

PENYEMPURNAAN DESAIN BANGUNAN PELIMPAH CILEUWEUNG DENGAN UJI MODEL HIDRAULIK FISIK

IMPROVEMENT DESIGN STRUCTUR SPILLWAY CILEUWEUNG WITH PHYSICAL HYDRAULIC MODEL TEST

Sarwono¹⁾, Kirno²⁾

¹⁾²⁾ Peneliti Madya Bidang Hidraulika dan Bangunan Air
Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Pabelan Jl. Solo-Kartasura KM 7 Solo 57162
E-Mail: sarwono_bs@yahoo.co.id

Diterima: 05 Maret 2014; Disetujui: 20 November 2014

ABSTRAK

Kesempurnaan desain hidraulik bangunan pelimpah bendungan dapat dilakukan dengan uji model hidraulik (UMH) fisik di laboratorium. Tujuan dari pengujian adalah untuk mempelajari perilaku hidraulik bangunan pelimpah dengan komponen pelengkapannya. Metode yang digunakan dalam pemodelan adalah mencakup pembuatan model fisik, dan uji pengaliran. Pengujian hidraulik dilakukan dalam 3 seri, antara lain: seri I tes desain; seri II dan III merupakan tes perbaikan/penyempurnaan dimensi pelimpah, modifikasi kolam olakan dari tipe USBR II menjadi tipe flip bucket yang lebih baik dan pengamanan gerusan lokal akibat loncatan air dari kolam olakan dengan flunge pool. Perbaikan dengan memodifikasi secara coba-coba, sehingga didapat desain bangunan pelimpah yang aman dari segi hidraulik, dimana tinggi jagaan untuk semua debit rencana aman, pola aliran di saluran luncur tidak terjadi aliran silang dan tekanan isap dapat dikendalikan. Juga kolam olakan dapat meredam energi dengan baik, serta gerusan lokal di hilir kolam olakan dapat dikendalikan. Hasil penyempurnaan didapat modifikasi, seri terbaik yang akan digunakan sebagai bahan rekomendasi untuk diterapkan di lapangan.

Kata kunci: Pelimpah, desain awal, UMH fisik,, modifikasi, rekomendasi

ABSTRACT

The performance of hydraulic design of dam spillway can be done by hydraulic model test in the physical laboratory. The objective is to study the behavior of hydraulic structures of spillway with complementary components. The method is used in modeling include physical modeling, and drainage test. Hydraulic testing done in 3 series, among other: the first series of design tests; series II and III are modifying tests to improve the spillway dimensions, stilling basin modification from USBR type II into type flip bucket local scouring due to stepping on stalling basin with plunge pool. This modification is done by trial and error, in order to get a safe structures design spillway hydraulic terms, where high discharge surveillance for all safety plans, flow patterns in the sliding channel does not happen cross flow and suction pressure can be controlled, eddy pools can reduce energy well, as well as local scour downstream of an eddy can be controlled. From the result of the modification, the best series in hydraulic terms will be used as recommendation to be implemented in the field

Keywords : spillway, preliminary design, physical model test, modification, recommendation

PENDAHULUAN

Untuk menjaga keberlanjutan pemanfaatan sumber daya air secara umum dan khususnya irigasi, maka pemerintah dalam hal ini Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung pada tahun 2007 telah melaksanakan kajian untuk meningkatkan pelestarian dan pemanfaatan potensi sumber air serta pengendalian banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisanggarung. Kajian

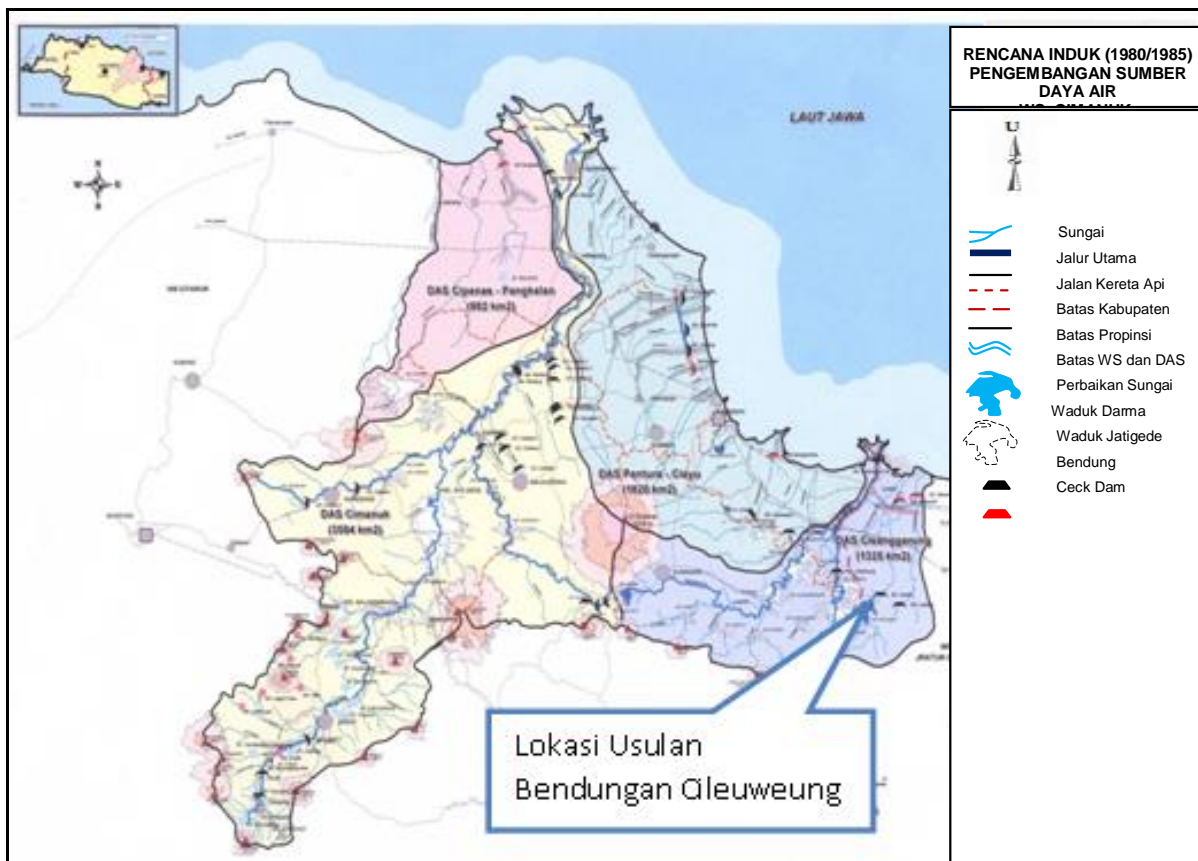
yang dilakukan berupa Studi Komparatif Waduk-waduk di DAS Cisanggarung dengan mengkaji 13 calon waduk yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai alternatif solusi pemenuhan kebutuhan air baku, bagi masyarakat yang bermukim di DAS Cisanggarung dan, sekitarnya, khususnya Kabupaten Kuningan, Brebes, Cirebon bagian timur dan Kota Cirebon.

