

PENGUKURAN TEKANAN DAN FRAKSI HAMPA DARI ALIRAN DUA FASE MELINTASI SEDERETAN PIPA MELINTANG HORIZONTAL

Wardoyo

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta
Jl. Proklamasi No. 1 Babarsari, Yogyakarta

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari sederetan pipa di dalam shell sejajar horizontal 5×22 baris dengan pitch 2,5 mm dan diameter 10 mm, terhadap penurunan tekanan, fraksi hampa dan pola aliran. Sebagai fluida kerja adalah udara cairan viskos (10 μ air, 20 μ air, 50 μ air) dan udara air.

Cara penelitian dilakukan dengan membuat debit air konstan dan debit udara berubah-ubah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan tekanan dua fase untuk udara cairan viskos (10 μ air, 20 μ air, 50 μ air) maupun udara air meningkat dengan meningkatnya kecepatan aliran superficial udara. Pengukuran fraksi hampa dilakukan pada kondisi yang sama dengan kondisi uji penurunan tekanan dua fase, hasil pengukuran menunjukkan harga fraksi hampa pengukuran lebih rendah dibandingkan dengan fraksi hampa teoritis perkiraan model aliran homogen, dan ada kesesuaian dengan harga fraksi hampa model aliran terpisah. Berdasarkan pengamatan selama penelitian berlangsung pola aliran yang terjadi adalah aliran gelembung dan aliran strata licin, baik untuk udara cairan viskos maupun udara air.

Kata kunci : aliran horizontal, fraksi hampa, penurunan tekanan.

Abstract

This research aims to discovering the impact of a bundle of parallel tubes placed inside a shell arranged horizontally (dimensions: 5 x 22 lines, pitch 2.5 mm, 10 mm in diameter) on the pressure drop, void fraction and flowing pattern. In this research, the working fluids are air – viscous fluid (10 x μ of water, 20 x μ of water, 50 x μ of water) and air – water. As the result, the characteristics of flows of two parallel-horizontal phases passing a tube bundle are observable.

The research finds out that two-phase pressure drop of air-viscous fluid and air-water takes a bigger rate as the velocity of air superficial increase. The void fraction is measured under the same condition as when the test on the two-phase pressure drop is done. The results of measurement show that the value of void fraction increases as the amount of air increases. The value of void fraction measured during the research is less than the value of theoretical void fraction predicted by the homogenous flow model. The same results are also reported by Xu et al. (1998) and Schrage et al. (1988). Based on an observation during the research, there are two flow patterns, the Bubble flow and the Stratified flow, both in air-viscous fluid and air-water.

Key words: horizontal crossflow, void fraction, pressure drop.

BAB I. PENGANTAR

1.1. Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan bagian dari multi fase. Studi tentang aliran dua fase dapat diperhatikan atas beberapa bagian yaitu atas wujud fase, arah aliran dan kedudukan saluran. Dilihat dari wujud-wujud fasenya dibedakan atas gas cair, cairan padat dan padat gas. Berdasarkan arah aliran adalah aliran searah dan aliran berlawanan arah. Sedangkan dilihat dari kedudukan saluran yang digunakan dikelompokkan atas aliran horizontal dan aliran vertikal atau miring

Pada penelitian ini kajiannya adalah pada karakterisasi aliran udara – cairan viskos melintang horizontal melintasi sederetan pipa, dan yang perlu diketahui pada penelitian ini antara lain : konfigurasi aliran sehingga diperoleh peta pola aliran, penurunan tekanan serta fraksi hampa. Analisa karakterisasi aliran yaitu pada perubahan kecepatan aliran, baik terhadap kecepatan aliran udara maupun kecepatan aliran cairan viskos.

Penurunan tekanan dan fraksi hampa merupakan aspek hidrodinamika dari aliran dua fase, khususnya pada aliran sejajar melintasi sederetan pipa didalam shell, serta merupakan aliran yang sangat penting untuk perencanaan alat penukar kalor. Alat uji dibuat model alat penukar kalor seperti ditunjukkan pada gambar 1 (alat eksperimen).

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh dari sederetan pipa berdiameter 10 mm dan pitch 2,5 mm dengan jumlah 5×22 baris yang ada didalam shell terhadap penurunan tekanan, fraksi hampa dan pola aliran yang terjadi dengan menggunakan fluida kerja udara – cairan viskos.

