

ANALISIS HIDRAULIK LONCAT AIR PADA LANTAI PEMECAH ENERGI DENGAN ENDSILL

Budi Wignyosukarto¹⁾

ABSTRAK

Hydraulic jump is a natural phenomenon at the down stream of sliding gate. The occurrence of jump depends on the tail water depth and the Froude number. In many cases, the tail water depths are too low to provoke the occurrence of jump at the desired location. Many efforts have been done to dissipate the energy of hydraulic jump by constructing a stilling basin, baffle block, endsill or the combination of that, to avoid a local scouring. An endsill or a hump at the apron is introduced as a simple structure to dissipate energy of hydraulic jump.

Base on momentum equation, an analytical solution of hydraulic jump in the upstream of endsill was developed. The same equation was developed by Forster and Skrinde using momentum equation and discharge equation through broad crested weir. Forster and Skrinde have developed also a diagram showing the relation among Froude number, ratio of sequent depth and initial depth of hydraulic jump, ratio of endsill height and initial depth of jump of an abrupt rise bed. In order to verify the proposed equation, some measurements of hydraulic jump variables for a single discharge were done in a small flume, the variation of Froude number is manipulated by applying difference gate opening.

The results of experiments show that the proposed equation is valid for determining the ratio of sequent depth and its initial depth by knowing the height of endsill and the Froude number. This equation could be used also to predict the capability of endsill to reduce the specific force of the hydraulic jump.

Keywords: hydraulic jump, endsill, momentum equation.

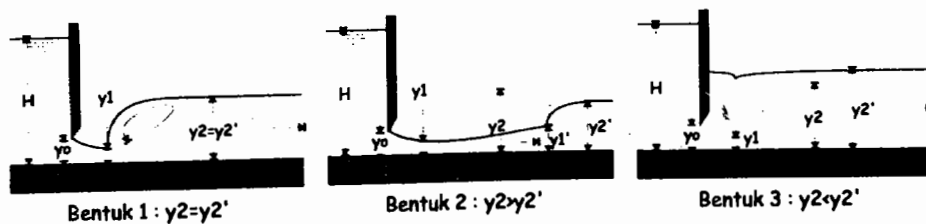
PENDAHULUAN

Bangunan pintu air geser (*sliding gate*) di jaringan irigasi selalu dilengkapi dengan lantai belakang yang berfungsi sebagai pelindung bangunan terhadap terjadinya gerusan. Bukaannya pintu geser menimbulkan aliran superkritik yang saat bertemu dengan aliran subkritik di bagian hilir akan terjadi loncat air (*hydraulic jump*). Terjadinya aliran superkritik dan loncat air inilah yang menjadi pemicu terjadinya gerusan yang dapat mengakibatkan runtuhnya bangunan.

Upaya untuk melindungi terhadap bahaya gerusan adalah dengan membuat lantai belakang (*apron*) cukup panjang dengan dilengkapi *endsill* atau *baffle block* di ujungnya. Wu dan Rajaratnam (1995) memakai *baffle block* yang terendam dalam aliran untuk meredam aliran superkritis. Pada perencanaan, lokasi loncat air diusahakan terjadi di dalam kolam olak yaitu antara pintu air hingga *endsill*. Untuk keperluan itu diperlukan tuntunan perencanaan panjang kolam olakan dan tinggi *endsill*. Forster dan Skrinde (Chow, 1959) membuat dua cara pendekatan dalam memahami kejadian loncat air di depan *endsill*, yang pertama membuat analisis loncat air di depan ambang lebar (*broad crested weir*) dan yang kedua membuat analisis loncat air di depan kenaikan dasar saluran (*abrupt rise*). Yang pertama didekati dengan persamaan debit lewat ambang lebar yang kemudian di kombinasikan dengan persamaan momentum, yang kedua memakai persamaan momentum pada suatu kenaikan dasar saluran. Secara fisik pemasangan *endsill* di dalam kolam olak lebih menyerupai kasus Forster dan Skrinde yang pertama, namun pemakaian persamaan debit lewat ambang lebar tidak akan berlaku apabila elevasi muka air di hilir *endsill* telah melewati batas aliran modular lewat *endsill*. Untuk keperluan itu perlu dilakukan eksperimen yang hampir serupa, yaitu memakai persamaan momentum pada loncat air di depan ambang lebar.

TINJAUAN PUSTAKA

Lokasi pembentukan loncat air sangat dipengaruhi oleh kedalaman air di hilir bangunan pintu geser, Chow (1985) menyatakan bahwa ada tiga kemungkinan terbentuknya pola loncat air pada daerah hilir bangunan pintu geser, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar -1 Pengaruh kedalaman air di hilir pintu geser pada pembentukan loncat air.

