

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang aliran dua fasa sebelumnya telah dilakukan kajian dan ulasan oleh Mewes & Cheng (2006) tentang aliran dua fasa dan aliran mendidih campuran dalam saluran kecil dan mini. Pengujian menggunakan aliran campuran mendidih pada aliran dua fasa dalam saluran mini dan kecil dilakukan perbandingan dengan berbagai definisi. Tinjauan yang dilakukan dapat disajikan dengan ulasan dari aliran campuran mendidih terhadap pipa mini dan kecil menjadi prioritas, karena masih langka untuk dijumpai sehingga sangat diperlukan pemahaman dan ilmu pengetahuan tentang aliran dua fasa dan aliran mendidih. Penelitian fundamental untuk dapat diterapkan dalam metode aliran dua fasa pada masa mendatang.

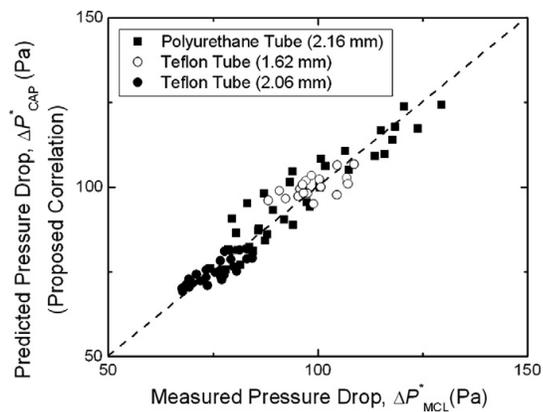
Fukano & kariyasaki (1993) melakukan investigasi penelitian tentang aliran dua fasa pada gas-cair dengan investigasi pola aliran, bervariasinya waktu fraksi hampa dan gradien tekanan di dalam tabung pipa kapiler berukuran berurutan 1 (mm); 2,4 (mm) dan 4,9 (mm). Diameter tabung pipa kapiler sangat berpengaruh secara inti untuk terjadinya gaya kapiler pada tabung berukuran kurang dari 5 mm sampai 9 mm. Pentingnya ekspansi pada bidang aliran cairan secara tiba-tiba menyebabkan kehilangan tekanan karena terjadinya gelembung panjang. Maka pengaruh terbesarnya penurunan tekanan aliran disebabkan karena ukuran dari pipa bagian dalam yang kecil.

Telah dilakukan penelitian oleh Ali dkk. (1993) tentang gradien tekanan aliran dua fasa dengan sistem adiabatik pada saluran sempit antara dua pelat datar. Dilakukan momen yang tepat pada saat memprediksi aliran saat mengalami penurunan tekanan pada gesekan dua fasa. Pada aliran horizontal sangat berpengaruh pada kecepatan massa dan prediksi saat kecepatan belum pada kondisi *steady* dan terjadinya laju aliran rendah. Pengujian dilakukan dengan ukuran saluran aliran memiliki panjang dan lebar berurutan 240 (mm) dan 80

(mm) serta mengatur *gap-width* dengan *spacer-spacer* secara tepat pada 1,465 atau 0,778 (mm).

Lee dan Lee (2010) menunjukkan hasil penelitian penurunan tekanan aliran *plug* kering dua fasa dalam saluran pipa mini. Percobaan ini dilakukan dengan kondisi kering pada permukaan saluran mini bagian gas. Saluran pipa terbuat dari bahan poliester dan teflon. Cairan antara campuran dari udara-air mengalir pada pipa dengan masing-masing berdiameter 1,62 dan 2,16 (mm). Dari pengujian yang dilakukan menampilkan bahwa penurunan tekanan lebih besar dan kecepatan *superfisial liquid* meningkat atau dengan dikurangnya kecepatan *superfisial gas* dari meningkat banyaknya jumlah jalur gesek pada bagan uji yang bergerak.

Penurunan tekanan terukur dari *plug* cair dari korelasi sesuai data eksperimen dalam *mean deviasi* sebesar 4%. Berikut ditampilkan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Perbandingan antara penurunan tekanan terukur dan yang diperkirakan dari *plug* cair (Lee dan Lee, 2010)

Pengujian memprediksi adanya penurunan tekanan dalam pipa mini dengan modifikasi analisis sudut kontak dinamis yang menggunakan pertimbangan disipasi energi terhadap jalur kontak bergerak dengan rata-rata dari data deviasi sebesar 4%.

