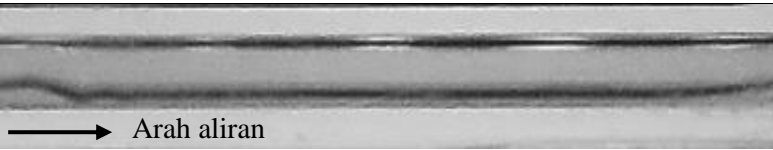
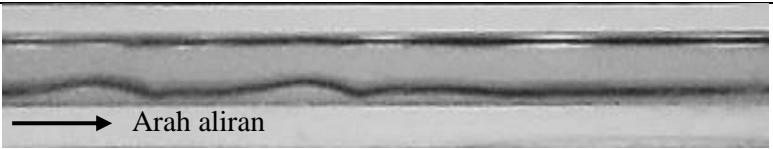
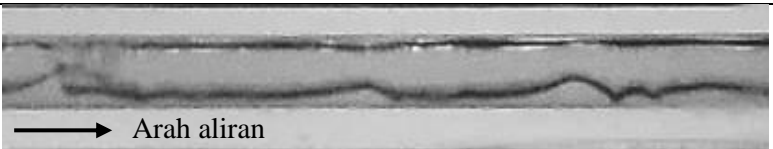
Aliran *plug* pada semua konsentrasi gliserin *relative* memiliki bentuk *plug* yang sama. Pada perbandingan tiap konsentrasi dengan nilai kecepatan superfisial gas dan fluida tetap yaitu $J_G 0,423$ m/s $J_L 0,232$ m/s, bisa dilihat untuk konsentrasi gliserin 0% bentuk *plug* jauh lebih Panjang dari konsentrasi gliserin lainnya dan ruang untuk fluida cair sangat kecil, sedangkan pada konsentrasi gliserin 30% bentuk *plug* jauh lebih pendek dari sebelumnya serta jarak antar *plug* semakin berdekatan

4.1.3 Pola Aliran Slug Annular

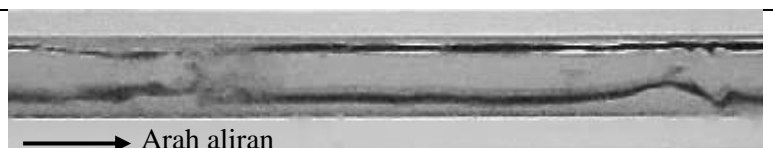
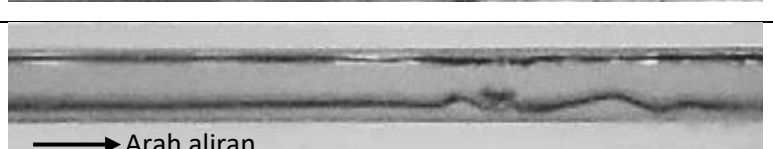
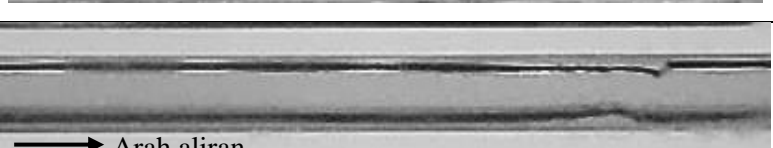
Pola aliran *slug annular* merupakan peralihan dari aliran *slug* ke aliran *annular*. Pola ini terjadi pada saat aliran udara sudah *countinue* dan sementara aliran air bagian bawah maupun atas saluran pipa membentuk gelombang. Lapisan air yang ada pada bagian atas saluran pipa biasanya cenderung lebih tipis dari bagian bawah, terbentuknya pola aliran *slug annular* akibat adanya kenaikan pada kecepatan superfisial gas 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 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. Pola aliran yang dapat membentuk kantong udara Panjang seperti terowongan nilai fluida gas (J_G) yang lebih besar dari di banding fluida cair (J_L), slug annular pada kondisi ini terbentuknya gelombang-gelombang kecil yang terdapat pada saluran bawah pipa, gelombang kecil ini berusaha menerobos dan memotong aliran gas yang sudah *countinue* yang berbentuk kantong udara. Akan tetapi gagal dan mengakibatkan gelombang kecil ini terdorong dengan kecepatan tinggi secara tiba tiba akibat fluida udara lebih dominan sehingga kantong udara seperti terowongan tetap stabil.

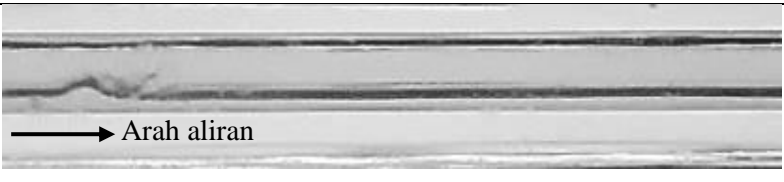
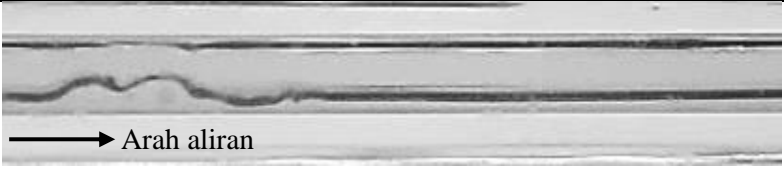
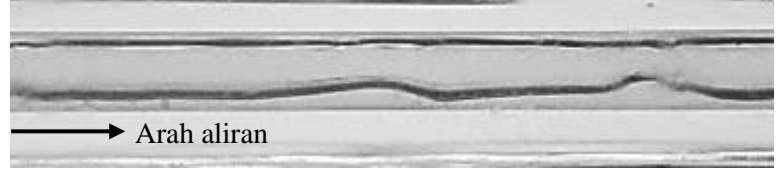
Tabel 4.19 Perbandingan pola aliran *Slug annular* GLO, dengan nilai J_G 7,00 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
2	0,091 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
3	0,149 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>

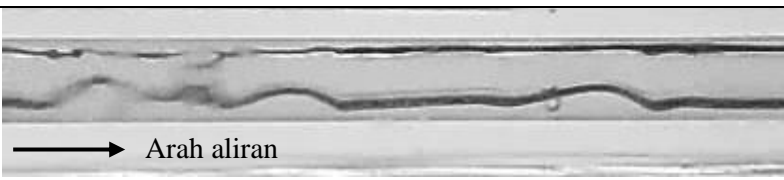
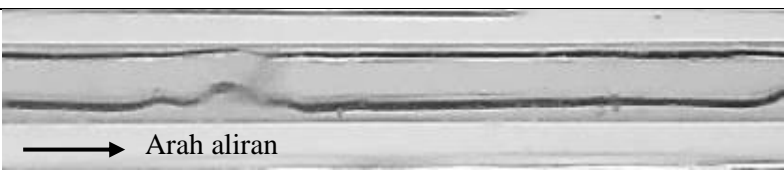
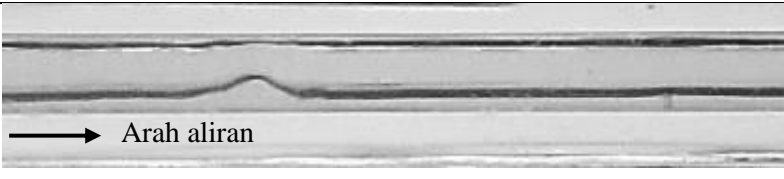
Tabel 4.20 Perbandingan pola aliran *plug* dengan J_L 0,149 m/s dengan J_G bervariasi pada konsentrasi GLO

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	4,238 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
2	7,00 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
3	9,62 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>

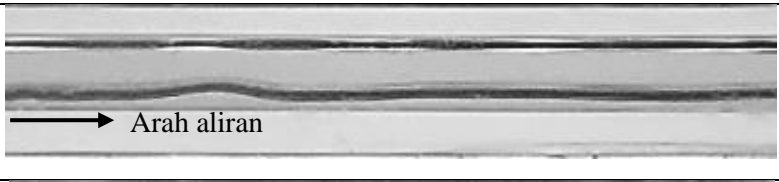
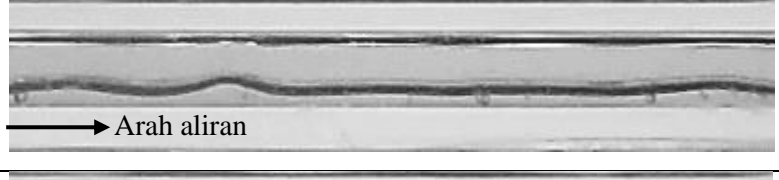

