

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan aliran dua fase pada saluran mini dengan fluida kerja berupa campuran *aquades-gliserin* dan udara meliputi : pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari tiap variasi campuran *aquades-gliserin*, dan perbandingan peta pola aliran dengan penelitian-penelitian terdahulu.

4.1 Pola Aliran

Pada penelitian aliran dua fase terhadap pipa mini dengan diameter 1,6 meter telah dilaksanakan. Fluida cairan yang digunakan adalah campuran *gliserin-aquades* dengan variasi konsentrasi pencampuran 0%, 10%, 20%, dan 30% gliserin sedangkan untuk fluida gas berupa udara. Kemudian kedua bahan penelitian tersebut diinjeksikan ke *mixer* dengan mengatur debit pada masing-masing bahan penelitian. Data yang telah berhasil didapatkan direkam dengan menggunakan kamera video berkecepatan tinggi yang kemudian dicermati lebih baik lagi. Hasil pola aliran yang telah terbentuk dipetakan kedalam koordinat dengan berdasarkan pada kecepatan *superficial*. Variasi perubahan visikositas ditambahkan kedalam penelitian ini untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada pola aliran dengan perubahan nilai visikositas.

Dari data yang telah dicermati didapatkan lima pola aliran yaitu : *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*.

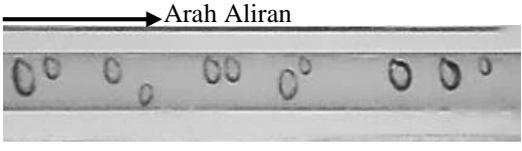
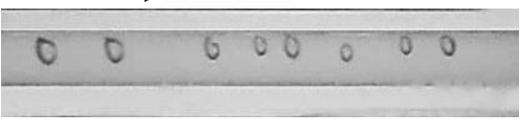
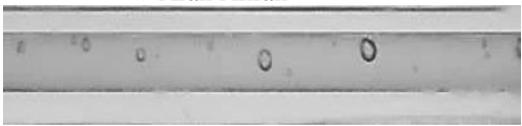
4.1.1 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* terjadi pada suatu kondisi kecepatan *superficial* udara yang rendah serta kecepatan cairan yang cukup tinggi. Pada kondisi seperti ini, debit udara yang mengalir dengan kecepatan yang rendah akan berkumpul di *mixing*, dan kemudian mencoba agar bisa menerobos ke volume cairan yang lebih mendominasi. Dengan semakin bertambahnya volume udara, serta mengecilnya luas permukaan *mixing* menuju ke saluran, maka udara berusaha untuk mendorong

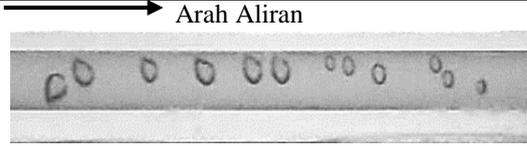
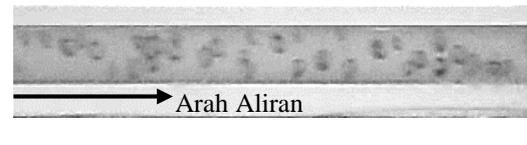
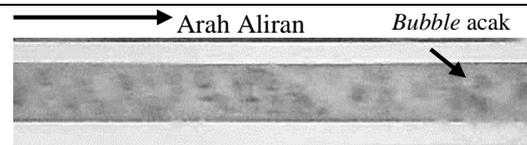
cairan. Karena pengaruh pada tegangan permukaan, aliran udara yang menerobos aliran fluida akan seperti terpotong-potong sehingga akan timbul aliran *bubbly*.

Beberapa jenis pola aliran *bubbly* yang telah berhasil diamati pada penelitian disajikan pada Tabel 4.1. Pada awal terbentuknya pola aliran *bubbly*, intensitas kemunculan *bubbly* dengan kondisi J_G 0,025 m/s, 0,066 m/s serta pada J_G 0,116 m/s dan J_L 0,89 m/s, 2,297 m/s serta J_L 4,935 m/s pada campuran gliserin 0% membentuk *bubbly* yang beragam. Pada J_L 0,025 m/s terlihat bentuk *bubble* cukup besar dimana hampir menutupi diameter pipa dan bentuk *bubbly* ini sendiri tidak beraturan. Sedangkan pada J_L 0,066 m/s dan J_L 0,116 m/s bentuk *bubbly* pada bagian hidung yang terbentuk setengah lingkaran dengan intensitas kemunculan *bubbly-bubbly* kecil lebih tinggi karena kondisi ini menyebabkan udara yang masuk ke dalam pipa mengalami gangguan didalam cairan dan beriringan dengan *plug* sebelum akhirnya *bubbly* muncul. Bentuk *bubbly* juga terbentuk cukup beragam pada J_G 0,025-0,116 . Seiring dengan naiknya nilai pada kecepatan kecepatan superfisial gas maka ukuran pada pola *bubbly* akan mulai mengecil yang kemudian akan beriringan dengan munculnya *plug* berukuran panjang.

Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,89 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,025	 Arah Aliran
2	0,066	 Arah Aliran
3	0,116	 Arah Aliran

Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,423 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

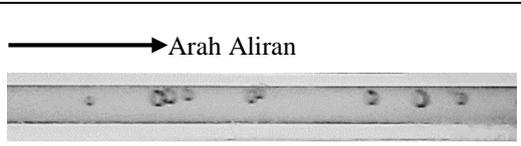
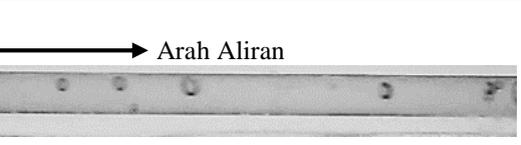
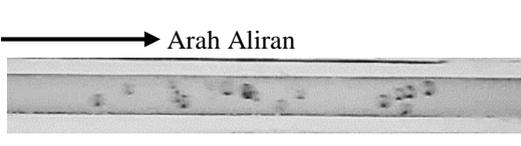
NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,879	
2	2,297	
3	4,935	

Pada perbandingan nilai superficial cairan yang bervariasi dan nilai superficial gas tetap, kemunculan pola *bubbly* sudah mulai terlihat pada J_L 0,879-4,935 m/s dengan J_G 0,423 m/s dan campuran gliserin 0% terlihat pada Tabel 4.2. *Bubbly* pada J_L 0,879 m/s terlihat pada bagian hidung berbentuk bulat dan pada ekornya seakan bergerak-gerak pada bagian tengah ujung *bubbly* dengan intensitas kemunculan *bubbly* sedikit jarang muncul dikarenakan kecepatan superficial yang kecil dan disertai kemunculan *plug* yang panjang. Dan untuk J_L 2,297 m/s kemunculan pola *bubbly* menjadi kecil-kecil dan sedikit berdempetan antara *bubbly* sehingga pada hasil yang didapat kamera sedikit kurang jelas terlihat dikarenakan kecepatan pola aliran. Bentuk hidung dan ekor pada *bubbly* hampir membentuk bulat sempurna dan *plug* menjadi sedikit pendek dibandingkan dengan J_L 0,879 m/s. Kemudian saat kecepatan superficial gas dan cairan ditingkatkan intensitas kemunculan pola *bubbly* semakin tinggi dan jarak antara *bubbly* pun menjadi semakin beragam dan semakin rapat antara *bubbly* yang terdistribusi merata pada seluruh luas penampang dari saluran pipa. Untuk J_L 4,935 m/s intensitas kemunculan pola *bubbly* menjadi lebih sering terjadi, dengan bentuk hidung dan ekor bulat. Terdapat *plug* yang muncul dahulu yang kemudian

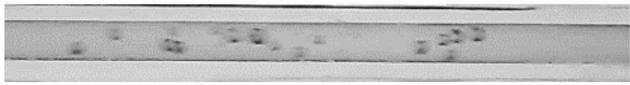
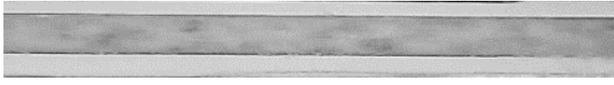
diikuti dengan *bubbly* saling berdempetan dengan jumlah banyak dan kemudian muncul *bubbly* kecil seperti *dispersed bubbly*.

Pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 menunjukkan perbandingan nilai J_G dan J_L terhadap pola aliran *bubbly* pada konsentrasi 10%. Pada perbandingan nilai J_G digunakan J_L 0,879 m/s. Sedangkan untuk variasi J_L digunakan J_G 0,423 m/s.

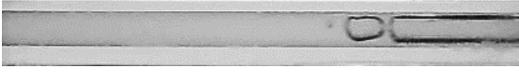
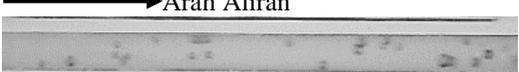
Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,879 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,116	
2	0,207	
3	0,423	

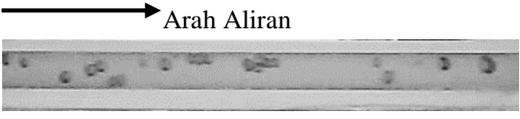
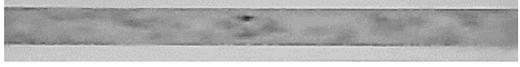
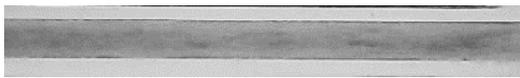
Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,423 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,879	 <p>→ Arah Aliran</p>
2	2,297	 <p>→ Arah Aliran</p>
3	4,935	 <p>→ Arah Aliran</p>

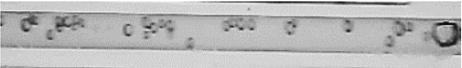
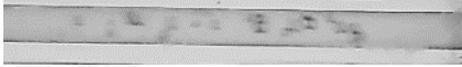
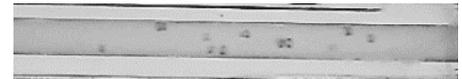
Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,879 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,066	 <p>→ Arah Aliran</p>
2	0,423	 <p>→ Arah Aliran</p>
3	0,871	 <p>→ Arah Aliran</p>

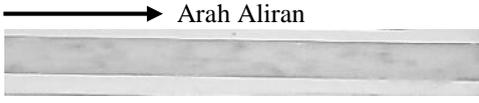
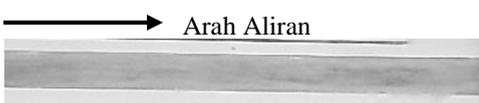
Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,423 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,879	 <p>→ Arah Aliran</p>
2	2,297	 <p>→ Arah Aliran</p>
3	4,935	 <p>→ Arah Aliran</p>

Tabel 4.7 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,879 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,207	 <p>→ Arah Aliran</p>
2	0,423	 <p>→ Arah Aliran</p>
3	0,871	 <p>→ Arah Aliran</p>

Tabel 4.8 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,423 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

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

Perbandingan kenaikan viskositas terlihat pada Tabel 4.9. Pola aliran *bubbly* pada konsentrasi 0% mulai muncul pada J_L 0,879 m/s dan J_G 0,025 m/s. Pada kondisi ini *bubbly* memiliki bentuk pada hidung yang beragam dan mempunyai ekor yang terlihat seakan-akan bergerak pada bagian tengah ujung *bubbly* dan menghadap keatas langit-langit pipa dan bergerak naik turun dengan diameter *bubble* ini sendiri cukup beragam dan terlihat ada yang berukuran setengah dari diameter pipa. Dan pada pola *plug* terdapat gangguan dari pertengahan pola *plug* sampai ke ekor *plug* berupa gelombang.

