

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

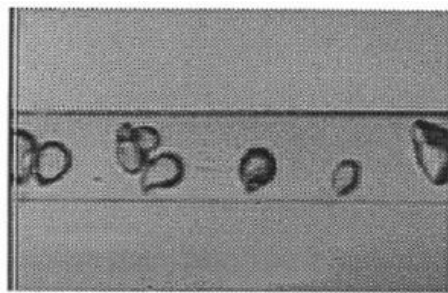
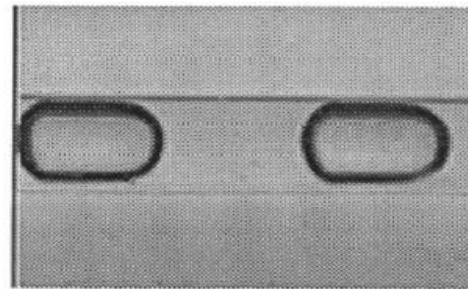
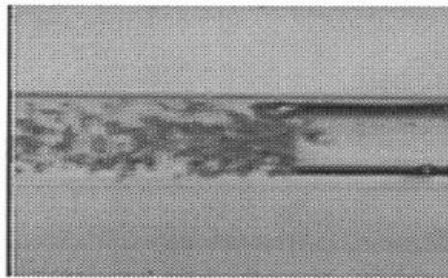
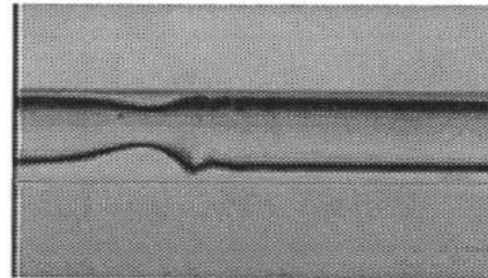
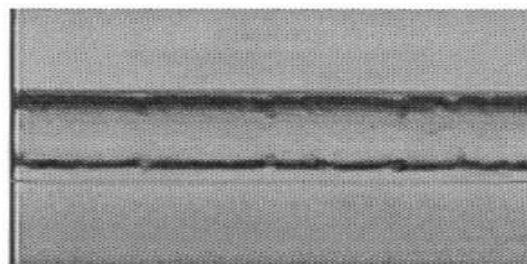
#### **2.1 TINJAUAN PUSTAKA**

Penelitian yang dilakukan tentang aliran dua fase dan pola aliran menyatakan bahwa aliran dua fase dapat terjadi pada pipa berukuran besar (*large channel*), normal (*normal channel*), mini (*mini channel*), mikro (*micro channel*), dan bahkan pada pipa berukuran nano (*nano channel*). Dari beberapa penelitian tersebut menghasilkan hasil yang berbeda-beda. Perbedaan yang terjadi pada hasil penelitian tersebut dikarenakan adanya perbedaan metode penelitian yang dilakukan pada tiap penelitian.

Penelitian yang dilakukan oleh Fukano dan Kariyasaki (1993) tentang aliran dua fase menggunakan tiga ukuran diameter pipa sirkular masing-masing 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm. Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dan udara, untuk arah alirannya di variasikan menjadi tiga arah yaitu arah horizontal, vertikal ke bawah dan vertikal ke atas. Fukano dan Kariyasaki (1993) memberikan perhatian kepada pola aliran dengan kondisi arah aliran yang berbeda-beda. Secara umum pada penelitian ini, pola aliran yang terbentuk diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu aliran *bubble*, aliran *intermittent* dan aliran *annular*. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan ini adalah gaya *capillary* pada pipa berukuran kurang dari 5 mm sangat penting, arah aliran fluida yang divariasikan pada saat melakukan penelitian tidak mempengaruhi terbentuknya pola aliran, sedangkan pada arah horizontal pola aliran yang muncul menjadi aksis-simetris dimana ketebalan film air menyelimuti seluruh bagian permukaan pipa secara merata.

Triplett dkk. (1999) Melakukan penelitian mengenai aliran dua fase pada pipa mini dengan ukuran diameter 1,097 dan 1,45 mm. Media yang digunakan fluida cair (air) sedangkan untuk fluida gasnya menggunakan (udara). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh permukaan lebih dominan sehingga gravitasi yang muncul tidak mempengaruhi karakteristik dari aliran pada pipa mini. Kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial cairan dilakukan variasi untuk mendapatkan berbagai jenis data. Variasi yang digunakan

adalah sebagai berikut, kecepatan superfisial udara dimulai dari 0,02 m/s sampai 80 m/s sedangkan untuk kecepatan superfisial cairan 0,02 m/s sampai 8 m/s. pola aliran yang berhasil diamati pada saat penelitian ini adalah *bubbly*, *slug*, *churn slug-annular*, dan *annular*. Semua jenis aliran ini muncul pada semua jenis pipa yang digunakan yaitu pipa sirkular berdiameter 1,097 mm dan pipa semi-triangular berdiameter 1,45 mm.

