

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1.1 Hasil Penelitian

#### 1.1.1 Data Hasil Penelitian

Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan data hasil penelitian karakteristik aliran dua fase (air-udara) pada *orifice* melalui *horizontal circular channels* yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 sampai dengan 4.3.

Tabel 4.1 Distribusi Tekanan Pada Aliran Satu Fase (Air) dan Dua Fase (Air-Udara) Pada Saat Debit Air 14 Liter/Menit dan Debit Udara (*Two Phase*) 3 Liter/Menit

L/d	Single Phase		Two Phase	
	H (m)	$P_{SP}$ (kPa)	H (m)	$P_{TP}$ (kPa)
-5	0.037	0.36297	0.035	0.34335
-2	0.035	0.34335	0.033	0.32373
-1	0.033	0.32373	0.032	0.31392
-0.1	0.032	0.31392	0.031	0.30411
0.1	-0.037	-0.36297	-0.044	-0.43164
1	-0.032	-0.31392	-0.039	-0.38259
2	-0.005	-0.04905	-0.012	-0.11772
5	-0.006	-0.05886	-0.013	-0.12753

Tabel 4.2 Faktor Pengali Aliran Dua Fase (*Two Phase Multiplier*)

Ql (m <sup>3</sup> /s)	Qg (m <sup>3</sup> /s)	X <sub>V</sub>	ΔP <sub>SP</sub> (kPa)	ΔP <sub>TP</sub> (kPa)	<i>Two Phase Multiplier</i>			
					(Exp)	Homogen	Chisholm	Morris
0.00023	0.00005	0.18	0.785	0.83385	1.063	1.21707	1.10851	1.19723
	0.0001	0.30	0.785	0.93195	1.188	1.43403	1.21690	1.36441
	0.00015	0.39	0.785	1.01043	1.288	1.65088	1.32519	1.51112
	0.0002	0.47	0.785	1.10853	1.413	1.86762	1.43336	1.64309
	0.00025	0.52	0.785	1.18701	1.513	2.08424	1.54141	1.76398
0.00027	0.00005	0.16	0.981	1.0791	1.100	1.18492	1.09244	1.17021
	0.0001	0.27	0.981	1.12815	1.150	1.36976	1.18480	1.31734
	0.00015	0.36	0.981	1.20663	1.230	1.55452	1.27708	1.44801
	0.0002	0.43	0.981	1.32435	1.350	1.73919	1.36927	1.56642
	0.00025	0.48	0.981	1.42245	1.450	1.92379	1.46138	1.67538
0.0003	0.00005	0.14	1.354	1.44207	1.065	1.16643	1.08320	1.15437
	0.0001	0.25	1.354	1.52055	1.123	1.33280	1.16633	1.28940
	0.00015	0.33	1.354	1.61865	1.196	1.49910	1.24940	1.41026
	0.0002	0.40	1.354	1.73637	1.283	1.66533	1.33240	1.52033
	0.00025	0.45	1.354	1.84428	1.362	1.83150	1.41534	1.62194
0.00037	0.00005	0.12	1.727	1.81485	1.051	1.13495	1.06746	1.12685
	0.0001	0.21	1.727	1.91295	1.108	1.26986	1.13489	1.24020
	0.00015	0.29	1.727	2.03067	1.176	1.40472	1.20226	1.34317
	0.0002	0.35	1.727	2.14839	1.244	1.53954	1.26960	1.43792
	0.00025	0.40	1.727	2.22687	1.290	1.67432	1.33689	1.52602

Tabel 4.3 Karakteristik Pola Aliran Dua Fase Berdasarkan Baker Map

$W_1$ (kg/s)	$W_g$ (kg/s)	$A_1$ (m <sup>2</sup> )	$A_g$ (m <sup>2</sup> )	$G \psi$ (kg/m <sup>2</sup> s)	$Gg/\lambda$ (kg/m <sup>2</sup> s)	Pola Aliran 1	Pola Aliran 2
0.23	0.00006	0.00079	2E-05	291	3	Slug	Wavy
	0.00012	0.00079	2E-05	291	6	Slug	Wavy
	0.00018	0.00079	2E-05	291	9	Annular	Wavy
	0.00024	0.00079	2E-05	291	12	Annular	Annular
	0.0003	0.00079	2E-05	291	15	Annular	Annular
0.27	0.00006	0.00079	2E-05	341	3	Slug	Wavy
	0.00012	0.00079	2E-05	341	6	Slug	Slug
	0.00018	0.00079	2E-05	341	9	Annular	Annular
	0.00024	0.00079	2E-05	341	12	Annular	Annular
	0.0003	0.00079	2E-05	341	15	Annular	Annular
0.3	0.00006	0.00079	2E-05	379	3	Slug	Slug
	0.00012	0.00079	2E-05	379	6	Slug	Slug
	0.00018	0.00079	2E-05	379	9	Annular	Annular
	0.00024	0.00079	2E-05	379	12	Annular	Annular
	0.0003	0.00079	2E-05	379	15	Annular	Annular
0.37	0.00006	0.00079	2E-05	468	3	Slug	Bubbly
	0.00012	0.00079	2E-05	468	6	Slug	Bubbly
	0.00018	0.00079	2E-05	468	9	Annular	Slug
	0.00024	0.00079	2E-05	468	12	Annular	Annular
	0.0003	0.00079	2E-05	468	15	Annular	Annular