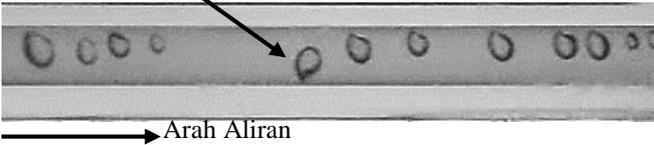
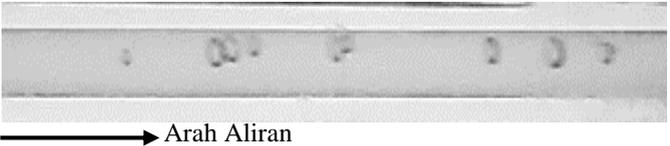
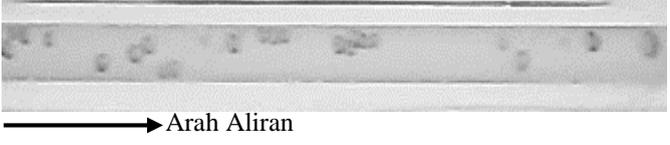
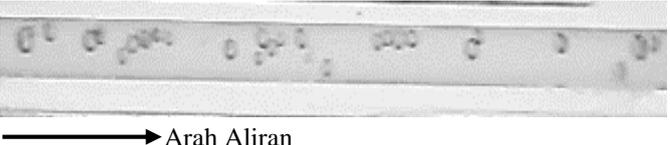
Pada konsentrasi gliserin 10% pola aliran *bubbly* teramati pada J_L 0,879 m/s dan J_G 0,423 m/s. Berbeda pada konsentrasi gliserin 0% dengan bentuk *bubbly* pada hidung yang beragam dan pada bagian ekor *bubbly* seolah-olah bergerak naik turun dan jika terlalu rapat antara *bubbly* maka akan menjadi satu dan merubah diameter *bubbly* itu sendiri. Pada konsentrasi gliserin 10% ukuran *bubbly* menjadi lebih kecil dengan kisaran diameter 1.0 mm serta jarak antara *bubbly* sedikit lebih dekat. Jarak pola aliran *plug* juga menjadi lebih dekat dan masih terdapat gangguan pada ekor *plug* berupa gelombang. Hasilnya adalah, *plug* masih saja timbul hal ini dikarenakan volume udara yang tertumpuk kedalam

mixing dan keluar langsung dalam jumlah banyak lalu bagian *plug* diikuti oleh *bubbly* kecil. Dan *bubbly* hanya muncul sesekali.

Pada konsentrasi gliserin 20% pola aliran *bubbly* diamati pada J_L 0,879 m/s dan J_G 0,423 m/s. Namun yang menjadi pembeda dengan campuran 0% dan 10% adalah pada kondisi ini pola aliran *bubbly* pada hidung *bubbly* kondisi ini terlihat lebih bulat dan pada bagian ekor *bubbly* tidak terdapat gangguan dan jarak antara *bubbly* semakin dekat antara satu sama lain *bubbly*. Dan untuk diameter pada *bubbly* menjadi lebih kecil. Pada J_L 0,879 m/s dan J_G 0,423 m/s, pola aliran *bubbly* yang muncul menjadi semakin acak walaupun hanya beberapa pola *bubbly*. Mulai dari bentuknya, ukurannya, dan juga jaraknya. Pada campuran gliserin sebelumnya terlihat kemunculan *bubbly* lebih teratur, namun pada kondisi ini menjadi berubah sangat drastis. Distribusi *bubbly* sendiri terjadi lebih meluas.

Berbeda pada campuran gliserin 0%, 10%, dan 20%, pada campuran 30% gliserin ini, pola aliran *bubbly* juga muncul diantara *plug* walaupun hanya satu *bubbly* dan memiliki bentuk yang rapi, dengan hidung pada pola *bubbly* yang terbentuk bulat. Seiring dengan kenaikan J_G dan J_L ekor *bubbly* yang sebelumnya berbentuk runcing sekarang menjadi tumpul dan cenderung membentuk bulat. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini dimana tidak terjadi aliran *dispersed bubbly* pada kondisi 30%, melainkan ukuran *bubbly* yang semakin berkurang diameternya dari pada campuran gliserin yang sebelumnya.

Tabel 4.9 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30%.

No	Konsentrasi Gliserin	Pola Aliran
1	0%	<p>Bentuk <i>bubble</i> tidak teratur</p>  <p>Arah Aliran</p>
2	10 %	 <p>Arah Aliran</p>
3	20 %	 <p>Arah Aliran</p>
4	30 %	 <p>Arah Aliran</p>

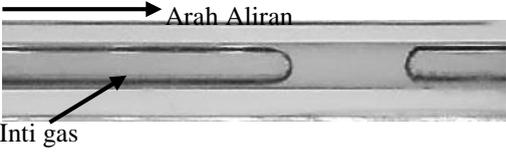
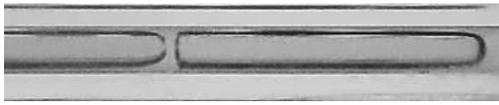
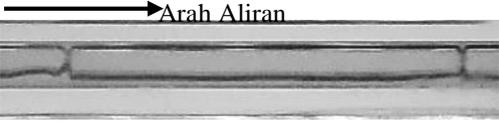
4.1.2 Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* terjadi pada saat kecepatan relatif antar fase tidak cukup tinggi atau tidak dapat memecah volume menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Udara cukup kuat untuk membentuk kantong udara yang memiliki ukuran lebih dari diameter saluran. Untuk panjang pada pola *plug* sangat beragam dan pada bentuk *plug* sendiri berbentuk seperti kapsul, ataupun peluru. Pada pola *plug* terjadi sangat teratur dan lebih konsisten pada awal kecepatan superfisial, akan tetapi jika kecepatan superfisial di naikan maka akan berubah dan mendapatkan gangguan.

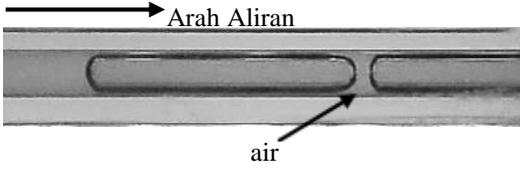
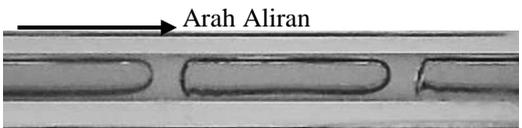
Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada koordinat J_G 0,025 m/s dan J_L 0,033 m/s. Kondisi ini membuat pola aliran *plug* memiliki bentuk yang sama antara hidung dan ekornya dengan bentuk bulat. Pola *plug* bergerak dengan kecepatan yang cukup konsisten dan merata pada saat melakukan pembilan data. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya kondisi kecepatan superfisial gas dan cairan akan berpengaruh terhadap panjang dan pendeknya pola aliran *plug* untuk masing-masing campuran gliserin.

Pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 menunjukkan perbandingan nilai J_G dan J_L terhadap pola aliran *plug* pada konsentrasi 0%. Pada perbandingan nilai J_G digunakan J_L 0,539 m/s. Sedangkan untuk variasi J_L digunakan J_G 0,423 m/s.

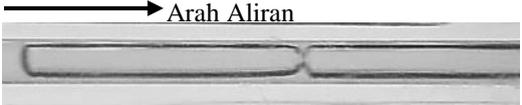
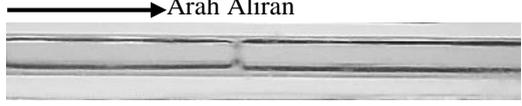
Tabel 4.10 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,539 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,116	
2	0,207	
3	0,423	

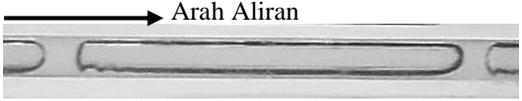
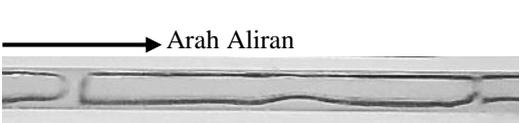
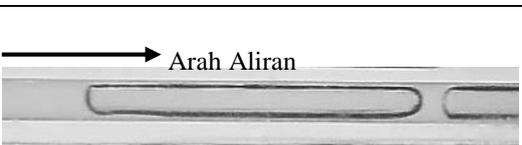
Tabel 4.11 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,423 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	
2	0,149	
3	0,232	

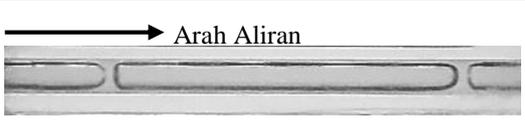
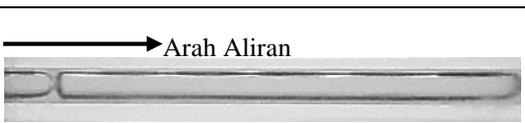
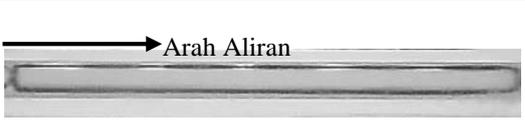
Tabel 4.12 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,539 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,066	
2	0,116	
3	0,423	