Bentuk 1, menggambarkan pola aliran di mana kedalaman air hilir (*tail water depth*) y_2' sama dengan kedalaman y_2 , y_2 adalah *conjugate depth* y_1 . Hubungan y_1 dan y_2 pada saluran persegi dengan dasar datar atau landai ditulis dalam persamaan sebagai suatu fungsi angka froude (F_{r1}), sebagai berikut :

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1) \quad (1)$$

Pada keadaan ini, loncat air segera terjadi setelah aliran melewati y_1 . Guna perencanaan lantai hilir, keadaan tersebut adalah kondisi ideal.

Bentuk 2, menggambarkan pola aliran di mana kedalaman air hilir (*tail water depth*) y_2' lebih kecil dari pada y_2 . Akibatnya lokasi loncat air akan tergeser ke hilir ke suatu

titik di mana Persamaan (1) itu terpenuhi kembali. Apabila dimungkinkan kasus ini harus dihindari pada perancangan, karena loncat air yang terjadi di luar lantai hilir, dan berada di daerah yang tidak dilindungi oleh lapisan pelindung, akan mengakibatkan terjadinya gerusan yang hebat. Untuk menghindari kejadian itu dapat dibuat bangunan pengontrol pada dasar saluran, yang akan menaikkan kedalaman air hilir, berupa sebuah *endsill*, untuk menjaga agar loncat air terjadi pada lantai hilir yang diberi lapisan pelindung.

Bentuk 3, menggambarkan pola aliran di mana kedalaman air hilir (*tail water depth*) y_2' lebih besar dari pada y_2 . Kedalaman air hilir pada kasus 1 bertambah besar. Akibatnya, loncat air didorong ke arah hulu, dan akhirnya loncat air tersebut akan hilang dan berubah menjadi loncatan terendam. Rancangan ini merupakan rancangan paling aman yang mungkin dibuat, sebab posisi loncat air terendam ini lebih dapat dipastikan berada tepat di belakang pintu geser.

Kolam olak di sebelah hilir bangunan pintu air atau yang biasa disebut *apron* adalah suatu bagian pada saluran yang berfungsi untuk meredam energi yang terjadi pada suatu loncat air, tanpa peredam energi, loncat air dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan bagian hilir bangunan air. Bangunan peredam energi seperti *endsill* sangat dibutuhkan pada kasus loncat air **bentuk 2**, oleh karena itu penelitian ini dibatasi pada kasus tersebut.

Secara teoritis loncat air akan terjadi apabila hubungan antara nilai y_2/y_1 dan angka Froude memenuhi Persamaan (1). Kondisi teoritis ini yang digunakan untuk menentukan lokasi loncat air. Semakin besar *sequent depth* (y_2), maka loncat air akan tertekan semakin ke hulu. Hal itu terjadi karena sesuai konsep terjadinya loncat air, besaran *initial depth* akan semakin kecil, sehingga panjang yang dibutuhkan untuk meredam energi dari pintu air hingga *initial depth* akan semakin pendek.

Untuk memaksa agar loncat air segera terbentuk, maka diperlukan pembentukan *sequent depth* yang sesuai dengan *initial depth* yang terjadi di *apron*. Untuk keperluan itu maka dicoba untuk memasang bangunan *endsill* di *apron*.

Forster dan Skrinde (Chow, 1959) memasang sebuah ambang lebar (*broad crested weir*) pada akhir sebuah loncat air. Apabila muka air di bagian hilir ambang tidak berpengaruh ke atas ambang, dengan menggunakan persamaan debit lewat ambang lebar, maka Forster dan Skrinde memberikan persamaan yang menjelaskan adanya hubungan antara Fr , y_2/y_1 dan h/y_1 , dengan h adalah tinggi ambang lebar.

$$q = 0,433 \sqrt{2g} \left(\frac{y_2 + h}{y_2 + 2h} \right)^{1/2} y_2^{3/2}$$

$$2,66 F_{r1}^2 \left(1 + \frac{h/y_1}{(y_2 + h)/y_1} \right) = ((y_2 + h)/y_1 - h/y_1)^3 \quad (2)$$

Dengan

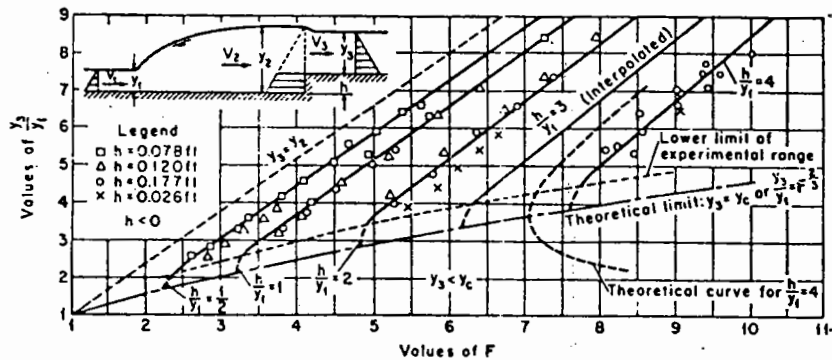
- q : debit lewat ambang lebar persatuan lebar,
- y_1 : kedalaman awal loncat air,

