

**DISTRIBUSI LIQUID HOLD UP PADA ALIRAN CINCIN (ANNULAR)
AIR-UDARA DI PIPA HORIZONTAL MENGGUNAKAN C.E.C.M**
Liquid Hold-Up Distribution in Horizontal Air-Water Annular Flow With C.E.C.M

Suryadi¹, Indarto², Deendarlianto³

¹Program Studi S-2 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri,

^{2,3}Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta

email: suryadi_unimal@yahoo.com, indarto@ugm.ac.id, deendarlianto@ugm.ac.id

ABSTRAK

Pola aliran *annular* dapat terjadi di pipa horisontal pada ketel uap, kondensor, reaktor nuklir, sistem geotermal, proses industri perminyakan dan gas alam cair (*LNG*). Oleh karena itu diperlukan pemahaman mengenai perilaku aliran *annular* dari parameter-parameter utama seperti frekuensi, dimensi, kecepatan, tekanan dan *liquid hold-up*. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik dan distribusi *liquid hold-up* pola aliran *Annular* dengan metode *signal processing*.

Penelitian telah dilakukan secara eksperimental untuk meneliti *hold-up* cairan terhadap variasi waktu dalam pipa *acrylic* transparan dengan diameter dalam 26,0 mm dan panjang total 9,5 m. Untuk mengamati profile *hold-up* cairan juga dilakukan variasi pada kecepatan superfisial air (J_L) dari 0,06 m/s – 0,38 m/s dan kecepatan superfisial gas (J_G) dari 18,32 m/s - 39,26 m/s. Untuk mengukur *liquid hold-up* digunakan sensor CECM () sebanyak 3 buah dengan jarak antar sensor 215 mm. Dari data sinyal tersebut kemudian dianalisis secara statistik yang meliputi rata-rata, *probability distribution function* (PDF), *cross correlation* dan *power spectral density* (PSD).

Nilai *liquid hold-up* rata-rata cenderung semakin turun, jika nilai kecepatan superfisial udara (J_G) semakin besar, sedangkan nilai *liquid hold-up* rata-ratanya cenderung semakin naik, jika nilai kecepatan superfisial air (J_L) semakin besar. Hasil analisa menggunakan *cross correlation* menunjukkan bahwa pada pola aliran yang sama, kecepatan gelombang cenderung akan semakin meningkat jika nilai kecepatan superfisial udara (J_G) semakin besar.

Keyword: *horisontal, annular, liquid hold-up, cecm, proses sinyal*

PENDAHULUAN

Pola aliran *annular* merupakan bagian dari pola aliran dua fasa. Fasa cair membentuk cincin (*annulus*) pada keliling permukaan pipa dan fasa gas sebagai inti (*core*) di tengah pipa. Pola aliran *annular* dapat terjadi di pipa horisontal pada ketel uap, kondensor, reaktor nuklir, sistem geotermal, proses industri perminyakan dan gas alam cair (*LNG*).

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai analisa visual dan sinyal terhadap karakteristik aliran *annular*, distribusi *liquid hold-up* dan kecepatan gelombang aliran *annular* cair-gas pada pipa horisontal. kondisi penelitian ini dilakukan pada tekanan atmosfer dan diasumsikan tidak ada transfer panas yang terjadi.

Liquid hold up didefinisikan sebagai perbandingan volume cairan yang menempati pipa terhadap volume fluida yang menempati pipa pada waktu yang sama. Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai *liquid hold-up* diantaranya adalah :

Brill dan Beggs., (1991), menyatakan *liquid hold up* adalah variasi fraksi dari nol untuk

semua aliran udara sampai dengan satu untuk semua aliran cairan atau dapat dirumuskan seperti persamaan berikut.

$$H_g = 1 - H_l \quad (1)$$

Abdul-Majeed, G.H., (1996), telah melakukan penelitian mengenai *liquid hold up* aliran udara air di pipa horisontal dengan diameter ID 50,8 mm dan panjang 36 m dan menggunakan data dan metode Taitel dan Dukler untuk mengembangkan metode baru. Hasil penelitian menyatakan bahwa metode Taitel dan Dukler adalah tidak benar dengan mengevaluasi faktor gesekan antarmuka gas-cairan diasumsikan sama dengan faktor gesekan gas dinding ($f_i/f_g = 1$) untuk permukaan halus yang menggunakan persamaan Blasius karena gelombang interfasial sangat berpengaruh terhadap faktor gesekan antarmuka.