Tabel 4.21 Perbandingan pola aliran *Slug annular* GL10, dengan nilai J_G 7,00 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

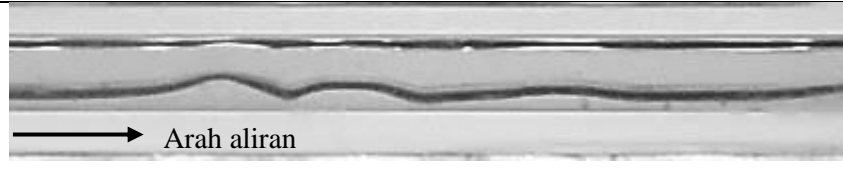
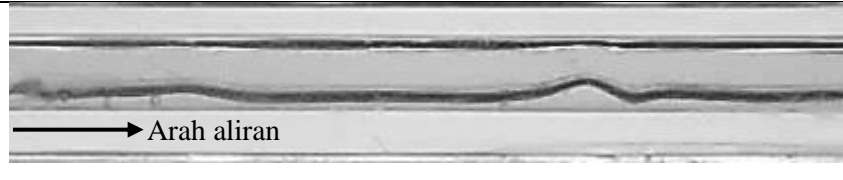

Tabel 4.22 Perbandingan pola aliran *Slug annular* dengan J_L 0,149 m/s dengan J_G bervariasi pada konsentrasi GL10

NO	J_G	POLA ALIRA
1	4,238 m/s	
2	7,00 m/s	
3	9,62 m/s	

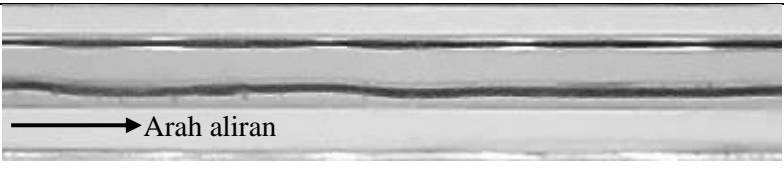
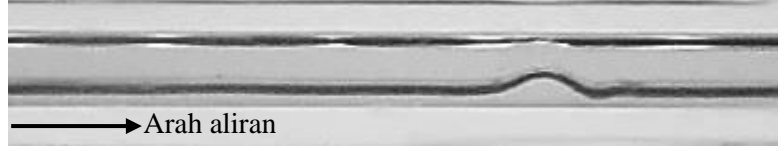

Tabel 4.23 Perbandingan pola aliran *Slug annular* GL20, dengan nilai J_G 7,00 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	


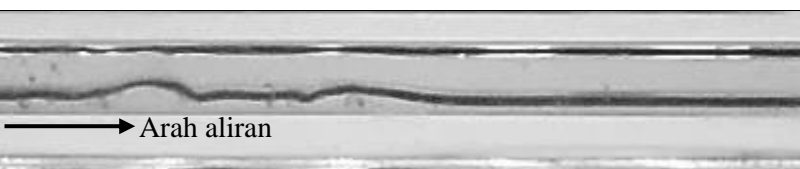

Tabel 4.24 Perbandingan pola aliran *Slug annular* dengan J_L 0,149 m/s dengan J_G bervariasi pada konsentrasi GL20

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	4,238 m/s	
2	7,00 m/s	
3	9,62 m/s	

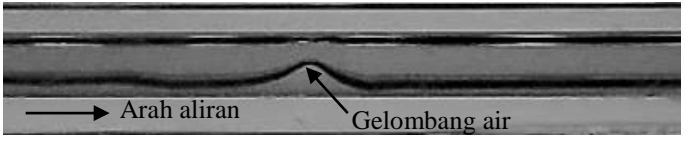
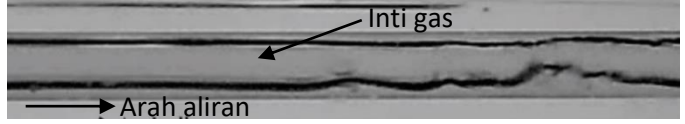
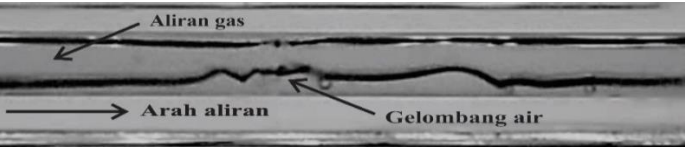
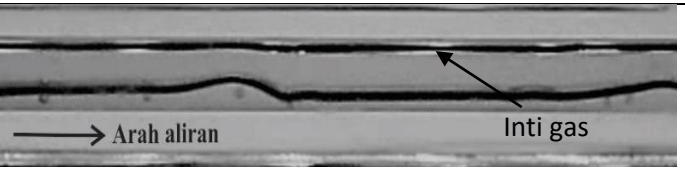
Tabel 4.25 Perbandingan pola aliran *Slug annular* GL30, dengan nilai J_G 7,00 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	 Arah aliran
2	0,091 m/s	 Arah aliran
3	0,149 m/s	 Arah aliran

Tabel 4.26 Perbandingan pola aliran *Slug annular* dengan J_L 0,149 m/s dengan J_G bervariasi pada konsentrasi GL30

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	4,238 m/s	 Arah aliran
2	7,00 m/s	 Arah aliran
3	9,62 m/s	 Arah aliran

Tabel 4.27 Perbandingan pola aliran *slug annular* pada nilai J_G 4,238 m/s dan J_L 0,091 m/s dengan tiap konsentrasi viskositas

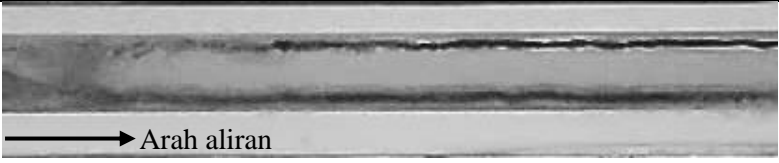
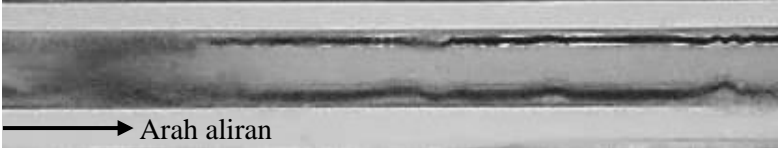

NO	KONSENTRASI GLISERIN	POLA ALIRAN
1	0%	
2	10%	
3	20%	
4	30%	

Pola aliran *slug annular* sudah terbentuk pada kecepatan superfisial fluida cair (J_L) = 0,033 m/s dan fluida gas (J_G) = 3 m/s. Dari investigasi yang dilakukan terhadap pola aliran *slug annular* lapisan fluida cair pada bagian sisi atas pipa terlihat lebih tipis bila dibandingkan dengan lapisan sisi bawah pipa, aliran fluida cair yang cukup besar mencoba merusak aliran fluida gas yang sudah *countinue* tapi tidak berhasil memutusya. Jenis pola aliran *slug annular* yang teramati pada investigasi kali ini tidak banyak terjadi perubahan yang signifikan dari pola aliran ini, hanya saja perbedaan terjadi pada sisi bawah pipa terdapat gelombang besar yang berasal dari lapisan air yang berusaha menghambat laju aliran udara. Untuk konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30% tidak ada perbedaan dalam segi bentuk, tetapi seiring peningkatan konsentrasi gelombang semakin besar bentuknya.


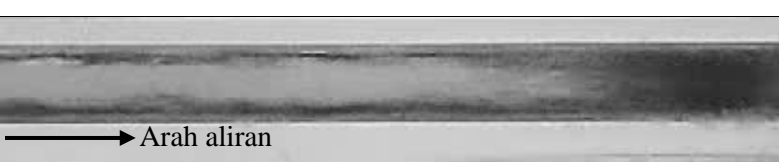
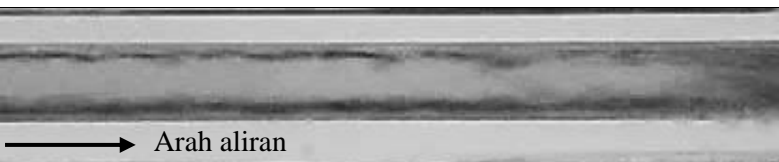
4.1.4 Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* dapat terjadi dari transisi aliran *slug annular*, *plug* dan *annular*. Aliran *churn* terjadi dikecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas sama-sama sangat tinggi, ketika nilai (J_L) tinggi seharusnya terbentuk aliran *plug*, namun 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 aliran *churn* yang bertransisi dengan *annular* cairan akan cenderung mendatar tanpa ada gelombang.