Dalam hal pengukuran fraksi hampa dan penuruna tekanan telah banyak diteliti, baik untuk aliran didalam pipa maupun didalam shell. Beberapa peneliti yang melakukan pengukuran fraksi hampa dan penurunan tekanan antara lain :

Dowlati dkk (1992) memprediksi fraksi hampa dengan menguunakan pendekatan feno menologis dari zuber dan Findlay (1965), yang disebut model fluks aliran. Pendekatan ini menyatakan bahwa fraksi hampa sebagai suatu fungsi kecepatan gas tanpa dimensi, berdasarkan eksperimen udara – air yang dilakukan pada rangkaian pipa yang sejajar.

Model fluks aliran yang digunakan untuk memprediski rata-rata fraksi hampa dalam aliran dua fase pada serangkaian pipa yang sejajar ini. Ternyata sama secara fungsional dan mampu memprediksi data fraksi hampa eksperimental dengan defiasi rata-ratayang sama.

Xu dkk (1998) melakukan pengukuran fraksi hampa dan penurunan tekanan akibat gesekan yang dikondisikan adiabatik pada aliran dua fase horisaontal uda – air dan udra – minyak melintasi serangkaian pipa mendatar segaris, 5×20 dengan perbandingan pitch dan diameter (P/D) sebesar 1,28. Dibandingkan dengan perkiraan menggunakan model aliran homogen fraksi hampa yang terukur ternyata lebih kecil, dan menunjukkan pengaruh kecepatan massa pada $x(0,1)$. Pada kualitas itu fraksi hampa yang lebih tinggi diperoleh seiring naiknya kecepatan massa.

Diperlihatkan pengaruh kecepatan massa pada saat $X_{tt} > 0,2$ dan nilai dari pengali dua fase berkurang dengan berkurangnya kecepatan massa pada nilai X_{tt} yang diberikan dan pengaruh kecepatan massa tidak jelas jika $X_{tt} < 0,2$.

Penurunan Tekanan

Uji penurunan tekanan fase tunggal dilakukan terpisah menggunakan air untuk mengecek alat dan untuk membantu penelitian dua fase. Data penelitian dihubungkan dengan koefisien gesek yang terjadi.

$$f = \frac{\Delta P F_1^F \cdot \rho}{2NG^2} \dots\dots\dots (1)$$

Penurunan tekanan dari korelasi diatas digunakan untuk menghitung pengali dua fase. dalam praktek banyak peneliti menggunakan model Mertinelli untuk menunjukan pengali dua fase (Φ_1^2) sebagai berikut :

$$\Phi_1^2 = \frac{\Delta P_{TP}^F}{\Delta P_L^F} = 1 + \frac{C}{Xn} + \frac{1}{Xn^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$X_n = \left[\frac{1-x}{x} \right]^{0.9} \left[\frac{\rho_G}{\rho_L} \right]^{0.5} \left[\frac{\mu_L}{\mu_G} \right]^{0.1} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk aliran dua fase horizontal udara cairan viskos melintasi serangkaian pipa, pengali dua fase ditentukan berdasarkan rumus yang digunakan oleh Xu dkk (1998) sebagai berikut:

$$\Phi_1^2 = \frac{\Delta P_{TP}^F}{\Delta P_L^F} = \frac{\rho_1 \Delta P_{TP}^F}{2f_1 [G(1-x)]^2 N} \dots\dots\dots (4)$$

Fraksi Hampa

Fraksi hampa berbanding langsung dengan volume gas dan berbanding terbalik dengan volume campuran. Perumusan fraksi hampa dapat dibedakan menjadi fraksi hampa dalam aliran homogen dan fraksi hampa dalam aliran terpisah.

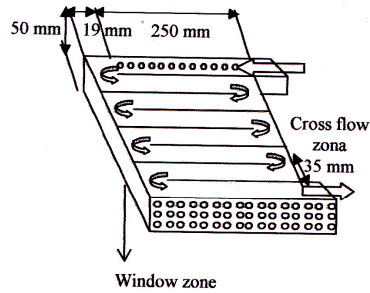
Fraksi hampa aliran homogen dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha_h = \frac{1}{1 + \left[\frac{(1+x)\rho_g}{x\rho_l} \right]} \dots\dots\dots (5)$$