### 1.1.2 Pengolahan Data

1. Menghitung distribusi tekanan aliran satu fase dan dua fase

$$\begin{aligned}
 P_{SP} &= \rho \times g \times h \\
 &= 1000 \times 9.81 \times 0.037 \\
 &= 362.97 \text{ (Pa)} \\
 &= 0.36297 \text{ (kPa)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{TP} &= \rho \times g \times h \\
 &= 1000 \times 9.81 \times 0.035 \\
 &= 343.35 \text{ (Pa)} \\
 &= 0.34335 \text{ (kPa)}
 \end{aligned}$$



2. Menghitung beda tekanan aliran satu fase dan dua fase

$$\begin{aligned}\Delta P_{SP} &= \rho \times g \times \Delta h \\ &= 1000 \times 9.81 \times 0.08 \\ &= 785 \text{ (Pa)} \\ &= 0.785 \text{ (kPa)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P_{TP} &= \rho \times g \times \Delta h \\ &= 1000 \times 9.81 \times 0.085 \\ &= 833.85 \text{ (Pa)} \\ &= 0.83385 \text{ (kPa)}\end{aligned}$$

3. Menghitung faktor pengali aliran dua fase

- a. *Experiment*

$$\begin{aligned}\varphi_{lo}^2 &= \frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P_{SP}} \\ &= \frac{0.83385}{0.785} \\ &= 1.063\end{aligned}$$

- b. Homogeneous

$$\begin{aligned}x &= \frac{W_g}{W_g + W_l} \\ &= \frac{0.00006}{0.00006 + 0.23} \\ &= 0.0002608\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi_{lo}^2 &= \frac{\rho_l}{\rho_g} x + (1 - x) \\ &= \frac{1000}{1.2} \times 0.0002608 + (1 - 0.0002608) \\ &= 1.21707\end{aligned}$$

- c. Chisholm

$$\begin{aligned}\varphi_{lo}^2 &= 1 + \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} - 1\right) [Bx(1-x) + x^2] \\ &= 1 + \left(\frac{1000}{1.2} - 1\right) [0.5 \times 0.0002608 (1 - 0.0002608) + 0.0002608^2]\end{aligned}$$

$$= 1.10851$$

d. Morris

$$\begin{aligned} S &= \left[ 1 + x \left( \frac{\rho_l}{\rho_g} - 1 \right) \right]^{0.5} \\ &= \left[ 1 + 0.0002608 \times \left( \frac{1000}{1.2} - 1 \right) \right]^{0.5} \\ &= 1.103211 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_{lo}^2 &= \left[ x \frac{\rho_l}{\rho_g} + S(1-x) \right] \left[ x + \left( \frac{1-x}{S} \right) \left( 1 + \frac{(S-1)^2}{\left( \frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0.5} - 1} \right) \right] \\ &= \left[ 0.0002608 \times \frac{1000}{1.2} + 1.103211 \times (1 - 0.0002608) \right] \left[ 0.0002608 \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{1 - 0.0002608}{1.103211} \right) \left( 1 + \frac{(1.103211 - 1)^2}{\left( \frac{1000}{1.2} \right)^{0.5} - 1} \right) \right] \\ &= 1.19723 \end{aligned}$$