Menindaklanjuti hasil studi tahun 2007, pada tahun 2008 Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung telah melaksanakan Studi Kelayakan Waduk Cileuweung, dilanjutkan dengan Studi Detail Desain Waduk Cileuweung pada tahun 2009, dan dilanjutkan kembali dengan Review Detail Desain Waduk Cileuweung yang dilaksanakan pada tahun 2012. Salah satu komponen yang penting dari desain bendungan adalah bangunan pelimpah. Untuk pengujian kesempurnaan desain bangunan pelimpah bendungan dari faktor hidraulik dapat dilakukan dengan uji model hidraulik (UMH) fisik di laboratorium. Tujuan dari uji model hidraulik fisik adalah untuk mendapatkan kesempurnaan hasil desain bangunan pelimpah dan saluran lancar yang aman dan tepat ditinjau dari segi hidraulik, dengan cara melakukan kaji ulang kapasitas pelimpah terhadap debit banjir rancangan (Q_{1000th}), dan kapasitas pelimpah terhadap debit banjir maksimum yang mungkin terjadi *Probable Maximum Flood* (PMF) harus tidak terjadi *overtopping* pada puncak bendungan (*top dam*).

Bendungan Cileuweung direncanakan akan dibangun di Sungai Cikaro merupakan anak Sungai Cijangkelok (Gambar 1). Secara administrasi berada di wilayah Dusun Cileuweung, Desa

Randusari, Kecamatan Cibereum, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat. Sedangkan lokasi uji model hidraulik fisik berada di Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air yang berlokasi di Surakarta.

Studi Kelayakan Waduk Cileuweung, pada tahun 2008 oleh Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung, dilanjutkan dengan Studi Detail Desain Waduk Cileuweung pada tahun 2009, dan dilanjutkan kembali dengan Review Detail Desain Waduk Cileuweung yang dilaksanakan pada tahun 2012. Kapasitas tampungan Bendungan Cileuweung direncanakan ± 25 juta m^3 dengan luas daerah tangkapan air 23,07 km^2 . Konstruksi bendungan berupa urugan tanah random dengan inti kedap (*core clay*) di tengah dengan tinggi bendungan ± 40 m. Desain mercu bangunan pelimpah tipe *Ogee*; kemudian masuk pada terowongan dengan mulut terowongan berbentuk semi-lingkar dengan lebar dasar 7,50 menuju bentuk lingkaran diameter 4,50 m sepanjang 47,83 m; selanjutnya berubah menjadi diameter 4,50 m sepanjang 103,85 m dengan kolam olakan yang dilengkapi dengan *chute block*, *baffle block* dan *endsill* selanjutnya masuk ke kolam peredam energi berupa *plunge pool*.



Gambar 1 Lokasi Bendungan Cileuweng

Data Teknis Konstruksi terdiri dari:

- 1) Saluran transisi
 - a. Panjang saluran transisi: 47,83 m
 - b. Lebar saluran transisi: 7,50 m ke diameter 4,50 m
 - c. Kemiringan dasar saluran transisi: 1 : 2,0
- 2) Saluran Luncur (terowongan, bentuk lingkaran)
 - a. Panjang saluran luncur: 103,85 m
 - b. Diameter: 4,50 m
 - c. Kemiringan dasar sal. Luncur : 0,004611
- 3) Peredam Energi
 - a. Kolam peredam: *Plunge Pool*
 - b. Panjang Kolam: 15,00 m
 - c. Kedalaman: 6,00 m
- 4) Bangunan Pengambilan :
 - a. Tipe: *Shaft* tegak
 - b. Dimensi Pengambilan: 1,5 x 1,5 m
 - c. El. Inlet: +98,0 m
 - d. Tinggi Menara : 6,00 m

METODOLOGI

Pengkajian penyempurnaan desain bangunan pelimpah bendungan Cileuweung dengan uji model hidraulik fisik ini dilakukan dengan metode sebagai berikut:

- 1) Pengumpulan data meliputi data desain bangunan untuk ditirukan ke model fisik dan data pengaliran untuk setiap seri percobaan dengan variasi debit aliran yang ditentukan.
- 2) Pengujian, dilakukan dengan cara menggunakan uji model hidraulik fisik, di laboratorium, baik kondisi desain awal maupun modifikasi meliputi:
 - a. penentuan skala model berdasarkan fasilitas laboratorium
 - b. analisis data prototipe dikonversikan ke data model
 - c. tes kesamaan antara model dengan prototipe (similaritas model), terutama dalam hal penyamaan angka koefisien *manning* (n).

1 Pelaksanaan Uji Model Fisik

Skala model ditentukan berdasarkan tingkat ketelitian dan fasilitas laboratorium yang dipunyai. Hasil diskusi tenaga ahli menyimpulkan skala model 1: 25.

Urutan kegiatan uji model hidraulik fisik adalah sebagai berikut:

- a) Pembuatan garis lengkung debit *out flow* pada pelimpah, dengan cara mengalirkan debit *inflow* yang diukur dengan alat ukur debit *rech bock*. Setelah daerah genangan penuh air, akan terjadi limpasan di bangunan pelimpah. sehingga tinggi muka air di atas mercu pelimpah dapat diukur, pengamatan ini dilakukan dengan beberapa variasi debit masukan dari debit kecil sampai debit maksimum.
- b) Pengujian desain awal, yaitu menguji desain untuk mengetahui dampak hidraulik, terutama elevasi muka air, pola aliran, kecepatan aliran pada saluran luncur, *Stilling basin*, dan sungai di hilir kolam olakan.
- c) Modifikasi I, yaitu memodifikasi dimensi bangunan pelimpah untuk mengetahui dampak hidraulik, terutama *ruting curve*, elevasi muka air, pola aliran, kecepatan aliran pada awal saluran luncur, *stilling basin*, dan sungai di hilir kolam olakan.
- d) Modifikasi II, yaitu memodifikasi bangunan *Stilling basin*. untuk mengetahui dampak hidraulik, terutama elevasi muka air, pola aliran, kecepatan aliran pada ujung hilir saluran luncur, *Stilling basin*, dan sungai di hilir kolam olakan.
- e) Modifikasi III, yaitu untuk menanggulangi gerusan lokal pada sungai di hilir *Stilling basin* dengan harapan aliran di sungai menjadi aliran sub kritis.

