

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

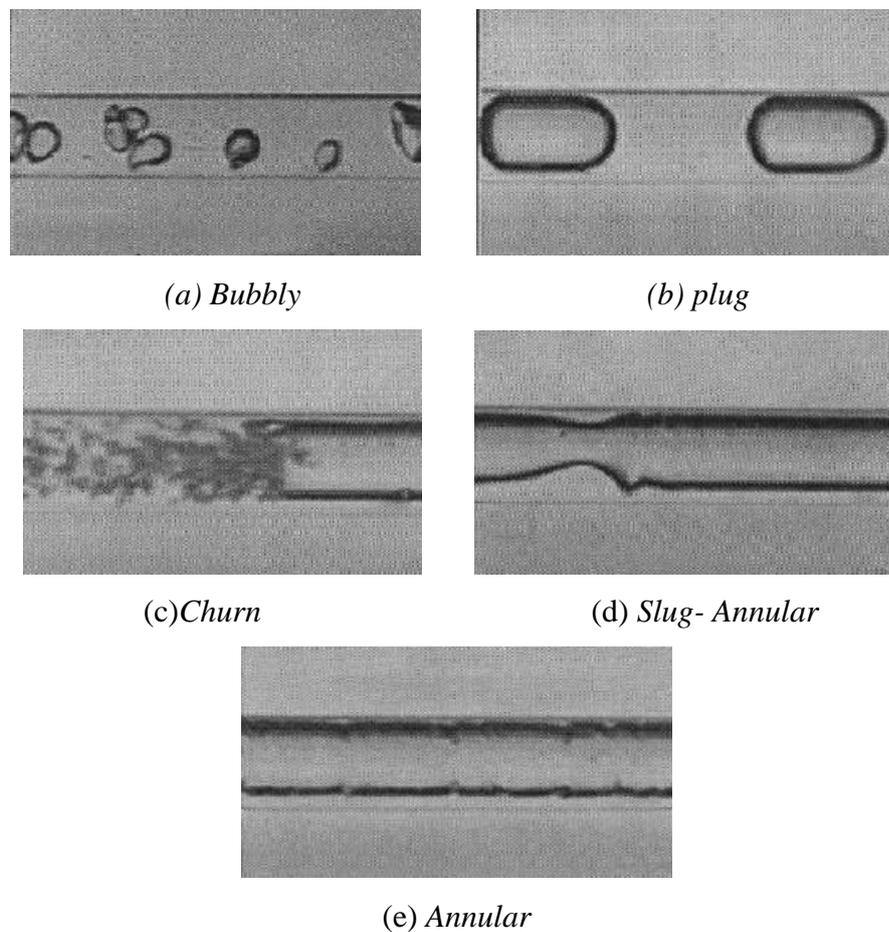
Sudarja dkk. (2019) melakukan penelitian secara studi eksperimental tentang pola aliran dan gradien tekanan aliran dua fase gas-cair pada pipa berukuran kecil. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm. Kecepatan superfisial gas dan cairan masing-masing berada di kecepatan ( $J_G$ ) = 0,025-66,300 m / s dan ( $J_L$ ) = 0,033-4,935 m / s. Pada penelitian ini didapatkan, pola aliran dan data gradien tekanan masing-masing diperoleh dengan menganalisis gambar aliran yang ditangkap oleh kamera berkecepatan tinggi dan dengan menggunakan *pressure transducer*. Pola aliran yang diperoleh *bubbly*, *slug*, *slug annular*, *churn*, dan *annular*.

Penelitian yang dilakukan oleh Fukano dan Kariyasaki (1993) tentang aliran dua fasa menggunakan tiga ukuran diameter pipa sirkular masing-masing 1mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm. Media yang digunakan dalam 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) melakukan penelitian pola aliran dengan kondisi arah aliran yang berbeda-beda. Secara umum pada penelitian ini, pola aliran dengan kondisi arah aliran yang terbentuk diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu aliran *bubble*, aliran *intermittent*, dan aliran *annular*.

Sur dan Liu (2012) melakukan study eksperimental dengan pipa diameter bagian dalam 100  $\mu$ m, 180  $\mu$ m dan 324  $\mu$ m dari leburan silika. Mereka menggunakan udara dan air sebagai fluida kerja. Mereka mengidentifikasi empat bentuk aliran yang khas, yaitu *bubbly*, *slug*, *ring*, dan aliran *annular*. Mengenai penurunan tekanan gesekan, mereka menyimpulkan bahwa model berbasis pola aliran memberikan hasil yang lebih akurat dalam membandingkan dengan homogen dan terpisah model aliran dua fase.

Triplett dkk. (1999) melakukan penelitian mengenai aliran dua fasa pada pipa mini dengan ukuran diameter 1,097 dan 1,45 mm. Media yang digunakan

adalah fluida cair (air) sedangkan untuk fluida gasnya adalah 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. Variasi yang digunakan adalah sebagai berikut, kecepatan superfisial udara dimulai dari 0,02 m/s sampai 8 m/s. Pola aliran yang berhasil diamati seperti pada Gambar 2.1 adalah *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug annular*, dan *annular*.



