

# PEMASUKAN UDARA ALAMIAH (*SELF AIR ENTRAINMENT*) PADA ALIRAN SUPERKRITIK DI SALURAN CURAM

---

Yeri Sutopo<sup>1</sup>, Budi S. Wignyosukarto<sup>2</sup>, Bambang Yulistyanto<sup>2</sup> dan Istiarto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)  
Email: yerg3g@yahoo.com

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan (JTSL), Fakultas Teknik, UGM Yogyakarta  
Email: Istiarto@ugm.ac.id; yulis@tsipil.ugm.ac.id

Abstrak. Tujuan penelitian ini adalah: (1) identifikasi lokasi *point of inception* pemasukan udara alamiah (*self air entrainment*) pada saluran curam di lokasi *developing aerated flow*; (2) deskripsi distribusi konsentrasi gelembung udara pada kondisi pemasukan udara alamiah (*self air entrainment*) di lokasi *developing aerated flow*. Dua tujuan penelitian dicapai menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan (JTSL) Fakultas Teknik UGM. Pada penelitian ini digunakan saluran curam yang mempunyai panjang 10 m, lebar 0,2 m, tinggi 0,4 m dengan kemiringan berubah-ubah mulai 15°, 20°, dan 25°, yang menyatu dengan dinding bak air. Debit divariasikan mulai dari 9,4 l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s. Distribusi konsentrasi gelembung udara hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan persamaan Chanson (1995) serta Straub dan Anderson (1958). Hasil penelitian ini adalah (1) letak *point of inception* eksperimen untuk  $\alpha=15^\circ$  adalah 4,4 m dari *inlet flume*; untuk  $\alpha=20^\circ$  adalah 4 m dari *inlet flume*; dan untuk  $\alpha=25^\circ$  adalah 3,4 m dari *inlet flume*; (2) profil distribusi konsentrasi gelembung udara di titik 6,2 m di hilir *inlet flume* dapat dikategorikan sebagai *partially aerated flow*; dan (3) profil distribusi konsentrasi gelembung udara di titik 7,2 m di hilir *inlet flume* dapat dikategorikan sebagai *fully aerated flow*.

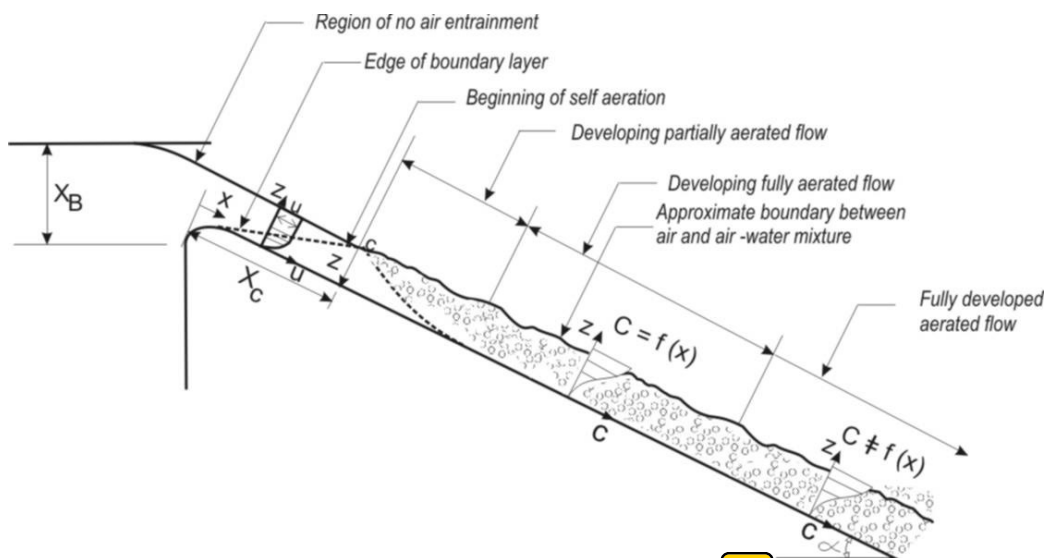
Kata kunci: pemasukan udara alamiah; aliran superkritik; dan saluran curam

