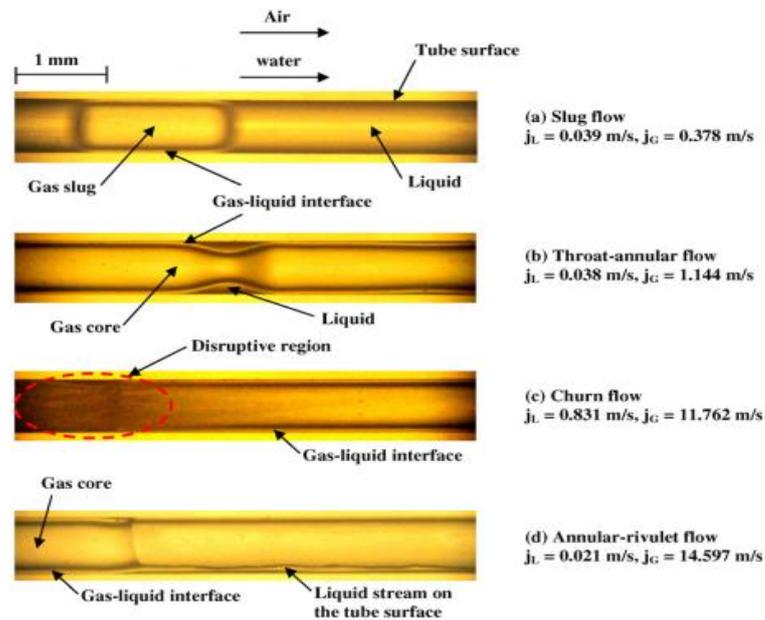


BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

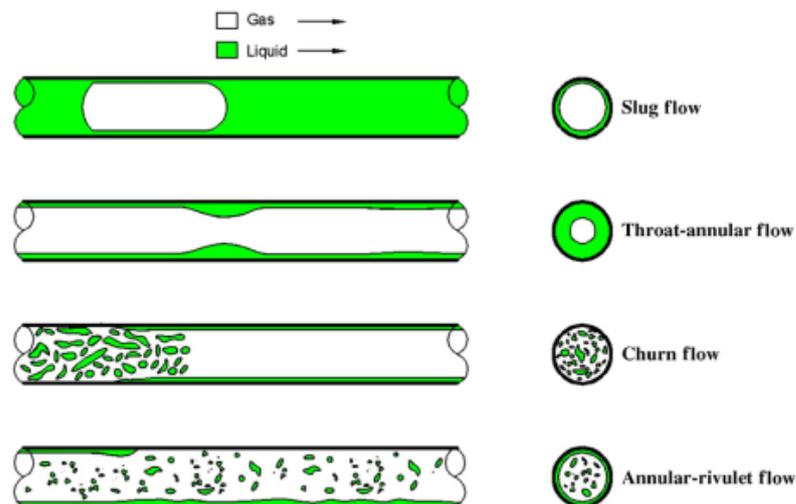
Untuk mengetahui karakteristik suatu pola aliran pada saluran mini (*minichannel*) telah dilakukan berbagai macam penelitian. Menurut Saisorn & Wongwises, (2008) pola Aliran, Fraksi Hampa dan Penurunan Tekanan Dua Fasa Aliran Udara-Air Dalam Saluran Mikro Melingkar Horisontal. Pada penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik proses adiabatik dari aliran dua fasa udara-air, termasuk pola aliran dua fasa serta fraksi hampa dalam saluran mikro melingkar secara eksperimental. Sebuah saluran dengan bahan cor silika dengan panjang 320 mm dan diameter dalam 0,53 mm digunakan sebagai bahan uji. Uji coba dilakukan pada kecepatan superfisial gas dan cairan antara 0,37-16 dan 0,005-3,03 m/s.

Peta pola aliran dikembangkan dari pola aliran yang diamati yaitu *slug flow*, *throat-annular flow*, *churn flow* and *annular-rivulet flow*. Peta pola aliran dibandingkan dengan peneliti lain yang diperoleh dari cairan kerja yang berbeda. Eksperimen fasa tunggal ini juga menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam data dari penggunaan gas udara atau nitrogen, air atau air yang tidak terionisasi.



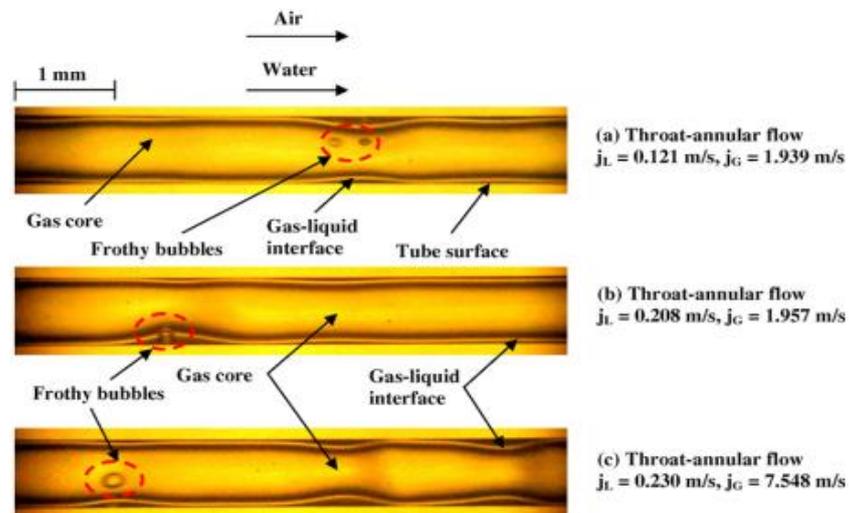
Gambar 2.1 Foto pola aliran dua fasa dalam aliran udara-air melalui saluran diameter 0,53 mm