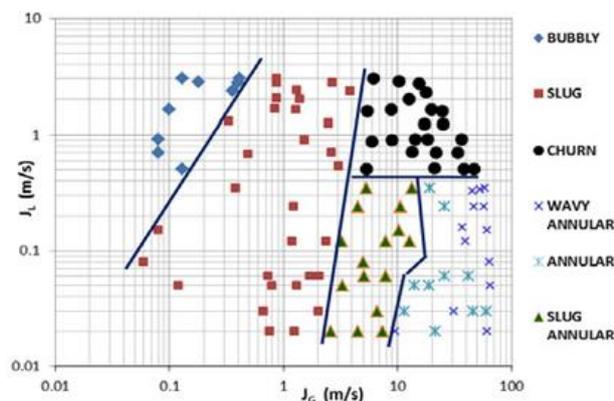
Gambar 2.1. Pola aliran yang terbentuk (a) *Bubbly*, (b) *plug*, (c) *Churn*, (d) *Slug- Annular*, (e) *Annular* (Triplett dkk. 1999)

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.

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  $\mu\text{m}$ . Fase gas yang digunakan yaitu, udara dan uap sedangkan fase cair yang digunakan adalah 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 yang dapat dijelaskan karakteristik serta dapat divisualisasikan dengan baik menggunakan fotografi. Pola aliran yang didapat dari penelitian ini adalah : *dispersed bubbly, gas slug, liquid ring, liquid pump, annular, frothy, wishphy-annular, rivulet, liquid drplet bubbly, dan droplet*.

Sudarja dkk. (2014) menggambarkan hasil pola aliran yang didapat dalam bentuk peta pola aliran dua fase pada pipa mini. Peta pola aliran yang digambarkan menggunakan kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial udara sebagai koordinatnya seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Peta pola aliran dan garis transisi (Sudarja dkk, 2014)

Gradien tekanan merupakan penurunan tekanan persatuan panjang sepanjang jalur aliran. Hal yang mempengaruhi gradien tekanan adalah viskositas. Selain itu

hal yang mempengaruhi gradien tekanan adalah kecepatan superficial gas dan cairan. Penelitian tentang gradien tekanan pada aliran dua fasa dengan menggunakan saluran persegi Panjang posisi horizontal dengan celah kecil dilakukan oleh Lee dan Lee (2001) dengan jarak antara sisi atas dan bawah setiap saluran berkisar antara 0,4 hingga 4 mm sementara lebar saluran menjadi 20 mm. Rentang kecepatan superficial air dan udara masing-masing adalah 0,03-2,39 dan 0,05-18,7 m/s. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa gradien tekanan dengan kecepatan superficial air dan udara untuk ukuran celah masing-masing 0,4 dan 4 mm. Gradien tekanan meningkat dengan meningkatnya kecepatan superficial udara dan air, kemudian gradien tekanan juga meningkat seiring dengan penurunan ukuran celah.

Garcia, (2015) melakukan penelitian tentang penurunan tekanan aliran dua fase yang dilakukan secara eksperimental yang diukur di dalam proses penguapan dan kondensasi. Dalam penelitian ini, refrigeran R134a dan R32 diuji dalam tabung *multiple extruded aluminium* (MPE) dengan diameter hidrolis 0,715 dan 1,16 mm. Kondisi eksperimental berada dalam kisaran: kecepatan massa  $200 \text{e} 1229 \text{ kg / m}^2\text{s}$ , fluks panas  $70 \text{e} 2.55 \text{ kW / m}^2$ , suhu saturasi (5, 7.5, 12.5, 30, 35, 40, 45, 50, 55)°C. Penurunan tekanan aliran dua fase telah diukur secara eksperimental dalam proses penguapan dan kondensasi menggunakan dua tabung aluminium ekstrusi multiport dengan diameter hidrolis masing-masing 0,715 dan 1,16 mm. Sebanyak 396 data penurunan tekanan gesekan eksperimental telah dipertimbangkan dalam penelitian ini. Efek dari fluks panas, kecepatan massa, dan suhu saturasi tekanan pada penurunan tekanan aliran dua fase telah diteliti. Selain itu, perbandingan luas dari data gradien tekanan gesekan eksperimental dengan beberapa model prediksi telah dilakukan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Abubakar dkk. (2015) yang meneliti tentang aliran simultan dari dua cairan yang tidak dapat dilarutkan seperti minyak dan air. Dalam penelitian ini gradien tekanan yang diukur dalam kecepatan aliran 0,2-1,5 m/s dan fraksi volume minyak masukan 0,1-0,9. Saluran yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan pipa baja berukuran 1 dan 2 in. kecepatan alirannya bervariasi dari 0,1 hingga 1,5 m/s. Untuk menghasilkan fraksi volume minyak 0,1-0,9 yaitu dengan cara mengubah laju aliran air dan minyak. Hasilnya