## PENDAHULUAN

Pada aliran superkritik, udara dari atmosfer masuk ke dalam aliran. Pemasukan udara dalam aliran dapat mencegah atau mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh kavitasi (Chanson, 1993). Mekanisme gelembung udara yang masuk ke dalam aliran yang mampu mencegah kerusakan karena kavitasi adalah (1) kavitasi menyebabkan gelembung uap air; (2) gelembung uap air memiliki tekanan yang lebih rendah dibandingkan tekanan di dalam aliran; (3) perbedaan tekanan di dalam aliran ini menyebabkan gelembung uap air pecah yang menimbulkan gelombang

pukulan yang sangat tinggi yang dapat merontokkan atau mengikis dasar dan sisi samping saluran luncur pelimpah; dan (4) keberadaan gelembung udara yang merupakan fenomena *self air entrainment* ini akan menyeimbangkan tekanan yaitu menjadi positif, sehingga mencegah pukulan yang diakibatkan oleh pecahnya gelembung uap air. Dengan demikian pemasukan udara dari atmosfer ke dalam aliran sangat dibutuhkan, namun demikian syarat kondisinya harus terpenuhi yaitu harus terjadi turbulensi di permukaan aliran.

Peterka seperti yang dikutip oleh Chanson (1990: 343) telah melakukan penelitian inovatif selama 50 tahun, yang menunjukkan bahwa konsentrasi udara dari satu sampai dua persen dapat mengurangi erosi. Hasil eksperimen lapangan dari Proyek Energi-Hidro Wujiangdu (*Wujiangdu Hydropower Project*) menunjukkan bahwa pada tinggi tekanan 70 m–100 m, konsentrasi udara pada dasar bangunan pelimpah sebesar 1,4–4,1 %; mampu melindungi kerusakan karena erosi.



**Gambar 1. Pemasukan udara sepanjang pelimpah (Sumber: Chanson dalam “Air water flows in water engineering and hydraulic structures: Basic processes and metrology“ (2004))**

Salah satu karakteristik penting dalam aliran di permukaan saluran luncur adalah udara masuk dari atmosfer ke dalam aliran dan bercampur dengan air. Falvey (1980) mendefinisikan pemasukan udara sebagai proses masuknya udara dari atmosfer ke dalam badan air. Pemasukan udara ditandai dari adanya air putih dalam aliran. Pemasukan udara seperti yang diuraikan di atas dapat juga disebut sebagai *self aeration*.

Di dasar aliran bangunan pelimpah, lapisan batas mulai terjadi sejak di atas ambang atau *crest*. Lapisan batas laminer biasanya pendek saja, hal ini disebabkan oleh kecepatan dan kekasaran aliran yang mulai meningkat. Setelah itu terjadi lapisan batas turbulen. Pada titik tertentu yaitu di

titik c yang jaraknya dari ambang pelimpah adalah  $X_c$ , lapis batas turbulen mencapai permukaan aliran. Dalam istilah hidraulik aliran telah berkembang penuh. Pada saat inilah proses pemasukan udara dimulai, lazimnya lokasi ini disebut sebagai *the point of inception*.

Menurut Chanson (1993) proses pemasukan udara ini terjadi karena fluktuasi kecepatan aliran turbulen  $u'$  sudah cukup besar untuk mengatasi tegangan permukaan. Di samping itu fluktuasi kecepatan aliran turbulen  $u'$  sudah lebih besar dari pada kecepatan komponen gelembung udara. Persamaan kondisi terjadinya pemasukan udara adalah:

$$u' > \sqrt{\frac{8\sigma'}{\rho_w d_{ab}}} \quad (1)$$

dan

$$u' > u_r \cos \alpha$$

Sumber: Chanson dalam “Air water flows in water engineering and hydraulic structures: Basic processes and metrology“ (2004)

Keterangan:

$X_B$	:	Tinggi tekanan di atas ambang pelimpah
$\alpha$ (alpha)	:	Kemiringan saluran luncur atau pelimpah
$d_{ab}$	:	Diameter gelembung udara
$u'$	:	Kecepatan normal aliran turbulen
$\rho_w$ (rho)	:	Berat jenis air
$u_r$	:	Kecepatan gelembung udara
$\sigma'$ (sigma prime)	:	Tegangan permukaan

