

# PENGARUH ARAH SAYAP PELIMPAH SAMPING DAN KEDALAMAN ALIRAN TERHADAP KOEFISIEN DEBIT

**Indratmo Soekarno**

Dosen Departemen Teknik Sipil – Institut Teknologi Bandung

Email:Indratmo@lapi.itb.ac.id

## ABSTRAK

Pelimpah Samping (*side weir*) adalah bangunan untuk melindungi saluran dari kerusakan yang diakibatkan oleh jumlah air yang berlebihan (*overtopping*). Dengan dipasang pelimpah samping maka ketinggian air di saluran atau sungai tetap terjaga. Tipe aliran adalah aliran berubah lambat laun terhadap ruang (*spatially varied flow*) dengan penurunan debit yang terjadi di saluran utama sepanjang pelimpah. Selama ini pembangunan pelimpah samping menggunakan sudut masuk  $90^\circ$  terhadap aliran utama. Dengan demikian mempunyai kerugian yakni berkurangnya koefisien pengaliran. Dilain pihak asumsi koefisien pengaliran tersebut sampai sekarang tetap dianggap cukup besar. Pada penelitian ini diamati pengaruh sudut masuk sayap yang lebih kecil dari  $90^\circ$  yaitu sudut  $60^\circ$  dan  $30^\circ$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien debit merupakan fungsi dari sudut masuk dan nilai perbandingan kedalaman air dan jari-jari pelimpah ( $h/r$ ). Koefisien debit terbesar bernilai antara (0,341 – 0,366) pada sudut masuk antara ( $55,85^\circ$ –  $57,73^\circ$ ).

Kata kunci: pelimpah samping, aliran berubah lambat laun, koefisien debit, bilangan Froude.

## ABSTRACT

*Side weir is a type of protection structure which function is to protect channels from damage caused by excessive amount of water (overtopping) so the water level in channels or rivers is to be preserved. The type is spatially varied flow with decrease of discharge occurs in main channels along the side weir. Usually design of spillway applies entrance of slope  $90^\circ$ . Thus this reduces discharge coefficient. In this research, the influence entrance slope less than  $90^\circ$  was observed such as  $60^\circ$  and  $30^\circ$ . The observation showed that discharge coefficient is function of entrance slope and ratio value of water depth to weir radius ( $h/r$ ) with largest discharge coefficient around value (0.341 – 0.366) with entrance slope value ( $55.85^\circ$  –  $57.73^\circ$ ).*

*Keywords: side weir, spatially varied flow, discharge coefficient, Froude number.*

## PENDAHULUAN

Kerusakan saluran sangat sering terjadi karena air melimpas melewati tanggul-tanggul saluran atau muka air yang naik melebihi air normal. Hal ini menyebabkan tanggul saluran tersebut bobol sehingga menyebabkan saluran gagal melakukan fungsinya.

Selama ini pelimpah samping yang umum digunakan adalah melalui limpasan langsung dengan mercu tajam ataupun dengan ambang lebar. Sedangkan untuk pelimpah yang sudut masuknya lebih kecil dari  $90^\circ$  jarang digunakan.

Besarnya debit limpasan yang melewati pelimpah samping dipengaruhi oleh besarnya koefisien peng-

aliran ( $C_d$ ). Sehingga perlu dikaji sejauh mana pengaruh sudut pemasukan yang berbeda-beda dengan besarnya koefisien debit yang terjadi agar dapat diperoleh suatu perencanaan pelimpah yang optimum.

Percobaan ini, dilakukan untuk melihat pengaruh banyaknya debit di saluran utama terhadap debit yang dilimpahkan, pengaruh debit terhadap ketinggian muka air di atas pelimpah, pengaruh panjang pelimpah terhadap tinggi muka air di atas pelimpah, pengaruh ketinggian pelimpah terhadap debit yang dialirkan, pengaruh penampang saluran utama terhadap debit yang dilimpahkan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Aliran di pelimpah samping termasuk jenis *spatially varied flow*. Prinsip energi akan diterapkan secara langsung. Jika  $z$  adalah jarak dasar penam-

---

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2006. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 8, Nomor 2, September 2006.

