

VOID FRACTION DAN PEMETAAN POLA ALIRAN DUA FASE (AIR-UDARA) MELEWATI *ELBOW* 75° DARI PIPA VERTIKAL MENUJU PIPA MIRING 15°

I Kadek Ervan Hadi Wiryanta

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O Box 1064 Tuban, Badung – Bali
Phone: +62-361-701981
Email : ervanhw@gmail.com

Abstrak : Penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan *elbow* 75° dengan R/D tertentu terhadap karakteristik dari aliran dua fase (air-udara) yang mengalir di dalam pipa, yaitu pola aliran yang terjadi dan juga *void fraction*. Penelitian dilakukan secara eksperimental dan numerik dengan memvariasikan aliran pada pipa vertikal adalah *bubbly flow*. Penelitian secara eksperimental dilakukan menggunakan pipa transparan (*acrylic*) dengan diameter dalam 36 mm dengan panjang keseluruhan pipa 3000 mm dari arah vertikal menuju pipa miring melewati *elbow* 75° (R/D = 0,7). Fluida kerja yang digunakan adalah air dan udara, dengan variasi kecepatan *superficial* cairan (U_{SL}) antara 0,3 m/s - 1,1 m/s ($Re_{SL} = 13497 - 49488$) dan variasi *volumetric gas quality* (β) antara 0,03 – 0,25. Variasi ini ditujukan agar pola aliran pada pipa vertikal sebelum *elbow* adalah berupa *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*. Simulasi numerik dilakukan dengan CFD menggunakan Fluent 6.3 untuk membandingkan pola aliran yang terjadi. 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*.

Kata kunci : aliran dua fase, *global void fraction*, pola aliran, *elbow* 75°

VOID FRACTION AND FLOW PATTERN MAP OF AIR-WATER TWO PHASE FLOW THROUGH 75° ELBOW FROM VERTICAL TO INCLINED 15° PIPE

Abstract : The purpose of this experiment was to investigate the global void fraction and flow pattern map of two-phase flow (air-water) through elbow bend from vertical to incline pipe experimentally and numerically. The experiment was conducted in a test section made from acrylic pipe from vertical to incline 15° pipe through a 75° elbow bend. The inside diameter of pipe was 36 mm and the center bend radius to diameter ratio (R/D) was 0.7. Total length of test section was 3000 mm. The working fluids of the experiment were air and water. The variation of superficial liquid velocity was from 0.3 m/s - 1.1 m/s ($Re_{SL} = 13497 - 49488$) and volumetric gas quality was from 0.03 – 0.25. Those variations intended to make the flow pattern on vertical pipe upstream elbow is bubbly flow. Flow pattern visualization taken from high speed camera and the global void fraction investigated with pressure gradient method. Numerical simulation modeling used CFD Fluent 6.3 to compare the experimental flow pattern result. The result of global void fraction distribution showed the similarities with homogenous model, however the values was smaller than homogenous model. It was caused by the slip velocity between liquid and gas. The flow visualization pattern in inclined 15° pipe showed that the flow pattern was slug-bubbly flow or plug-bubbly flow.

Keyword: two-phase flow, global void fraction, flow pattern, 75° elbow.

I. PENDAHULUAN

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multi fase, dimana fenomena aliran dua fase ini banyak dijumpai pada dunia-dunia industri, seperti pada reactor nuklir, *heat exchanger*, dan juga sistem perpipaan dari industri pertambangan migas, *geothermal*, dan lain sebagainya. Pada sistem transportasi perpipaan penggunaan *elbow* tidak dapat dihindari dikarenakan faktor geografis di lapangan. Meskipun penggunaan *elbow* tersebut akan menyebabkan terjadinya separasi, *centrifugal acceleration*, *secondary flow* dan kavitasi.

Pada aliran dua fase, karakteristik alirannya jauh lebih kompleks dibandingkan pada aliran mono fase, dimana selain dipengaruhi oleh *Reynolds numbers*, pada aliran dua fase *pressure drop* juga dipengaruhi oleh interaksi dari fase-fase yang mengalir di dalamnya. Dimana akibat dari interaksi antar fase tersebut akan menyebabkan terjadinya pola aliran yang bermacam-macam. Pola aliran yang berubah-ubah ini akan menyebabkan perubahan pada *pressure drop*.