Penelitian tentang aliran dua fasa telah dilakukan sebelumnya oleh Triplett dkk. (1999) berkonsentrasi tentang fraksi hampa dan gradien tekanan (*pressure gradien*) pada pipa mikro yang terjadi gesekan pada aliran dua fasa. Ukuran dari pipa micro dengan diameter 1,1 (mm) dan 1,45 (mm) berkecepatan *superfisial gas* sebesar 0,02-80 (m/s) dan *superfisial liquid* sebesar 0,02-8 (m/s). Pengujian

tersebut menggunakan bahan campuran dari udara-air. Dari korelasi yang digunakan menghasilkan data signifikan untuk tekanan gesekan yang menurun dari aliran homogen karena aliran anular yang didapatkan.

Hassan dkk. (2006) meneliti secara experimental tentang penurunan tekanan aliran dua fasa dalam saluran pipa mini berukuran milimeter. Pada percobaan ini digunakan tiga model meliputi model *homogen*, model *friedel* dan model *chisholm*. Gradien tekanan akibat gesekan aliran dua fasa dilakukan pada diameter pipa 3 mm, 1 mm dan 0.8 mm menunjukkan hasil yang berbeda antara hasil percobaan pengujian dengan kerelasi pengujian sebelumnya oleh Ekberg (1997). Aliran bergelembung, *intermiten*, *churn* dan *anular* merupakan aliran yang dipengaruhi oleh tegangan permukaan dan aliran dengan pengaruh inersia.

Macchi dkk. (2011) melakukan ulasan tentang fasa tunggal dan dua fasa terhadap penurunan tekanan diserpentine saluran mini. Ketidaksamaan dalam geometri serpentine saluran mini pada tekanan fasa tunggal dan dua fasa dilakukan pengkajian terhadap penurunan tekanan dari efek pola aliran dan jari-jari kelengkungan. Penyebab terjadi adanya gesekan pada aliran fasa tunggal sebanding sesuai dengan literatur pada saat melalui saluran mini. Perubahan dari aliran fasa tunggal terhadap aliran dua fasa mengalami perpanjangan hasil sehingga diperlukan korelasi empiris saat penurunan tekanan pada konfigurasi lurus dan serpenti. Identifikasi terhadap wilayah serpenti dengan karakteristik gradien tekanan terjadi perbedaan antara pola aliran dan luas transformasi gelembung.

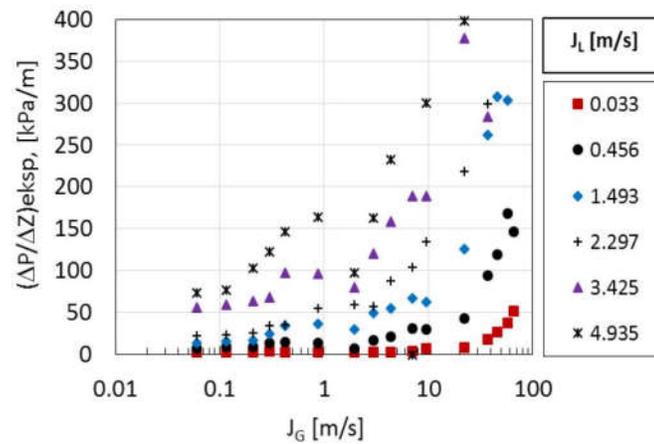
Belchi dkk. (2014) melakukan penelitian terhadap penurunan tekanan akibat adanya gesekan pada aliran dua fasa kondensasi eksperimental dalam saluran tabung pipa mini. Diameter tabung berukuran 1,16 (mm) dengan R123yf, R134A dan R32. Hasil dari pengujian menunjukkan adanya impresi suhu saturasi, kecepatan massa, kualitas uap dan karakteristik cairan terhadap gradien tekanan pada saluran tabung mini. Dapat disajikan dengan model korelasi baru menunjukkan nilai MARD 8,32% dari korelasi terbaik dengan 34% lebih rendah. Dari keseluruhan data yang didapatkan dengan korelasi tersebut nilai MRD 0,29 %.