(a) *Bubbly*(b) *Slug*(c) *Churn*(d) *Slug-Annular*(e) *Annular*

Gambar 2.1 Pola aliran pada saluran berdiameter 1,45 mm (Triplet dkk., 1999)

Triplet dkk. (1999) berpendapat bahwa munculnya aliran bubbly diawali dengan terbentuknya gelembung-gelembung yang berbentuk tidak sempurna dan

memiliki diameter lebih kecil daripada diameter saluran pipa. Munculnya aliran *slug* dimulai ketika kecepatan superfisial udara ditingkatkan yang menghasilkan nilai fraksi pun ikut meningkat, sehingga terbentuklah aliran slug yang ditandai munculnya kantung gas seperti silinder panjang (*elongated bubbly*). Kemudian aliran *churn* muncul pada saat kecepatan aliran superfisial udara dinaikkan, aliran ini berbentuk acak dan juga ditandai dengan hancurnya ekor dari *elongated bubbly*. Pola aliran *slug-annular* dan *annular* muncul pada saat fluks volumetric ULS dan UGS pada aliran *churn* diturunkan. Berikut pola aliran yang berhasil diamati pada penelitian ini seperti pada Gambar 2.1.

Penelitian aliran dua fase yang dilakukan oleh Kawahara dkk. (2002) menggunakan fase nitrogen-air yang sudah terionisasi menggunakan saluran sirkular yang terbuat dari *fused silica* dengan diameter 100  $\mu\text{m}$ . Kecepatan superfisial udara yang digunakan 0,1–60 m/s sedangkan untuk kecepatan superfisial airnya 0,002–4 m/s. Pola aliran yang berhasil diamati pada penelitian ini adalah aliran *liquid alone (liquid slug)*, aliran *gas core with smooth-thin liquid film*, aliran *gas core with smooth-thick liquid film*, aliran *gascore with a ring-shaped liquid film*, dan aliran *gas core with deformed interface*. Aliran *bubbly* dan *churn* pada penelitian ini tidak teramati karena saluran yang sangat kecil yang berakibat memperkecil nilai bilangan *Reynolds* dapat memperbesar tegangan permukaan.

Selain menggunakan visualisasi dalam penelitian ini, Kawahara juga menggunakan metode probabilitas untuk menentukan pola aliran. Penggunaan metode probabilitas dikarenakan pada kondisi aliran yang telah ditentukan, muncul beberapa pola secara bergantian. Pola yang muncul ketika *flow rate* air rendah terdapat tiga pola aliran yang berhasil diamati dan muncul secara bergantian yaitu *liquid alone*, *thin liquid film*, dan *ring liquid film*, sedangkan ketika nilai *flow rate* air keseluruhan pola aliran muncul. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan ini adalah 1) berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan secara umum pola aliran yang muncul adalah aliran *intermittent* dan *semi-annular* dan pola *bubbly* sama sekali tidak muncul meskipun pada nilai kecepatan superfisial cairan tinggi dan kecepatan superfisial udara rendah, 2) dengan adanya metode probabilitas

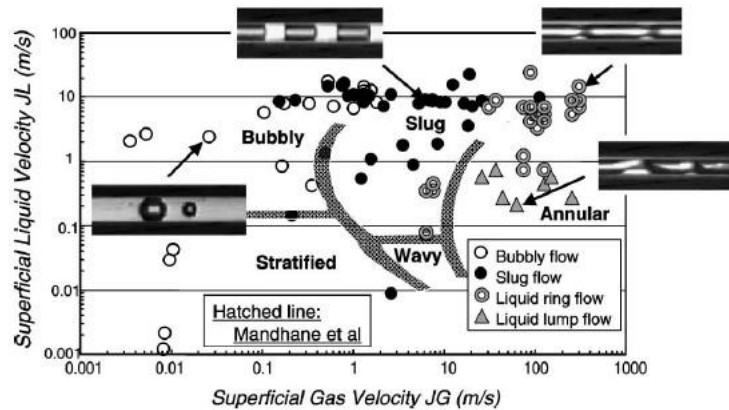
fenomena munculnya pola aliran yang berbeda menunjukkan bahwa terdapat perubahan secara bertahap pada pola aliran seiring dengan penambahan laju aliran gas dan cairan, 3) kawahara menentukan bahwa efek dari gravitasi pada pengujian *minichannel* dapat diabaikan.