(Sumber: Sira Saisorn dan Somchai Wongwises, 2008)



Gambar 2.2 Sketsa Pola Aliran yang Diamati

(Sumber: Sira Saisorn dan Somchai Wongwises, 2008)



Gambar 2.3 Foto Gelembung Berbusa dalam *Throat-Annular Flow* (Sumber: Sira Saisorn dan Somchai Wongwises, 2008)

Data fraksi hampa yang diperoleh dengan analisis citra cenderung sesuai dengan model aliran homogen. Aliran dua fasa juga digunakan untuk menghitung pengganda gesekan. Data pengali menunjukkan ketergantungan pada pola aliran beserta fluks massanya. Korelasi baru dari pengganda gesekan dua fasa juga diusulkan untuk aplikasi praktis.

Pada penelitian diatas fluida kerja yang digunakan adalah air dan udara jika akan melakukan penelitian ulang dapat menambahkan campuran gliserin atau yang lainnya serta memberi variasi sudut pada seksi uji.

Sukamta, (2010) telah melakukan penelitian aliran dua fasa dengan fluida kerja aquades yang digunakan untuk menghasilkan uap air yang kemudian dikondensasi agar membentuk aliran dua fasa. Pemanas yang digunakan adalah boiler. Sebelum aliran memasuki media uji pipa yang terbuat dari kaca dengan diameter 17 mm dan panjang 1,2 m secara horisontal. Aliran akan memasuki pipa anulus bagian dalam yang terbuat dari tembaga dengan diameter 17 mm dan Panjang 1,6 m dan didinginkan oleh pipa anulus bagian luar yang terbuat dari besi dan diisi dengan air dengan diameter 4 inci dan panjang 1,6 m. penelitian tersebut dilakukan dengan kecepatan aliran uap dimulai dari 0,00211361 m³/s sampai 0,007078511 m³/s. dari

penelitian tersebut teramati pola aliran *wavy*, *plug*, *slug*, *pre-slug* dan *stratified*.

Dari penelitian diatas fluida kerja yang digunakan adalah uap air aquades yang terkondensasi serta diameter pada seksi uji sebesar 17mm. jika dilakukan penelitian ulang dapat menambah campuran air dengan bahan yang lainnya serta memperkecil dan memberi variasi sudut pada pipa seksi uji, dan pada proses pendinginan pipa anulus bagian dalam dapat dibuat secara spiral dan pipa anulus bagian luar dibuat kubus.

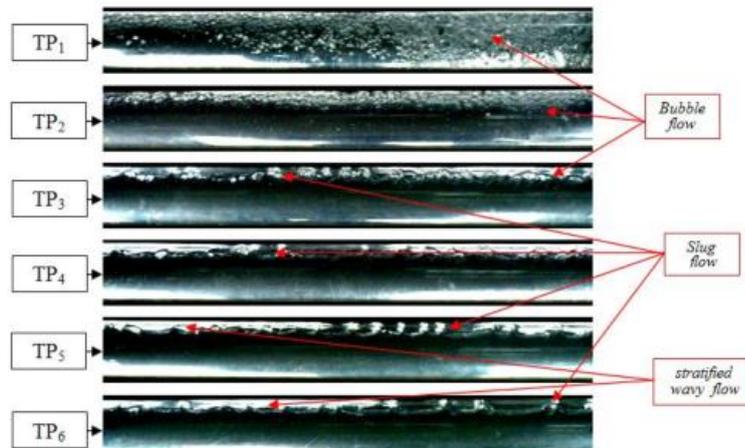
Raditia Noverdi, (2014) Melakukan penelitian mengenai pola aliran (*flow pattern* atau *flow regime*) dan peta pola aliran (*flow pattern map*) aliran dua fasa pada pipa mini (*minichannel*) dengan alat uji berupa pipa yang terbuat dari kaca berdiameter 1,6 mm secara horisontal. Penelitian karakteristik aliran dua fasa berupa air dan udara dengan metode visualisasi perekaman yang selanjutnya diolah dengan menggunakan *software*, kondisi penelitian adiabatik dan pada suhu kamar $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Penelitian dilakukan pada kecepatan superfisial gas 0,13-63,42 m/s, sementara kecepatan superfisial liquid (air) 0,03-2,81 m/s. Dari penelitian tersebut terdapat lima pola aliran yang terbentuk yaitu aliran *slug*, aliran *bubble*, aliran *churn*, aliran *slug-annular* dan aliran *annular*. Berdasarkan pola aliran tersebut terbentuklah sebuah peta pola aliran kemudian peta pola aliran tersebut dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Dalam hal tersebut peta pola aliran yang didapat ketika dibandingkan dengan peta Mandhane dkk (1974) menunjukkan perbedaan yang signifikan hal tersebut terjadi karena perbedaan pipa yang dipakai pada seksi uji. Ketika dibandingkan dengan peta pola aliran Triplet dkk (1999) secara garis besar hasil yang diperoleh relative sama dan cukup konsisten hal tersebut semakin menguatkan korelasi yang disampaikan Triplet dkk (1999) mengenai karakteristik aliran dua fasa pada pipa mini (*minichannel*). Dari penelitian diatas fluida kerja yang digunakan hanya sebatas air-udara dan belum adanya tambahan gliserin serta belum adanya variasi sudut..