Banyak penelitian yang telah dilakukan yang berhubungan dengan pengaruh pola aliran dan *pressure drop* yang terjadi pada aliran dua fase, baik pada pipa vertikal maupun horizontal. Secara umum parameter-parameter yang diperhatikan antara lain debit fluida cair dan gas, pola aliran, tegangan geser antar fase dan juga konfigurasi pipa. Penelitian tentang *flow pattern*, *pressure drop* dan *void fraction* pada saluran horizontal dan miring *upward* aliran dua fase gas-cairan pada sebuah saluran *anular* kecil. *Slug/bubbly flow pattern* hanya ditemukan pada sudut kemiringan $\theta = 30^\circ$ dan 60° , sedangkan *slug flow pattern* hanya ditemukan pada saluran horizontal [1]. Penelitian aliran dua fase melewati belokan 90° pada pipa vertikal menuju pipa horizontal dengan diameter dalam pipa yang digunakan adalah 0,026 m. *Pressure drop* pada posisi *vertical inlet tangent* menunjukkan beberapa perbedaan yang signifikan pada pipa vertikal. Karena adanya *elbow* yang menyebabkan aliran *inlet* terhambat sehingga menaikkan tekanan dan jumlah fase *liquid* pada *vertical inlet riser* dan perbedaan struktur dari *flow regime* dibandingkan dengan pipa vertikal lurus tanpa adanya gangguan belokan [2]. Penelitian tentang karakteristik aliran dua fase yang melewati *elbow* 90° dari arah vertikal menuju horisontal. Rasio $R/D = 0,6$ dan diameter dalam pipa = 36 mm. Hasil penelitian menunjukkan *pressure drop* pada pipa vertikal semakin turun pada peningkatan *volumetric gas quality* (β) untuk kecepatan *superficial* cairan (U_{SL}) konstan. Pada *elbow*, *pressure drop* cenderung naik pada peningkatan *volumetric gas quality* (β) untuk kecepatan *superficial* cairan (U_{SL}) konstan, tetapi akan turun pada kecepatan *superficial* gas (U_{SG}) rendah. Untuk pipa horizontal, *pressure drop* cenderung naik pada *volumetric gas quality* (β) tinggi dengan kecepatan *superficial* cairan (U_{SL}) konstan [3]. Berbeda dengan penelitian pada konfigurasi pipa

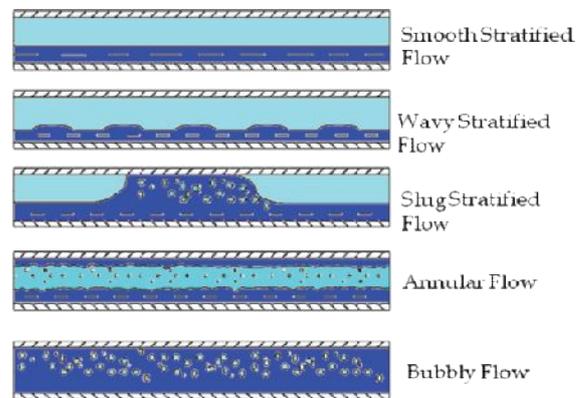
dengan sudut kemiringan 45° , pada *elbow* dan pipa miring menunjukkan terjadinya penurunan *pressure drop* dengan bertambahnya *volumetric gas quality* (β) untuk setiap bilangan *Reynolds superficial* cairan (Re_{SL}) konstan [4].

Berdasarkan uraian tersebut, maka menarik untuk dikaji tentang pengaruh penggunaan *elbow* 75° terhadap *global void fraction* juga pola aliran yang terjadi pada aliran dua fase *bubbly flow* air- udara dari pipa vertikal menuju ke pipa miring.

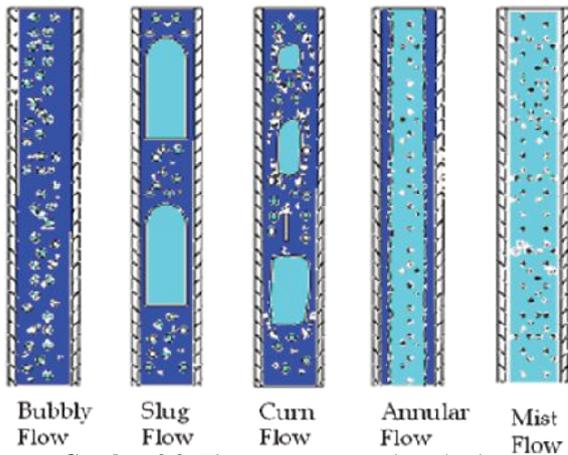
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pola Aliran Dua Fase

Ketika aliran multi fase mengalir di dalam sistem perpipaan secara simultan, perbedaan-perbedaan fase ini akan terdistribusi di dalam pipa dalam banyak konfigurasi aliran yang dikarenakan perbedaan *properties* dari fluida yang mengalir, geometri dan orientasi pipa, dan juga kecepatan aliran dari tiap-tiap fase tersebut. Konfigurasi aliran tersebut disebut dengan *Flow Regimes* atau *Flow Pattern*. *Flow regimes* yang terjadi memiliki perbedaan antara yang satu dengan yang lainnya karena adanya perbedaan *gas-liquid interface*. Mekanisme dari *mass*, *momentum* dan *energy transfer* di antara fase-fase pada *flow regime* akan berbeda pada setiap *flow regime* yang berbeda. Sehingga sangat penting untuk mengetahui perbedaan *flow regime* pada aliran horisontal dan vertikal.



