

DISTRIBUSI KONSENTRASI DAN KECEPATAN GELEMBUNG UDARA PADA KONDISI PEMASUKAN UDARA ALAMIAH (*SELF AIR ENTRAINMENT*) DI SALURAN CURAM

Yeri Sutopo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)
Gedung E4, Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229, Telp. (024) 8508102

Abstract: *The purpose of this study was: (1) the availability of the results of analysis of the distribution of air bubbles in the region developing in conditions of natural air intake (self entrainment of water) at the base of a steep channel that has a slope of 15 ° and 20 °, and (2) the availability of the results of analysis of the speed of the air bubbles in the area of developing the natural condition of the air intake (air entrainment self) at the base of a steep channel that has a slope of 15 ° and 20 °. This study used an experimental method is implemented in the Hydraulics Laboratory JTSL FT-UGM. Used in this study has a steep channel length of 10 m, width 0.2 m with a slope changing from 15 °, and 20 °, which is fused with the wall tubs. Channeling water into a tub made of tanks controlled by valves. Discharge is 0.209 m³/sec. A V-Notch instrument used to calibrate the results of discharge measurements. The results are: (1) the equation concentration distribution of air bubbles in the discharge Q = 20.9 l / s and a slope of 15 ° 6.203 m and 7.203 m in the downstream inlet empirically Flum is 3,134 +18.87 LNC and R² = 0.955 and z LNC +12.58 = 4.121 and R² = 0.935. Equation concentration distribution of air bubbles in the discharge of Q = 20.9 l / s and 20 ° kemiringan 7m 6.203 m and 203 m downstream of the inlet Flum empirically is 3,749 +11.63 LNC and R² = 0.878, and z = 5.376 +3.005 Inc. and R² = 0.909. Form of the distribution curve is logarithmic concentration of air bubbles (z function C), (2) based on the concentration curve comparisons between theoretical air bubbles with experiments on a slope of 15 and 20 degrees and at 6.203 m and 7.203 m in the downstream inlet Flum, it appears that the superposition of curves experiments always flatter than the theoretical curve. Velocity of air bubbles is lower than the flow velocity. The greater the air bubbles and the wide angle greater movement of air bubbles tend to the lower speed.*

Keywords: *concentration and velocity of air bubbles, air intake naturally, steep channel.*

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah: (1) tersedianya hasil analisis distribusi gelembung udara di wilayah developing pada kondisi pemasukan udara alamiah (self air entrainment) di dasar saluran curam yang memiliki kemiringan 15° dan 20°; dan (2) tersedianya hasil analisis kecepatan gelembung udara di wilayah developing pada kondisi pemasukan udara alamiah (*self air entrainment*) di dasar saluran curam yang memiliki kemiringan 15° dan 20°. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika JTSL FT-UGM. Pada penelitian ini digunakan saluran curam yang mempunyai panjang 10 m, lebar 0,2 m dengan kemiringan berubah-ubah mulai 15°, dan 20°, yang menyatu dengan dinding bak air. Penyaluran air ke dalam bak dilakukan dari tangki yang dikendalikan oleh katup. Debit adalah 0,209 m³/dt. Instrumen berupa V-Notch digunakan untuk mengkalibrasi hasil pengukuran debit. Hasil penelitian adalah: (1) persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara pada debit Q=20,9 l/s serta kemiringan 15° 6,203 m dan 7,203 m di hilir inlet flum secara empirik adalah 3,134lnC+18,87 dan R²=0,955 serta z=4,121lnC+12,58 dan R²=0,935. Persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara pada debit Q=20,9 l/s serta kemiringan 20° 6,203 m dan 7m 203 m di hilir inlet flum secara empirik adalah 3,749lnC+11,63 dan R²=0,878, serta z=5,376lnC+3,005 dan R²=0,909. Bentuk kurva distribusi konsentrasi gelembung udara adalah logaritmik (z fungsi C); (2) berdasarkan kurva perbandingan antara konsentrasi gelembung udara teoritik dengan eksperimen pada kemiringan 15 dan 20 derajat serta di 6,203 m dan 7,203 m di hilir inlet flum, nampak bahwa secara superposisi kurva eksperimen selalu lebih landai dibandingkan dengan kurva teoritik. Kecepatan gelembung udara lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan aliran. Makin besar luas gelembung udara dan makin besar sudut pergerakan gelembung udara cenderung makin rendah kecepatannya.