Serizawa (2002) melakukan penelitian aliran dua fase menggunakan pipa silika dan kuarsa dengan arah horizontal menggunakan empat variasi diameter yaitu 20, 25, 50, dan 100  $\mu\text{m}$ . Udara dan uap air digunakan sebagai fase gas sedangkan untuk fase cair menggunakan air. Variasi untuk kecepatan superfisial gas berkisar antara 0,0012–295,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan mulai dari 0,003–7,52 m/s. Dari hasil visualisasi penelitian ini didapat jenis aliran langka yang dapat dijelaskan karakteristik serta dapat divisualisasikan dengan baik menggunakan fotografi. Pola aliran yang di dapat di antaranya yaitu : *dispersed bubbly*, *gas slug*, *liquid ring*, *liquid pump*, *annular*, *frothy*, *wishphy-annular*, *rivulet*, *liquid drplet bubbly*, dan *droplet*.

Aliran *bubbly* yang berhasil diamati terbentuk ketika nilai  $J_G = 0,0083$  m/s dan memiliki dua jenis aliran yaitu *Dispersed bubbly* yang merupakan aliran *bubbly* yang memiliki ukuran lebih kecil dari ukuran diameter saluran pipa. Kemudian yang kedua yaitu jenis aliran *bubbly* yang memiliki ukuran yang hampir sama dengan saluran bahkan melebihi ukuran dari saluran pipa. Ketika ukuran *bubbly* lebih besar dari ukuran saluran pipa maka aliran akan berbentuk lonjong seperti memiliki tanduk dan ekor.

Aliran slug, aliran ini terbentuk pada saat laju aliran volume udara tinggi, pada bagian saluran masuk pipa sedangkan kecepatan gas *bubbly* panjang rendah sehingga tidak kuat untuk menahan permukaan cairan yang menjadi penghubung di antara *bubbly*.

Dari hasil penelitian ini Serizawa (2002) berpendapat bahwa karakteristik dari pola alirannya tidak banyak dipengaruhi oleh gaya gravitasinya, yang memberikan pengaruh besar terhadap karakteristik pola alirannya adalah tegangan yang timbul pada permukaan saluran pipa. Berikut gambar peta pola aliran yang diperoleh pada penelitian ini seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Peta pola aliran (Serizawa dkk., 2002)

Efek diameter pada aliran dua fase diinvestigasi oleh Chung dan Kawaji (2004) untuk mengidentifikasi fenomena yang membedakan *microchannel* dari *minichannel*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen dan air pada saluran berdiameter 530, 250, 100, dan 50  $\mu\text{m}$ . Pada pipa berdiameter 530  $\mu\text{m}$  dan 250  $\mu\text{m}$ , karakteristik aliran dua fase terdiri atas (peta pola aliran, fraksi hampa, dan *pressure drop*) mirip dengan karakteristik aliran pada *minichannel* (diameter  $\sim 1$  mm). Kecepatan superfisial fase cair diatur mulai 0,01–5,77 m/s sementara fase gas pada rentang 0,02–72,98 m/s. Visualisasi dalam penelitian ini dilakukan dengan fotografi terhadap pola aliran yang terbentuk. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pipa dengan ukuran 530 dan 250  $\mu\text{m}$  memiliki karakteristik berbeda dengan pipa dengan ukuran 100 dan 50  $\mu\text{m}$ .

Pada pipa berdiameter 100 dan 50  $\mu\text{m}$ , karakteristik aliran menyimpang dari karakteristik pada *minichannel*, yaitu terjadinya dominasi dari aliran *slug*. Pola aliran *bubbly*, *churn*, *slug-annular*, dan *annular* pada saluran dengan  $DH < 100$   $\mu\text{m}$  disebabkan karena viskositas dan tegangan permukaan yang lebih besar. Jadi, jelas bahwa pengaruh diameter pipa yang diinvestigasi, memberikan pengaruh pada karakteristik aliran dua fase.

Biksono (2004) melakukan penelitian pada pipa spiral untuk mengetahui karakteristik dan visualisasi aliran dua fase. Pengujian menggunakan media air dan udara bertekanan pada pipa dengan diameter luar 52 mm, diameter dalam 27 mm, dan panjang 1120 mm. Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien gesek pada

aliran dua fase lebih besar, dan kecepatan aliran transisinya juga jauh lebih cepat aliran dua fase jika dibandingkan dengan aliran satu fase dengan nilai (1600–1700) pada bilangan Reynold ( $Re$ ). Besarnya nilai koefisien gesek terjadi karena adanya penambahan variasi kecepatan udara.

Penelitian yang dilakukan Wegman (2005) mengenai aliran dua fase menggunakan media dengan fase cair yaitu, air dan paraffin sedangkan untuk fase gas menggunakan udara. Penelitian ini menggunakan dua variasi ukuran diameter pipa yaitu 5,6 mm dan 7 mm, dengan dua jenis variasi diameter ini, pola aliran yang terbentuk memiliki perbedaan. Pada pipa dengan diameter 5,6 mm secara garis besar pola yang terlihat adalah aliran *intermittent* dan *annular* sedangkan aliran *stratified* di diameter 5,6 mm sama sekali tidak ada baik di fase air-udara maupun di fase paraffin-udara. Terbentuknya aliran *stratified* pada pipa berdiameter 7 mm, pada saat kecepatan superfisial air 0,003 m/s dan paraffin 0,06 m/s. Hal ini disebabkan tegangan permukaan air lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan permukaan paraffin.