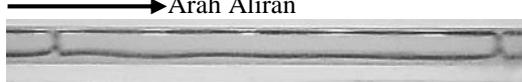
Tabel 4.13. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,423 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	
2	0,149	
3	0,232	

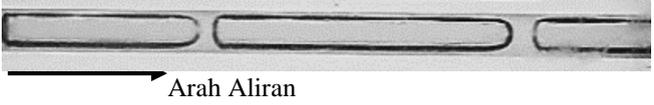
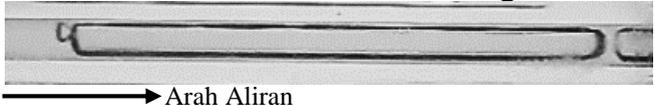
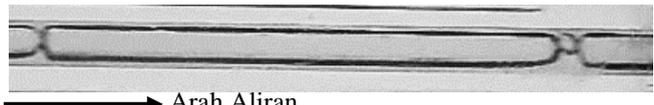
Tabel 4.14. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,539 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,116	
2	0,207	
3	0,423	

Tabel 4.15. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,423 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	
2	0,149	
3	0,232	

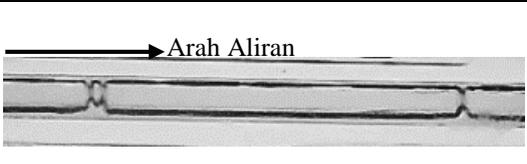
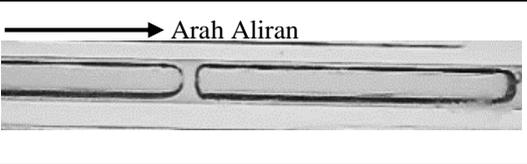
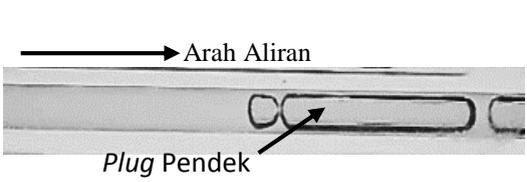
Tabel 4.16. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,7 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	0,066	Jarak Pola Jauh 
2	0,116	Jarak Pola Mendekat 
3	0,423	

Pola aliran *plug* pada koordinat J_G 0,066 m/s, 0,116 m/s, 0,423 m/s dan J_L 0,7 m/s pada Tabel 4.16 jika kecepatan superficial J_G di tingkatkan terlihat jarak pola aliran *plug* semakin mendekat dan menempel seiring dengan

pertambahan superficial gas. Pada J_G 0,066 m/s pola aliran *plug* terlihat lebih pendek dan jarak pada *plug* sedikit menjauh. Dan pada kondisi seperti ini pola aliran *plug* mengalami gangguan seperti munculnya gelombang pada ekor *plug*. Pada bagian hidung *plug* terlihat lebih terbentuk seperti peluru. Sedangkan pada J_G 0,116 m/s pola aliran *plug* menjadi panjang yang hampir menutupi panjang *correction box* dan pada kondisi ini aliran *plug* masih mengalami gangguan berupa munculnya gelombang pada bagian ekor disertai dengan kemunculan *bubble* kecil pada bagian ekor *plug*. Perbandingan pada J_G sebelumnya adalah pada koordinat J_G 0,423 m/s ini jarak pola *plug* terlihat semakin mendekat bahkan terlihat menempel. Panjang *plug* juga sama seperti pada J_G sebelumnya, hanya saja yang membedakan adalah jarak antara *plug* yang pada J_G 0,4223 terlihat menempel namun terdapat gangguan berupa *bubble* kecil yang berada ditengah-tengah *plug*, kemunculan *bubble* ini sendiri terlihat intensitas kemunculan diantara pola *plug* begitu rendah. Sehingga tidak semua *plug* yang muncul pada kondisi ini terlihat *bubble* kecil juga yang muncul ditengah-tengah *plug*. Pada ekor *plug* tidak terlihat gangguan, namun terlihat lebih stabil.

Tabel 4.17. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 0,207 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,232	
2	0,539	
3	0,7	

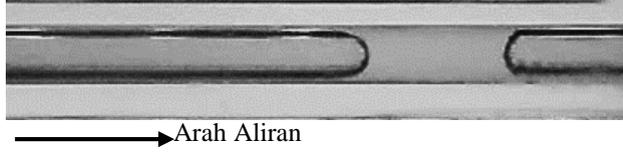
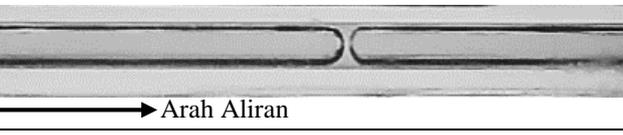
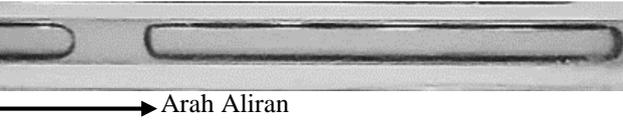
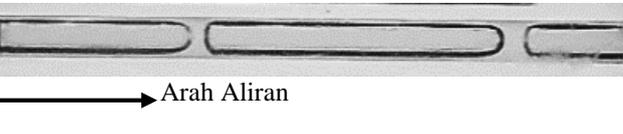
Jika kecepatan superfisial cairan dinaikan maka panjang pada *plug* akan semakin berkurang dan tertekan oleh *slug* air yang mengalami penambahan panjang, akan tetapi penambahan panjang terhadap *slug* air tidak sebanding terhadap pengurangan panjang *slug* udara. Dan apabila nilai superfisial cairan dinaikan hingga mendekati perbatasan pola aliran *bubbly* maka pola aliran *plug* akan mengalami gangguan berupa adanya gelombang pada bagian ujung *plug* atau ekor *plug*.

Bisa terlihat pada tabel 4.17 Perbandingan panjang *plug* dengan konsentrasi gliserin 30% , pada $J_L = 0,232$ m/s pola *plug* terlihat panjang disertai dengan semakin menempelnya *plug*. Pada kondisi ini hidung *plug* berbentuk bulat dan jika dicermati terdapat gangguan seperti munculnya *bubbly* kecil yang muncul diantara *plug* akan tetapi intensitas kemunculan *bubbly* tidak sering terjadi melainkan hanya sesekali. Pola aliran *plug* memiliki ukuran yang lebih panjang serta pada bagian ujung sedikit kurang stabil dan terkadang terdapat seperti 2 *plug* yang saling terhubung.

Untuk $J_L = 0,539$ m/s bentuk pola *plug* terlihat panjangnya berkurang dibandingkan dengan sebelumnya dan jarak pada *plug* menjadi sedikit menjauh. *Plug* pada kondisi ini masih mengalami gangguan pada bagian ekor, dan untuk bagian hidung *plug* berbentuk bulat. Akan tetapi untuk kemunculan *bubbly* kecil yang berada di antara *plug* tidak terlihat kemunculannya.

Pada $J_L = 0,7$ m/s terlihat pola *bubbly* pada panjangnya menjadi berkurang bahkan menjadi kecil dibandingkan dengan J_L sebelumnya. Hidung *plug* masih berbentuk bulat dengan ekor *plug* juga berbentuk bulat. Akan tetapi terdapat gangguan berupa *bubbly* yang berukuran besar dan menempel pada ekor *bubbly* sehingga jika dicermati hidung bubble tersebut seperti meruncing pada bagian tengah hidung *bubbly*. Dan untuk gangguan berupa gelombang pada ekor *plug* pada kondisi ini sudah tidak terjadi lagi.

Tabel 4.18. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30%.

NO	Konsentrasi Gliserin	Pola Aliran
1	0%	
2	10 %	
3	20 %	
4	30 %	

Pada pola *plug* campuran 0% dan 10% bisa dicermati bahwa *plug* yang terjadi memiliki bentuk yang sangat panjang. Namun pada campuran gliserin 10% jarak antara *plug* menjadi mendekat tidak seperti campuran 0% yang jarak antara *plug* sangat jauh. Pola pada kondisi ini terlihat mendapat gangguan berupa adanya gelombang pada bagian ekor *plug*. Hal ini disebabkan oleh naiknya J_L yang hampir mendekati pola aliran *bubbly*.

Pada campuran 20% pola aliran *plug* menjadi mengecil dengan jarak pada *plug* menjadi semakin mendekat. Dan pada hidung *plug* terbentuk bulat sedangkan pada ekor *plug* tetap mengalami gangguan berupa gelombang dan pada saat terjadi gelombang pola aliran *plug* jika dicermati 2 *plug* menjadi menempel yang sebelumnya terdapat jarak. Hal ini terjadi dikarenakan turunnya tegangan permukaan cairan. Cairan berusaha untuk memotong aliran udara, akan tetapi

tidak bisa terpotong dikarenakan kurangnya kekuatan pada cairan untuk menahan gaya geser, sehingga menyebabkan kantong udara yang telah terbentuk cukup panjang dan menyatu.

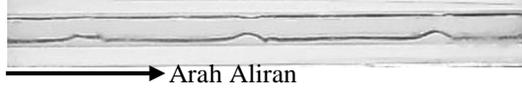
Pada kondisi campuran 30% *plug* yang terbentuk menjadi stabil dibandingkan *plug* yang terbentuk pada campuran sebelumnya. *Plug* yang terjadi pada campuran ini menjadi semakin pendek dengan jarak antara hidung *plug* menjadi dekat. Peningkatan viskositas menyebabkan aliran udara semakin sulit menembus aliran pada larutan glisein, yang menyebabkan *plug* terbentuk semakin pendek. Selain itu pula berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan kecepatan pada *plug* menurun dan secara umum bentuk *plug* pada masing-masing konsentrasi tidak berbeda hanya saja radius hidung yang menjadi semakin berkurang karena kenaikan viskositas.

4.1.3 Pola Aliran Slug Annular

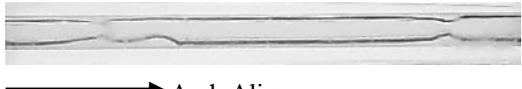
Pola aliran *slug annular* adalah sebuah pola aliran yang terbentuk dari *plug* dan *annular*. Pada pola ini aliran udara berkelanjutan dan aliran cairan pada bagian atas dan bawah bagian pipa membentuk gelombang. Lapisan air yang terbentuk pada bagian bawah saluran lebih tebal dari pada bagian atas. Terbentuknya pola aliran *slug annular* ketika berada pada kecepatan superfisial udara di tingkatkan yang menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh air berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran *slug annular*.