Penelitian dengan metode pendekatan umum oleh Mudawar & Kim (2013) mengestimasi adanya penurunan tekanan gesek pada aliran dua fasa jenuh mendidih dengan pipa *chanel* mini dan mikro. Penurunan tekanan dan koefisien perpindahan panas pada saluran mini atau mikro bersifat termofisika yang terdapat perbedaan dan tertariknya aliran secara praktis. Dengan memprediksi gradien tekanan pada 2378 titik dengan 16 sumber termasuk metode baru dalam aliran jenuh mendidih dalam 9 cairan yang beroperasi. Memiliki diameter hidrolis 0,349-5,35 (mm) berkecepatan massa 33-2738 ($\text{kg/m}^2\text{dtk}$) dengan penurunan tekanan 0,005 sampai 0,78. Metode yang digunakan termasuk kategori baru dari sebelumnya tanpa fluida mendidih dengan hasil nilai MAE 17,2% secara keseluruhan.

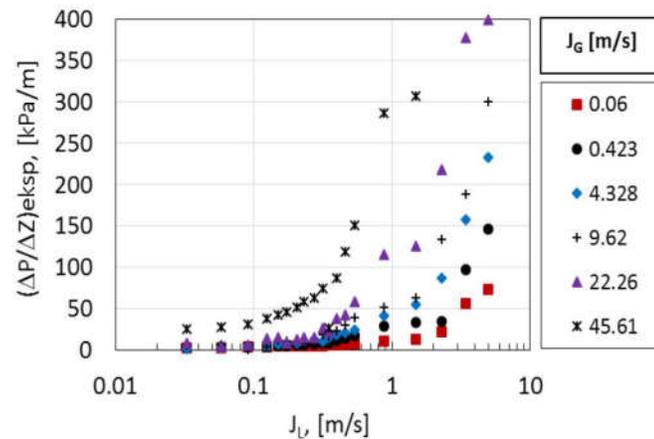
Sudarja dkk. (2014) melakukan suatu investigasi penelitian pada pola aliran dua fasa gas cairan dengan berukuran pipa mini horizontal. Beberapa saluran seperti saluran mini, kapiler, mikro dan nano memiliki karakteristik yang berbeda antara aliran dua fasa dengan pipa kecil dan pipa saluran konvensional. Perubahan zat cair-gas (fasa) dan proses sistem air-gas yang mengalir (hidrodinamika) aliran dua fasa tidak berlaku untuk saluran pipa kecil terhadap literatur-literatur yang berhubungan dengan terjadinya *pressure drop* serta perpindahan kalor. Maka dari itu dibutuhkan pengkajian dan investigasi pada pola aliran dua fasa cairan dan gas dengan pipa mini. Dengan dilakukannya percobaan pengujian terhadap pola aliran dan peta aliran pada pipa mini bertujuan agar didapatkan data primer dari pola dan peta aliran. Diameter dari seksi uji sebesar 1,6 (mm) berbentuk pipa kaca kapiler dengan posisi horizontal bercampur antara gas dan cairan dengan udara kering dan air memiliki kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,08-64,42 (m/s) dan kecepatan superfisial cairan (J_L) = 0,02-3,09 (m/s). Hasil yang didapat dari penelitian terhadap pola aliran yaitu berupa *slug*, *slug anular*, *anular*, *wavy anular*, *churn* dan *bubbly* mengindikasikan hasil tersebut paling mendekati kemiripan terhadap penelitian peta yang dilakukan oleh Triplett dkk. (1999a).

Kemudian penelitian investigasi berlanjut dilakukan oleh Sudarja dkk. (2016) tentang karakteristik gradien tekanan aliran dua fasa dengan udara dan campuran air dan gliserin 20% pada pipa berukuran mini terhadap horizontal.

Pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.2(a) dan 2.2(b) tentang impresi dari J_G dan J_L terhadap *pressure gradient*. Pengujian menggunakan seksi uji dengan bahan pipa kaca tabung berdiameter dalam sebesar 1,6 (mm). Pengujian menggunakan kecepatan *superfisial* gas sebesar 0,025-66,3 (m/s) dan kecepatan *superfisial* cairan/*liquid* sebesar 0,033-4,935 (m/s). Kesimpulan dari investigasi yang dilakukan menunjukkan gradien tekan sangat dipengaruhi dari besarnya kombinasi dari *superfisial* gas dan *superfisial* cairan/*liquid*. Dengan demikian semakin tinggi nilai J_G yang digunakan maka akan didapatkan peningkatan nilai dari gradien tekanan dan semakin tinggi nilai J_L yang digunakan maka akan didapatkan pula kenaikan nilai dari gradien tekanan.