Pada pipa dengan diameter 5,6 mm pola *stratified* sama sekali tidak terbentuk meskipun kecepatan superfisial diatur ke tingkat yang paling rendah. Gaya gravitasi berpengaruh terhadap terbentuknya pola *stratified*, karena gaya gravitasi fluida dengan massa jenis lebih besar berada di atas fluida yang bermassa jenis lebih kecil. Terbentuknya pola *annular* pada fase antara paraffin dan udara diperlukan kecepatan superfisial lebih tinggi daripada fase air dan udara. Perbandingan aliran dengan dua jenis ukuran pipa pada fase paraffin dan udara menunjukkan garis transisi yang sama pada pola aliran *intermittent-annular*. Sedangkan pada fase air dan udara ukuran dari diameter pipa menunjukkan pengaruh terhadap garis transisi *intermittent-annular*.

Penelitian yang dilakukan oleh Wiryanta (2015) bertujuan mengetahui pengaruh dari penggunaan *elbow 75°* pada pipa akrilik dengan tinggi 200 mm dan panjang 100 mm. Fluida yang digunakan adalah campuran air dan udara dengan variasi kecepatan superfisial cairan 0,3–1,1 m/s dan variasi volumetrik gas quality ( $\beta$ )= 0,03–0,25m/s. Penelitian dilakukan secara *eksperimental* dan numerik dengan

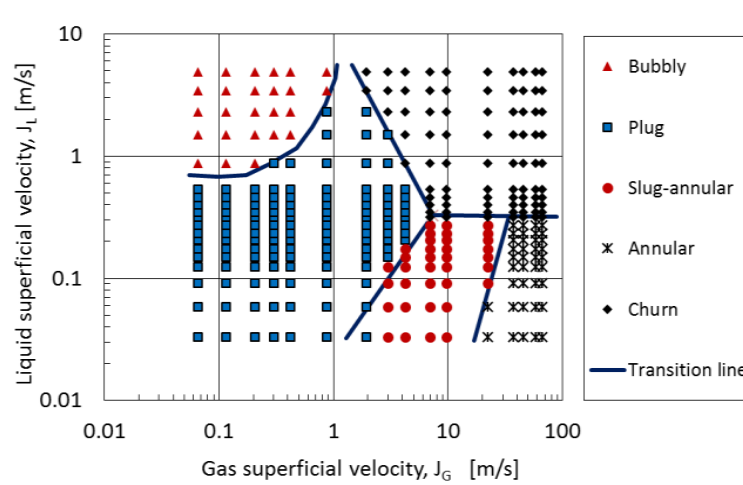
memvariasikan Penelitian yang dilakukan oleh Wiryanta (2015) bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan *elbow* 75° pada pipa akrilik dengan tinggi 200 mm dan panjang 100 mm. Fluida yang digunakan adalah campuran air dan udara dengan variasi kecepatan superfisial cairan 0,3–1,1 m/s dan variasi volumetrik gas quality ( $\beta$ )= 0,03–0,25m/s. aliran pada pipa vertikal adalah *bubbly flow*. Visualisasi pola aliran dilakukan menggunakan *high speed camera* sepanjang pipa miring 15° *Global Void fraction* pada pipa vertikal diukur dengan menggunakan metode *pressure gradient*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *global void fraction* yang terjadi pada pipa vertikal menunjukkan kecenderungan yang sama dengan *homogenous* model tetapi nilainya lebih rendah. Ini menunjukkan terjadi *slip velocity* antara fase cairan dan fase gas dalam campuran aliran dua fase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk kecepatan *superficial liquid* rendah, maka pola aliran *bubbly* dari arah vertikal akan cenderung bergerak ke atas pada *downstream* dari *elbow* pada jarak 2D dari *outlet elbow*, sedangkan pada kecepatan *superficial liquid* yang sangat tinggi, fase gas akan terkonsentrasi pada *inner* dari *elbow* karena adanya tekanan yang tinggi pada *outer elbow*, sehingga pola aliran yang teramati pada pipa miring adalah *slug-bubbly flow* atau *plug-bubbly flow*.