Kata kunci: konsentrasi dan kecepatan gelembung udara, pemasukan udara alamiah, saluran curam

PENDAHULUAN

Kondisi hidraulik di bangunan pelimpah melibatkan empat resim aliran yaitu (1) aliran

subkritik, saat aliran mendekati bangunan pelimpah; (2) aliran kritik pada saat melewati puncak (*crest*); (3) aliran superkritik pada

saluran luncur di hilir (*crest*); dan (4) aliran kritis di ujung akhir saluran luncur (Bhajantri, Eldho, dan Deolalikar, 2006: 744). Menurut Borman seperti yang dikutip oleh Falvey (1980: 15), resim pemasukan udara secara alamiah di bangunan pelimpah melibatkan tiga wilayah yaitu (1) *no air entrainment*; (2) *developing*; dan (3) *fully developed*. Aliran superkritis yang terjadi di saluran luncur serta pada wilayah pemasukan udara *no air entrainment* dan *developing* di duga dapat menyebabkan erosi. Dugaan ini didukung oleh Kramer dan Hager (2005:1182) bahwa erosi terjadi di wilayah yang mana tekanan rendah serta di wilayah yang mana gelembung udara belum menyentuh dasar saluran atau di wilayah *developing*.

Berdasarkan uraian di atas dapat dikatakan bahwa pengetahuan dan pemahaman tentang distribusi gelembung udara di saluran curam harus dideskripsikan, sehingga dapat dicegah terjadinya tekanan rendah dan kavitasi lebih awal, dengan demikian dapat dikonstruksi suatu bangunan yang mampu mengatasinya. Di samping itu, dibutuhkan juga pengetahuan dan pemahaman kecepatan gelembung udara yang berada di dalam aliran, yang mana deskripsinya dapat digunakan untuk mengkonstruksi suatu aerator yang mampu memisahkan air dengan minyak sebagai polutan.

Berdasarkan asumsi bahwa gelembung udara adalah berbentuk bola, maka kecepatan terminal dari gelembung kecil diekspresikan dalam persamaan di bawah ini:

$$V_t = \frac{2}{9} \left\{ \frac{R^2 g [1 - (Q_a / Q_w)]}{\nu_f} \right\} \quad (1)$$

Keterangan:

- Q_a : Debit udara
- Q_w : Debit air
- R : Radius atau jari-jari gelembung udara

- ν_f : Viskositas kinematik air
- g : Kecepatan gravitasi, 9,81 m/s²

Persamaan di atas sering dikenal dengan *Stokes solution*. Nilai masing-masing variable gelembung udara, air dan percepatan gravitasi disisipkan ke dalam persamaan di bawah ini, maka kecepatan terminal gelembung udara dapat diketahui.

Persamaan di atas sering dikenal dengan *Stokes solution*. Nilai masing-masing variable gelembung udara, air dan percepatan gravitasi disisipkan ke dalam persamaan di bawah ini, maka kecepatan terminal gelembung udara dapat diketahui.

$V_t = 1,45 R^2$ Persamaan ini hanya berlaku untuk gelembung yang memiliki jari-jari (R)=0,068 mm.

Pada jari-jari gelembung udara R yang memiliki nilai antara 0,068 sampai dengan 0,40 mm, digunakan persamaan di bawah ini.

$$V_t = 0,625 R^2 \quad (2)$$

Pada aliran turbulen maka kurva di atas tidak dapat digunakan. Efek dari turbulensi adalah mengurangi kecepatan terminal gelembung udara. Pada aliran turbulen, persamaan di bawah ini dapat digunakan untuk memprediksi kecepatan terminalnya.

$$V_f = aV_t \quad (2.22)$$

Tujuan penelitian ini adalah: (1) tersedianya hasil analisis distribusi gelembung udara di wilayah *developing* pada kondisi pemasukan udara alamiah (*self air entrainment*) di dasar saluran curam yang berkemiringan 15° dan 20°; dan (2) tersedianya hasil analisis kecepatan

gelembung udara di wilayah *developing* pada kondisi pemasukan udara alamiah (*self air entrainment*) di dasar saluran curam yang berkemiringan 15° dan 20° .