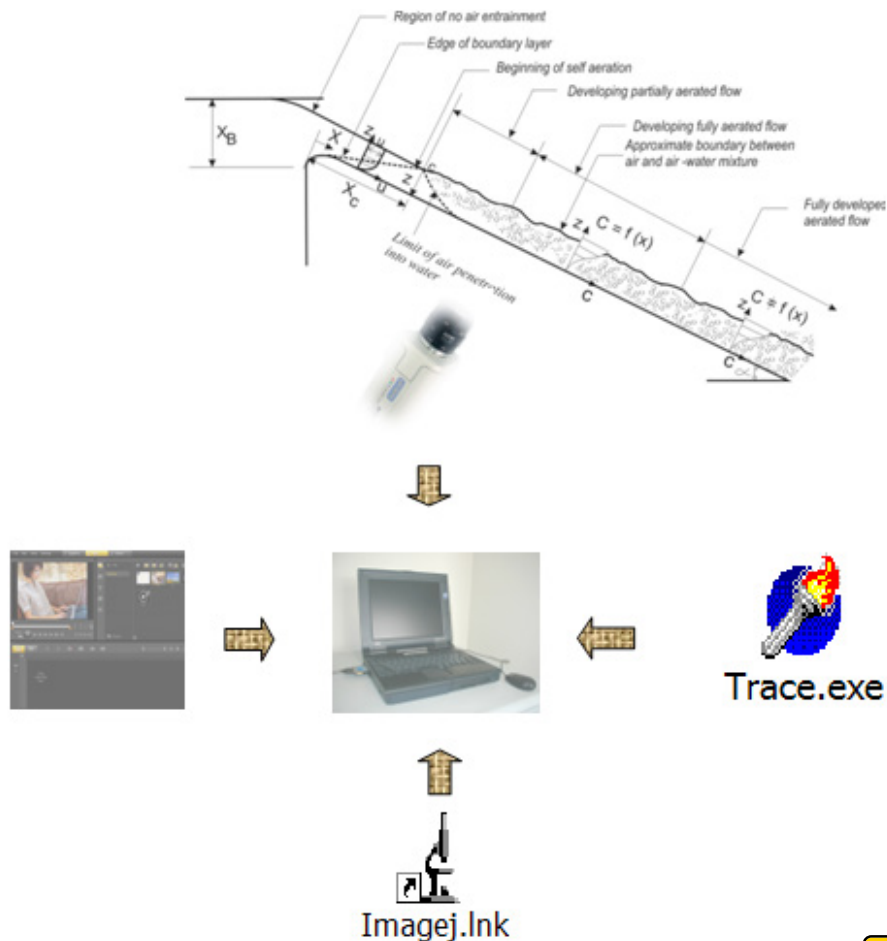
Berdasarkan uraian dalam latar belakang di atas, maka tujuan penelitian ini adalah: (1) identifikasi lokasi *point of inception* pemasukan udara alamiah (*self air entrainment*) pada saluran curam di lokasi *developing aerated flow*; (2) deskripsi distribusi konsentrasi gelembung udara pada kondisi pemasukan udara alamiah (*self air entrainment*) di lokasi *developing aerated flow*.

## METODE

Pada penelitian ini digunakan saluran curam yang mempunyai panjang 10 m, lebar 0,2 m, tinggi 0,4 m dengan kemiringan berubah-ubah mulai 15°, 20°, dan 25°, yang menyatu dengan dinding bak air. Pemilihan kemiringan dasar *flume*  $\alpha=15^\circ$ , 20°, dan 25° di dasarkan atas pertimbangan: (1) menurut Chanson (1989) bahwa definisi saluran curam merujuk kepada besaran  $\alpha \geq 20^\circ$ , sehingga dipilih  $\alpha=20^\circ$  dan 25°; (2) pemilihan  $\alpha=15^\circ$  didasarkan pada pendapat Chow yang diterjemahkan oleh Rosalina (1992) bahwa saluran dianggap curam jika  $\alpha > 6^\circ$ . Dengan demikian penggunaan kemiringan dasar *flume*  $\alpha=15^\circ$ , 20°, dan 25° memiliki dasar ilmiah yang *kongruen* dengan peneliti terdahulu.