Wibowo dkk. (2015) melakukan penelitian pada pipa *acrylic* berdiameter 26 mm serta Panjang 10 m, untuk mengamati visualisasi pola aliran *stratified* serta beda tekanan. Alat yang digunakan untuk mengamati sub-sub pola aliran secara visual adalah kamera video berkecepatan tinggi, sedangkan untuk mengetahui fluktuasi beda tekanan dilakukan pengukuran diferensial. Dari hasil pengamatan secara visual pola aliran yang berhasil diamati dapat dibagi menjadi sub-sub pola aliran yaitu *stratified smooth two dimensional wave*, *atomization*, dan *roll wave*. Sulitnya pengamatan secara visual terhadap sub-sub pola aliran disebabkan oleh sinyal beda tekanan yang tidak bisa menggambarkan morfologi pola aliran secara langsung. Hal ini menjadi kelemahan jika pengamatan visual hanya dilakukan menggunakan fluktuasi beda tekanan.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Sudarja dkk. (2018) tentang aliran dua fase menggunakan pipa dengan diameter 1,6 mm yang dipasang secara horizontal.

Media yang digunakan pada penelitian ini adalah udara untuk fase gasnya sedangkan untuk fase cair digunakan air dengan campuran gliserin dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh gliserin terhadap terbentuknya pola aliran dalam penelitian aliran dua fase. Proses menentukan peta pola aliran pada penelitian ini adalah dengan menggunakan parameter kecepatan superfisial. Adapun nilai kecepatan superfisial gas pada penelitian ini adalah 0,008–64,42 m/s, sedangkan kecepatan superfisial cairannya adalah 0,002–3,09 m/s.

Metode yang digunakan untuk pengamatan pola aliran yang muncul adalah dengan metode visual menggunakan kamera Nikon J4. Dari hasil pengamatan yang dilakukan pola yang berhasil teramati adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa viskositas berpengaruh terhadap transisi peta pola aliran yang terbentuk. Berikut peta pola aliran yang berhasil diamati seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Peta Pola aliran konsentrasi Gliserin 20% (Sudarja dkk., 2018)

Perkembangan penelitian aliran dua fase pada saluran mini dan mikro semakin kompleks. Banyaknya perbedaan dalam mendefinisikan pola, peta aliran dan penggunaan parameter dalam menyajikan data menjadi kendala dalam penelitian aliran dua fase pada saluran mini dan mikro.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan mengenai aliran dua fase pada pipa mini dan mikro bahwa gaya gravitasi tidak mempengaruhi pada terbentuknya pola aliran, sedangkan hal yang mempengaruhi adalah viskositas dan



tegangan permukaan. Pendalaman lebih lanjut mengenai pengaruh viskositas pada aliran dua fase pada pipa saluran mini mikro masih sedikit. Maka dari itu penelitian aliran dua fase saluran mini dengan pengaruh viskositas masih dibutuhkan untuk menambah pengetahuan mengenai karakteristik aliran dua fase.

## 2.2 LANDASAN TEORI

### 2.2.1 Pola aliran dua fase

Pola aliran (*flow regime*) dalam aliran dua fase mempunyai arti yang sangat penting, karena hal ini menentukan bagaimana meramalkan perilaku aliran fluida. Perilaku campuran antara cair-gas mengandung banyak hubungan yang saling terkait yang diperlukan dalam penyelesaian model analisa atau korelasi yang digunakan dalam persamaan konversi dua fase (*two-phase conversion equation*).

Pengkajian terhadap pola aliran dua fase masih sangat luas cakupannya. Banyak ilmu yang masih bisa digali untuk menjelaskan fenomena pola aliran dua fase yang beragam (*slug, plug, stratified, dan bubbly*), baik dari sisi geometri, orientasi atau posisi pipa, maupun proses yang terjadi di dalam pipa (*boiling, kondensasi, campuran cair-gas, dan sebagainya*). Untuk mengetahui perubahan pola aliran yang terjadi pada kondisi dan parameter tertentu.

Aliran yang terjadi pada aliran gas/uap dengan laju aliran yang kecil cenderung akan membentuk gelembung-gelembung kecil (*bubble*) dan tersebar di dalam aliran. Pola aliran dengan tipe seperti ini biasa disebut *bubbly*. Laju aliran yang bertambah dari gas, mengakibatkan gelembung-gelembung kecil akan bersatu dan membentuk gelembung-gelembung besar yang akan membuat rongga pada pipa aliran. Gelembung-gelembung kecil yang membentuk gelembung-gelembung besar disebut dengan "*Taylor Bubbles*". Dengan bertambahnya laju aliran gas/uap dalam fluida gelembung besar akan pecah, pola aliran ini disebut *churn*. Pola aliran terakhir kita sebut dengan *annular*, pola aliran ini akan terjadi dengan bertambahnya laju aliran dari gas/uap dalam fluida sehingga terdapat gelembung kecil pada bagian tengah fluida dalam bentuk cair pada dinding pipa.

Dengan bertambahnya laju aliran gas/uap, jumlah fluida yang berbentuk cair pada dinding pipa akan semakin berkurang.