pang saluran di atas garis datum mendatar, jumlah energi di penampang saluran adalah:

$$H = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2g b^2 y^2} \quad (1)$$

di mana  $H$  = total tinggi tekan,  $y$  = kedalaman aliran,  $\alpha$  = koefisien energi,  $Q$  = debit,  $g$  = percepatan gravitasi dan  $b$  = lebar saluran. Persamaan ini didiferensialkan terhadap  $x$  sehingga diperoleh [1]:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - (\alpha Q^2 / g A^2)}{1 - (\alpha Q^2 / g A^2 D)} \quad (2)$$

dalam persamaan di atas kedalaman hidrolis  $D=A/T$ , dimana  $A$  = luas penampang basah,  $T$  = lebar permukaan air,  $S_0$  = kemiringan dasar saluran,  $S_f$  = kemiringan garis energi.

Besarnya debit yang melalui pelimpah dapat dihitung dengan suatu bentuk persamaan.

$$Q = C_d 2/3 \sqrt{2/3} g L H_1^{1.5} \quad (3)$$

di mana  $C_d$  = koefisien debit,  $L$  = lebar pelimpah, dan  $H_1$  = tinggi tekan. De Marchi mengembangkan teori pelimpah samping dengan menganggap total energi sepanjang pelimpah konstan. Untuk suatu pelimpah samping yang dipasang pada saluran empat persegi panjang, energi spesifiknya,  $E$  dapat ditulis:

$$E = y + \frac{Q^2}{2g b^2 y^2} \quad (4)$$

Untuk suatu penampang saluran dan debit  $Q$  tertentu, energi spesifik dalam penampang saluran hanya merupakan fungsi dari kedalaman aliran. Formula De Marchi hanya berlaku untuk sudut masuk  $90^\circ$ . Untuk sudut masuk yang lebih kecil, Masaru dkk. [3] melakukan percobaan dan memberikan koefisien aliran yang lebih kecil daripada yang digunakan De Marchi. Namun konstruksi yang diajukan oleh Masaru dkk. memberikan kecepatan amat kecil tepat di hulu pelimpah yang menyebabkan penumpukan sediment.

Karena energi spesifik di sepanjang pelimpah samping dapat dianggap konstan atau  $S_f = S_0$  dan dasar saluran mendatar,  $S_0 = 0$ , maka dengan menganggap  $\alpha = 1$ , maka persamaan (2) menjadi (Gambar 1):

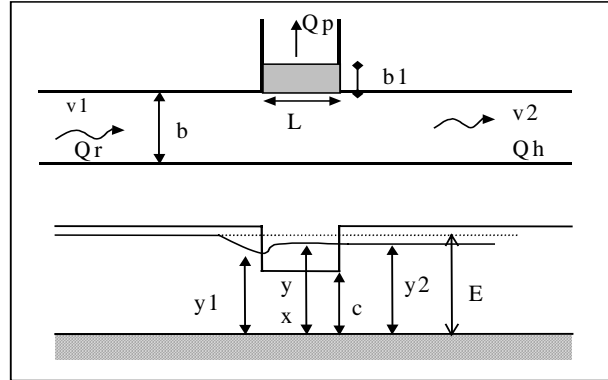
$$\frac{dQp}{dx} = -\frac{dQ}{dx} = C_d (y-c)^{1.5} \sqrt{2g} \quad (5)$$

Sedangkan debit di sembarang penampang dari persamaan diatas adalah:

$$Q = by\sqrt{2g(E-y)} \quad (6)$$

dari persamaan (2-5) dan (2-6) disubstitusi menjadi:

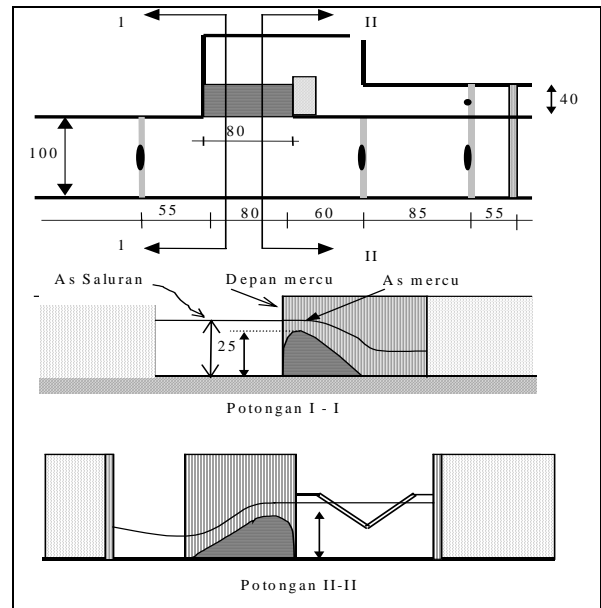
$$\frac{dy}{dx} = \frac{2C_d}{b} \frac{\sqrt{(E-y)(y-c)^3}}{3y-2E} \quad (7)$$



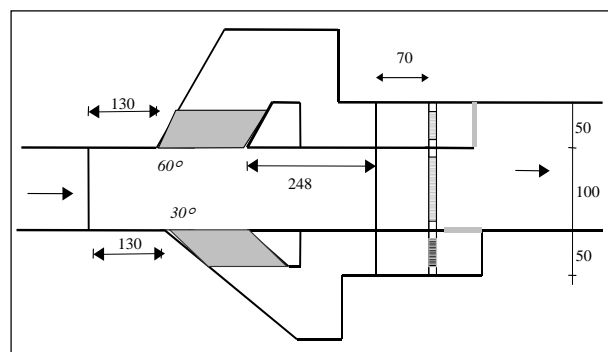
Gambar 1. Sketsa Saluran Pelimpah Puncak Lebar dengan Sudut Siku

### PELAKSANAAN PERCOBAAN

Percobaan dilaksanakan di Lab. Uji Model Hidraulika Departemen Teknik Sipil ITB dengan membuat model saluran seperti dalam Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Denah Model Uji pada Sudut Masuk Side Weir  $90^\circ$



Gambar 3. Denah Model Uji pada Sudut Masuk Side Weir  $30^\circ$  dan Sudut  $60^\circ$

### Deskripsi Model Pelimpah Samping

Deskripsi dari model pelimpah samping yang di buat adalah:

- Panjang saluran = 15,0 m
- Lebar saluran utama = 1,0 m
- Tinggi saluran utama = 1,0 m & 0,8 m
- Saluran terbuka terbuat dari batu bata yang diplester. Saluran utama dari pelimpah samping ini berbentuk persegi empat dengan lebar saluran = 1,00 m. sedangkan pelimpahnya berbentuk bendung type mercu bulat dengan jari-jari ( $r$ ) = 0,15 m, tingginya ( $c$ ) = 0,25 m dan panjang ( $L$ ) = 0,80 m. Sudut masuk pelimpah terdiri dari 3 sudut pemasukan yaitu sudut  $90^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $30^\circ$ .

### Pengukuran Kedalaman Air

Pengukuran kedalaman air dilakukan dengan menggunakan meteran taraf yang sudah dipasang. Adapun titik-titik pengukuran adalah:

- Elevasi muka air di hulu saluran utama pada jarak tertentu sesuai denah yang ada ( $y_1$ )
- Elevasi muka air di hilir saluran utama pada jarak tertentu sesuai denah yang ada ( $y_2$ ).
- Elevasi muka air di atas pelimpah yang masing-masing berjarak 0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm, 60 cm, 65 cm, 70 cm, 75 cm, dan 80 cm dari ujung pelimpah (0 s/d 80).
- Elevasi muka air pada alat ukur Thompson di saluran utama dan di saluran pelimpah.

### Pengukuran Kecepatan

Pengukuran kecepatan dengan menggunakan alat *current meter*. Lokasi titik-titik pengukuran adalah: 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm, 60 cm, 65 cm, 70 cm, dan 75 cm, dari ujung pelimpah. Pengukuran kecepatan dilakukan pada kedalaman 0,2 h, 0,6 h, dan 0,8 h.

### Pengukuran Debit di Saluran

Pengukuran debit yang mengalir di hulu saluran sebelum melimpas dilakukan dengan menggunakan alat Rechbok dan yang mengalir ke sebelah hilir saluran utama dan saluran pelimpah menggunakan alat ukur Thompson.