Korawan, (2015) telah melakukan penelitian mengenai pola aliran dalam aliran dua fasa pada pipa horisontal dengan media uji berupa pipa berdiameter 36 mm dan Panjang 2000 mm yang terbuat dari *acrylic*. Fluida cair yang digunakan adalah air dan fluida gas yang digunakan berupa udara. Air dari tangki dipompa melalui *flowmeter* yang kemudian dialirkan ke *injector* sedangkan udara disuplai dari kompresor kemudian dialirkan ke rotatometer menuju *injector*. Didalam *injector* air dan udara tercampur kemudian dialirkan ke media uji, untuk mendapatkan gambar atau visual didalam media uji digunakan kamera digital. Dalam penelitian ini kecepatan superfisial air divariasasi 0,4 m/s, 0,55 m/s, 0,7 m/s, 0,85 m/s dan 1,0 m/s. Alat uji dengan Panjang 2000 mm yang terbagi menjadi 6 titik pengamatan dengan jarak antar titik pengamatan seperti tabel 2.1

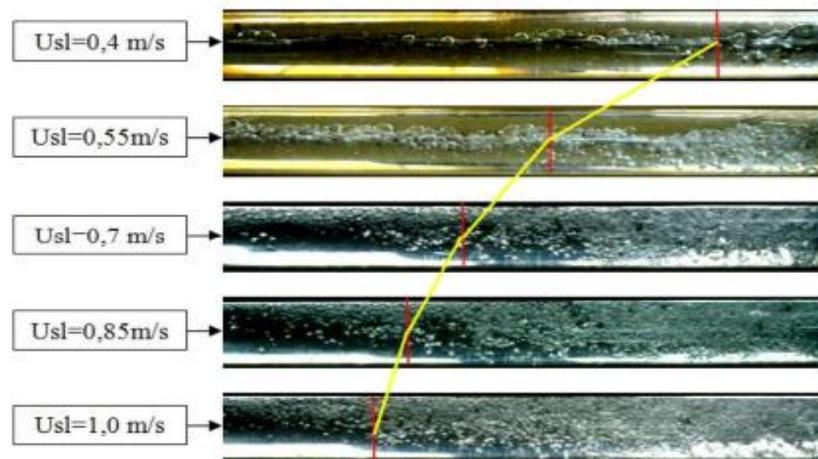
Tabel 2.1 Titik-titik pengamatan pada media uji
(sumber: Agus dwi korawan, 2015)

Titik pengamatan	Rentang pengamatan (mm)
TP1	0D - 9D
TP2	9D - 18D
TP3	18D - 27D
TP4	27D - 36D
TP5	36D - 45D
TP6	45D - 54D
*D = Diameter dalam pipa	

Dari penelitian tersebut pada kecepatan seperfisial air 0,7 m/s didapatkan 3 pola aliran yaitu *bubble*, *slug flow* dan *stratified flow* hal ini terjadi karena pada titik pengamatan satu *bubble flow* terlihat menyebar dan semakin menjauh dikarenakan berat jenis *bubble* lebih ringan dari pada air sehingga ketika terjadi peningkatan kecepatan pada air dalam pipa mampu melawan gaya apung dari *bubble* yang berakibat *bubble-bubble* tersebut terbawa lebih jauh. Pada titik pengamatan tiga terjadi koalisi antar *bubble* sehingga terbentuk *bubble* yang lebih besar yang dapat disebut *slug flow* sedangkan *stratified flow* teramati pada titik pengamatan 5 dan 6.

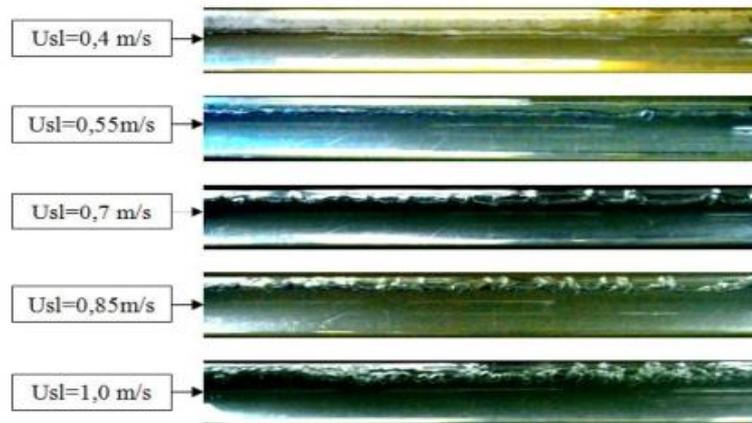


Gambar 2.4 Pola aliran pada kecepatan superfisial air = 0,7 m/s
(sumber: Agus dwi korawan, 2015)



Gambar 2.5 Visualisasi *bubble flow* pada TP1 dengan variasi kecepatan superfisial air
(sumber: Agus dwi korawan, 2015)

Dari gambar 2.5 tersebut dapat dilihat bahwa pengaruh kecepatan superfisial air terhadap pola aliran *bubble* membuat wilayah *bubble* semakin panjang sehingga perubahan aliran dari *bubble* menjadi pola aliran yang lainnya terjadi pada waktu yang semakin lama.



Gambar 2.6 Visualisasi pola aliran pada TP6 dengan variasi kecepatan superfisial air
(sumber: Agus dwi korawan, 2015)

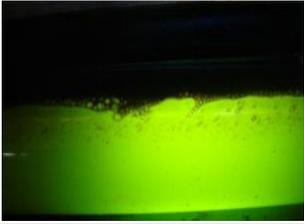
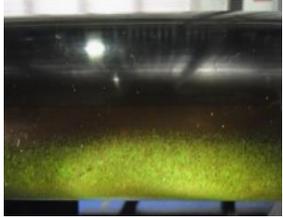
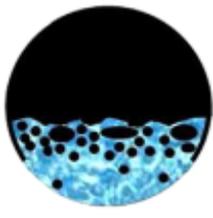
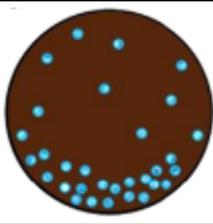
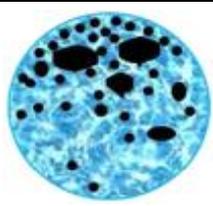
Sebagai kesimpulan dapat dilihat pada gambar 2.6 yang menunjukkan bahwa adanya perubahan aliran yang semakin besar, menyebabkan terjadinya pergeseran perubahan pola aliran. Dari penelitian diatas seksi uji yang digunakan masih terlalu besar yaitu berdiameter 36 mm dan fluida kerja yang digunakan hanya sebatas air dan udara serta belum adanya variasi sudut pada seksi uji.

