

Pengaruh Tegangan Permukaan Terhadap *Fraksi Liquid (Liquid Hold-Up)* dan Kecepatan Gelombang Aliran Cincin (*Annular flow*) Cair-Gas Pada Pipa Horizontal sebagai Aplikasi Aliran Fluida pada Pipa

PRASETYO^a, ANAM B^b, DEENDARLIANTO^b, KHASANI^b, INDARTO^b

^aJurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : prasetyo@polban.ac.id

Pras.mesin13@gmail.com

^bJurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Indonesia

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tegangan permukaan (*surface Tension*) pada fraksi liquid dan kecepatan gelombang pada aliran annular cair-gas sebagai aplikasi aliran fluida pada pipa Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP). Untuk memvariasikan besar tegangan permukaan pada cairan yaitu dengan cara penambahan surfaktant butanol. Penelitian ini menggunakan media pipa *acrylic* berlubang ID 16 mm panjang 9,5 m, profil fraksi liquid dapat diketahui dengan menggunakan metode visual serta besar fraksi liquid menggunakan metode *Constant Electric Current Methode (CECM)*. Dalam penelitian digunakan tiga buah sensor fraksi liquid (*liquid hold-up*) dengan jarak masing-masing sensor 215 mm. Kecepatan gelombang dihitung dengan menggunakan korelasi silang (*cross correlation*) dari dua sensor berturut-turut. Dari penelitian ini karakteristik dan besar fraksi liquid dapat diperoleh dengan metode visual dan *Constant Electric Current Methode (CECM)*. Tegangan permukaan memberikan pengaruh yang besar pada besar fraksi liquid serta kecepatan gelombang cairan.

Kata Kunci ; *Surface Tension, Fraksi Liquid (liquid hold-up), CECM, Kecepatan Gelombang.*

1. PENDAHULUAN

Pola aliran *annular* merupakan salah satu pola aliran dua fasa yang dapat dijumpai pada sistem perpipaan pembangkit listrik panas bumi terutama pada pipa arah horizontal^[4]. Definisi aliran *annular* adalah aliran dimana aliran gas berada pada bagian tengah (*core*) dari penampang pipa dan aliran cairannya berada pada bagian dinding pipa yang membentuk lapisan film.

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai analisa visual dan sinyal tentang pengaruh tegangan permukaan terhadap *liquid hold-up* dan kecepatan gelombang aliran *annular* cair-gas pada pipa horizontal.

Kondisi penelitian ini dilakukan pada tekanan atmosfer dan diasumsikan tidak ada transfer panas yang terjadi. Fluida panas bumi mempunyai temperature yang besarnya tergantung pada reservoirnya, dan sebagaimana diketahui bahwa tegangan permukaan dapat berubah dengan adanya faktor kenaikan temperatur dan tekanan. Dengan demikian penelitian mengenai pengaruh tegangan permukaan sangat penting untuk untuk mengetahui pengaruh tegangan permukaan terhadap karakteristik cairan.

Analisa sinyal output sensor meliputi Fraksi Liquid (*liquid hold-up*) sebagai fungsi waktu, *cross correlation* sebagai fungsi waktu, *probability distribution function* (PDF), dan kecepatan gelombang.^[6]. Hal-hal tersebut

merupakan bagian penting untuk mengetahui karakteristik aliran.

Metode untuk mendapatkan data *liquid hold-up* umumnya menggunakan metode konduktansi. Sekoguchi dkk (1982) mengukur besar *liquid hold-up* 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*. Pengamatan dilakukan pada pipa ID 26 dengan posisi saluran horisontal^[3].

Fukano dan Ousaka (1988), menggunakan metode *needle contact* dan *constant current* guna mendapatkan nilai *local liquid hold-up* dan *liquid hold-up* sebagai fungsi waktu. Dari data tersebut dapat diketahui karakteristik aliran annular serta distribusi lapisan film^[2].