Pada tabel 4.19 dan tabel 4.20 menunjukkan perbandingan nilai J_G dan J_L terhadap pola aliran *bubbly* pada konsentrasi 10%. Pada perbandingan nilai J_G digunakan J_L 0,232 m/s. Sedangkan untuk variasi J_L digunakan J_G 7,00 m/s.

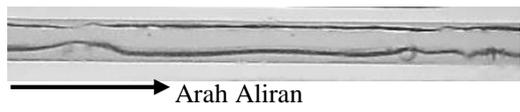
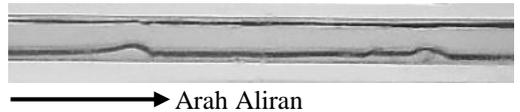
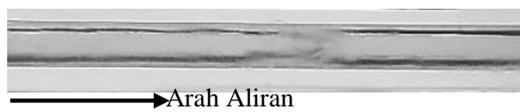
Tabel 4.19. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	4,238	 Arah Aliran
2	7	 Arah Aliran
3	9,62	 Arah Aliran

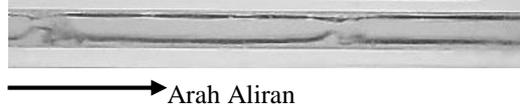
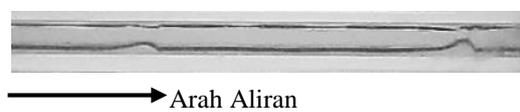
Tabel 4.20. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 7,00 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	 Arah Aliran
2	0,149	 Arah Aliran
3	0,232	 Arah Aliran

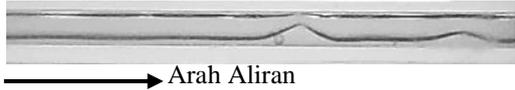
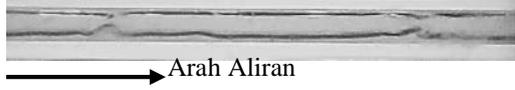
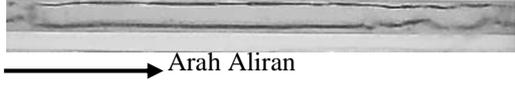
Tabel 4.21. Perbandingan panjang *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	4,238	 Arah Aliran
2	7,00	 Arah Aliran
3	9,62	 Arah Aliran

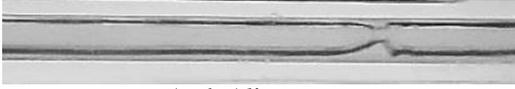
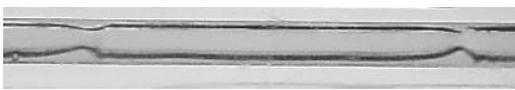
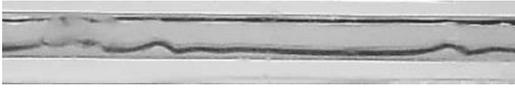
Tabel 4.22. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 7,00 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	 Arah Aliran
2	0,149	 Arah Aliran
3	0,232	 Arah Aliran

Tabel 4.23. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	4,238	 Arah Aliran
2	7	 Arah Aliran
3	9,62	 Arah Aliran

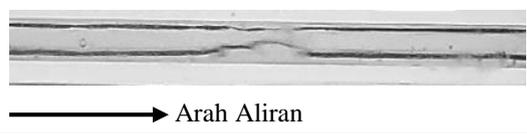
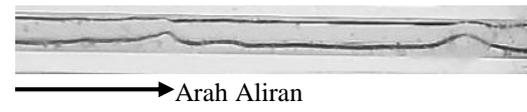
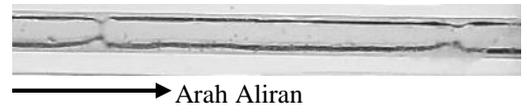
Tabel 4.24. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 7,00 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	 Arah Aliran
2	0,149	 Arah Aliran
3	0,232	 Arah Aliran

Pada Tabel 4.25 terlihat perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 30% terhadap J_L 0,232 m/s dan nilai J_G bervariasi. Perbedaan yang terjadi dengan meningkatkan kecepatan superfisial udara tidak terlihat perbedaan yang begitu jelas, hanya jika kecepatan superfisial gas ditingkatkan

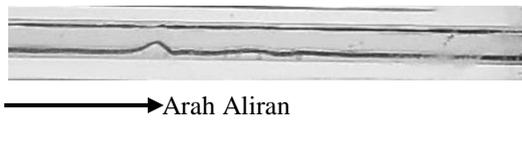
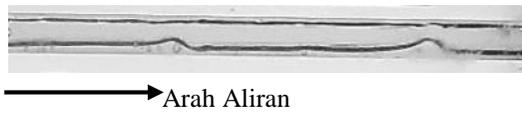
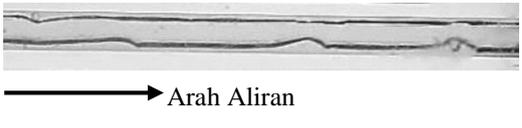
maka pola *slug annular* semakin sulit untuk memutus. Bisa terlihat pada J_G 4,238 m/s dimana cairan berusaha untuk memutus aliran gas dan terlihat seperti mencekik. Sedangkan pada J_G 9,62 m/s aliran cairan semakin susah untuk memutus aliran gas.

Tabel 4.25. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

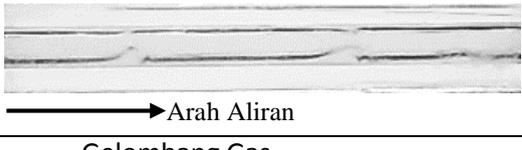
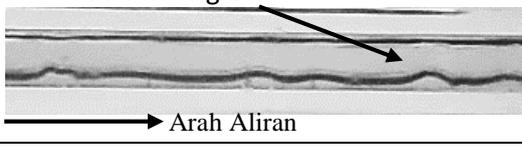
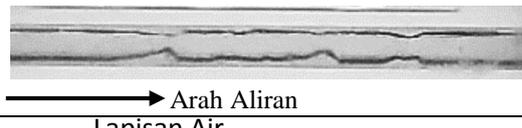
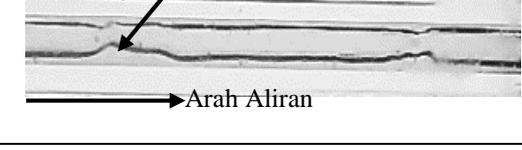
NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	4,238	
2	7	
3	9,62	

Pada perbandingan variasi J_L terlihat pada Tabel 4.26 dengan konsentrasi gliserin 30%. Terlihat bahwa semakin meningkatnya kecepatan superfisial cairan menyebabkan kemunculan gelombang semakin banyak, bisa dilihat pada J_L 0,232 m/s dimana kemunculan gelombang yang meningkat dan jarak antara gelombang itu sendiri semakin dekat dan bisa menjadi satu kesatuan dan menyebabkan gelombang tersebut hampir memutus aliran gas. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya volume air sehingga aliran udara mulai terdorong atau tercekik sehingga terlihat pola *slug annular* yang hampir putus menyerupai aliran *plug*.

Tabel 4.26. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 7,00 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	
2	0,149	
3	0,232	

Tabel 4.27. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30%.

NO	Konsentrasi Gliserin	Pola Aliran
1	0%	
2	10 %	
3	20 %	
4	30 %	

Pola aliran *slug annular* mulai terbentuk pada J_G 3 m/s dan J_L 0,033 m/s. Dari hasil pengamatan lapisan air pada bagian bawah lebih tebal jika dibandingkan dengan lapisan air bagian atas. Dan semakin besar konsentrasi gliserin maka muncul gelombang air yang cukup besar, akan tetapi tidak bisa memutus. Menurut hasil pengamatan terdapat dua pola pada aliran *slug annular* yang pertama adalah munculnya gelombang pada sisi atas dan bawah yang kemudian mencekik laju aliran udara dan yang kedua adalah munculnya gelombang besar dari sisi bawah seperti ombak. Kemudian untuk perbandingan campuran gliserin 0%, 10%, 20%, dan 30% hampir tidak ditemui perbedaan pada segi bentuk.

4.1.4 Pola aliran *annular*

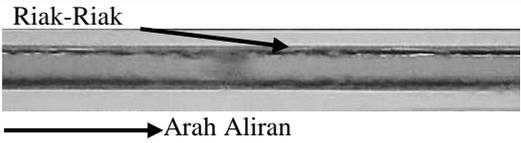
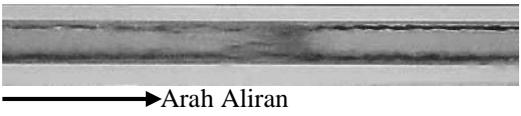
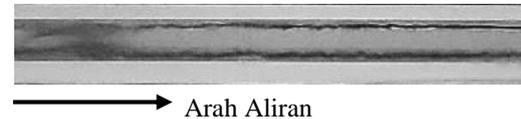
Jika pada pola aliran *slug annular* nilai kecepatan superfisial gas di tingkatkan terus maka gelombang yang ada sebelumnya mencoba untuk memisahkan aliran udara secara perlahan mulai menghilang sehingga terbentuk suatu aliran yang dimana gas mengalir di tengahnya secara terus menerus dengan lapisan air tipis mengalir dibagian tepinya secara tenang. Meskipun dikatakan tenang tetap saja jika dicermati lebih baik terdapat riak-riak kecil pada aliran air. Perbedaan pada kecepatan superfisial aliran udara dan air yang besar menyebabkan aliran larutan gliserin stabil dan membuat lapisan air menjadi lebih tipis, terutama pada sisi bawahh pipa yang terlihat lebih tebal seperti pada pola aliran *slug annular*.

Terbentuknya pola aliran *annular* ketika nilai J_G 50 m/s dan J_L 0,033 m/s, kemunculan aliran *annular* selalu sama pada tiap konsentrasi gliserin. Perbedaan yang terjadi ketika konsentrasi gliserin 10%, 20%, dan 30% tidak begitu jelas perbedaannya. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan seksama aliran *annular* memiliki gelombang-gelombang kecil yang bergerak cepat.