4. Menghitung kecepatan massa superfisial air dan udara berdasarkan baker *map*.

a. Kecepatan massa superfisial air

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{\sigma_{water}}{\sigma_l} \left( \frac{\mu_l}{\mu_{water}} \times \left[ \frac{\rho_{water}}{\rho_l} \right]^2 \right)^{\frac{1}{3}} \\ \psi &= \frac{0.0728}{0.0728} \left( \frac{1,0091 \times 10^{-3}}{1,0091 \times 10^{-3}} \times \left[ \frac{1000}{1000} \right]^2 \right)^{\frac{1}{3}} \\ \psi &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_l \Psi &= \frac{W_l}{A_l} \times \Psi \\ &= \frac{0.23}{0.00079} \times 1 \\ &= 291 \text{ (kg/m}^2 \text{ s)} \end{aligned}$$

b. Kecepatan massa superfisial udara

$$\lambda = \left( \frac{\rho_g}{\rho_{air}} \times \frac{\rho_l}{\rho_{water}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\lambda = \left( \frac{1.2}{1.2} \times \frac{1000}{1000} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\lambda = 1$$

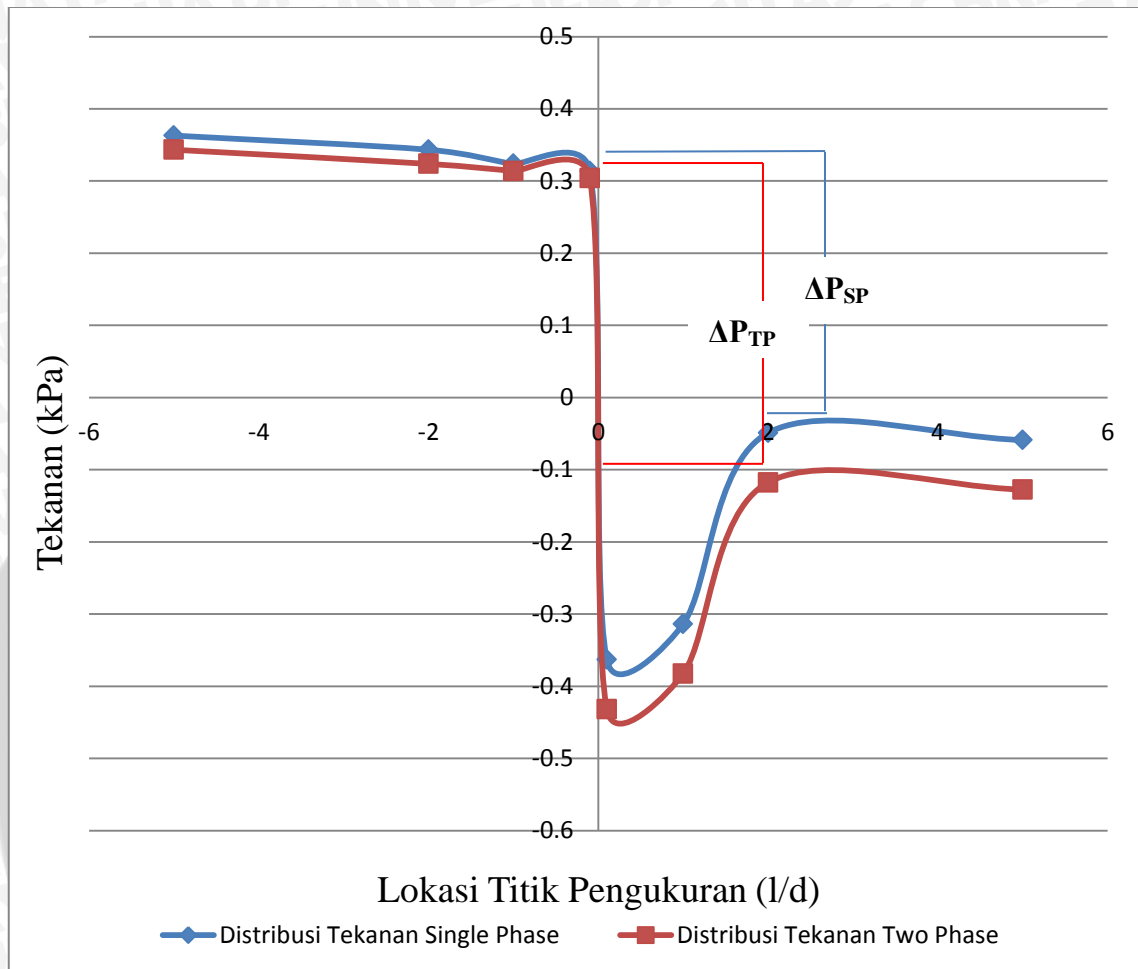
$$\begin{aligned} G_g/\lambda &= \frac{W_g}{A_g} / \lambda \\ &= \frac{0.00006}{2E-05} / 1 \\ &= 3 \text{ (kg/m}^2 \text{ s)} \end{aligned}$$