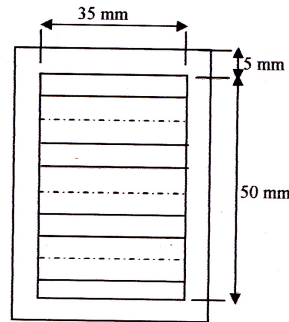
Fraksi hampa aliran terpisah dihitung dengan persamaan :

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left[\frac{u_g (1-x)\rho_g}{u_l x\rho_l} \right]} \dots\dots\dots (6)$$

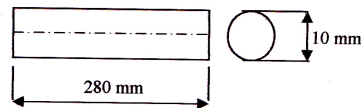
Metode Penelitian



Gambar 1a. Alat Eksperimen Model alat penukar kalor



Gambar 1b. Penampang Shell



Gambar 1c. Tube

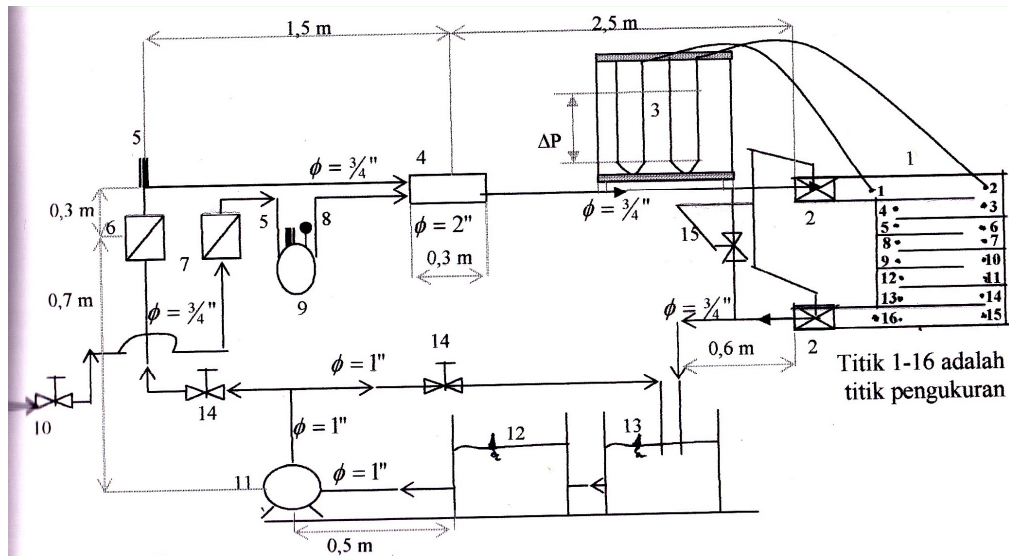
1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

- Fluida Viskos dengan $10 \times \mu_{\text{air}}$, $20 \times \mu_{\text{air}}$, $50 \times \mu_{\text{air}}$, dan air
Bahan tersebut menggunakan air yang dikentalkan dengan bahan kimia berupa CMC, untuk cairan kerja.
- Gas yaitu udara yang diambil dari kompresor untuk gas kerja.
Kedua bahan tersebut berada pada temperature kamar.

2. Alat

Penelitian ini dilakukan di laboratorium perpindahan kalor dan massa pusat studi ilmu teknik UGM Yogyakarta. Skema instalasi alat penelitian ditunjukkan dalam gambar (2). Penelitian ini menggunakan alat uji model penukar kalor seperti ditunjukkan pada gambar (1). Yang memiliki shell segi empat terbuat dari *plexiglass* dengan ukuran panjang 280 mm, lebar 250 mm dan tinggi 50 mm. Bagian uji berisi sederetan pipa diameter 10 mm dan pitch 2,5 mm dengan jumlah 22 baris 5 rod, yaitu 3 *fullrod* dan 2 *halfrod* pada tiap baris zona aliran. Susunan rod dibuat sebaris bentuk segi empat dan keseluruhan dari bagian *bufl* dipakai untuk memberikan 8 jalur di dalam shell.