Aliran kantung (*slug*) dua fase yang sangat *intermiten* dan diawali dengan ketidakstabilan, pola aliran ini ditandai dengan memanjangnya gelembung gas/uap berbentuk peluru. Gelembung-gelembung panjang menempati sebagian dari luas penampang pipa, memaksa cairan mengalir sekitar pipa dalam arah yang berlawanan. Pada bagian belakang gelembung menciptakan aliran terpisah, tergantung pada aliran parameter dan sifat fisik cair, dalam situasi ini cairan mengalir ke atas dengan kecepatan rata-rata sama dengan kecepatan gelembung.

Aliran dua fase merupakan kasus aliran yang paling sederhana dari sekian banyak aliran fase. Aliran ini menggambarkan fase yang terdiri dari substansi yang berbeda pada setiap alirannya. Dalam kehidupan sehari-hari, bentuk aliran dua fase yang berbeda-beda ini sudah banyak ditemui terutama dalam dunia industri.

## 1. Pipa vertikal

### a. Aliran gelembung (*bubbly flow*)

Pada fase gas mengalir dalam bentuk gelembung-gelembung kecil, sedangkan fase cair mengalir secara kontinyu.

### b. Aliran kantung (*slug flow*)

Pada tipe ini aliran gas tetap berbentuk gelembung kecil dan ada juga gas yang mengalir dalam bentuk kantung-kantung atau mirip dengan peluru.

### c. Aliran acak (*churn flow*)

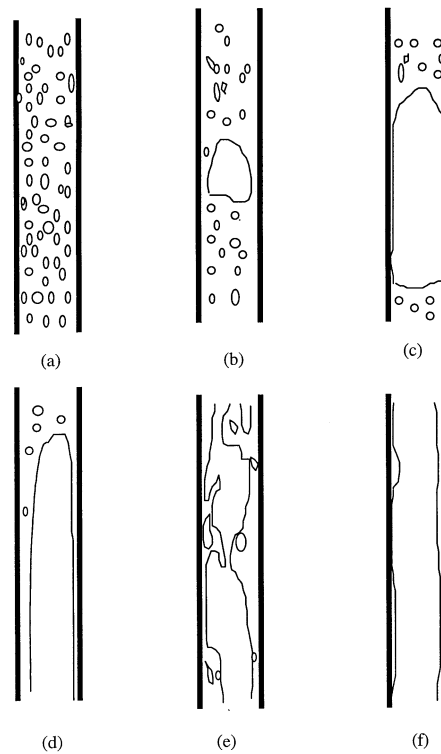
Bila kecepatan aliran gas pada *plug flow* semakin cepat, maka terjadi aliran yang tidak stabil.

### d. Aliran cincin (*annular flow*)

Fase cair akan cenderung berada di samping atau daerah yang bersentuhan dengan pipa. Sedangkan aliran gas cenderung berada di tengah-tengah. Pada aliran ini jumlah gas lebih mendominasi dibandingkan dengan cair.

e. *Wispy-annular flow*

Pada pola aliran ini berbentuk lapisan cairan tipis pada dinding pipa dan sejumlah cairan seperti gumpalan yang tidak teratur pada tengah pipa. Pola aliran pada pipa vertikal ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pola aliran pada pipa vertikal (Xu dkk., 1999)

## 2. Pipa Horizontal

### a. Aliran Gelembung

Pada pola aliran ini terdapat banyak penyebaran gelembung gas dalam zat cair yang menyeluruh. Gelembung mengalir pada bagian atas tabung.

### b. Aliran *Plug*

Karakteristik utama pada aliran ini adalah gelembung gas yang berbentuk peluru.

### c. Aliran *Stratified* (aliran terpisah/licin)

Dalam aliran ini terjadi pemisahan fase karena pengaruh perbedaan massa jenis dan gravitasi, fase gas mengalir pada bagian atas tabung dan fase cair mengalir pada dasar tabung.

d. Aliran *Wavy* (aliran gelombang)

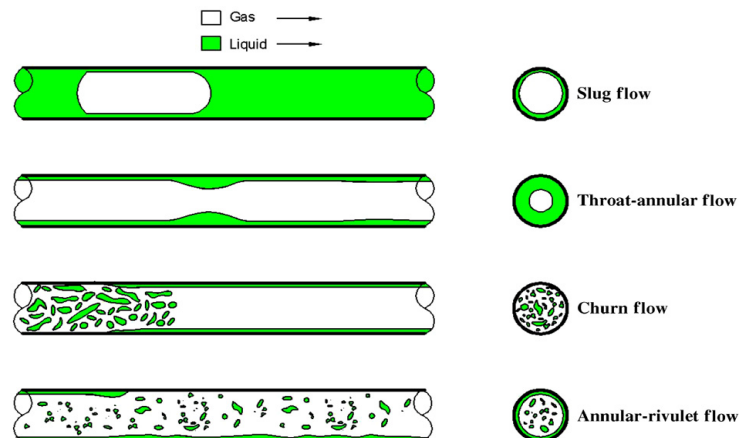
Jika kecepatan gas pada pola aliran *stratified* meningkat, gelombang terbentuk pada *interface*. Selanjutnya, amplitudo gelombang lambat laun membesar diiringi meningkatnya kecepatan gas

e. Aliran *Slug* (aliran sumbat)