- y_2 : kedalaman air di atas ambang,
- h : tinggi ambang,
- Fr_1 : angka Froude di awal loncat air,
- g : percepatan gravitasi

Dengan mensubstitusikan Persamaan (1) ke Persamaan (2), maka akan didapat hubungan antara h/y_1 dengan Fr .

$$\frac{21,33Fr_1^2}{\sqrt{1-8Fr_1^2}-1} = \frac{(\sqrt{1-8Fr_1^2}-1-2h/y_1)^3}{(\sqrt{1-8Fr_1^2}-1+2h/y_1)} \quad (3)$$

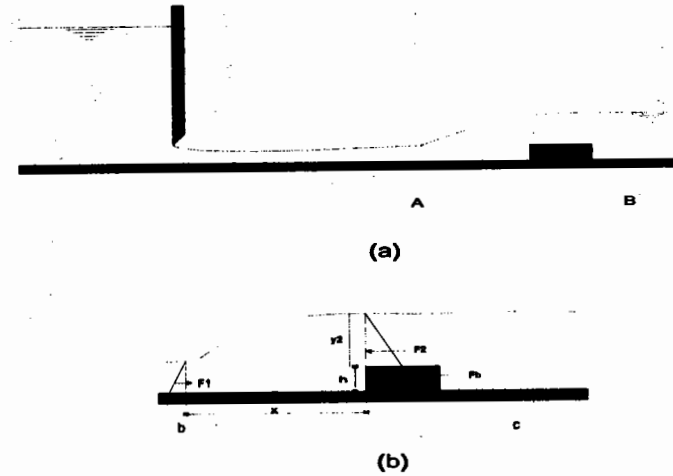
Forster dan Skrinde (Chow, 1959), berdasar data experimental, membuat sebuah diagram (Gambar 2) yang menyatakan hubungan Fr , y_3/y_1 dan h/y_1 pada suatu kenaikan dasar dengan panjang loncat air $X = 5(h + y_3)$ dengan Fr = Froude Number, y_3 = kedalaman air normal di hilir loncat air, h = tinggi kenaikan dasar saluran, y_1 = kedalaman awal loncat air.



Gambar 2. Hasil eksperimen menunjukkan hubungan antara Fr , y_3/y_1 dan h/y_1 pada suatu kenaikan dasar, Forster dan Skrinde, (Chow, 1959).

LANDASAN TEORI

Penelitian Forster dan Skrinde (Chow, 1959) tentang loncat air pada ambang lebar seperti yang diformulasikan pada Persamaan (3) hanya berlaku apabila elevasi muka air hilir tidak berpengaruh pada muka air di atas ambang sehingga persamaan debit lewat ambang dapat dipakai untuk merumuskan hubungan antara y_2 , y_1 dan h . Persamaan debit lewat ambang lebar itu menjadi tidak berlaku apabila elevasi muka air di hilir ambang melebihi batas modularnya. Keterbatasan ini akan menyulitkan proses perencanaan pemecah energi yang berupa *endsill*, karena muka air hilir sangat bervariasi tergantung dari besarnya debit yang lewat. Dengan memperhatikan fenomena loncat air di apron, maka fenomena aliran di apron yang dilengkapi dengan sebuah *endsill* secara analitis dapat juga diuraikan dengan menggunakan persamaan momentum dan kontinuitas berikut ini.



Gambar 3. Gaya - gaya hidrostatik yang bekerja pada loncat air di sekitar *endsill*; (a) skema aliran, (b) tinjauan A-B

Formulasi analitik fenomena loncat air dengan pelindung *endsill* tersebut, dilakukan pada tinjauan A-B, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Adapun penjabarannya sebagai berikut :

Persamaan momentum:

$$F_1 + w \sin \theta - F_f - F_2 - F_b = \rho Q(u_2 - u_1)$$

dengan :

- w : berat air pada pias tinjauan;
- θ : kemiringan saluran;
- F_f : gaya yang terjadi akibat geseran pada dinding saluran;
- F_1, F_2 : gaya hidrostatik di titik 1 dan titik 2;
- u_1, u_2 : kecepatan aliran di titik 1 dan titik 2;
- ρ : rapat massa air;
- Q : debit;
- b : lebar saluran.