Gambar 2.1 *Flow regime* gas – air pada pipa horizontal Sumber : Boyun Guo, et al. [5]



Gambar 2.2 Flow regime gas – air pada pipa vertikal. Sumber : Boyun Guo, et al. [5]

2.2 Global Void Fraction

Di dalam aliran dua fase, *volume fraction* yaitu volume suatu fase terhadap volume total campuran sering juga disebut sebagai *void fraction* untuk fase gas dan disebut juga *liquid fraction* untuk fase cair. Sehingga untuk aliran dua fase cair-gas, *void fraction* dapat dinyatakan sebagai :

$$\alpha_G = \frac{V_G}{V_{mix}} \tag{2.1}$$

$$\alpha_L = 1 - \alpha_G \tag{2.2}$$

Dimana :

- α_L = Liquid fraction
- α_G = Void fraction
- V_G = Volume fase gas (m³)
- V_{mix} = Volume *mixture* (campuran) (m³)

Untuk menentukan *global void fraction* secara eksperimen dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantara dengan menggunakan metode *pressure gradient*. Pada kondisi *steady*, *one dimensional vertical two-phase flow* aliran dianggap *bubbly flow* yang dapat dijadikan sebuah model *homogenous mixture flow*, *global void fraction* dapat diukur dari bentuk *two phase flow drop - ΔP*. [6]

Persamaan *pressure gradient* untuk *homogeneous model* yaitu:

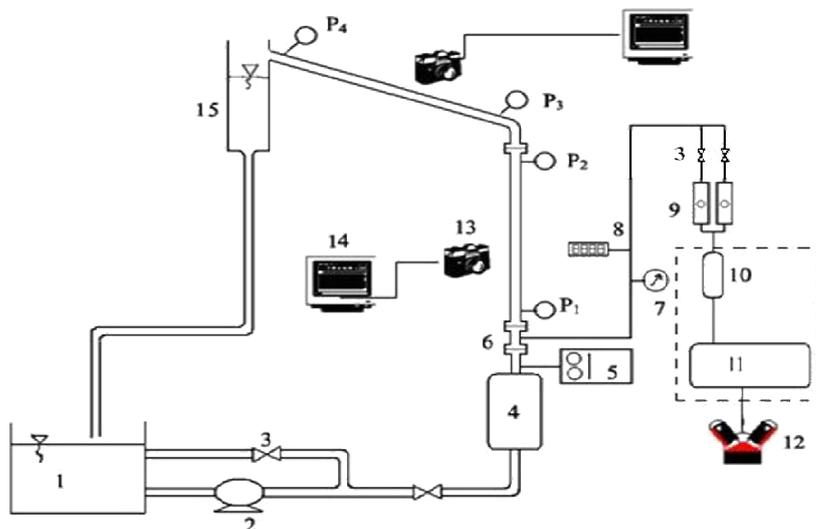
$$\Delta P_{total} = \Delta P_{static} + \Delta P_{friction} + \Delta P_{momentum} \tag{2.3}$$

Dengan mengasumsikan kondisi adalah *steady state*, maka *momentum pressure drop* dapat diabaikan. Karena kontribusi dari *frictional pressure drop* sangat kecil, maka ini dapat diabaikan juga. Sehingga *total pressure gradient* pada *homogeneous model* hanya *static pressure gradient* saja.

$$\frac{\Delta P_{total}}{\Delta Z} = \frac{\Delta P_{static}}{\Delta Z} \tag{2.4}$$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian secara eksperimen dilakukan dengan menggunakan *test section* dari bahan transparan (*acrylic*) baik untuk pipa vertikal, pipa miring dan juga *elbow 75°*. Tinggi pipa vertikal 2 m dan panjang pipa miring adalah 1 m. 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 *volumetric gas quality* (β) = 0,03 – 0,25. Udara dimasukkan ke dalam campuran melalui *annular air injector* pada bagian dasar *test section*. Pengukuran kecepatan cairan dilakukan dengan menggunakan *doppler meter*, dan debit udara diatur menggunakan *rotameter tipe pelampung*. Pengukuran penurunan tekanan dilakukan dengan memasang *pressure taps* pada pipa uji vertikal, *elbow 75°* dan sepanjang pipa miring yang terhubung dengan *Manometer type U*.



