

PERBANDINGAN ENERGI AIR PADA PELIMPAH BERSALURAN PELUNCUR LURUS DAN PELIMPAH BERSALURAN PELUNCUR ANAK TANGGA

(THE COMPARISON OF WATER ENERGY AT CONVENTIONAL SPILLWAY AND STEPPED SPILLWAY)

Linda Wahyuningsih, Entin Hidayah, Wiwik Yunarni
Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: entin_hidayah@yahoo.com

Abstrak

Debit air yang tinggi ketika melewati pelimpah akan menghasilkan energi air yang tinggi. Alternatif konstruksi yang dapat menurunkan energi aliran air yaitu pelimpah beranak tangga. Oleh karena itu, inovasi mengubah bentuk saluran pelimpah konvensional menjadi pelimpah beranak tangga dengan kemiringan 1:0,5 dengan jumlah anak tangga 2, 4, 8 dan 16 buah. Uji model fisik hidraulik dilakukan di laboratorium dengan tinggi pelimpah 16 cm, lebar 8 cm dan tebal 7,5 cm dengan 5 variasi debit tiap pelimpah. Tiap variasi debit dilakukan pengulangan percobaan sebanyak 5 kali untuk data pengujian statistik untuk mencari hubungan nilai rata-ratanya. Data yang diambil dari penelitian ini berupa data debit, kedalaman kritis, kedalaman di kaki pelimpah, kecepatan kritis dan kecepatan di kaki pelimpah. Dari data tersebut kemudian dicari perbandingan *dissipation* energinya antara pelimpah bersaluran peluncur lurus dan pelimpah beranak tangga. Pelimpah yang mempunyai *dissipation* energi yang paling besar itulah yang mempunyai peredaman energi yang paling optimum.

Hasil perhitungan menunjukkan hasil terbaik adalah pelimpah bertangga 4 pada debit 1078.363 cm³/detik karena mempunyai bilangan *froude* terkecil, tinggi energi terkecil dan *dissipation* energi yang paling besar secara berturut-turut nilai tersebut adalah 0.894, 3,923 cm dan 19.05%.

Abstract

High water discharge when passthrough the spillway will create high water energy. The construction alternative that can reduce water energy is using stepped spillway. Otherwise, the innovation change conventional spillway to stepped spillway with 1:0,5 slope with 2, 4, 8 and 16 numbers of stepped. This eksperiment using 16 cm of height, 8 cm of weight and 7,5 cm of width of spillway with 5 discharge varians. Every varians repeated 5 times to get statistical test to find significantcy value. The experiment has function to get discharge, critical depth, downstream depth, critical velocity and downstream velocity. The goal of this research is to find the highest of *dissipation* energy of spillway varians.

The result show that the best model is stepped spillway with

4 number of step for discharge 1078.363 cm³/detik (*nappe* flow condition) because has the lowest *froude* number, the lowest energy and the highest *dissipation* energy respectively 0.894, 3,923 cm and 19.05%.

PENDAHULUAN

Pelimpah (*spillway*) adalah salah satu bagian utama bendung yang berfungsi untuk melimpahkan debit air yang berlebih agar air yang dibendung tidak meluap. *Spillway* terdiri dari tiga komponen utama yaitu mercu bendung, saluran peluncur dan peredam energi (Erman Mawardi, 2006) [1]. Mercu bendung merupakan bagian teratas dari *spillway* yang berfungsi mengalirkan air ke saluran peluncur. Saluran peluncur berfungsi untuk mengatur aliran air yang melimpah dari mercu agar dapat mengalir dengan lancar tanpa hambatan-hambatan hidrolis. Sedangkan peredam energi berfungsi untuk menurunkan energi yang turun dari saluran peluncur agar bendung tidak terkikis sehingga konstruksinya tetap kokoh.

Ketika debit air yang melewati mercu bendung sedang melimpah maka energi yang dihasilkan tinggi. Selain itu perubahan dasar aliran yang curam juga mengakibatkan tingginya energi yang timbul. Hal ini sangat membahayakan bagi kekuatan konstruksi bendung. Apabila energi yang menghantam peredam energi terlalu besar, peredam energi akan terkikis sehingga akan menggerus dasar hilir bendung. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif konstruksi yang dapat menurunkan energi aliran air dari mercu bendung sebelum menghantam peredam energi.