## 1.2 Pembahasan

### 1.2.1 Grafik Distribusi Tekanan Pada Aliran Satu Fase (Air) dan Dua Fase (Air-Udara)



Gambar 4.1 Grafik Distribusi Tekanan Pada Aliran Satu Fase dan Aliran Dua Fase

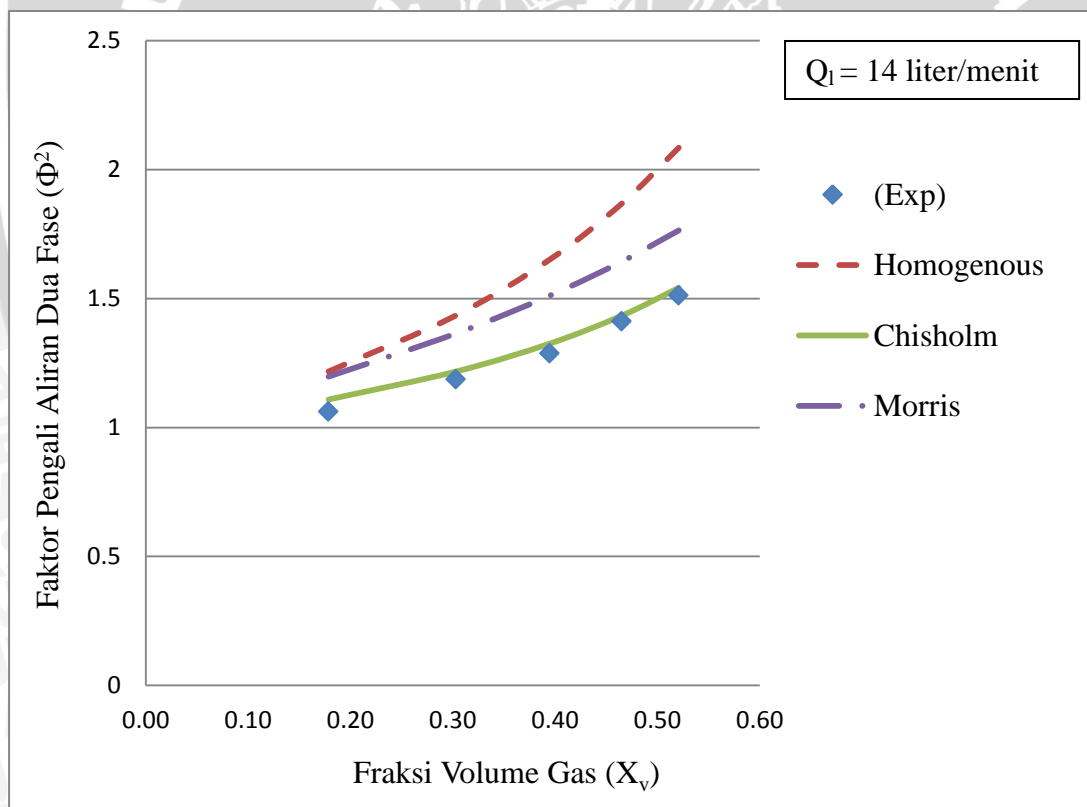
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa grafik distribusi tekanan pada aliran dua fase pada saat debit air 14 liter/menit dan debit udara 3 liter/menit memiliki kecenderungan yang sama dengan aliran satu fase. Nilai tekanan didapatkan dari setiap titik pengukuran yang ditempatkan di dua daerah yaitu daerah sebelum *orifice* (*upstream*) dan daerah setelah *orifice* (*downstream*).

Pada daerah *upstream* tekanan mengalami penurunan secara berangsur-angsur disebabkan oleh adanya faktor gesekan antara fluida dan pipa. Transisi dari *upstream* dan *downstream* mengalami penurunan tekanan secara drastis yang disebabkan oleh adanya perbedaan luas penampang secara mendadak mengakibatkan head tekanan berubah menjadi head kecepatan, dan juga timbulnya *vortex* menyebabkan hilangnya banyak head tekan.

Pada daerah *downstream* tekanan mengalami kenaikan secara berangsur-angsur disebabkan kondisi aliran fluida kembali seragam/normal. Namun dalam jarak semakin jauh dari *orifice* tekanan mengalami penurunan kembali yang disebabkan oleh faktor gesekan antara fluida dan pipa.

