



Karakterisasi Transisi Regime Aliran 2 Fase (Gas-Liquid) Dalam Round Canal dan Rectangular Canal

Aloysius Yuli Widiyanto

Jurusan Teknik Kimia-Fakultas Teknik Universitas Surabaya
Gedung TG 5 Jl. Raya Kalirungkut-Tenggilis Surabaya
Email : Aloy_sius_vw@ubaya.ac.id

Abstract

In design of micro-reactor for gas-liquid reactions topic, it is needed to well known the flow pattern of 2 phases gas-liquid within canal in micro dimensional. The present study investigates the effect of canal diameter and shape (round canal and rectangular canal with aspect ratio 1) to flow regime transitions for 2 phases flow. The experiment will be conducted with the diameters ranging from 0,6 – 1 mm, the variables of gas and liquid velocity range from 0.1 m/s – 100 m/s and 0.01 m/s – 10 m/s respectively. The flow patterns: bubble, slug, slug annular, annular, and churn are observed by CCD camera. The result will be compared with the Damianides and Westwater correlations and also Weisman correlations. Flow regime transition for 2 phases flow at variables gas and liquid velocity are presented in the experiment.

Keyword: *flow regime transition, round canal, rectangular canal*

Pendahuluan

Ketika mendesain suatu sistem yang melibatkan aliran 2 fase dalam micro canal, adalah sangat penting untuk memiliki pengetahuan extensive regime aliran 2 fase dan pressure drop. Karakteristik aliran 2 fase dalam micro canal sangat berbeda dengan aliran yang terbentuk dalam system macro canal. Study yang extensive tentang aliran 2 fase gas-liquid dalam micro canal dengan geometri yang berbeda telah dilakukan oleh sejumlah peneliti pada satu decade terakhir ini. Regime aliran 2 fase yang diteliti oleh sejumlah peneliti tersebut memberikan informasi bahwa regime aliran gas-liquid dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain : laju alir volumetric fluida, properti-properti fluida yang digunakan, sudut kemiringan canal terhadap posisi horizontal, bentuk geometri canal, serta ukuran canal/diameter.

Penelitian ini bertujuan mempelajari karakterisasi transisi regime aliran 2 fase gas-liquid dalam canal berpenampang persegi dan lingkaran dengan harapan dari hasil penelitian ini akan diperoleh informasi berkaitan dengan aturan-aturan design dari micro reactor.

Penelitian terdahulu

Aliran fluida 2 fase memiliki pressure drop yang lebih besar daripada aliran fluida 1 fase. Penggunaan fase kedua dalam sistem aliran fluida akan menyebabkan pengecilan flow area kedua fase sehingga menyebabkan peningkatan nilai pressure drop yang sangat besar. Boelter dan Kepner

menyatakan bahwa penggunaan sejumlah kecil liquid dalam aliran gas menyebabkan peningkatan pressure drop sebesar 15 %. Sejumlah liquid tersebut masuk kedalam aliran gas pada bagian dasar atau di sekitar keliling tube / canal, kemudian terbentuk riak / gelombang-gelombang kecil akibat adanya tekanan gas pada fase liquid, dan pada bagian ini terjadi hilang energi yang cukup besar pada fase gas. Lockhard dan Martinelli melakukan serangkaian percobaan pada canal dengan diameter yang berbeda, dan berhasil menemukan hubungan empiris antara pressure drop 2 fase dan kecepatan superficial gas. Alves menemukan beberapa pola aliran yang berbeda yang pembentukannya dipengaruhi oleh kecepatan superficial gas dan liquid. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa informasi tentang pola aliran dan regime aliran sangat diperlukan dalam proses perhitungan pressure drop 2 fase.