Pada aliran *annular* di pipa horisontal beberapa parameter yang perlu diketahui seperti kecepatan gelombang, tekanan, debit aliran, *liquid hold up*, dan beberapa parameter lain, sehingga performa dari sistem dapat diketahui. Untuk mengetahui parameter-parameter tersebut dapat digunakan metode *constant electric current*(CECM). Sensor CECM terdiri dari sepasang

elektroda kuningan dengan tebal 1 mm dan jarak antar elektroda 5 mm.

Karakteristik aliran dapat diketahui dengan analisa sinyal *output* sensor meliputi *liquid hold-up* sebagai fungsi waktu, *cross correlation* sebagai fungsi waktu, *probability distribution function* (PDF), frekuensi yang paling dominan (PSD) dan kecepatan gelombang.

Secara umum, metode konduktansi digunakan untuk mendapatkan data *liquid hold-up*. Sekoguchi dkk., (1982), mengukur besar *liquid hold-up* pipa ID 26 dengan posisi saluran horisontal dengan menggunakan metode *needle contact* dan *constant current*. Data yang dihasilkan melalui kedua metode tersebut berupa data *local liquid hold-up* dan *liquid hold-up*.

Fukano dan Ousaka (1988), melakukan penelitian dengan menggunakan metode *needle contact* dan *constant current* untuk mendapatkan nilai *local liquid hold-up* dan *liquid hold-up* sebagai fungsi waktu. Penelitian dilakukan pada pipa ID 26 mm dengan posisi saluran -10^0 , 0^0 , 10^0 , 15^0 [4]. Dari data tersebut dapat diketahui karakteristik aliran *annular* serta distribusi lapisan film.

Fukano (1989), melakukan pengembangan terhadap metode konduktansi yang dikenal dengan *Constant Electric Current Method* (CECM). Karakteristik dari *Constant Electric Current Method* (CECM) adalah arus konstan digunakan sebagai sumber tenaga pada dua buah elektroda. Sumber arus inilah yang digunakan sensor untuk mendapatkan sinyal.

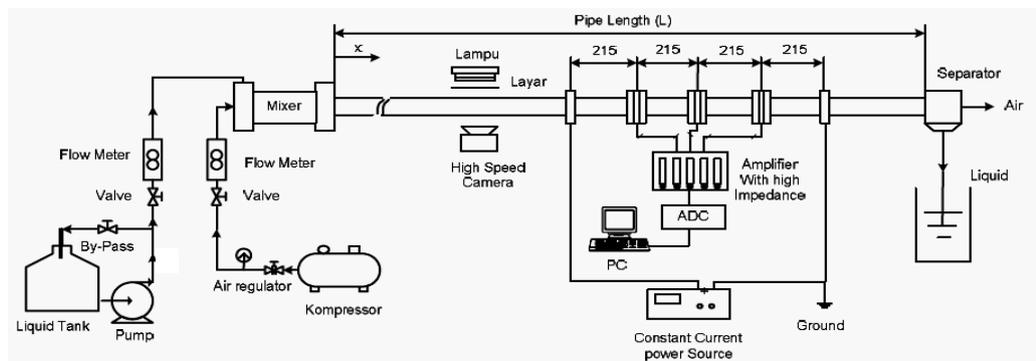
Keutamaan CECM adalah keluaran elektroda sensor tidak tergantung pada lokasi fase gas, sensitivitas mendeteksi perubahan *liquid hold up* yang lebih tinggi, interaksi diantara kedua elektroda diabaikan dan elektroda sensor dapat digunakan ganda pada jarak yang pendek untuk pengukuran secara bersamaan.

Metode Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan fluida kerja air dan udara, dengan parameter utama laju aliran air dan udara.. Pada aliran air dan udara masuk ke pipa diberikan *mixer* dari pipa porous tembaga untuk mendapatkan campuran yang homogen antara air dan udara. Pipa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa *acrylic* transparan agar perilaku aliran dapat diamati dengan diameter dalam 26 mm dan panjang 9,5 m. Pengambilan data pada seksi uji dilakukan pada jarak 5 m dari mulai awal masuknya fluida. Dengan demikian diharapkan fluida sudah terbentuk secara sempurna.