$$F_1 = \gamma b \frac{1}{2} y_1^2 ; F_2 = \gamma b \frac{1}{2} y_2^2 ; F_b = \gamma bh(y_2 + \frac{1}{2}h)$$

Persamaan kontinuitas persatuan lebar:

$$q = u_0 y_0 = u_1 y_1$$

$$Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}$$

$$Fr_1^2 = \frac{u_1^2}{gy_1} = \frac{q_1^2}{gy_1^3}$$

Dengan asumsi saluran datar dengan dasar horisontal S ($slope$) = 0, maka $\sin \theta = 0$, serta kekasaran dinding saluran dapat diabaikan, maka persamaan momentumnya menjadi :

$$F_1 - F_2 - F_b = \rho Q(u_2 - u_1)$$

$$\gamma b \frac{1}{2} y_1^2 - \gamma b \frac{1}{2} y_2^2 - \gamma bh(y_2 + \frac{1}{2}h) = \frac{\gamma Q}{g}(u_2 - u_1)$$

$$y_1^2 - y_2^2 - 2h y_2 - h^2 = \frac{2q^2}{g} \left(\frac{y_1 - y_2}{y_1 y_2} \right)$$

dengan mengganti nilai $q^2 = F_{r1}^2 g y_1^3$, maka :

$$y_1^2 - y_2^2 - 2h y_2 - h^2 = \frac{2F_{r1}^2 y_1^2}{y_2} (y_1 - y_2)$$

$$\left(1 - \frac{y_2^2}{y_1^2} - 2 \frac{h y_2}{y_1 y_1} - \frac{h^2}{y_1^2} \right) = 2F_{r1}^2 \left(1 - \frac{y_2}{y_1} \right) \frac{y_1}{y_2}$$

$$F_{r1} = \sqrt{\frac{\frac{y_2}{y_1} \left(\frac{y_2^2}{y_1^2} + 2 \frac{h y_2}{y_1 y_1} + \frac{h^2}{y_1^2} - 1 \right)}{2 \left(\frac{y_2}{y_1} - 1 \right)}} \quad (4)$$

Persamaan (4) merupakan bentuk persamaan tak berdimensi, menunjukkan perbandingan kedalaman air di awal dan di akhir loncat air yang dipengaruhi oleh rasio tinggi *endsill* dan kedalaman air awal loncat air serta angka Froude, $y_2/y_1 = f(h/y_1, Fr_1)$. Persamaan (4) tersebut diharapkan dapat memperbaiki Persamaan (3) sehingga menjadi persamaan yang lebih umum untuk loncat air di hulu *endsill*. Apabila $h/y_1 = 0$, maka Persamaan (4) akan sama dengan Persamaan (1), tidak demikian halnya dengan Persamaan (3). Selain itu, persamaan tersebut diharapkan juga dapat dimanfaatkan untuk perencanaan tinggi *endsill* sebagai bangunan pemecah energi.

Tinjauan efektifitas dan kontribusi peredaman energi *endsill* dapat dilakukan dengan membandingkan gaya yang bekerja pada *endsill* (F_b) dengan gaya spesifik awal loncat air (F_{s1}).

Persamaan momentum pada loncat air, setelah pengaruh kemiringan dan kekasaran saluran diabaikan, dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_1 - F_2 - F_b = \rho Q(u_2 - u_1)$$

$$\gamma b \frac{1}{2} y_1^2 - \gamma b \frac{1}{2} y_2^2 - \gamma bh(y_2 + \frac{1}{2}h) = \frac{\gamma Q}{g}(u_2 - u_1)$$

$$\left(\gamma b \frac{1}{2} y_1^2 + \frac{\gamma Q}{g} u_1 \right) - \left(\gamma b \frac{1}{2} y_2^2 + \frac{\gamma Q}{g} u_2 \right) - (\gamma bh(y_2 + \frac{1}{2}h)) = 0$$

$$F_s = b \frac{1}{2} y_1^2 + \frac{Q}{b} u = \text{gaya spesifik}$$

$$F_{s1} - F_{s2} - F_b = 0$$

Kontribusi *endsill* mengurangi gaya awal loncat air dapat dilakukakan dengan membandingkan F_b/F_{s1} . Semakin besar F_b/F_{s1} maka akan F_{s2} semakin kecil, sehingga kecepatan aliran di atas *endsill* akan semakin tidak membahayakan.

$$\frac{F_b}{F_{s1}} = \frac{\gamma bh(y_2 + \frac{1}{2}h)}{\gamma b \frac{1}{2} y_1^2 + \frac{\gamma Q}{g} u_1}$$