Peredaman energi ini dapat dilakukan dengan memecah energi secara bertahap sebelum mencapai peredam energi, yaitu menggunakan *spillway* beranak tangga (*stepped spillway*). Pelimpah bertangga ini merupakan modifikasi dari saluran peluncur yang dibuat bertangga mulai dari dekat puncak pelimpah sampai kaki pelimpah. Peredaman ini terjadi karena tiap anak tangga yang ada pada saluran peluncur *spillway* ini sebagai terjunan kecil dan juga sebagai peredam energi kecil untuk anak tangga sebelumnya. Dengan cara ini maka dimensi peredam energi dapat diperkecil.

Marwanto, dkk. [2]. melakukan penelitian tentang pelimpah bertangga dengan model anak tangga berkemiringan 1:1; 1:0,5; dan 1:0,75 dengan jumlah anak tangga 2,4,8,16, dan 32 buah. Tujuannya adalah untuk mengetahui efek dari peredaman energi yang terjadi akibat hambatan yang ada pada punggung pelimpah. Hasilnya *stepped spillway* berkemiringan 1:0,5 dengan jumlah anak tangga 4 buah memiliki efisiensi energi terbesar, yaitu sebesar 95,04 %. Namun, setelah membandingkan hasil penelitian didapatkan data pada pelimpah berkemiringan 1:0,5 dengan jumlah anak tangga 2 efisiensi energinya sebesar 92,46 %, jumlah anak tangga 4 sebesar 95,04 %, jumlah anak tangga 8 sebesar 93,67 %, jumlah anak tangga 16 sebesar 94,92 %, dan pada jumlah anak tangga 32 buah terjadi efisiensi energi sebesar 94,92 %. Dari hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh tidak konsisten.

Sehingga dalam penelitian ini akan digunakan model *spillway* konvensional dan *stepped spillway* dengan kemiringan 1:0,5 dengan jumlah anak tangga 2, 4, 8, dan 16 buah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku aliran pada pelimpah bertangga, untuk mengetahui besarnya

kehilangan (*dissipation*) energi yang terjadi dan untuk mengetahui peredaman energi yang terjadi pada skala lapangan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen dengan perlakuan mengubah bentuk saluran peluncur pelimpah. Bentuk saluran peluncur pelimpah yang akan diuji adalah pelimpah bersaluran peluncur lurus dan pelimpah bersaluran peluncur anak tangga dengan kemiringan 1:05 dengan jumlah anak tangga 2, 4, 8 dan 16 buah. Uji model fisik hidraulik dilakukan di laboratorium dengan tinggi pelimpah 16 cm, lebar 8 cm dan tebal 7,5 cm dengan 5 variasi debit tiap pelimpah. Tiap variasi debit dilakukan pengulangan percobaan sebanyak 5 kali untuk data pengujian statistik untuk mencari simpangan rata-ratanya. Data yang diambil dari penelitian ini yaitu data debit, kedalaman kritis (h_c), kedalaman di kaki pelimpah (h_1), kecepatan kritis (v_c) dan kecepatan di kaki pelimpah (v_1). Dari data tersebut kemudian dicari *dissipation* energinya antara pelimpah bersaluran peluncur lurus dan pelimpah beranak tangga. Pelimpah yang mempunyai *dissipation* energi yang paling besar itulah yang mempunyai peredaman energi yang paling optimum.

Kalibrasi Alat Ukur Debit

Tujuan dari kalibrasi alat ukur debit adalah untuk mencari perbandingan debit dari alat ukur debit di *hydraulic bench* dengan debit yang keluar dari saluran langsung. Data yang dibutuhkan pada pengukuran debit dari alat ukur debit di *hydraulic bench* adalah volume yang dicapai oleh air di dalam pipa ukur dan waktu yang ditempuhnya. Sedangkan untuk debit yang keluar dari saluran atau tertampung di ember dibutuhkan data volume air yang tertampung di ember dan waktu yang dibutuhkan. Hasilnya didapatkan data debit *hydraulic bench* dan debit yang keluar langsung dari flume dalam beberapa variasi skala bukaan debit. Data debit keduanya kemudian dibuat grafik dan dicari persamaan liniernya sehingga didapat nilai korelasinya. Jika nilai korelasi mendekati 1, maka hubungan antara debit *hydraulic bench* dan debit yang keluar langsung dari *flume* adalah linear atau sama, artinya alat ukur debit di *hydraulic bench* bisa digunakan