Penyaluran air ke dalam bak dilakukan dari tangki yang dikendalikan oleh katup. Debit divariasikan mulai dari 9,4 l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s. Instrumen berupa pintu *Thompson (V Notch)* digunakan untuk mengkalibrasi debit aliran. Seperangkat kamera video digunakan untuk mengambil gambar gerakan gelembung udara. Analisis gelembung udara menggunakan program perangkat lunak Ulead Video Studio 11 yang dilengkapi dengan perangkat lunak Imagej. Tekanan negatif di bawah lompatan aliran diukur menggunakan instrumen berupa selang udara yang dilengkapi dengan sensor, *data logger* dan perangkat lunak yang disusun menggunakan bahasa pemrograman Delphi.

Tata letak tangki air bagian bawah, tangki air bagian atas, pompa, talang air, serta lubang untuk mengukur tekanan di dasar aliran tersaji dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Bagan alir menentukan konsentrasi gelembung udara (Sumber: Yeri Sutopo, dkk. “*Kinerja aerator dalam mengurangi gejala kavitasi pada aliran superkritik di dasar saluran curam*”, Laporan Penelitian Unggulan PT DP2M Dikti, 2014)

Langkah-langkah menentukan distribusi konsentrasi gelembung udara C: (1) mengambil gambar gelembung udara menggunakan kamera *CCTV* yang dilengkapi dengan sensor *CCD*; (2) gambar gelembung udara dibaca menggunakan perangkat lunak *video capture*; (3) gambar

video disimpan di dalam *file* perangkat lunak *video capture*; (4) gambar video dijadikan menjadi gambar diam (*still image*) menggunakan menu *Batch Convert*; (5) mendeskripsikan dimensi dan tingkat keabu-abuan gelembung udara dengan perangkat lunak *ImageJ*; (6) mengubah *frame* gambar RGB (*red, green, brown*) menjadi hitam dan putih (8 bit); (7) mendatarkan atau membuat gambar dalam *frame* menjadi horisontal menggunakan menu *rotate*; (8) mengubah skala *pixels* menjadi skala riil dalam (mm) menggunakan menu *set scale*, di samping itu mengatur dalam pilihan global agar skala horisontal dan vertikal sekaligus diatur oleh *Imagej*; (9) mengukur besaran luas gelembung udara dalam satuan riil (mm<sup>2</sup>) menerapkan menu analisis dan *option measure*; (10) membaca besaran area atau luas gelembung udara dalam mm<sup>2</sup> melalui *option results*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Lokasi *Point of Inception* Diukur dari *Inlet Flume* pada Kondisi Pemasukan Udara Alamiah (*Self Air Entrainment*) Di Saluran Curam

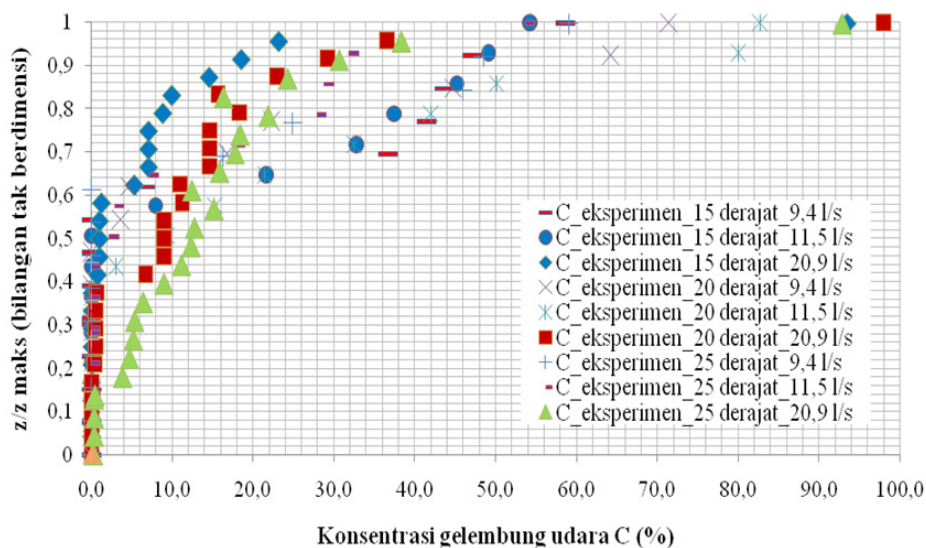
**Tabel 1. Perbandingan empat metode dalam menghitung lokasi *point of inception* ( $X_i$ ) terhadap lokasi *point of inception* eksperimen pada  $\alpha=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$  dan  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s**