Regime aliran tertentu terbentuk dengan kombinasi dari kecepatan fase gas dan liquid yang dipengaruhi juga oleh beberapa faktor seperti percepatan gravitasi, shear (inersia) dan tegangan permukaan. Mekanisme aliran dalam round tube dan rectangular tube dengan diameter yang kecil berbeda dari mekanisme aliran yang terjadi pada tube dengan bentuk yang sama dengan diameter yang lebih besar terutama berkaitan dengan besarnya gaya relatif yang bekerja pada sistem aliran tersebut. Wambsganss et al meneliti pola aliran dan transisi regime aliran dalam single canal rectangular dengan aspek rasio 6 dan 0,167 serta

diameter hydraulic 1 mm melalui visualisasi dan pengukuran dinamika tekanan dalam aliran. Dua aspek rasio yang berbeda diperoleh dengan cara memutar canal sebesar 90°. Wambsganss et al menyatakan penelitian ini untuk mempelajari kriteria transisi dari aliran slug 2 fase berdasarkan akar kuadrat rata-rata perubahan tekanan.

Penelitian sebelumnya pada round canal.

Pemetaan pola aliran pertama kali diteliti oleh Baker yang kemudian menyatakan bahwa transisi pola aliran sangat dipengaruhi oleh kecepatan superficial gas dan liquid. Pola aliran bubble, slug, slug annular, dan annular muncul dalam 27 percobaan pola aliran menggunakan fluida minyak dan gas. Besarnya pressure drop yang muncul dalam sistem dihitung menggunakan persamaan Fanning termodifikasi dan menyatakan bahwa pressure drop untuk pipa berdiameter lebih besar (> 200 mm) memiliki penyimpangan yang besarnya antara 40 % s/d 60 % lebih kecil dari perhitungan pressure drop yang dihitung menggunakan korelasi Lockhard dan Martinelli. Mekanisme aliran mengalami perubahan pada tube dengan diameter yang besar. Pengaruh diameter pipa pada pola aliran tidak dapat diabaikan dalam perhitungan pressure drop. Hasil penelitian diatas diteliti lebih jauh oleh sejumlah peneliti. Govier & Omer, menyatakan pengaruh efek geometri dan properti fluida termasuk didalam kelompok ini adalah diameter tube, rate aliran massa liquid dan gas, densitas liquid dan gas, viscositas liquid, tegangan permukaan, dan percepatan gravitasi. Data-data pressure drop hasil penelitian menunjukkan kecenderungan yang sangat sesuai dengan korelasi yang diajukan oleh Lockhard dan Martinelli untuk kondisi aliran kedua fase turbulent serta pada kondisi aliran liquid turbulent, dan aliran gas laminar. Kecenderungan pressure drop menunjukkan penyimpangan dari korelasi di atas pada kondisi aliran fase liquid laminar.

Suo dan Griffith melakukan study pada pola aliran bubble pada tube kapiler dengan range diameter dari 1 mm sampai dengan 1,6 mm. Mereka mengidentifikasi dan berusaha menghubungkan garis-garis transisi dari bubble terelongasi ke annular dan aliran bubbly/churn dengan menggunakan laju alir volumetrik rata-rata dari fase liquid dan gas serta kecepatan bubble.

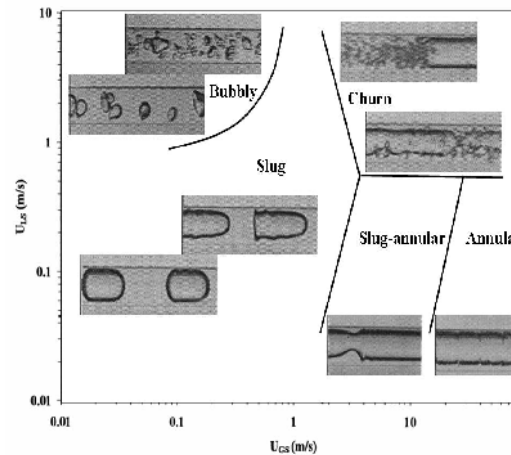
Penelitian sebelumnya pada rectangular channel