2 Metode Pengamatan Pengujian Hidraulik.

Pengamatan Lengkung debit di hulu pelimpah

Untuk mendapatkan data yang dibutuhkan, hubungan antara debit *out flow* dengan ketebalan air di atas mercu, maka dialirkan debit air dengan interval 10 m³/s, mulai dari debit terkecil (Q_{2th}) 10 m³/s sampai debit maksimum (Q_{PMF}) 225 m³/s.

Pengamatan Elevasi Muka Air

Pengamatan elevasi muka air, dilakukan untuk debit kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 100 tahun dan PMF. Sebagai kontrol elevasi muka air pada sungai di hilir (Sta. 04), setiap debit aliran dikontrol dengan lengkung debit hasil analisa dengan rumus *Manning*.

$$Q = A \times V \quad 1)$$

Debit (Q) = luas tampang basah (A) x kecepatan aliran (V)

$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{0.5}$, dimana kekasaran *manning* (n) diambil 0,024 dan kemiringan dasar sungai (I) sesuai desain = 0,001. Dari beberapa kali analisis debit kemudian dibuat grafik atau garis lengkung

debit hubungan antara debit dengan elevasi muka air di Sta. 04.

Pengukuran Kecepatan Aliran

1) Pengukuran kecepatan aliran dengan tipe baling-baling mini adalah sbb:

Hitung kecepatan aliran di model berdasarkan putaran per detik (n) dengan rumus *curent meter* yang telah dikalibrasi. Contoh salah satu *curent meter*. Rumusnya adalah sbb:

$$V_m = 0,8881.n + 2,45 \quad 2)$$

Keterangan:

V_m , kecepatan aliran di model fisik (m/s)

n, putaran baling-baling per detik

$$V_p = V_m \cdot \sqrt{\text{skala vertikal}} \text{ model} \quad 3)$$

Keterangan:

V_p , Kecepatan aliran pada model ditransformasikan ke prototipe (m/s)

2) Pengukuran kecepatan aliran air dengan *Pitot Tube*

Apabila kecepatan aliran di model lebih besar dari 3 m/s disarankan menggunakan alat ukur

kecepatan *Pitot Tube*. Penghitungan kecepatan aliran dengan tipe *Pitot Tube* dengan rumus sebagai berikut:

$$V_m = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \quad 4)$$

Keterangan:

V_m , Kecepatan aliran di model (cm/s)

g, percepatan gravitasi bumi = 9,8 m/s² = 980 cm/s²

Δh , beda tinggi tekanan aliran dan muka air (bacaan dari kedua tabung)

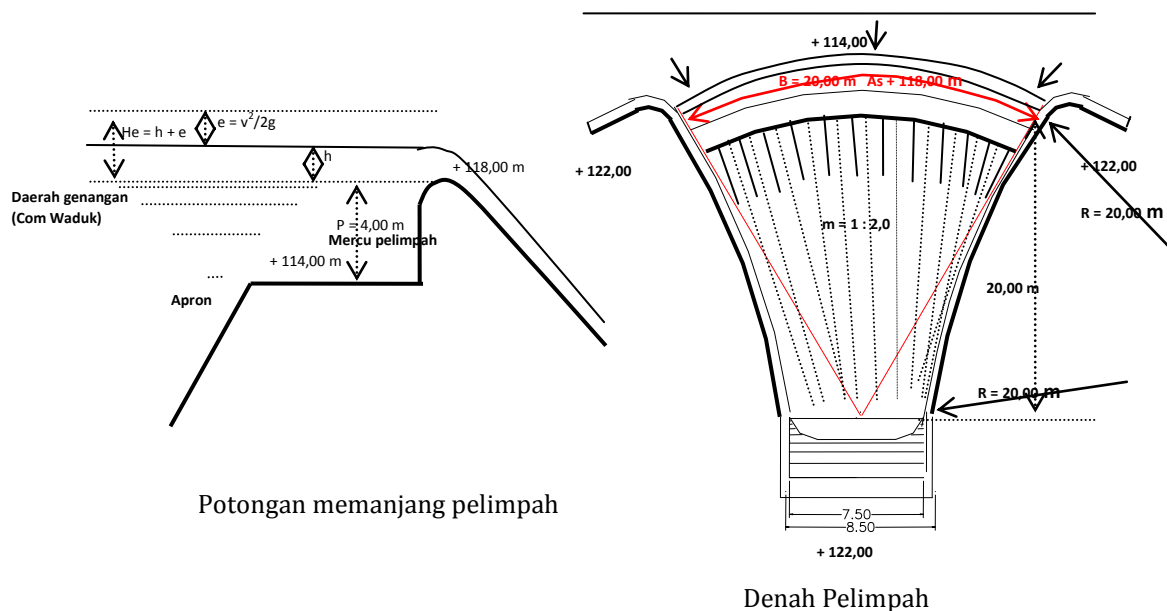
Pengamatan Pola Aliran

Pengamatan pola aliran pada model pelimpah Cileuweung ini ada dua (2) kondisi: kondisi saluran terbuka dan pada saluran tertutup karena saluran lancar dibuat dari *box culvert*, kalau di model *box culvert* supaya tembus pandang bentuk alirannya ditirukan dari bahan *acrilik*.

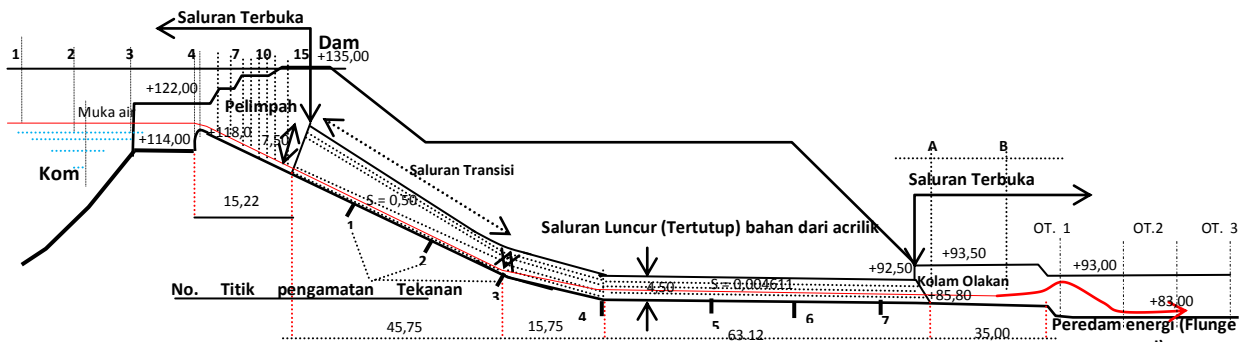
HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Hasil Penyelidikan Uji Model Fisik