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika JTSL FT UGM. Pada penelitian ini digunakan saluran curam yang mempunyai panjang 10 m, lebar 0,2 m dengan kemiringan berubah-ubah mulai 15° , dan 20° , yang menyatu dengan dinding bak air. Penyaluran air ke dalam bak dilakukan dari tangki yang dikendalikan oleh katup. Debit adalah $0,209 \text{ m}^3/\text{dt}$. Instrumen berupa *V-Notch* digunakan untuk mengkalibrasi hasil pengukuran debit.

Di titik $X=4,5 \text{ m}$ (hasil hitungan) dianggap $X_c = 0$ yang menjadi referensi aliran hulu yang merupakan awal dari posisi "*developing*". Distribusi gelembung udara diukur di zona "*developing*", di tiga titik tengah longitudinal pada $x= 6,203 \text{ m}$ dan $7,203 \text{ m}$, semuanya terletak di dasar aliran. Eksperimen dilakukan untuk dua (1 debit dan 2 kemiringan) kondisi aliran seragam superkritik.

Data eksperimen dianalisis mengikuti tahap-tahap (1) mengukur posisi gelembung udara dari dasar aliran z menggunakan perangkat lunak *ImageJ*, (2) mengukur diameter, tingkat keabu-abuan, luas, dan keliling lingkaran menggunakan perangkat lunak *ImageJ*, (3) menghitung luas total gelembung udara di tiap kedalaman menggunakan perangkat lunak *ImageJ*, (4) menghitung sudut dan kecepatan gelembung udara menggunakan kombinasi perangkat lunak *Trace* dan *ImageJ*; (5) menampilkan gambar gelembung udara; dan (6)

menggambar kurva konsentrasi gelembung udara C .

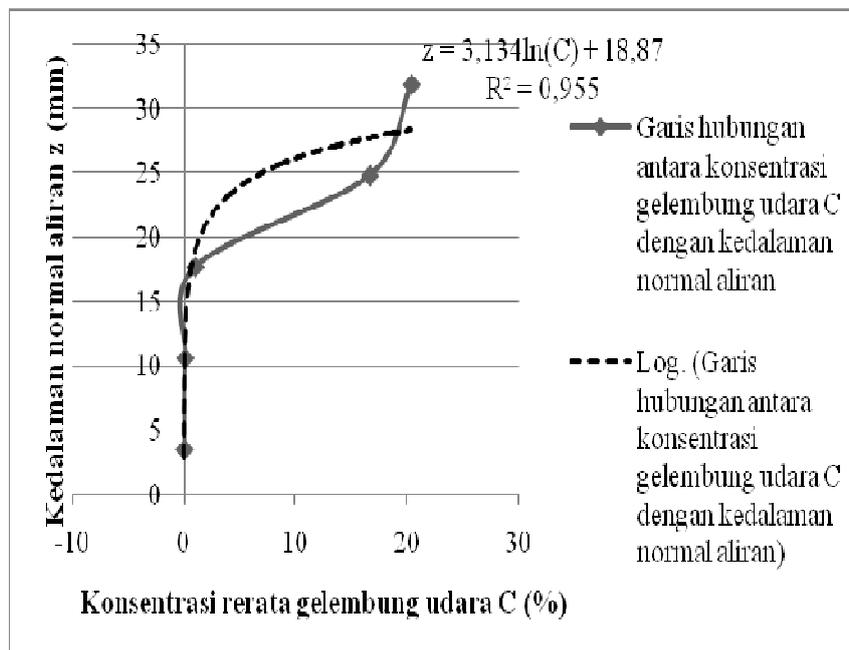
HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Distribusi Gelembung Udara