### Pelaksanaan Percobaan

Cara pelaksanaan percobaan adalah sebagai berikut:

- a. Sebelum air dialirkan, dilakukan pengecekan terhadap elevasi mercu pelimpah, panjang pelimpah, lebar saluran. Kemudian meteran taraf diatur pada elevasi tertentu untuk menjadi

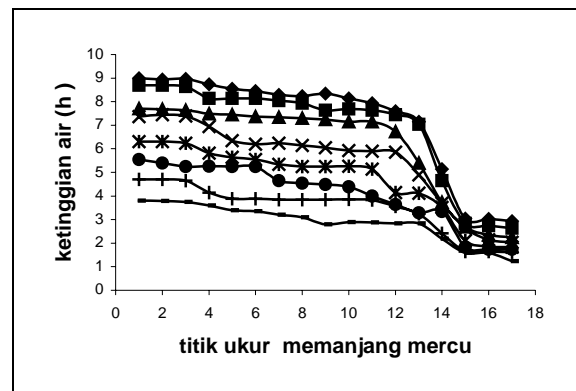
kan titik acuan (datum). Ditentukan juga bacaan Venturi meter pada alat ukur Rechbok serta meteran taraf pada alat ukur Thompson.

- b. Setelah semua peralatan terpasang dan setelah datumnya dicatat, air dialirkan ke saluran utama. Pengukuran dilakukan apabila aliran air telah stabil.
- c. Pengukuran tinggi muka air dengan alat meteran taraf dilakukan pada titik-titik  $y_1$  (sebelah hulu) dan  $y_2$  (sebelah hilir), sedangkan untuk alat ukur Thompson dilakukan pada  $h_t$  (sebelah hilir saluran utama, dan  $h_p$  (saluran setelah pelimpah). Pengukuran tinggi muka air di atas pelimpah dilakukan masing-masing pada jarak: 0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm, 60 cm, 65 cm, 70 cm, 75 cm, dan 80 cm dari ujung pelimpah. Termasuk juga pengukuran tinggi muka air pada alat ukur debit Rechbok.
- d. Pengukuran kecepatan di atas pelimpah dilakukan dengan alat *current meter*. Adapun titik-titik pengukuran berjarak: 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm, 60 cm, 65 cm, 70 cm, dan 75 cm dari ujung pelimpah. Pengukuran kecepatan pada masing-masing titik dilakukan pada 3 kedalaman yaitu: 0,2 h, 0,6 h, dan 0,8 h.
- e. Percobaan dilakukan delapan kali dengan menggunakan debit yang berbeda.

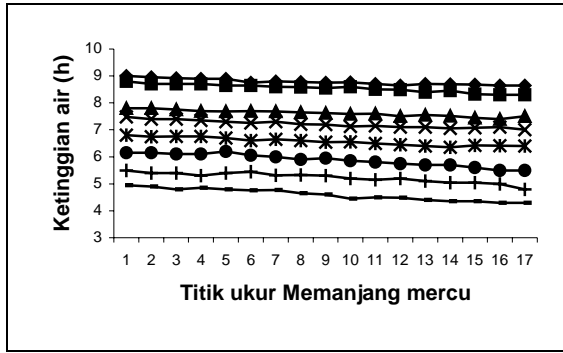
## ANALISIS PERCOBAAN

### Hasil Percobaan

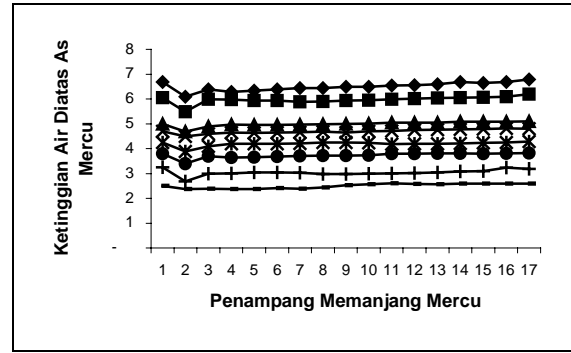
Data hasil percobaan disajikan dalam gambar bentuk profil aliran. Profil aliran sudut pelimpah  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$ , untuk masing-masing di atas dan di depan pelimpah disajikan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 9 [2].