Gambar 2. Skema Instalasi Alat Penelitian

Keterangan gambar (2)

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Alat uji | 9. Tangki penampung udara |
| 2. Katup penutup tiba – tiba | 10. Katup udara dari kompresor |
| 3. Mamometer kolom | 11. Pompa cairan |
| 4. Ruang pencampur | 12. Tangki cairan |
| 5. Thermometer | 13. Tangki pemisah udara-cairan |
| 6. Rotameter cairan | 14. Kran <i>bypass</i> |
| 7. Rotameter udara | 15. Kantup <i>bypass</i> |
| 8. Alat pengukur tekanan | |

Jalannya Penelitian

Cairan viskos dipompa dari bak penampung dialirkan ke ruang pencampur dengan mengatur debitnya kemudian udara bertekanan dari kompresor dialirkan masuk ke dalam tangki penampung udara dan selanjutnya diinjeksi ke dalam ruang pencampur, sehingga akan terjadi pencampuran udara dan cairan viskos. Campuran cairan viskos dan udara tersebut selanjutnya masuk ke dalam alat uji, pada saat inipola aliran diamati dan pengukuran tekanan dilakukan. Kemudian serangkaian katup masuk dibagian luar pada alat uji ditutup secara tiba-tiba untuk mencari volume rata-rata fraksi hampa.

Kutub dapat ditutup secara serentak dengan menggunakan handel tunggal yang dihubungkan melalui tuas untuk ketiga kutub. Ketika kedua kutub masuk dan keluar pada alat uji tertutup, kutub *bypass* terbuka maka aliran campuran udara – cairan viskos di *bypass* mengalir ke bak pemisah.

Cairan viskos dan udara yang terjebak didalam alat uji dibiarkan selama 5 menit, setelah itu baru pengukuran fraksi hampa dilakukan.

Cara tersebut diatas dilakukan berulang-ulang dengan memvariasikan viskositas cairan dari 10 μ air, 20 μ air, 50 μ air. Sebagai bahan acuan juga dilakukan penelitian untuk udara-air dengan cara yang sama.

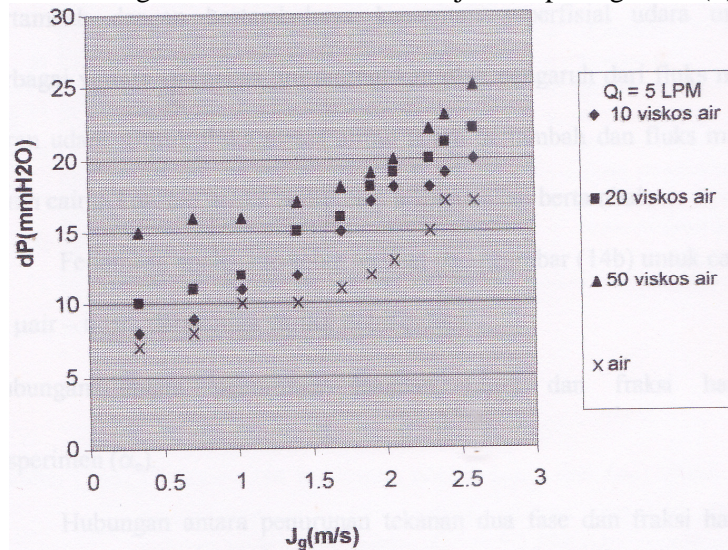
Hasil Penelitian Dan Pembahasan

1. Penurunan Tekanan Dua Fase

Penelitian tentang penurunan tekanan dua fase yang menggunakan fluida 10 μ air-udara, 20 μ air-udara, 50 μ air-udara dan air-udara dilakukan dengan memvariasikan debit aliran cairan mulai dari 1 LPM hingga 5 LPM, dengan kenaikan setiap variasi 1 LPM, dan debit udara divariasikan mulai dari 7,15 LPM hingga 53,9 LPM dengan kenaikan setiap variasi 7,25 LPM dan tekanan udara pengukuran yang diinjeksikan ke ruang pencampur (0,05 – 0,25) kg/cm^2 . Pengukuran penurunan tekanan dua fase dilakukan di setiap *shell* (jalur) alat uji. Hasil penelitian yang ditampilkan dalam gambar grafik diambil pada debit cairan (Q_1) = 5 LPM, dan ditunjukkan sebagai berikut:

A. Hubungan antara penurunan tekanan (ΔP_{TP}^F) dan kecepatan superficial udara (J_g).

Hubungan antara penurunan tekanan dua fase dan kecepatan superficial udara untuk berbagai variasi viskositas ditunjukkan pada gambar(3).

