

**PERUBAHAN PENINGKATAN KAPASITAS SPILLWAY MERCU OGEE
TERHADAP MERCU DERET SINUSOIDA
(THE CHANGES OF THE INCREASED CAPACITY SPILLWAY
MERCU OGEE AGAINST MERCU SERIES SINUSOIDA)**

Yudhit Pratama Putra
Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: goldst_trip165@yahoo.co.id

Abstrak

Perusakan hutan mempengaruhi sistem DAS. Akibatnya menimbulkan pengaruh kepada karakteristik fluktuasi debit aliran. Apabila penampang tidak mampu mengalirkan debit maka terjadilah banjir. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi debit yang tinggi pada mercu *spillway* maka perlu adanya cara untuk meningkatkan kapasitas *spillway*. Cara yang dilakukan adalah melakukan modifikasi *spillway* dengan merubah bentuk mercu .

Uji model fisik hidraulik dilakukan di laboratorium dengan tinggi pelimpah 16 cm, panjang 15 cm dan tebal 7,5 cm dengan 5 variasi debit tiap pelimpah. Tiap variasi debit dilakukan pengulangan percobaan sebanyak 6 kali untuk data pengujian statistik untuk mencari simpangan rata-ratanya. Data yang diambil dari penelitian ini yaitu data debit, kedalaman kritis dan kedalaman di kaki pelimpah. Dari data tersebut kemudian dicari peningkatan kapasitas debit yang terbesar antara mercu Ogee dan tipe deret *sinusoida*. Pelimpah yang mempunyai kapasitas debit yang paling besar itulah yang efektif untuk dapat melimpaskan air sehingga konstruksi bendungan aman.

Dari hasil penelitian, didapat debit mercu Ogee dan puncak tipe deret *sinusoida*. Penggunaan puncak tipe deret *sinusoida* menghasilkan debit yang lebih besar dibandingkan dengan mercu Ogee. Puncak tipe deret *sinusoida* mengalami peningkatan kapasitas debit sebesar 2,97%. Hal ini menunjukkan keberhasilan dari penggunaan bentuk puncak tipe deret *sinusoida* untuk meningkatkan kapasitas *spillway* yang sudah ada.

Kata Kunci: kapasitas *spillway*, mercu ogee, puncak tipe deret *sinusoida*

Abstract

Destruction of forests affect the DAS system. As a result cause fluctuations of discharge characteristics influence to the flow. If the cross-section is not able to drain discharge then there was flood. Therefore, to anticipate the high discharge at mercu *spillway* then need for ways to enhance the capacity of the *spillway*. The way that is done is done by changing shape of *spillway* modification mercu.

Physical model test carried out in the laboratory of hidraulik with *spillway* 16 cm high, 15 cm long and 7.5 cm thick with 5 variations each debit *spillway*. Each repetition of the experiment done discharge variations as much as 6 times for statistical testing of data to find the average deviations. The Data is drawn from this research is critical, the depth of discharge data and depth at the foot of pelimpah. From this data are then sought an increase in the capacity of the largest discharge between the series and type Ogee mercu *sinusoida*. Pelimpah which has a capacity of discharge that is effective to be able to melimpaskan the water so that the dam construction safety.

Of research results, obtained discharge mercu Ogee and top type series *sinusoida*. The use of peak produced *sinusoida* sequence type of discharge is greater compared with mercu Ogee. Top type series *sinusoida* debit capacity has increased by 2.97%. This shows the success of the use of the type series of the top shape to improve the capacity of the *spillway sinusoida*.

Keywords: Capacity *spillway*, ogee mercu, top type series *sinusoida*

PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai merupakan daerah yang dibatasi oleh pemisah topografi yang merupakan daerah tangkapan air (*catchment area*). DAS memiliki fungsi menerima, menampung dan mengalirkan air. DAS mempunyai manfaat penting bagi kelangsungan hidup manusia, tumbuhan dan hewan di sekitarnya. Tetapi karena bertambahnya jumlah penduduk maka kondisi sumberdaya hutan, tanah dan air di DAS menurun. Perusakan tersebut mempengaruhi sistem DAS secara keseluruhan. Akibatnya menimbulkan pengaruh kepada karakteristik fluktuasi debit aliran. Apabila penampang tidak mampu untuk mengalihkan debit tersebut maka terjadilah banjir.