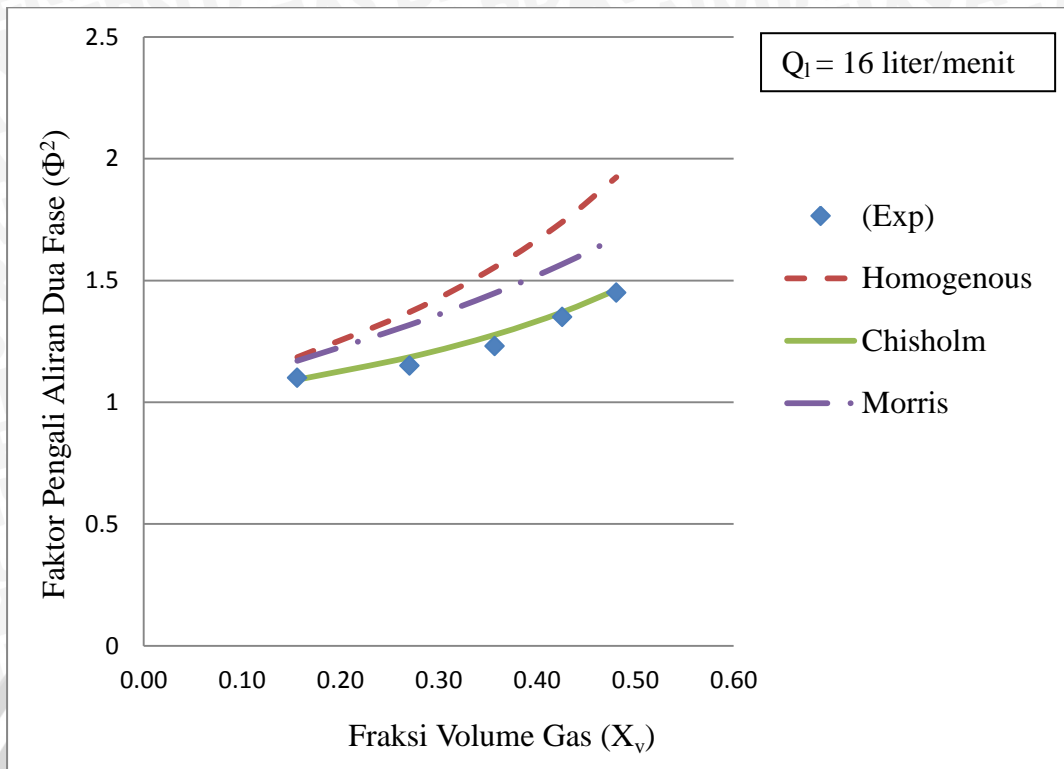
Beda tekanan yang dihasilkan dari aliran dua fase lebih besar dibandingkan beda tekanan aliran satu fase ini disebabkan karena kecepatan aliran dua fase akan semakin besar akibat adanya penambahan kecepatan superficial gas sesuai dengan persamaan (2-24), dengan semakin besar kecepatan maka tekanan akan semakin kecil sesuai dengan persamaan Bernoulli. Selain itu juga akibat semakin besarnya *vortex* serta ketidakseimbangan antarfase kompresibel dengan inkompresibel menimbulkan hilangnya head tekan.