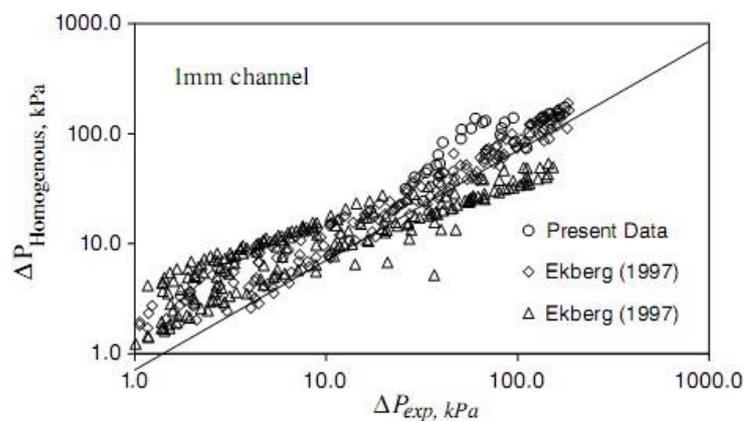
dimuat dalam bentuk gradien tekanan terhadap fraksi volume minyak masukan. Setelah diamati, peningkatan yang berhubungan dengan peningkatan kecepatan terlihat lebih jelas pada fraksi volume minyak masukan tinggi daripada fraksi volume minyak masukan yang rendah. Oleh karena itu, ketika fraksi volume minyak masukan meningkat, viskositas campuran aliran minyak-air juga akan meningkat yang mengarah ke gradien tekanan tinggi.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ismail dkk. (2015) yang meneliti tentang investigasi penurunan gradien tekanan dua fase minyak-air dalam pipa horizontal. Penelitian tersebut dilakukan untuk aliran dua fase minyak- air dalam loop aliran ID 5,08 cm horizontal. Pada penelitian tersebut terjadi penurunan tekanan dan penumpukan cairan pada laju aliran yang berbeda dari aliran dua fase minyak-air. Penurunan tekanan tertinggi yang diperoleh adalah 11,58 kPa pada debit maksimum yaitu 16,21 cm<sup>3</sup>/s dan fraksi minyak 0,9. Penurunan tekanan terendah 1,31 kPa pada debit terendah yaitu 2,30 cm<sup>3</sup>/s dan fraksi air 0,9.

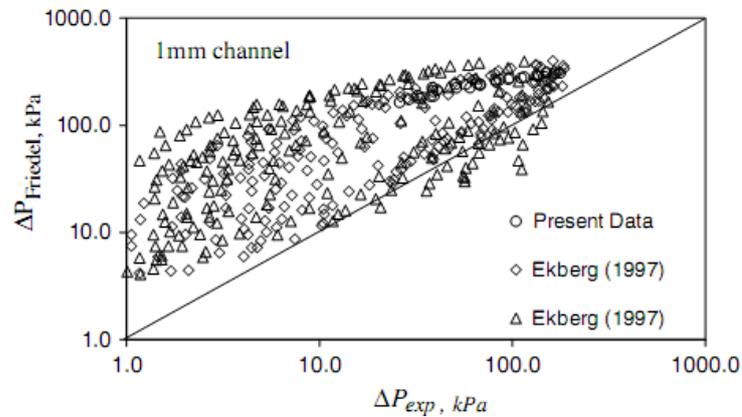
Penelitian tentang penurunan tekanan pada aliran dua fase dengan menggunakan saluran mikro dilakukan oleh (Kawahara dkk., 2002). Ukuran diameter pipa yang digunakan sebesar 100 μm. Hasil yang didapat adalah meningkatnya gradien tekanan gesekan aliran dua fase yang diakibatkan oleh meningkatnya kecepatan gas superfisial ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ). Pada saluran mikro, aliran homogen tidak berhasil menunjukkan data penurunan tekanan dua fase karena perbandingan selip yang didapat sangat besar, sehingga pola aliran dua fase tidak homogen.

Xia dan Chai (2012) menggunakan udara-air dan udara-100 ppm natrium dodesil larutan sulfat sebagai fluida kerja dalam penyelidikan mereka tentang pengaruh surfaktan pada dua fase rezim aliran dan tekanan penurunan pipa miring ke atas. Dari penelitian tersebut, mereka menyimpulkan bahwa gradien tekanan berkurang secara signifikan ketika surfaktan ditambahkan dalam cairan untuk *annular* dan aliran *slug*. Selain itu, mereka juga menemukan bahwa khususnya di aliran *annular*, gradien tekanan secara bertahap menjadi bebas dari efek sudut kemiringan ke atas, dan hanya tergantung pada sifat aliran dua fase.

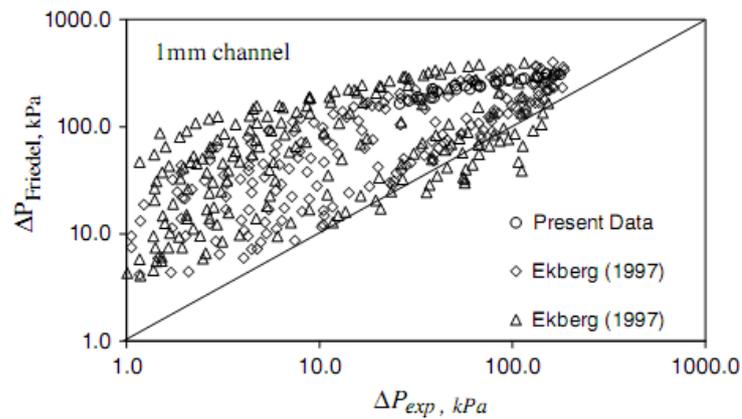
Penelitian tentang studi eksperimental pada aliran dua fase dan penurunan tekanan dalam saluran berukuran mini dilakukan oleh (Hassan dkk., 2006). Penelitian tersebut dilakukan dengan pengolahan hasil pengukuran penurunan tekanan menggunakan model aliran homogen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2, model Freidel seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, dan model Chisholm seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 kemudian dibandingkan dengan hasil peneliti sebelumnya untuk saluran berukuran 3mm, 1mm, dan 0,8 mm. Hasil dari penelitian tersebut yaitu perbandingan rezim-peta aliran menunjukkan perbedaan yang umum antara data eksperimen yang dikumpulkan selama percobaan dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya. Setelah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa garis transisi yang disederhanakan memberikan perkiraan yang baik dari transisi rezim dengan rentan peta yang diperbolehkan.