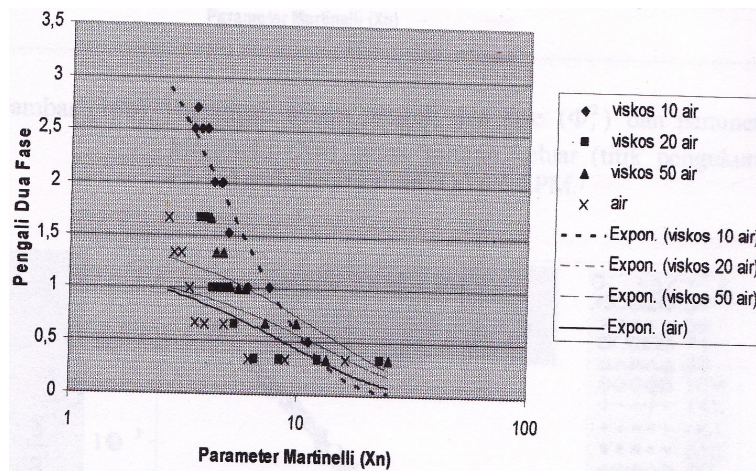


Gambar 3. Hubungan antara (ΔP_{TP}^F) dan (J_g) untuk titik pengukuran 1-16 pada kecepatan superficial cairan (J_l) = 0,24 m/s.

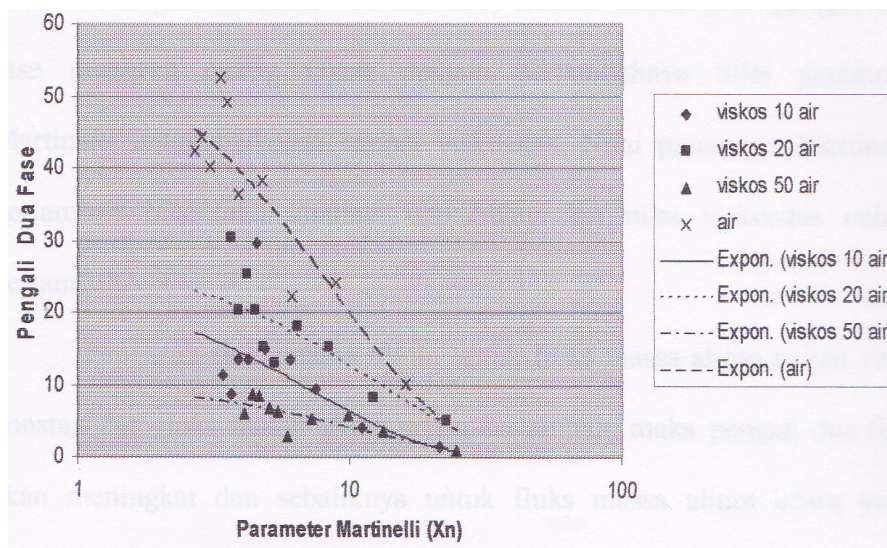
Dari gambar (3) terlihat bahwa penurunan tekanan bertambah dengan bertambahnya kecepatan superficial udara untuk berbagai variasi viskositas, ini disebabkan oleh pengaruh dari fluks masa aliran udara. Untuk fluks massa aliran udara bertambah dan fluks massa aliran cairan konstan, maka penurunan tekanan akan bertambah.

B. Hubungan antara pengali dua fase (Φ_1^2) dan parameter Martinelli (X_n).

Hubungan antara pengali dua fase dengan parameter Martinelli ditunjukkan pada gambar (4a) untuk saluran masuk (titik pengukuran 1-2) dan gambar (4b) untuk saluran keluar (titik pengukuran 15-16).



Gambar 4a. Hubungan antara pengali dua fase (Φ_1^2) dan parameter Martinelli (X_n) untuk saluran masuk (titik pengukuran 1-2) pada debit cairan (Q_1) = 5 LPM



Gambar 4b. Hubungan antara pengali dua fase (Φ_1^2) dan parameter Martinelli (X_n) untuk saluran keluar (titik pengukuran 15-16) pada debit cairan (Q_1) = 5 LPM