Beberapa penelitian aliran 2 fase dalam rectangular canal dengan diameter hidroulik yang kecil dilakukan dengan aspek rasio ($\alpha = 0,5$) dan ($\alpha = 2,0$). Hosler melakukan investigasi terhadap pola aliran 2 fase dalam vertical rectangular canal dan menemukan bahwa faktor tekanan memiliki pengaruh yang besar pada transisi aliran. Richardson melakukan studi pola aliran menggunakan rectangular tube untuk range aspek

rasio dari 0,125 sampai dengan 0,5 dan range diameter hidroulik dari 11,30 sampai dengan 33,9 mm dan membuat pemetaan untuk 3 canal yang diteliti. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk aspek rasio yang lebih kecil stratified flow regime dan wavy flow regime berkurang kemunculannya dan mendorong terbentuknya aliran bubble terelongasi dan aliran slug mengingat fase liquid lebih mudah naik kebagian atas dari tube.

Xu et all melakukan studi pada rectangular canal dengan diameter hidroulik 0,3; 0,6; dan 1 mm dengan range kecepatan liquid 0,05 – 5 m/det, dan range kecepatan gas 0,1 – 10 m/det dengan fluida udara – air. Pola aliran yang dihasilkan meliputi : bubbly, cap bubbly, churn, slug, slug droplet, annular, annular droplet. Mishima et all meneliti pola aliran 2 fase dalam rectangular channel dengan diameter hidroulik sebesar 1,07 mm dengan range kecepatan liquid (air) sebesar 0,5 – 5 m/det dan range kecepatan fluida gas (udara) pada 0,1 – 50 m/det. Hasilnya ditunjukkan dengan terbentuknya pola aliran bubbly, slug dan annular.

Triplet dkk meneliti model aliran sistem gas-liquid dalam canal kapiler diameter < 1 mm dengan penampang canal berbentuk circular dan triangular dengan cara mengontakkan udara dan air tampak seperti dalam kartografi berikut :



Gambar 1. Model aliran 2 fase dalam microcanal

Jenis aliran bubbly, slug, churn, slug annular, dan annular pada gambar diatas berada pada zona tertentu dipengaruhi besarnya debit fase gas dan fase liquid.

Metodologi

Bahan eksperimen/percobaan

Untuk memperoleh pemetaan pola aliran gas-liquid digunakan alat : pompa syringe (Yamamoto Giken-YG80), flowmeter gas debit kecil (Gilmont Microflowmeter-GF 9760 w/valve), sinar laser, mikrocanal, CCD camera, serta alat-alat optik yang kesemuanya dapat dikontrol dan dilihat

hasilnya melalui program komputer. Sedangkan bahan yang digunakan adalah air dan udara.

Teknik eksperimen/percobaan

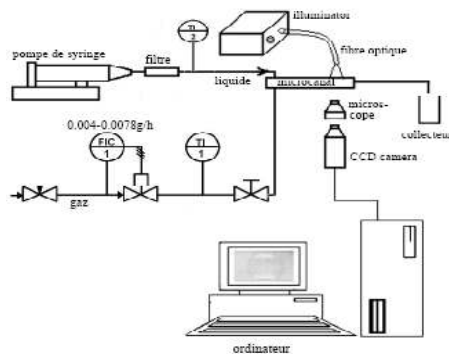
Percobaan secara umum dilakukan dengan cara mengkontakkan aliran gas (udara) dan aliran liquid (air) dengan menggunakan konfigurasi tertentu dari canal. Debit gas dan liquid divariasi sehingga menghasilkan pola aliran dalam regime aliran tertentu. Pola yang terbentuk divisualisasi dengan menggunakan CCD camera dalam selang waktu tertentu, untuk kemudian dilakukan analisa terhadap pola aliran yang terbentuk dalam canal.