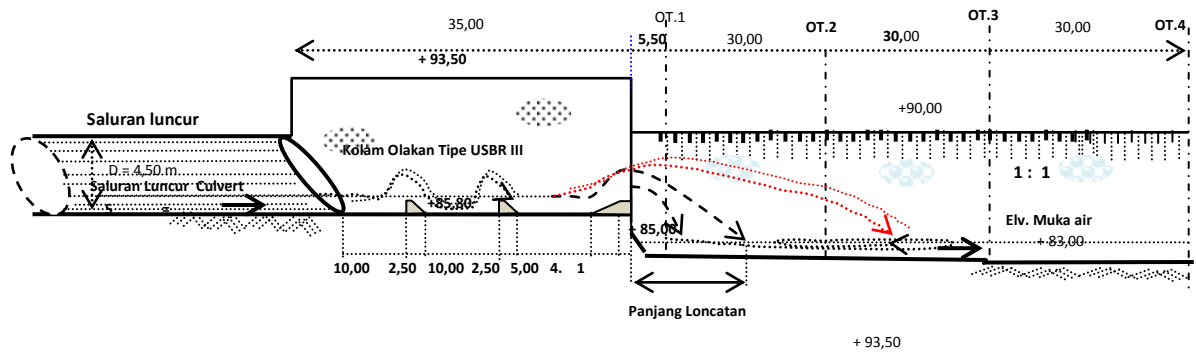
Penyelidikan uji model fisik di laboratorium dimulai model seri- 0 (desain awal) disajikan pada Gambar 2, 3 dan 4 sebagai berikut:



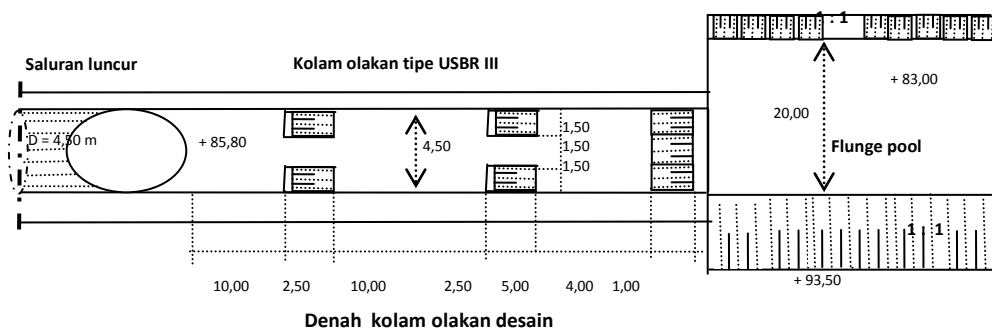
Gambar 2 Mercu pelimpah desain bendungan Cileuweung



Gambar 3 Potongan Memanjang bangunan pelimpah desain bendungan Cileuweung



Potongan memanjang kolam olakan desain



Denah kolam olakan desain

Gambar 4 Bentuk kolam olakan dan Flunge pool desain, potongan memanjang

2 Tes Desain (Model seri- 0)

1) Pengamatan lengkung debit di hulu mercu pelimpah

Hasil pengamatan debit *inflow* yang menggenangi waduk dan keluar lewat pelimpah dapat diukur elevasi muka air, dengan anggapan debit *inflow* sama dengan debit *outflow* yang melimpas di atas pelimpah dan mengalir dengan konstan (hasil disajikan pada Tabel.1). Ketinggian air di atas pelimpah (h) sama dengan elevasi muka air dikurangi elevasi puncak pelimpah (+ 118,00 m). Nilai koefisien pelimpah C dihitung dengan Rumus:

$$Q = C \cdot Le \cdot He^{3/2}$$

5)

$$V = (Q/le) / (P+h)$$

$$Le = 20,00 \text{ m} \quad e = v^2/2.g$$

$$He = h + v^2/2.g \gggg He = h + e$$

Keterangan:

Q , debit out flow (m^3/s)

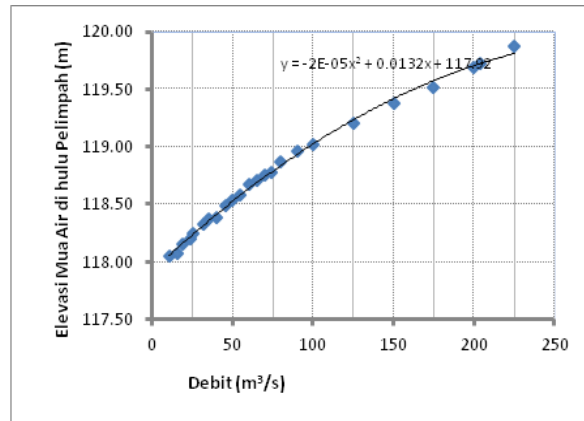
V , kecepatan aliran (m/s)

Le , lebar efektif pelimpah = 20,00 m

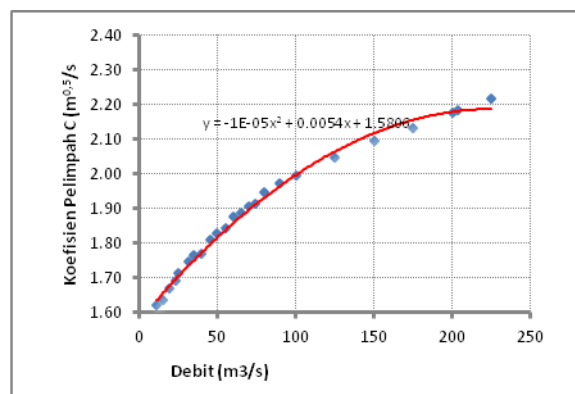
P , tinggi pelimpah = 4,00 m

Tabel 1 Pengamatan elevasi muka air di hulu pelimpah Model Seri 0 (tes desain)

No.	Debit Inflow (m ³ /s)	Elv. Muka air	h (m)	Koefisien Pelimpah (c)
1	10.89	118.05	0.05	1.62
2	15.57	118.08	0.08	1.63
3	19.34	118.15	0.15	1.66
4	23.70	118.20	0.20	1.69
5	25.39	118.25	0.25	1.71
6	31.93	118.33	0.33	1.74
7	34.94	118.38	0.38	1.76
8	40.00	118.39	0.39	1.76
9	45.66	118.49	0.49	1.80
10	50.00	118.53	0.53	1.81
11	55.00	118.58	0.58	1.83
12	60.00	118.67	0.67	1.86
13	65.00	118.70	0.70	1.87
14	70.00	118.75	0.75	1.89
15	74.16	118.78	0.78	1.90
16	80.00	118.87	0.87	1.93
17	90.00	118.96	0.96	1.95
18	100.00	119.02	1.02	1.97
19	125.00	119.20	1.20	2.02
20	150.00	119.38	1.38	2.07
21	175.00	119.52	1.52	2.11
22	200.00	119.69	1.69	2.15
23	203.62	119.72	1.72	2.15



Gambar 5 Garis lengkung hubungan antara debit dengan elevasi muka air



Gambar 6 Garis lengkung hubungan antara debit dengan nilai koefisien pelimpah C

Dari Tabel 1. Dapat ditampilkan gambar lengkung debit dengan elevasi muka air pada Gambar 5, dan lengkung debit dengan koefisien pelimpah C Gambar 6.