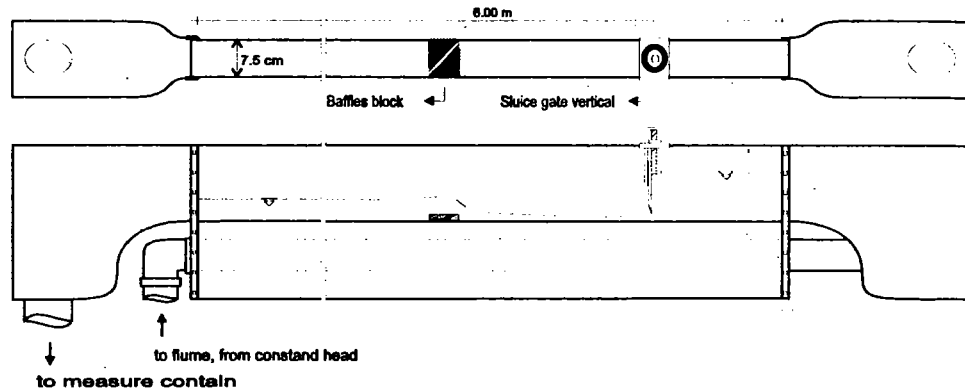
$$\frac{F_b}{F_{s1}} = \frac{\frac{h}{y_1} \left(\frac{y_2}{y_1} + \frac{h}{2y_1} \right)}{\left(\frac{1}{2} + F_{r1}^2 \right)} \quad (5)$$

Andaikata Persamaan (4) dapat dibuktikan sebagai persamaan yang menggambarkan fenomena loncat air di depan *endsill*, maka dengan menggunakan Persamaan (5) akan dapat diperkirakan besarnya gaya yang dapat diredam oleh *endsill* setinggi h , $F_b/F_{s1} = f(y_2/y_1, h/y_1, Fr_1)$.

ANALISIS HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di sebuah saluran terbuka (*standard tilting flume*) dengan lebar 7,5 cm, tinggi 25 cm, panjang 600 cm, dilengkapi dengan pintu air geser tegak (*sluice gate*) dengan lebar 7,5 cm, tinggi bukaan maksimal 10 cm.

Sesuai dengan landasan teori di atas, variable yang akan diteliti adalah (F_b/F_{s1}), (y_2/y_1), (h/y_1) dan Fr_1 . Untuk mendapatkan variasi variable-variabel tersebut di atas, maka telah dilakukan langkah pengukuran sebagai berikut. Sebagai *endsill* peredam energi dipakai sekat pelimpah dengan tinggi (h) 1,0 cm ; 1,5 cm, tinggi *endsill* ini ditentukan dengan memperhatikan variasi h/y_1 yang mungkin berpengaruh pada peredaman energi dengan mempertimbangkan tinggi bukaan pintu. Agar didapat berbagai nilai Froude, penelitian ini menggunakan tiga bukaan pintu air (1,0 cm, 1,1 cm dan 1,2 cm) dengan debit yang konstan dan menggeser-geser letak *endsill* agar didapat nilai y_1 yang berbeda-beda untuk suatu h (tinggi *endsill*) yang sama. Guna menjaga stabilitas aliran digunakan *Constant Head Tower*. Hasil pengukuran debit sebanyak 5 kali pada bukaan pipa masukan tetap, didapat debit rerata sebesar 898,5 cm³/sec. Alat lain yang dipakai adalah *stop watch*, alat ukur kedalaman aliran (*point gauge*).



Gambar 4. Flume untuk percobaan yang dilengkapi dengan bangunan pintu air dan *endsill*

Parameter loncat air diukur adalah kedalaman aliran awal loncat air (y_1), kedalaman aliran di hilir *endsill* setelah loncat air (y_3), kedalaman air di atas *endsill* (y_2), kedalaman air pada *vena contracta* (y_c), jarak antara awal loncat air ke dinding *endsill* (x), panjang loncat air (L_j), jarak dari pintu air hingga awal loncat air (L_s).

Lokasi terbentuknya loncat air sangat dipengaruhi oleh y_3 , kekasaran lantai dan Froude number. Untuk mendapatkan loncat air yang normal (tidak tenggelam) maka pada awal pengamatan dipakai apron yang cukup panjang (75 cm). Panjang apron ini kemudian di perpendek dengan memajukan letak *endsill* ke arah hulu, hingga suatu lokasi di mana loncat air tersebut tidak menyebabkan terjadinya *second jump* di atas *endsill*. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 1.