Metode Prakiraan Letak <i>Point of Inception</i> dari <i>Inlet Flume</i>										
Kemiringan dasar flum ( $\alpha$ )	Debit aliran Q (l/s)	$X_{c(\text{eksperimen})}$ (m)	Wood, dkk (1983)		Ferrando dan Rico (2002)		Hager dan Blaser (1998)		Bauer (1954)	
			$X_{c(\text{hitung})}$ (2.23) (m)	E (%)	$X_{c(\text{hitung})}$ (2.24) (m)	E (%)	$X_{c(\text{hitung})}$ (2.25) (m)	E (%)	$X_{c(\text{hitung})}$ (2.26) (m)	E (%)
15°	9,4	5,3	3,5	-33,7	1,9	-63,3	3,1	-42,1	4,5	-15,29
	11,5	4,1	4,0	-2,2	2,4	-42,7	3,6	-14,0	5	20,95
	20,9	3,8	6,2	62,2	4,3	13,1	5,5	42,3	6	56,29
20°	9,4	4,2	3,3	-21,5	1,8	-57,3	2,6	-37,4	5	20,34
	11,5	4,1	3,7	-8,9	2,2	-47,6	3,0	-26,8	5,5	33,95
	20,9	3,7	5,8	56,1	3,9	6,8	4,6	25,1	7	89,55
25°	9,4	3,7	3,1	-16,9	1,7	-55,4	2,3	-38,1	5	35,10
	11,5	3,7	3,5	-4,5	2,0	-45,8	2,6	-28,3	6	62,34
	20,9	2,9	5,4	81,7	3,7	22,5	4,1	35,9	7	133,88
<b>Rerata Error (E)</b>				<b>12,4</b>		<b>-29,9</b>		<b>-9,2</b>		<b>48,6</b>
<b>Simpangan baku (Sd)</b>				<b>42,2</b>		<b>33,9</b>		<b>34,1</b>		<b>43,6</b>
<i>Error</i>										
<b>Rentang Error</b>				<b>(-33)- (81,66)</b>		<b>(-63)- (22,53)</b>		<b>(-42,12)- (42,28)</b>		<b>(-15,29)- (133,88)</b>
<b>Peluang pada taraf kepercayaan 68% (E±Sd)</b>				<b>(-29,75; 54,71)</b>		<b>(-63,84; 3,92)</b>		<b>(-43,326; 24,81)</b>		<b>(4,92; 92,21)</b>
<b>Peluang pada taraf kepercayaan 95% (E±2Sd)</b>				<b>(-71,98; 96,46)</b>		<b>(-97,73; 37,81)</b>		<b>(-77,39; 58,87)</b>		<b>(-38,72; 135,85)</b>

Berdasarkan Tabel 1 di bawah nampak bahwa metode Hager dan Blaser (1998) paling mendekati nilai *point of inception* eksperimen dibandingkan dengan tiga metode lain yaitu Wood, Acker dan Loveless (1983); Ferrando dan Rico (2002); serta metode Bauer (1954). Hal ini disebabkan nilai rerata *error point of inception* terhadap nilai *point of inception* eksperimen atau aktual memiliki nilai paling kecil dibanding tiga metode lain, yaitu ( $9,3\% < 12,5\%$ ;  $9,3\% < 29,9\%$ ; dan  $9,3\% < 48,57\%$ ).

### Profil distribusi konsentrasi gelembung udara di titik 6,2 m dari *inlet flume*

Berdasarkan Gambar 3 dapat dikatakan bahwa distribusi konsentrasi gelembung udara eksperimen arah vertikal pada titik 6,2 m dan  $\alpha = 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ; serta  $Q=20,9$  l/s zona *underlying* dan zona *mixing* mengikuti persamaan logaritma. Berdasarkan Gambar 3 dapat disintesis bahwa teori Straub dan Anderson (1958) lebih mendekati distribusi konsentrasi gelembung udara  $C$  eksperimen terutama pada  $\alpha \leq 25^\circ$  dan  $Q=20,9$  l/s di titik 6,2 dari *inlet flume* dibandingkan persamaan Chanson (1995).