Penentuan Besar Debit, h_1 , h_c , v_1 dan v_c Rata-Rata

Untuk mengetahui keakuratan data yang akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut diperlukan pengujian hubungan rata-rata apakah data mempunyai perbedaan rata-rata yang signifikan atau tidak. Untuk data debit uji statistik yang akan digunakan adalah *anova*. Variabel terikatnya adalah debit dan variabel bebasnya adalah jenis pelimpah. Sehingga digunakan *anova one way* karena hanya mempunyai satu variabel bebas. Sementara itu untuk data h_1 , h_c , v_1 dan v_c digunakan uji t untuk mengetahui hubungan rata-ratanya. Derajat kepercayaan (α) yang digunakan adalah 0.05 % dan hipotesis yang dipakai adalah:

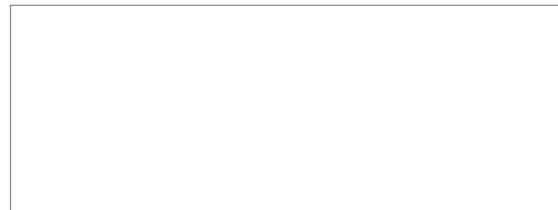
H_a = data debit mempunyai perbedaan rata-rata yang signifikan.

H_o = data debit mempunyai perbedaan rata-rata yang tidak signifikan.

Jika nilai p yang didapat lebih besar dari α maka hipotesis H_a ditolak dan H_o diterima, itu artinya nilai rata-rata dapat digunakan.

Analisis Regim Aliran

Secara umum aliran yang terjadi pada pelimpah bertangga dilasifikasikan menjadi dua aliran, yaitu aliran *nappe* dan aliran *skimming*. Aliran *nappe* dengan loncatan hidrolis secara penuh terjadi untuk aliran yang relatif rendah dan kedalaman aliran kecil. Untuk aliran *skimming* dengan loncatan hidrolis secara parsial terjadi dengan debit yang sedikit besar dari aliran *nappe*. (Chason H, 1994) [3].



Gambar 1. Aliran pada pelimpah bertangga

Nappe flow adalah aliran yang mengalir dari setiap tangga yang lebih tinggi letaknya memancar dan jatuh membentur tangga di bawahnya. Sementara *skimming flow* mengalir melalui permukaan bertangga sebagai aliran yang tidak terputus karena debit yang terlalu besar dan tepi luar tangga dianggap sebagai dasar aliran semu dengan aliran yang melimpas di atasnya.

Analisis Bilangan Froude

Kecepatan aliran pada saluran terbuka dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Efek dari gaya gravitasi pada aliran ditunjukkan dengan perbandingan rasio gaya antara inersia dan gaya gravitasi. Rasio antara gaya-gaya tersebut dinyatakan dalam bilangan *Froude* yang didefinisikan sebagai (Chow V T, 1985) [4].:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (1)$$

dimana :

F = bilangan *froude*

v = kecepatan (m/detik)

g = gravitasi bumi (9.81 m/detik²)

h = kedalaman aliran (m)

Sehingga berdasarkan bilangan *Froude* aliran dapat dibagi menjadi:

1. Aliran kritis yang mempunyai nilai $Fr = 1$
2. Aliran sub kritis yang mempunyai nilai $Fr < 1$
3. Aliran super kritis yang mempunyai nilai $Fr > 1$

Analisis Energi

Energi di atas spillway biasanya disebabkan oleh beberapa hal, antara lain pada hilir terdapat lompatan hidrolis yang berfungsi untuk menghilangkan sejumlah besar aliran energi, kecepatan tinggi yang terjadi pada saluran sehingga melimpah ke kolam olak, konstruksi dari spillway untuk membantu alam mengurangi energi (Chanson, 1993).

$$E = h + \frac{V^2}{2g} \tag{2}$$

dimana:

- E = Energi spesifik
- h = Kedalaman aliran
- v = Kecepatan
- g = Gravitasi Bumi