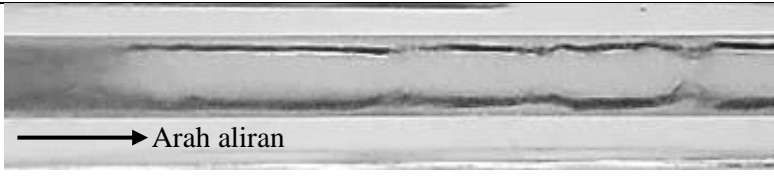
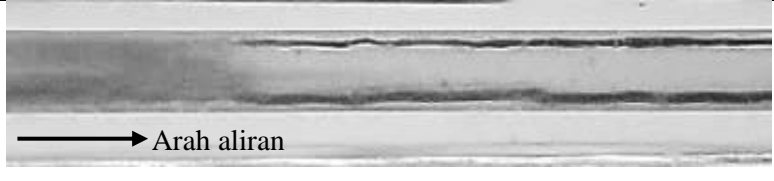

Tabel 4.28 Perbandingan pola aliran *Churn* GL0, dengan nilai J_G 22,6 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,700 m/s	 Arah aliran
2	0,879 m/s	 Arah aliran
3	2,297 m/s	 Arah aliran

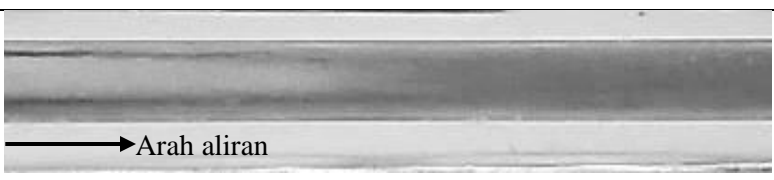
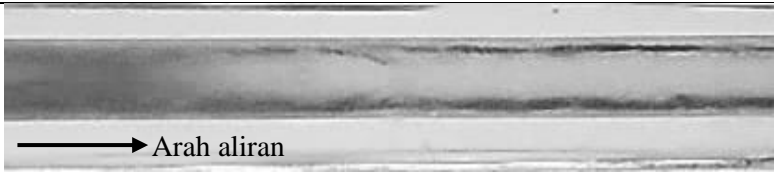
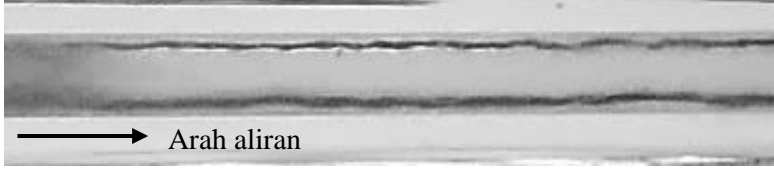
Tabel 4.29 Perbandingan pola aliran *Churn* GL0, dengan nilai J_L 2,297 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	22,6 m/s	 Arah aliran
2	50,0 m/s	 Arah aliran
3	58,05 m/s	 Arah aliran

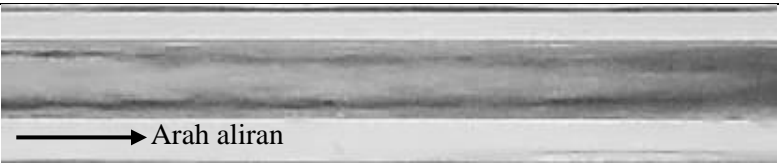

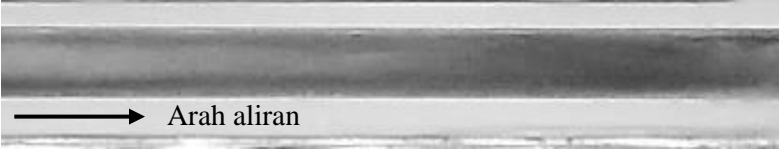
Tabel 4.30 Perbandingan pola aliran *Churn* GL10, dengan nilai J_G 22,6 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,700 m/s	 Arah aliran
2	0,879 m/s	 Arah aliran
3	2,297 m/s	 Arah aliran

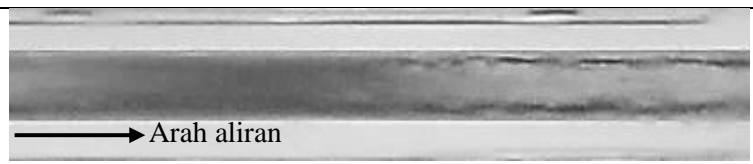

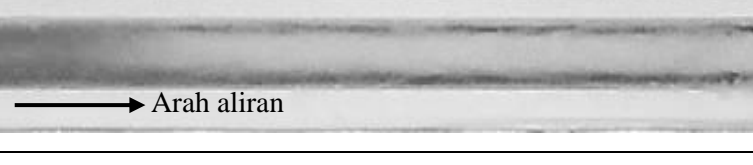
Tabel 4.31 Perbandingan pola aliran *Churn* GL10, dengan nilai J_L 2,297 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	22,6 m/s	 Arah aliran
2	50,0 m/s	 Arah aliran
3	58,05 m/s	 Arah aliran

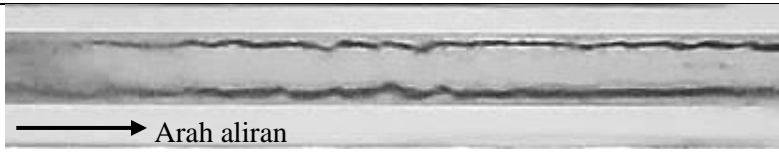
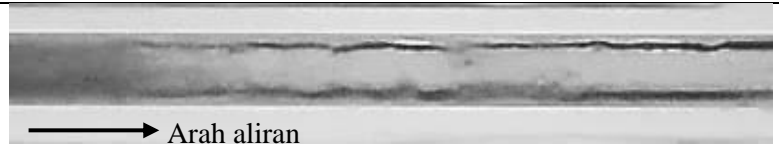
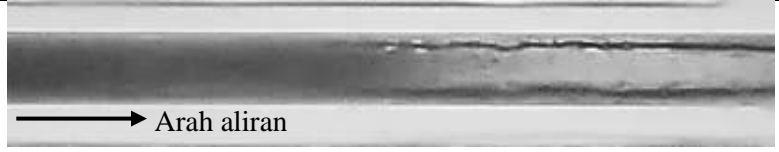
Tabel 4.32 Perbandingan pola aliran *Churn* GL20, dengan nilai J_G 22,6 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,700 m/s	 Arah aliran
2	0,879 m/s	 Arah aliran
3	2,297 m/s	 Arah aliran


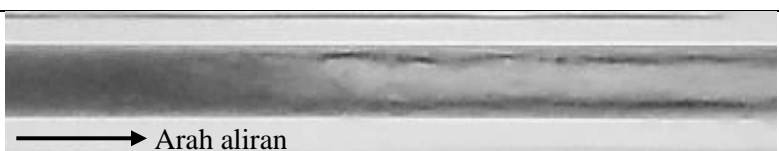
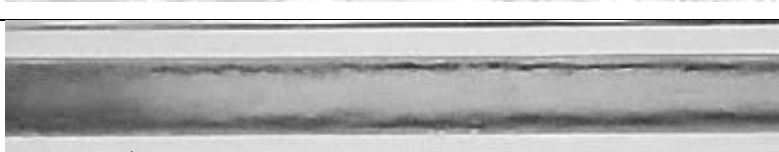
Tabel 4.33 Perbandingan pola aliran *Churn* GL20, dengan nilai J_L 2,297 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	22,6 m/s	 Arah aliran
2	50,0 m/s	 Arah aliran
3	58,05 m/s	 Arah aliran