Izwan Ismail et al., (2015) pengujian Eksperimental Aliran Dua Fasa Minyak-Air Pada Pipa Horisontal Mengenai *Pressure Drop*, Penumpukan Cairan, dan Pola Aliran. Percobaan yang telah dilaksanakan untuk aliran dua fasa minyak dan air pada pipa horisontal dengan diameter dalam 5,08 cm, menggunakan panjang diameter rasio 1311. Cairan yang digunakan adalah minyak mentah lilin ringan Malaysia dari lepas pantai Terengganu ($\rho_o = 818 \text{ kg/m}^3$, $m_o = 1.75 \text{ mPa s}$ dan $wax \text{ lilin} = 16,15\%$ dari berat) dan formasi air sintesis.

Pencampuran air bervariasi antara 10% hingga 90% pada sembilan laju aliran campuran 2,0 hingga 16,2 cm^3/dtk . Beberapa hal yang teliti diantaranya yaitu pengukuran dari perubahan tekanan, penahanan cairan pada laju aliran air minyak yang bervariasi dari aliran dua fasa.

Identifikasi dari hasil pengamatan yang dilaksanakan diantaranya adalah mengenai pola aliran yang terjadi, Ketergantungan kuat dari selip minyak dan air pada laju aliran minimum.

Tabel 2.2 Contoh Fotografi Dari Pola Aliran Yang Diamati
(sumber: Ahmad Shamsul izwan ismail, 2015)

<p><i>Stratified wavy flow</i> (Aliran bergelombang bertingkat) -STW-</p>		
<p><i>Stratified wavy with semi dispersed flow at interface and oil film</i> Aliran bergelombang bertingkat dengan aliran semi tersebar di antarmuka dan film oli -STSD&O-</p>		
<p><i>Semi dispersed flow with semi emulsion at interface and thin oil film</i> Aliran tersebar secara semi dengan emulsi semi pada antarmuka dan film minyak tipis -SDSE&TO-</p>		
<p><i>Dispersion of water in oil and emulsion</i> Dispersi air dalam minyak dan emulsi (DWE)</p>		
<p><i>Dispersion of oil in water with water continuous</i> Dispersi minyak dalam air terus menerus -DO-</p>		

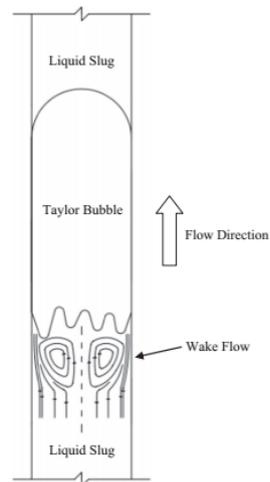
Hasil dari identifikasi berdasarkan pengamatan dan percobaan yang dilakukan yaitu penurunan tekanan tertinggi 11,58 kPa diperoleh secara maksimal pada laju aliran 16,21 cm³/dtk dengan fraksi minyak 0,9 sedangkan penurunan tekanan terendah 1,31 kPa tercatat pada laju aliran terendah 2,03

cm^3/s dan fraksi air 0,9. Pada penelitian diatas fluida kerja yang digunakan adalah campuran minyak dan air sehingga terdapat celah jika akan dilakukan penelitian ulang yaitu dengan menambah fluida kerja dengan udara dan mengecilkan diameter seksi uji serta memvariasi sudut pada seksi uji.