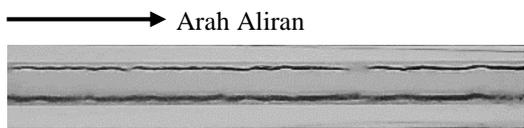
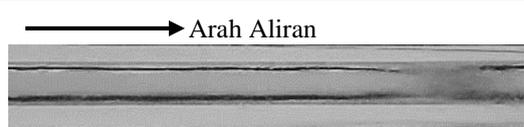
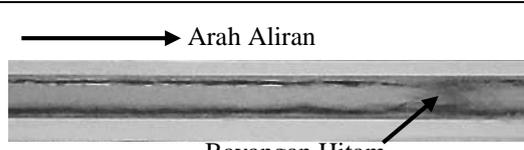
Pada Tabel 4.28 terlihat pada perbandingan pola aliran *annular* perbedaan yang terjadi tidak begitu terlihat jelas. Hanya pada sisi atas dan bawah yang mengalami penguran jumlah riak-riak air. Hal ini dikarenakan

aliran gas mendorong aliran air yang berada pada kedua sisi sehingga aliran air atau riak air di kedua sisi tidak begitu jelas. Jika kecepatan superficial gas ditingkatkan mengakibatkan aliran *annular* menjadi semakin tenang. Namun jika kecepatan superficial gas ditingkatkan gangguan yang dialami juga semakin terlihat jelas, dimana pada J_G 66,3 m/s gangguan yg terjadi hampir menyerupai *churn*.

Tabel 4.28. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

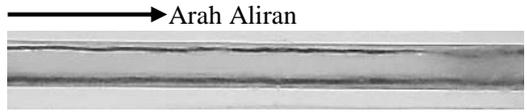
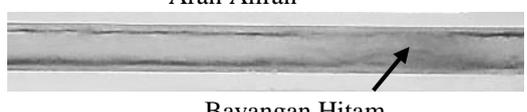
NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

Tabel 4.29. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 58,05 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

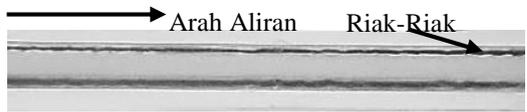
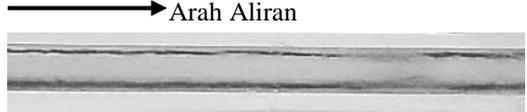
NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	
2	0,149	
3	0,232	

Pada tabel 4.29 terlihat jika kecepatan superfisial air ditingkatkan maka kecepatan riak riak air bagian atas maupun bagian bawah terlihat semakin cepat. Hal ini juga terjadi pada setiap konsentrasi gliserin yang bervariasi. Dan pada J_L 0,149 m/s dan 0,232 m/s terdapat gangguan yang terjadi berupa bayangan hitam yang muncul, dengan semakin meningkatnya kecepatan superfisial air maka bayang hitam yang muncul terlihat semakin hitam.

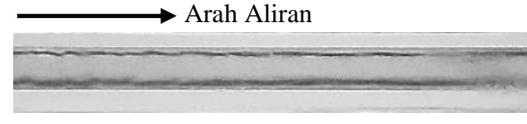
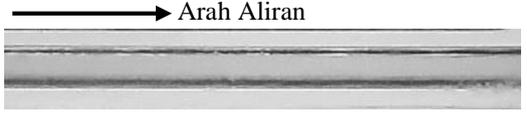
Tabel 4.30. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

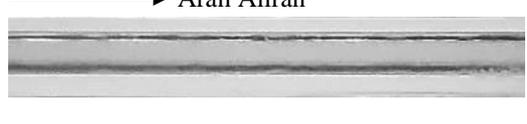
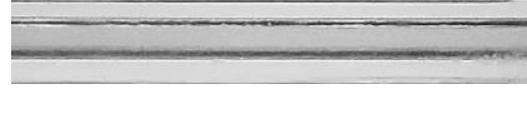
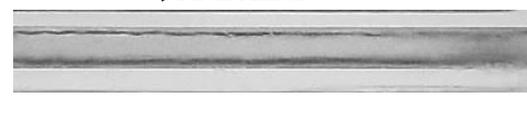
Tabel 4.31. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 58,05 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	
2	0,149	
3	0,232	

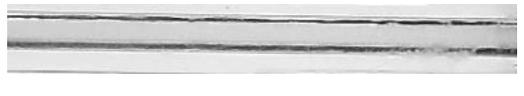
Tabel 4.32. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	 <p>→ Arah Aliran</p>
2	58,05	 <p>→ Arah Aliran</p>
3	66,3	 <p>→ Arah Aliran</p>

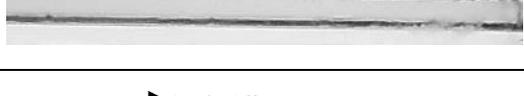
Tabel 4.33. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 58,05 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	 <p>→ Arah Aliran</p>
2	0,149	 <p>→ Arah Aliran</p>
3	0,232	 <p>→ Arah Aliran</p>

Tabel 4.34. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 0,232 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	 Arah Aliran
2	58,05	 Arah Aliran
3	66,3	 Arah Aliran

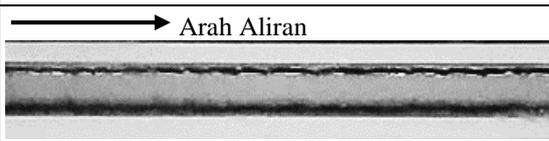
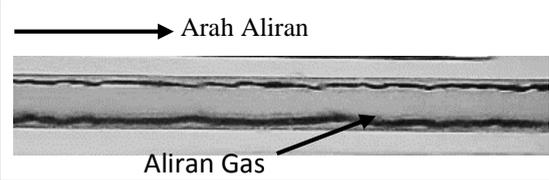
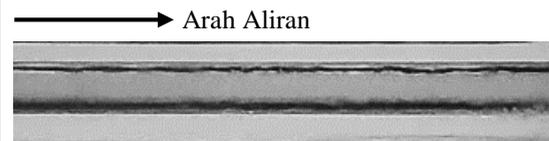
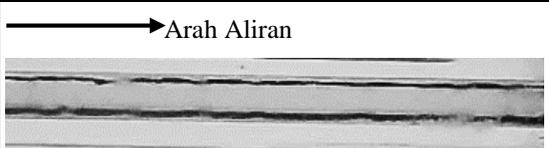
Tabel 4.35. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 58,05 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,091	 Arah Aliran
2	0,149	 Arah Aliran
3	0,232	 Arah Aliran

Pada kondisi ini kemunculan aliran gas jauh lebih intensif di bagian tengah dan aliran air yang cukup tipis pada bagian tepi. Nampak riak-riak kecil muncul di sepanjang aliran. Dan pada perbandingan J_G dan J_L terlihat ada gangguan pada campuran gliserin 0%- 20% berupa terlihat ada bayangan hitam yang muncul di tengah-tengah pola. Semakin meningkatnya viskositas maka gangguan berupa

bayangan hitam mulai menghilang. Untuk campuran larutan gliserin 0%, 10%, 20%, dan 30% tidak memiliki perbedaan yang cukup berarti pada pola aliran *annular* seperti pada Tabel 4.36 dibawah ini. Hal yang menyebabkan oleh pengaruh ini karena gaya inersia yang lebih besar dibandingkan dengan pengaruh visikositas dan dalam pembentukan pola aliran ini sehingga masing-masing konsentrasi bentuk dari pola aliran *annular* tidak jauh berbeda. Visikositas yang semakin meningkat membuat riak-riak yang muncul semakin sedikit dan semakin besar ukurannya.

Tabel 4.36. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30%.

NO	Konsentrasi Gliserin	Pola Aliran
1	0%	
2	10 %	
3	20 %	
4	30 %	

Jika kecepatan superfisial udara lebih dinaikan maka lapisan pada lapisan aliran air yang sedang mengalir pada dinding-dinding pipa akan semakin stabil, dan riak-riak yang terjadi akan semakin berkurang intensitasnya. Pada kondisi visikositas yang tinggi dapat diamati bahwa aliran air pada dinding pipa bergerak sedikit lebih lambat dibandingkan dengan visikositas yang lebih rendah.

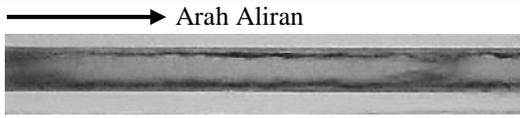
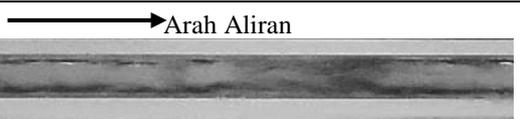
Walaupun lapisan cairan bagian bawah lebih tebal, namun cairan tidak membentuk gelombang seperti pola *slug annular*. Pola aliran tetap membentuk *annular* dengan riak-riak kecil yang bergerak terus menerus.

4.1.5 Pola Aliran *churn*

Pola aliran *churn* terjadi pada nilai kecepatan superfisial udara dan nilai kecepatan superfisial cairan sangat tinggi. Dengan besarnya jumlah pada volume cairan yang masuk seharusnya aliran *plug* dapat terbentuk, namun laju udara yang besar membuat air terdispersi menjadi ukuran yang lebih kecil lalu mengalir dan mengalir dalam kecepatan yang sangat tinggi sehingga dalam pengamatan hanya terlihat bayangan hitam pada inti gas yang diselimuti cairan fluida cair yang kecepatannya sama-sama cepat.

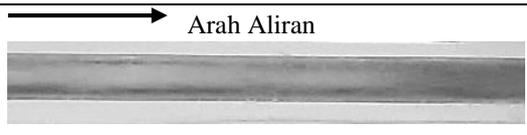
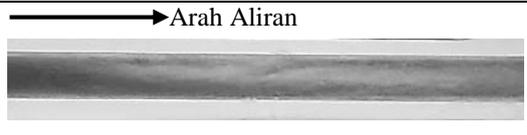
Perbandingan pola aliran *churn* dengan memvariasikan kecepatan superfisial udara terlihat pada tabel 4.37 dengan J_L tetap yaitu 2,297 m/s. Semakin meningkatnya nilai J_G membuat aliran gas lebih dominan, terlihat ketika J_G 66,3 m/s bayangan hitam terlihat banyak muncul jika dibandingkan J_G 50 m/s. Bayangan hitam yang banyak dengan meningkatnya nilai J_G menunjukkan bahwa aliran gas lebih dominan pada aliran *churn*. Fenomena yang terjadi akibat kenaikan J_G terjadi untuk semua konsentrasi gliserin.

