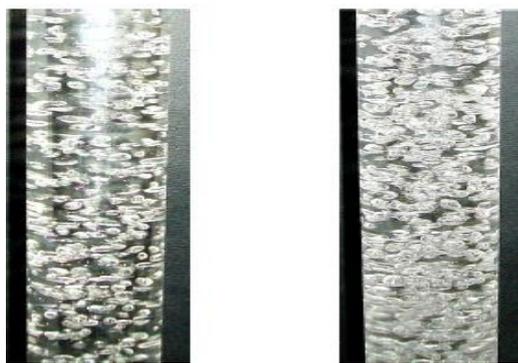


BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

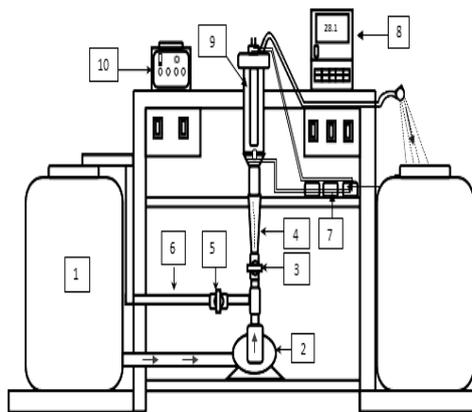
Adiwibowo (2010) melakukan penelitian tentang saluran pipa vertikal yang akan sering dipakai untuk penghubung pipa. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pipa vertikal terhadap karakteristik flow patern pada aliran dua fase gas-cairan. Penelitian yang dilakukan secara eksperimental menggunakan pipa transparan dengan diameter dalam 36 mm pada pipa vertikal serta air sebagai fluida kerja cairan dan udara sebagai fluida kerja gas. Variasi yang dilakukan adalah kecepatan superficial cairan antara dari 0,3 – 0,5 m/s dan Δp adalah 0,05 – 0,2 m/s . Visualisasi flow patern pada pipa vertikal menggunakan kamera digital. Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa aliran dua fase gas cairan yang melewati pipa vertikal terjadi perubahan karakterisitik flow patern yang dipengaruhi oleh kecepatan superficial cairan dan kualitas volumetrik gas. Pada setiap kecepatan *superficial* cairan untuk kualitas volumetrik gas menengah (medium) terjadi *homogeneous bubbly flow* dan *dense bubbly flow* untuk kisaran kualitas volumetrik gas yang tinggi.



Gambar 2.1. Visualisasi dari *bubbly flow* pada pipa uji vertikal dengan ketinggian 0,35 m di atas *bubble injector* untuk $Re_{SL} = 13497$ ($U_{SL}=0,3$ m/s) (Adiwiobowo, 2010).

Putro (2011) melaukan penelitian untuk mengetahui hubungan perubahan debit air, debit udara, dan fluks kalor terhadap koefisien

perpindahan kalor. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air dari bawah dan menginjeksikan udara dari bawah dalam bentuk gelembung-gelembung udara. Seksi uji dibuat dari pipa akrilik dengan diameter luar 70 mm, diameter dalam 60 mm, dan panjang 210 mm agar bentuk gelembung udara dan aliran air bisa dilihat. Untuk mengukur temperatur dinding dipasang dua titik thermokopel pada bagian luar dinding, sedangkan temperatur fluida diukur dengan memasang thermokopel disepanjang pipa uji. Di dalam pipa akrilik dipasang pemanas air (*heater water*) dengan diameter tabung imajener 50 mm, panjang 180 mm dengan daya 1000 watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor eksperimen meningkat dengan meningkatnya debit udara dan menurun dengan meningkatnya debit air. koefisien perpindahan kalor tertinggi sebesar $4340,602 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ pada fluks kalor listrik $29582,448 \text{ W/m}^2$, debit air 3 lpm dan debit udara 9 lpm.



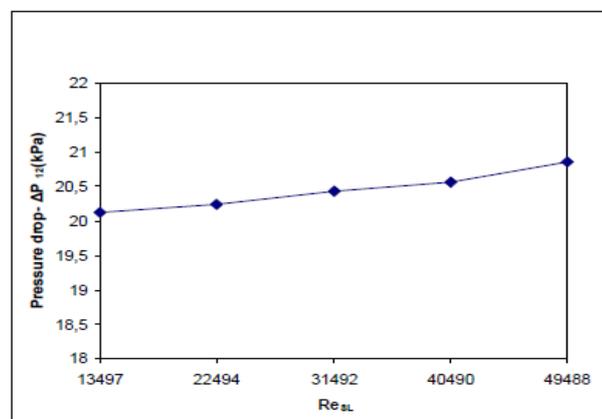
Keterangan gambar:

1. Tanki air,
2. Pompa air,
3. Katub masuk,
4. *Flow meter*,
5. Katub keluar,
6. Pipa pvc,
7. Aerator,
8. Thermometer digital,
9. Alat eksperimen,
10. *Voltageregulator*.