Analisis Dissipation Energi

Kehilangan energi pada loncat air adalah sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan setelah loncat air yang diberikan oleh bentuk (Ven Te Chow, 1985: 359):



(3)

dimana:

- ΔE = Kehilangan energi
- E1 = Energi spesifik sebelum loncatan
- E2 = Energi spesifik setelah loncatan
- y1 = Kedalaman air sebelum loncatan
- y2 = Kedalaman air setelah loncatan

Kehilangan energi relatif adalah perbandingan antara kehilangan energi dengan energi spesifik sebelum loncatan, atau dapat dinyatakan dengan :

$$\text{Keh(4) energi relatif} = \frac{\Delta E}{E} \times 100\%$$

Analisis Skala Model

Analisa skala model ini digunakan untuk mendapatkan informasi yang mendekati kebenaran sebelum memulai melaksanakan pekerjaan yang sesungguhnya dan untuk mendapatkan pengaruh yang akan ditimbulkan oleh suatu bangunan. Dengan demikian dapat didapatkan perbandingan pemodelan konstruksi menjadi tidak bergitu mahal, untuk mendapatkan alternatif perencanaan sebelum dilaksanakan sebagai keputusan yang tepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Alat Ukur Debit

Kalibrasi alat ukur debit ini bertujuan untuk mengetahui apakah alat pengukur debit (*hydraulic bench*) berfungsi dengan baik atau tidak. Yaitu dengan cara membandingkan debit hasil bacaan dengan *hydraulic bench* dan debit hasil bacaan dari ember. Debit keduanya kemudian dicari persamaan liniernya sehingga diketahui nilai korelasinya.



Gambar 2. Hubungan Q_e dan Q_{hb}

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai korelasinya yaitu sebesar 0,9893. Itu artinya hubungan antara Q_{hb} dan Q_e sama karena nilai korelasinya mendekati 1. Sehingga pengamatan debit menggunakan *hydraulic bench* dapat digunakan.

Penentuan Besar Debit Rata-Rata

Besar debit rata-rata hasil uji laboratorium didapatkan 25 data untuk setiap bukaan. Untuk mengetahui keakuratan data yang akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut diperlukan pengujian hubungan rata-rata apakah data debit mempunyai perbedaan rata-rata yang signifikan atau tidak. Untuk mengetahui perbedaan rata-rata, uji statistik yang akan digunakan adalah *anova*. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah debit dan variabel bebasnya adalah jenis pelimpah. Sehingga digunakan *anova one way* karena hanya mempunyai satu variabel bebas.

Tabel 1. Tabel Nilai P

Bukaan 1			Bukaan 2			Bukaan 3			Bukaan 4			Bukaan 5		
P	St.Dev	Mean	P	St.Dev	Mean	P	St.Dev	Mean	P	St.Dev	Mean	P	St.Dev	Mean
0.132	7.61	396.76	0.59	9.07	746.39	0.155	43.11	1078.4	0.107	27.4	1287.1	0.102	32.6	1402.6

Nilai p dari kelima bukaan menunjukkan lebih besar daripada nilai α sebesar 0.05. Itu berarti H_0 ditolak dan H_a diterima, sehingga data debit mempunyai perbedaan rata-rata yang tidak signifikan yang selanjutnya nilai rata-rata dapat digunakan. Sehingga debit rata-rata yang digunakan pada bukaan 1 sebesar 396.76 cm³/detik, pada bukaan 2 sebesar 746.39 cm³/detik, pada bukaan 3 sebesar 1078.36 cm³/detik, pada bukaan ke 4 sebesar 1287.07 cm³/detik dan pada bukaan ke 5 sebesar 1402.63 cm³/detik.

Penentuan Besar h_c , h_1 , vc dan v_1 Rata-Rata

Besar h_c , vc , h_1 dan v_1 rata-rata hasil uji laboratorium didapatkan 5 data untuk setiap bukaan. Untuk mengetahui keakuratan data yang akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut diperlukan pengujian hubungan rata-rata apakah data debit mempunyai perbedaan rata-rata yang signifikan atau tidak. Untuk mengetahui perbedaan rata-rata, uji statistik yang akan digunakan adalah uji t. Alasan pemilihan uji t ini sebagai metode pengujian hubungan rata-rata adalah karena data berjumlah 5 buah atau lebih kecil dari 30 buah.