Tabel 4.37. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 2,297 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

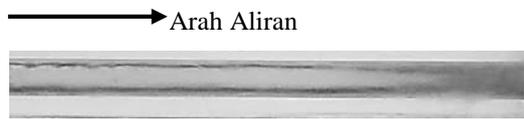
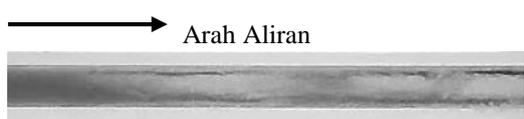
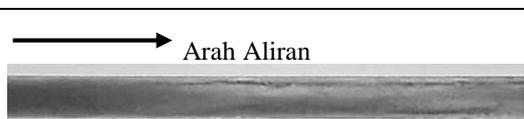
NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

Pada tabel 4.38 ditunjukkan perbandingan pola aliran *churn* ketika nilai J_L yang di variasikan. Terlihat perbedaan ketika J_L 4,935 m/s, bayangan hitam yang terlihat pada pola aliran *churn* jauh lebih banyak dari pada ketika J_L yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena debit air yang besar mengakibatkan udara terdispersi sehingga yang terlihat bayangan hitam. Semakin besarnya J_L bayangan hitam akan terlihat semakin dominan dan semakin cepat mengakibatkan sulitnya pengambilan gambar secara optimal.

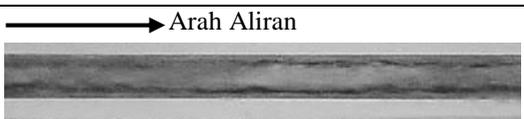
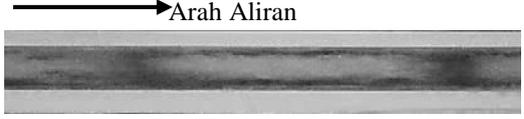
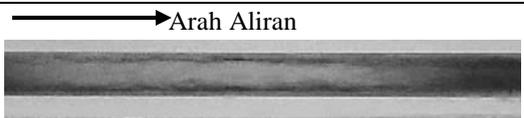
Tabel 4.38. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 0% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 50 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,7	
2	2,297	
3	4,935	

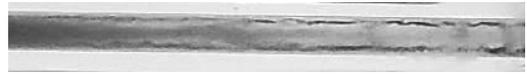
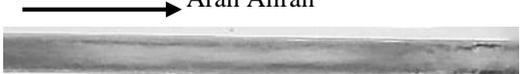
Tabel 4.39. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 2,297 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

Tabel 4.40. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 10% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 50 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,7	
2	2,297	
3	4,935	

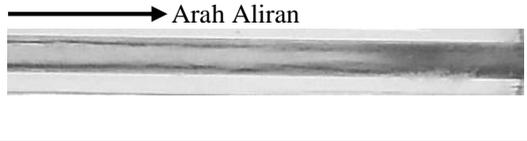
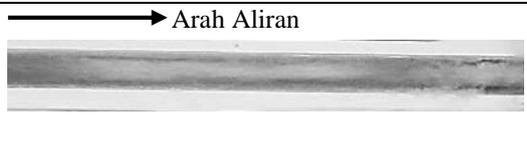
Tabel 4.41. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 2,297 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	 <p>Arah Aliran</p>
2	58,05	 <p>Arah Aliran</p>
3	66,3	 <p>Arah Aliran</p>

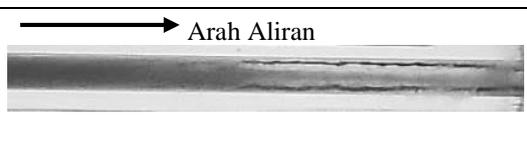
Tabel 4.42. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 20% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 50 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,7	 <p>Arah Aliran</p>
2	2,297	 <p>Arah Aliran</p>
3	4,935	 <p>Arah Aliran</p>

Tabel 4.43. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_L tetap yaitu pada J_L 2,297 m/s dan nilai J_G yang bervariasi.

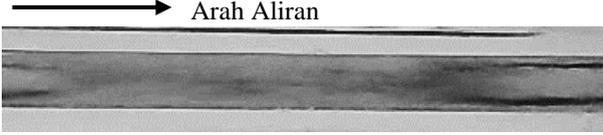
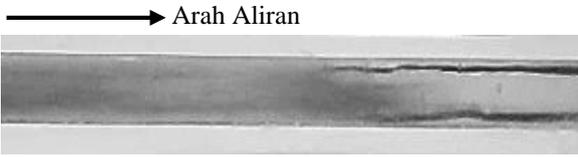
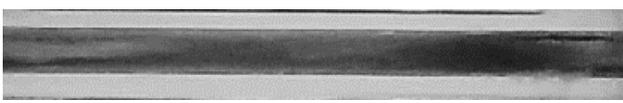
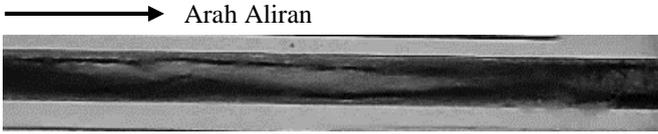
NO	Nilai J_G	Pola Aliran
1	50	 Arah Aliran
2	58,05	 Arah Aliran
3	66,3	 Arah Aliran

Tabel 4.44. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 30% nilai J_G tetap yaitu pada J_G 50 m/s dan nilai J_L yang bervariasi.

NO	Nilai J_L	Pola Aliran
1	0,7	 Arah Aliran
2	2,297	 Arah Aliran
3	4,935	 Arah Aliran

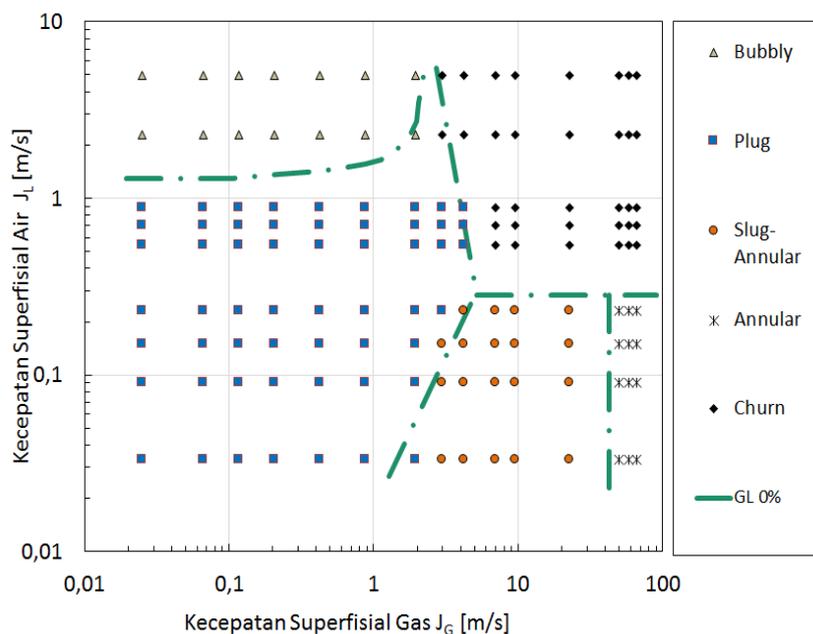
Pada Tabel 4.45 terlihat semakin besar viskositas campuran gliserin maka bayangan pada pola aliran terlihat semakin hitam, jelas dan juga cepat. Terlihat pada viskositas campuran 30% dengan koordinat J_G 9,62 m/s dengan J_L 2,297 m/s, dimana pola aliran *churn* terlihat bayangan yang lebih hitam muncul cukup intens. Karena keterbatasan kemampuan pada kamera, maka bayangan hitam yang muncul sulit di analisa lebih lanjut.

Tabel 4.45. Perbandingan pola aliran churn dengan konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, 30%.

NO	Konsentrasi Gliserin	Pola Aliran
1	0 %	
2	10%	
3	20 %	
4	30 %	

4.2 Peta Pola Aliran

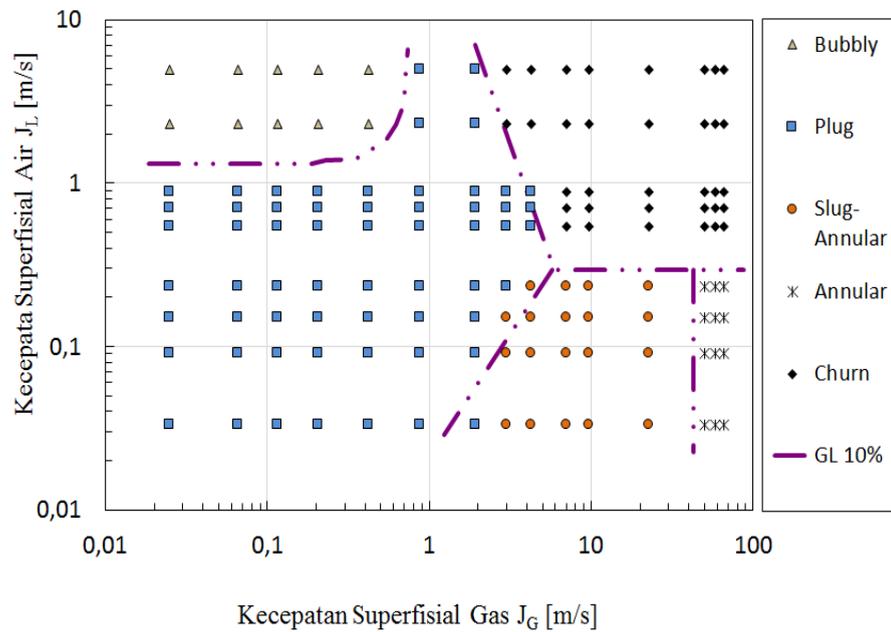
Pola aliran yang telah berhasil diamati dan diidentifikasi kemudian dipetakan dalam sebuah peta pola aliran. Banyaknya data yang diambil pada penelitian ini adalah 144 pada setiap konsentrasi campuran gliserin. Kemudian data ini di plot dengan menggunakan koordinat sumbu kecepatan superfisial udara pada sumbu (x) dengan skala 0,01-100 m/s sedangkan pada kecepatan superfisial cairan pada sumbu (y) dengan skala 0,01-10 m/s. Peta pola aliran ini digambarkan dalam skala logaritma. Penggunaan skala logaritma digunakan agar pada pemetaan menjadi tidak terlalu besar dikarenakan nilai sumbu (x) hingga pada skala 100 m/s sehingga dipilih menggunakan skala logaritma untuk mengurangi jarak pada pola yang akan dibuat peta pola aliran. Pada peta pola aliran yang telah berhasil terbentuk digambarkan juga garis transisi pola aliran. Garis ini menunjukkan kombinasi manakah aliran yang berubah dari satu pola ke pola yang lain.