**Gambar 3. Bagan alir menentukan konsentrasi gelembung udara**

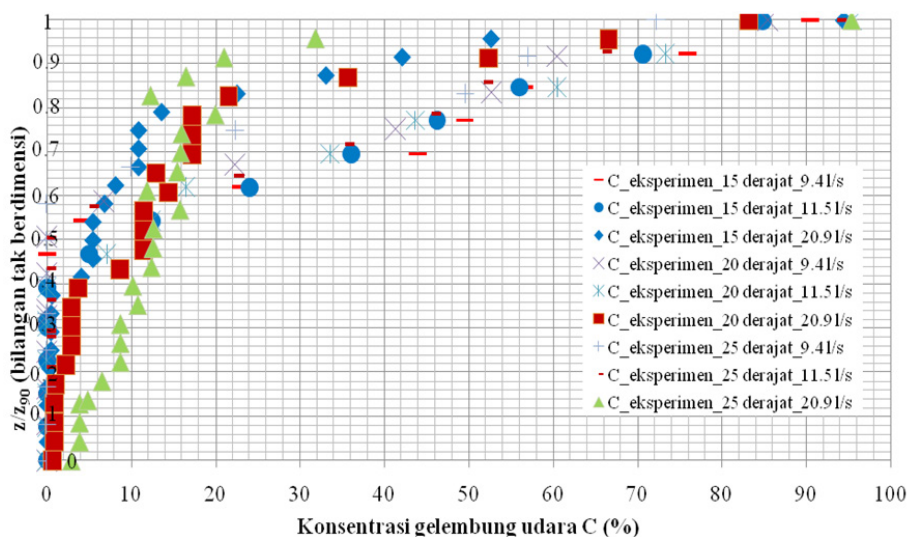
Borman seperti yang dikutip oleh Falvey (1980) mengatakan bahwa pada wilayah developing terbagi menjadi dua bagian, yaitu (1) wilayah yang mana gelembung udara belum mencapai dasar saluran luncur, lazim disebut sebagai *partially aerated flow*; dan (2) wilayah yang mana gelembung udara sudah mencapai dasar saluran luncur yang lazim disebut sebagai *fully aerated flow*, karena sudah terdapat gelembung udara yang mencapai dasar saluran, yaitu sebesar 0,27 % (khusus pada  $\alpha=25^\circ$  dan  $Q=20,9$  l/s). Merujuk kepada definisi Borman, maka profil distribusi

konsentrasi gelembung udara di titik 6,2 m di hilir *inlet flume* dapat dikategorikan sebagai akhir dari zona *partially aerated flow*. Menurut Kramer dan Hager (2005) bahwa kavitasi terjadi di wilayah yang mana tekanan rendah serta di wilayah yang mana gelembung udara belum menyentuh dasar saluran atau di wilayah *developing*, khususnya di zona *partially aerated flow*.

### Profil distribusi konsentrasi gelembung udara di titik 7,2 m dari *inlet flume*

Pada penggal 7,2 m di hilir *inlet flume* kondisi konsentrasi gelembung adalah (1) pada  $\alpha=15^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran; (2) pada  $\alpha=20^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran ; (3) pada  $\alpha=25^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran; dan (4) pada  $\alpha=25^\circ$  dan  $Q=20,9$  l/s gelembung udara telah mencapai dasar saluran meskipun konsentrasinya masih sebesar 2,9 %. Merujuk kepada definisi Borman di atas, maka profil distribusi konsentrasi gelembung udara di titik 7,2 m di hilir *inlet flume* dapat dikategorikan sebagai *fully aerated flow*, karena sudah terdapat gelembung udara yang mencapai dasar saluran, yaitu sebesar 2,9 %. Dengan demikian profil distribusi gelembung udara di penggal 7,2 m di hilir *inlet flume* termasuk ke dalam wilayah *fully aerated flow*, diduga masih dalam inisiasi *fully aerated flow*. Wilayah ini diduga juga rawan terhadap gejala kavitasi.