Bangunan pelimpah (*spillway*) biasanya dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu mercu, saluran luncur, dan peredam energi. Bangunan pelimpah (*spillway*) mempunyai fungsi sebagai pengendali banjir (melimpahkan kelebihan air saat waduk terjadi banjir). Bangunan pelimpah juga berfungsi agar debit hujan rancangan yang terjadi cepat mengalir sehingga debit air tidak sempat meluber. Fungsi lain bangunan pelimpah (*spillway*) untuk melimpahkan debit air yang dianggap berkelebihan dan untuk menanggulangi bahaya overtopping terhadap beberapa jenis kelengkapan Bangunan Air. Jika pada mercu bangunan pelimpah (*spillway*) terjadi kenaikan level muka air lebih cepat dari yang diperkirakan maka akan membahayakan tubuh bendungan (Chanson, 1994). Oleh karena itu, untuk mengantisipasi debit yang tinggi pada mercu *spillway* maka perlu adanya suatu metode atau cara untuk meningkatkan kapasitas *spillway*.

Peningkatan kapasitas *spillway* dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain: menambah lebar *spillway* dan melakukan modifikasi *spillway* dengan merubah bentuk mercu. Ini dilakukan pada prinsipnya agar tetap mempertahankan volume tampungan serta elevasi puncak pelimpah (*spillway*). Pada tahun 2011, Putri, Agusari dan Yuliana telah melakukan penelitian dengan cara memodifikasi mercu *spillway*. Hasil penelitian yang telah dilakukan terjadi peningkatan/perubahan kapasitas debit pelimpah pada masing-masing modifikasi dengan tetap mempertahankan elevasi puncak mercu dengan bentuk tipe dengan bentuk puncak *sinusoida*.

Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi puncak *spillway* dengan bentuk puncak tipe deret *sinusoida*. Secara teoritis, deret *sinusoida* dapat memiliki kapasitas debit yang besar karena memiliki lebar lintasan air yang besar. Percobaan ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan *flume* dengan perubahan bentuk puncak tipe deret *sinusoida*.