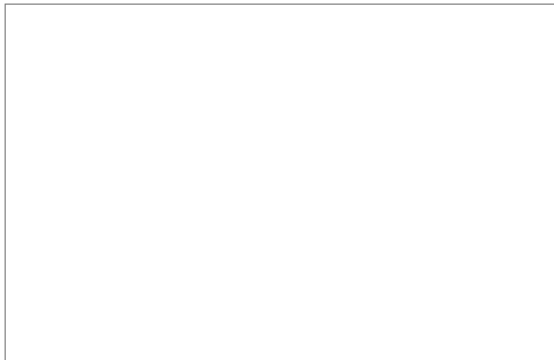
Hasil nilai p dari h_c , h_1 , vc dan v_1 menunjukkan lebih besar daripada nilai α sebesar 0.05. Itu berarti H_0 ditolak dan H_a diterima, sehingga data h_c , h_1 , vc dan v_1 mempunyai perbedaan rata-rata yang tidak signifikan yang selanjutnya nilai rata-rata dapat digunakan.

Analisis Regim Aliran

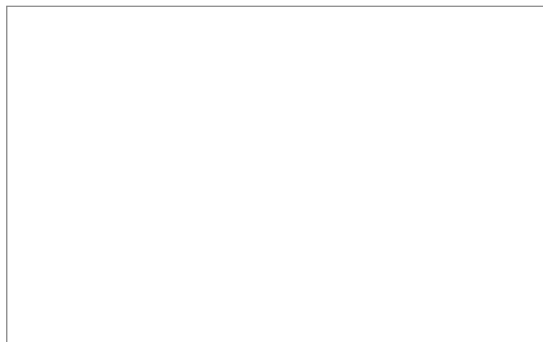
Regim aliran yang terjadi pada penelitian ini adalah *nappe flow* seperti gambar a, *skimming flow* pada gambar b dan *transition flow* pada gambar c.



a



b



c

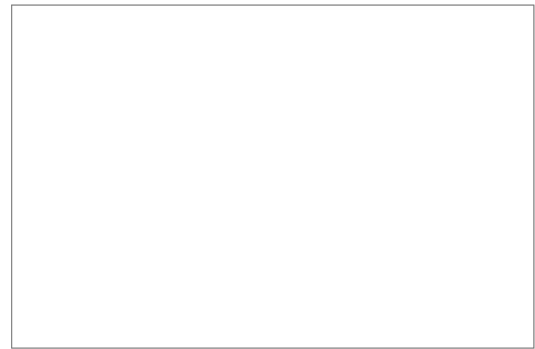
Gambar 3. a. *Nappe Flow* b. *Skimming Flow* c. *Transition Flow*

Nappe flow terjadi karena air yang menuruni punggung pelimpah membentur ujung anak tangga sehingga aliran terpecah. Karena alirannya terpecah, energi dan kecepatannya menjadi turun. *Skimming flow* terjadi karena aliran yang menuruni punggung pelimpah tidak terpecah karena tidak membentur ujung anak tangga. Hal ini disebabkan oleh debit yang terlalu besar, kemiringan pelimpah yang curam serta tinggi anak tangga yang terlalu kecil. Efek anak tangga pada pelimpah tidak bisa lagi dirasa oleh aliran. *Transition flow* terjadi karena adanya perubahan dari aliran *nappe flow* ke aliran *skimming flow*. Kecepatan dan energi aliran pada *transition* tidak stabil karena aliran sedang mengalami masa perpindahan.

Analisis Bilangan Froude

Tujuan dilakukan analisis bilangan *froude* adalah untuk

menganalisa karakteristik aliran yang terjadi pada hilir pelimpah bersaluran peluncur lurus dan pelimpah bersaluran peluncur anak tangga.