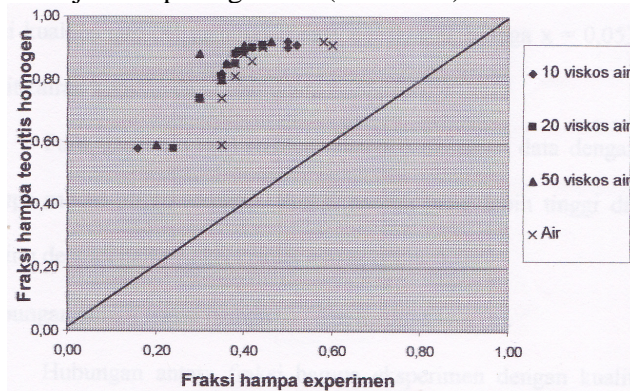
Dari gambar (4a, dan 4b) terlihat nilai pengali dua fase menurun cukup tajam dengan bertambahnya nilai parameter Martinelli untuk berbagai viskositas. Nilai parameter Martinelli bertambah bila kualitas uap besar dan nilai viskositas cairan bertambah.

Pengaruh fluks massa aliran untuk fluks massa aliran cairan yang konstan dan fluks massa aliran udara bertambah, maka pengali dua fase akan meningkat dan sebaliknya untuk fluks massa aliran udara yang konstan dan fluks massa aliran cairan bertambah maka pengali dua fase akan menurun.

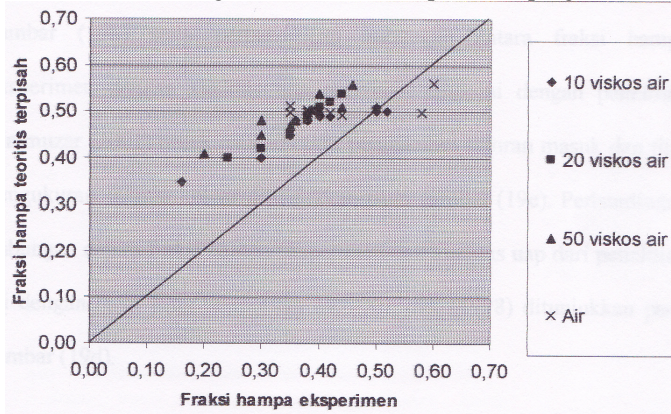
2. Fraksi Hampa

Pengukuran fraksi hampa dilakukan pada kondisi yang sama dengan uji penurunan tekanan dua fase. Hasil penelitian yang ditampilkan dalam bentuk gambar grafik dengan mengambil debit cairan (Q_1) = 5 LPM baik untuk cairan 10 μ air-udara, 20 μ air-udara, 50 μ air-udara maupun air-udara. Hasil penelitian dapat ditunjukkan sebagai berikut :

Perbandingan antara fraksi hampa eksperimen (α_c) dan fraksi hampa teoritis (α_t) ditunjukkan pada gambar (5a dan 5b).



Gambar 5a. Perbandingan antara α_c dan α_{th} pada titik pengukuran 1-16



Gambar 5b. Perbandingan antara α_c dan α_{ti} pada titik pengukuran 1-16

Pada gambar (5a) terlihat bahwa harga fraksi hampa teoritis perkiraan model aliran homogen lebih tinggi dari harga fraksi hampa pengukuran (eksperimen), pada nilai kualitas uap yang sama untuk berbagai variasi viskositas.

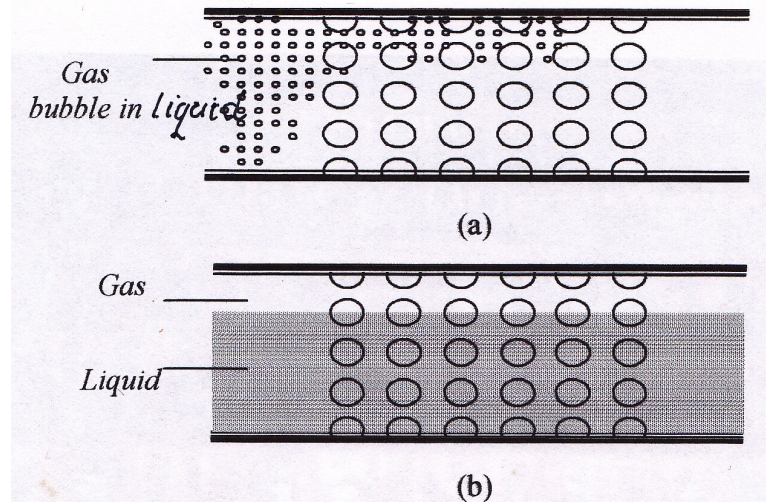
Pada gambar (5b) terlihat adanya kesesuaian data dengan fraksi hampa model aliran terpisah Fraksi hampa yang lebih tinggi diperoleh seiring dengan naiknya kecepatan massa udara.