Jika laju aliran gas meningkat dalam aliran gelombang, gelombang cairan akhirnya menyentuh bagian atas permukaan dari tabung. Gelombang kemudian diangkat oleh gas yang berkecepatan tinggi sepanjang tabung dalam bentuk kantung yang berbusa.

f. Aliran *Annular* (aliran cincin)

Dalam aliran ini, cairan terdistribusi diantara lapisan cairan yang mengalir di sekitar dinding tabung dimana butiran air (*droplet*) mengalir bersama fase gas.



Gambar 2.5 Pola Aliran pada Pipa Horizontal (Wongwises, 2008)

### 2.2.2. Aliran laminar

Aliran laminar merupakan suatu aliran fluida yang kondisi lapisan-lapisan gerakan pada alirannya membentuk garis-garis alir serta tidak terjadi perpotongan satu sama lain. Kecepatan pada aliran laminar relatif rendah dengan pergerakan

fluida bergerak sejajar (laminar), dan pada alirannya terdapat batasan-batasan yang terdapat aliran fluida di dalamnya. Partikel aliran laminar bergerak dengan bentuk yang sejajar, serta tidak memiliki aliran turbulen. Ciri dari arus aliran laminar adalah aliran ini memiliki kecepatan rendah, serta perpindahan partikel sedimen dalam zona aliran bergerak dengan menggelinding (*rolling*), atau terangkat (*saltation*). Aliran laminar akan tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir di seluruh panjang aliran jika laju aliran rendah, aliran laminar memiliki nilai *Reynolds* tidak melebihi 2300.

### 2.2.3. Aliran Turbulen

Aliran turbulen berbeda dengan aliran laminar yang memiliki aliran sejajar garis lurus, sedangkan aliran turbulen memiliki aliran fluida yang partikel-partikelnya tidak stabil, bergerak secara acak dengan kecepatan berfluktuasi saling berinteraksi, efek dari fenomena ini sehingga garis alir fluida antar partikel mengalami perpotongan. Pada aliran turbulen partikel-partikel ditransport dengan adanya penambahan gaya fluida serta terjadinya penurunan tekanan, akibatnya adalah terjadi transportasi pasir sepanjang bawah permukaan aliran.

Aliran fluida pertama kali ditemukan dan diklasifikasikan oleh Osborne Reynolds. Sebelum mengetahui aliran dengan jenis turbulen atau laminar hal yang perlu dilakukan adalah mencari Reynolds number dengan persamaan :

$$Re = \rho v d \mu \dots\dots\dots (2.1)$$

Bilangan *Reynolds* memiliki variable massa jenis, diameter, kecepatan, dan viskositas. Bilangan *Reynolds* dipengaruhi oleh variabel-variabel tersebut, bilangan *Reynolds* akan semakin bernilai besar apabila viskositasnya semakin kecil, sedangkan jika nilai dari kecepatannya bernilai kecil maka bilangan *Reynolds* akan semakin kecil. Hubungan yang terjadi antara bilangan *Reynolds* tersebut digunakan untuk menentukan aliran suatu fluida apakah memiliki aliran laminar, turbulen atau transisi. Hal ini dapat diketahui dengan :

- a. Aliran akan berjenis laminar jika angka *Reynolds* memiliki nilai sebesar < 2000.

- b. Aliran akan berjenis transisi jika angka *Reynolds* memiliki nilai sebesar 2000-4000.
- c. Aliran akan berjenis turbulen jika angka *Reynolds* memiliki nilai sebesar  $> 4000$ .

Untuk dapat mengetahui aliran ini *turbulence* atau laminar sangat mudah yaitu lihat fluida apa yang mengalir dan cari viskositasnya. Jika viskositasnya sangat kecil maka kemungkinan besar aliran ini merupakan aliran *turbulence*. Contoh saja udara sudah dipastikan *turbulence* karena memiliki viskositas lebih kecil dari  $10e-5$  sehingga nilai *Reynolds* numbernya sudah pasti jauh diatas 4000.