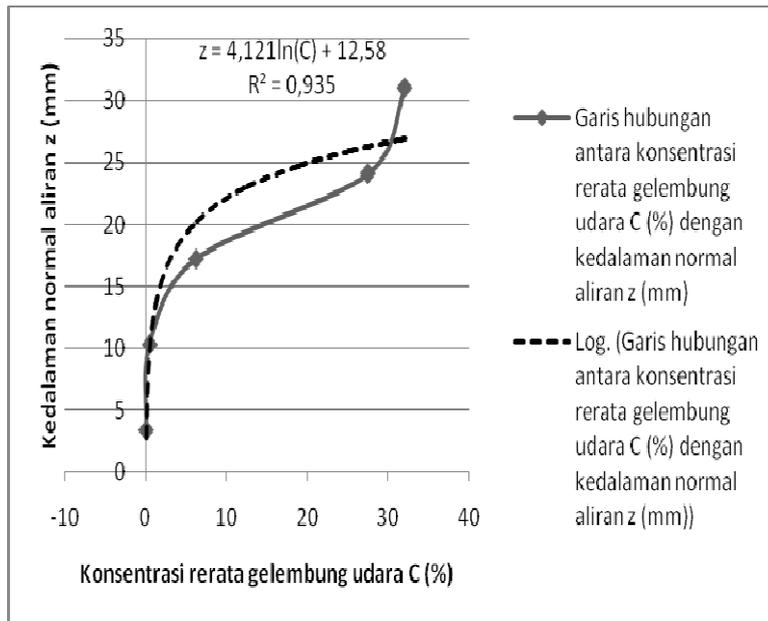
Berdasarkan Gambar 2 dan 3 dapat dijelaskan bahwa gelembung udara sudah menjangkau dasar aliran, meskipun konsentrasinya sangat kecil yaitu $0,006\%$ dan $0,092\%$. Di samping itu, konsentrasi gelembung udara di tengah kedalaman sebesar $0,979\%$, nilai ini belum mencapai 5% . Namun demikian pada lokasi $7,203 \text{ m}$ di hilir flum, konsentrasi gelembung udara di tengah kedalaman sudah lebih besar dari 5% yaitu $6,271\%$. Konsentrasi gelembung udara di permukaan aliran adalah yang paling besar, sementara di dekat dasar mendekati nol persen. Distribusi seperti hasil penelitian ini selaras dengan temuan Chanson (1997: 197), bahwa bentuk kurva konsentrasi gelembung udara adalah logaritmik (z fungsi C). Distribusi konsentrasi gelembung udara pada Gambar 2 dan 3, juga cocok dengan pendapat Afshar, Ranga Raju dan Asawa (1994) bahwa distribusi konsentrasi gelembung udara berbentuk logaritma serta konsentrasi gelembung udara konstan terletak di "*wall region*". Di samping itu, Falvey (1980) menyatakan bahwa kondisi distribusi gelembung udara seperti Gambar 5.2 dan 5.4 di atas masih dalam wilayah *developing* belum termasuk ke dalam wilayah *fully developed*. Persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara secara empirik adalah $3,134\ln C + 18,87$ dan $R^2=0,955$ serta $z=4,121\ln C + 12,58$ dan $R^2=0,935$. Persamaan ini sah digunakan untuk memprediksi nilai konsentrasi gelembung udara yang diukur dari dasar aliran.

Berdasarkan Gambar 2 dan 3 dapat dijelaskan bahwa gelembung udara sudah menjangkau dasar aliran, meskipun konsentrasinya sangat kecil yaitu 0,006% dan 0,092%. Di samping itu, konsentrasi gelembung udara di tengah kedalaman sebesar 0,979%, nilai ini belum mencapai 5%. Namun demikian pada lokasi 7,203 m di hilir flum, konsentrasi gelembung udara di tengah kedalaman sudah lebih besar dari 5% yaitu 6,271%. Konsentrasi gelembung udara di permukaan aliran adalah yang paling besar, sementara di dekat dasar mendekati nol persen. Distribusi seperti hasil penelitian ini selaras dengan temuan Chanson (1997: 197)., bahwa bentuk kurva konsentrasi gelembung udara adalah logaritmik (z fungsi C). Distribusi konsentrasi gelembung udara pada