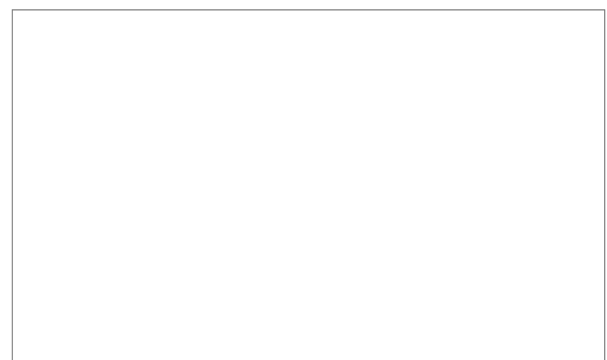


Gambar 4. Hubungan debit dan bilangan *froude*

Menurut Marwanto dkk (2010) [5]. bahwa semakin tinggi nilai *h* (tinggi tangga) maka semakin tinggi pula peredaman energi yang terjadi di hilir pelimpah. Karena peredaman energi berbanding terbalik dengan bilangan *froude* maka semakin tinggi nilai *h* semakin kecil bilangan *froude* yang dihasilkan. Namun berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa pelimpah bertangga 2 yang mempunyai tinggi tangga paling besar bilangan *froude* yang dihasilkan masih lebih besar dari pelimpah bertangga 4. Hal ini disebabkan karena kemiringan pelimpah yang curam sehingga panjang tangga kurang. Pelimpah beranak tangga 2 mempunyai bilangan *froude* yang paling kecil. Sementara itu pada tangga 8 mempunyai bilangan *froude* yang hampir mendekati dengan pelimpah bertangga 2. Untuk pelimpah bertangga 16 mempunyai bilangan *froude* yang hampir sama dengan pelimpah lurus. Ini disebabkan aliran yang terjadi pada pelimpah beranak tangga 16 dipengaruhi nilai koefisien kekasaran aliran (*f*), nilai *h* (tinggi tangga) yang semakin kecil inilah yang mempengaruhi nilai koefisien kekasaran aliran.

Analisis Energi

Tujuan dilakukan analisis energi ini adalah untuk mengetahui besar energi yang terjadi akibat perbedaan saluran peluncur. Energi yang dihasilkan nantinya dibandingkan antara energi dari pelimpah lurus dan pelimpah beranak tangga.



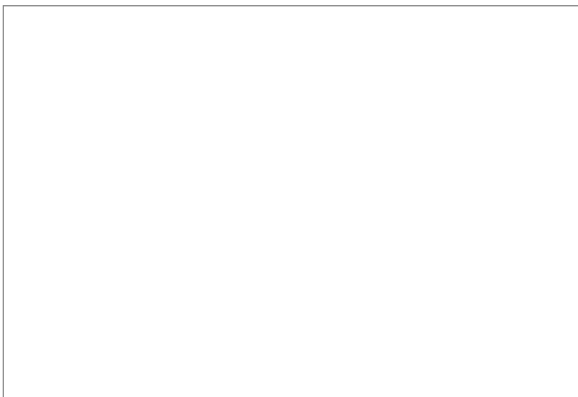
Gambar 5. Hubungan debit dan bilangan energi

Seiring dengan meningkatnya debit yang melalui pelimpah maka energi yang terjadi juga meningkat. (Anwar

et. Al, 2012) [6].. Berdasarkan gambar 5 semakin tinggi debit maka semakin tinggi pula energi yang terjadi. Energi yang paling besar terjadi pada pelimpah bersaluran peluncur lurus. Hal ini dikarenakan pada saluran peluncur pelimpah tidak mempunyai anak tangga yang dapat mengurangi energi aliran. Sementara itu untuk pelimpah bertangga mempunyai energi yang hampir sama pada bukaan 1 dan 2. Untuk bukaan ke 3 – ke 5 mulai terlihat perbedaannya, dan pelimpah yang mempunyai energi yang paling kecil adalah pelimpah beranak tangga 4.

Analisis Dissipation Energi

Tujuan dilakukan analisis *dissipation* energi ini adalah untuk mengetahui besar *dissipation* energi yang terjadi akibat perbedaan saluran peluncur. *Dissipation* energi yang dihasilkan nantinya dibandingkan antara *dissipation* energi dari pelimpah lurus dan pelimpah beranak tangga.