Fukano (1989) mengembangkan metode konduktansi yang dikenal dengan *Constant Electric Current Method (CECM)*. Dalam *Constant Electric Current Method (CECM)*, sumber tenaga arus konstan digunakan untuk memberi tenaga listrik pada dua buah elektroda. Sumber arus inilah yang digunakan sensor untuk mendapatkan sinyal.

Keutamaan CECM adalah output tegangan keluaran sensor tidak tergantung pada lokasi fluida, sensitivitas mendeteksi perubahan *hold up* lebih tinggi^[6].

Tujuan dari penelitian yang dilakukan disamping karakteristik aliran fluida juga dapat mengetahui mekanisme terbentuknya pola aliran cincin (*annular flow*) yang dipengaruhi oleh tegangan permukaan dari fluida yang berbeda.

2. METODE DAN ALAT EKSPERIMENTAL

Penelitian ini menggunakan pipa *acrilic* diameter 16 mm dengan panjang total 9.5 m. Pipa *acrilic* yang digunakan transparan sehingga pola aliran yang terjadi dapat diamati dengan baik. Pengambilan data pada seksi uji dilakukan pada jarak 5 m dari mulai awal masuknya fluida. Dengan demikian diharapkan pola aliran sudah terbentuk sempurna. Pada penelitian ini digunakan surfaktan buthanol untuk menurunkan tegangan permukaan (Tabel 1). Hal ini dikarenakan buthanol dapat menurunkan tegangan permukaan dengan persentase yang rendah.

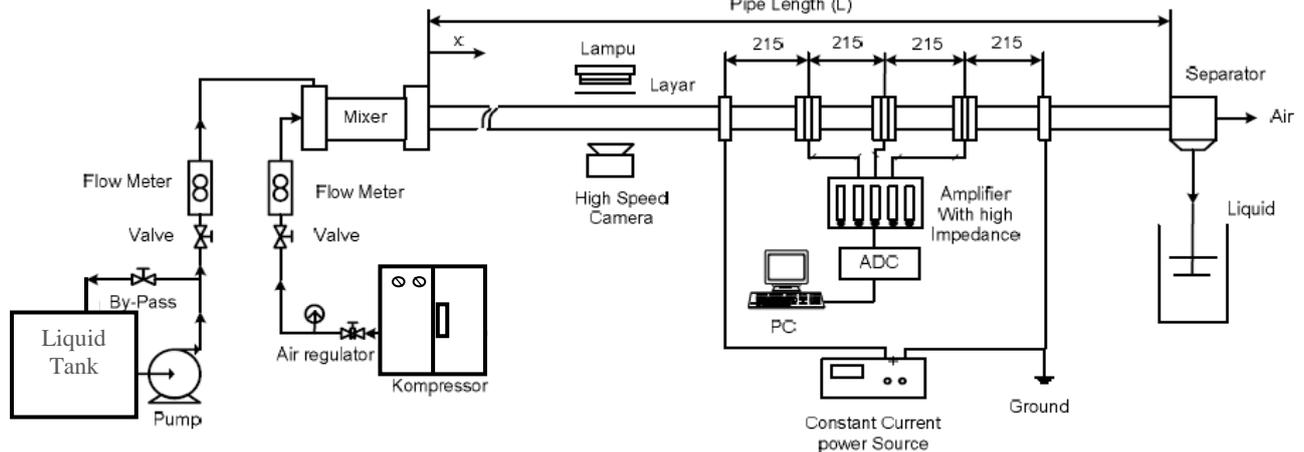
Tabel.1 Propertis fluida kerja yang digunakan.

Persentase volume buthanol	ρ_L [kg/m ³]	σ_L [mN/m]
0	998	71
2	992	40

ρ_L : density, σ_L : Surface tension

Tabel.1 Matrik penelitian.