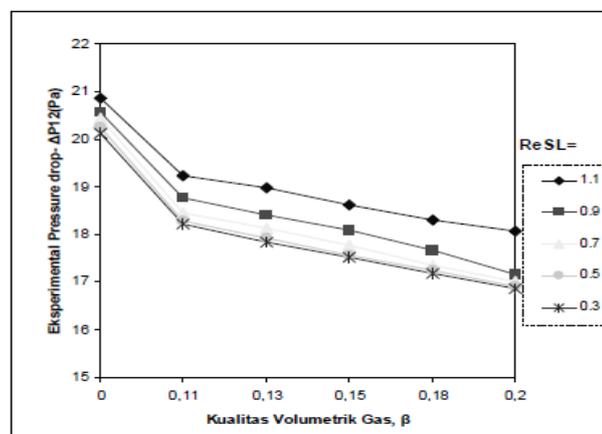
Gambar 2.2. Skema Instalasi Percobaan (Putro, 2011).

Adiwibowo (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan pipa vertikal terhadap karakteristik *pressure drop* pada aliran dua fase gas-cairan. Penelitian yang dilakukan secara *eksperimental* menggunakan pipa transparan dengan diameter dalam 36 mm dan panjang 200 mm pada pipa vertikal serta air sebagai fluida kerja cairan dan udara sebagai fluida kerja gas. Variasi yang dilakukan adalah kecepatan *superficial* cairan antara dari 0,3 m/s – 0,11 m/s dan β adalah 0,05 – 0,2. Pengukuran *pressure drop*

pipa vertikal diukur dengan menggunakan manometer U. Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa *pressure drop* aliran satu fase pada pipa vertikal akan semakin meningkat dengan semakin besar bilangan *Reynolds superficial* cairan (Re_{SL}). Sedangkan *pressure drop* pada aliran dua fase lebih rendah dibanding aliran satu fase. Untuk aliran dua fase dengan peningkatan bilangan *Reynolds superficial* gas (Re_{SG}) atau semakin tinggi kualitas volumetrik gas (β) maka *pressure drop* di bidang uji vertikal menurun pada setiap bilangan *Reynolds superficial* cairan (Re_{SL}).

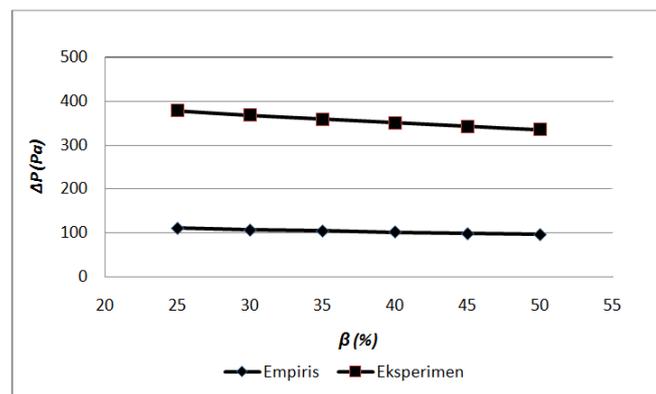


Gambar 2.3. Grafik Pressure drop dengan Re_{SL} pada pipa vertikal pada aliran dua fase (Adiwibowo, 2010).

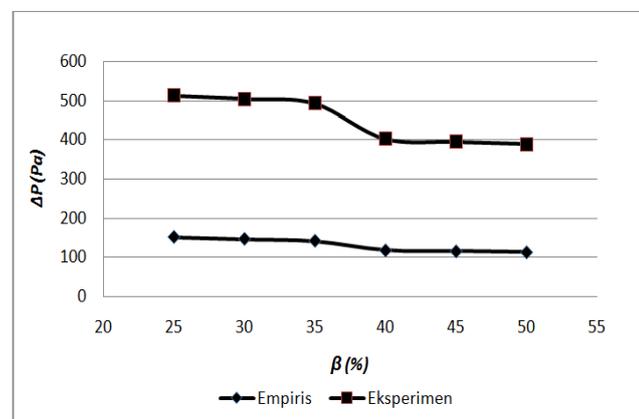


Gambar 2.4. Grafik Eksperimental Pressure Drop aliran dua fase pada kualitas volumetrik gas (β) dengan variasi Re_{SL} ($Re_{SG} = 0$ adalah satu fase – hanya air) (Adiwibowo, 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Nugraha, dkk (2014) simulasi dari komputasi dinamika fluida dilakukan dengan software ANSYS FLUENT 14.5 melalui pemodelan di bagian uji belokan 90° untuk melihat pengaruh proporsi volumetrik udara. Penelitian ini dilakukan dengan kondisi temperatur air 20°C dan tekanan 1 atmosfer. Perhitungan *pressure drop* dihitung dengan menggunakan korelasi *Lockhart-Martinelli* yang terdiri dari *acceleration*, gravitasi, dan tekanan statis. Berikut data tetap yang telah diketahui untuk proses perhitungan *pressure drop*. Pipa yang digunakan berdiameter dalam (D) $0,029\text{ m}$, luas penampang pipa (A) : $0,00066\text{ m}^2$, Radius belokan 90° (R) : $0,02\text{ m}$, Densitas udara (ρ_G) : $1,21\text{ kg/m}^3$. Densitas air (ρ_L) : 998 kg/m^3 .