2) Hasil Pengamatan elevasi muka air .

Pengamatan elevasi muka air dilakukan untuk setiap debit kala ulang dan dimulai dari hulu pelimpah sampai sungai di hilir kolam olakan (Sta 1. Sampai OT.4. Hasil untuk setiap pengamatan elevasi muka air disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengamatan elevasi muka air model tes desain

No. Sta.	Jarak dari pelimpah (m)	Elelevasi		Elevasi Muka Air Pada Debit kala ulang.				
		Dasar	Dinding	Q.2th = 11 m ³ /s	Q.10th = 19 m ³ /s	Q.50th = 32 m ³ /s	Q.100th = 35 m ³ /s	Q.PMF= 204 m ³ /s
1	15.00	114.00	122.00	118.05	118.15	118.32	118.38	119.72
2	7.50	114.00	122.00	118.05	118.15	118.32	118.37	119.70
3	2.50	114.00	122.00	118.05	118.15	118.32	118.37	119.68
4	0.00	114.00	122.00	118.04	118.14	118.28	118.34	119.45
5	As. Mercu	118.00	122.00	118.02	118.09	118.19	118.25	119.31
6	1.00	117.99	122.00	117.98	118.04	118.13	118.18	119.19
7	1.75	117.83	122.00	117.77	117.86	117.93	118.00	118.93
8	2.50	117.52	122.00	117.42	117.50	117.60	117.63	118.55
9	3.25	117.19	122.00	117.00	117.10	117.14	117.13	118.05
10	4.25	116.76	122.00	116.49	116.63	116.69	116.70	117.57

Tabel 2 Hasil pengamatan elevasi muka air model tes desain (lanjutan)

No. Sta.	Jarak dari pelimpah (m)	Elevasi		Elevasi Muka Air Pada Debit kala ulang.				
		Dasar	Dinding	Q.2th = 11 m ³ /s	Q.10th = 19 m ³ /s	Q.50th = 32 m ³ /s	Q.100th = 35 m ³ /s	Q.PMF= 204 m ³ /s
11	6.25	115.88	122.00	115.59	115.65	115.72	115.70	116.54
12	8.75	114.79	122.00	114.48	114.52	114.59	114.58	115.46
13	12.50	113.16	122.00	112.89	113.03	113.12	113.08	114.21
14	14.50	112.31	122.00	112.24	112.30	112.36	112.35	113.30
15	21.50	109.34	122.00	109.59	109.69	109.84	109.83	110.75
16	A	85.00	93.50	86.37	86.72	99.00	86.39	87.25
17	B	85.00	93.50	85.68	86.82	87.31	87.47	86.84
18	OT. 1	83.00	90.00	83.14	83.21	83.22	83.40	83.74
19	OT. 2	83.00	90.00	83.15	83.19	83.26	83.48	83.71
20	OT. 3	83.00	90.00	83.14	83.19	83.26	83.34	84.04
21	OT. 4	83.00	90.00	83.14	83.19	83.27	83.29	84.07

3) Kecepatan aliran model seri 0 (desain awal)

Kecepatan aliran dilakukan hanya pada saluran terbuka saja, untuk saluran tertutup (saluran luncur tidak dapat dilakukan pengukuran kecepatan aliran). Hasil pengukuran kecepatan aliran rata-rata untuk setiap penampang melintang di sajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengukuran kecepatan aliran (m/s) di saluran terbuka pada pelimpah Cileuweung Tes desain.

No. Sta	Debit Aliran kala ulang / (m ³ /s)				
	Q.5 th	Q.10 th	Q.25 th	Q.50 th	Q.100 th
	16	19	25	32	35
2	0.07	0.19	0.26	0.30	0.33
8	7.85	6.42	6.87	7.18	7.33
15	8.01	9.15	9.29	9.42	11.53
A	0.89	3.80	3.96	4.02	4.15
B	0.55	3.09	3.46	3.98	4.33
OT.1	0.55	1.12	3.23	3.48	3.88
OT.2	0.57	1.40	1.96	2.10	2.70
OT.3	0.64	0.90	1.80	2.05	1.67

A Pengamatan Pola aliran.

Secara umum bentuk pola aliran semua debit aliran mulai debit kecil (Q. 2th) sampai debit maksimum (Q. PMF) diinformasikan sbb:

- a) Saat aliran dari Com waduk mau melimpas di pelimpah, bentuk aliran merata, seragam dan dengan kecepatan relatif rendah.
- b) Setelah aliran lepas dari pelimpah masuk ke inlet saluran luncur aliran mengumpul, dan menyebar terjadi aliran silang (Gambar 7).
- c) Bentuk pola aliran di saluran luncur (*box culvert*) terlihat aliran tidak seragam akibat aliran dari hulunya.

- d) Bentuk aliran di kolam olakan seragam tetapi meluncur dengan kecepatan aliran tinggi.
- e) Aliran di sungai hilir kolam olakan tidak seragam (Gambar 8)



Gambar 7 Pola aliran di Pelimpah



Gambar 8 Pola aliran di saluran luncur

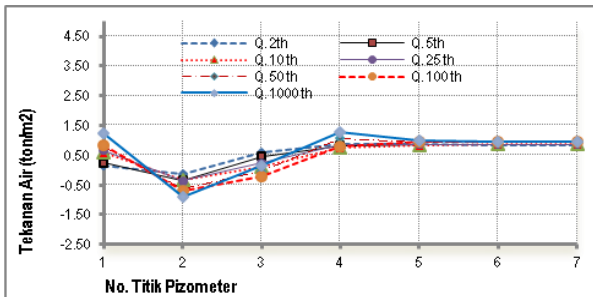
Tabel 4 Hasil pemantaun tekanan negatif pada dasar saluran lancar, untuk tes desain

No. Titik <i>Pizometer</i>	Tekanan Air (ton/m ²), untuk debit dengan kala ulang						
	Q.2th	Q.5th	Q.10th	Q.25th	Q.50th	Q.100th	Q.1000
1	0.14	0.24	0.59	0.66	0.78	0.84	1.22
2	-0.14	-0.34	-0.34	-0.37	-0.65	-0.70	-0.90
3	0.58	0.46	0.10	0.24	-0.05	-0.21	0.16
4	0.86	0.81	0.75	0.84	1.06	0.79	1.26
5	0.86	0.85	0.83	0.87	0.94	0.94	0.98
6	0.85	0.85	0.86	0.86	0.92	0.95	0.95
7	0.83	0.85	0.87	0.87	0.92	0.95	0.96

B Hasil pengamatan Tekanan hidrostatik pada dasar saluran lancar

Untuk mengetahui tekanan negatif pada saluran lancar pada uji model fisik dipasang pizometer untuk mendeteksi tekanan akibat hidraulik debit yang dialirkan, berikut hasil pantauan tekanan negatif untuk beberapa debit aliran disajikan dalam Tabel 4.