- Keterangan :
1. Tangki air
 2. Pompa
 3. Katup bypass
 4. Accumulator
 5. Doppler flow meter
 6. Annular air injector
 7. Pressure gauge
 8. Termometer digital
 9. Rotameter
 10. Dryer
 11. Tangki udara
 12. Kompresor
 13. Kamera digital
 14. Photo editing
 15. Gas-liquid separator

Gambar 3.1 Diagram Eksperimen Setup

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Global Void Fraction

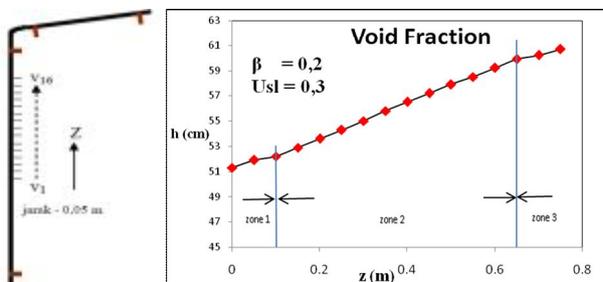
Untuk menghitung besarnya *global void fraction* dengan metode *pressure gradient*, maka pada *inlet test section* dipasang 32 buah *injector* kapiler untuk memproduksi gelembung-gelembung gas (*bubbles*) dengan ukuran diameter dalam lubang 710 μm (*injector* besar). Dari *injector* kapiler ini, dapat diproduksi *bubble* dengan ukuran diameter rata-rata ± 3 mm. Debit gas diukur dengan menggunakan rotameter. Selanjutnya, untuk mengukur pressure tap di 16 titik lokasi masing-masing dihubungkan dengan selang plastik. Keenam belas selang plastik tersebut dihubungkan menjadi satu membentuk pipa U ganda. Tinggi Δh diukur dengan pembacaan manometer, sehingga secara keseluruhan akan memberikan pengukuran *global void fraction* < α >.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran tinggi manometer untuk $U_{SL} = 0,3$ m/s dan $\beta = 0,2$

z (m)	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
h(cm)	51,3	51,9	52,2	52,9	53,6	54,3	55	55,8
z (m)	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
h(cm)	56,5	57,2	57,9	58,5	59,2	59,9	60,2	60,7

Dimana : z = tinggi pressure tap ($z_1 - z_{16}$)
 h = tinggi manometer ($h_1 - h_{16}$)

Bila disajikan dalam bentuk grafik, maka akan tampak seperti pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Ketinggian air pada manometer pada pengukuran global void fraction

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa, evolusi yang tidak lurus pada bagian bawah (zone 1) disebabkan karena

panjang masukan hidrodinamik aliran (*hydrodynamics entrance length*), sementara ketidak lurusan pada bagian atas (zone 3) dipengaruhi oleh kondisi keluaran pipa (*inlet elbow*), gradient tekanan yang diperhitungkan hanya dari bagian yang menunjukkan evolusi lurus yaitu (zone 2).

Untuk menentukan nilai *global void fraction* < α > pada aliran dua fase dapat dihitung dengan persamaan

$$\alpha = \frac{\Delta P_I - \Delta P_{II}}{\Delta P_I}$$

$$\alpha = \frac{\rho_L g h_1 - \rho_L g h_2}{\rho_L g h_1}$$

$$\alpha = \frac{h_1 - h_2}{h_1}$$

$$\alpha = \frac{\Delta h}{h_1} \tag{4.1}$$

karena $h_1 = \Delta Z$, sehingga persamaan 4.1 berubah menjadi :

$$\alpha = \frac{\Delta h}{\Delta Z} \tag{4.2}$$

Dimana: Δh = perbedaan tinggi manometer ($h_1 - h_2$) (m)
 ΔZ = perbedaan tinggi titik pressure tap ($Z_1 - Z_2$) (m)

Sehingga untuk $U_{SL} = 0.3$ m/s pada $\beta = 0.2$ dapat dihitung sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{\Delta h}{\Delta Z} = \frac{(h_{14} - h_3) / 100}{(Z_{14} - Z_3)}$$

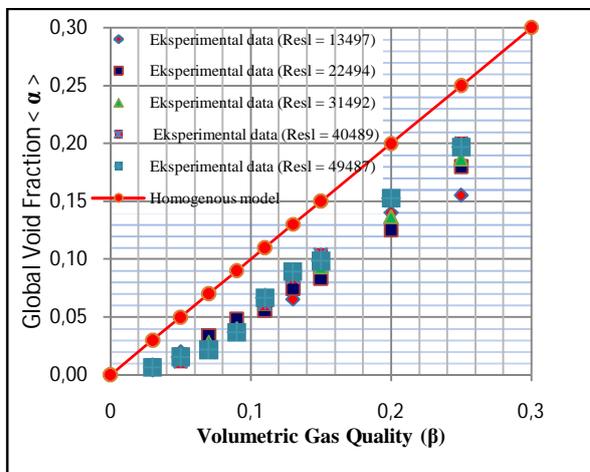
$$\alpha = \frac{(59,9 - 52,2) / 100}{(0,65 - 0,1)} = 0,14$$

Berdasarkan grafik ketinggian air manometer pada pengukuran global void fraction untuk $U_{SL} = 0,3$ m/s dan $\beta = 0,03-0,25$ seperti pada gambar 4.1 maka dapat ditentukan zona 2 dan dihitung nilai *global void fraction* untuk setiap nilai β seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan *global void fraction* untuk *Superficial Liquid Velocity* (U_{SL}) = 0,3 m/s