Diagram skematis peralatan dapat dilihat pada Gambar 1 Karakteristik aliran diamati dengan menggunakan kamera video kecepatan 240 fps, dan seksi uji dilengkapi dengan *correction box* yang terbuat dari lembaran *acrylic* transparan yang diisi dengan air untuk mengurangi distorsi visual, karena indeks bias *acrylic* lebih dekat dengan air dari pada udara.

Sistem kerja alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data sinyal menggunakan metode CECM. Untuk mendapatkan sinyal *liquid hold-up* digunakan 3 buah sensor dan 2 buah elektroda dengan jarak masing-masing sensor dan elektroda 215 mm. Elektroda ini berfungsi mengalirkan arus listrik konstan yang bersumber dari power suplai. Sinyal *liquid hold-up* yang mengalir melalui sensor akan dikuatkan oleh amplifier dan diteruskan melalui *Analog Digital Converter* (ADC). merubah sinyal analog menjadi digital sehingga sinyal dapat terdeteksi oleh komputer. Perhitungan kecepatan gelombang didapat dari rasio perbandingan antara jarak sensor (215 mm) dengan keterlambatan waktu antara 2 buah sensor. Dalam hal ini keterlambatan waktu didapat melalui *cross correlation* dari 2 buah sensor.



Gambar 1. Skematik Instalasi Penerimaan

Tabel 1. Matrik tes penelitian

J _L (m/s)	Q _g (m ³ /hr)							
	35	40	45	50	55	60	65	70
	J _g (m/s)							
	18,3	23,6	26,2	28,8	31,4	34,0	36,6	39,3
0,06	1	2	3	4	5	6	7	8
0,13	9	10	11	12	13	14	15	16
0,19	17	18	19	20	21	22	23	24
0,25	25	26	27	28	29	30	31	32
0,31	33	34	35	36	37	38	39	40
0,38	41	42	43	44	45	46	47	48

Prinsip kerja dari CECM didasarkan pada perbedaan tahanan cairan dan gas yang melewati sensor. Tahanan gas lebih besar dibandingkan dengan tahanan cair. Tahanan dua fasa R_{TP} dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$\frac{1}{R_{TP}} = \frac{1-\eta}{R_G} + \frac{\eta}{R_L} \quad (2)$$

Dimana: R_G = Tahanan dari fase gas yang menempati luasan potongan pipa.
 R_L = Tahanan dari fase cairan yang menempati luasan potongan pipa.

Liquid hold-up dinyatakan dengan tegangan dalam satuan panjang, (V_{TP}) ketika arus konstan diberikan (I₀). Pada kasus dua fase udara-air kondisi R_G >> R_L, maka *liquid hold-up* dinyatakan dengan Persamaan (2):

$$\eta = \frac{R_L}{R_{TP}} = \frac{I_0 R_L}{I_0 R_{TP}} = \frac{V_L}{V_{TP}} \quad (3)$$

Dimana : V_L = Tegangan saat liquid mengalir memenuhi permukaan penampang dari sensor.

Pada analisis sinyal, rata-rata keterlambatan waktu (*time lag*) antara dua sensor *liquid hold-up* dapat dihitung dari fungsi *cross correlation*, untuk proses X₁ dan X₂, yaitu:

$$\pi_{12}(\tau) = \frac{R_{12}(\tau)}{\sqrt{R_{11}(\tau)R_{22}(\tau)}} \quad (4)$$

Dimana:
 π₁₂ = fungsi *cross-correlation* yang dinormalisasi
 τ = *time lag* antara dua sinyal *liquid hold-up*

Fungsi *cross correlation* (R) dinyatakan dalam

$$R_{12}(\tau) = E\{X_1(\tau)X_2(t + \tau)\} \quad (5)$$

Dimana: E adalah nilai rata-rata

Sedangkan *Power Spectra Density* atau PSD digunakan untuk menggambarkan sinyal dalam frekuensi domain yang menggunakan *fast fourier transform* dan dirumuskan sebagai berikut:

$$X(k) = \sum_{j=1}^N X(j)\omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (6)$$

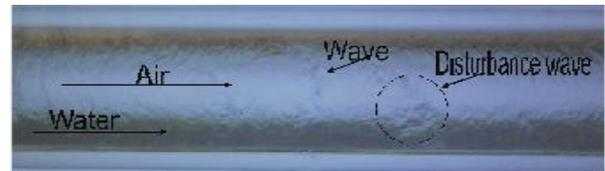
Hasil dan Pembahasan

1. Pengukuran Liquid Hold up

Gambar 2 memperlihatkan mekanisme pembentukan aliran *annular* dimana aliran yang terjadi sudah terbentuk aliran *annular* walaupun lapisan film pada bagian atas penampang pipa masih terlihat samar-samar namun pada bagian bawah penampang pipa lapisan film terlihat jelas (Gambar 3). Hal ini ditandai dengan adanya grafik *liquid hold-up* yang bernilai tinggi yang menandakan adanya persentase cairan yang besar dari suatu penampang.