Titik nomer *pizometer* pemantaun tekanan pada dasar saluran disajikan dalam grafik tekanan hidraulik Gambar 9.



Gambar 9 Grafik tekanan hidraulik pada dasar saluran lancar

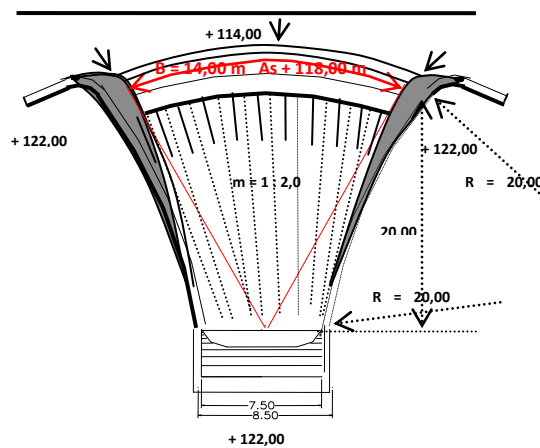
3 Modifikasi Model

Untuk mendapatkan bentuk dan dimensi bangunan pelimpah supaya aman terhadap hidraulik maka, perlu modifikasi antara lain:

1) Modifikasi dimensi lebar pelimpah

Tujuannya adalah untuk mendapatkan bentuk pola alir di *inlet* sampai *out let* saluran lancar mengalir seragam. Tetapi tinggi jagaan Dam Cileuweung tetap dalam batas aman. Memodifikasi lebar pelimpah ini di perkecil dengan cara coba-coba (*trial and error*) sehingga mendapatkan

bentuk aliran yang seragam. Dari hasil coba-coba ternyata yang paling cocok dibuat lebar pelimpah dari 20,00 m menjadi 14,00 m. Gambar 10.

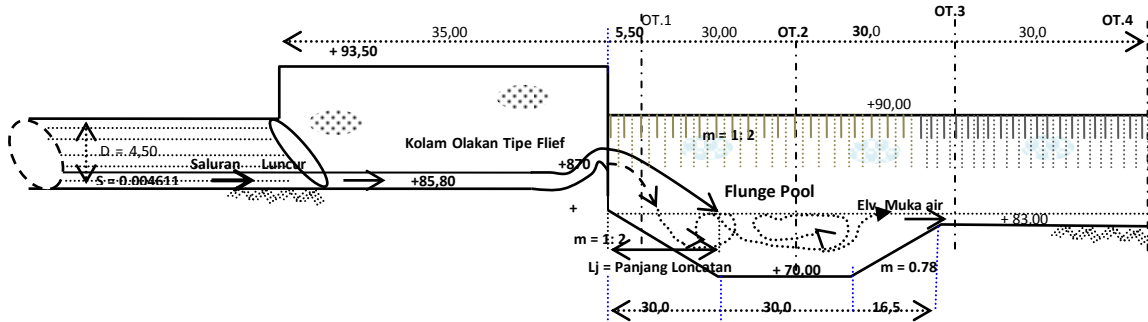


Gambar 10 Modifikasi lebar pelimpah

2) Modifikasi kolam olakan

Tujuan modifikasi kolam olakan ini adalah:

- a) Aliran di saluran lancar tidak terjadi aliran balik yang disebabkan bentuk kolam olakan, yang dapat mengakibatkan *box culvert* terjadi aliran penuh. Hal ini untuk menghindari terjadinya vakum udara.
- b) Menstabilkan pola aliran di sungai dibagian hilir kolam olakan.
- c) Pengalir dengan sub kritis untuk semua debit aliran guna menghindari gerusan lokal. Dari beberapa tipe kolam olakan (USBR tipe II, III) ternyata setelah dilakukan *running* yang sesuai bentuk kolam olakan adalah tipe *Flip bucket* seperti **Gambar 11**.



Gambar 11 Kolam olakan tipe *Flip bucket* dengan dilengkapi peredam energi *flunge pool*

4 Hasil Pengaliran Modifikasi Terbaik

1) Pengamatan garis lengkung debit di hulu pelimpah.

Garis lengkung debit, setelah dilakukan perubahan lebar pelimpah dari 20,00 m menjadi 14,00 m, garis lengkung debit di hulu pelimpah berbeda dengan tes desain. Data dari uji model fisik: Debit aliran *out flow* pelimpah, elevasi muka air (Elv) hasil dari pengukuran di model, dan tinggi muka air diatas mercu pelimpah (h) hasil analisa dari elevasi muka air dikurangi elevasi puncak mercu pelimpah (+118,00 m) serta koefisien pelimpah (C) hasil analisa dengan perumusan, dengan menggunakan data dari model fisik:

$$Q = C \cdot Le \cdot He^{3/2}$$

$$V = (Q/le) / (P+h)$$

$$Le = 20,00 \text{ m} \quad e = v^2/2.g$$

$$He = h + v^2/2.g \dots He = h + e$$

Keterangan:

- Q, debit *out flow* (m³/s)
- V, kecepatan aliran (m/s)
- Le, lebar efektif pelimpah = 14,00 m
- P, tinggi pelimpah = 4,00 m

2) Hasil pengamatan Elevasi muka air

Pengamatan elevasi muka air dilakukan untuk setiap debit kala ulang dan dimulai dari hulu pelimpah sampai sungai di hilir kolam olakan (Sta 1. Sampai OT.4) letak titik pengamatan elevasi

muka air seperti Gambar 6. Dan hasilnya untuk setiap pengamatan elevasi muka air ditabelkan sbb.

Tabel 5 Hasil pengamatan lengkung debit di bagian hulu pelimpah, Seri terbaik.