Tap	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	
Z(m)	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	
β	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	α
0.03	62	62	62.1	62.1	62.1	62.1	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.3	62.3	0.005
0.05	60.4	60.5	60.5	60.6	60.6	60.7	60.8	60.9	61	61	61	61.2	61.2	61.2	61.1	61.1	0.020
0.07	58.5	58.6	58.7	58.9	59	59.1	59.2	59.3	59.4	59.5	59.6	59.7	59.9	60.1	60.1	60.1	0.024
0.09	57	57.3	57.3	57.5	57.6	57.8	58	58.1	58.2	58.3	58.6	58.8	59.2	59.5	59.6	59.8	0.040
0.11	55.5	55.8	56	56.3	56.6	57	57.3	57.6	57.9	58.1	58.4	58.7	59	59.3	59.4	59.6	0.060
0.13	54.4	54.8	55	55.4	55.7	56	56.2	56.5	56.8	57	57.2	57.5	57.9	58.6	58.8	59.2	0.065
0.15	52.5	53.2	53.5	53.9	54.4	54.9	55.5	55.9	56.4	56.9	57.4	57.8	58.3	58.8	59.2	59.5	0.095
0.2	51.3	51.9	52.2	52.9	53.6	54.3	55	55.8	56.5	57.2	57.9	58.5	59.2	59.9	60.2	60.7	0.140
0.25	47.1	48	48.3	49.1	49.8	50.7	51.5	52.2	53.2	54.1	54.8	55.6	56.4	57.1	57.6	58.5	0.155

Untuk mengetahui keakuratan dari pengukuran *void fraction*, maka data *void fraction* hasil eksperimen dengan menggunakan metode *pressure gradient* akan dibandingkan dengan *homogenous void fraction* model ($\alpha = \beta$) seperti ditunjukkan pada gambar 4.2. Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai *global void fraction* meningkat dengan meningkatnya *volumetric gas quality* (β). Data eksperimen yang diperoleh memiliki kecenderungan tren yang sama dengan *homogeneous void fraction* tetapi nilainya lebih rendah dari pada *homogeneous void fraction*.



Gambar 4.2 Perbandingan eksperimental *global void fraction* dan *homogenous global void fraction* model

Tabel 4.3 Deviasi Pengukuran *Void Fraction* dari *Homogenous Model*

No.	β	U_{SL} (m/s)	Rata-rata Deviasi %
1	0,03	0,3 ~ 1,1	77,85
2	0,05	0,3 ~ 1,1	68,44
3	0,07	0,3 ~ 1,1	63,43
4	0,09	0,3~ 1,1	55,49
5	0,11	0,3~ 1,1	44,34
6	0,13	0,3~ 1,1	38,59
7	0,15	0,3~ 1,1	36,81
8	0,20	0,3~ 1,1	29,42
9	0,25	0,3~ 1,1	26,53

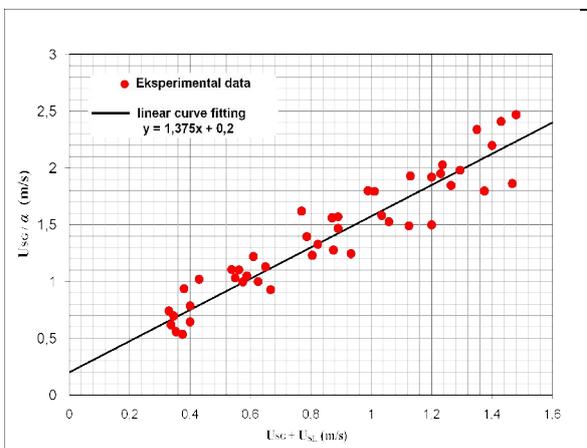
Meskipun data *void fraction* hasil eksperimen memiliki kecenderungan tren yang sama dengan *homogeneous void fraction* tetapi nilai deviasi berbeda-beda untuk setiap nilai *volumetric gas quality* (β), untuk $\beta = 0,3$ nilai deviasinya 77,85 % dan akan semakin turun dengan bertambahnya nilai β , seperti ditunjukkan pada tabel 4.3. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi *slip velocity* antara gas dan cairan. *Slip velocity* ini lebih berpotensi terjadi bila kualitas *volumetric gas* (β) kecil dan terjadi pada aliran pipa vertikal.

Untuk mengetahui keandalan dari metode pengukuran yang digunakan perlu dilakukan pengujian dengan cara membandingkan hasil pengukuran *global void fraction* dan sekaligus memeriksa karakteristik (*slip velocity, phase distribution profile*) dari banyaknya *bubbly flow* yang didapat dari metode *pressure gradient* tersebut dengan menggunakan *drift flux model* Zuber & Findlay (1965) yang menyatakan hubungan linear antara ordinat ($U_{SG} / \langle \alpha \rangle$) dengan ($U_{SG} + U_{SL}$) sebagai absis, secara umum dinyatakan sebagai berikut

$$\frac{U_{SG}}{\alpha} = C_0 (U_{SG} + U_{SL}) + W_{GJ} \quad (4.3)$$

dimana, C_0 adalah *distribution parameter* dan W_{GJ} adalah *drift velocity/slip*.