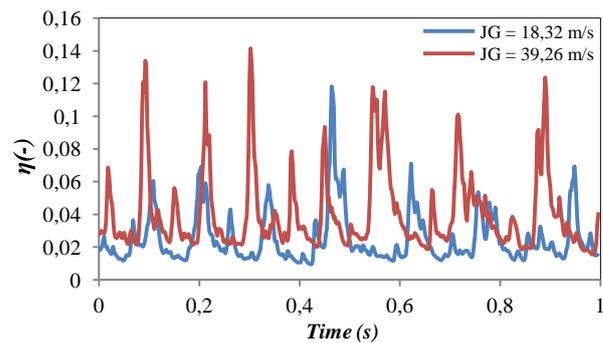


Gambar 2. Visualisasi aliran *annular* J_L = 0.06 m/s dan J_G = 18,32 m/s.



Gambar 3. Visualisasi aliran *annular* J_L = 0.13 m/s dan J_G = 39,26 m/s.

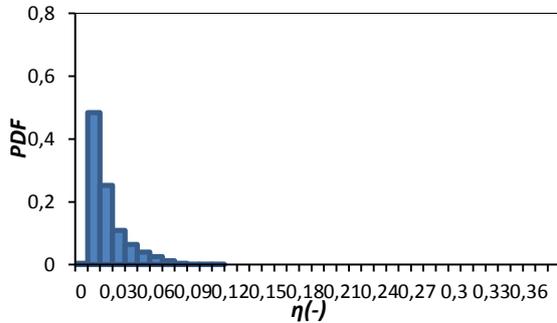
Gambar 4 memperlihatkan grafik *liquid hold-up* terhadap fungsi waktu (J_L = 0,06 m/s dan J_G = 18,32 m/s dan J_G = 39,26 m/s). Bahwa distribusi *liquid hold-up* sangat dipengaruhi oleh kecepatan superfisial gas dan memiliki nilai grafik yang tinggi pada J_G = 39,26 m/s.



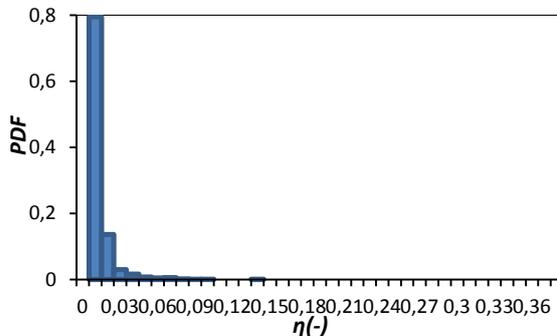
Gambar 4. *Liquid hold-up* pada J_L = 0.05 m/s dan (J_G = 18,32 m/s dan J_G = 39,26 m/s)

Gambar 5 memperlihatkan nilai *probability distribution function* (PDF) untuk nilai *liquid hold-up* paling dominan dengan kelas data tersebar dan persentase terbesar bernilai 0,01 sebesar 48,8%, sedangkan pada Gambar 6, memperlihatkan sebaran nilai *liquid hold-up*. Sebaran ini didapat dari jumlah data yang dikumpulkan dan diklasifikasikan.

Penyebaran nilai *liquid hold-up* tergantung pada kecepatan superficial aliran. Jika kecepatan superficial gas meningkat maka kelas data *liquid hold-up* cenderung dominan memiliki nilai dan persentase yang relatif kecil.

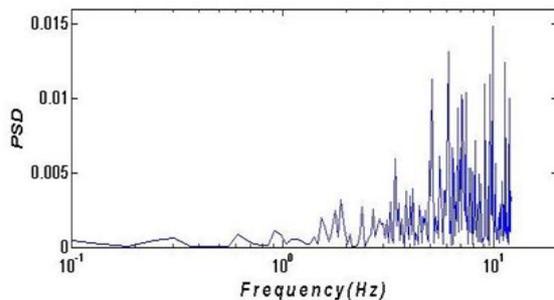


Gambar 5. PDF aliran *annular* pada $J_L = 0,06$ m/s dan $J_G = 18,32$ m/s.