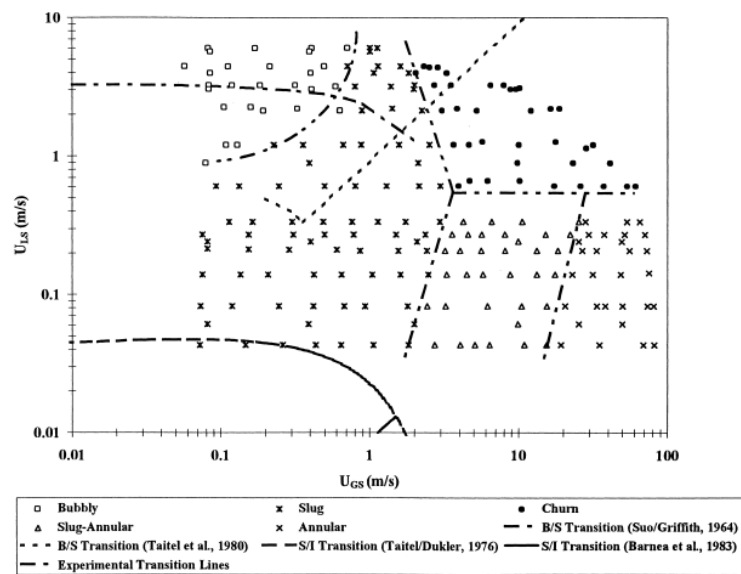
#### **2.2.4. Aliran *bubbly***

Pada jenis aliran *Bubbly* fase uap atau gas aliran disebarkan dalam bentuk gelembung, serta memiliki ciri sendiri dalam fase cairan kontinyu. Gelembung pada aliran *bubbly* bisa berbentuk kecil dan bulat, sedangkan pada fenomena lain bisa berbentuk lebih besar, bulat, dan datar. Akan tetapi seberapa besar gelembung tidak pernah menyamai ukuran dari pipa yang dialiri tetapi dapat diperkirakan memiliki ukuran yang hampir lebih sama. Hal yang dapat mempengaruhi terbentuknya aliran *bubbly* adalah jika besar dari kecepatan aliran airnya lebih tinggi daripada kecepatan udaranya.

#### **2.2.5 Peta Pola Aliran**

Penyajian peta pola aliran yaitu menggunakan distribusi pola aliran dengan menggunakan grafik yang menunjukkan letak masing-masing dari pola aliran yang berhasil diamati. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang aliran dua fase dalam penyajian datanya menggunakan koordinat kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial cairan karena hal ini menunjukkan letak pola aliran yang muncul sesuai dengan nilai kecepatan superfisial. Adapun beberapa metode yang digunakan oleh penelitian lain diantaranya adalah dengan menggunakan bilangan *weber* sebagai koordinat yang menunjukkan antara gaya inersia dan tegangan permukaan. Selain itu ada juga yang menggunakan ukuran saluran pipa yang digunakan.

Parameter yang banyak digunakan adalah dengan menggunakan kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial cairan. Munculnya parameter selain kecepatan superfisial disebabkan oleh adanya parameter lain yang mempengaruhi terbentuknya pola aliran. Perbedaan parameter yang digunakan pada setiap penelitiannya mempengaruhi hasil peta pola aliran, sehingga menyulitkan untuk membuat peta pola aliran yang seragam. Berikut beberapa gambar peta pola aliran.



Gambar 2.6 Peta Pola aliran berdasarkan kecepatan superfisial (Triplet dkk., 1999)

### 2.2.6 Parameter ukuran Pipa

Jenis pipa dapat diklasifikasikan berdasarkan ukurannya. Menurut Kandlikar (2003), pengklasifikasian pipa berdasarkan ukuran diameter dalamnya adalah sebagai berikut :

1. *Conventional channels*  $D > 3 \text{ mm}$
2. *Minichannels*  $3 \text{ mm} > D > 200 \text{ }\mu\text{m}$
3. *Microchannels*  $200 \text{ }\mu\text{m} > D > 0,1 \text{ }\mu\text{m}$
4. *Transitional channels*  $10 \text{ }\mu\text{m} > D > 0,1 \text{ }\mu\text{m}$
5. *Molecular nanochannels*  $0,1\mu\text{m} > D$

### 2.2.7 Fase

Fase adalah salah satu keadaan zat yang terdapat berupa gas, cair atau padat atau sistem yang dilingkupi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia dan struktur fisiknya. Perubahan fase harus terdapat energi yang didapat atau dilepaskan. Perubahan fase itu berupa padat menjadi cair dan sebaliknya, cair menjadi gas dan sebaliknya, dan gas menjadi padat dan sebaliknya. Karakter dari fase padat (*solid*) memiliki jarak antara molekul sangat besar, posisi molekul tetap dan tersusun beraturan, dan pada temperatur titik leburnya ikatan antara molekul meleleh dan posisi molekul tidak tetap. Karakter fase cair memiliki jarak antar molekul sangat jauh/besar dibandingkan dengan jarak antar molekul pada fase gas atau cair dan susunan molekul tidak teratur dan selalu bergerak bebas secara acak (*random*).