Untuk memperbaiki kurva hasil penelitian Forster dan Skrinde (Gambar 2, Chow, 1959), hasil penelitian ini diplotkan pada kurva hubungan antara y_2/y_1 , Fr_1 dan h/y_1 sesuai dengan Persamaan (4), yang dikembangkan dari persamaan momentum dan kontinuitas pada loncat air dengan ambang (*endsill*). Gambar 5 menggambarkan perbandingan *plotting* data pengukuran dan kurva teoritisnya sesuai dengan Persamaan (4). Walaupun dengan data yang sedikit, Gambar 5 tersebut menunjukkan kesesuaian Persamaan (4) dengan data pengukuran. Apabila dimungkinkan mendapatkan data yang lebih banyak lagi, maka kurva tersebut akan dapat lebih disempurnakan. Persamaan (4) adalah persamaan umum yang dapat dipakai untuk memperkirakan kedalaman akhir loncat air (*sequent depth*) yang akan terjadi apabila diketahui *initial depth*, angka Froude dan tinggi *endsill* yang direncanakan. Persamaan (4) akan sama dengan Persamaan (1) apabila $h/y_1 = 0$, Persamaan (4) tidak berlaku pada $y_2/y_1 = 1$, y_2/y_1 akan selalu lebih besar dari 1 karena $y_2 \geq y_c$ (y_c = kedalaman kritis). Kurva teoritis mempunyai dua harga y_2/y_1 pada suatu harga Fr_1 , kurva sebelah atas berlaku apabila aliran di atas *endsill* adalah aliran subkritis, sedang kurva bagian bawah berlaku pada aliran superkritis. Batas antara keduanya didapat pada saat $y_2 = y_c$, pada saat itu $y_2/y_1 = (Fr_1)^{2/3}$

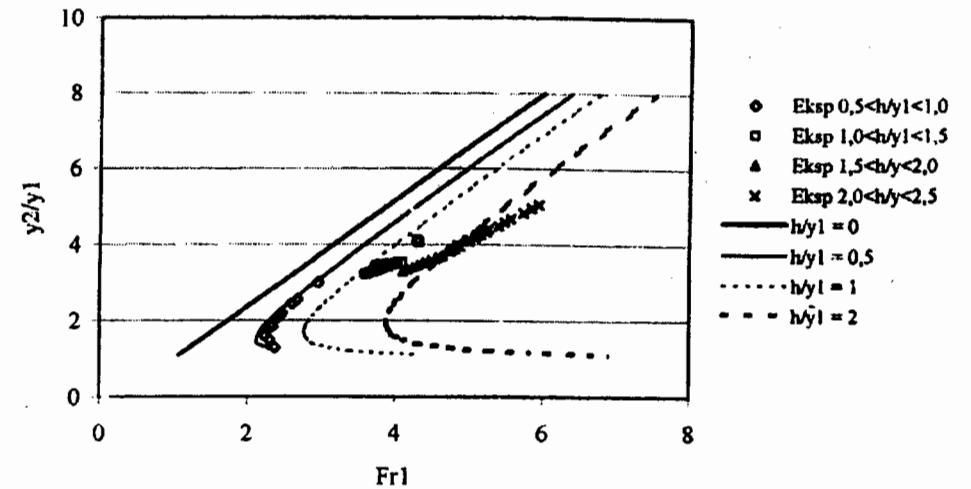
Tabel 1. Data hasil pengukuran.

No	y_0 cm	h cm	y_c cm	y_1 cm	y_2 cm	L_j cm	L_s cm	x cm
1	1,0	1,00	0,55	0,90	2,90	25,20	60,00	15,00
		1,00	0,55	0,88	2,86	25,30	58,30	14,20
		1,00	0,55	0,87	2,83	25,40	56,70	13,30
		1,00	0,55	0,85	2,79	25,60	55,00	12,50
		1,00	0,55	0,83	2,75	25,70	53,30	11,70
		1,00	0,55	0,82	2,71	25,80	51,70	10,90
		1,00	0,55	0,80	2,68	25,90	50,00	10,00
		1,00	0,55	0,78	2,64	26,10	48,30	9,20
		1,00	0,55	0,76	2,60	26,20	46,60	8,40
		1,00	0,55	0,75	2,56	26,30	45,00	7,50
		1,00	0,55	0,73	2,53	26,40	43,30	6,70
		1,00	0,55	0,71	2,49	26,50	41,60	5,90
		1,00	0,55	0,70	2,45	26,70	40,00	5,00
		2	1,0	1,50	0,55	0,68	3,00	26,80
1,50	0,55			0,70	2,97	26,70	34,80	37,70
1,50	0,55			0,71	2,93	26,60	35,50	34,50
1,50	0,55			0,73	2,90	26,50	36,30	31,20
1,50	0,55			0,74	2,87	26,40	37,00	28,00
1,50	0,55			0,76	2,83	26,20	37,80	24,70
1,50	0,55			0,77	2,80	26,10	38,60	21,40
1,50	0,55			0,76	2,81	26,20	36,60	20,90
1,50	0,55			0,74	2,83	26,30	34,60	20,40
1,50	0,55			0,73	2,84	26,40	32,60	19,90
1,50	0,55			0,72	2,85	26,50	30,60	19,40
1,50	0,55			0,70	2,86	26,60	28,60	18,90
1,50	0,55			0,69	2,88	26,70	26,60	18,40
1,50	0,55			0,68	2,89	26,80	24,60	17,90
1,50	0,55			0,67	2,90	26,90	22,60	17,40
1,50	0,55			0,65	2,92	27,00	20,60	16,90
1,50	0,55			0,64	2,93	27,10	18,60	16,40
1,50	0,55			0,63	2,94	27,20	16,60	15,90
1,50	0,55	0,61	2,95	27,30	14,60	15,40		
1,50	0,55	0,60	2,97	27,40	12,60	14,90		
1,50	0,55	0,59	2,98	27,40	10,60	14,40		
1,50	0,55	0,57	2,99	27,50	8,60	13,90		