METODE PENELITIAN

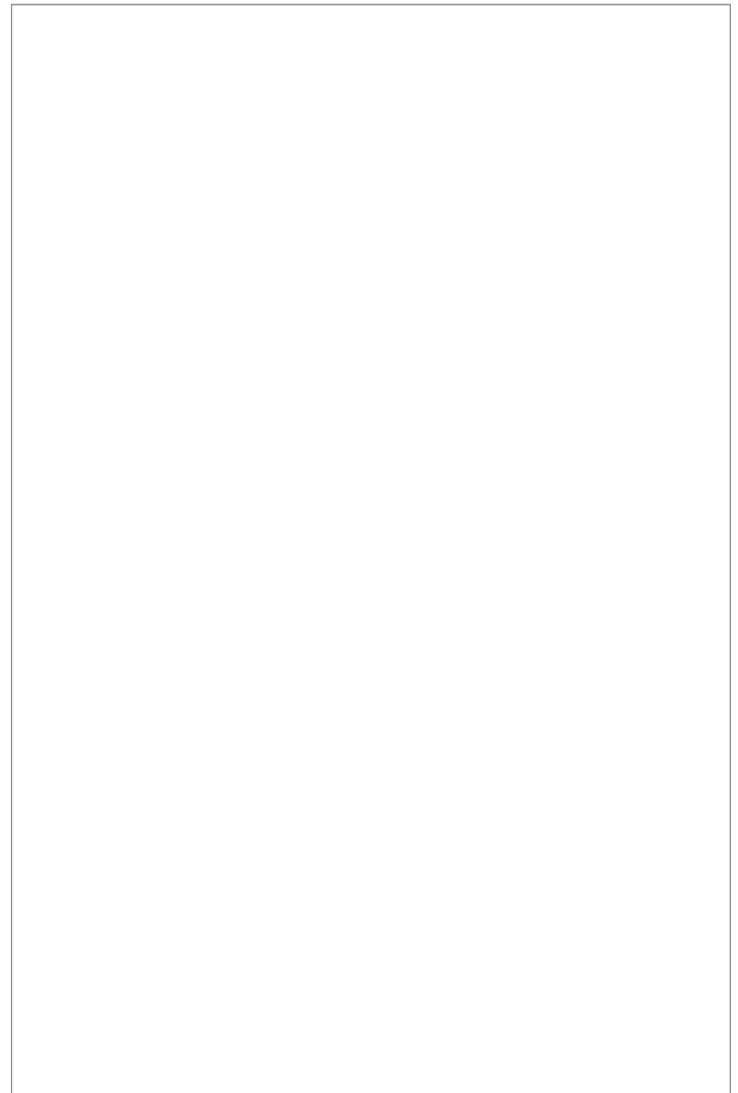
Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen dengan perlakuan mengubah bentuk saluran peluncur pelimpah. Bentuk saluran peluncur pelimpah (*spillway*) yang akan diuji adalah pelimpah mercu ogee dan pelimpah deret *sinusoida*. Uji model fisik hidraulik dilakukan di laboratorium dengan tinggi pelimpah 17 cm, panjang 15 cm dan tebal 7,5 cm dengan 5 variasi debit tiap pelimpah. Tiap variasi debit dilakukan pengulangan percobaan sebanyak 6 kali untuk data pengujian statistik untuk mencari simpangan rata-ratanya. Data yang diambil dari penelitian ini yaitu data debit, kedalaman kritis (h_c) dan kedalaman di kaki pelimpah (h_1). Dari data tersebut kemudian dicari kenaikan kapasitas debit pada bentuk mercu ogee dan deret *sinusoida*. Pelimpah yang

mempunyai kenaikan kapasitas debit yang paling besar itulah yang paling optimum.

Langkah Pengolahan Data

Adapun langkah-langkah pengolahan data pada studi ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kalibrasi alat ukur debit. Tujuannya untuk mengetahui apakah alat ukur debit berfungsi dengan baik atau tidak.
2. Mencari besar debit rata-rata, untuk mengetahui hubungan rata-rata data debit.
3. Mencari besar h_c dan h_1 , untuk mengetahui hubungan rata-rata data h_c dan h_1 .
4. Menghitung Debit Terukur Mercu Ogee dan Deret *Sinusoida*.
5. Menghitung Koefisien Debit Terukur Mercu Ogee dan Deret *Sinusoida*.
6. Mencari hubungan pelimpasan air Mercu Ogee dan Deret *Sinusoida*.
7. Menghitung skala model



Gambar 1. Diagram Alir Skripsi

HASIL PENELITIAN 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. Grafik hubungan antara Q_{hb} dan Q_e

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai korelasinya yaitu sebesar 0,9878. 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 12 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.

Derajat kepercayaan 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.

Tabel 1. Nilai P uji *anova*

| Bukaan | P | St. Dev | Mean |
|--------|-------|---------|---------|
| 1 | 0,098 | 12,220 | 234,34 |
| 2 | 0,359 | 20,010 | 411,97 |
| 3 | 0,528 | 11,130 | 591,66 |
| 4 | 0,036 | 25,200 | 1186,30 |
| 5 | 0,147 | 36,400 | 1432,13 |

Nilai p dari kelima bukaan menunjukkan lebih besar daripada nilai α sebesar 0.05. Itu berarti H_a ditolak dan H_o 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 234,34 $cm^3/detik$, pada bukaan 2 sebesar

411,97 $cm^3/detik$, pada bukaan 3 sebesar 591,66 $cm^3/detik$, pada bukaan ke 4 sebesar 1186,30 $cm^3/detik$ dan pada bukaan ke 5 sebesar 1432,13 $cm^3/detik$.