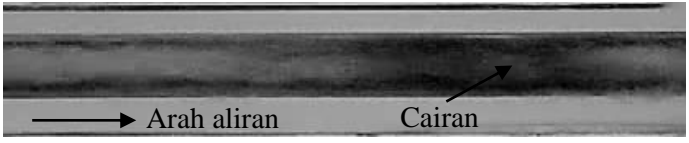
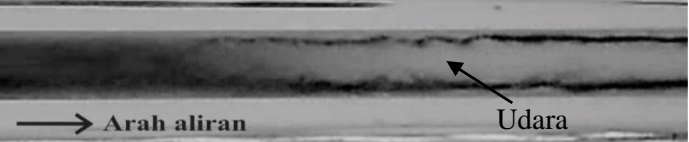
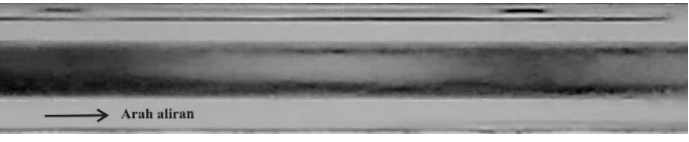
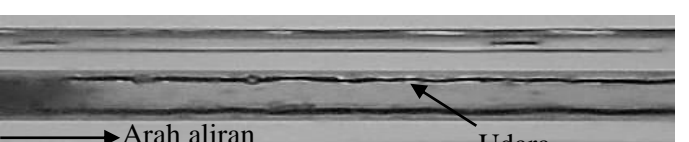
Tabel 4.34 Perbandingan pola aliran *Churn* GL30, dengan nilai J_G 22,6 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,700 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
2	0,879 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
3	2,297 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>

Tabel 4.35 Perbandingan pola aliran *Churn* GL30, dengan nilai J_L 2,297 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	22,6 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
2	50,0 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>
3	58,05 m/s	 <p>→ Arah aliran</p>

Tabel 4.36 Perbandingan pola aliran *churn* pada nilai J_G 58,05 m/s dan J_L 2,279 m/s dengan tiap konsentrasi

NO	KONSENTRASI GLISERIN	POLA ALIRAN
1	0%	
2	10%	
3	20%	
4	30%	

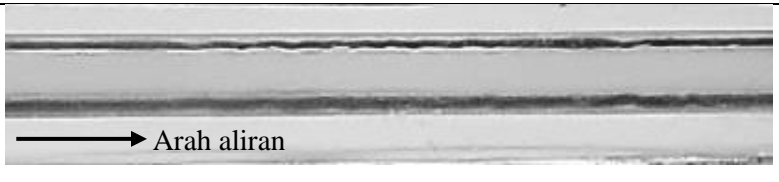
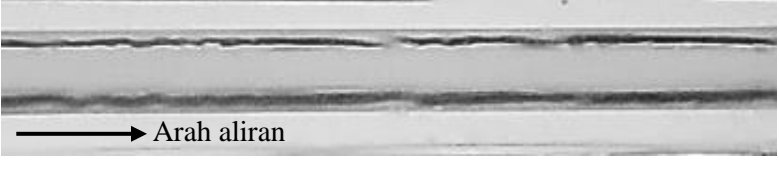

Kemunculan pola aliran *churn* pada konsentrasi gliserin hampir selalu muncul pada kordinat yang sama, pola aliran *churn* terlihat seperti plug yang memiliki ekor acak serta kemudian disertai aliran bayangan hitam yang didalamnya adalah cairan. Aliran *churn* muncul pertama kali berada pada kecepatan superfisial fluida cair (J_L) =2,279 m/s sedangkan fluida gas (J_G) =1,941 m/s Dari tabel 4.7 perbandingan pola aliran *churn* pada nilai (J_G) =58,05 m/s dan (J_L) 2,279 m/s dengan tiap konsentrasi viskositas menunjukan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi gliserin maka makin berkuranya bayangan hitam pada pipa aliran. Jadi dapat disimpulkan pada konsentrasi gliserin yang besar fluida cair akan semakin sulit *terdispersi* dan menghasilkan bayangan hitam lebih sedikit.

4.1.5 Pola Aliran Annular


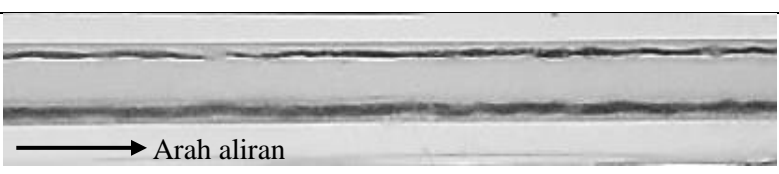
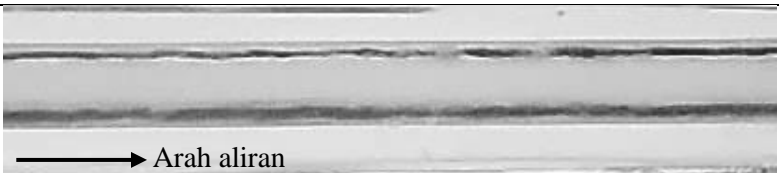
Bentuk pola aliran *annular* dengan aliran *slug annular* hampir mirip, terdapat gelombang di kedua aliran tersebut akan tetapi gelombang yang terdapat pada aliran *annular* lebih halus atau lebih tenang, hal ini disebabkan oleh kecepatan superfisial fluida gas (J_G) lebih besar dibandingkan dengan kecepatan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

Pada semua konsentrasi gliserin pola aliran *annular* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial fluida cair (J_L) = 0,033 m/s dan fluida gas (J_G) = 50 m/s. Aliran *annular* didominasi oleh aliran gas dibagian tengah tengah dan lapisan air tipis terdapat dibagian tepi saluran pipa, kelihatan gelombang kecil terdapat di sepanjang aliran. Untuk konsentrasi gliserin 0%, 10%, 30%, 40% tidak terlalu banyak perbedaan dalam bentuk pola aliran. Aliran *annular* memiliki batas transisi dengan aliran *churn*, ketika kecepatan superfisial fluida gas (J_G) dinaikan maka akan sedikit terlihat aliran *churn* walaupun hanya sepiantas, pengaruh kenaikan konsentrasi gliserin menyebabkan gelombang yang muncul pada dinding pipa semakin sedikit dan berukuran lebih kecil.

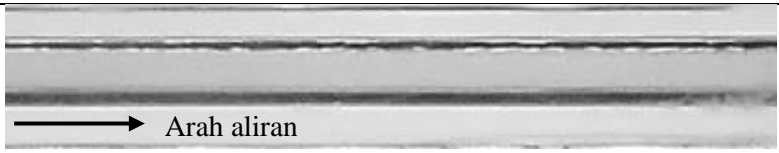
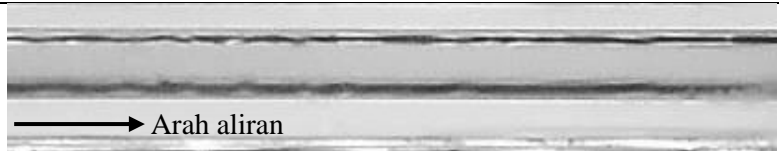
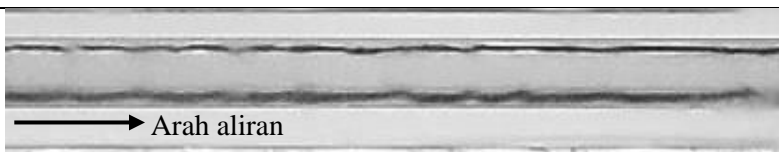
Tabel 4.37 Perbandingan pola aliran *Annular* GL10, dengan nilai J_G 50,00 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow pattern. The flow is relatively uniform across the width of the pipe. An arrow at the bottom points to the right, labeled 'Arah aliran'.
2	0,091 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow pattern. The flow is slightly more textured than in the first image. An arrow at the bottom points to the right, labeled 'Arah aliran'.
3	0,149 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow pattern. The flow is more turbulent and irregular than in the previous images. An arrow at the bottom points to the right, labeled 'Arah aliran'.