bersambung...

sambungan Tabel 1.

No	yo cm	h cm	yc cm	y1 cm	y2 cm	Lj cm	Ls cm	x cm
3	1,1	-	0,65	0,90	-	25,50	47,50	-
4	1,1	1,00	0,65	0,90	3,10	25,20	35,00	15,00
		1,00	0,65	0,88	3,05	25,30	33,10	14,40
		1,00	0,65	0,87	3,00	25,40	31,20	13,80
		1,00	0,65	0,85	2,95	25,50	29,30	13,20
		1,00	0,65	0,84	2,90	25,70	27,40	12,60
		1,00	0,65	0,82	2,85	25,80	25,50	12,00
		1,00	0,65	0,80	2,80	25,90	23,60	11,40
		1,00	0,65	0,79	2,75	26,00	21,70	10,80
		1,00	0,65	0,77	2,70	26,10	19,80	10,20
		1,00	0,65	0,76	2,65	26,20	17,90	9,60
		1,00	0,65	0,74	2,60	26,40	16,00	9,00
		1,00	0,65	0,72	2,55	26,50	14,10	8,40
		1,00	0,65	0,71	2,50	26,60	12,20	7,80
		1,00	0,65	0,69	2,45	26,70	10,30	7,20
1,00	0,65	0,68	2,40	26,80	8,40	6,60		
5	1,1	1,50	0,65	0,68	3,00	26,80	0,70	49,30
		1,50	0,65	0,70	2,98	26,60	0,80	46,70
		1,50	0,65	0,72	2,96	26,50	0,90	44,10
		1,50	0,65	0,74	2,94	26,30	1,00	41,50
		1,50	0,65	0,76	2,92	26,20	1,10	38,90
		1,50	0,65	0,79	2,90	26,00	1,20	36,30
		1,50	0,65	0,81	2,90	25,90	1,30	33,70
		1,50	0,65	0,83	2,92	25,70	1,10	31,40
		1,50	0,65	0,85	2,94	25,60	0,90	29,10
		1,50	0,65	0,87	2,96	25,40	0,70	26,80
		1,50	0,65	0,89	2,98	25,30	0,50	24,50
		1,50	0,65	0,91	3,00	25,10	0,40	22,10
		6	1,2	0,00	0,75	0,85	-	25,60
7	1,2	1,00	0,75	0,80	3,30	25,90	12,50	20,00
		1,00	0,75	0,79	3,25	26,00	10,50	19,50
		1,00	0,75	0,78	3,20	26,10	8,50	19,00
		1,00	0,75	0,77	3,15	26,10	6,50	18,50
		1,00	0,75	0,76	3,10	26,20	4,50	18,00
		1,00	0,75	0,75	3,05	26,30	2,50	15,00

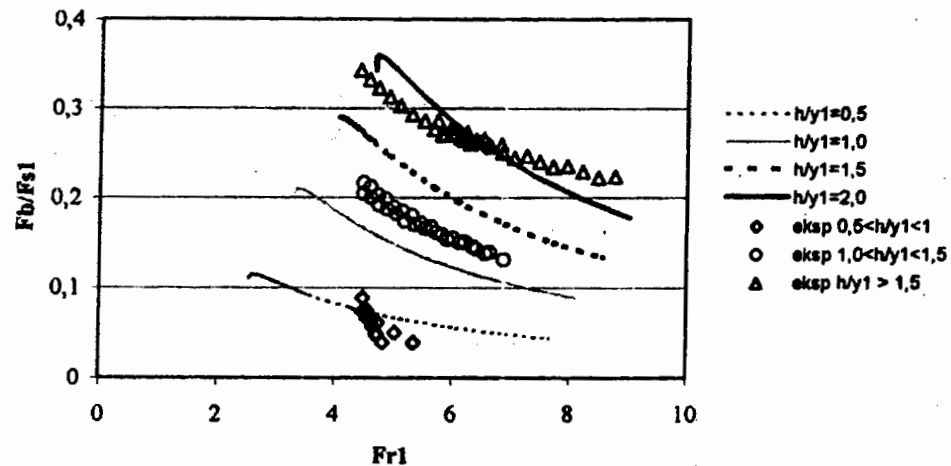


Gambar 5. Hubungan y_2/y_1 , Fr_1 dan h/y_1 hasil eksperimen dan Persamaan (4)