Penentuan Besar h_c dan h_l Rata-Rata

Besar h_c dan h_l rata-rata hasil uji laboratorium didapatkan 6 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 6 buah atau lebih kecil dari 30 buah. Digunakan derajat kepercayaan (α) sebesar 0.05%.

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

Tabel 2. Hasil uji t mercu ogee

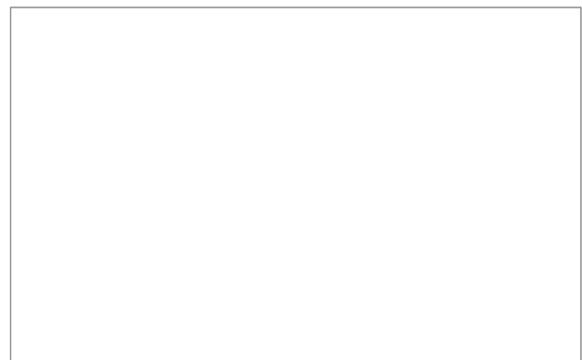
| Bukaan | h_c | | h_l | |
|--------|-------|---------|-------|---------|
| | P | St. Dev | P | St. Dev |
| 1 | 1,000 | 0,133 | 0,992 | 0,082 |
| 2 | 1,000 | 0,154 | 0,999 | 0,163 |
| 3 | 1,000 | 0,075 | 0,150 | 0,092 |
| 4 | 0,363 | 0,041 | 0,363 | 0,082 |
| 5 | 1,000 | 0,089 | 0,741 | 0,117 |

Tabel 3. Hasil uji t sinusoida

| Bukaan | h_c | | h_l | |
|--------|-------|---------|-------|---------|
| | P | St. Dev | P | St. Dev |
| 1 | 0,849 | 0,061 | 0,961 | 0,080 |
| 2 | 0,924 | 0,082 | 0,937 | 0,049 |
| 3 | 1,000 | 0,063 | 0,940 | 0,103 |
| 4 | 0,947 | 0,117 | 0,947 | 0,117 |
| 5 | 0,947 | 0,117 | 0,958 | 0,147 |

Perhitungan Debit Terukur Mercu Ogee

$$Q_1 = \frac{V}{t}$$



Gambar 3. Grafik Hasil Debit Terukur Mercu Ogee

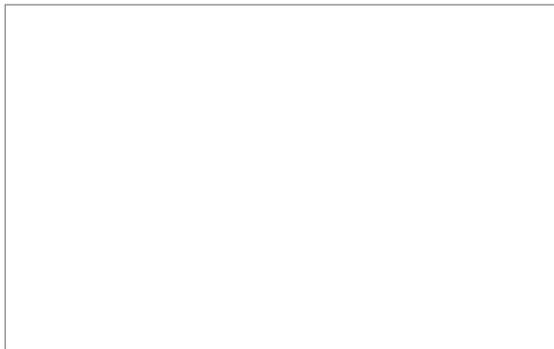
Tabel 4. Perbandingan Pengamatan Debit Terukur Pada Mercu Ogee dengan Persamaan Grafik

| No | Perhitungan Debit Terukur | Persamaan Pada Grafik | Faktor Korelasi (@) | Kesalahan Relatif |
|----|---------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 239,930 | 227,451 | 0,946 | 5,49% |
| 2 | 405,734 | 428,341 | 1,053 | 5,28% |
| 3 | 589,468 | 606,949 | 1,027 | 2,88% |
| 4 | 1168,528 | 1150,795 | 0,983 | 1,54% |
| 5 | 1415,317 | 1458,618 | 1,028 | 2,97% |
| | | rata-rata | 1,008 | 3,63% |

Hal ini menunjukkan hubungan antara kenaikan muka air, waktu dan debit adalah berbanding lurus. Berdasarkan perbandingan pengamatan debit pada tabel diperoleh faktor korelasi rata-rata 0,9978 dan persentase kesalahan relatif rata-rata sebesar 3,63%. Hal ini menunjukkan bahwa besaran debit yang dihasilkan dari persamaan pada grafik mendekati nilai pada perhitungan debit terukur.