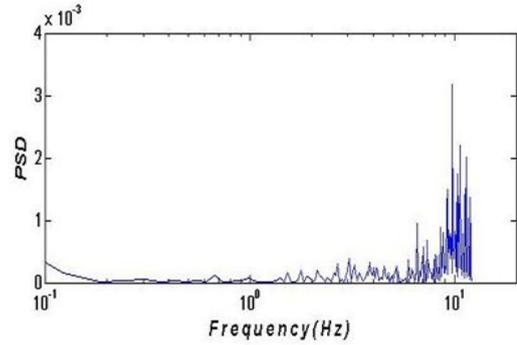


Gambar 6. PDF aliran *annular* pada $J_L = 0,06$ m/s dan $J_G = J_G = 39,26$ m/s.

Power Spektral Density (PSD) Diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 Dapat dilihat bahwa nilai frekwensi paling dominan adalah memiliki magnitud PSD yang yang tinggi. Seiring dengan meningkatnya superficial gas maka nilai frekwensi dominan cenderung menurun dan akan mendekati antar keduanya.



Gambar 7. PSD pada aliran *annular* $J_L = 0,06$ m/s dan $J_G = 18,32$ m/s.

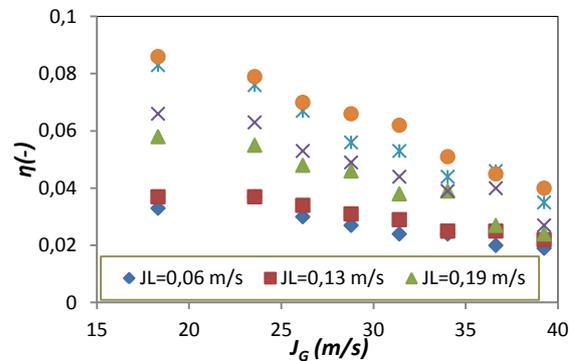


Gambar 8. PSD pada aliran *annular* $J_L = 0,06$ m/s dan $J_G = 39,26$ m/s.

Dari analisa *Power Spektral Density* (PSD), Gambar 8 memperlihatkan nilai frekuensi dominannya mendekati antar keduanya, sebanding dengan meningkatnya kecepatan superficial dari gas.

Liquid hold-up rata-rata

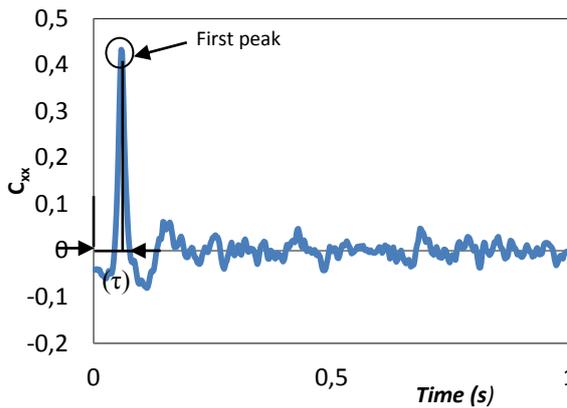
Distribusi *liquid hold-up* rata-rata yang di tunjukkan Gambar 9 terlihat bahwa dengan meningkatnya kecepatan superficial gas, dimana semakin besar nilai kecepatan superficial gas maka nilai *liquid hold-up* rata-rata akan semakin kecil begitupun dengan sebandingnya.



Gambar 9. Grafik Hubungan antara nilai *liquid hold-up* (η) rata-rata terhadap kecepatan superficial udara (J_G) konstan.

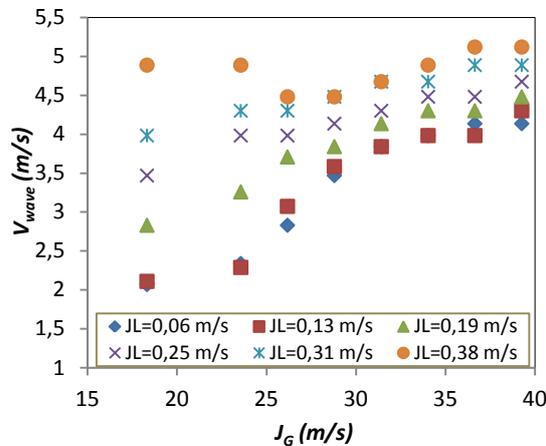
Kecepatan gelombang

Perhitungan kecepatan gelombang rata-rata dapat dilakukan dengan membandingkan jarak antara dua sensor dengan keterlambatan waktu (τ) pada puncak pertama dari fungsi *cross correlation* (Deendarlianto, 2005). Gambar 10 menunjukkan keterlambatan waktu (τ) yang didapat dengan menggunakan metode *cross correlation*.