Gambar 4.1 Peta pola aliran pada konsentrasi 0%

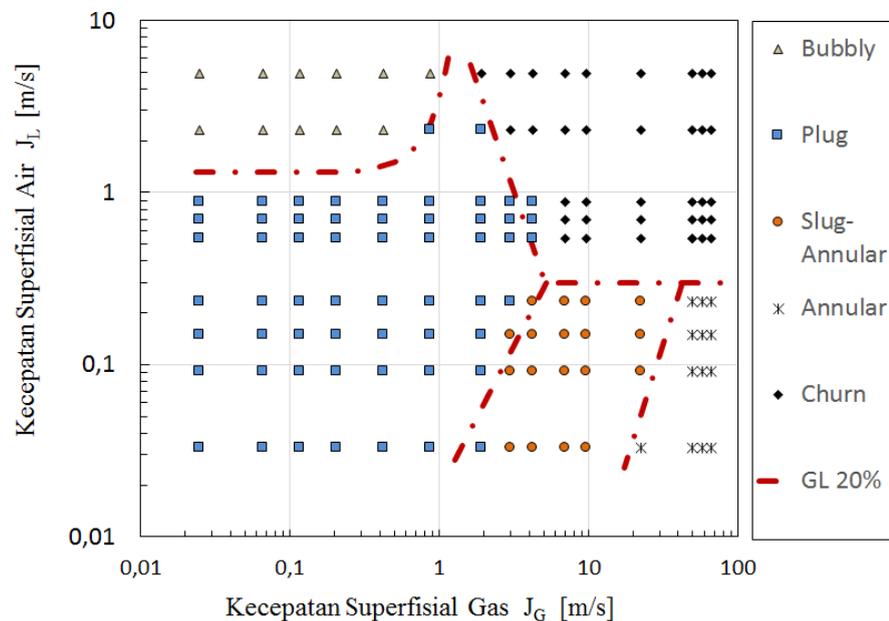
Pada Gambar 4.1 terlihat jika pola aliran *plug* dan *churn* lebih mendominasi terhadap peta pola aliran ini. Sedangkan untuk pola aliran *bubbly*

terlihat pada bagian atas kiri sampai ke tengah atas peta pola aliran, dimana nilai superficial pada udara rendah dan nilai terhadap superficial larutan tinggi. Pada campuran 0% ini *bubbly* terbentuk pada J_L 0,89 m/s dan meluas hingga J_G 1,941 m/s. Kemunculan *bubbly* hingga J_G 1,941 m/s dikarenakan kecilnya nilai viskositas sehingga menyebabkan gas terpotong-potong menjadi kecil berbentuk *bubbly*, dan juga pengaruh pada kemiringan sudut pada penelitian ini sebesar 45° yang memberikan pengaruh terhadap kemunculan pola *bubbly*. Untuk pola aliran *plug* mulai terbentuk pada nilai kecepatan udara dan cairan rendah yang kemudian semakin meningkat seiring dengan peningkatan superficial gas dan cairan. Pada kondisi campuran 0% ini *plug* tidak melebihi J_L 2,297 m/s dan 4,935 m/s yang dikarenakan pengaruh kemiringan sudut sehingga aliran tidak bisa terdorong dengan baik dan malah terlihat sedikit mundur terlebih dahulu dan kemudian baru terdorong pada saat pengambilan data dilakukan. Pola aliran *slug annular* pertama kali muncul pada J_G 3 m/s dan J_L 0,033 m/s hal ini dikarenakan kecepatan superficial udara cukup tinggi sedangkan pada kecepatan superficial cairan masih rendah. Dengan semakin naik nilai kecepatan superficial larutan aliran *slug annular* mencapai batas pada J_L 0,232 m/s sebelum pada akhirnya berubah menjadi *churn*. Sedangkan untuk pola aliran *annular* berada di kanan bawah, dimana pada kecepatan superficial udara sangat tinggi. Aliran *annular* mulai terbentuk pada J_G 50 m/s dan J_L 0,033 m/s. Dan sama seperti *slug annular* jika kecepatan superficial cairan dinaikan melebihi J_L 0,232 m/s maka pola akan berubah menjadi *churn*. Sedangkan pada pola aliran *churn* terjadi untuk pertama kali pada koordinat J_G 3 m/s dan J_L 2,297 m/s hingga pada koordinat J_G 66,3 m/s dan J_L 4,935 m/s sehingga membuat pola aliran *churn* terlihat mendominasi peta pola aliran pada bagian atas kanan.



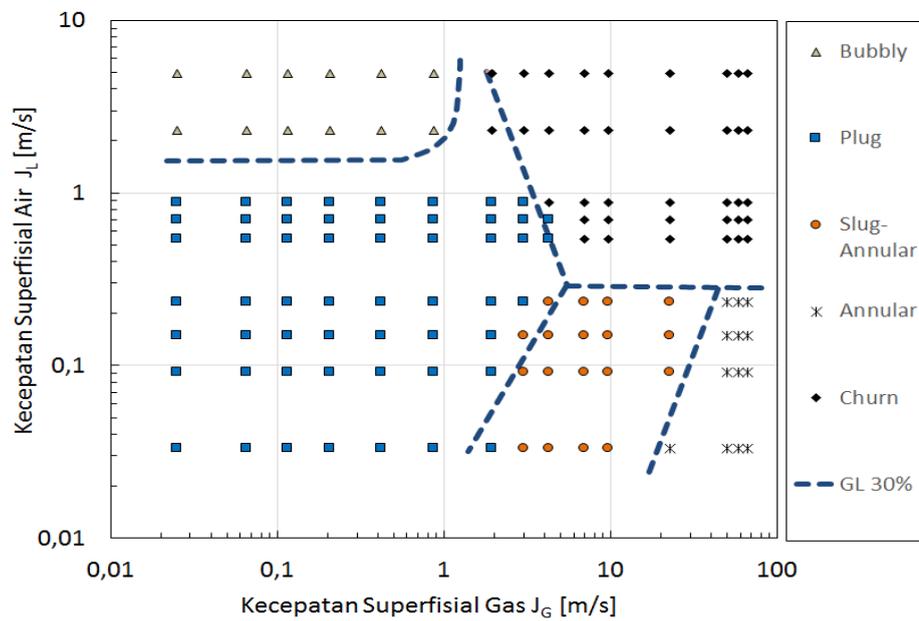
Gambar 4.2 Peta pola aliran pada campuran 10%

Gambar diatas menunjukkan peta pola aliran pada campuran 10%. Terlihat bahwa pola aliran *plug* masih mendominasi pada peta ini. Pada kondisi ini pola aliran *plug* terlihat sampai pada J_G 0,89 m/s dan J_L 2,297-4,935 m/s tetap terbentuk, tidak seperti campuran gliserin 0% yang tidak menghasilkan *plug* hingga ke atas. Kemudian pada pola aliran *bubbly* terlihat menjadi berkurang kemunculannya dikarenakan terganti menjadi *plug*. Pada pola aliran yang lain tidak terlalu berbeda dengan peta pola aliran 0% . Seperti yang terlihat pola aliran *plug* masih mendominasi kemunculannya. Dan pada J_G 3 m/s pola aliran *slug annular* sudah mulai terbentuk hingga J_L 0,232 m/s. Kemudian pada kecepatan superfisial udara yang sama namun kecepatan superfisial cairan di tingkatkan hingga J_L 2,297 m/s maka pola aliran *churn* mulai muncul dan kemunculan pola aliran *churn* terjadi jika kecepatan superfisial cairan semakin ditingkatkan. Pada J_G 50 m/s dan J_L 0,033 m/s pola aliran *annular* mulai terbentuk hingga kecepatan superfisial cairan pada J_L 0,232 m/s dan jika kecepatan superfisial cairan ditingkatkan maka pola aliran akan berubah bentuk menjadi *churn*.



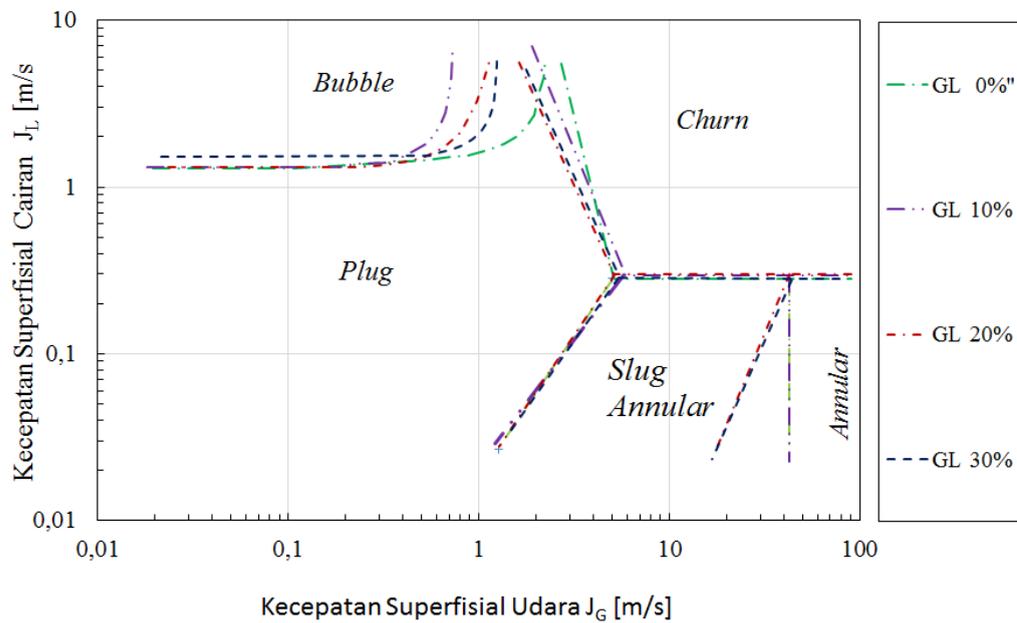
Gambar 4.3 Peta pola aliran pada campuran 20%

Gambar 4.3 menunjukkan terdapat perubahan pada peta pola aliran, dimana pola *bubbly* muncul di J_G 0,871 m/s dengan J_L 4,935 m/s. Dan pada pola aliran *plug* masih mendominasi pada peta aliran. Namun pada campuran gliserin 20% terlihat kemunculan pola aliran *plug* hanya pada J_G 0,879 m/s dan J_G 1,941 m/s dengan J_L 2,297 m/s, berbeda dengan peta pola aliran pada campuran 10% dimana kemunculan *plug* hingga J_L 4,935 m/s. Kemudian pada pola aliran *slug annular* terlihat pada kecepatan superfisial J_G 22,6 m/s dan J_L 0,033 m/s pola aliran *annular* muncul dan hanya 1 pola aliran saja pada kecepatan superfisial ini. Kondisi ini sama seperti pada penelitian sebelumnya, yaitu pada penelitian sudarja., dkk(2014). Sehingga menyebabkan garis transisi sedikit menyerong ke arah kiri tidak seperti pada campuran 0% dan 10% dimana garis transisi terbentuk lurus sejajar dengan aliran *slug annular* dan *annular*. Sedangkan untuk pola aliran *churn* terlihat tidak ada perubahan dan masih sama seperti campuran 0% dan 10% .