Gambar 2.3. Penurunan tekanan yang terukur terhadap penurunan tekanan prediksi menggunakan model homogen (Hassan dkk, 2006)



Gambar 2.4. Penurunan tekanan yang terukur terhadap penurunan tekanan prediksi menggunakan model Friedel (Hassan dkk, 2006)



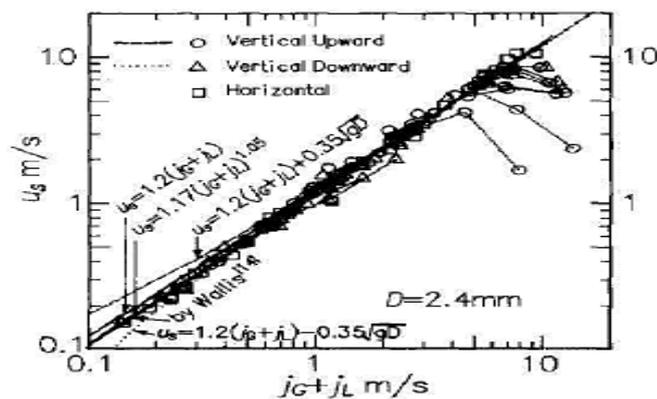
Gambar 2.5. Penurunan tekanan yang terukur terhadap penurunan tekanan prediksi menggunakan model Chisholm (Hassan dkk, 2006)

Penelitian tentang penurunan tekanan dari aliran *dry-plug* dua fase (kondisi dinding kering pada bagian-bagian gas) dalam saluran mini dilakukan oleh Lee & Lee (2010). Penelitian tersebut menggunakan fluida udara-air yang dialirkan melalui saluran mini yang terbuat dari poliuretan dan teflon dengan diameter 1,62 dan 2,16 mm. Hasilnya Penurunan tekanan akan lebih besar apabila kecepatan superfisial ditingkatkan. Penurunan tekanan oleh garis kontak yang bergerak merupakan parameter penting yang harus dipertimbangkan dalam memprediksi penurunan tekanan pada rezim aliran steker kering.

Barreto dkk. (2015) meneliti tentang penurunan tekanan dan fraksi hampa dalam aliran dua fase gas-cair pipa melingkar dengan diameter dalam 1,2 mm

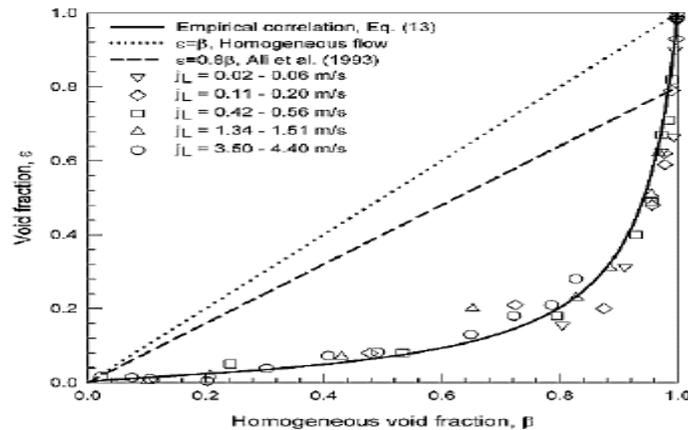
mereka menyimpulkan juga bahwa penurunan tekanan diprediksi dipengaruhi oleh pola aliran dan bentuk aliran cairan. Selain penelitian disebutkan di atas, ada beberapa peneliti yang memberikan perhatian khusus pada efek tegangan permukaan dengan pola aliran dua fase serta penurunan tekanan.

Fukano dkk. (1993) melakukan penelitian tentang kecepatan *bubbly* yang ditentukan dari persamaan  $L_s / \tau$ , dimana  $L_s$  adalah jarak aksial antara dua elektroda adalah jeda waktu dimana nilai maksimum *cross-correlation* dari dua sinyal dua sinyal output fraksi hampa. Kesalahan pada pengukuran  $\tau$  disebabkan oleh frekuensi dari sampel. Minimum selang waktu adalah sebesar 500  $\mu$ s. Kesalahan pengukuran terbesar terjadi saat kecepatan *bubbly* tinggi yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.6. Kecepatan *bubbly* (Fukano dkk, 1993)

Kawahara dkk. (2002) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa pada pipa dengan diameter 100  $\mu$ m. Pada saat fluida air mengalir dengan *flow rate* yang rendah, gambar yang terekam didominasi aliran air tanpa ada udara ( $\epsilon = 0$ ), dan inti gas mengalir dengan film cairan halus. Sedangkan pada saat rata-rata aliran tinggi, terdapat tiga jenis aliran yang terekam yaitu aliran air tunggal ( $\epsilon = 0$ ), inti gas yang mengalir dengan film cairan halus ( $\epsilon = 1$ ), dan inti gas yang mengalir dengan film cairan tebal ( $0 < \epsilon < 1$ ). Pada gambar 2.6 menunjukkan grafik fraksi hampa yang dihasilkan dari penelitian Kawahara dkk, (2002).