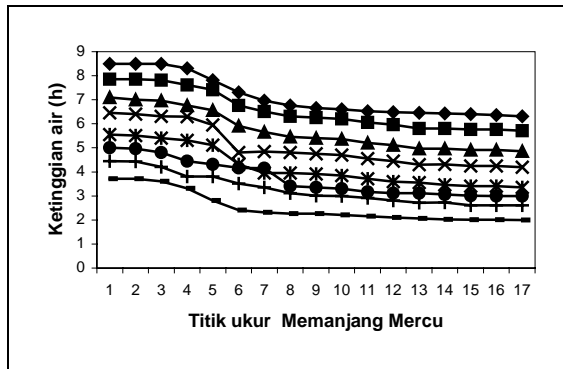
Gambar 4. Profil Aliran di As Pelimpah ( $30^\circ$ )



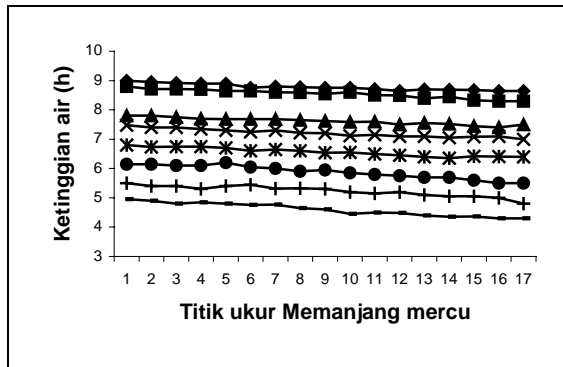
Gambar 5. Profil Aliran di Depan Pelimpah (30°)



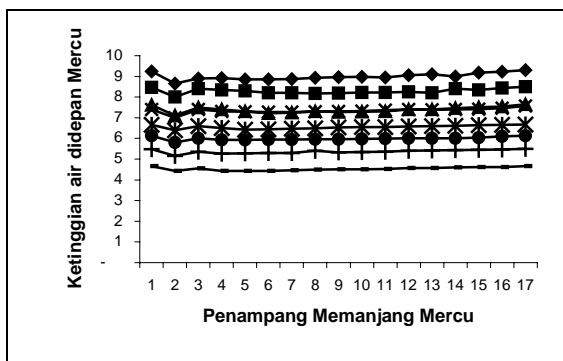
Gambar 9. Profil Aliran di As Pelimpah (90°)



Gambar 6. Profil Aliran di As Pelimpah (60°)



Gambar 7. Profil Aliran di Depan Pelimpah (60°)



Gambar 8. Profil Aliran di Depan Pelimpah (90°)

### Langkah Perhitungan

- a. Perhitungan Kedalaman Kritis ( $Y_c$ )  
Untuk saluran yang berbentuk segi empat kedalaman kritis dinyatakan:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

- b. Perhitungan Tinggi Energi dan Bilangan Froude  
Tinggi energi ( $E$ ) dihitung dengan:

$$E = y + Q^2 / (2gA^2)$$

Sedangkan bilangan Froude ( $F_r$ ) dihitung dengan:

$$F_r = q / (g \cdot y^3)^{0.5}$$

- c. Perhitungan Koefisien Debit  
Perhitungan koefisien debit dihitung dengan menggunakan rumus De Marchi dan rumus De Marchi per segmen yaitu:  
Rumus De Marchi, yaitu:

$$C_d = \frac{Q_p}{L\sqrt{2g}(y-c)^{3/2}}$$

Perhitungan koefisien debit dilakukan di depan mercu dan di as bendung.

Rumus De Marchi per segmen:

$$q_x = C_d \cdot \Delta x \cdot \sqrt{2g} \cdot \left[ \frac{(y_{x-1} + y_x)}{2} - c \right]^{1.5}$$

harga koefisien debit ditentukan dengan memasukkan harga koefisien debit ke dalam masing-masing segmen sehingga didapat harga  $q_x$ .

