

# EFEKTIVITAS PEMBILASAN SEDIMEN AKIBAT OPERASI SPILLWAY DENGAN UJI MODEL FISIK

Kirno<sup>1)</sup>, Isnugroho<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Peneliti Madya, <sup>2)</sup> Peneliti Utama Hidraulika dan Bangunan Air  
Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Pabelan Jl. Solo-Kartasura KM 7 Solo 57162  
E-mail: isnugroho@ymail.com

Diterima: 21 Februari 2011; Disetujui: 11 Juli 2012

## ABSTRAK

Waduk Wonogiri yang direncanakan mempunyai umur efektif selama 100 tahun, tetapi ternyata belum genap 30 tahun sudah hampir penuh sedimen. Salah satu kontribusi sedimen terbesar adalah dari kali Keduang, hal ini disebabkan selain reboisasinya kurang berhasil juga karena luas daerah aliran kali Keduang terbesar diantara sungai yang alirannya masuk ke waduk Wonogiri. Salah satu upaya untuk mengurangi suplai sedimen dari K. Keduang, telah direncanakan bangunan tanggul pengarah aliran sedimen (closure dike) dari K. Keduang dan Spillway baru yang terletak di bagian kanan Dam Wonogiri yang berfungsi untuk menyalurkan sedimen langsung ke hilir waduk Wonogiri. Guna mengetahui efektifitas pengoperasian pintu Spillway yang menghasilkan penggelontoran yang optimum perlu diadakan uji model hidrolik fisik. Penggelontoran sedimen yang efektif dan optimum perlu disimulasikan antara debit yang keluar dari Spillway, tinggi bukaan pintu Spillway, ketebalan sedimen di waduk dan tinggi muka air di waduk. Untuk mengetahui secara pasti hasil penggelontoran pada setiap uji coba pengaliran, keadaan sedimen sebelum dan sesudah pengaliran harus diukur volume atau beratnya dengan memperhitungkan kandungan kadar air, sehingga dapat dianalisis prosentase sedimen yang tergelontor. Beberapa modifikasi dilakukan untuk meningkatkan efektifitas penggelontoran. Berdasarkan hasil penyelidikan pada uji model hidrolik fisik penggelontoran sedimen di hulu Spillway baru Waduk Wonogiri, dapat disimpulkan bahwa semakin tebal endapan sedimen, prosentase penggelontoran semakin kecil walaupun tinggi bukaan pintu diperbesar dan sebaliknya.

**Kata Kunci:** Uji Model Hidraulik Fisik, Penggelontoran Sedimentasi Waduk, Operasi pintu, dasar bergerak.

## ABSTRACT

The lifetime of Wonogiri dam is designed for 100 years, but in fact has already been covered by sediment in less than one-third of his lifetime. Since The Keduang watershed is the biggest watershed flow in Wonogiri reservoir and less reforestation, the biggest sediment source come from this area. Closure dike inside reservoir and new spillway in the right bank has been proposed for flushing the sediment direct to the downstream. Hydraulic Model Test is needed in order to obtain the spillway gate operation effectively. Operation simulation among related parameters such as: flushing discharge, gate operation, sediment thickness and reservoir water level should be taken account in this physical hydraulic model test. Several modifications have been proposed in order to obtain the maximum affectivity of sediment flushing. Based on investigation result, the percentage of sediment flushing will decrease in higher of sediment deposit thickness and not depend on spillway gate operation.

**Keywords:** Physical Hydraulic Model Test, Reservoir Sediment Flushing, Spillway Gate Operation, Movable bed

## PENDAHULUAN

Waduk Wonogiri mulai beroperasi pada tahun 1981 dan direncanakan mempunyai umur efektif selama 100 tahun. Akan tetapi, ternyata baru 30 tahun sudah penuh oleh sedimen. Sumber sedimen yang terbesar diperkirakan berasal dari DAS Keduang, mengingat DAS Keduang adalah yang terbesar diantara DAS-DAS yang masuk ke waduk Wonogiri.

Berdasarkan pemantauan laju sedimen yang dilakukan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo (BBWSBS), sedimen yang masuk ke waduk Wonogiri dari Sub DAS Keduang adalah tahun 1981 sebesar 186632,20 ton/tahun, tahun 1985 sebesar 357190,90 ton/tahun dan tahun 2007 sebesar 5112000.00 ton/tahun. Penumpukan sedimen dari tahun ke tahun meningkat sehingga tebal endapan sedimen di hulu Dam sampai sekarang sudah mencapai 20 meter.

Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo bekerja sama dengan JICA telah merencanakan bangunan tanggul pengarah sedimen di mulut kali Keduang (*closure dike*) dan bangunan *Spillway* baru untuk menggelontor sedimen langsung ke hilir, sehingga diharapkan sedimen tidak diberi kesempatan untuk mengendap di waduk.