3. Pola Aliran

Berdasarkan pengamatan selama penelitian berlangsung pola aliran yang diperoleh adalah aliran gelembung (*bubble flow*) dan aliran strata licin (*stratified flow*) seperti ditunjukkan pada gambar (6a dan 6b).

Dari pengamatan terlihat bahwa aliran gelembung muncul dari *shell* pertama hingga *shell* ke empat dan pada *shell* ke lima dan keenam aliran sedikit cenderung membentuk kantung, setelah itu pada *shell* ke tujuh dan ke delapan aliran berubah menjadi bentuk gelembung kembali. Hal ini terjadi pada cairan 10 μ air, 20 μ air, 50 μ air dan air. Aliran strata licin (*stratified flow*) seperti ditunjukkan pada gambar (6b) dimana bidang sentuh liquid – udara tidak dapat diamati dengan pasti, apakah ini licin atau bergelombang karena terhalang oleh pipa-pipa yang ada di dalam *shell* dan fase gas hanya menempati permukaan bagian atas dari *shell*.

Untuk aliran strata licin kabut (*stratified spray flow*) dan aliran kabut (*spray flow*) pada penelitian ini tidak ditemui.



Gambar 6. Sketsa visualisasi pola aliran (a) aliran gelembung (b) aliran strata licin

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pembahasannya dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Penurunan tekanan dua fase meningkat dengan meningkatnya kecepatan superficial udara, baik untuk cairan 10 μ air-udara, 20 μ air-udara, 50 μ air-udara maupun air-udara.
2. Nilai pengali dua fase menurun cukup tajam dengan bertambahnya nilai parameter Martinelli baik untuk cairan 10 μ air, 20 μ air, 50 μ air dan air.
3. Fraksi hampa eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan fraksi hampateoris perkiraan model aliran homogeny dan sebaliknya ada kesesuaian dengan fraksi hampa model aliran terpisah.

4. Pola aliran yang dijumpai selama penelitian adalah aliran gelembung (*Bubble flow*) dan aliran strata licin (*Stratified flow*) baik untuk cairan 10 μ air-udara, 20 μ air-udara, 50 μ air-udara maupun air-udara.

Daftar Notasi

Huruf Roman	P	=Penurunan tekanan
A = Lebar penampang <i>shell</i> (m)	TP	=Two Phase
m = Aliran massa (kg/s)		
Q = Debit aliran (m^3/s)	Huruf Yunani	
B = Tinggi penampang <i>shell</i> (m)	ρ	= Massa jenis (kg/m^3)
N = Jumlah pipa	μ	= Viskositas dinamik (N/m^2s)
x = Kualitas uap	α	= Fraksi hampa
D = Diameter pipa (m)	Φ	= Pengali dua fase
f = koefisien gesek	Δ	= Selisih atau beda
G = Fluks massa aliran (kg/m^2s)		
I =Liquid		
g =Gas		

Daftar Pustaka

- Dowlati, R , Kawaji, M , Crisholm, D , and Chan, A. M. C. 1992, *Void Fraction in Two-Phase Flow Accros aTube Bundle*, AIChE Journal, vol. 38, no. 4, 619-622.
- Frank M. White, 1991, *Viscous Fluid Flow*, Second Edition, Mc Graw Hill, New York.
- Hetstroni Gad. 1982, *Handbook of Multiphase System*, Mc Graw Hill, Book Company.
- Hewitt, G.F , dan Semeria, R , 1974, “*Aspects of Two-Phase Gas Liquid Flow*”, Head Exchanger : Design andTheory Source Book, Mc Graw-Hill, New York.
- Kakac, S , Bergles, A.E., Fernandes, E. O., 1988, *Two-Phase Flow Heat Exchangers(Thermal Hydraulic Fundamental and Design)*, Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Koestoer, R.A., Proborini, S., 1994, *Aliran Dua Fase dan Fluk Kalor Kritis*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wallis, G. B., 1969, *One Dimensional Two-Phase Flow*, Mc Graw-Hill, New York.
- Xu, G. P., Tou, K. W., C. P., 1988, *Two-Phase Void Fraction and Pressure Drop in Horisontal Cross FlowAccros a Tube Bundle*, International Journal of Fluid Engineering, Vol. 120, pp. 140-145.