Data pengukuran *global void fraction* (α) pada Tabel 4.2 digunakan untuk mengetahui distribusi *bubble regime* dan *slip velocity* dengan menggunakan Zuber & Findlay model seperti pada gambar berikut

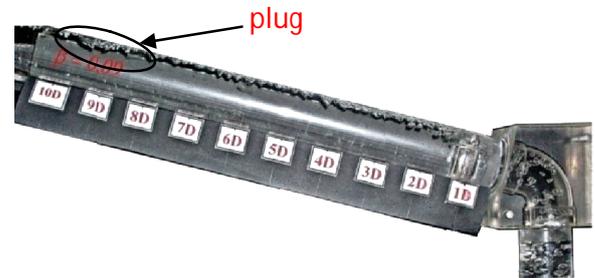


Gambar 4.3 Diagram Zuber & Findlay Eksperimen

Dari Gambar 4.3 diperoleh harga $C_0 = 1,375$ dan $W_{GJ} = 0,2$. Ternyata dengan injector kapiler yang digunakan didapat harga $C_0 > 1$, yang mana pada penelitian menurut Zuber & Findlay (1965), jika $C_0 > 1$ ini mempunyai arti bahwa dalam aliran yang diteliti, gelembung udara (*bubble*) lebih banyak terkonsentrasi pada daerah tengah pipa. *Drift velocity/slip* adalah $W_{GJ} = 0,2$ m/s dan menunjukkan bahwa terdapat slip tinggi antara fase liquid dan fase gas. Ini dapat menjelaskan faktor yang menyebabkan adanya penyimpangan antara *global void fraction* pada eksperimen terhadap *homogenous* model.

4.2 Pemetaan Pola Aliran

1. Pola aliran pada *elbow* sampai dengan jarak 10D outlet *elbow*.



Gambar 4.4. Visualisasi pola aliran downstream elbow 75° pada $U_{SL} = 0,3$ m/s, $\beta = 0,09$

Dari gambar 4.4 tersebut terlihat bahwa pada U_{SL} rendah, bubble akan bergerak ke arah outer dari elbow karena adanya gaya apung (*buoyancy force*) dari udara dimana densitas dari udara sangat kecil bila dibandingkan densitas cairan. Sehingga bubble akan mengalir pada bagian atas dai pipa miring, dan pada jarak 9D dari *outlet elbow* tampak terjadi koalisi dari *bubbles* sehingga pola aliran menjadi *plug-bubbly flow*.

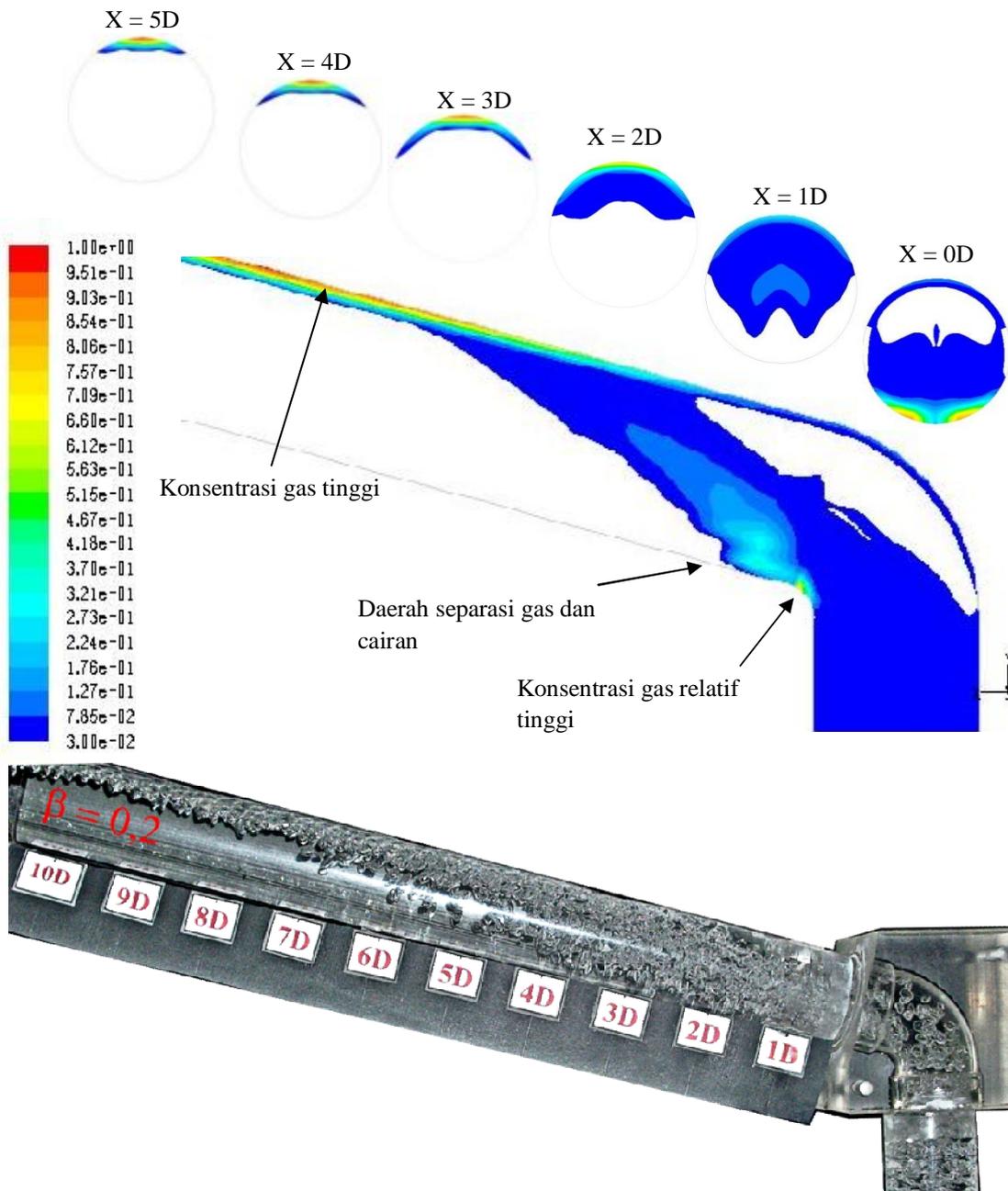
2. Pola aliran pada pipa miring setelah jarak 10D dari *elbow*.