J_L (m/s)	J_G (m/s)				
	12	18	25	30	40
0.05	1	2	3	4	5



Gambar 1. Skema alat penelitian

Perhitungan fraksi liquid (*liquid hold-up*)

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

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 (I_0). Pada kasus dua fase udara-air kondisi $R_G \gg R_L$, maka *liquid hold-up* dinyatakan dengan Persamaan [2] :

$$\eta = \frac{R_L}{R_{TP}} = \frac{I_0 R_L}{I_0 R_{TP}} = \frac{V_L}{V_{TP}} \quad (2)$$

Dimana :

V_L = Drop 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 X_1 dan X_2 , yaitu:

$$\pi_{12}(\tau) = \frac{R_{12}(\tau)}{\sqrt{R_{11}(\tau)R_{22}(\tau)}} \quad (3)$$

Dimana :

π_{12} = fungsi *cross-correlation* yang dinormalisasi

τ = *time lag* antara dua sinyal

liquid hold-up

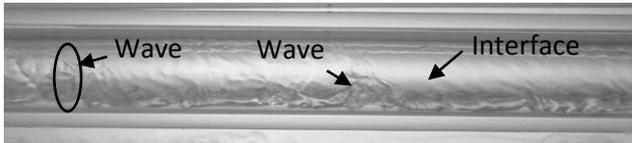
Pipe Length (L)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengukuran Fraksi Cairan (*liquid hold-up*)

Pengaruh tegangan permukaan pada proses pembentukan aliran Cincin (*annular flow*) di kecepatan

superficial cairan (J_L) = 0.05 m/s dan kecepatan superficial gas (J_G) = 12 m/s Gambar 2 belum terlihat secara signifikan, pada air 100% penampang pipa sudah terlihat samar terbasahi, sedangkan pada campuran air dan butanol 2% aliran cincin (*annular flow*) belum terbentuk (terlihat aliran *wavy*) hanya saja terlihat butiran cairan kecil (*entrainment liquid droplet*) yang terlepas dari cairan utamanya.



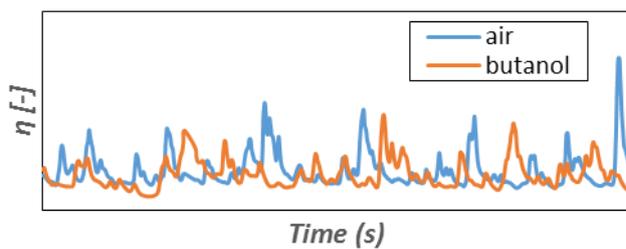
(a) Air



(b) Air + Butanol 2%

Gambar 2. Foto aliran cincin (*annular flow*) $J_L = 0.05$ m/s dan $J_G = 12$ m/s

Gambar 3 menunjukkan grafik fraksi cairan (*Liquid hold-up*) pada kecepatan superficial cairan (J_L) = 0.05 m/s dan kecepatan superficial gas (J_G) = 12 m/s, terlihat jelas adanya lonjakan-lonjakan pada nilai fraksi cairan (*Liquid hold-up*) hal ini menandakan pada penampang pipa persentase fraksi cairan (*Liquid hold-up*) selalu berbeda terhadap waktu.



Gambar 3. *Liquid hold-up* pada $J_L = 0.05$ m/s dan $J_G = 12$ m/s

Gambar 4 menunjukkan gambar visual pada aliran transisi (*wavy flow to annular flow*), pada penampang dengan cairan air 100% terlihat aliran cincin (*annular flow*) sudah terbentuk dengan ditandainya lapisan tipis pada penampang pipa, pengaruh tegangan permukaan terlihat jelas pada mekanisme pembentukan aliran cincin (*annular flow*) pada air dan campuran butanol 2%

terlihat mekanisme terbentuknya aliran cincin (*annular flow*) melalui butiran kecil cairan (*entrainment liquid droplet*) yang bersatu dan terbawa oleh kecepatan superficial gas yang tinggi.