Sketsa Percobaan



Gambar 2. Dua konfigurasi canal (konfigurasi T dan konfigurasi serpent) yang digunakan dalam eksperimen

Dua konfigurasi canal yang digunakan dalam percobaan ini adalah canal berpenampang lingkaran (round canal) dan canal berpenampang persegi (rectangular canal) dengan aspek rasio 1.



Gambar 3. Skema peralatan

Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini diperoleh 5 jenis pola aliran yang meliputi jenis aliran slug, bubble, slug annular, annular dan churn seperti pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Triplet et al. Contoh-contoh dari jenis pola aliran tersebut dapat dilihat pada gambar 1 diatas.

Berikut adalah deskripsi singkat karakteristik pola aliran yang terbentuk selama pengambilan gambar

dengan variasi kecepatan superficial gas dan liquid :

Bubbly, regime aliran ini muncul dalam sistem pada harga kecepatan superficial gas dan liquid yang tinggi. Kemunculannya ditandai dengan pemecahan dan distribusi dari gelembung-gelembung gas yang bentuk dan ukurannya tidak teratur dengan diameter spheric rata-rata yang lebih kecil daripada diameter canal. Karena bentuknya tidak beraturan, maka luas interface gas dan liquid yang terbentuk pada regime bubbly ini bervariasi.

Slug, peningkatan debit gas dan pada saat yang bersamaan debit liquid diturunkan, bubble-bubble silindris muncul dengan ukuran gelembung gas yang lebih panjang, dengan diameter silindris sama dengan diameter canal. Bubble yang terbentuk pada pola aliran ini memiliki jari-jari kepala bubble yang lebih kecil daripada jari-jari pada bagian ujung belakang/ekor bubble. Gelembung-gelembung gas ini terpisah satu dengan yang lain dengan terbentuknya slug liquid. Pada bagian antara gas dan dinding dalam canal terbentuk film liquid.

Slug annular, peningkatan yang lebih besar pada debit gas dan pada saat yang sama debit liquid diturunkan menyebabkan terbentuknya gelombang kontinu pada bagian film liquid. Fase liquid masuk pada film liquid sepanjang dinding canal dengan gelombang asyetric yang tidak mengisi keseluruhan bagian dari canal.

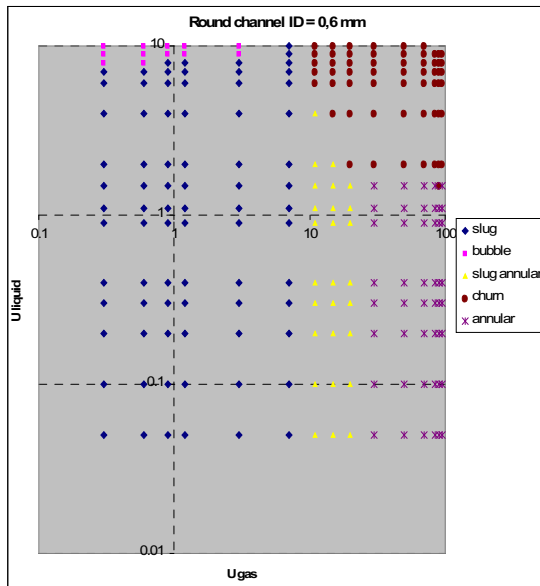
Annular, model aliran ini dikarakterisasi dengan kehilangan gelombang-gelombang air dengan amplitudo yang besar pada film liquid pada kecepatan gas yang besar. Interface gas liquid ditunjukkan dengan gelombang-gelombang air beramplitudo kecil.

Churn, pembentukan pola aliran churn disebabkan oleh 2 cara. Pertama, selama terbentuk aliran slug, kecepatan gas dan liquid diperbesar sehingga bubble gas menjadi tidak stabil terutama pada bagian ujung belakang bubble, dan muncul gelembung-gelembung kecil yang terdistribusi pada fase liquid. Kemungkinan lain terbentuknya churn adalah dengan cara memperbesar kecepatan liquid pada regime aliran slug annular. Model aliran ini dikarakterisasi dengan tidak munculnya gelombang-gelombang air dengan amplitudo kecil.