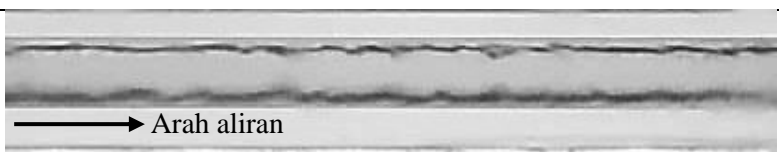
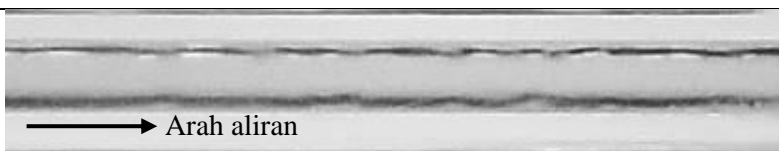
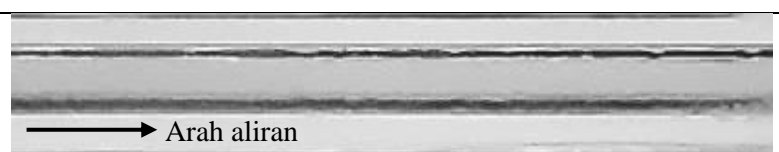
Tabel 4.38 Perbandingan pola aliran *Annular* GL10, dengan nilai J_L 0,149 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	50,00 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow pattern. The flow is relatively uniform across the width of the pipe. An arrow at the bottom points to the right, labeled 'Arah aliran'.
2	58,05 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow pattern. The flow is slightly more textured than in the first image. An arrow at the bottom points to the right, labeled 'Arah aliran'.
3	66,30 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow pattern. The flow is more turbulent and irregular than in the previous images. An arrow at the bottom points to the right, labeled 'Arah aliran'.

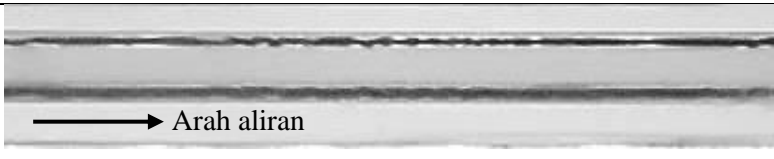
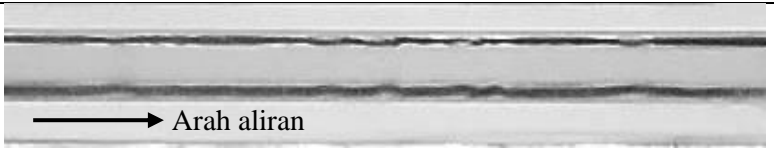
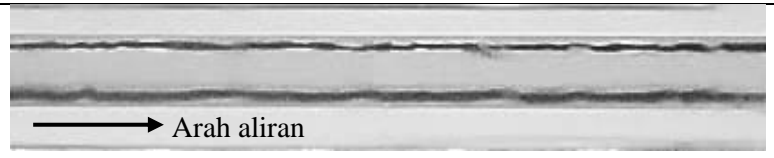
Tabel 4.39 Perbandingan pola aliran *Annular* GL20, dengan nilai J_G 50,00 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	 Arah aliran
2	0,091 m/s	 Arah aliran
3	0,149 m/s	 Arah aliran


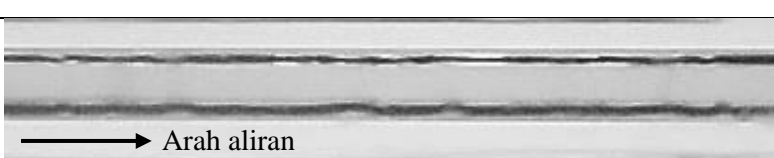

Tabel 4.40 Perbandingan pola aliran *Annular* GL20, dengan nilai J_L 0,149 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	50,00 m/s	 Arah aliran
2	58,05 m/s	 Arah aliran
3	66,30 m/s	 Arah aliran

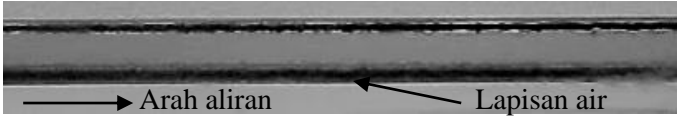
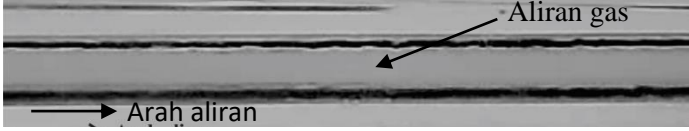
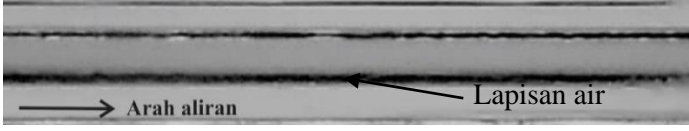
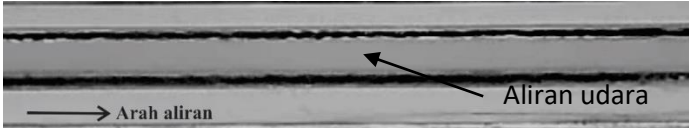
Tabel 4.41 Perbandingan pola aliran *Annular* GL30, dengan nilai J_G 50,00 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	 Arah aliran
2	0,091 m/s	 Arah aliran
3	0,149 m/s	 Arah aliran

Tabel 4.42 Perbandingan pola aliran *Annular* GL30, dengan nilai J_L 0,149 m/s tetap dan nilai J_G bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	50,00 m/s	 Arah aliran
2	58,05 m/s	 Arah aliran
3	66,30 m/s	 Arah aliran

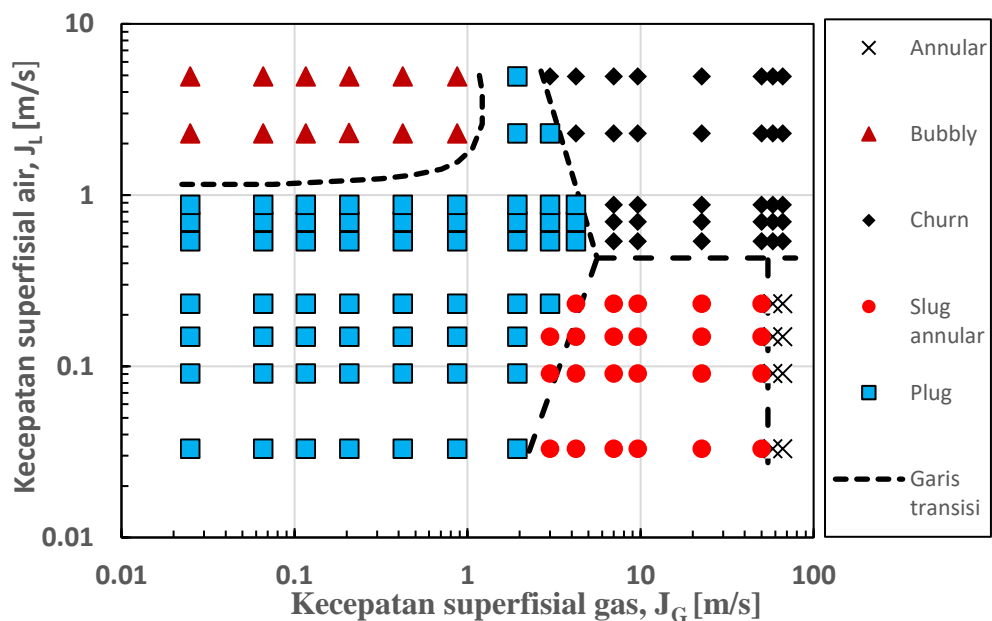
Tabel 4.43 Perbandingan pola aliran *annular* pada nilai J_G 66,03 m/s dan J_L 0,033 m/s dengan tiap konsentrasi viskositas

NO	GLISERIN	POLA ALIRAN
1	0%	
2	10%	
3	20%	
4	30%	

Bila kecepatan superfisial fluida cair dinaikkan maka lapisan terlihat semakin tebal dan alirannya semakin bertambah. Pada tabel 4.8 perbandingan pola aliran *annular* dengan nilai J_G 66,03 m/s dan J_L 0,033 m/s dimana perbandingan (J_G) dan (J_L) sangat jauh berbeda dan efeknya bisa dilihat aliran gas begitu sangat mendominasi dalam suatu aliran dan untuk fluida cair terdapat pada dinding pipa bagian bawah dan atas yang berbentuk gelombang gelombang kecil yang tidak terlalu signifikan.