Gambar 2.7. Hubungan antara pengukuran dengan fraksi hampa homogen  
(Kawahara dkk, 2002)

Chung dan Kawaji. (2004) melakukan pengukuran tentang fraksi hampa rata-rata waktu pada saluran sirkular berdiameter  $D = 50, 100, 250,$  dan  $530 \mu\text{m}$  serta  $96 \mu\text{m}$  saluran persegi menggunakan analisis gambar. Model aliran homogen mempunyai kesesuaian yang baik dengan data untuk  $D = 530 \mu\text{m}$ . Data untuk  $D = 250 \mu\text{m}$  sedikit berbeda dari model aliran homogen, tetapi bersesuaian secara baik dengan korelasi yang diusulkan lebih dulu oleh Ali dkk. (1993) untuk aliran dua fase dalam saluran persegi sempit dengan  $D_h \sim 1 \text{ mm}$ :  $\alpha = 0,8 \beta$  dengan  $\beta = J_G / J_L$  adalah kualitas volumetrik. Data dari Chung dan Kawaji. (2004) untuk saluran persegi  $96 \mu\text{m}$  dan  $50$  serta  $100 \mu\text{m}$  menunjukkan kecenderungan berbeda sekali dari korelasi-korelasi tersebut, akan tetapi menunjukkan hubungan yang tidak linier antara  $\alpha$  dan  $\beta$ .

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pada penelitian sebelumnya menggunakan fluida kerja berupa campuran air dan larutan gliserin dengan posisi saluran horizontal. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan menggunakan campuran akuades dan butanol 5% dengan posisi kemiringan  $30^\circ$ . Penggunaan campuran air dan butanol 5% bertujuan untuk menurunkan nilai tegangan permukaan. Efek penurunan nilai tegangan permukaan dan sudut kemiringan dianalisis dalam penelitian ini untuk mengkonfirmasi bahwa tegangan permukaan dan sudut kemiringan berpengaruh pada parameter dasar aliran dua fase.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Fase

Fase merupakan suatu keadaan zat yang berupa gas, cair maupun padat atau sistem yang dilengkapi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia dan struktur fisiknya. Saat perubahan fase ada energi yang didapat atau dilepaskan, perubahan fase itu berupa padat menjadi cair begitupun sebaliknya, cair menjadi gas begitupun sebaliknya, dan gas menjadi padat begitupun sebaliknya. Fase padat (solid) memiliki jarak antara molekul yang sangat besar, posisi molekul tetap dan bersusun secara beraturan. Pada titik lebur ikatan molekulnya meleleh dan posisi molekul tidak tetap. Perbandingan karakter fase cair dengan gas terletak pada jarak antar molekulnya dan susunan molekulnya. Fase cair memiliki jarak molekul yang sangat jauh/besar sedangkan fase gas jarak dan susunan molekulnya tidak teratur dan selalu bergerak secara acak.

### 2.2.2. Kecepatan Superfisial

*Superficial velocity* (kecepatan superfisial) gas dan cairan yang digambarkan sebagai rasio dari laju *volumetric flow* gas ataupun cairan terhadap area penampang melintang pipa total. Pada analisa aliran dua fase gas-cairan, kecepatan superfisial memiliki 3 macam yaitu kecepatan superfisial gas yang dinyatakan  $J_G$ , kecepatan superfisial cairan dinyatakan dengan  $J_L$  dan kecepatan superfisial campuran yang dinyatakan dengan  $J_M$  sebagai penjumlahan kecepatan superfisial gas dan cairan.

Kecepatan superfisial gas ( $J_G$ )

$$J_G = \frac{Q_G}{A} = \frac{\dot{m}_G}{A} = \frac{Q_m}{A} \quad (2.1)$$

Kecepatan superfisial liquid ( $J_L$ )

$$J_L = \frac{Q_L}{A} = \frac{\dot{m}_L}{A} = \frac{Q_m}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

$J_G$  = Kecepatan superfisial gas (m/s)

$J_L$  = Kecepatan superfisial cairan (m/s)

$Q_G$  = Laju aliran gas dalam pipa ( $m^3/s$ )

$Q_L$  = Laju aliran cairan dalam pipa ( $m^3/s$ )

$A$  = Luas penampang pipa ( $m^2$ )

### 2.2.3. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan zat cair diakibatkan karena gaya yang bekerja pada zat cair tersebut. Di bagian dalam cairan sebuah molekul dikelilingi oleh molekul lain di sekitarnya. Oleh karena itu molekul ditarik oleh gaya yang sama besar ke segala arah maka resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut sama dengan nol. Sedangkan molekul yang berada tepat dibawah permukaan zat cair memiliki resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut tidak sama dengan nol. Hal ini disebabkan ada gaya resultan yang arahnya ke bawah karena di bagian atas molekul tersebut tidak dikelilingi oleh molekul lain dengan demikian lapisan atas seakan-akan tertutup oleh lapisan selaput elastis yang ketat. Tegangan permukaan berhubungan dengan peristiwa yang disebut kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis) dan adhesi (gaya tarik menarik antara molekul tidak sejenis).

Nilai tegangan permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis fluida, suhu, tekanan, densitas, dan konsentrasi zat terlarut. Kehadiran zat terlarut dalam fluida dapat meningkatkan atau menurunkan tegangan permukaan. Tegangan permukaan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{F}{d} = \frac{F}{2L} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$\gamma$  = Tegangan permukaan (N/m)

d = Panjang permukaan (m)

F = Gaya (N)

### 2.2.4. Butanol

Butanol ( $C_4H_{10}O$ ) adalah alkohol yang memiliki 4 atom karbon. Wujud fisik dan baunya mirip dengan etanol, yaitu alkohol dengan 2 atom karbon yang sering kita temukan sebagai larutan pensteril, pelarut, atau sebagai campuran bensin. Saat ini, peran utama produk butanol adalah sebagai pelarut cat, resin, dan produk antara untuk polimer (antara lain butiraldehida, asam butirat, butena, butadiena). Butanol, dengan karakteristik yang dimilikinya, dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar mesin nonpremix (mesin bensin). Adapun sifat-sifat butanol sebagai berikut :

Tabel 2.1. Sifat fisik butanol

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat molekul	74,12 kg/kmol
2	Titik didih 1 atm	117,73 °C
3	Titik lebur	89,30 °C
4	Temperatur kritis	287,00 °C
5	Tekanan kritis	48,40 atm
6	Densitas	810,00 kg/m <sup>3</sup>

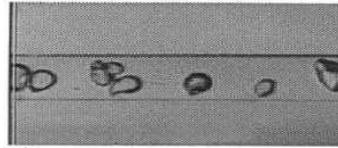
### 2.2.5. Pola Aliran Pada Saluran Mini

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.