### 1.2.2 Grafik Hubungan Fraksi Volume Gas terhadap Faktor Pengali Aliran Dua Fase (Air-Udara)

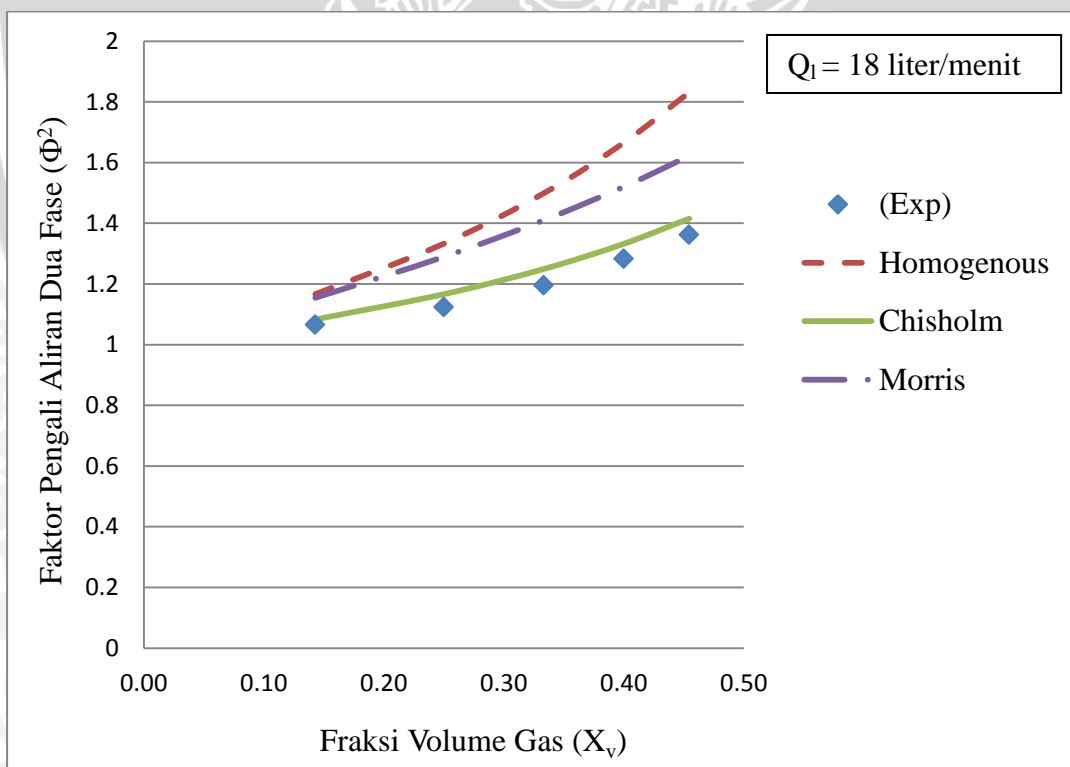


(a)

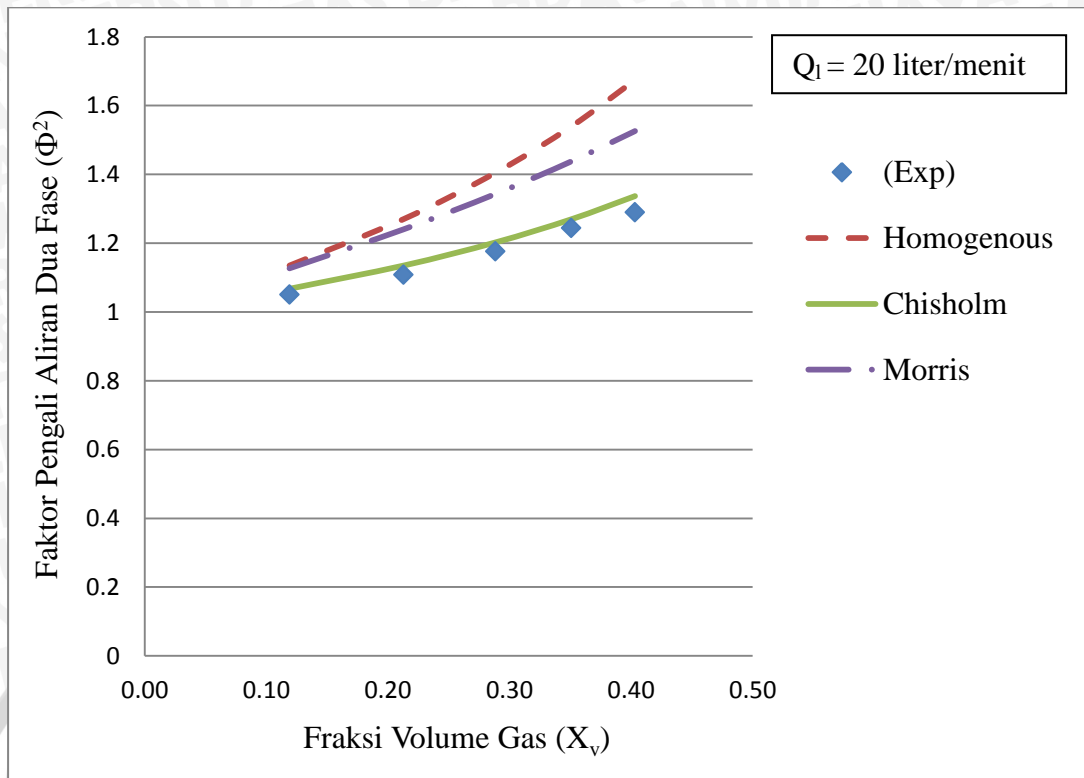




(b)



(c)



(d)