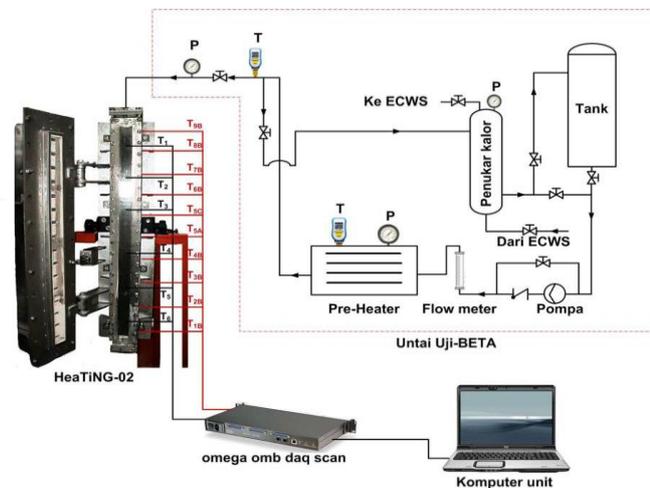


Gambar 2.5. Grafik Hubungan Proporsi Volumetrik Udara (β) terhadap *Pressure Drop* pada $v_{SG} 0,025\text{ m/s}$ (Nugraha, 2014).



Gambar 2.6. Grafik Hubungan Proporsi Volumetrik Udara (β) terhadap *Pressure Drop* pada $v_{SG} 0,050\text{ m/s}$ (Nugraha, 2014).

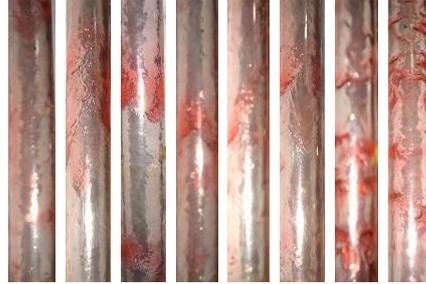
Kusuma (2012) dkk melakukan pengujian tentang fenomena perpindahan kalor pendidihan pada vertikal *rectangular narrow gap*, merupakan fenomena yang berhubungan dengan keselamatan reaktor nuklir. Pada gambar 2.7 yang memperlihatkan skema pada pangujian ini. Penelitian difokuskan pada perhitungan fluks kalor selama proses pendinginan di celah sempit rektanguler berukuran 1 mm, dengan suhu awal pelat rektanguler 600 °C dan variasi debit aliran air pendingin 0,1 – 0,3 liter/detik. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan fasilitas *heating-02* untuk celah rektanguler. Eksperimen dilakukan dengan menginjeksikan air pada debit aliran 0,1-0,3 liter/detik dengan suhu air 85 °C ke dalam celah rektanguler. Data hasil eksperimen digunakan untuk menghitung fluks kalor pendidihan dan koefisien perpindahan kalornya. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh fluks kalor kritis dan koefisien perpindahan kalor terhadap perubahan laju alirannya. Dari penelitian ini menunjukkan pendinginan pelat yang bersuhu 600 °C dengan debit aliran air pendingin 0,1 liter/detik, 0,2 liter/detik, dan 0,3 liter/detik menghasilkan nilai fluks kalor kritis sebesar 213,27 kW/m², 479,56 kW/m², dan 547,50 kW/m². Serta nilai koefisien perpindahan kalornya sebesar 1,0422 kW/(m². °C), 2,1059 kW/(m². °C), dan 2,2177 kW/(m². °C). Kesimpulan yang dapat di ambil pada penelitian ini adalah semakin besar debit aliran yang dialirkan ke permukaan pelat yang memiliki suhu sama pada vertikal *rectangular narrow gap*, maka akan menghasilkan kenaikan nilai fluks kalor kritis dan koefisien perpindahan panasnya.



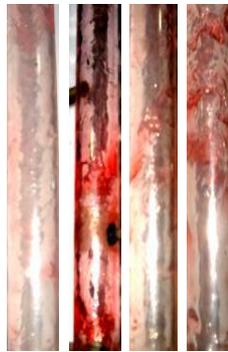
Gambar 2.7. Skematik Pengujian HeaTing-02 (Kusuma, 2012).

Penelitian untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamik, dan pola aliran pada aliran berlawanan arah udara-air dalam pipa vertikal telah dilakukan oleh Mahmuddin (2010). Pengukuran ketebalan film dengan menggunakan teknik konduktan dengan kawat paralel yang dipasang pada jarak (L) 4mm. Kawat ini terbuat dari bahan remanium dengan diameter (D) 1 mm. Salah satu ujung kawat tersebut dialirkan arus listrik dengan tegangan 5 volt. Untuk mendapatkan aliran berlawanan arah udara-air, maka air dialirkan dari atas, sedangkan udara diinjeksikan dari bawah secara aksial. Pengukuran ketebalan film dilakukan pada jarak (X) 400, 1600, dan 2400 mm dengan variasi angka *Reynold* air (ReL) 845-2446 dan laju injeksi udara dengan kecepatan 1.84-5.54 m/s dari injektor air. Pola aliran direkam dengan menggunakan kamera digital canon 4.0 MP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa grafik ketebalan film terjadi penurunan secara perlahan-lahan dengan meningkatnya laju aliran udara. Flooding diawali dengan ketidakstabilan pola aliran film dimulai dari sisi bagian bawah saluran, kemudian membentuk formasi gelombang-gelombang kecil dan pola aliran acak bergerak ke atas secara simultan. Saat *flooding* pola aliran ini berubah menjadi pola aliran *annular* mengalir ke bawah. Pada transisi aliran, dimana struktur aliran lokal turun drastis dan kemudian konstan. Pengukuran ketebalan film dari tiga titik

menunjukkan bahwa flooding terjadi lebih awal pada sisi bagian atas dekat sisi masuk air.