Perhitungan Debit Terukur Deret Sinusoida

$$Q_1 = \frac{V}{t}$$



Gambar 4. Grafik Hasil Debit Terukur Tipe Deret Sinusoida

Tabel 5. Perbandingan Pengamatan Debit Terukur Pada Tipe Deret Sinusoida dengan Persamaan Grafik

| No. | Perhitungan Debit Terukur | Persamaan Pada Grafik | Faktor Korelasi (@) | Kesalahan Relatif |
|-----|---------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 227,756 | 216,648 | 0,9502 | 5,13% |
| 2 | 416,609 | 442,377 | 1,0607 | 5,83% |
| 3 | 593,511 | 583,642 | 0,9823 | 1,69% |
| 4 | 1203,209 | 1189,238 | 0,9873 | 1,17% |
| 5 | 1447,411 | 1456,615 | 1,0053 | 0,63% |
| | | rata-rata | 0,9971 | 2,89% |

Hal ini menunjukkan hubungan antara kenaikan muka air, waktu dan debit adalah berbanding lurus. Berdasarkan perbandingan pengamatan debit pada tabel 4.7 diperoleh faktor korelasi rata-rata 0,9989 dan persentase kesalahan relatif rata-rata sebesar 2,89%. Hal ini menunjukkan bahwa besaran debit yang dihasilkan dari persamaan pada grafik mendekati nilai pada perhitungan debit terukur.

Koefisien Debit Tiap Kekebalan

$$Q_1 = \frac{2}{3} \times Cd \times b \times H_2^{1,5} \times \sqrt{2g}$$

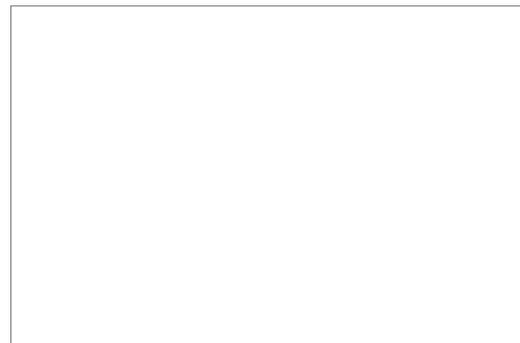
Tabel 6. Perbandingan Pengamatan Koefisien Debit Terukur Pada Mercu Ogee dengan Persamaan Grafik

| No. | Cd hitung | Cd Pada Grafik | Faktor Korelasi (@) | Kesalahan Relatif (%) |
|-----|-----------|----------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 1,4699 | 1,4326 | 0,952 | 2,61% |
| 2 | 1,5514 | 1,6120 | 1,015 | 3,76% |
| 3 | 1,7462 | 1,7542 | 0,981 | 0,46% |
| 4 | 2,2028 | 2,1284 | 0,944 | 3,50% |
| 5 | 2,2710 | 2,3151 | 0,996 | 1,91% |
| | | rata - rata | 0,978 | 2,45% |