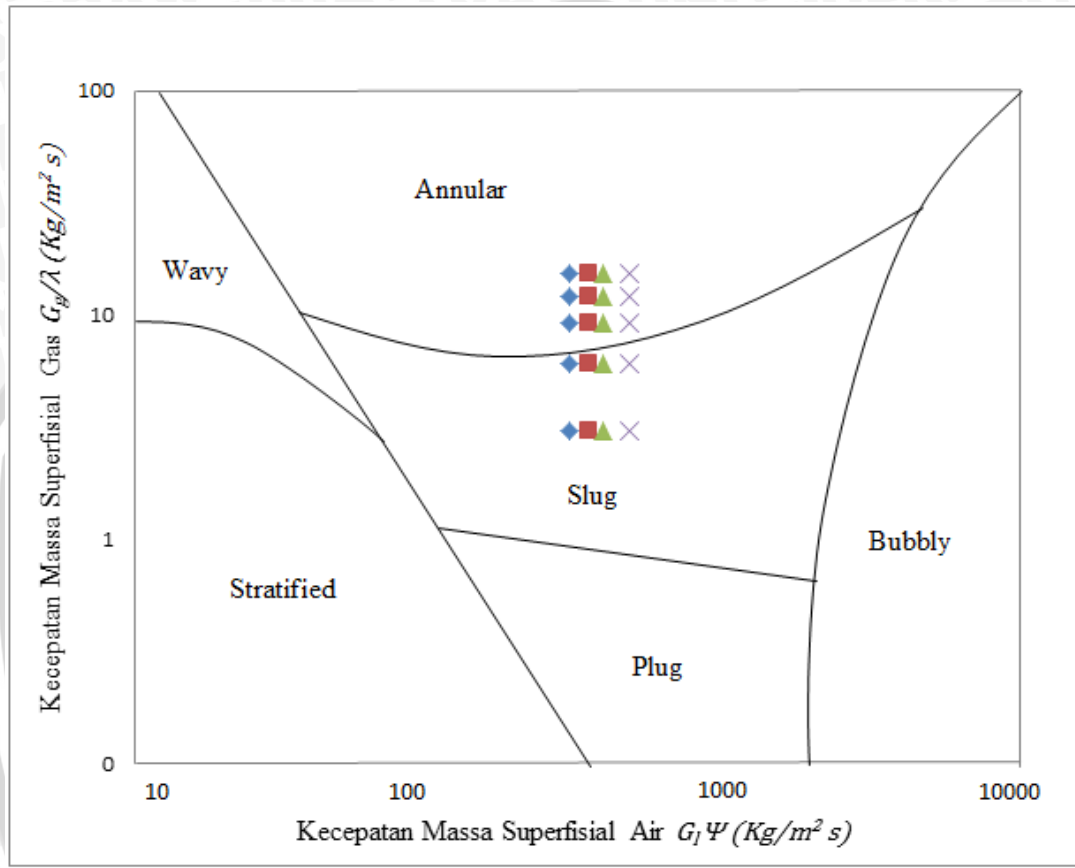
Gambar 4.2 Grafik hubungan fraksi volume gas terhadap faktor pengali aliran dua fase (a)  $Q_1 = 14$  liter/menit, (b)  $Q_1 = 16$  liter/menit, (c)  $Q_1 = 18$  liter/menit, (d)  $Q_1 = 20$  liter/menit

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan fraksi volume gas terhadap faktor pengali aliran dua fase (a)  $Q_1 = 14$  liter/menit, (b)  $Q_1 = 16$  liter/menit, (c)  $Q_1 = 18$  liter/menit, (d)  $Q_1 = 20$  liter/menit. Semakin meningkatnya fraksi volume gas maka faktor pengali aliran dua fase secara aktual akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya fraksi volume gas maka *pressure drop* dari aliran dua fase akan semakin besar disebabkan oleh kecepatan aliran dua fase akan semakin besar akibat adanya penambahan kecepatan superfisial gas sesuai dengan persamaan (2-24) dengan semakin besar kecepatan maka tekanan akan semakin kecil sesuai dengan persamaan Bernoulli. Selain itu juga akibat adanya *vortex* semakin besar serta ketidakseimbangan antar fase kompresibel dengan inkompresibel menimbulkan hilangnya head tekan. Dimana faktor pengali aliran dua fase didapatkan dari rasio antara *pressure drop* aliran dua fase dengan satu fase, sesuai dengan persamaan (2-14).

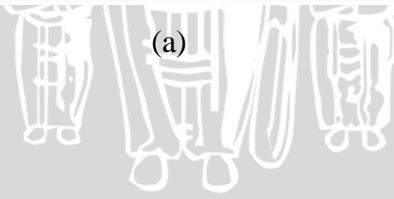
Faktor pengali aliran dua fase secara aktual dari debit (14–20) liter/menit dibandingkan dengan persamaan Homogenous, Morris, dan Chisholm lebih mendekati pada persamaan Chisholm. Hal ini disebabkan karena parameter-parameter yang

digunakan dalam penelitian ini baik itu diameter, *area ratio*, *thickness ratio* hampir sama dengan Chisholm.