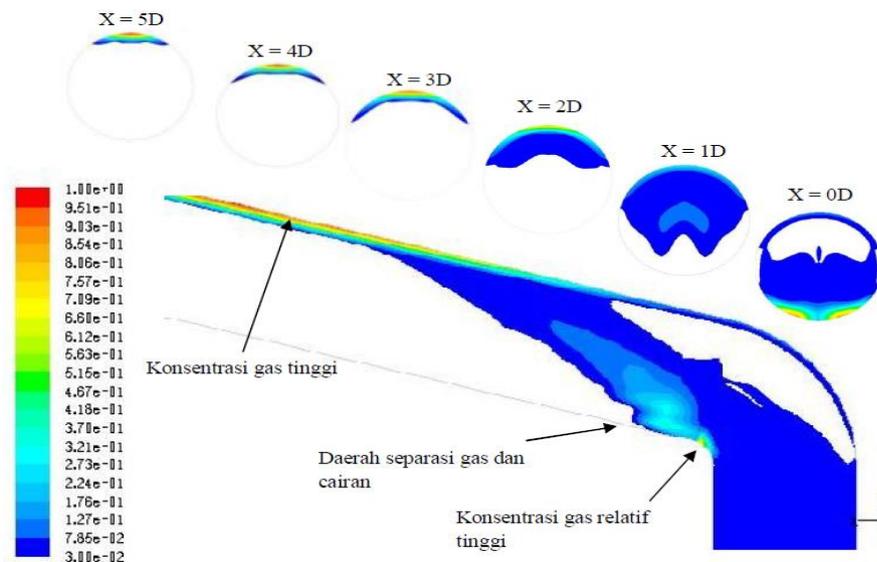
Gambar 2.8. Mekanisme *flooding* (Mahmuddin 2010).



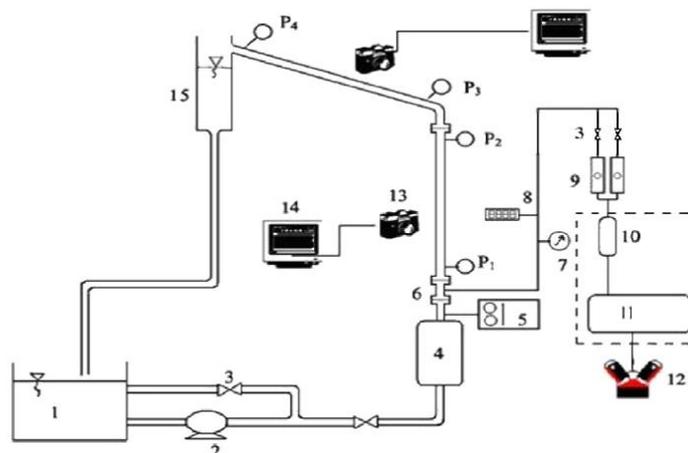
Gambar 2.9. Pola Aliran (Mahmuddin, 2010).

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 superficial cairan (U_{SL}) = 0,3 m/s – 1,1 m/s dan variasi volumetrik gas quality (β) = 0,03 m/s – 0,25m/s. Penelitian dilakukan secara *eksperimental* dan numerik dengan memvariasikan 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 keatas 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* akibat adanya tekanan yang tinggi pada *outer elbow*, sehingga pola aliran yang teramati pada pipa miring adalah *slug-bubbly flow* atau *plug-bubbly flow*.



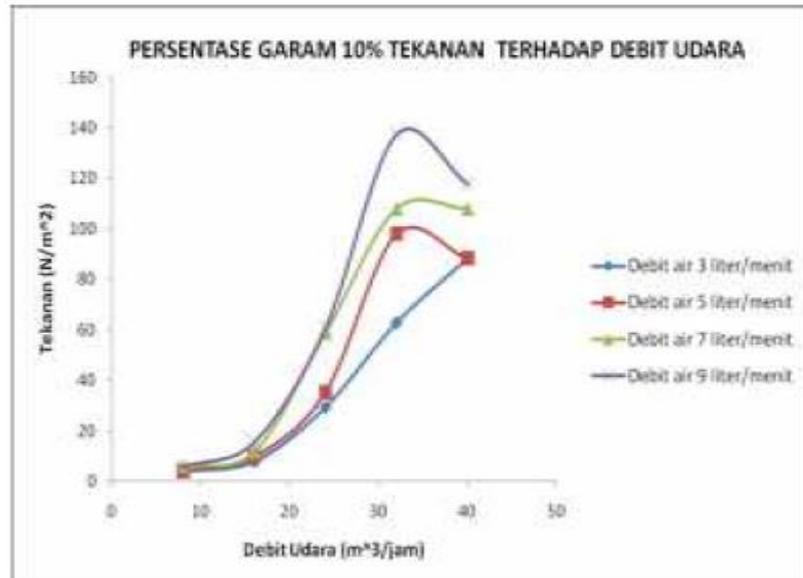
Gambar 2.10. Perbandingan dengan pemodelan CFD (Wiryanta, 2015).