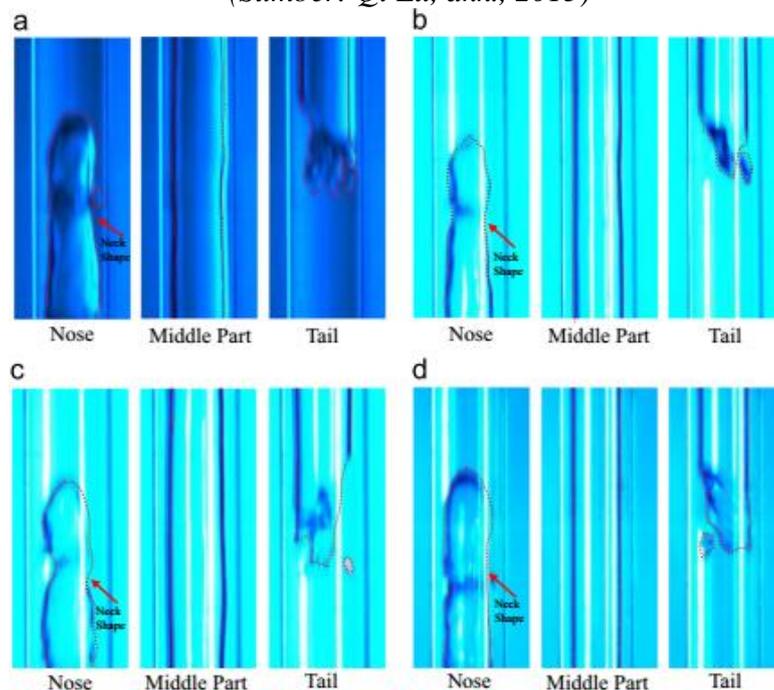
M hassan Imaduddin, (2015) melakukan penelitian mengenai pola aliran dalam aliran dua fasa ada pipa mini secara horisontal yang berdiameter 1,6 mm dan terbuat dari kaca. Penelitian dilakukan dalam kondisi suhu kamar $\pm 25^\circ\text{C}$ dan dalam keadaan adiabatik. Fluida kerja yang digunakan ialah air-udara. Kecepatan superfisial udara berkisar antara 0,025-66,3 m/s dan kecepatan superfisial air berkisar antara 0,033-4,935 m/s. Pada penelitian tersebut didapatkan 5 pola aliran yaitu *bubble*, *slug annular*, *annular* dan *churn*. Pola aliran *bubble* terbentuk pada rentang J_L lebih dari 0,7 m/s dan J_G kurang dari 0,207 m/s. pola aliran *slug* terbentuk pada rentang J_G 0,01 – 0,07 m/s dan J_L 0,01 – 0,207 m/s. Ketika dari pola aliran *slug* apabila kecepatan superfisial air diturunkan hingga mencapai 0,149 m/s dan kecepatan superfisial gas dinaikkan pada rentang 3-50 m/s maka akan terbentuk pola aliran *slug-annular*. Jika kecepatan superfisial gas terus dinaikkan hingga 58,05 m/s akan menghasilkan pola aliran *annular*. Untuk pola aliran *churn* dapat terdeteksi pada kecepatan superfisial air yang konstan pada 0,0232 m/s dan kecepatan superfisial gas terus ditingkatkan sampai melampaui 3 m/s. pada penelitian diatas fluida kerja yang digunakan hanya sebatas air dan udara serta belum adanya campuran gliserin dan variasi sudut pada seksi uji.

Lu et al., (2015) pengamatan Visual pada Morfologi Antarmuka *Taylor Bubble* dan Karakteristik Aliran Dua Fasa di *Mini-Channel*. Pengamatan secara eksperimental dengan visualisasi pada perilaku *taylor bubble* dari aliran dua fasa dilakukan pada saluran melingkar vertikal, dengan panjang 1000 mm dan diameter dalam 1 mm, 2 mm, 3 mm dan 6 mm. Air deionisasi digunakan sebagai cairan kerja fasa cair, dan udara, nitrogen, argon dan karbon dioksida diadopsi sebagai cairan kerja fasa gas.

Morfologi antarmuka *taylor bubble* direkam dengan kamera kecepatan tinggi, dan variasi penurunan tekanan dan fluks massa fasa cair diukur secara bersamaan.



Gambar 2.7 Skema Diagram Aliran Bangun *Taylor Bubble*
(Sumber: Qi Lu, dkk., 2015)



Gambar 2.8 Morfologi antarmuka *Taylor Bubble* dengan fluida kerja fasa gas yang berbeda ($G_1 = 2200 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $Q_g = 3,0 \text{ mL/dtk}$)
(a) udara; (b) nitrogen; (c) argon; (d) karbon dioksida.
(Sumber: Qi Lu, dkk., 2015)

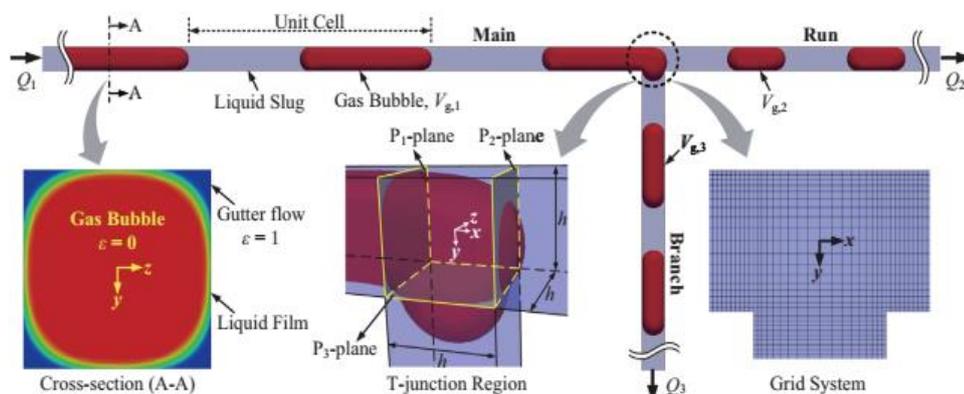
Efek dari kondisi kerja yang berbeda pada morfologi antarmuka *taylor bubble* dibahas secara rinci, dan efek tegangan permukaan pada perilaku

taylor bubble diselidiki berdasarkan nomor Eo (Eötvös) dan nomor Mo (Morton). Fluktuasi penurunan tekanan dan fluks massa fasa cair juga dianalisis secara rinci berdasarkan perilaku *taylor bubble*.

Harapan atau tujuan dari penelitian ini adalah agar model untuk prediksi penurunan tekanan aliran dua fasa di *mini-channel* dapat diusulkan, dan model ini divalidasi berdasarkan hasil eksperimen dengan ketentuan yang telah ada dan terstandarisasi. Dari penelitian diatas fluida kerja yang yang digunakan adalah air deionisasi digunakan sebagai cairan kerja fasa cair, dan udara, nitrogen, argon dan karbon dioksida diadopsi sebagai cairan kerja fasa gas. Belum adanya campuran air dan gliserin serta belum adanya variasi sudut terhadap seksi uji.