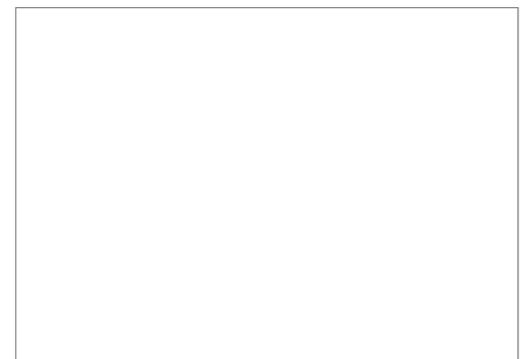
Tabel 7. Perbandingan Pengamatan Koefisien Debit Terukur Pada Puncak Tipe Deret Sinusoida dengan Persamaan Grafik

| No. | Cd hitung | Cd Pada Grafik | Faktor Korelasi (@) | Kesalahan Relatif (%) |
|-----|-----------|----------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 1,1329 | 1,1107 | 0,937 | 2,00% |
| 2 | 1,1531 | 1,2144 | 1,006 | 5,05% |
| 3 | 1,3058 | 1,2716 | 0,930 | 2,69% |
| 4 | 1,4855 | 1,4682 | 0,944 | 1,17% |
| 5 | 1,5239 | 1,5364 | 0,963 | 0,81% |
| | | rata - rata | 0,956 | 2,34% |

Hubungan Grafik Pelimpasan Air



Gambar 5. Grafik Perbandingan Koefisien Debit Pada Mercu Ogee Dengan Deret Sinusoida



Gambar 6. Grafik Perbandingan Debit Pada Mercu Ogee Dengan Deret Sinusoida

Tabel 8. Perbandingan Debit Pelimpasan Air Mercu Ogee Dengan Deret Sinusoida

| No | H (cm) | Q _{hb} Mercu Ogee (cm ³ /dt) | Q _{hb} Sinusoida (cm ³ /dt) | Peningkatan (cm ³ /dt) | Persentase (%) |
|----|--------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 1 | 0,65 | 239,930 | 227,756 | 12,174 | 5,07% |

| | | | | | |
|---|------|----------|----------|--------|-------|
| 2 | 1,10 | 405,734 | 416,609 | 10,874 | 2,68% |
| 3 | 1,41 | 589,468 | 593,511 | 4,043 | 0,69% |
| 4 | 2,35 | 1168,528 | 1203,209 | 34,681 | 2,97% |
| 5 | 2,76 | 1415,317 | 1447,411 | 32,094 | 2,27% |

Pada gambar dapat diketahui perbedaan debit pelimpas air mercu ogee dengan puncak tipe deret sinusoida. Dari grafik dapat dilihat bahwa puncak tipe deret sinusoida menghasilkan debit lebih besar dari mercu ogee. Debit minimum mercu ogee sebesar 239,930 cm³/dt terjadi ketika ketebalan air 0,73 cm dan debit maksimum 1415,317 cm³/dt terjadi ketika ketebalan air 2,80 cm. Debit minimum deret sinusoida sebesar 227,756 cm³/dt terjadi ketika ketebalan air 0,58 cm dan debit maksimum 1447,411 cm³/dt terjadi ketika ketebalan air 2,72 cm.

Debit yang melimpas puncak tipe deret sinusoida mengalami peningkatan minimum 0,69% dan maksimum 5,07% terhadap debit yang dihasilkan oleh mercu ogee. Adanya peningkatan ini disebabkan karena perbedaan lebar penampang yang dilewati air ketika melimpas, dimana puncak tipe deret sinusoida penampang yang lebih besar.

Skala Model

Tujuan analisis skala model adalah untuk mengetahui seberapa besar debit, dimensi pelimpah dan tinggi yang dihasilkan oleh hasil percobaan dalam bentuk dimensi lapangan. Skala yang digunakan adalah 1: 50.