4.2 Peta Pola Aliran

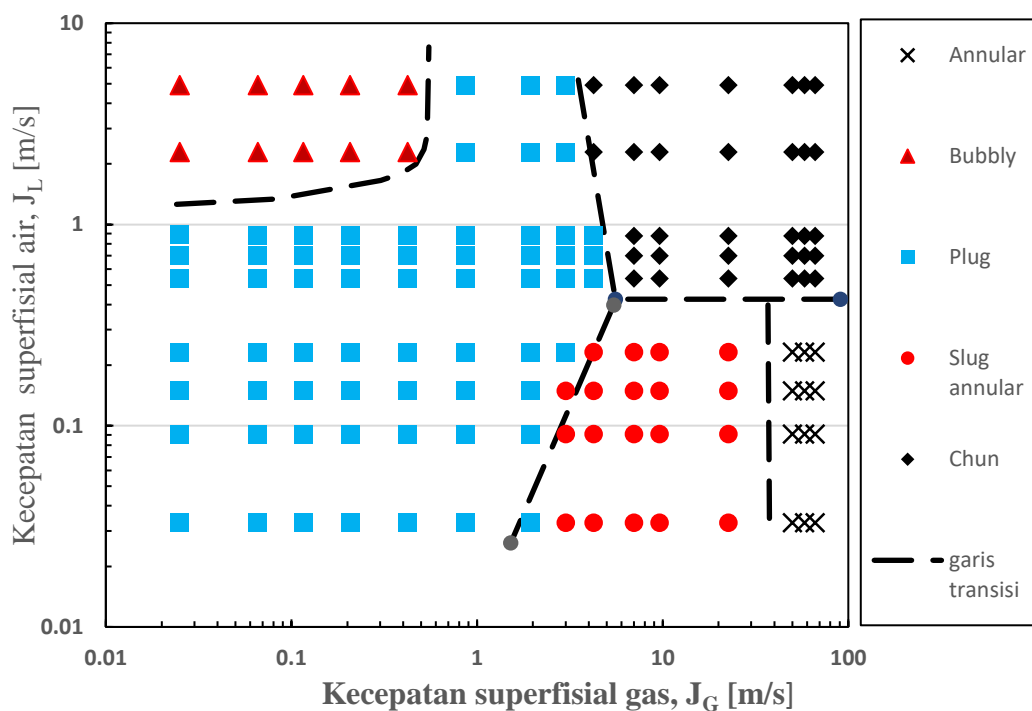
Pola aliran yang telah dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya. Pada peta pola aliran tersebut, absis menunjukkan kecepatan superfisial fluida gas (J_G) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan ordinat adalah kecepatan superfisial fluida cair (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 koordinat manakah aliran yang berubah antar pola aliran satu dengan polairannya.



Gambar 4.1 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 0%

Pada gambar 4.1 diatas terlihat bahwa pola aliran bubbly terdapat pada posisi kiri atas peta pola aliran, nilai kecepatan superfisial fluida gas (J_G) yang kecil dan memiliki kecepatan superfisial fluida cair yang sangat besar. Aliran bubbly pada konsentrasi gliserin 0% mulai terdapat pada $J_L = 2,297$ m/s dan meluas sampai $J_G = 0,871$ m/s. Pola aliran plug sangat mendominasi pada peta pola aliran kali ini serta aliran churn juga terlihat dominan tetapi tidak sampai

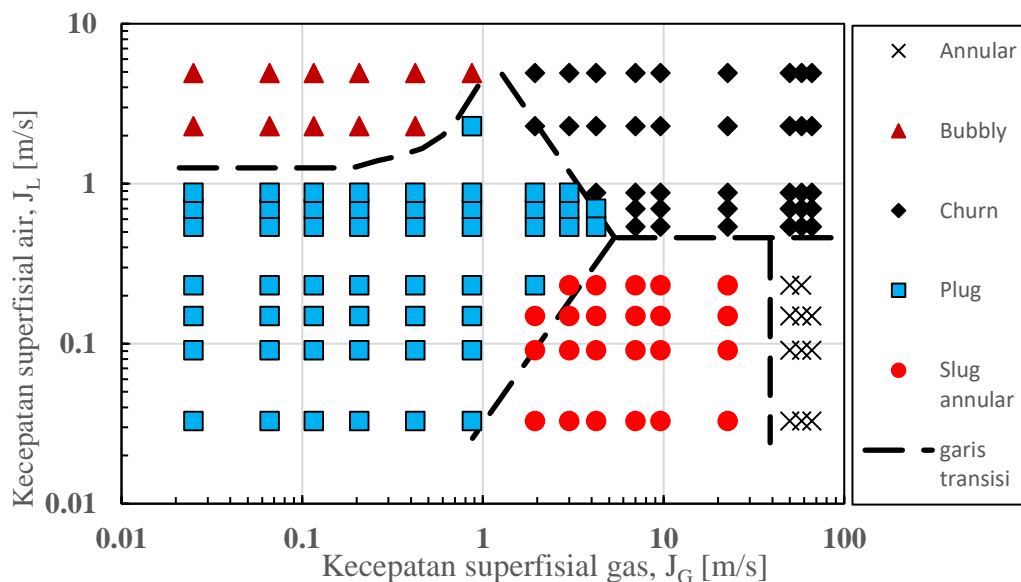
melebihi aliran *plug*. Aliran *plug* mulai terbentuk pada J_G dan J_L yang rendah setelah itu meluas dengan peningkatan kecepatan superfisial fluida gas dan fluida cair sampai mencapai garis transisi dengan pola aliran *slug annular*. Pola aliran *slug annular* terbentuk di kecepatan superfisial fluida gas yang cukup tinggi sementara untuk nilai kecepatan superfisial fluida cair rendah. Pola aliran *slug annular* terbentuk sampai kecepatan superfisial fluida cairnya mendekati garis transisi aliran *churn*, sedangkan untuk kecepatan superfisial fluida gas posisi garis transisi berdekatan dengan aliran *annular*, aliran *annular* sendiri posisinya pada kanan bawah peta pola aliran dan nilai $J_G = 58,05$ m/s sedangkan jika kecepatan superfisial fluida cair dinaikan sampai $J_L = 0,232$ m/s maka aliran *annular* berbatasan dengan aliran *churn*.



Gambar 4.2 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 10%

Pada gambar 4.2 diatas peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 10%, pola aliran *bubbly* kali ini sedikit mengalami penyempitan daerah transisi bila dibandingkan dengan konsentrasi gliserin 0%. Pada konsentrasi gliserin 10% pola aliran *bubbly* mulai terbentuk di $J_L = 2,297$ m/s lalu meluas hingga $J_G = 0,423$ m/s. Aliran *plug* pada konsentrasi kali ini masih mendominasi pola aliran yang sering

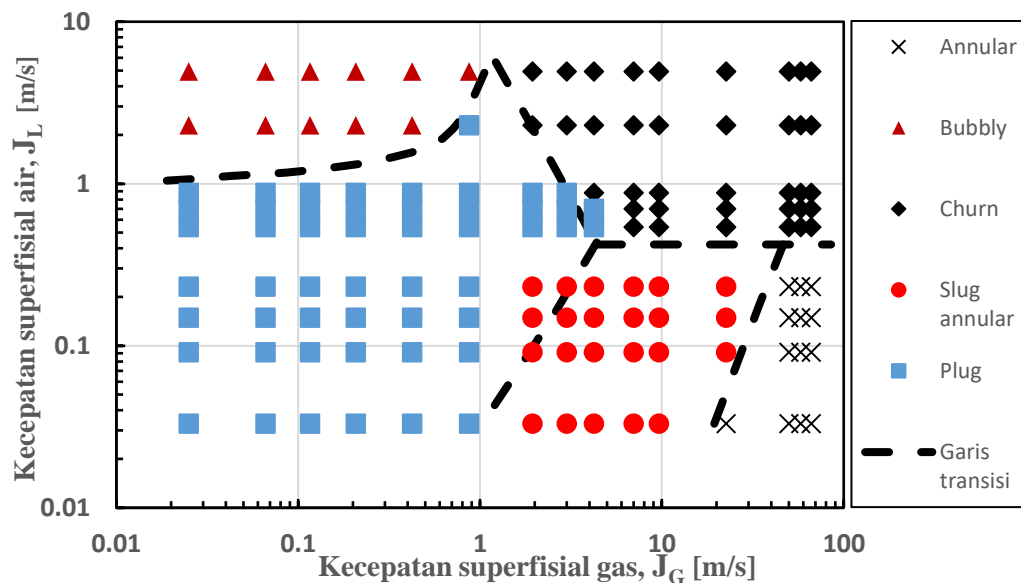
muncul dengan banyak *plug* sebanyak 54 dari 144 data pola aliran dengan bertambah luasnya area *plug* maka daerah *churn* semakin berkurang luasannya. Sedangkan aliran *annular* daerah luasannya semakin luas jika pada konsentrasi gliserin 0% muncul nilai $J_G = 58,05$ m/s kali ini pada konsentrasi 10% nilai J_G sudah muncul pada $J_G = 50$ m/s. Dengan semakin luasnya daerah annular maka otomatis daerah aliran slug annular semakin menyempit tetapi tidak terlalu signifikan.