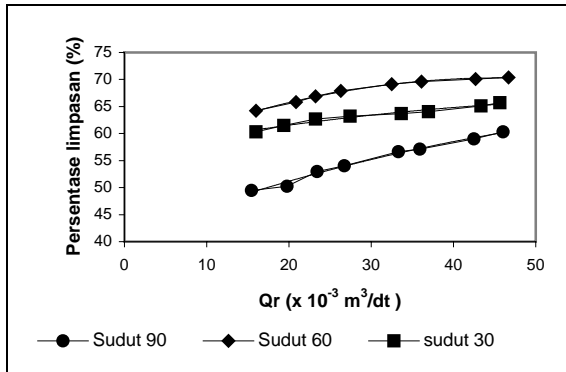
### Analisis

Dari hasil perhitungan diatas dibuat grafik untuk memudahkan melakukan analisis.

- a. Persentase Limpasan vs Debit Masuk

Hasil percobaan menunjukkan bahwa persentase limpasan terbesar terjadi pada sudut masuk pelimpah 60° yaitu sebesar 69,12 % pada debit masuk 0,0467 m<sup>3</sup>/detik; kemudian pada sudut masuk pelimpah 30° sebesar 66,01 % pada debit masuk 0,0457 m<sup>3</sup>/detik; terakhir pada sudut masuk pelimpah 90° sebesar 59,6 % pada

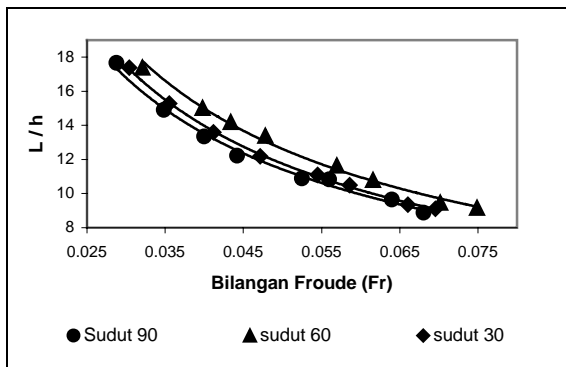
debit masuk 0,046 m<sup>3</sup>/detik. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya sudut masuk sayap pelimpah berpengaruh terhadap kapasitas limpasan yang terjadi (Gambar 10).



Gambar 10. Perbandingan Persentase Limpasan dengan Debit Masuk Qr

b. Bilangan Froude (Fr) vs L/h

Setiap penambahan nilai Fr akan menurunkan harga L/h, dimana bila harga L tetap, maka harga h akan semakin naik seiring dengan bertambahnya bilangan Froude. Pada penelitian ini harga Fr berkisar antara 0,029 hingga 0,075. Perubahan debit yang mengalir di hulu sangat mempengaruhi perubahan L/h, dimana untuk masing-masing sudut masuk menunjukkan kecenderungan perubahan kurva yang sedikit berbeda.



Gambar 11. Hubungan antara Fr dengan L/h

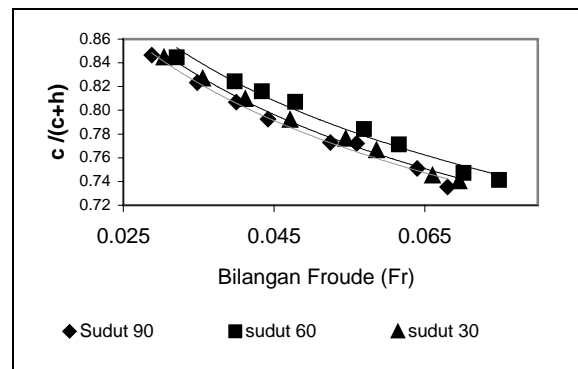
Hal ini dapat dilihat dari hubungan L/h untuk masing-masing model uji. Oleh karena nilai (h) untuk masing-masing model uji bervariasi, maka hasil perubahan (L/h) untuk bilangan Froude yang sama menghasilkan kelengkungan kurva yang berbeda-beda (Gambar 11).