Kim & Yong, (2015) perpecahan Aliran Dua Fasa Skala Mikro dengan Gelembung Memanjang pada Percabangan 3 Arah. Hal yang diamati pada penelitian ini adalah perilaku gelembung memanjang dalam aliran dua fasa pada skala mikro. Percabangan 3 arah dipelajari secara eksperimental dan perhitungan, serta efek dari gelembung panjang dengan rasio perpecahan aliran gas ke cabang diuji.

Percabangan 3 arah terdiri dari saluran utama, sekunder dan tersier dengan penampang $0,6 \times 0,6$ mm. Udara dan air digunakan sebagai fluida uji. Gerakan sesaat dari aliran di bagian hidung, tubuh dan bagian ekor gelembung di daerah percabangan 3 diamati secara detail.



Gambar 2.9 Hasil Komputasi
(Sumber: Seok Kim dan Sang Yong Lee, 2015)

Pada bagian tubuh yang tampak lebih panjang dengan gelembung yang lebih panjang sementara bentuk dan volume dari bagian hidung dan bagian ekor tetap tidak berubah.

Ketika aliran melewati bagian tubuh dari percabangan 3, laju aliran volumetrik gas ke cabang dipertahankan konstan dan menjadi hampir setara dengan total laju aliran volumetrik ke cabang. Demikian pula, ketika aliran turbolensi berada pada bagian tubuh percabangan 3, laju aliran volumetrik cairan ke cabang muncul sama dengan total laju aliran volumetrik ke cabang. Di sisi lain, laju aliran volumetrik bagian hidung dan bagian ekor ke cabang bervariasi secara drastis seiring waktu. Hal ini terjadi karena adanya pola aliran yang rumit.

Jadi, untuk laju aliran gas dan fasa cair yang diberikan pada aliran utama, aliran mal-distribusi lebih mungkin terjadi dengan gelembung yang lebih pendek karena bagian relatif dari hidung dan ekor lebih besar dalam sel satuan, yang terdiri dari gelembung dan aliran turbolensi atau aliran siput. Dari penelitian di atas fluida kerja yang digunakan adalah air dan udara, belum adanya campuran gliserin serta belum divariasikan sudut pada seksi uji. Hal tersebut dapat dilakukan penelitian ulang dengan menambah fluida kerja.

Dian Indra Siregar, (2016) telah melakukan penelitian studi pola aliran dua fasa pada pipa mini. Saluran pipa yang digunakan terbuat dari kaca dengan diameter 1,6 mm secara horisontal dalam kondisi suhu kamar dan adiabatik. Fluida kerja yang digunakan adalah udara, campuran air dan butanol dengan memvariasikan konsentrasi campuran air dan butanol dengan variasi campuran 2%, 4% dan 6%. Penelitian dilakukan pada kecepatan superfisial gas 0,066 - 66,2 m/s dan nilai kecepatan superfisial liquid 0,033 - 4,193 m/s. Pengamatan dilakukan dengan metode visualisasi menggunakan kamera berkecepatan tinggi kemudian diolah menggunakan software. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan lima pola aliran yaitu *bubble*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*. Pola aliran *bubble* teramati

pada kecepatan superfisial gas 0,066 m/s dan kecepatan superfisial liquid 0,879 m/s pada variasi campuran buthanol 2% dan 4% sedangkan pada variasi campuran buthanol 6% pola aliran *bubble* teramati pada kecepatan superfisial gas 0,066 m/s dan kecepatan superfisial liquid 0,539 m/s. Pola aliran *plug* teramati mulai dari kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial liquid rendah yaitu dengan nilai kecepatan superfisial gas 0,066 m/s dan kecepatan superfisial liquid 0,033 m/s. Luas area pola aliran *plug* berbeda beda akan tetapi pada variasi campuran buthanol 6% memiliki luas area paling kecil. Pola aliran *churn* teramati paling awal yaitu pada kecepatan superfisial gas 0,423 m/s dan kecepatan superfisial liquid 4,935 m/s pada campuran buthanol 4%. Pola aliran *slug annular* teramati pada kecepatan superfisial gas 0,871 m/s dan kecepatan superfisial liquid 0,033 m/s pada variasi campuran buthanol 6%. Pola aliran *annular* teramati saat aliran pada pipa didominasi oleh udara dan semua variasi buthanol dengan kecepatan superfisial gas 36,964 m/s dan kecepatan superfisial liquid 0,033 m/s. dari penelitian diatas fluida kerja yang digunakan adalah campuran air dan buthanol jika akan dilakukan penelitian ulang bisa menabahkan fluida kerja udara dan memberi variasi sudut pada seksi uji.

Diko Anutup, (2016) telah melakukan penelitian studi visualisasi pola aliran (*flow pattern*) dan peta pola aliran (*flow pattern map*) pada aliran dua fasa dengan media uji berupa pipa mini dengan posisi horisontal yang terbuat dari kaca dengan diameter 1,6 mm. Fluida kerja yang digunakan adalah udara-air yang dicampur dengan gliserin, dimana dalam pencampuran gliserin terdapat variasi yaitu 20%, 40% dan 60%. Penelitian ini dilakukan pada suhu kamar yaitu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ dan dalam kondisi adiabatik dengan memvariasikan kecepatan superfisial gas 0,066 m/s – 66,2 m/s dan kecepatan superfisial air 0,033 m/s – 4,193 m/s. Dari penelitian tersebut didapatkan lima pola aliran yaitu *bubble*, *slug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*. Dimana pola aliran *bubble* teramati pada J_G 0,066 m/s dan J_L 0,879 m/s untuk konsentrasi gliserin 20% dan 40% sedangkan untuk konsentrasi gliserin 60% teramati pada J_G 0,066 m/s dan J_L 0,539 m/s. Pola aliran *slug* yang paling sering teramati pada