Gambar 4.3 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 20%

Peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 20% ditunjukkan pada gambar 4.3 diatas. Pola aliran *churn* semakin bertambah luas hal ini terlihat dari garis transisi pola aliran *churn* yang semakin bergeser ke sebelah kiri bagian peta pola aliran yaitu pada nilai $J_G = 1,941$ m/s. Dengan bertambah luasnya daerah *churn* otomatis aliran *plug* sedikit agak menyempit tetapi aliran *plug* ini masih dominan terhadap pola lainnya. Aliran *bubbly* pada konsentrasi gliserin 20 % memiliki luasan yang sama dengan konsentrasi gliserin 0%. Pada peta pola aliran konsentrasi gliserin 20% *plug* yang sebelumnya terbentuk mulai hilang dengan muncul aliran *slug annular* pada $J_G = 1,941$ m/s , $J_L = 0,033$ m/s sampai $J_L = 0,149$ m/s. Berkurangnya luasan aliran *plug* yang berbatasan dengan garis transisi

kemunculan *slug annular* maka bertambah luasnya daerah *slug annular* jika dibandingkan dengan konsentrasi gliserin 0%. Pada konsentrasi gliserin 20% aliran *annular* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial fluida gas $J_G = 50$ m/s dan fluida cair $J_L = 0,232$ m/s.

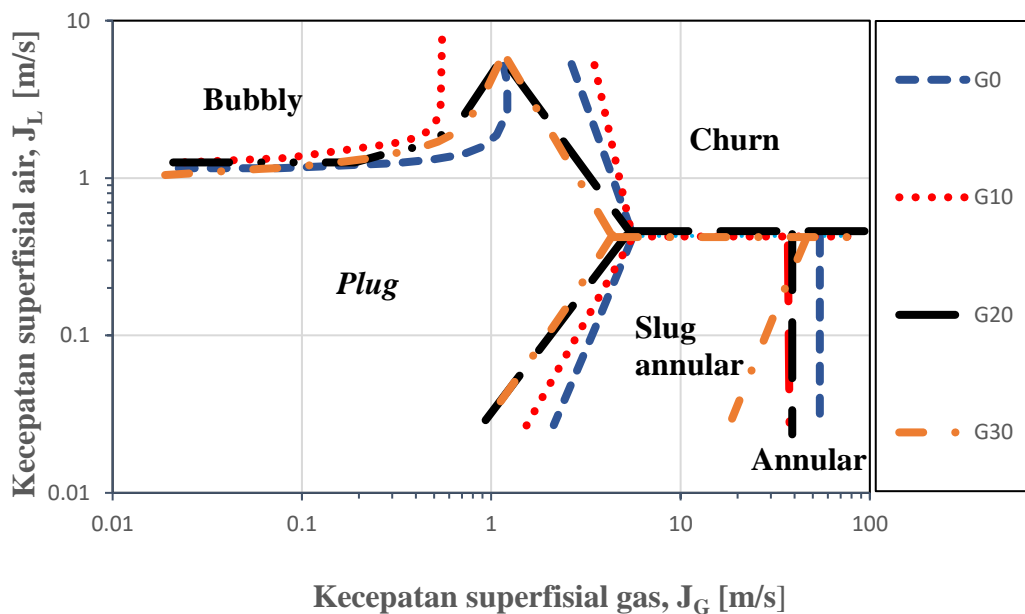


Gambar 4.4 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 30%

Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa peta pola aliran dengan konsentrasi 30%, dari peta tersebut terlihat bahwa aliran annular yang terbentuk mengalami bertambah luas daerah annular yang biasanya aliran terbentuk pada kecepatan superfisial fluida gas $J_G = 50$ m/s pada konsentrasi 30% annular sudah terbentuk pada $J_G = 22,6$ m/s. Pola aliran plug masih menjadi pola aliran yang paling terbanyak yang teramati selama penelitian kali ini. Untuk pola aliran slug annular pada konsentrasi gliserin 30% tidak banyak mengalami perubahan daerah luasan jika di bandingkan dengan konsentrasi gliserin 20% nilai $J_G = 1,941$ m/s dan $J_L = 0,232$ m/s. Aliran bubbly yang terbentuk pada konsentrasi gliserin 30% tidak jauh berbeda dengan konsentrasi gliserin 0% dan 20%. Untuk pola aliran churn pada peta pola aliran ini masih memiliki luasan daerah yang sama dengan konsentrasi gliserin 20% dan 10%.

4.3 Perbandingan Peta Pola Aliran Dengan Peneliti Terdahulu

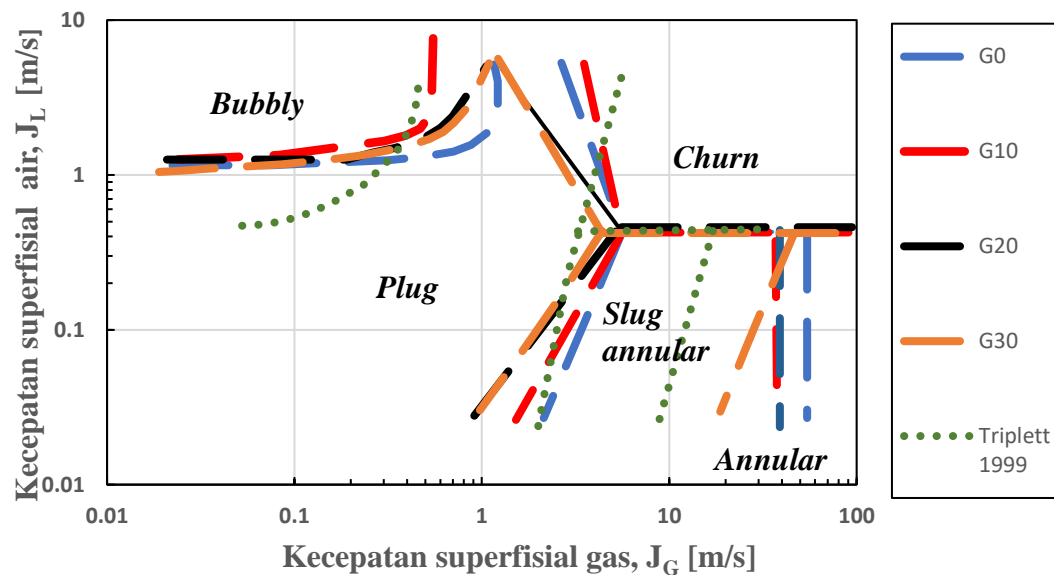
Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya agar mengetahui ketetapan hasil penelitian yang diperoleh serta mengetahui perubahan garis transisi yang disebabkan oleh berbedanya metode yang digunakan. Perbandingan peta pola aliran ini akan ditampilkan berdasarkan pada penelitian dengan menggunakan jenis fluida dan tingkat viskositasnya. Beberapa penelitian sebelumnya diantaranya: Triplett dkk (1999), Sudarja (2015), dan Anutup (2016).