Dari Gambar 11, terlihat kelengkungan kurva pada sudut masuk sayap pelimpah 90° lebih lengkung daripada kurva pada sudut masuk 60° dan 30°. Namun setelah Fr = 0,07 dan nilai (L/h)= 8 terlihat kurva cenderung menuju arah datar.

c. Bilangan Froude (Fr) vs c/(h+c)

Penambahan bilangan Froude akan menambah tinggi muka air (h) diatas pelimpah, tetapi bila tinggi muka air di atas pelimpah dibuat tetap maka tinggi pelimpah menjadi harus direndahkan. Jadi untuk mengurangi harga (h) di atas pelimpah dapat dilakukan dengan mengurangi ketinggian pelimpah (c).

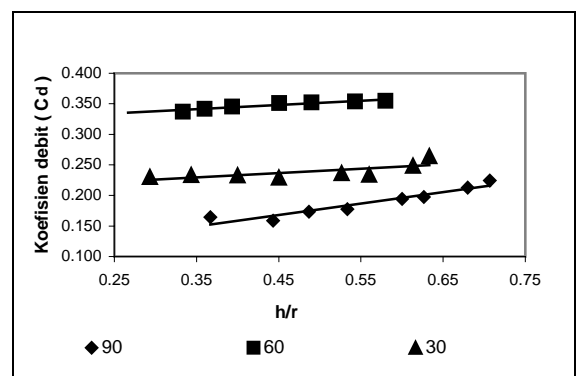
Dari Gambar 12, terlihat bahwa kurva pada sudut masuk sayap pelimpah 90° lebih lengkung dari pada kurva yang dibentuk oleh sudut masuk 30° dan 60° dan memberikan harga c/(c+h) yang lebih besar untuk bilangan Fr yang sama, semakin besar harga Fr menaikkan kedalaman air diatas pelimpah samping.



Gambar 12. Hubungan Bilangan Froude (Fr) Terhadap Tinggi Muka Air di atas Pelimpah (h)

d. Koefisien debit vs h/r

Pada Gambar 13 ditunjukkan hubungan antara h/r dengan C<sub>d</sub> yang diukur di tengah saluran pada masing-masing variasi sudut masuk side spillway berdasarkan rumus De Marchi dan rumus De Marchi per segmen. Dari ketiga variasi sudut masuk yang diteliti, didapat koefisien debit terbesar pada sudut 60°, 30° dan sudut 90°.

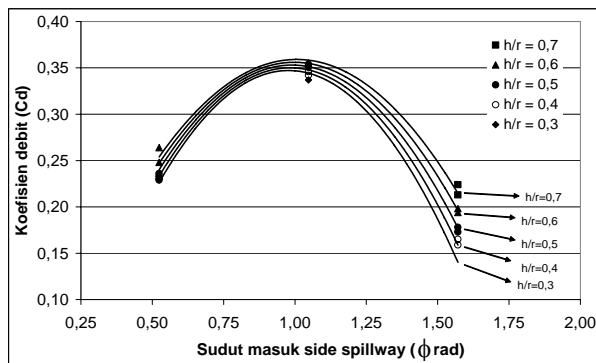


Gambar 13. Hubungan antara h/r dengan Koefisien Debit (C<sub>d</sub>)

Untuk mendapatkan hubungan antara koefisien debit ( $C_d$ ),  $h/r$  dan perubahan sudut diambil hasil pengukuran kedalaman yang dilakukan di as saluran, dengan asumsi bahwa aliran air yang berada di as saluran sudah mendekati keadaan stabil/tenang tidak dipengaruhi lagi oleh vortek di hulu dan hilir mercu serta fluktuasi muka air relatif kecil.

Dari hasil perhitungan dan grafik untuk pengukuran yang dilakukan di as saluran dengan metode De Marchi dan metode De Marchi per segmen didapatkan hasil yang saling mendekati. Untuk metode De Marchi didapat harga koefisien debit antara 0,165 – 0,355 sedangkan untuk metode De Marchi per segmen didapat harga koefisien debit antara 0,162 – 0,344.

Hasil akhir dari perhitungan koefisien debit ( $C_d$ ) pada penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini (Gambar 14).