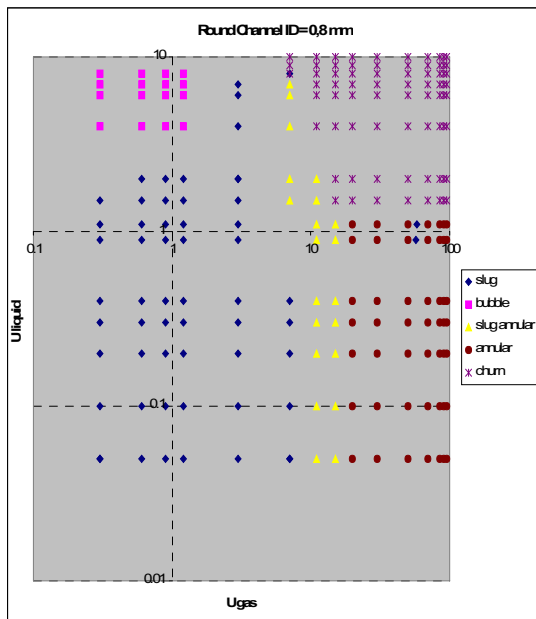
Round Canal

Dari hasil percobaan diperoleh informasi bahwa transisi regime aliran slug ke bubble terjadi pada kecepatan superficial liquid (U_{LS}) yang tinggi. Sedangkan transisi regime aliran slug ke regime aliran churn ataupun dari regime aliran slug ke slug annular / annular terjadi pada kecepatan superficial gas (U_{GS}) yang tinggi. Faktor diameter canal berpengaruh pada pembentukan pola aliran dalam canal. Dalam penelitian ini diameter canal divariasi pada kisaran 0,6 – 1 mm. Pengaruh diameter canal ini adalah pada pergeseran harga kecepatan superficial gas ataupun liquid yang menjadi batas /

transisi 2 regime aliran yang berbeda dan berdekatan.



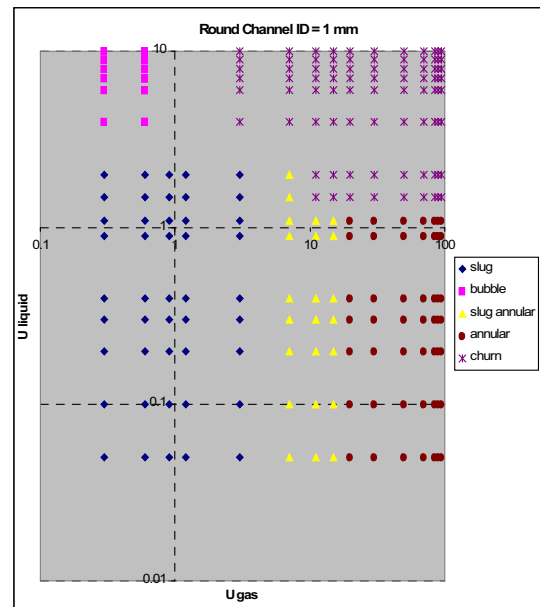
Gambar 4 Pola aliran pada Round Canal dengan diameter dalam (ID = 0,6 mm)



Gambar 5 Pola aliran pada Round Canal dengan diameter dalam (ID = 0,8 mm)

Pada gambar di atas, aliran slug terjadi pada kecepatan superficial gas dan liquid yang rendah dan meliputi daerah yang cukup luas. Transisi regime aliran dari slug ke pola slug annular terjadi

pada kecepatan superficial gas yang hampir konstan dan kecepatan superficial liquid yang semakin meningkat. Harga kecepatan gas yang konstan ini adalah hasil pengambilan data pada range kecepatan gas yang relatif kecil (3 – 7 m/det). Kecenderungan kecepatan gas pada zona transisi slug –slug annular ini dapat diketahui lebih detail dengan pengambilan data pola aliran dengan range kecepatan yang lebih kecil.