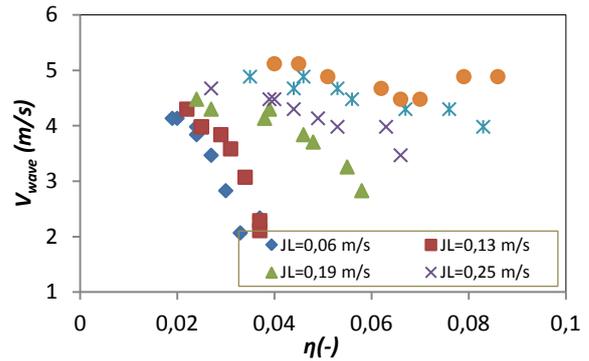
Gambar 10. Keterlambatan waktu (*time lag*) sesaat antara 2 sensor metode *cross correlation* ($J_L = 0,06$ m/s dan $J_G = 18,32$ m/s).

Gambar 11 merupakan grafik fungsi dari kecepatan gelombang. Terlihat bahwa kecepatan gelombang akan meningkat pada kecepatan superfisial cairan yang meningkat dan kecepatan superfisial gas yang sama. Akan tetapi, untuk fenomena naiknya kecepatan superfisial gas pada kecepatan superfisial cairan yang sama maka grafik cenderung naik.



Gambar 11. Grafik Hubungan antara kecepatan gelombang terhadap kecepatan superfisial udara (J_G) konstan.

Gambar 12 menggambarkan bahwa nilai *liquid hold-up* (η) kecenderungan menurun dengan meningkatnya kecepatan gelombang. Sebaliknya, pada fenomena turunnya kecepatan gelombang pada kecepatan superfisial gas yang sama dan semakin besar kecepatan superfisial air meningkat maka grafik distribusi nilai *liquid hold-up* (η) cenderung mengalami kenaikan.



Gambar 12. Grafik Hubungan antara kecepatan gelombang terhadap *liquid hold-up* (η) pada kecepatan superfisial air (J_L) Konstan.

KESIMPULAN

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode *Constant Electric Current Method* (CECM) dapat digunakan untuk mengukur *liquid hold-up* terhadap fungsi waktu dengan nilai amplitudo yang sangat kecil. Nilai ini dapat terlihat jelas pada kecepatan superfisial gas yang tinggi pada $J_G = 39,26$ m/s.
2. Nilai *liquid hold-up* sangat tergantung pada besar dan kecilnya kecepatan superfisial gas. Hal ini ditandai dengan nilai *liquid hold-up* yang tinggi yang sebanding dengan menurunnya nilai kecepatan superfisial gas.
3. Semakin besar kecepatan superfisial gas dan pada kecepatan superfisial air yang sama maka nilai *liquid hold-up* akan semakin rendah pula, sedangkan untuk kecepatan gelombangnya akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul-Majeed, G, H., 1995, *Liquid Holdup in Horizontal Two-Phase Gas-Liquid Flow*, Journal of Petroleum Science and Engineering, pp. 271-280.

Brill, J.P. Dr. and Beggs, H.D. Dr., 1991, *Two-phase flow in pipes*, Sixth edition, BookFi.org.

Deendarlianto, Ousaka, A., Kariyasaki, A., and Fukano, T., 2005, *Investigation of liquid film behavior at the onset of flooding during adiabatic counter-current air-water two-phase flow in an inclined pipe*, Nuclear Engineering and Design 235, pp. 2281-2294.

Sekoguchi, dkk., 1982, *Air-Water Annular Two-Phase Flow in a Horizontal Tube*, JSME, vol. 25, 532-542.

Fukano, T., Ousaka, A., 1988, *Air-Water Two-Phase Annular Flow in near Horizontal Tube JSME*, Series 2, vol. 31, 477-483.

Fukano, T., 1998, *Measurement of Time Varying Thickness of Liquid Film Flowing with High Speed Gas Flow by a Constant Electric Current Method (CECM)*, Nuclear Engineering and Design, pp 363-377.