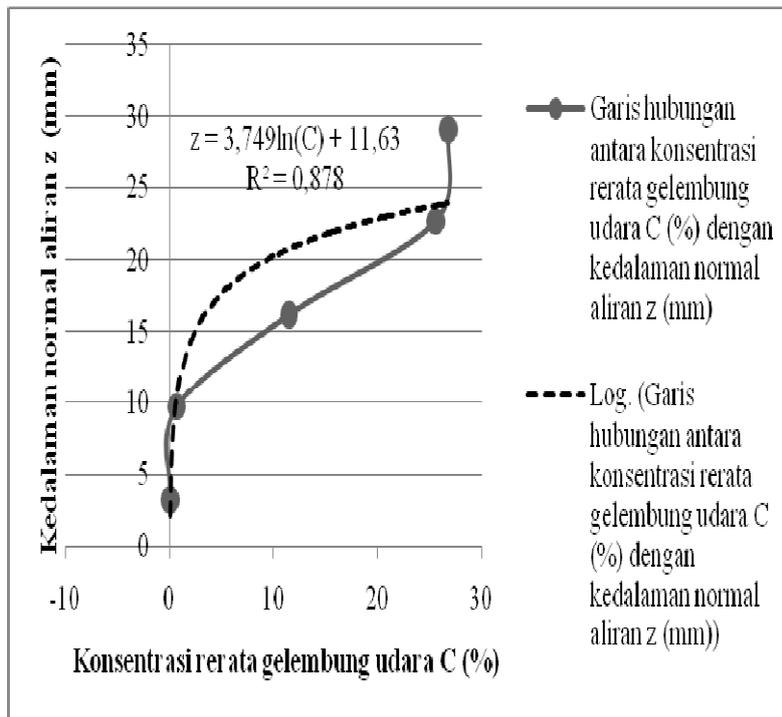
Gambar 2 dan 3, juga cocok dengan pendapat Afshar, Ranga Raju dan Asawa (1994) bahwa distribusi konsentrasi gelembung udara berbentuk logaritma serta konsentrasi gelembung udara konstan terletak di “*wall region*”. Di samping itu, Falvey (1980) menyatakan bahwa kondisi distribusi gelembung udara seperti Gambar 5.2 dan 5.4 di atas masih dalam wilayah *developing* belum termasuk ke dalam wilayah *fully developed*. Persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara secara empirik adalah $z = 3,134 \ln C + 18,87$ dan $R^2 = 0,955$ serta $z = 4,121 \ln C + 12,58$ dan $R^2 = 0,935$. Persamaan ini sah digunakan untuk memprediksi nilai konsentrasi gelembung udara yang diukur dari dasar aliran.



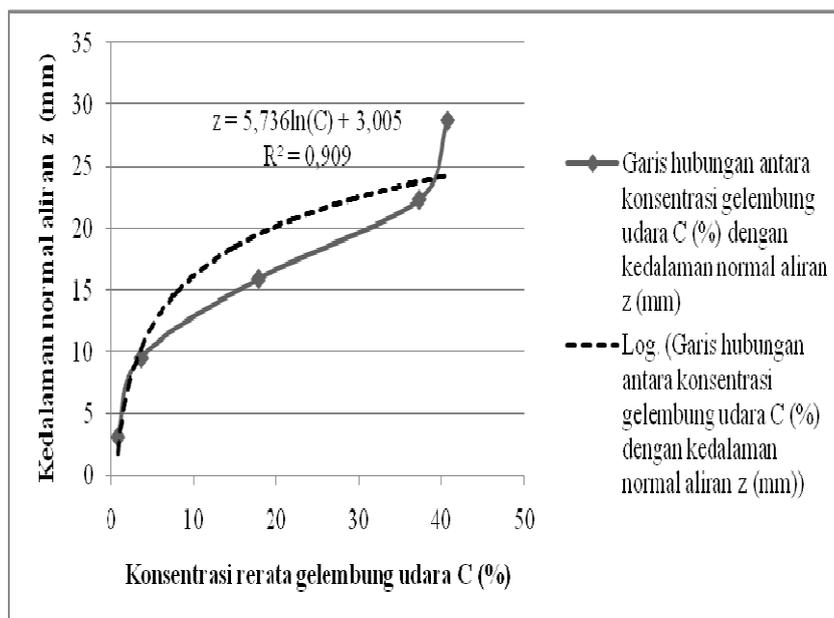
Gambar 2. Kurva hubungan antara kedalaman normal aliran z (mm) dengan konsentrasi gelembung udara C (%) pada $Q=20,9$ l/s dan kemiringan flume 15 derajat serta di 6,203 m