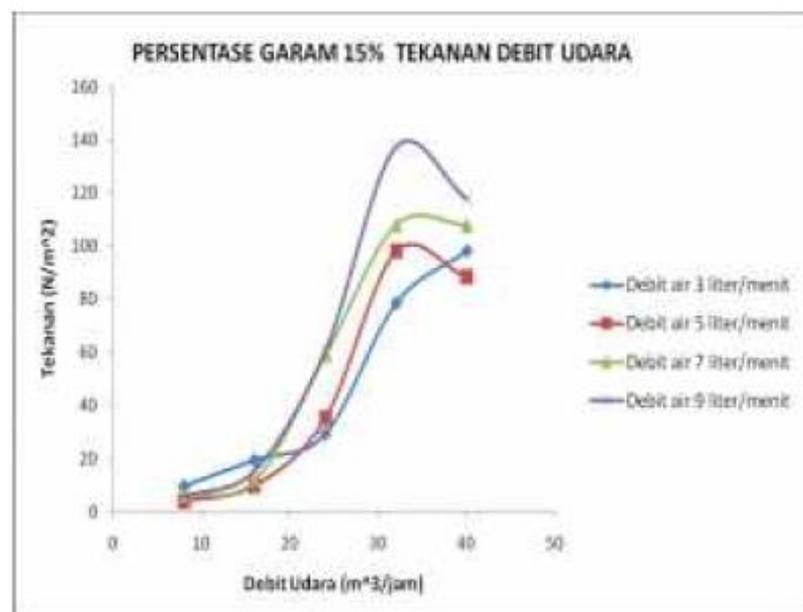
Gambar 2.11. Diagram Eksperimen Setup (Wiryanta, 2015).

Pengujian dilakukan oleh Widodo (2015) secara *eksperimental* menggunakan pipa transparan dengan diameter dalam 36 mm dan tebal 2 mm pada pipa vertikal serta larutan garam sebagai *fluida* kerja cairan dan udara sebagai *fluida* kerja gas. Persentase larutan garam divariasikan mulai dari 5%,

10%, 15%, dan 20% untuk mendapatkan karakteristik pressure drop pada masing-masing kondisi.



Gambar 2.12. Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 5% (Widodo, 2015).



Gambar 2.13. Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 10% (Widodo, 2015).



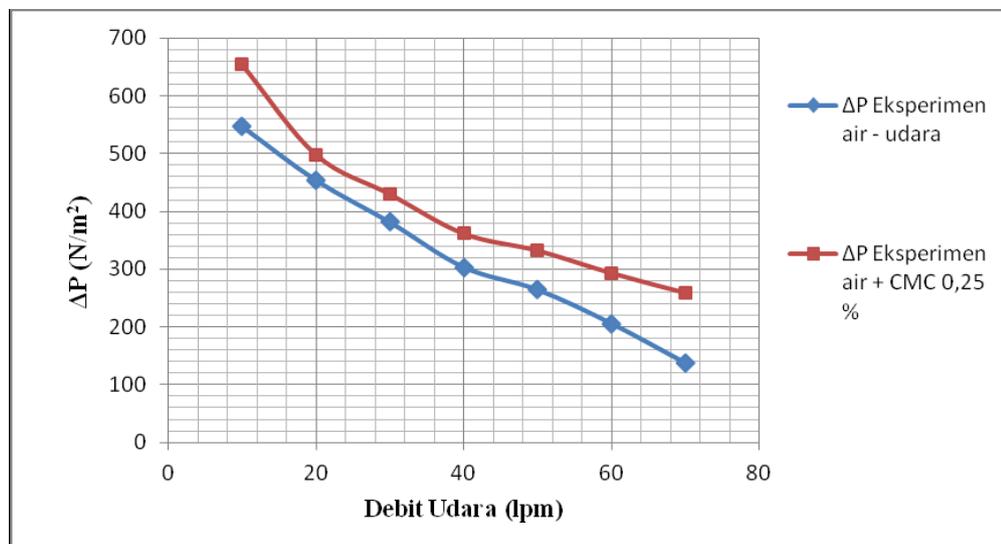
Gambar 2.14. Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 15% (Widodo, 2015).



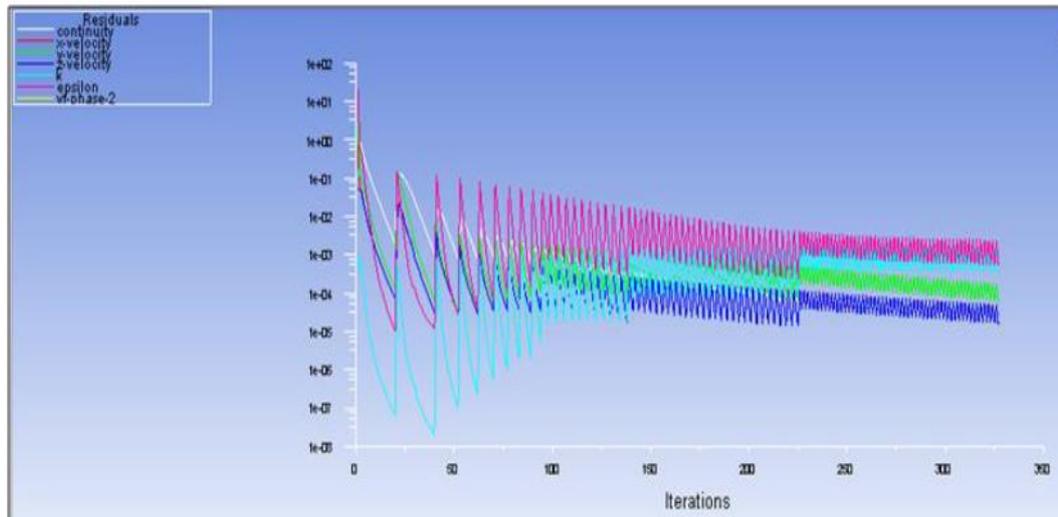
Gambar 2.15. Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 20% (Widodo, 2015).