Gambar 6. Hubungan debit dan *dissipation* energi

Prinsip dari *dissipation* energi yang paling utama pada pelimpah bertangga adalah ukuran geometri pelimpah (tinggi pelimpah, kemiringan pelimpah, tinggi tangga dan panjang tangga) dan parameter hidrolisnya (debit dan kecepatan aliran). Ahadian dan Aghamajidi (2014) [7].. Berdasarkan gambar 6 pada debit 396.757 cm³/detik *dissipation* energi yang paling besar terjadi pada pelimpah bertangga 2. Hal ini terjadi karena debit yang melalui pelimpah kecil. Meskipun kemiringan pelimpah yang curam tidak menjadi masalah karena tinggi tangga masih bisa meningkatkan *dissipation* energinya. Untuk debit 746.390 cm³/detik *dissipation* energi yang paling besar terjadi pada pelimpah bertangga 4. Pada debit 1078.363 cm³/detik - 1402.630 cm³/detik *dissipation* energi yang paling besar juga terjadi pada pelimpah bertangga 4. Untuk *dissipation* energi yang paling kecil terjadi pada pelimpah bertangga 16 untuk semua debit. Hal ini dikarenakan tinggi tangga yang kecil, sehingga kekasaran saluran peluncur berkurang. *Dissipation* energi yang paling optimum adalah pelimpah bertangga 4 pada debit 1078.363 cm³/detik yaitu sebesar 19.05 %.

Skala Model

Tujuan analisis skala model adalah untuk mengetahui seberapa besar debit, dimensi pelimpah dan tinggi energi yang paling optimum yang dihasilkan oleh hasil percobaan dalam bentuk dimensi lapangan. Skala yang digunakan yaitu 1:50. Jadi, bendung dengan tinggi 8 m, lebar 3.5 m, jumlah tangga 4 dengan tinggi anak tangga 2 m mampu

meredam energi sebesar 19.05 % jika debit yang melaluinya sebesar 0.001078 m³/detik, kecepatan sebesar 0.00469 m/detik dan kedalaman aliran di kaki pelimpah sebesar 1.401 m

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pada pembahasan sebelumnya didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pelimpah beranak tangga 4 pada debit 1078.363 cm³/detik terjadi aliran nappe dengan bilangan *froude* sebesar 0,894 (aliran sub kritis)
2. Pada debit 1078.363 cm³/detik tinggi energi pada pelimpah lurus sebesar 4.674 dan pada pelimpah bertangga 4 sebesar 3.923. Sehingga *dissipation* energi yang terjadi adalah 19.05%.
3. Pada pelimpah dengan tinggi 8 m, lebar 3.5 m, jumlah tangga 4 dengan tinggi anak tangga 2 m mampu meredam energi sebesar 19.05 % jika debit yang melaluinya sebesar 0.001078363 m³/detik, kecepatan sebesar 0.00469 m/detik dan kedalaman aliran di kaki pelimpah sebesar 1.401 m

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1]Marwardi, E dan Memed M. 2006. *Design Hidraulik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknik*. Bandung: Alfabeta.
- [2]Marwanto S dan Wicaksono P H. 2010. *Pengaruh Perubahan Jumlah Tangga Terhadap Peredaman Energi dan Perubahan Kadar Oksigen Terlarut pada Saluran Curam Berterap (Chuted) (Jurnal)*. Universitas Brawijaya, Malang.
- [3]Chanson, H. 1994. *Stepped Spillway Flow and Entertainment (Journal Of Hydraulic Engineer)*. Vol 20 hal 422- 435.
- [4]Chow, V T. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- [5]Marwanto S dan Wicaksono P H. 2010. *Pengaruh Perubahan Jumlah Tangga Terhadap Peredaman Energi dan Perubahan Kadar Oksigen Terlarut pada Saluran Curam Berterap (Chuted) (Jurnal)*. Universitas Brawijaya, Malang.
- [6]Anwar N, Edijanto, Kusumawati S, Maulana A M dan Dermawan V. 2012. *Pengaruh Jumlah Tangga Terhadap Kondisi Hidraulika Aliran Pada Pelmpah Bertangga Kemiringan 1V:1,5H (Jurnal)*. Himpunan Ahli Teknik Hidraulika Indonesia. Bandung
- [7]Ahadian J dan Aghamajidi R. 2014. *Investigation of Geometric Effect of Steps on energy dissipation on Stepped Spillway (Journal)*. *Applied mathematics in Engineering, Management and Technology* 2 (2) 2014:491-503 www.amiemt-journal.com