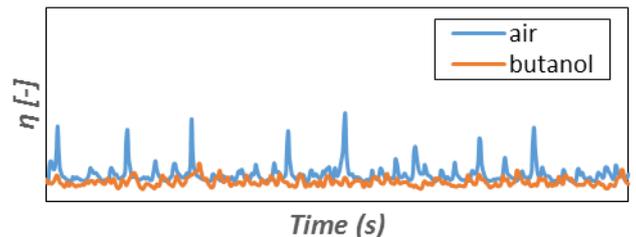
(a) Air



(b) Air + Butanol 2%

Gambar 4. Foto aliran annular (cincin) pada $J_L = 0.05$ m/s dan $J_G = 18$ m/s

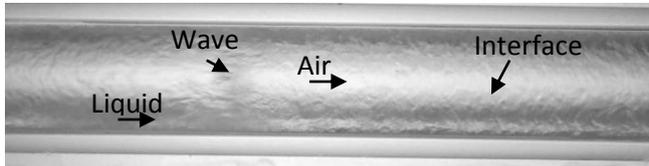
Gambar 5. Menunjukkan grafik fraksi cairan (*liquid hold-up*) terhadap waktu dengan kecepatan superficial cairan (J_L) = 0.05 m/s dan kecepatan superficial gas (J_G) = 18 m/s, kecepatan superficial gas berada pada daerah transisi. Pengaruh tegangan permukaan terhadap fraksi cairan (*liquid hold-up*) terlihat jelas dengan dimana cairan dengan campuran butanol memiliki nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan air 100%.



Gambar 5. *Liquid hold-up* pada $J_L = 0.05$ m/s dan $J_G = 18$ m/s

Gambar 6 menunjukkan gambar visual dari pengambilan data pada kecepatan superficial cairan (J_L) = 0.05 m/s dan kecepatan superficial gas (J_G) = 40 m/s, terlihat jelas aliran cincin (*annular flow*) sudah terbentuk sempurna, pada air 100% terlihat adanya gelombang pengganggu (*disturbance wave*), hal ini ditandai dengan adanya lonjakan nilai dari fraksi cairan (*liquid hold-up*) pada Gambar 7.

Pengaruh tegangan permukaan terlihat jelas pada mekanisme terbentuknya aliran cincin (*annular flow*), dimana pada air dengan campuran butanol 2 % terlihat mekanisme pembentukannya melalui butiran yang terlepas dari cairan utamanya dan terbawa oleh kecepatan gas yang tinggi.

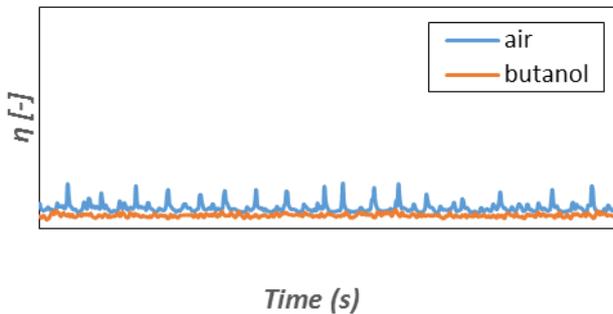


(a) Air



(b) Air + Butanol 2%

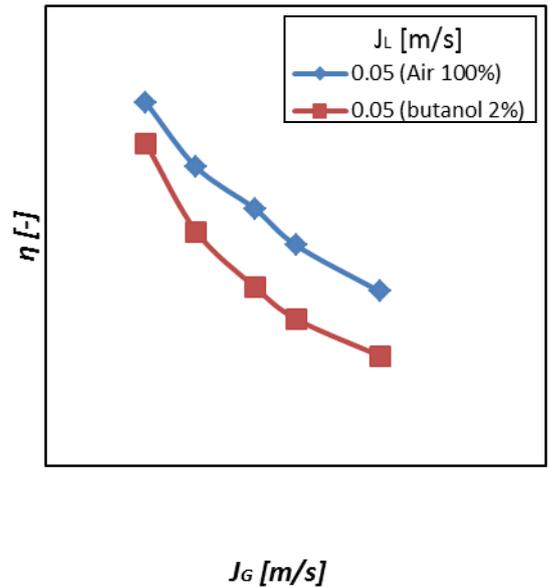
Gambar 6. Foto aliran annular (cincin) pada $J_L = 0.05$ m/s dan $J_G = 40$ m/s