semua konsentrasi gliserin dan mulai dari nilai J_G dan J_L yang rendah sampai $J_G = 4,238$ m/s. Pola aliran *slug annular* terbentuk pada kondisi pola aliran *slug* yang kecepatan superfisial udaranya dinaikkan sehingga aliran udara mampu menembus kolom air dan membentuk aliran udara yang berkelanjutan dengan gelombang air dari lapisan air yang mengalir disekitarnya, seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas gelombang yang terbentuk akan berkurang dan menghilang dan terbentuklah aliran *annular*. Pola aliran *churn* teramati pada semua konsentrasi gliserin, pada konsentrasi gliserin 20% pola aliran *churn* teramati pada $J_G = 4,238$ m/s dan $J_L = 0,398$ m/s, pada konsentrasi gliserin 40% pola aliran *churn* teramati pada $J_G = 4,238$ m/s dan $J_L = 0,456$ m/s, sementara pada konsentrasi gliserin 60% pola aliran *churn* teramati pada $J_G = 4,238$ m/s dan $J_L = 0,879$ m/s. Meningkatnya viskositas berpengaruh pada terbentuknya suatu pola aliran, hal tersebut terjadi pada pola aliran *bubble* dan *slug*. Semakin besar nilai viskositasnya maka *bubble* yang terbentuk akan semakin bulat dan bentuk ekor akan cenderung tumpul. Pada aliran *slug* semakin besar nilai viskositasnya maka panjang *slug* yang terbentuk akan semakin pendek hal tersebut terjadi pada kondisi nilai J_G dan J_L yang sama. Pada penelitian ini belum danya variasi sudut terhadap seksi uji sehingga masih ada celah untuk melakukan penelitian lagi.

Sudarja dkk, (2018) telah melakukan penelitian pola aliran pada aliran dua fasa dengan media uji pipa secara horisontal. Pada penelitian tersebut menggunakan media uji pipa yang terbuat dari kaca dengan diameter 1,6 mm dalam kondisi suhu ruang dan adiabatik. Fluida kerja yang digunakan ialah gas dan cairan dimana gas yang digunakan ialah udara sedangkan cairan yang digunakan ialah campuran aquades dan gliserin dengan konsentrasi campuran 20%, 40% dan 60%. Penelitian tersebut dilakukan pada kecepatan superfisial gas 0,025 – 66,3 m/s dan kecepatan superfisial liquid 0,033 – 4,935 m/s. Metode yang digunakan ialah metode visualisasi menggunakan kamera Nikon J4. Dari penelitian tersebut teramati lima pola aliran yaitu *bubble*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, *churn*. Pada penelitian yang dilakukan

oleh Sudarja dkk, (2018) fluida kerja yang digunakan adalah udara dan campuran aquades dengan gliserin serta belum ada variasi sudut terhadap seksi uji hal ini jika dilakukan penelitian ulang dapat memberi variasi sudut terhadap seksi uji.

2.2 Dasar teori

2.2.1 Fasa

Fasa adalah suatu keadaan zat yang dapat berupa gas, cair dan padat atau dapat dikatakan suatu sistem yang dilengkapi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia maupun struktur fisik. Perubahan jenis fasa biasanya dikarenakan adanya energi yang masuk atau yang dikeluarkan, perubahan jenis fasa biasanya dari fasa cair berubah ke fasa padat atau menjadi fasa gas atau sebaliknya. Karakteristik fasa cair adalah jarak antar molekulnya yang sangat jauh dan susunan molekulnya yang tidak teratur membuat molekul tersebut selalu bergerak bebas sedangkan karakteristik fasa padat adalah jarak antar molekul yang rapat, tersusun rapi dan beraturan, akan tetapi jika molekul tersebut mencapai titik leburnya ikatan molekul tersebut akan meleleh.

2.2.2 Aliran dua fasa

Aliran dua fasa ialah aliran yang terdiri dari dua fasa yang berbeda yang dialirkan dalam suatu tempat atau pipa. Aliran dua fasa sendiri dapat dibedakan menjadi beberapa bagian yang dapat dilihat dari fasa yang membentuk alirannya, yaitu aliran dua fasa cair – gas, aliran dua fasa padat – gas dan aliran dua fasa padat – cair. Pada aliran dua fasa juga dapat dibedakan berdasarkan arah aliran yaitu aliran searah dan berlawanan arah, dan dapat dibedakan berdasarkan posisi salurannya yaitu saluran tegak, mendatar atau miring.

2.2.3 Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah suatu sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan suatu fluida cair untuk mengalir, dimana tingkat kekentalan berpengaruh dalam pergerakan suatu fluida

cair. Semakin tinggi nilai viskositas maka pergerakan fluida akan semakin lambat sedangkan jika nilai viskositas rendah maka aliran fluida cair akan mudah mengalir.

2.2.4 Konsep aliran multifasa

a. Hambatan cairan

Hambatan pada cairan dapat digambarkan sebagai rasio dari volume cairan bagian dalam pipa terhadap seluruh volume bagian dalam pipa.

$$Hl = \frac{Vl}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

Hl = hambatan cairan

Vl = volume bagian pipa yang diduki oleh cairan

V = volume pipa

b. Massa jenis campuran

Massa jenis gas dan cairan yang bercampur secara homogen dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\rho m = \rho l.Hl + \rho g(1 - Hl) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

ρm = massa jenis campuran zat cair dan gas

ρl = massa jenis zat cair (kg/m^3)

ρg = massa jenis gas (kg/m^3)

Hl = hambatan cairan

c. Viskositas campuran

Jika fasa cair dan fasa gas bercampur secara homogen, nilai viskositas dari campuran tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$\mu_m = \mu_l + \mu_g(1 - Hl) \dots\dots\dots (2.3)$$

keterangan:

μ_m = viskositas gas dan zat cair

μ_l = viskositas zat cair

μ_g = viskositas gas

Hl = hambatan cairan

d. **Superficial velocity**

Kecepatan superficial cairan atau gas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$U_{sl} = \frac{Q_l}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$U_{sg} = \frac{Q_g}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

U_{sl} = kecepatan superficial cairan (m/s)

U_{sg} = kecepatan superficial gas (m/s)

Q_l = laju aliran volumetrik cairan (m³/s)

Q_g = laju aliran volumetrik gas (m³/s)

A = luas penampang pipa (m²)

e. **Kecepatan campuran**

Kecepatan campuran dapat dikatakan sebagai jumlah kecepatan superficial gas dengan kecepatan superficial cairan.

$$U_m = U_{sl} + U_{sg} = \frac{Q_l + Q_g}{A} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

U_{sl} = kecepatan superficial cairan (m/s)

U_{sg} = kecepatan superficial gas (m/s)

Q_l = laju aliran volumetrik cairan (m³/s)

Q_g = laju aliran volumetrik gas (m³/s)

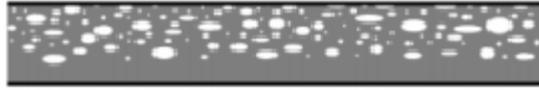
A = luas penampang pipa (m²)

2.2.5 Pola aliran pada aliran dua fasa

Pola aliran pada aliran dua fasa merupakan hal penting karena dari pola aliran dapat menentukan perilaku suatu aliran fluida. Pada pola aliran sendiri dibagi menjadi dua yaitu pada pipa vertikal dan pada pipa horisontal. Hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pipa horisontal

a. Aliran gelembung



Gambar 2.10 Aliran Gelembung(*bubble*)
(*Sumber: J.Braz.Soc.Mech.Sci, 2005*)

Pola aliran ini terdapat gelembung gas yang cenderung mengalir pada bagian atas tabung.

b. Aliran kantung(*plug*)



Gambar 2.11 Aliran Kantung(*plug*)
(*Sumber: J.Braz.Soc.Mech.Sci, 2005*)

Pola aliran ini terbentuk dari gabungan gelembung gas yang membentuk kantung atau peluru.

c. Aliran strata(*stratified*)



Gambar 2.12 Aliran Strata(*stratified*)
(*Sumber: J.Braz.Soc.Mech.Sci, 2005*)

Pada pola aliran ini terjadi pemisahan fasa dikarenakan pengaruh perbedaan massa jenis dan gravitasi. Fasa gas mengalir pada bagian atas tabung dan fasa cair mengalir pada bagian dasar tabung.

d. Aliran strata bergelombang(*stratified wave*)



Gambar 2.13 Aliran Strata Bergelombang
(*stratified wave*)
(*Sumber: J.Braz.Soc.Mech.Sci, 2005*)

Pada pola aliran ini terjadi peningkatan kecepatan gas sehingga membentuk gelombang amplitudo pada batas antar fasa.

e. Aliran *slug*



Gambar 2.14 Aliran sumbat(*slug*)
(Sumber: *J.Braz.Soc.Mech.Sci*, 2005)

Pada pola aliran ini terbentuk gelembung yang besar akibat peningkatan laju kecepatan aliran gas yang membuat gelembung sebesar diameter tabung yang kemudian diikuti gelembung gelembung kecil dibelakangnya.

f. Aliran cincin(*annular*)

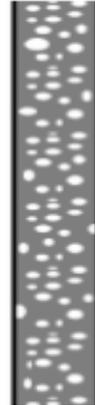


Gambar 2.15 Aliran cincin(*annular*)
(Sumber: *J.Braz.Soc.Mech.Sci*, 2005)

Pada pola aliran ini cairan mengalir pada permukaan tabung sedangkan aliran gas mengalir dibagian tengah tabung yang didalamnya terdapat butiran butiran air. Pada posisi pipa horisontal tebal lapisan cairan pada dasar tabung lebih tebal dibandingkan pada bagian atas tabung hal ini dikarenakan adanya pengaruh gravitasi.

2. Pipa vertikal

a. Aliran gelembung



Gambar 2.16 Aliran Gelembung(*bubble*)
(*Sumber: Hewitt, 1982*)

Pada pola aliran ini fasa gas mengalir dalam bentuk gelembung gelembung kecil sedangkan fasa cair mengalir secara kontinyu.

b. Aliran kantung



Gambar 2.17 Aliran kantung(*slug*)
(*Sumber: Hewitt, 1982*)

Pada pola aliran ini fasa gas membentuk gelembung seperti peluru atau kantung yang dibelakangnya diikuti oleh gelembung gelembung kecil.

c. Aliran acak



Gambar 2.18 Aliran Acak(*churn*)
(Sumber: Hewitt, 1982)

Pada aliran ini bertambahnya kecepatan gas berpengaruh pada aliran sehingga aliran menjadi tidak stabil dan berbuih.

d. Aliran cincin



Gambar 2.19 Aliran Cincin(*annular*)
(Sumber: Hewitt, 1982)

Pada pola aliran ini fasa cair cenderung berada pada samping atau daerah yang bersentuhan dengan tabung atau pipa, hal ini berbeda dengan fasa gas yang cenderung berada pada bagian tengah tabung atau pipa.

e. *Wispy annular flow*



Gambar 2.20 Aliran (*wispy annular*)
(Sumber: Hewitt, 1982)

Pada pola aliran ini fasa cair membentuk lapisan tipis pada dinding pipa dan pada tengah pipa terdapat fasa gas yang didalamnya terdapat gelembung gelembung cairan yang tidak teratur.