Gambar 4.5. Visualisasi pola aliran setelah jarak 10D downstream elbow 75° pada $U_{SL} = 0,3$ m/s

Dari hasil visualisasi terlihat adanya perubahan pola aliran *bubbly* menjadi *slug bubbly flow*, dimana beberapa *bubbles* terlihat sudah berkoalisi dan cenderung untuk mengalir pada bagian atas pipa miring. Dengan bertambahnya *volumetric gas quality* (β) *bubbles* yang terbentuk semakin besar seperti pada $\beta = 0,11$, terlihat jelas bahwa pola aliran yang terjadi adalah *slug bubbly flow*.

3. Perbandingan dengan pemodelan CFD

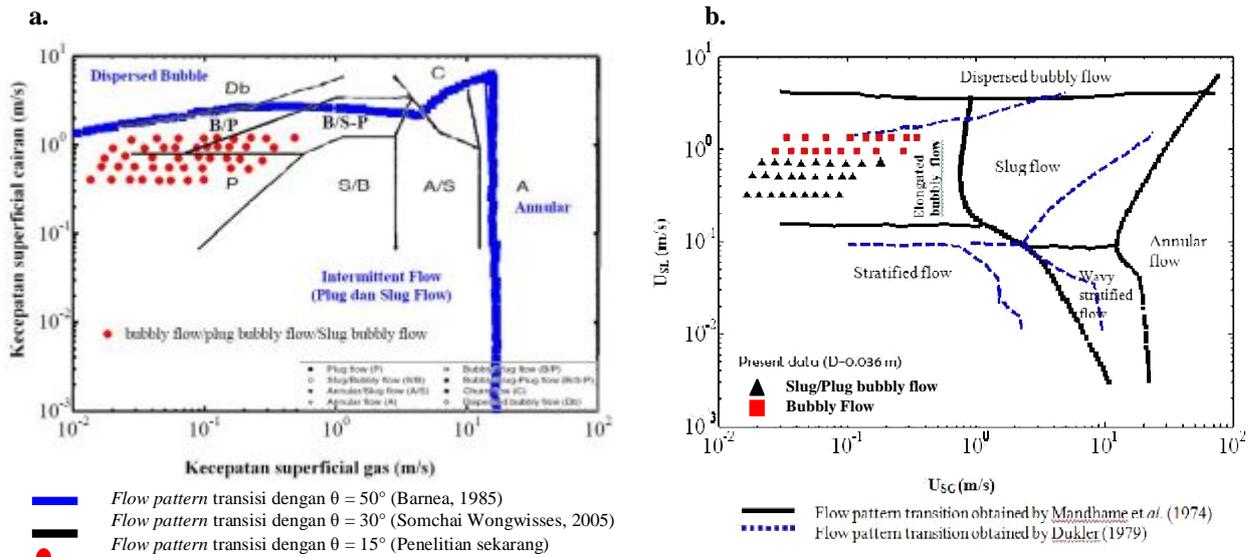


Gambar 4.6. Perbandingan visualisasi pola aliran dua fase upstream dan downstream elbow secara numerik dan secara eksperimental 75° pada $U_{SL} = 0,7$ m/s, $\beta = 0,2$

Dari perbandingan pola aliran tersebut terlihat kesesuaian antara hasil secara eksperimental maupun secara numerik dengan menggunakan CFD. Pada elbow terlihat bahwa distribusi bubbles akan cenderung pada daerah inner dari elbow sedangkan fase cairan (air) akan terdistribusi pada daerah outer elbow. Kemudian pada outlet elbow, bubbles akan bergerak ke arah outer pipa miring sehingga pada jarak sekitar 5D dari outlet elbow, gas akan terdistribusi seragam pada bagian atas pipa miring.