Gambar 7. *Liquid hold-up* pada $J_L = 0.05$ m/s dan $J_G = 40$ m/s

b. Fraksi Cairan (*liquid hold-up*) Rata-rata

Gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara kecepatan superficial udara (J_G) dan kecepatan superficial air (J_L) terhadap nilai rata-rata dari fraksi cairan (*liquid hold-up*), grafik Gambar 8 menunjukkan grafik penurunan nilai fraksi cairan rata-ratanya yang sebanding dengan kenaikan dari kecepatan superficial dari gas (J_G), demikian pula dengan pengaruh tegangan permukaan terhadap nilai fraksi cairan rata-ratanya, terlihat pada grafik Gambar 8 menurun sebanding dengan kenaikan dari kecepatan superficial dari gas (J_G).



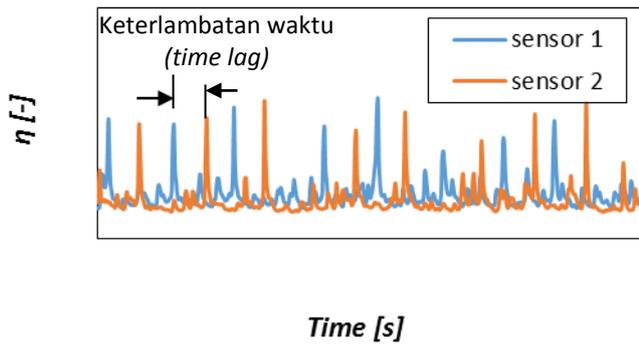
Gambar 8. Grafik hubungan antara kecepatan superficial udara (J_G) dan kecepatan superficial air (J_L) terhadap nilai rata-rata *liquid hold-up*

c. Kecepatan Gelombang

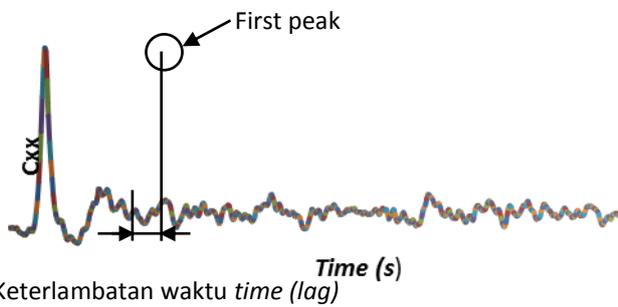
Perhitungan kecepatan gelombang dapat dilakukan dengan cara jarak yang ditempuh oleh gelombang dibagi dengan waktu, dimana jarak yang ditempuh gelombang di dapat dari selisih dari jarak antar dua buah sensor sedangkan waktu yang ditempuh oleh gelombang di dapat dari keterlambatan waktu (*time lag*) yang ditempuh oleh gelombang yang nilainya di dapat dengan menggunakan hubungan *cross correlation*^[1].

Gambar 9 menunjukkan keterlambatanwaktu pada dua buah sinyal *liquid hold-up* seragam dimana antara sinyal *liquid hold-up* seragam ini memiliki selisih waktu tempuh berbeda yang didapat dari sensor 1 dan 2 yang berjarak 215 mm dengan menggunakan metode *Constant Electric Current Method* (CECM).