Muhajir (2011) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh viskositas terhadap beda tekanan aliran dua fase (cair-gas) dalam pipa vertikal. Pipa yang digunakan jenis *flexiglass* dengan diameter dalam adalah

32 mm dan panjang 2000 mm. Dengan udara sebagai fluida gas serta dua fluida cair yang berbeda viskositasnya yaitu air dan air CMC 0,25%. Penelitian yang dilakukan secara eksperimental dengan mengalirkan fluida searah ke atas dengan variasi laju cairan 1,8 lpm - 10,5 lpm serta variasi debit udara mulai 10 lpm – 70 lpm dan beda tekanan ΔP di ukur dengan menggunakan manometer U dan menggunakan *ANSYS FLUENT* 13.0 untuk memvisualisasikan pola aliran serta distribusi tekanan yang terjadi. Hasil penelitian pada debit aliran air 1,8 lpm dan debit udara 10 lpm bahwa aliran air + CMC 0,25% udara menghasilkan nilai viskositas aliran homogen yang lebih besar yaitu 0,00279 kg/m.s dari pada nilai viskositas aliran homogen pada aliran air-udara yang bernilai 0,000663 kg/m.s sehingga nilai beda tekanan aliran air + CMC 0,25% udara cenderung lebih besar dan hasil beda tekanan pipa vertikal di masing-masing aliran yaitu akan memiliki kecenderungan turun pada saat debit cairan konstan dan debit udara semakin besar.

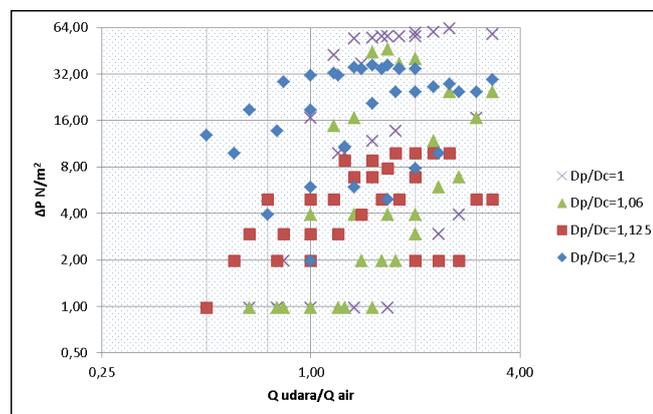


Gambar 2.16. Hubungan debit udara (Q_9) terhadap beda tekanan Eksperimen (OP Eksperimen) (Muhajir, 2011).

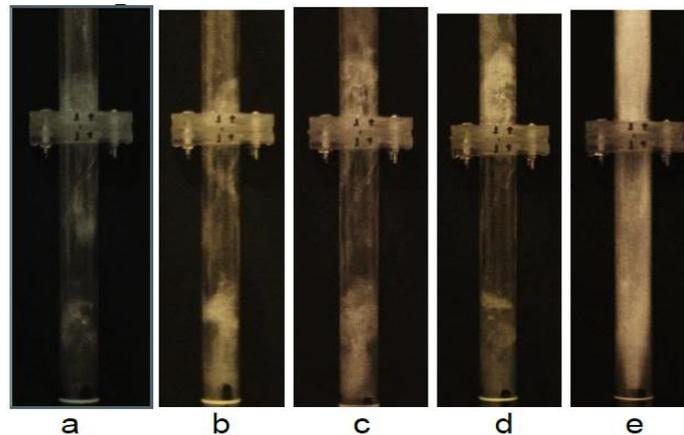


Gambar 2.17. Grafik hasil update 20 iterasi per 100 time step (Muhajir, 2011).

Metode penelitian yang dilakukan oleh Robbi (2013) adalah metode eksperimental dengan melakukan pengamatan pada seksi uji berupa hambatan yang divariasikan mulai dari hambatan cincin $Dp/Dc=1$, $Dp/Dc=1,06$, $Dp/Dc=1,125$, dan $Dp/Dc=1,2$ dimana aliran udara dan aliran air dibuat berlawanan arah, fluida cair akan dialirkan dari atas melewati tanki penenang air agar air yang masuk ke dalam pipa transparan lebih *smooth* dan fluida udara dari arah bawah setelah melewati injektor udara. Seksi uji penelitian ini menggunakan pipa transparan dengan diameter 36 mm ketebalan 2 mm. Diperoleh data dari hasil pengujian dari empat variasi terhadap terjadinya fenomena



Gambar 2.18. Gradien beda tekanan dan debit udara hambatan cincin (Robbi, 2013).



Gambar 2.19. Hambatan Cincin $D_p/D_c = 1,2$ (Robbi, 2013).