Untuk memperkirakan besarnya efektifitas *endsill* sebagai pemecah energi, telah dibuat kurva $F_b/F_{s1} = f(y_2/y_1, h/y_1, Fr_1)$ dengan memasukkan data y_2/y_1 , h/y_1 , Fr_1 ke dalam Persamaan (5), seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Secara teoritis, Persamaan (5) dapat digambarkan juga dalam bentuk kurva $F_b/F_{s1} = f(y_2/y_1, h/y_1, Fr_1)$ dengan memberikan nilai h/y_1 dan Fr_1 tertentu pada Persamaan (4) dan kemudian setelah didapat nilai y_2/y_1 akan dapat dihitung F_b/F_{s1} dengan Persamaan (5). Hasil penggabungan hasil hitungan F_b/F_{s1} dari data pengukuran dan F_b/F_{s1} dari persamaan teoritis (untuk $h/y_1 = 0,5; 1; 2$), telah menunjukkan keselarasan arah antara keduanya, namun besarnya masih memerlukan proses kalibrasi yang lebih teliti. Untuk mencoba menselaraskan arah dan besaran pada kurva tersebut, telah dicoba untuk memasukkan beberapa variasi konstanta pada Persamaan (5). Gambar 6 merupakan hasil akhir proses penyesuaian dengan memasukkan harga $a = 2,8$; $b = 0,2$; $c = 1,2$ pada Persamaan (5) berikut ini.

$$\frac{F_b}{F_{s1}} = \frac{a \frac{h}{y_1} \left(b \frac{y_2}{y_1} + \frac{h}{2y_1} \right)}{\left(\frac{1}{2} + (c Fr_1)^2 \right)}$$

Dengan melakukan rangkaian pengukuran yang lebih banyak dan melakukan kontrol atas variable h/y_1 , Fr_1 dan debit yang lebih bervariasi, diharapkan akan didapat nilai penyesuaian yang lebih baik



Gambar 6. Hubungan (F_b/F_{s1}) dengan (h/y_1) dan Fr_1 hasil eksperimen.

KESIMPULAN DAN SARAN

Persamaan (4) merupakan persamaan yang lebih bersifat umum dibanding Persamaan (3) yang dikembangkan oleh Forster dan Skrinde, karena Persamaan (4) dikembangkan dari persamaan dasar aliran yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan momentum, sedangkan Persamaan (3) dikembangkan dari persamaan momentum dan persamaan debit lewat ambang lebar yang tidak berlaku apabila *tail water depth* mempengaruhi aliran modulus. Kurva yang dihasilkan dari persamaan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar perencanaan tinggi dan letak *endsill* dengan mempertimbangkan besarnya peredaman gaya spesifik dengan memakai Persamaan (5).

Proses deduksi persamaan momentum ini telah mengantar proses pembuatan persamaan yang lebih logis dibanding pembuatan persamaan berdasar pendekatan statistik (regresi). Untuk mendapatkan kesempurnaan persamaan, masih diperlukan pengukuran yang lebih banyak lagi dengan melakukan kontrol pada variabel yang berpengaruh pada persamaan tersebut (y_2/y_1 , h/y_1 , Fr_1).

Analisis yang dilakukan di atas hanya berlaku pada kejadian loncat air di hulu *endsill*, pada kondisi muka air bagian hilir (*tail water depth*) lebih rendah dari *sequent depth* yang diharapkan terjadi (Gambar 1, bentuk 2). Proses pemecahan energi, selain diakibatkan oleh pemasangan *endsill*, juga terjadi pada lantai apron akibat adanya gesekan aliran dengan dinding dan dasar apron. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa letak *endsill* di lantai apron sangat menentukan kedalaman awal loncat air. Penelitian tentang pengaruh letak *endsill* pada proses pembentukan kedalaman awal loncat air, akan sangat bermanfaat untuk melengkapi hasil yang dicapai saat ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Saudara Witono yang telah membantu dalam pekerjaan pengukuran di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada serta kepada Dr. Ir. Djoko Legono atas saran-sarannya dalam proses penulisan artikel ini.

PUSTAKA

Chow, VT., 1959, *Open Channel Hydraulics*, Mc.Graw-Hill, Kogakusha Ltd.

Wu, S., Rajaratnam, N., 1995, *Effect of Baffles on Submerged Flows*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol 121, No. 9, September, ASCE.