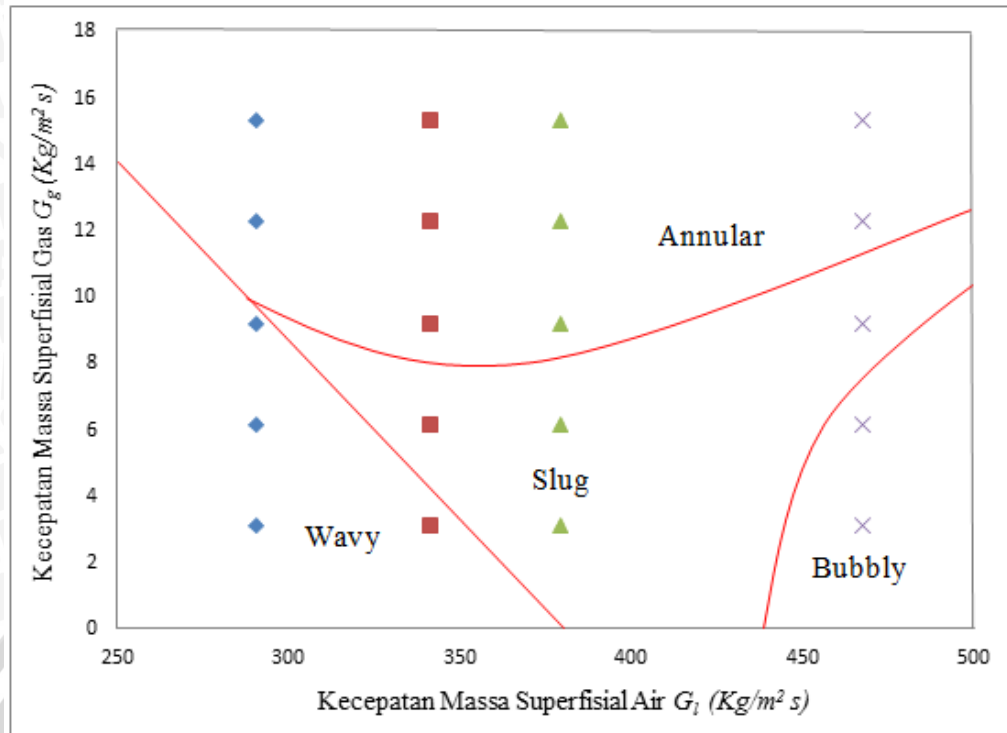
### 1.2.3 Grafik Karakteristik Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Berdasarkan Baker Map



(a)







(b)

Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) pada *Orifice* Melalui *Horizontal Circular Channels* Berdasarkan Baker Map (a) batas sesuai Baker map, (b) batas berbeda dengan Baker map

Gambar 4.3 menunjukkan grafik karakteristik pola aliran dua fase (air-udara) pada *orifice* melalui *horizontal circular channels* berdasarkan Baker map dan dengan batas yang berbeda. Berdasarkan hasil penelitian karakteristik pola aliran yang terbentuk sesuai batas Baker map (a) adalah *slug* dan *annular*. Sedangkan dengan batas yang berbeda dari Baker map (b) karakteristik pola aliran yang terbentuk adalah *wavy*, *bubbly*, *slug* dan *annular*.

Aliran *wavy* merupakan suatu kondisi aliran dengan kecepatan gas semakin meningkat, lapisan batas semakin terganggu oleh gelombang yang bergerak searah dengan arah aliran.

Aliran *slug* merupakan suatu kondisi aliran dimana semakin bertambahnya kecepatan gas akan mengakibatkan gelombang pada lapisan batas menjadi daerah berbusa yang akan bergerak sepanjang pipa.

Aliran *bubbly* merupakan suatu kondisi aliran dimana terdapat gelembung-gelembung gas yang umumnya bergerak di bagian atas aliran.

Aliran *annular* merupakan suatu kondisi aliran dimana kecepatan gas yang lebih tinggi akan menghasilkan inti gas dengan lapisan film cair di sekeliling dinding dalam

pipa. Lapisan film ini bisa tidak sama diameternya sepanjang pipa dan akan lebih tebal di bagian bawah aliran. Ada pun visualisasi pola aliran yang terbentuk adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4 Pola Aliran *Wavy*



Gambar 4.5 Pola Aliran *Slug*



Gambar 4.6 Pola Aliran *Bubbly*



Gambar 4.7 Pola Aliran *Annular*