4. Pemetaan Pola Aliran pada Pipa Miring Dengan Pengaruh Elbow 75°.

Aliran *bubbly flow* yang keluar dari elbow pada akhirnya akan membentuk pola aliran *plug bubbly flow* atau *slug bubbly flow* karena adanya koalisi dari gelembung-gelembung gas sehingga akan membentuk kelompok-kelompok bubbles (bubble cluster) pada permukaan atas pipa miring. Untuk pemetaan pola aliran pada pipa miring ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.7 Mapping flow pattern transisi aliran dua fase air-udara pada pipa miring 15° dengan pengaruh elbow 75°
 (a) Dibandingkan dengan pipa dengan sudut kemiringan $\theta = 30^\circ$ dan $\theta = 50^\circ$
 (b) Dibandingkan dengan pipa horizontal ($\theta = 0^\circ$)

Pada Gambar 4.7 (a) ditunjukkan hasil pemetaan pola aliran. Dibandingkan dengan peta transisi aliran dua fase yang ditemukan Somchai Wongwises (2005). Transisi aliran dua fase dari Somchai Wongwises (2005) yang ditemukan, berdasarkan pada hasil eksperimen aliran dua fase gas cairan pada pipa miring 30° dengan diameter dalam 8 mm dan diameter luar 12,5 mm tanpa elbow. Berdasarkan pada batasan eksperimen dari kecepatan superficial fase, hanya *plug flow* dan *slug bubbly flow pattern* yang diamati dalam studi ini. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penentuan *region plug flow* dan *slug bubbly flow pattern* yang diamati pada studi sekarang semuanya berada pada *Intermittent flow (Plug dan slug flow)* menurut *flow pattern* transisi dari Barnea. Pada gambar 4.7 (b) ditunjukkan pemetaan pola aliran yang dibandingkan dengan pola aliran pada pipa horizontal yang dilakukan oleh Mandhane et. al (1974) dan Dukler (1979). Dari hasil pemetaan dapat diketahui bahwa dibandingkan dengan pipa horizontal, maka pada pipa miring 15° perubahan pola aliran menjadi slug/plug bubbly flow akan lebih cepat terjadi. Selain itu, pola aliran bubble (*bubbly flow*) juga akan lebih cepat terjadi pada pipa miring 15° .

IV. KESIMPULAN

1. *Global void fraction* (α) yang terjadi memiliki kecenderungan yang sama dengan *homogenous* model (α_H), hanya saja nilainya cenderung lebih kecil.
2. Penyimpangan nilai *void fraction* terhadap *homogenous* model disebabkan karena adanya *drift velocity/slip* antara fase cairan dan fase gas, yang mana pada penelitian didapatkan besarnya slip adalah 0,2 m/s.

3. Dari hasil visualisasi, pola aliran yang terjadi pada pipa miring outlet dari elbow adalah *slug-bubbly flow* atau *plug-bubbly flow*.
4. Hasil pemodelan CFD dan visualisasi secara eksperimental menunjukkan bahwa fase gas akan mengalir pada bagian atas pipa miring pada jarak tertentu dari *outlet elbow*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Somchai Wongwises, "Flow Pattern, Pressure Drop and Void Fraction of Two-phase Gas – Liquid Flow in an Inclined Narrow Annular Channel", *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 30, hal.345 – 354, 2006
- [2] Benard. E, "Gas–Liquid Two Phase Flow through a Vertical 90° Elbow Bend", *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 31 hal. 761–769, 2007
- [3] Yudi Sukmono, "Studi Eksperimental dan Numerik Tentang Karakteristik Aliran Dua Fase (Air – Udara) Melewati Elbow 90° dari Arah Vertikal Menuju Horizontal", Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2009
- [4] Priyo Heru Adiwibowo, "Studi Eksperimental dan Numerik Gas – Cairan Aliran Dua Fase Melewati Elbow 45° dari Arah Vertikal ke Posisi Miring 45° ", Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2009,
- [5] Boyun Gou, et al, "Offshore Pipelines", University of Louisiana at Lafayette, 2005
- [6] Triyogi. Y, "Pengukuran *Global Void Fraction* dengan Menggunakan Metode *Pressure Gradient*", *Jurnal IPTEK Teknik Mesin*, ITS, Surabaya, Volume 6 No.2, 1995