Pola aliran yang dihasilkan terhadap pipa horizontal adalah sebagai berikut:

#### 1. *Bubbly flow*

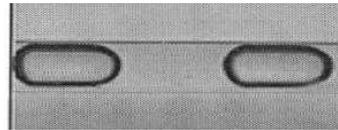
Pada pola aliran seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 ini terdapat banyak penyebaran gelembung gas dalam zat cair yang menyeluruh. Gelembung mengalir pada bagian atas tabung.



Gambar 2.8. Pola aliran *bubbly* pada *mini channel* (Triplett dkk., 1999)

## 2. *Plug Flow*

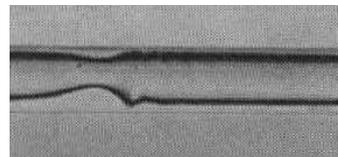
Karakteristik utama pada aliran ini adalah gelembung gas yang berbentuk peluru seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.9. Pola aliran *slug* pada *mini channel* (Triplett dkk., 1999)

## 3. *Slug Annular*

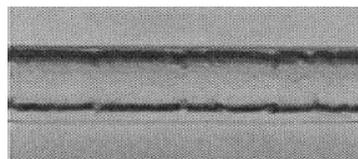
Pola aliran *slug annular* (Gambar 2.9) memiliki struktur dimana lapisan film cairan yang memiliki ketebalan lebih besar pada suatu titik dibanding titik lainnya disepanjang aliran tersebut.



Gambar 2.10. Pola aliran *slug annular* pada *mini channel* (Triplett dkk., 1999)

## 4. *Annular Flow*

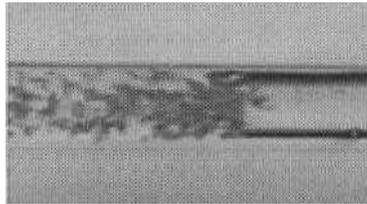
Pola aliran *annular* (Gambar 2.10) memiliki struktur dimana fasa air terletak mengelilingi saluran dan fase udara berada di tengah-tengah fase air.



Gambar 2.11. Pola aliran *annular* pada *mini channel* (Triplett dkk., 1999)

### 5. *Churn Flow*

Pola aliran *churn* (Gambar 2.11) terbentuk saat selisih antara nilai  $J_G$  dan  $J_L$  cukup besar. Aliran *churn* merupakan terusan dari aliran slug tetapi pada ekornya terbentuk aliran yang tidak beraturan.

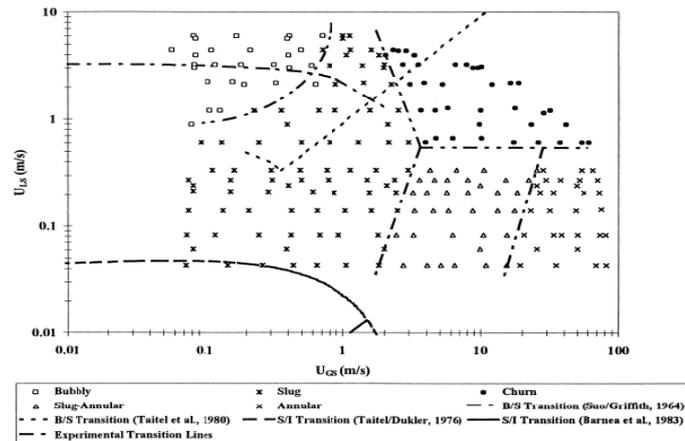


Gambar 2.12. Pola aliran *churn* pada *mini channel* (Triplett dkk., 1999)

#### 2.2.6. Peta Pola Aliran pada Saluran Mini

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

### 2.2.7. Fraksi Hampa (*Void Fraction*) pada Saluran Mini

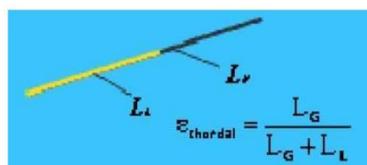
Fraksi hampa merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk menentukan karakter dari aliran dua fase. Beberapa parameter yang dapat ditentukan antara lain densitas dua fase, viskositas dua fase, kecepatan rata-rata, penurunan tekanan, koefisien perpindahan panas. Terdapat tiga metode untuk mendefinisikan fraksi hampa, metode tersebut antara lain:

#### a. Metode *Chordal*

Fraksi hampa *chordal* didasarkan pada perbandingan fase gas di dalam pipa terhadap panjang total pipa yang ditinjau atau dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\epsilon_{chordal} = \frac{L_G}{L_G + L_L} \quad (2.4)$$

Dengan  $L_L$  adalah Panjang fase cairan, sedangkan  $L_G$  adalah Panjang fase gas. Skema fraksi hampa chordal dapat dilihat pada Gambar 2.13.