Gambar 3. Kurva hubungan antara kedalaman normal aliran z (mm) dengan konsentrasi gelembung udara C (%) pada $Q=20,9$ l/s dan kemiringan flume 15 derajat serta di 7,203 m di hilir inlet flum



Gambar 4. Kurva hubungan antara kedalaman normal aliran z (mm) dengan konsentrasi gelembung udara C (%) pada $Q=20,9$ l/s dan kemiringan flume 20 derajat serta di 6,203 m di hilir inlet flum



Gambar 5. Kurva hubungan antara kedalaman normal aliran z (mm) dengan konsentrasi gelembung udara C (%) pada $Q=20,9$ l/s dan kemiringan flume 20 derajat serta di 7,203 m di hilir inlet flum

Berdasarkan Gambar 4 dan 5 dapat dijelaskan bahwa gelembung udara sudah menjangkau dasar aliran, meskipun konsentrasinya sangat kecil yaitu 0,079%. Namun demikian pada lokasi 7,203 m di hilir flum, konsentrasi gelembung udara di tengah kedalaman sudah lebih besar dari 5% yaitu 11,533%. Konsentrasi gelembung udara di permukaan aliran adalah yang paling besar, sementara di dekat dasar mendekati nol persen. Distribusi seperti hasil penelitian ini selaras dengan temuan Chanson (1997: 197)., bahwa bentuk kurva konsentrasi gelembung udara adalah logaritmik (z fungsi C). Distribusi konsentrasi gelembung udara pada Gambar 4, juga cocok dengan pendapat Afshar, Ranga Raju dan Asawa (1994) bahwa distribusi konsentrasi gelembung udara berbentuk logaritma serta konsentrasi gelembung udara konstan terletak di “*wall region*”. Di samping itu, Falvey (1980) menyatakan bahwa kondisi distribusi gelembung udara seperti Gambar 4 di

atas masih dalam wilayah *developing* belum termasuk ke dalam wilayah *fully developed*. Persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara secara empirik adalah $3,749\ln C + 11,63$ dan $R^2=0,878$. Persamaan ini sah digunakan untuk memprediksi nilai konsentrasi gelembung udara yang diukur dari dasar aliran. Berdasarkan Gambar 5 persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara secara empirik adalah $z=5,376\ln C + 3,005$ dan $R^2=0,909$. Persamaan ini sah digunakan untuk memprediksi nilai konsentrasi gelembung udara yang diukur dari dasar aliran.

Deskripsi Kecepatan Gelembung Udara

Berdasarkan pengamatan, tidak semua gelembung udara dapat diukur kecepatan dan arah pergerakannya. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan instrumen baik perangkat keras dan perangkat lunak penelitian. Tabel 1 menyajikan fakta arah dan kecepatan gelembung udara hasil penelitian. Gelembung

udara yang diuraikan pada penelitian ini baru terbatas pada yang gerakannya ke atas. Berdasarkan Tabel 1 serta nomer 1 dan 2 diketahui bahwa sudut arah gelembung adalah 8°26'2". Di samping itu, kecepatan gelembung udara adalah 0,954m/s. Kecepatan gelembung udara lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan aliran (0,954m/s<4,457m/s). Merujuk pada Tabel 5.9 serta nomer 3 dan 4 diketahui bahwa sudut arah gelembung adalah 4°8'52". Kecepatan gelembung udaranya adalah 0,398m/s. Kecepatan gelembung udara lebih

rendah dibandingkan dengan kecepatan aliran (0,398m/s<4,457m/s).

Berdasarkan Tabel 1 dapat dikemukakan bahwa makin besar luas gelembung udara cenderung makin rendah kecepatannya. Tabel 1 juga menunjukkan bahwa makin besar sudut pergerakan gelembung udara makin rendah kecepatannya. Sintesis ini hanya didasarkan pada data yang disajikan dalam makalah ini, yang telah secara adil dipilih. Penelitian disertasi ini masih terus berjalan, oleh karena itu terbuka kemungkinan jika sintesis ini akan berubah.