Pengujian yang dilakukan untuk mencari pola aliran *bubbly* pada pipa vertikal dengan kecepatan superficial cairan antara dari 0,3 – 0,5 m/s dan Δp adalah 0,05 – 0,2 m/s (Adiwibowo 2010). Untuk mengetahui perubahan debit air, debit udara, dan fluks kalor pada pipa akrilik dengan diameter luar 70 mm, diameter dalam 60 mm, dan panjang 210 mm (Putro 2011). Serta terdapat penelitian untuk mengetahui fenomena *pressure drop* pada pipa vertikal (Adiwibowo 2010). Untuk mengetahui fenomena *pressure drop* dengan membelokan 90° untuk melihat proporsi volumetrik udara dilakukan oleh (Nugraha dkk 2014). Terjadinya fenomena tentang perpindahan kalor pada pipa vertikal *retangular narrow gap* di lakukan oleh (Kusuma 2012). Untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamika dan pola aliran pada pipa berlawanan arah dilakukan dengan mevariasikan jarak (X) 400, 1600, dan 2400 mm (Mahmuddin 2010). Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui penggunaan elbow 75° pada pipa akrilik (Wiryanta 2015). Untuk mengetahui presentase larutan garam pada pipa vertikal dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20% (Widodo 2015). Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui viskositas beda tekanan cair-udara pipa vertikal serta dua fluida air yang berbeda viskositasnya yaitu air dan air CMC 0,25% (Muhajir 2011). Untuk melakukan pengamatan berupa hambatan dimana aliran udara dan air di buat berlawanan arah (Robbi 2013). Dari beberapa referensi diatas, maka perlunya dilakukan pengujian secara transien.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pola Aliran Dua Fasa

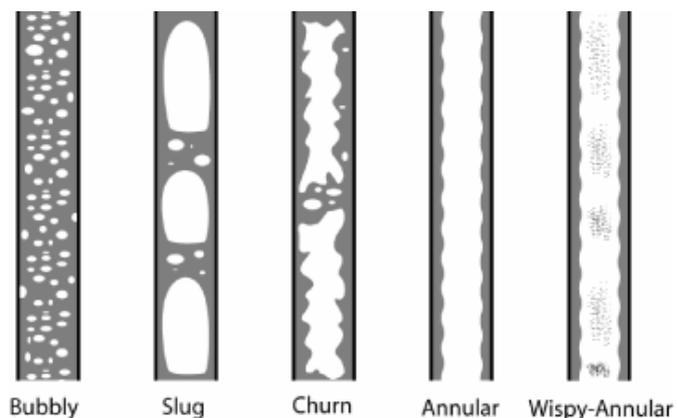
Pada aliran gas/uap dengan laju aliran yang kecil gas/uap cenderung untuk membentuk gelembung kecil (*bubble*) dan tersebar di dalam aliran minyak dan air. Pola aliran dengan kriteria ini kita sebut dengan *bubbly*. Dengan bertambahnya laju aliran dari gas, gelembung-gelembung kecil akan bersatu dan membentuk gelembung besar yang akan membuat rongga di dalam pipa aliran. Gelembung besar ini disebut juga 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 fasa 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 mereka 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 fasa merupakan kasus aliran yang paling sederhana dari sekian banyak aliran fasa. Aliran ini menggambarkan fasa yang terdiri dari substansi yang berbeda pada setiap alirannya. Aliran fasa yang berbeda ini banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun pada proses-proses industri. Secara umum pola aliran dua fasa gas-cairan pada pipa vertikal dan horisontal adalah sebagai berikut:

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 katung (*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.



Gambar 2.21. Pola Aliran pada Pipa Vertikal (J. Braz. Soc. Mech. Sci, 2005).

2. Pipa horisontal

a. Aliran Gelembung

Pada pola aliran ini terdapat banyak penyebarangelembung 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, dimana fase gas mengalir pada bagian atas tabung dan fase cair mengalir pada dasar tabung.

d. Aliran *Wavy* (aliran gelombang)

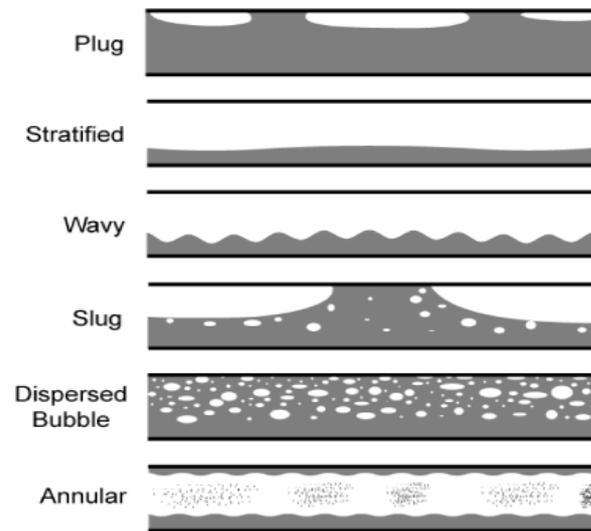
Jika kecepatan gas pada pola aliran *stratified* meningkat, gelombang terbentuk pada *interface*. Selanjutnya amplitudo gelombang lambat laun membesar diiringi meningkatnya kecepatan gas

e. Aliran Slug (aliran sumbat)

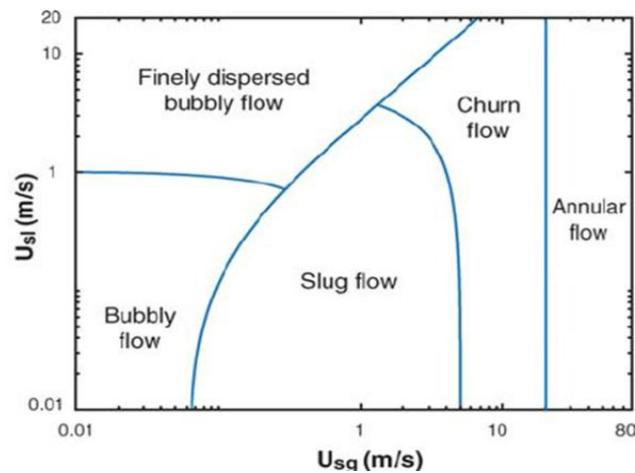
Jika laju aliran gas meningkat dalam aliran gelombang, gelombang cairan akhirnya menyentuh bagian atas permukaan dari tabung. Gelombang kemudian diangkat oleh gas yang berkecepatan tinggi sepanjang tabung dalam bentuk kantung yang berbusa.