Gambar 2. 2 Efek J_G terhadap nilai *pressure gradient* setiap variasi J_L (Sudarja dkk. 2016)



Gambar 2. 3 Efek J_L terhadap nilai *pressure gradient* setiap variasi J_G (Sudarja dkk.2016)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Teori Umum Aliran Dua Fasa

Aliran dua fasa merupakan aliran dengan multifase, yaitu suatu aliran campuran dari fasa antara gas dan *liquid*. Aliran multifase terdiri dari beberapa campuran antar fasa padat, cair dan gas. Untuk menganalisis aliran dua fasa dapat digunakan metode paling sederhana ialah dengan model aliran homogen meskipun masih ada metode model aliran terpisah. Parameter dasar yang dapat dipelajari untuk melakukan suatu penelitian atau investigasi pada aliran dua fasa meliputi pola aliran, fraksi hampa dan gradien tekanan (*pressure gradien*).

2.2.2 Tinjauan Tentang Fasa

Fasa merupakan paduan kimia dan sifat fisika yang terbagi atas kesamaan dari komposisi yang bisa dipisahkan secara mekanik. Suatu sistem atau komposisi dengan bagian daerah sama terhadap kandungan cairan dan uap yang dimilikinya. Pada fasa uap untuk semua bagian kerapatan uapnya bersifat serba sama. Demikian juga dengan kerapatan pada fasa cair bersifat serba sama, namun untuk nilai kerapatan antara keduanya uap dan cair berbeda.

Kombinasi yang terbentuk dari struktur gas memiliki sifat fasa tunggal terhadap kesetimbangan yang dikarenakan gas beracun sebagai homogen. Proses perubahan fasa dari gas menjadi padat, fasa cair menjadi gas dan fasa padat

menjadi cair atau masing-masing sebaliknya terjadi fenomena dimana akan saling mendapatkan atau melepaskan energi. Jarak dan susunan antar molekul yang paling tidak beraturan dan acak karena selalu bergerak adalah fasa dari gas sementara untuk fasa cair bersifat jarak tiap molekulnya besar dan jauh.

2.2.3 *Pressure Drop* Aliran Dua Fasa

Pressure drop merupakan penurunan tekanan di dalam sistem pada satu titik ke titik lain dengan tekanan yang lebih rendah. Hal tersebut mengalami perubahan/penurunan tekanan terhadap per satuan panjang sepanjang pipa aliran. Penurunan tekanan sering terjadi pada pipa aliran fluida pada aliran dua fasa dari dua titik berbeda dalam satu sistem yang sama melainkan adanya perbedaan tekanan dari yang tinggi ke yang lebih rendah. Pengaruh terbesar dari perubahan tekanan pada fluida adalah nilai dari *specify gravity* dari sifat fluida yang di gunakan. Variasi dari energi kinetik dan energi potensial suatu aliran mengakibatkan terjadinya *pressure drop* total. Berikut ini persamaan dari ΔP_{total} .

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{static} + \Delta P_{mom} + \Delta P_{frict} \quad (2.1)$$

Berikut *pressure drop static* homogen pada fluida aliran dua fasa :

$$\Delta P_{static} = \rho_H g H \sin \theta \quad (2.2)$$

Nilai dari ketinggian vertikal dilambangkan dengan H, sudut dengan sumbu horizontal dengan simbol θ , kemudian kepadatan homogen dengan simbol ρ_H :

$$\rho_H = \rho_L (1 - \varepsilon_H) + \rho_G \varepsilon_H \quad (2.3)$$

Berikut persamaan kualitas nilai x terhadap fraksi hampa homogen, cairan, dan gas masing-masing dengan simbol ε_H , ρ_L , ρ_G :

$$\varepsilon_H = \frac{1}{1 + \left(\frac{u_G(1-x)\rho_G}{u_L x \rho_L} \right)} \quad (2.3)$$