Tabel 1. Kecepatan gelembung udara di 6,203m hilir inlet flum Q=20,9l/s pada kemiringan flum 15 derajat

No.	Kedalaman dari dasar aliran (z)/mm	Luas gelembung (A)/mm ²	Kecepatan gelembung (u)/m/s	Sudut pergerakan gelembung
1.	6,85	2,557	0,954	8°26'2"
2.	9,83			
3.	9,310	1,493	0,398	4°8'52"
4.	10,82			
5.	10	2,916	0,196	23°8'38"
6.	13,07			
7.	12,267	5,12	0,267	14°51'14"
8.	15,067			
9.	9,6	1,991	0,410	4°27'50"
10.	10,933			
11.	8,9333	7,396	0,174	28°3'54"
12.	12,133			

KESIMPULAN

Pertama, Persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara pada debit Q=20,9 l/s serta kemiringan 15° 6,203 m dan 7m203 m di hilir inlet flum secara empirik adalah $3,134\ln C+18,87$ dan $R^2=0,955$ serta $z=4,121\ln C+12,58$ dan $R^2=0,935$. Persamaan distribusi konsentrasi gelembung udara pada debit Q=20,9 l/s serta kemiringan 20° 6,203 m dan 7m203 m di hilir inlet flum secara empirik

adalah $3,749\ln C+11,63$ dan $R^2=0,878$, serta $z=5,376\ln C+3,005$ dan $R^2=0,909$. Bentuk kurva distribusi konsentrasi gelembung udara adalah logaritmik (z fungsi C). Berdasarkan kurva perbandingan antara konsentrasi gelembung udara teoritik dengan eksperimen pada kemiringan 15 dan 20 derajat serta di 6,203 m dan 7,203 m di hilir inlet flum, nampak bahwa secara superposisi kurva eksperimen selalu lebih landai dibandingkan dengan kurva teoritik.

Kedua, kecepatan gelembung udara lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan aliran. Makin besar luas gelembung udara dan makin besar sudut pergerakan gelembung udara cenderung makin rendah kecepatannya.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa kurva perbandingan antara konsentrasi gelembung udara teoritik dengan eksperimen pada kemiringan 15 dan 20 derajat serta di 6,203 m dan 7,203 m di hilir inlet flum, secara superposisi kurva eksperimen selalu lebih landai dibandingkan dengan kurva teoritik. Persamaan teoritik yang dikemukakan oleh Chanson (1997)

adalah $C = 1 - \tanh^2 \left(K' - \frac{z/z_{90}}{2 * D'} \right)$ oleh karena

itu dapat disusun persamaan modifikasi dengan cara merubah suku persamaan

$\tanh^2 \left(K' - \frac{z/z_{90}}{2 * D'} \right)$ melalui penelitian

dengan debit dan sudut kemiringan flum yang lebih beragam

Falvey, H., T., 1980, *Air Water Flow Hydraulic Structure*, United States Departement of Interior, Water and Power Resources Service.

Hager, Kramer, dan Hans. 2006, Development of Air Concentration on Chute Spillways, *Journal of Hydraulic Engineering (ASCE)*, September 2006, pp. 908-914.

Sutopo, Y., 2012, Distribusi Konsentrasi dan kecepatan Gelembung Udara pada Kondisi Pemasukan Udara (self air entrainment) Di Saluran Curam, *Laporan Penelitian DIPA FT UNNES 2012*.

DAFTAR PUSTAKA

Bhajantri, M.R., Eldho, T.I., dan Deolalikar, P.B., 2006, "Hydrodynamic modeling of flow over a spillway using a two dimensional finite volume based numerical model", *Sadhana* Vol. 31, Part 6, Desember.

Chanson, H., "Self aeration on chute and stepped spillways air entrainment and flow aeration in open channel flows", *Dept. Of Civil Engrg. Univ. of queensland, Brisbane QLD 4072, 1997, Australia*.