Gambar 14. Grafik Hubungan  $C_d$ , Sudut Masuk ( $\phi$  rad) dan  $h/r$

Absis grafik di atas menyatakan arah sudut masuk sayap pelimpah (rad). Ordinat grafik menyatakan harga dari koefisien debit ( $C_d$ ). Sedangkan masing-masing garis kelengkungan mewakili harga  $h/r$  yang bernilai mulai dari 0,3 sampai 0,7. Persamaan garis kelengkungan untuk masing-masing harga  $h/r$  adalah sebagai berikut [4]:

- 1  $h/r = 0.3 \quad C_d = -0.5644 \phi^2 + 1.1003 \phi - 0.1955$
- 2  $h/r = 0.4 \quad C_d = -0.5424 \phi^2 + 1.0652 \phi - 0.1761$
- 3  $h/r = 0.5 \quad C_d = -0.5204 \phi^2 + 1.0302 \phi - 0.1567$
- 4  $h/r = 0.6 \quad C_d = -0.4984 \phi^2 + 0.9952 \phi - 0.1372$
- 5  $h/r = 0.7 \quad C_d = -0.4765 \phi^2 + 0.9602 \phi - 0.1178$

Dari persamaan  $C_d$  di atas dapat diturunkan untuk mendapatkan harga sudut arah sayap yang memberikan harga koefisien debit terbesar pada masing-masing variasi  $h/r$ . Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Sudut yang Menghasilkan  $C_d$  Terbesar

H/r	a	b	c	2a	$\phi$	$C_d$	Sudut
1	0.3	-0.564	1.1003	-0.196	-1.129	0.97	55.85
2	0.4	-0.542	1.0652	-0.176	-1.085	0.98	56.26
3	0.5	-0.52	1.0302	-0.157	-1.041	0.99	56.71
4	0.6	-0.498	0.9952	-0.137	-0.997	1.00	57.20
5	0.7	-0.477	0.9602	-0.118	-0.953	1.01	57.73

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap data percobaan model uji di laboratorium dapat diperoleh beberapa kesimpulan :

1. Besarnya koefisien debit berbeda-beda untuk masing-masing variasi ( $h/r$ ) (Tabel 1), semakin besar harga ( $h/r$ ) maka koefisien debit yang didapat bertambah besar. Koefisien debit terbesar ( $C_d = 0,366$ ) diperoleh pada perbandingan ( $h/r=0,7$ ) dengan arah sayap pelimpah = 1,01 rad atau 57,73°.
2. Dari grafik hubungan  $C_d$  dan sudut masuk (Gambar 11), terlihat bahwa koefisien debit bertambah dari interval sudut 30° ke sudut 55,85°-57,73°, kemudian menurun lagi menuju sudut 90°.
3. Penggunaan rumus De Marchi dengan asumsi kedalaman ( $y$ ) diambil pada kedalaman di hilir mercu masih cukup baik, namun harga koefisien pengaliran terlalu besar. Koefisien pengaliran dari hasil penelitian ini memberikan hasil yang lebih realitis meskipun hasilnya lebih kecil. Hal ini karena dalam kenyataannya air pada saluran tersebut dalam keadaan mengalir, bukan diam, sebagaimana dalam asumsi pada penurunan formula De Marchi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih sebesar-besarnya disampaikan kepada DIKTI, yang telah membiayai penelitian ini melalui dana Penelitian Hibah bersaing IX.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ashok, S., Shettar K., and Murthy, K: A Numerical Study of Division of Flow in Open Channels, *Journal of Hydraulic Research*, 34 (5), 1996.
2. Indratmo, S., *Konstruksi Hidraulis Pelimpah Samping Saluran Irigasi*, Laporan Akhir Hibah Bersaing IX/2, LPPM ITB, 2002.

3. Masaru, U., Yoshonori, K., Juichiro A., Hiro-taka, M., and Akhiles, K.J.: Discharge Coefficient of Oblique Side Weirs, *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, 19 (1), 2001, pp, 85-96.
4. Hardono dan Triatmo S., *Perilaku Aliran Pada Pelimpah Samping*, Tugas Akhir, Dep. Teknik Sipil. ITB, 1999.