Berikut persamaan momentum *pressure gradient* per satuan panjang tabung. Dengan simbol untuk *ratio* kecepatan ialah u_G/u_L :

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{mom} = \frac{d(\dot{m}_{total}/\rho H)}{dz} \quad (2.4)$$

Persamaan suatu saluran aliran stabil terhadap luas penampang konstan. Dengan penurunan tekanan dengan fungsi dari faktor gesekan disimbolkan (f_p) :

$$\Delta P_{frict} = \frac{2f_{tp}L\dot{m}_{total}^2}{d_i\rho_{tp}} \quad (2.5)$$

Berikut ini bilangan *reynolds* pada persamaan *blasius* untuk faktor gesekan yaitu :

$$f_{tp} = \frac{0,079}{Re^{0,25}} \quad (2.6)$$

Bilangan *reynolds* :

$$Re = \frac{\dot{m}_{total}d_i}{\mu_{tp}} \quad (2.7)$$

Dimana Re = Bilangan *Reynolds*

\dot{m}_{total} = Total kecepatan massa

d_i = Diameter pipa

μ_{tp} = Kualitas rata-rata viskositas

2.2.4 Kecepatan Aliran

Kecepatan superficial merupakan suatu rasio laju aliran *liquid* atau gas seluas total dari seluruh area melintang. Terdapat 3 macam jenis sifat dari suatu kecepatan *superficial* meliputi *superficial* campuran, *liquid* dan gas dengan simbol masing-masing dari campuran atau sebagai dari penjumlahan terhadap kecepatan *superficial* antar *liquid* dan gas yaitu VM atau JM, kemudian simbol VSL untuk cairan (JL), simbol VSG untuk gas (JG).

1. *Liquid Superficial Velocity* (J_L)

$$J_L = \frac{Q_L}{A} \quad (2.8)$$

2. Gas Superficial Velocity (J_G)

$$J_G = \frac{Q_G}{A} \quad (2.9)$$

Keterangan :

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

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

Q_L = Debit aliran cairan pada pipa (m³/s)

Q_G = Debit aliran gas pada pipa (m³/s)

A = Luas area penampang pipa (m²)

2.2.5 Pengukuran Perbedaan Tekanan

Alat yang digunakan pada saat pengujian untuk mengetahui perbedaan tekanan antara sisi masuk dan keluar pada seksi uji yaitu MPX. Pada saat pengujian aliran dua fasa alat yang digunakan berupa Arduino dan MPX dengan tipe MPX-5700DP. MPX dihubungkan pada arduino untuk menampilkan sinyal supaya data dapat terekam oleh komputer. Data tersebut kemudian diolah dengan hasil yang didapat berupa grafik menggunakan *microsoft excel*.

2.2.6 Viskositas fluida

Fluida ideal ialah fluida atau cairan tidak bisa bertahan pada tegangan geser (*shear stress*) yang diterima oleh fluida sendiri. Sedangkan viskositas fluida merupakan dimensi dari besarnya kemampuan untuk menahan atau menghambat suatu aliran terhadap perubahan bentuk, dimensi dan posisi terhadap tegangan yang diterima, yaitu tegangan geser atau tarik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai viskositas dari fluida yang semakin tinggi akan mempengaruhi dari laju gerak fluida tersebut. Sedangkan, untuk nilai viskositas fluida yang semakin kecil maka laju gerak fluida akan menjadi lebih mudah.

2.2.7 Tinjauan Gliserin

Gliserin merupakan cairan dengan karakteristik bersifat kental, tidak berbau dan tidak dominan berwarna. Dengan demikian cairan ini sangat bagus untuk di padukan dengan air untuk menjadi larutan. Karena Gliserin memiliki sifat senyawa gliserida yang paling sederhana. Campuran tersebut sangat mudah terlarut dalam air dan alkohol sehingga sangat menguntungkan apabila akan memvariasikan larutan gliserin-air dengan berbagai nilai dari viskositas cairan. Tegangan permukaan dari campuran tersebut dapat terjaga dengan konstan. Apabila gliserin dan air sudah terpadu menjadi larutan, molekul-molekul pada ikatan hidrogen akan mengalami patahan-patahan yang mengakibatkan tidak terjadinya struktur kristal yang dominan.