Berdasarkan Gambar 4 dapat disintesiskan yaitu (1) teori Straub dan Anderson (1958) lebih mendekati distribusi konsentrasi gelembung udara  $C$  eksperimen terutama pada  $\alpha \leq 25^\circ$ ,  $Q=20,9$  l/s di titik 7,2 m dari *inlet flume* dibandingkan persamaan Chanson (1995); dan (2) pada  $\alpha \leq 25^\circ$ ,  $Q \leq 11,5$  l/s di titik 7,2 m dari *inlet flume* persamaan Chanson (1995) lebih mendekati distribusi konsentrasi gelembung udara  $C$  eksperimen dibandingkan dengan teori Straub dan Anderson (1958).



**Gambar 4. Bagan alir menentukan konsentrasi gelembung udara**

## Perbandingan kedekatan bentuk distribusi konsentrasi gelembung udara antara Chanson (1995), Straub dan Anderson (1958) terhadap C eksperimen

Berdasarkan Tabel 2, nampak bahwa teori Straub dan Anderson (1958) lebih mendekati distribusi konsentrasi gelembung udara C eksperimen terutama pada  $\alpha \leq 25^\circ$ ,  $Q=20,9$  l/s di titik 6,2 dan 7,2 m dari *inlet flume* dibandingkan persamaan Chanson (1995). Pada  $\alpha \leq 25^\circ$ ,  $Q \leq 11,5$  l/s di titik 7,2 m dari *inlet flume* persamaan Chanson (1995) lebih mendekati distribusi konsentrasi gelembung udara C eksperimen dibandingkan dengan teori Straub dan Anderson (1958).

Berdasarkan uraian di atas dapat dikatakan bahwa persamaan Chanson (1995) perlu dimodifikasi. Persamaan Chanson (1995) dimodifikasi dengan cara memperbaiki persamaan konsentrasi gelembung udara rerata ( $C_e$ ). Persamaan Straub dan Anderson (1958) cocok digunakan untuk meramalkan distribusi konsentrasi gelembung udara C eksperimen pada  $\alpha \leq 25^\circ$ ,  $Q=20,9$  l/s di titik 6,2 dan 7,2 m.

**Tabel 2. Rekapitulasi perbandingan kedekatan antara teori Chanson (1995) dengan teori Straub dan Anderson (1958) terhadap distribusi konsentrasi gelembung udara C eksperimen**

$\alpha, Q, \text{Pengg}$	Teori (Chanson, 1995)		Teori (Straub dan Anderson, 1958)		Kedekatan kedua teori dengan distribusi konsentrasi gelembung udara eksperimen
	rerata ( $\bar{X}$ ) (%)	( $S_d$ ) (standar deviasi)(%)	(rerata) ( $\bar{X}$ ) (%)	( $S_d$ ) (standar deviasi) (%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
15°, 9,4 l/s, 6,2	-	-	10,2	7,04	-----
15°, 9,4 l/s, 7,2	4,7	6,29	7,8	7,74	Teori Chanson (1995)
15°, 11,5 l/s, 6,2	-	-	15,7	10,89	-----
15°, 11,5 l/s, 7,2	5,8	2,92	10,1	13,99	Teori Chanson (1995)
15°, 20,9 l/s, 6,2	6,3	14,44	2,9	4,28	Teori Straub dan Anderson (1958)
15°, 20,9 l/s, 7,2	1,8	2,22	1,2	1,07	Teori Straub dan Anderson (1958)
20°, 9,4 l/s, 6,2	-	-	7,3	10,5	-----
20°, 9,4 l/s, 7,2	3,8	5,22	9,4	6,76	Teori Chanson (1995)
20°, 11,5 l/s, 6,2	-	-	9,7	12,20	-----
20°, 11,5 l/s, 7,2	6,7	3,75	10,8	15,23	Teori Chanson (1995)
20°, 20,9 l/s, 6,2	6,2	10,50	4,4	6,61	Teori Straub dan Anderson (1958)
20°, 20,9 l/s, 7,2	4,0	8,46	10,1	12,23	Teori Chanson (1995)
25°, 9,4 l/s, 6,2	-	-	18,3	15,22	-----
25°, 9,4 l/s, 7,2	6,0	5,09	10,1	5,75	Teori Chanson (1995)
25°, 11,5 l/s, 6,2	-	-	7,0	15,36	-----
25°, 11,5 l/s, 7,2	4,1	5,29	12,1	17,37	Teori Chanson (1995)
25°, 20,9 l/s, 6,2	9,1	15,61	4,5	6,3	Teori Straub dan Anderson (1958)
25°, 20,9 l/s, 7,2	9,7	9,58	5,7	9,6	Teori Straub dan Anderson (1958)



## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Pertama, letak *point of inception* eksperimen untuk  $\alpha=15^\circ$  adalah 4,4 m dari *inlet flume*; untuk  $\alpha=20^\circ$  adalah 4 m dari *inlet flume*; dan untuk  $\alpha=25^\circ$  adalah 3,4 m dari *inlet flume*. Keempat metode yaitu Wood, Acker dan Loveless (1983), Ferrando dan Rico (2002), Hager dan Blaser (1998) serta Bauer (1954) memiliki taraf kepercayaan sebesar 95%, jika digunakan untuk meramalkan nilai letak *point of inception* eksperimen metode. Metode Hager dan Blaser (1998) paling mendekati nilai *point of inception* eksperimen dibandingkan dengan tiga metode lain;

Kedua, pada penggal 6,2 m di hilir *inlet flume* kondisi konsentrasi gelembung adalah (1) pada  $\alpha=15^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran; (2) pada  $\alpha=20^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran; (3) pada  $\alpha=25^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s, dan 20,9 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran. Merujuk kepada definisi Borman, maka profil distribusi konsentrasi gelembung udara di titik 6,2 m di hilir *inlet flume* dapat dikategorikan sebagai *partially aerated flow*;

Ketiga, pada penggal 7,2 m di hilir *inlet flume* kondisi konsentrasi gelembung adalah (1) pada  $\alpha=15^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran; (2) pada  $\alpha=20^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s dan 20,9 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran; (3) pada  $\alpha=25^\circ$  serta  $Q=9,4$  l/s, 11,5 l/s gelembung udara belum mencapai dasar saluran; dan (4) pada  $\alpha=25^\circ$  dan  $Q=20,9$  l/s gelembung udara telah mencapai dasar saluran meskipun konsentrasinya masih sebesar 2,9 %. Merujuk kepada definisi Borman di atas, maka profil distribusi konsentrasi gelembung udara di titik 7,2 m di hilir *inlet flume* dapat dikategorikan sebagai *fully aerated flow*;

### Saran

Pada saat menghitung lokasi *point of inception* atau *critical point* dalam rancangan bangunan pelimpah bendungan, sebaiknya digunakan metode Hager dan Blaser (1998), karena kemampuannya dalam memprediksi nilai lokasi *point of inception* aktual termasuk akurat;

## DAFTAR PUSTAKA

- Chanson, H.. 1995. "Air bubble diffusion in supercritical open channel flows". *Twelfth Australasian Fluid Mechanics Conference The University of Sydney, Australia*. pp. 707-710.
- Chow, V., T. 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Terjemahan, Nensi Rosalina, Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Falvey, H., T. 1980. *Air Water Flow in Hydraulic Structure*. Engineering Monograph, United

States Department of Interior, Water and Power Resources Service.

Hoque, A., and Aoki, I. 2005 “A quantitative analysis of energy dissipation among three typical air entrainment phenomena”. *Journal Environmental fluid mechanics*, Vol. 5, Number 4, August, pp. 325-340.

Straub LG and Anderson AG. 1958. “Experiment on self aerated flow in open channels”. *J. Hyd. Div Proc., ASCE*, 84(HY7), 1890-1-1890-35, paper 1890.

Yeri Sutopo, Budi Wignyosukarto, Bambang Y., dan Istiarto. 2014. “Kinerja aerator dalam mengurangi gejala kavitasi pada aliran superkritik di dasar saluran curam”. *Penelitian Unggulan PT, DP2M Dikti*, Jakarta.