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. Pada pipa horisontal, tebal lapisan cairan pada dasar tabung lebih tebal dibanding lapisan pada bagian atas tabung karena adanya pengaruh gravitasi.



Gambar 2.22. Pola Aliran pada Pipa Horizontal (J. Braz. Soc. Mech. Sci, 2005).



Gambar 2.20. Peta Pola Aliran Vertikal (Taitel et al, 1980).

2.2.2 Konsep aliran multifasa

1. Variable dasar aliran

Superficial velocity (kecepatan dangkal) *superficial velocity* cairan atau gas digambarkan sebagai rasio dari laju *volumetric flow* cairan atau gas terhadap area penampang melintang pipa total.

$$U_{sl} = \frac{Q_l}{A_f} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$U_{sg} = \frac{Q_g}{A_g} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

U_{sl} = kecepatan superficial cairan

U_{sg} = kecepatan superficial gas

Q_l, Q_g = laju aliran volumetrik cairan dan gas, secara berurutan

A_f, A_g = daerah penampang melintang aliran pipa

Kecepatan campuran. Kecepatan campuran suatu cairan digambarkan sebagai jumlah dari superficial gas dengan kecepatan cairan.

$$U_m = U_{sl} + U_{sg} = \frac{Q_l + Q_g}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

U_m = kecepatan campuran cairan

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

$$H_l = \frac{V_l}{V} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

H_l = hambatan cairan

V_l = volume bagian pipa yang diduduki oleh cairan

V = seluruh volume bagian pipa

Massa jenis campuran. Massa jenis gas dan zat cair secara homogen bercampur yang ditunjukkan seperti berikut :

$$\rho_m = \rho_l \cdot H_l + \rho_g (1 - H_l) \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

ρ_m = massa jenis campuran gas – zat cair

ρ_l, ρ_g = massa jenis zat cair dan gas

Viskositas campuran. Jika gas dan zat cair bercampur secara homogeny, viskositas dari campuran tersebut dapat dihitung seperti berikut :

$$\mu_m = \mu_l \cdot H_l + \mu_g (1 - H_l) \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

μ_m = viskositas campuran gas – zat cair

μ_l, μ_g = viskositas zat cair dan gas

2.2.3 Aliran Homogen

Aliran multifasa mengandung setidaknya dua atau lebih jenis fluida, seperti cair dan padat, gas dan padat, cair dan gas, dan dua cairan lain yang berbeda. Aliran satu fasa hanya mengandung satu jenis fluida, misalnya cair atau gas tanpa ada partikel lain. Aliran air, minyak, gas alami, udara, dan lain-lain merupakan contoh aliran satu fasa. Sedangkan air dengan partikel sedimentasi adalah aliran dua fasa. Sebuah aliran dikatakan incompressible (tak mampu mampat) jika pada suatu sistem aliran memiliki massa jenis tetap. Sebuah aliran dikatakan homogen jika densitasnya konstan sepanjang aliran. Sebuah aliran incompressible satu fasa merupakan aliran homogen, sedangkan aliran mampu mampat (compressible) merupakan aliran non homogen.

2.2.4 Aliran Terpisah

Aliran terpisah adalah aliran gas atau cairan yang mengalir melewati tubuh memisahkan dari permukaan tubuh dan membentuk daerah pusaran. Kasus yang khas dari aliran terpisah terjadi pada generatrices lengkung seperti bagian sayap atau bola. Kondisi yang diperlukan untuk munculnya aliran terpisah di sini adalah keberadaan lapisan batas kental di permukaan tubuh dan peningkatan tekanan dalam arah aliran. Dalam ketebalan batas-lapisan kecepatan aliran menurun dari nilai 0 kecepatan dari luar aliran pada batas terluar dari lapisan untuk $v = 0$, tetapi tekanan tetap sama seperti pada streaming luar eksternal, di mana kecepatan partikel hampir nol, energi kinetik partikel tidak cukup untuk mengatasi meningkatnya tekanan. Akibatnya, kecepatan ini menjadi sama dengan nol dan kemudian berbalik arah nya. Timbulnya aliran terbalik menyebabkan penebalan besar dari

lapisan batas dan pemisahan aliran dari dinding. Sebagai contoh, aerodinamis dari bola terbang pada kecepatan subsonik terutama ditentukan oleh aliran terpisah pada permukaan belahan belakang

2.2.5 Fasa

Fasa adalah salah satu keadaan zat yang terdapat berupa gas, cair maupun padat atau sistem yang dilingkupi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia dan struktur fisiknya. Perubahan fase harus terdapat energy yang di dapat atau dilepaskan. Perubahan fase itu berupa padat menjadi cair dan sebaliknya, cair menjadi gas dan sebaliknya, dan gas menjadi padat dan sebaliknya. Karakter dari fasa 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 fasa gas atau cair dan susunan molekul tidak teratur dan selalu bergerak bebas secara acak (*random*).