No	Debit (m ³ /s)	Elv. Muka air	h (m)	Koefisien Pelimpah (C)
1	10.89	118.30	0.37	1.75
2	15.57	118.35	0.39	1.76
3	19.34	118.45	0.45	1.79
4	23.70	118.70	0.70	1.87
5	25.39	118.70	0.70	1.88
6	31.93	118.77	0.77	1.90
7	34.94	118.99	0.99	1.96
8	40.00	119.09	1.09	1.99
9	45.66	119.18	1.18	2.01
10	50.00	119.25	1.25	2.03
11	55.00	119.32	1.32	2.05
12	60.00	119.38	1.38	2.07
13	65.00	119.44	1.44	2.08
14	70.00	119.49	1.49	2.10
15	74.16	119.65	1.65	2.13
16	80.00	119.59	1.59	2.12
17	90.00	119.68	1.68	2.14
18	100.00	119.75	1.75	2.16
19	125.00	119.92	1.92	2.21
20	150.00	120.05	2.05	2.25
21	175.00	120.16	2.16	2.28
22	200.00	120.26	2.26	2.31
23	203.62	120.30	2.30	2.32
24	225.00	120.34	2.34	2.34

Tabel 6. Hasil pengamatan elevasi muka air model modifikasi terbaik

No. Sta.	Jarak dari pelimpah (m)	Elevasi		Elevasi Muka Air Pada Debit kala ulang.				
		Dasar	Dinding	Q _{.2th}	Q _{.10th}	Q _{.50th}	Q _{.100th}	Q _{.PMF}
1	15.00	114.00	122.00	118.05	118.15	118.32	118.38	119.72
2	7.50	114.00	122.00	118.05	118.15	118.32	118.37	119.70
3	2.50	114.00	122.00	118.05	118.15	118.32	118.37	119.68
4	0.00	114.00	122.00	118.04	118.14	118.28	118.34	119.45

5	As. Mercu	118.00	122.00	118.02	118.09	118.19	118.25	119.31
6	1.00	117.99	122.00	117.98	118.04	118.13	118.18	119.19
7	1.75	117.83	122.00	117.77	117.86	117.93	118.00	118.93
8	2.50	117.52	122.00	117.42	117.50	117.60	117.63	118.55
9	3.25	117.19	122.00	117.00	117.10	117.14	117.13	118.05
10	4.25	116.76	122.00	116.49	116.63	116.69	116.70	117.57
11	6.25	115.88	122.00	115.59	115.65	115.72	115.70	116.54
12	8.75	114.79	122.00	114.48	114.52	114.59	114.58	115.46
13	12.50	113.16	122.00	112.89	113.03	113.12	113.08	114.21
14	14.50	112.31	122.00	112.24	112.30	112.36	112.35	113.30
15	21.50	109.34	122.00	109.59	109.69	109.84	109.83	110.75
16	A	85.00	93.50	86.37	86.72	99.00	86.39	87.25
17	B	85.00	93.50	85.68	86.82	87.31	87.47	86.84
18	OT. 1	83.00	90.00	83.14	83.21	83.22	83.40	83.74
19	OT. 2	83.00	90.00	83.15	83.19	83.26	83.48	83.71
20	OT. 3	83.00	90.00	83.14	83.19	83.26	83.34	84.04
21	OT. 4	83.00	90.00	83.14	83.19	83.27	83.29	84.07

1. Hasil pengamatan kecepatan aliran

Kecepatan aliran di hulu pelimpah tidak jauh berbeda dengan model seri 0 (tes desain), hanya pada kolam olakan dan di sungai kecepatan aliran setelah adanya modifikasi semakin menurun.

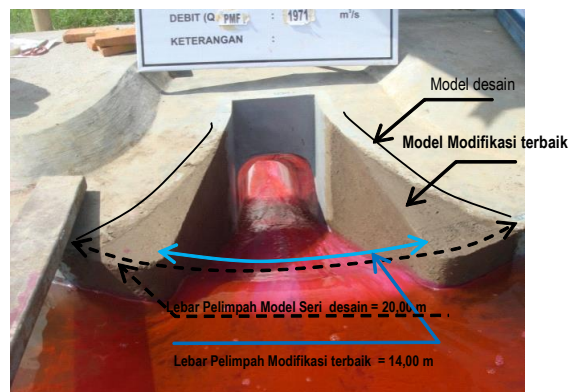
- Dengan adanya *flunge pool*, aliran di sungai mengalir dengan kecepatan aliran kecil (jenis aliran *sub kritis*) (Gambar 13)

Tabel 7. Hasil pengukuran kecepatan aliran (m/s) Tes Modifikasi terbaik.

No. Sta	Debit Aliran kala ulang				
	Q _{-5 th}	Q _{-10 th}	Q _{-25 th}	Q _{-50 th}	Q _{-100 th}
	16 m ³ /s	19 m ³ /s	25 m ³ /s	32 m ³ /s	35 m ³ /s
2	0.07	0.19	0.26	0.30	0.33
8	7.85	6.42	6.87	7.18	7.33
15	8.01	9.15	9.29	9.42	11.53
A	0.89	3.80	3.96	4.02	4.15
B	0.55	3.09	3.46	3.98	4.33
OT.1	0.55	1.12	3.23	3.48	3.88
OT.2	0.57	1.40	1.96	2.10	2.70
OT.3	0.64	0.90	1.80	2.05	1.67

2. Bentuk pola aliran

- Bentuk pola aliran di hilir pelimpah (*inlet box culvert*) sudah merata, mendekati seragam (Gambar 12)
- Aliran di saluran luncur terjadi pembendungan akibat bentuk kolam olakan *flief bucket*, tetapi tidak sampai terjadi aliran penuh. Bila debit aliran lebih besar dari 35 m³/s (Q_{-100 th}) tidak terjadi pembendungan di *box culvert*, tetapi loncatan air di hilir kolam olakan semakin panjang. Maka diperlukan peredam energi *flunge pool*.



Gambar 12 Pola aliran di Pelimpah



Gambar 13 Pola aliran di kolam olakan dan di *plunge pool*

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Tinggi Jagaan Dam.

Dengan diperkecil lebar pelimpah, dari 20,00 m menjadi 14,00 m ternyata tinggi jagaan untuk debit PMF. masih aman (1,68 m). Dari data menyebutkan bahwa elevasi puncak Dam + 122,00 m, berikut adalah analisa tinggi jagaan berdasarkan data elevasi muka air dari pengamatan di model fisik.

Tabel 8 Analisa tinggi jagaan untuk modifikasi model seri terbaik.

Debit		Elevasi		Tinggi jagaan (m)
Kala ulang (th)	m ³ /s	Puncak Dam	Muka air	
2	11	122.00	118.37	3.63
5	16	122.00	118.39	3.61
10	19	122.00	118.45	3.55
25	25	122.00	118.73	3.28
50	32	122.00	118.78	3.22
100	35	122.00	118.99	3.01
1000	74	122.00	119.63	2.38
PMF	204	122.00	120.33	1.68

2 Garis Lengkung Debit (*Rating Curve*)

Garis lengkung debit (*rating curve*) hasil penyelidikan di model fisik ini digunakan sebagai dasar operasi dan pemeliharaan di lapangan nanti. Ternyata dari hasil pengamatan antara desain awal dengan modifikasi seri terbaik pada debit aliran sama nilai elevasi muka air dan nilai koefisien pelimpah berbeda. Untuk mengetahui perbedaannya seperti Tabel 9.