Gambar 4.5 Perbandingan peta pola aliran 0%, 10%, 20%, 30% gliserin

Pada gambar 4.5 menunjukkan perbandingan peta pola aliran dari empat konsentrasi gliserin pada penelitian ini. Pola aliran *annular* mengalami pelebaran luasan akibat bertambahnya konsentrasi gliserin yang semakin besar, dengan ini garis transisi aliran annular dengan *slug annular* otomatis bergeser ke sebelah kiri. Sedangkan garis transisi *slug annular* dengan *plug* menunjukkan penyempitan pada daerah plug yang awalnya pada konsentrasi gliserin 0% nilai $J_G = 1,941$ m/s dengan bertambahnya konsentrasi gliserin hingga 30% kini nilai $J_G = 0,871$ m/s semakin

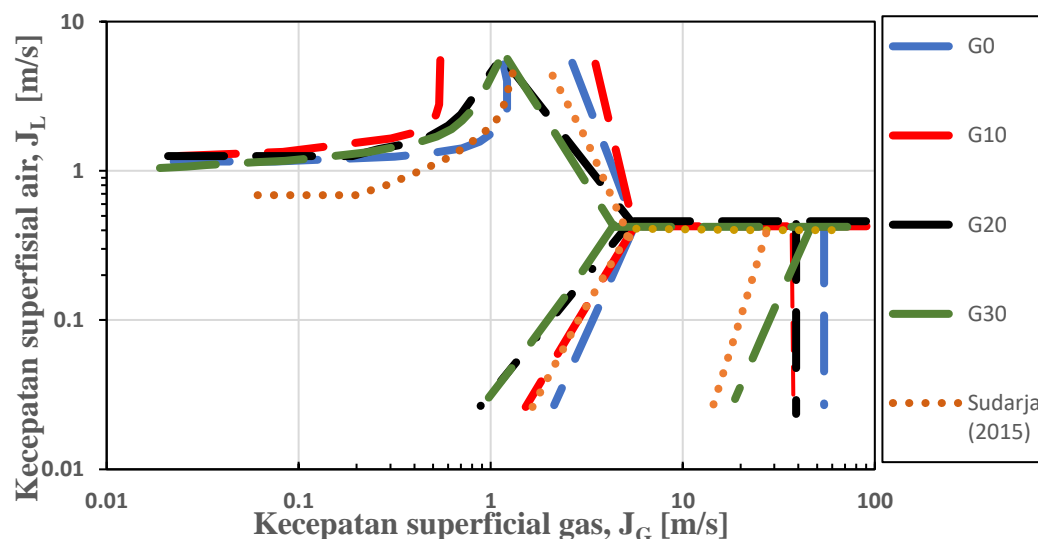
kecil dan garis transisi bergeser ke sebelah kiri. Daerah transisi untuk pola aliran *bubbly* dengan *churn* masih cukup stabil, Tidak ada perubahan daerah transisi dengan naiknya konsentrasi gliserin



Gambar 4.6 Perbandingan peta pola aliran dengan Triplet (1999)

Perbandingan peta pola aliran untuk perubahan konsentrasi viskositas dibandingkan dengan hasil penelitian Triplet dkk. (1999) yang dalam penelitiannya menggunakan saluran *mikro sirkular* dengan diameter 1,097 mm dan 1,45 mm dan saluran *mikro semi-triangular* dengan *hydraulic* diameter 1.097 mm dan 1,49 mm dengan fluida kerja yang digunakan adalah air dan udara. Metode yang digunakan oleh Triplet dkk (1999) hampir sama dengan penelitian kali ini, hanya saja pada penelitian kali ini terdapat penambahan fluida cair dengan konsentrasi gliserin sehingga membentuk paduan larutan aquades dengan gliserin dalam konsentrasi yang bervariasi untuk mengatur pengaruh viskositas. Dan penelitian kali ini menggunakan variasi sudut kemiringan pipa yaitu 5° . Pola aliran yang terbentuk pada penelitian ini ada lima jenis yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug*, dan *slug annular*. Pada garis transisi aliran *slug annular* dengan *churn* dan *annular*

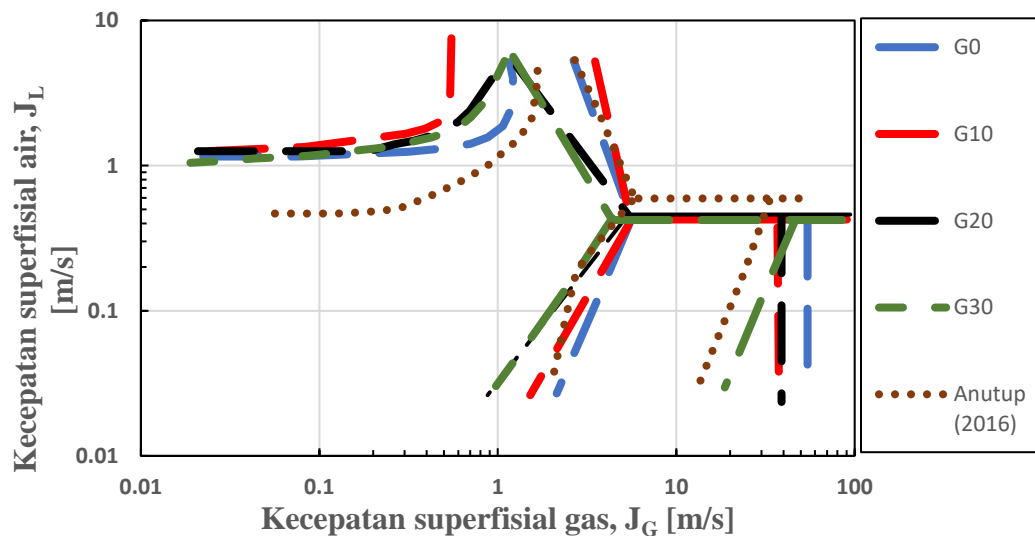
dengan *churn* tidak banyak pergeseran yang besar, sedangkan annular dengan slug annular mengalami pergeseran ke sebelah kiri walaupun tidak signifikan, sedangkan *bubbly* dengan *plug* tidak ada pergeseran yang begitu besar. Garis transisi pada pola aliran annular dengan slug annular pada penelitian Triplett dkk (1999) terjadi pergeseran yang cukup besar jika dibandingkan dengan garis transisi pola aliran *annular* dengan *slug annular* pada konsentrasi gliserin 0% , pergeseran yang terjadi dari konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30% dapat dikatakan konsisten. Hampir sama yang terjadi pada garis transisi *bubbly* dengan *plug* pada pada penelitian kali ini jika dibandingkan dengan Triplett dkk (1999) garis transisi *bubbly* dengan *plug* ini mengalami pergeseran kebawah yang cukup besar.



Gambar 4.7 perbandingan peta pola aliran dengan Sudarja (2015)

Sudarja (2015) melakukan penelitian secara eksperimental tentang pola aliran, penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm posisi horizontal menggunakan fluida gas dan cairan pola dengan nilai kecepatan superficial gas (J_G)=0,83 – 65,4 m/s, dan kecepatan superficial cairan (J_L)=0,02 – 4,14 m/s. Pola yang berhasil diamati adalah : *bubbly*, *slug*, *slug annular*, *churn*, dan *annular*. Garis transisi *plug* dengan *bubbly* pada konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30% jika dibandingkan dengan garis transisi *plug* dengan *bubbly* milik

Sudarja (2015) sedikit memiliki perbedaan bisa dilihat pada gambar 4.8 diatas, garis transisi *plug* dengan *bubbly* milik Sudarja (2015) mengalami pergeseran dan bergeser turun kebawah. Sementara pada garis transisi pola aliran *slug annular* tidak terjadi perubahan yang signifikan. Jika dibandingkan dengan penelitian kali ini ada kesamaan pergeseran garis transisi peta pola aliran menunjukkan adanya perbedaan akibat pengaruh konsentrasi gliserin.



Gambar 4.8 perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu.

Diko anutup (2016) melakukan penelitian tentang studi visualisasi pola aliran dan peta aliran dua fasa menggunakan fluida gas dan fluida cair dengan tambahan gliserin pada saluran mini horizontal berukuran 1,6 mm. Dari hasil penelitian didapat lima pola aliran yaitu : *Annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Menunjukkan perbandingan peta pola aliran penelitian ini dengan peta pola aliran milik Diko anutup (2015). Seiring dengan kenaikan konsentrasi gliserin garis transisi antara pola aliran *annular* dengan aliran *slug annular* cenderung bergeser ke sebelah kiri atau dengan kata lain bergeser ke nilai J_L yang lebih kecil. Untuk garis transisi antara pola aliran *bubbly* dengan *plug* pada penelitian kali ini tidak terlalu adanya pergeseran yang berarti, sedangkan garis transisi pola aliran *bubbly* dengan *plug* milik Diko anutup (2016) mengalami penurunan garis transisi dan itu artinya daerah bubble semakin luas daerahnya. Dan untuk garis transisi *churn* pada

penelitian kali ini dan milik Diko anutup tidak mengalami perubahan dan hampir sama. Secara umum pergeseran garis transisi milik Diko anutup (2016) dengan hasil investigasi ini menunjukkan kesesuaian yang konsisten atau baik