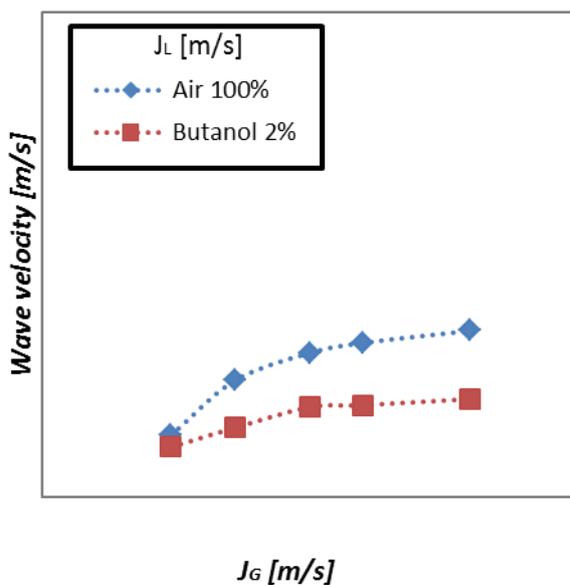
Gambar 10 merupakan contoh keterlambatan waktu (*time lag*) yang didapat menggunakan metode *cross correlation*.



Gambar 9. Keterlambatan waktu (*time lag*) sesaat antara 2 sensor metode *Constant Electric Current Method* (CECM).



Gambar 10. Keterlambatan waktu (*time lag*) sesaat antara 2 sensor metode *cross correlation* untuk air 100% ($J_L = 0.05$ m/s dan $J_G = 25$ m/s).



Gambar 11. Grafik hubungan antara kecepatan superficial udara (J_G) dan kecepatan

superfisial air (J_L) terhadap kecepatan gelombang.

Gambar 11 menunjukkan grafik kecepatan gelombang cenderung naik sebanding dengan kenaikan dari kecepatan superficial dari gas (J_G), sedangkan pengaruh tegangan permukaan terhadap kecepatan gelombang dapat dilihat pada grafik Gambar 11, dengan kenaikan kecepatan superficial dari gas maka nilai kecepatan gelombang dari tegangan permukaan cairan yang berbeda akan bernilai lebih rendah.

4. KESIMPULAN

1. Pengukuran fraksi cairan (*liquid hold-up*) menggunakan metode *Constant Electric Current Method* (CECM) dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik fraksi cairan (*liquid hold-up*) terhadap fungsi waktu dengan nilai amplitudo yang sangat kecil.
2. Pengaruh tegangan permukaan terhadap nilai fraksi cairan (*liquid hold-up*) sangat besar hal ini ditandai dengan nilai fraksi cairan (*liquid hold-up*) yang rendah sebanding dengan menurunnya nilai tegangan permukaannya.
3. Pengaruh tegangan permukaan terhadap kecepatan gelombang sangat besar dimana dengan nilai tegangan permukaan yang rendah maka nilai kecepatan gelombangnya akan rendah.
4. Semakin besar kecepatan superficial gas, maka nilai fraksi cairan (*liquid hold-up*) akan semakin rendah pula, sedangkan untuk kecepatan gelombangnya akan semakin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIKTI melalui hibah Pascasarjana UGM tahun anggaran 2012.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Deendarlianto, Ousaka, A., Kariyasaki, A., 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.

[2] Fukano, T., Ousaka, A., 1988, Air-Water Two-Phase Annular Flow in near Horizontal Tube (Effect of Pipe Inclination on the Fundamental Parameter), *JSME, Series 2*, vol. 31, 477-483.

[3] 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.

- [4] Palsson H., Berghorsson, E.S. and Palsson, O.P., 2006, Estimation and Validation, of Models Two Phase Flow From Geothermal Wells, 10th International Symposium on District Heating and Cooling, University of Iceland, Reykjavik.
- [5] Sekoguchi, K., Ousaka, A., Fukano, T., Morimoto, T., 1982, Air-Water Annular Two-Phase Flow in a Horizontal Tube, JSME, vol. 25, 532-542.
- [6] Zidni Hudaya., 2012, Measurements of Time Varying of Liquid Hold-Up and Wave Velocity Air-Water Stratified Flow, Seminar Nasional Thermofluid UGM.