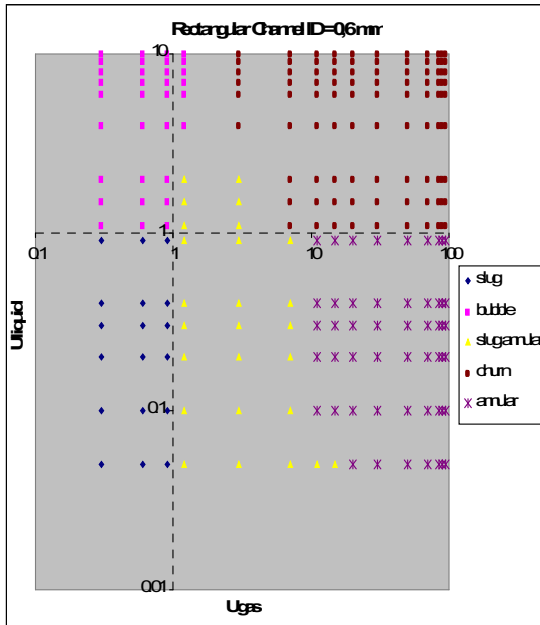
Gambar 6 Pola aliran pada Round Canal dengan diameter dalam (ID = 1 mm)

Rectangular Canal

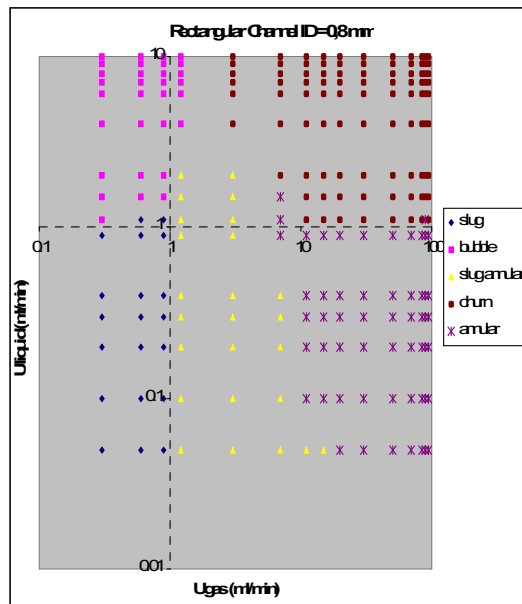
Penelitian pola aliran dalam canal berbentuk rectangular pada diameter hidroulik berskala micro belum banyak dilakukan. Mishima dkk, menyatakan bahwa selain aspek kecepatan superficial liquid dan gas, serta diameter hidroulik, ternyata masih ada faktor lain yang turut berkontribusi dalam pembentukan pola aliran dalam rectangular canal, yaitu aspek rasio dan tegangan permukaan fase liquid. Aspek rasio didefinisikan sebagai rasio antara panjang sisi-sisi penampang persegi /persegi panjang dari canal. Akan tetapi pada penelitian ini akan difokuskan pada penggunaan dimensi canal dengan aspek rasio 1.

Pada rectangular canal, pengaruh tegangan permukaan menjadi lebih penting karena liquid lebih mudah masuk ke sudut-sudut canal dan berkontribusi dalam melawan pengaruh gaya gravitasi. Pemetaan regime aliran yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 7, 8 dan 9.

Perbedaan prinsip pola aliran yang terbentuk pada round canal dan rectangular canal adalah pada batas-batas transisi dari masing-masing aliran yang terbentuk dengan kecepatan superficial gas dan liquid tertentu.