Tabel 9. Skala Model Mercu Ogee

| | MODEL | LAPANGAN |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Tinggi Bendung | 17 cm | 8,5 m |
| Lebar Bendung | 7,5 cm | 3,75 m |
| Panjang Bendung | 15 cm | 7,5 m |
| Debit | 1.415,32 cm ³ /detik | 25,02 m ³ /detik |
| Kedalaman Downstream | 2,8 cm | 1,4 m |

Tabel 10. Skala Model Deret Sinusoida

| | MODEL | LAPANGAN |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Tinggi Bendung | 17 cm | 8,5 m |
| Lebar Bendung | 7,5 cm | 3,75 m |
| Panjang Bendung | 15 cm | 7,5 m |
| Debit | 1.447,41 cm ³ /detik | 25,59 m ³ /detik |
| Kedalaman Downstream | 2,72 cm | 1,3583 m |

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan sebelumnya didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya debit dan nilai koefisien yang dihasilkan Mercu Ogee berbanding lurus dengan ketebalan air di atas *crest*. Semakin besar ketebalan air di atas *crest*, semakin besar pula debit dan koefisien debit yang dihasilkan Mercu Ogee. Variasi debit yang

diperoleh pada ketebalan air 0.73 cm, 1.18 cm, 1.52 cm, 2.38 cm, 2.80 cm pada Mercu Ogee berturut-turut adalah 239.930 cm³/dt, 405.734 cm³/dt, 589.468 cm³/dt, 1168.528 cm³/dt, dan 1415.317 cm³/dt.

2. Besarnya debit dan nilai koefisien yang dihasilkan Deret *Sinusoida* berbanding lurus dengan ketebalan air di atas *crest*. Semakin besar ketebalan air di atas *crest*, semakin besar pula debit dan koefisien debit yang dihasilkan Deret *Sinusoida*. Variasi debit yang diperoleh pada ketebalan air 0.73 cm, 1.18 cm, 1.52 cm, 2.38 cm, 2.80 cm pada Deret *Sinusoida* berturut-turut adalah 227.756 cm³/dt, 416.609 cm³/dt, 593.511 cm³/dt, 1203.209 cm³/dt, dan 1447.411 cm³/dt.
3. Besarnya debit yang melimpas pada Mercu Ogee sebesar 3818.98 cm³/dt dengan lama waktu 148.37 detik. Pada bentuk deret *sinusoida* debit yang melimpas pada Mercu Ogee sebesar 3888.48 cm³/dt dengan lama waktu 149.97 detik. Dari hasil analisis didapat bahwa puncak tipe deret *sinusoida* dapat melimpahkan debit yang lebih besar dengan waktu yang lebih sedikit dibanding Mercu Ogee. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh perubahan bentuk puncak terhadap besarnya air yang melimpas di atas puncak dan lamanya waktu yang diperlukan untuk melimpahkan air tersebut.

Berdasarkan kesimpulan di atas, perlu dilakukan penelitian menggunakan pompa dan *flume* dengan kapasitas yang lebih besar untuk mendapatkan variasi ketebalan air dan debit yang lebih banyak sehingga data yang diperoleh lebih banyak serta perlu dilakukan variasi bentuk ukuran yang paling optimal untuk mengetahui peningkatan kapasitas debit yang paling besar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah memberikan dukungan.

Daftar Pustaka

- [1] Armfield. 2011. CK4-MKII Multi Purpose Teaching Flume Instruction Manual
- [2] Anggraini. 1996, Hidrolika Saluran Terbuka, Penerbit Citra Media, Surabaya.
- [3] Armono, D Haryo. *Teori Model Analisa dan Dimensi (Bahan Kuliah)*. <http://oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=579> diakses pada 1 Mei 2014 19.43
- [4] Dirjen Pengairan, Departemen PU. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi (Bagian Penunjang, KP 02)*. Direktorat Jenderal Pengairan: Departemen Pekerjaan Umum.
- [5] Marwardi, Erman dan Moch Memed. 2006. *Design Hidraulik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknik*. Bandung: Alfabeta.
- [6] MJ, Shand. 1994. *Design Of Spillway (Journal Of Hydraulic Engineer)*. Vol 3.
- [7] Riduwan dan Sunarto. 2013. *Pengantar Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta
- [8] Tullis, J., Amanian, N., and Waldron, D. (1995). "Design of Labyrinth Spillways." *J. Hydraul. Eng.*, 121(3), 247–255. TECHNICAL PAPERS