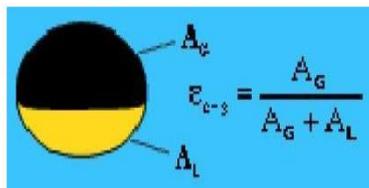
Gambar 2.14. Metode *chordal* (Thome, 2004)

b. Metode *Cross-Section*

Metode ini membandingkan luas penampang fase gas terhadap luasan penampang pipa untuk menentukan nilai fraksi hampa yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Perhitungan fraksi hampa dengan metode *cross sectional* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\varepsilon_{L-G} = \frac{A_G}{A_G + A_L} \quad (2.5)$$

Dimana  $A_G$  merupakan luasan gas dan  $A_L$  merupakan luasan cairan.



Gambar 2.15. Metode *cross-section*

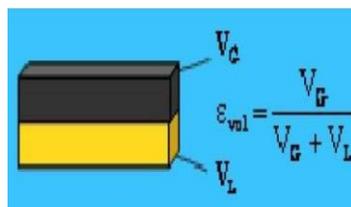
(Thome, 2004)

c. Metode Hampa Volumetrik

Pada Gambar 2.15 fraksi hampa volumetrik dapat diukur dengan menggunakan alat *quick-closing valve*. Fraksi hampa didefinisikan sebagai berikut.

$$\varepsilon_{vol} = \frac{V_G}{V_G + V_L} \quad (2.6)$$

Dimana  $V_G$  adalah volume udara dan  $V_L$  adalah volume cairan.



Gambar 2. 16. Metode volumetrik

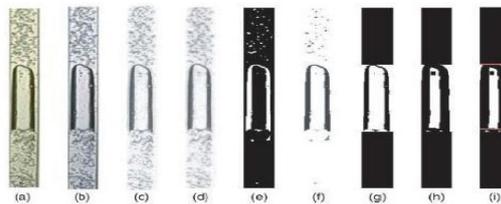
(Thome, 2004)

### 2.2.8. Digital Image Processing

nilai fraksi hampa dengan mengambil *image* aliran menggunakan kamera kemudian diolah dengan menggunakan *software* computer. Dalam aliran dua fase teknik ini telah digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran, pola aliran dan topologi aliran. Triplet dkk. (1999) menerapkan metode *digital image processing*

untuk menentukan fraksi hampa pada pipa sirkular dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm.

Metode ini juga dapat digunakan pada penelitian tentang *minichannel*. Untuk menangkap *image* yang baik. Digunakan lensa makro untuk memperbesar *image* yang ditangkap pada pipa yang berukuran sangat kecil tersebut. Salah satu *software* pengolah data *visual* yang sudah banyak dipakai saat ini yaitu dengan menggunakan *software* MATLAB. Gambar 2.16 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam mengolah gambar didalam *software* MATLAB yaitu konversi gambar (RGB ke *grayscale image*), pengurangan intensitas latar belakang pengurangan gangguan lainnya (*image filtering*), penyuaian gambar, *image thresholding*, dan *binarization* yaitu untuk menghasilkan gambar biner yang dapat secara otomatis dianalisis secara logika digital (1 dan 0), tergantung pada nilai ambang batas.



Gambar 2.17. Langkah-langkah dalam *image processing*  
(Mayor dkk. 2007)

Widyatama (2015) menjelaskan bahwa image adalah suatu representasi dari suatu objek. Image dibedakan menjadi dua yaitu analog image dan digital image. Analog adalah image yang berkelanjutan seperti televisi. Digital image adalah image yang dapat diolah dengan menggunakan software di komputer. Digital image merupakan fungsi  $f(x,y)$  dari intensitas cahaya dimana  $x$  dan  $y$  merupakan koordinat.

#### 1. Gambar RGB

Gambar *RGB* (*Red Green Blue*) merupakan *image* yang terdiri dari tiga buah matriks yang masing-masing memiliki warna merah, biru, dan hijau, contoh gambar RGB dapat dilihat pada Gambar 2.17. Setiap piksel mempunyai

nilai tertentu untuk masing-masing tersebut dengan *range* 0-255 sehingga mempunyai 16.777.216 kemungkinan warna.



Gambar 2.18. Contoh gambar RGB dengan aliran *plug*

## 2. Gambar *Grayscale*

Gambar *grayscale* merupakan beberapa gambar RGB yang mempunyai komponen dengan nilai yang sama yang digabungkan menjadi satu. Setiap piksel yang ada pada gambar *grayscale* memiliki warna abu-abu dengan rentang nilai dari 0 sampai 255. Nilai 0 untuk menyatakan warna hitam dan nilai 255 untuk menyatakan warna putih. Contoh untuk gambar *grayscale* dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2. 19. Contoh Gambar *Grayscale* dengan aliran *plug*

## 3. Gambar Biner

Gambar biner merupakan sebuah gambar dimana setiap pikselnya hanya mempunyai 2 kombinasi warna yaitu hitam dan putih. Nilai 0 untuk menyatakan warna hitam dan nilai 1 untuk menyatakan warna putih. Gambar biner hanya membutuhkan 1 bit untuk setiap pikselnya sehingga tidak membutuhkan memori yang banyak dan sangat efisien untuk penyimpanan data. Contoh gambar biner dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.20. Contoh gambar *biner* dengan aliran *plug*

## 4. *Noise*

*Noise* merupakan piksel yang mengganggu kualitas gambar sehingga dapat mengurangi keakuratan data pada gambar tersebut, *Noise* muncul akibat gangguan yang terjadi karena pencahayaan yang kurang sempurna. Oleh karena itu perlu dilakukan *image processing* agar didapat gambar yang diinginkan. Berikut merupakan beberapa jenis *noise*, yaitu:

a. *Coherent noise*

*Noise* ini terjadi akibat gangguan sinyal pada alat yang digunakan untuk mengambil gambar sehingga gambar yang dihasilkan akan terdapat *noise* yang mengganggu.

b. *Fixed-location noise*

*Noise* jenis ini selalu terjadi ditempat yang sama. *Noise* ini dihilangkan dengan cara mengganti piksel yang terdapat *noise* dengan piksel di sekitarnya yang tidak terdapat *noise*.

c. *Salt-and-pepper noise*

*Noise* ini juga disebut *impulse noise*, *shout noise* atau *binary voice*. *Noise* ini terjadi akibat kesalahan dalam data transmisi yang membuat gambar terdapat titik-titik kecil.