Gambar 4.4 Peta pola aliran campuran 30%

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi gliserin menjadi 30% maka pola aliran *bubbly* semakin bertambah. Ini bisa terlihat dari garis transisi pola aliran *bubbly* yang semakin bergeser ke arah kanan hingga pada kecepatan superfisial udara J_G 0,879 m/s dan pada J_L 4,935 m/s. Terlihat pola aliran *plug* masih sangat mendominasi peta pola aliran ini. Sedangkan pada pola aliran *churn* masih terlihat tidak ada perbedaannya dengan sebelumnya. Namun pada kecepatan superfisial udara J_G 22,6 m/s terlihat pola *annular* berada di kecepatan superfisial cairan J_L 0,033 m/s. Pada kondisi ini sama dengan campuran gliserin 20% sebelumnya dimana terlihat pola aliran *churn* pada kecepatan superfisial udara dan cairan yang sama pada 30%.



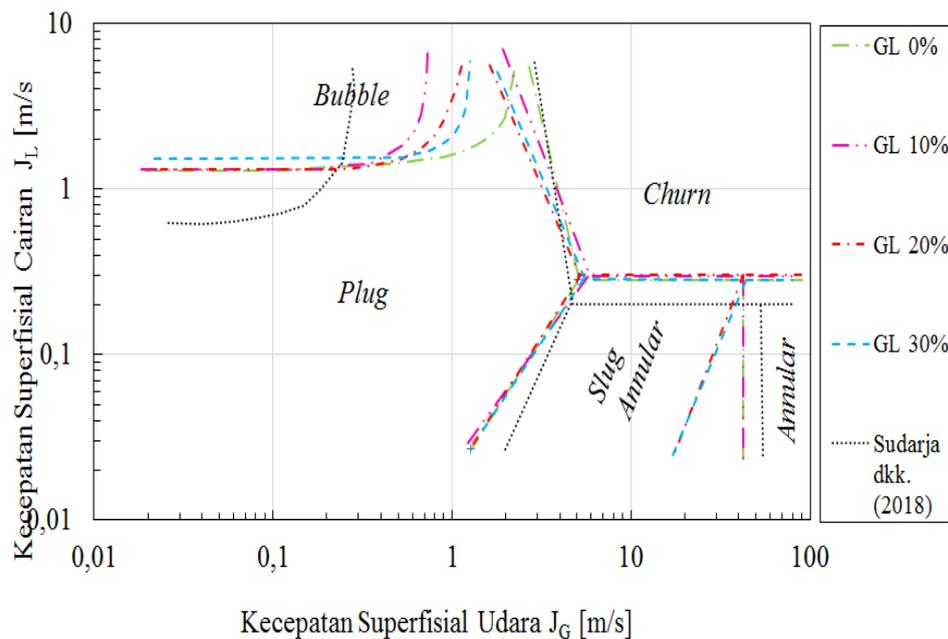
Gambar 4.5 Peta pola aliran campuran gliserin 0% - 30%

Pada Gambar 4.5 telah teramati perbandingan peta pola aliran (0% - 30%) pada sudut 45° dengan menggunakan pipa yang memiliki diameter 1,6 mm. Perbandingan peta dari tiap gliserin yang diujikan dibuat perbedaan pada garis transisi sehingga memudahkan dalam pengamatan perbedaan yang terjadi dari setiap campuran gliserin yang bervariasi. Dari hasil yang telah didapatkan, bisa terlihat pada campuran gliserin 0% kemunculan *bubbly* terlihat hingga J_G 1,941 m/s dan J_L 2,297 – 4,935 m/s, kondisi ini disebabkan karena adanya pengaruh pada kemiringan meja yang menyebabkan luas wilayah *bubbly* menjadi besar. Dan pada pola aliran *bubbly* dengan semakin meningkatnya viskositas maka jumlah kemunculan *bubbly* semakin meningkat. Pada campuran gliserin 0% pola aliran *churn* terlihat lebih sedikit dari pada campuran gliserin yang lain. Kemudian pada pola aliran *annular* terlihat pada gliserin 20% dan 30% pada koordinat J_G 22,6 m/s dan J_L 0,033 m/s sudah terlihat adanya pola aliran *annular*. Pada pola aliran

seperti *plug*, *slug annular*, *churn* terlihat pergeseran garis transisi yang tidak begitu jauh antara viskositas yang berbeda.

4.3 Perbandingan Peta Pola Aliran Dengan Penelitian Sebelumnya.

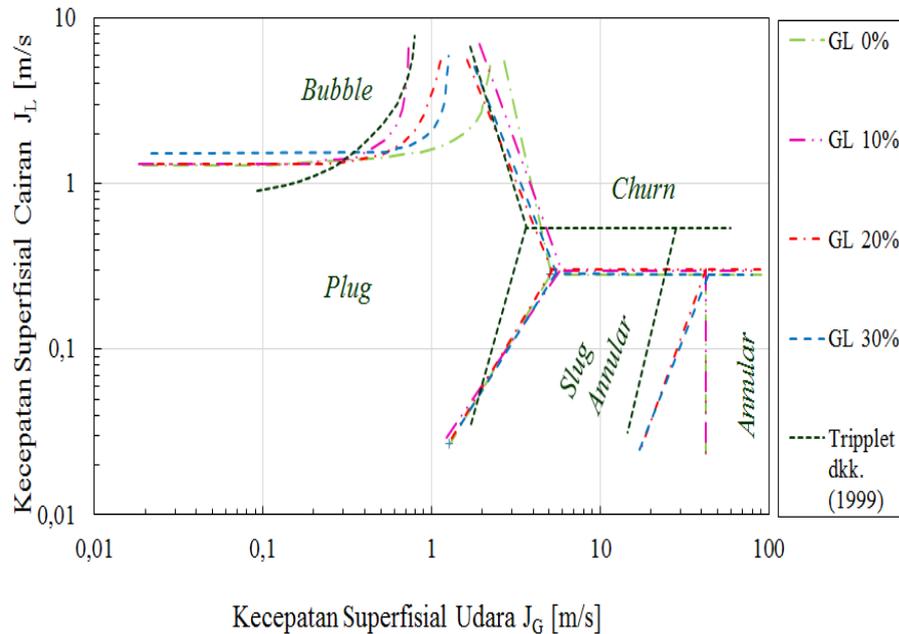
Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya perlu dilakukan agar mengetahui konsistensi hasil penelitian yang telah diperoleh dan perubahan garis transisi yang diakibatkan oleh perubahan pada parameter yang tertentu diujikan. Perbandingan peta pola aliran hasil eksperimen yang telah dilakukan terhadap beberapa penelitian terdahulu yang memiliki beberapa perbedaan pada diameter. Beberapa penelitian diantaranya adalah Sudarja dkk. (2018) dan Triplet dkk. (1999).



Gambar 4.5 Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Sudarja dkk. (2018)

Perbandingan peta pola aliran untuk perubahan viskositas dibandingkan dengan hasil penelitian Sudarja dkk. (2018) terlihat pada gambar 4.5 dimana dalam penelitiannya menggunakan saluran mini horizontal berukuran 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja berupa gas dan gliserin dengan campuran

aquades. Penelitian yang dilakukan oleh Sudarja dkk. (2018) serupa dengan penelitian yang saat ini dilakukan. Hanya saja yang membedakan adalah campuran konsentrasi gliserin dan penggunaan sudut kemiringan sejumlah 45° . Pola aliran yang telah teramati pada penelitian ini ada lima, yaitu : *plug*, *bubbly*, *slug annular*, *churn*, *annular*. Adanya peningkatan terhadap viskositas memberikan pengaruh terhadap pola aliran, terutama pada garis transisi pola aliran *bubble*, *slug annular*, *annular*. Dengan peningkatan konsentrasi gliserin garis transisi pada pola aliran *bubbly* dan *plug* terlihat bergeser ke arah kanan menandakan semakin banyaknya pola aliran *bubbly* dan *plug*. Pada pola aliran *slug annular* dan *annular* terlihat semakin meningkatnya konsentrasi gliserin maka garis transisi yang terbentuk bergerak ke kiri dan menyempit. Dan jika dibandingkan dengan penelitian Sudarja dkk. (2018) terlihat jika garis transisi *bubbly* dan *plug* terlihat lebih menyempit ke atas dan intensitas kemunculan *bubbly* lebih terlihat pada kecepatan superficial cairan yang sedikit lebih rendah dari pada penelitian yang saat ini dilakukan. Sedangkan pada garis transisi yang lain tidak terlalu berbeda dengan penelitian Sudarja dkk. (2018) dimana pergeserannya lebih konsisten .



Gambar 4.6 Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Tripplet dkk. (1999)

Pada gambar 4.6 peneliti Tripplet dkk. (1999) dalam penelitiannya memakai fluida udara dan air. Dalam penelitian ini, Tripplet dkk. (1999) menggunakan pipa sirkular dengan diameter 1,1 mm dan 1,45 mm dan pipa *semi-triangular* dengan diameter yang digunakan 1,09 mm dan 1,49 mm juga digunakan dalam penelitian ini. Dari gambar tersebut terlihat bahwa posisi pada kelima pola aliran dengan penelitian Tripplet dkk. (1999) dengan garis putus-putus berwarna hitam terletak pada bagian yang sama. Pada garis transisi Tripplet dkk. (1999) terlihat daerah pola aliran *bubble* membentuk seperempat lingkaran dan terlihat hampir menyerupai garis transisi pada campuran gliserin 10%. Terlihat pola *annular* sedikit lebih intensif kemunculannya dibandingkan dengan penelitian yang sedang dilakukan. Dan terlihat garis transisi pada pola aliran antara *plug* dan *slug annular* kemudian *slug annular* dan *annular* terbentuk lebih lurus dibandingkan dengan penelitian yang sedang dilakukan.