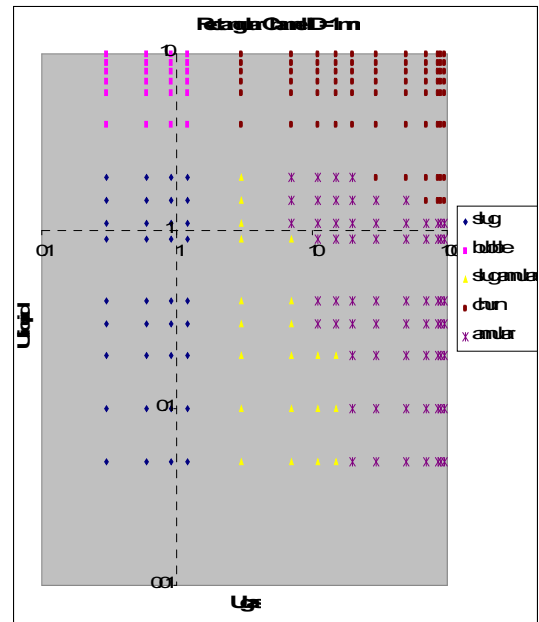


Gambar 7 Pola aliran pada Rectangular Canal dengan diameter dalam (ID = 0,6 mm)



Gambar 8 Pola aliran pada Rectangular Canal dengan diameter dalam (ID = 0,8 mm)

Jika kita bandingkan pola aliran dalam round canal dengan rectangular canal, terdapat kecenderungan bahwa dengan diameter hidroulik canal yang semakin kecil, akan diperoleh batas-batas transisi aliran yang semakin bergeser seperti yang terlihat pada pemetaan pola aliran hasil percobaan diatas. Kecenderungan ini sangat sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh weisman dkk.



Gambar 9 Pola aliran pada Rectangular Canal dengan diameter dalam (ID = 1 mm)

Kesimpulan

Pola aliran pada round canal dan rectangular canal pada diameter berskala micro dipelajari dalam penelitian ini. Sistem 2 fase udara-air dibatasi pada kondisi adiabatik. Dari hasil penelitian diperoleh informasi bahwa diameter canal dan tegangan permukaan memainkan peranan yang sangat penting dalam menentukan pola aliran 2 fase dan transisi regime aliran yang terbentuk dalam canal khususnya canal dengan diameter hydroulik berskala micro. Pada diameter > 10 mm, pengaruh diameter canal dan tegangan permukaan dapat diabaikan (Weisman, dkk).

Dari pemetaan pola aliran dapat disimpulkan bahwa pada diameter canal yang semakin kecil, transisi antara regime-regime aliran yang terbentuk merupakan kombinasi antara kecepatan superficial gas dan liquid.

Aspek rasio, diameter canal dan tegangan permukaan liquid akan menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan letak transisi regime aliran yang terbentuk.

Daftar Pustaka

- [1] Hessel, V., Angeli, P., Gavriilidis, A., Löwe, H., Gas-Liquid and Gas-Liquid-Solid Microstructured Reactors : Contacting Principles and Applications, Ind. Eng. Chem. Res., 44, 9750-9769, **2005**.
- [2] Jähnisch, K., Hessel, V., Löwe, H., Baerns, M., Chemistry in Microstructured, Angew. Chem. Int. Ed., 43, 406-446, **2004**.

- [3] John W Coleman, Garimella Srinivas, Characterization of Two Phase Flow Pattern in Small Diameter Round and Rectangular Tubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, 2869-2881, **1999**
- [4] Taha, T., Cui, Z.F., Hydrodynamics of slug flow inside capillaries, *Chemical Engineering Science*, 59, 1181-1190, **2004**.
- [5] Triplet, K.A., Ghiaasiaan, S.M., Abdel khalik, S.I., Sadowski, D.L., Gas-liquid two phase flow in microchannels Part I : two-phase flow patterns, *International Journal of Multiphase Flow*, 25, 377-394, **1999**.