5. *Filtering*

*Filtering* adalah proses untuk menghilangkan *noise* yang dapat mengganggu kualitas gambar agar gambar tersebut dapat diolah dengan baik. Filter yang biasa digunakan antara lain:

a. *Mean filtering*

Prinsip dari proses *filter* ini adalah dengan mengganti setiap piksel dengan rata-rata nilai dari piksel tersebut dan piksel-piksel di sekitarnya.

b. *Median filtering*

Prinsip dari *median filtering* yaitu mengganti setiap nilai piksel dengan nilai tengah dari piksel tersebut dengan piksel disekitarnya. Piksel tersebut disusun dengan piksel-piksel disekitarnya sehingga dapat diketahui nilai tengahnya. *Median filtering* mampu memberikan detail yang lebih baik.

c. *Gaussian filtering*

*Gaussian filtering* sering digunakan untuk mempermudah menganalisis gambar seperti menghaluskan gambar dan menghilangkan *noise*. Pada *filtering* ini, nilai setiap piksel diganti dengan rata-rata nilai pembobotan dari nilai piksel tersebut dengan piksel di sekitarnya.

## 6. Metode Analisis Statistik

Analisis statistik digunakan untuk mengekstrak data mentah dari pembacaan sinyal menjadi informasi sederhana yang didapat. Sebagai contohnya, nilai fraksi hampa terhadap JG dan JL tertentu akan didapat informasi rata-rata. Jenis perhitungan statistik yang digunakan antara lain mean value, Probability Distribution Function (PDF) dan cross-correlation.

### a. Mean Value

Data fraksi hampa pada kecepatan superfisial gas (JG) dan kecepatan superfisial *liquid* (JL) yang bervariasi akan diplot menjadi sebuah grafik dan diambil nilai rata-ratanya. Untuk mengetahui pengaruh perubahan JG dan JL terhadap fraksi hampa, juga akan dilakukan pengambilan sebanyak (n) data dalam sekian detik lalu diambil rata-ratanya.

### b. *Probability Distribution Function* (PDF)

PDF digunakan untuk menentukan sebaran nilai yang keluar diukur. Fungsi ini sering digunakan untuk menggambarkan perilaku suatu distribusi probabilitas teoritis dan nilai fraksi hampa.

### c. *Power Spectral Density* (PSD)

*Power spectral density* yang menunjukkan kekuatan dari variasi sebagai fungsi dari frekuensi. Perhitungan PSD dilakukan dengan cara menggunakan metode FFT (*Fast fourier transform*).

### d. *Cross-Correlation*

*Cross correlation* dapat digunakan untuk menghitung kecepatan *bubbly* dan *plug*. Pengukuran dengan cara membuat dua titik referensi pada jarak tertentu sehingga terdapat jeda waktu saat *bubbly* atau *plug* melewati kedua titik referensi tersebut yang dapat diketahui selang waktunya. Dalam statistik, korelasi antara dua variabel dapat digambarkan sebagai nilai numerik. Kata-kata positif, negatif, kuat, dan langsung sering digunakan sebagai pengubah sebelum korelasi dalam konteks ini. Statistik korelasi *intraclass* atau *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC), adalah statistik deskriptif yang dapat digunakan ketika kuantitatif pengukuran yang dibuat pada unit yang tergabung

dalam kelompok. Hal tersebut menggambarkan seberapa kuat unit dalam kelompok yang sama mirip satu sama dengan yang lain.

#### **2.2.9. Perbedaan Tekanan (*Pressure Drop*) pada Saluran Mini**

Perbedaan tekanan antara dua titik di dalam saluran pipa disebut *pressure drop*. Penurunan tekanan per satuan panjang sepanjang jalur aliran disebut dengan gradien tekanan. Penurunan tekanan dari satu lokasi ke lokasi lain adalah kekuatan yang mendorong polimer cair mengalir selama pengisian. Pada setiap jenis fluida, gradien tekanan dipengaruhi oleh *specify gravity* jenis fluida tersebut. Penurunan tekanan total fluida dapat terjadi karena variasi energi kinetik dan potensial aliran, selain itu juga bisa diakibatkan oleh adanya gesekan pada dinding saluran aliran.

#### **2.2.10. Pengukuran Perbedaan Tekanan (*Pressure Drop*) pada Saluran Mini**

Perbedaan tekanan antar sisi masuk dan sisi keluar pada seksi uji diukur dengan *MPX System*. *MPX System* berfungsi untuk mendeteksi beda tekanan atau penurunan tekanan antar sisi masuk dan sisi keluar. Kemudian *Arduino UNO* menghubungkan sensor tekanan *fluida MPX System* ke pernagkat komputer agar data bisa diolah dan direkam kedalam perangkat komputer melalui *software* yang sudah terinstal.