3 Bentuk aliran sungai di hilir kolam olakan.

Dari data pengamatan di model fisik didapat data pengukuran tinggi muka air, kecepatan aliran, untuk setiap debit aliran, sehingga dapat dianalisa jenis aliran untuk masing-masing aliran. Tujuan dari analisa jenis aliran ini adalah untuk menghindari gerusan lokal pada sungai di hilir kolam olakan. Sebelum adanya modifikasi peredam energi di hilir kolam olakan jenis aliran untuk debit lebih besar 35 m³/s (Q.100 thn) adalah jenis aliran super kritis. Sehingga dikawatirkan terjadi gerusan lokal. Untuk mengantisipasi gerusan lokal pada sungai maka direncanakan peredam energi berupa plunge pool.

Tabel 9 Perbedaan elevasi muka air dan nilai C pada debit yang sama, untuk model seri desain dengan model seri terbaik

No.	Debit. (m ³ /s)	Elv. Muka air di hulu pelimpah		Tinggi air diatas mercu (h)		Koefisien Pelimpah (c)	
		Tes desain	Modif. Terbaik	Tes desain	Modif. Terbaik	Tes desain	Modif. Terbaik
1	10.89	118.05	118.37	0.05	0.37	1.62	1.75
2	15.57	118.08	118.39	0.08	0.39	1.64	1.76
3	19.34	118.15	118.45	0.15	0.45	1.67	1.79
4	23.70	118.20	118.70	0.20	0.70	1.69	1.87
5	25.39	118.25	118.72	0.25	0.72	1.71	1.88
6	31.93	118.33	118.77	0.33	0.77	1.75	1.90
7	34.94	118.38	118.99	0.38	0.99	1.77	1.96
8	40.00	118.39	119.09	0.39	1.09	1.77	1.99
9	45.66	118.49	119.18	0.49	1.18	1.81	2.01
10	50.00	118.53	119.25	0.53	1.25	1.83	2.03
11	55.00	118.58	119.32	0.58	1.32	1.85	2.05
12	60.00	118.67	119.38	0.67	1.38	1.88	2.07
13	65.00	118.70	119.44	0.70	1.44	1.89	2.08
14	70.00	118.75	119.49	0.75	1.49	1.91	2.10
15	74.16	118.78	119.65	0.78	1.65	1.92	2.13
16	80.00	118.87	119.59	0.87	1.59	1.95	2.12
17	90.00	118.96	119.68	0.96	1.68	1.97	2.14
18	100.00	119.02	119.75	1.02	1.75	1.99	2.16
19	125.00	119.20	119.92	1.20	1.92	2.05	2.21
20	150.00	119.38	120.05	1.38	2.05	2.10	2.25
21	175.00	119.52	120.16	1.52	2.16	2.13	2.28
22	200.00	119.69	120.26	1.69	2.26	2.18	2.31
23	203.62	119.72	120.33	1.72	2.33	2.18	2.32

Tabel 10 Analisa jenis aliran di sungai hilir kolam olakan.

Q.renc (th)	Debit (m ³ /s)	Elevasi dasar sungai	Elevasi muka air	kedalaman air (h)	Kecepatan aliran (m/s)	Fr = V/ (g.h) ^{0,5}	Keterangan jenis aliran sub/super kritik
5	16	83.00	83.58	0.58	1.16	0.49	sub.Kritis
10	19	83.00	83.61	0.61	1.20	0.49	sub.Kritis
25	25	83.00	83.78	0.78	1.28	0.46	sub.Kritis
50	32	83.00	83.91	0.91	1.32	0.44	sub.Kritis
100	35	83.00	83.6	0.60	1.43	0.59	sub.Kritis
1000	74	83.00	84.31	1.31	2.34	0.64	sub.Kritis
PMF	204	83.00	84.99	1.99	3.17	0.72	sub.Kritis

Sebagai kontrol untuk menentukan jenis aliran ditentukan nomer penampang lintang OT.3. dengan rumus angka Froude : $(Fr) = V / (h \times g)^{0,5}$. Bila angka yang diperoleh lebih besar dari 1, termasuk jenis aliran super kritis dan bila lebih kecil 1 disebut aliran sub kritis. Dari Tabel 10, jenis aliran untuk semua debit kala ulang adalah sub kritis, maka kemungkinan besar gerusan lokal akan terkendali.

KESIMPULAN

Tujuan dilakukannya pengujian melalui UMH Fisik adalah untuk mencari dan menemukan alternatif terbaik dalam memberikan saran penyempurnaan desain dari aspek hidraulik, sehingga bahaya secara hidraulik yang mungkin akan terjadi dapat diantisipasi pada saat proses desain dilakukan.

Untuk mengurangi dampak pola aliran waduk yang menuju ke mercu pelimpah, maka aliran menuju mercu pelimpah harus terdistribusi merata, sehingga seluruh ambang/ mercu pelimpah dapat dimanfaatkan secara maksimal,

Dipilih lebar bentang pelimpah 14,00 m. Semakin kecil lebar bentang pelimpah, mendekati lebar inlet saluran luncur, aliran di saluran luncur semakin sempurna. Tetapi harus diingat tinggi jagaan Dam harus aman.

Dipilih tipe kolam olakan jenis *flip bucket* , dengan alasan pada saat debit *out flow* pelimpah kecil tidak terjadi aliran penuh di *box culvert*,

(menghindari vakum udara). Loncatan air di kolam olakan (*Stilling basin*) pada saat debit besar tidak melimpah dinding. Salah satu untuk meredam energi akibat loncatan air dari kolam olakan ke sungai, di bangun kolam peredam energi (*Plunge pool*), sehingga dapat merubah jenis aliran dari super kritik menjadi sub kritis.

DAFTAR PUSTAKA

Balai Sungai, Puslitbang SDA “ *Uji Model Fisik Embung Samiran Boyolali*” Tahun 2009
 Ministry of Public Works Agency for Research and Development Research Center For Water Resources
 Hydraulic Model Test on Wonogiri Dam Reservoir” Nopember 2010
 United States Departement of The Interior Bureau Of Reclamation “ *Design Of Small Dams*” Second Edition 1973.
 Prof. Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, CES, DEA. “ *Hidraulika I* “ Edisi Revisi cetakan Ke 11

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada seluruh tim peneliti Balai Sungai dan semua pihak yang telah membantu sehingga terwujudnya tulisan ini.