Oleh karena parameter penggelontoran sangat beragam, meliputi: debit bilasan, tinggi bukaan pintu *Spillway*, tinggi muka air di waduk dan ketebalan sedimen maka untuk mendapatkan pola operasi yang efektif diperlukan pendekatan prediksi dengan uji model hidraulik fisik.

Pengelontoran sedimen yang maksimum belum tentu dilakukan dengan menggunakan debit bilasan yang besar, atau menggunakan tinggi bukaan pintu *Spillway* yang tinggi. Prinsip untuk mendapatkan hasil gelontoran sedimen yang optimum adalah dengan mensiasati tegangan geser sedimen lebih besar dari tegangan geser kritik ( $t_o < t_c$ ). Untuk mendapatkan  $t_o < t_c$ , dapat dilakukan dengan memodifikasi bangunan di hulu pintu atau dengan mensimulasikan operasi pintu yang parameternya adalah debit bilasan, tinggi bukaan pintu *Spillway*, tinggi muka air di waduk dan ketebalan sedimen.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan sistem operasi pintu *Spillway* sehingga diperoleh hasil penggelontoran sedimen yang optimum dan dapat diketahui debit yang diperlukan untuk pembilasan serta prosentase pembilasan sedimen.

Sedangkan manfaatnya adalah sebagai dasar manual pengoperasian pintu *spillway* guna mendapatkan pembilasan yang optimal.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengamatan pada uji model hidraulik fisik terhadap rencana bangunan pembilasan dengan urutan kegiatan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data yang berkaitan untuk pembuatan uji model fisik (data sekunder).
2. Penentuan skala model.
3. Pembuatan uji model hidraulik fisik beserta pelengkapannya sesuai desain.
4. Tes kesamaan model (*similarity model*),
5. Pengamatan pada tes pengaliran antara lain : tinggi muka air, pola aliran, kecepatan aliran, dengan parameter: debit masukan, tinggi bukaan pintu, tinggi muka air di waduk.
6. Modifikasi model fisik dengan cara coba-coba (*trial and error*) untuk mendapatkan model seri terbaik ditinjau dari hidraulik.
7. Analisis hasil pengaliran untuk setiap perubahan model seri

## 8. Pembahasan

### 1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi data sekunder dan data primer, yaitu:

- data sekunder untuk pembuatan model fisik,
- data primer pengumpulan data dari pengaliran di uji model fisik. Secara rinci data penelitian diuraikan sebagai berikut:

#### 1) Data Sekunder

Data sekunder atau disebut data teknik, yaitu data dari desain bangunan untuk ditirukan ke model fisik yang akan dilakukan penyelidikan. Data teknik *Spillway* baru Waduk Wonogiri adalah sebagai berikut:

**Tabel 1** Data Teknik Waduk Wonogiri

<b>Bendungan:</b>	
- Tipe bendungan	: <i>rockfill &amp; central core</i>
- Tinggi bendungan	: 40,00 m
- Panjang puncak	: 830,00 m
- Elevasi puncak	: + 142,00 m
- Elevasi puncak inti	: + 141,00 m
<b>Spillway lama :</b>	
- Elevasi puncak pelimpah	: +131,00 m.
- Pintu air	: lebar 30,00 m = 4 pintu x 7,50 m ( <i>Radial</i> ), tinggi 8,10 m
<b>Spillway baru:</b>	
- Elevasi puncak pelimpah	: +127,00 m
- Pintu air	: lebar 15,00 m = 2 pintu x 7,50 m ( <i>Radial gate</i> ).
- Panjang saluran Incur	: 650,187 m.
- Kemiringan saluran luncur	: 1/90.
- El. Lantai depan <i>Sillway</i>	: + 126,00 m
<b>Waduk:</b>	
- Daerah tangkapan air	: 1350 km <sup>2</sup>
- Luas genangan normal	: 73,60 km <sup>2</sup> (El.136,00)
- Luas genangan PMF	: 88,10 (El. 139,10 m).
- Total tampungan	: 735 juta m <sup>3</sup> ( El.138,30m).
- Tampungan <i>flood control</i>	: 220 juta m <sup>3</sup>
- Debit <i>outflow</i> pengendali banjir	: 400 m <sup>3</sup> /s

#### 2) Data Primer

Data primer adalah data hasil pengamatan pada pengaliran uji model hidraulik fisik untuk setiap pengaliran pada setiap seri percobaan, antara lain; tinggi muka air, pola aliran, distribusi kecepatan aliran, hasil penggelontoran sedimen dan lainnya.

Untuk mengetahui efektivitas pembilasan sedimen, dilakukan kegiatan penelitian uji model fisik.

## 2 Penentuan Skala Model

Skala model ditentukan berdasarkan tingkat ketelitian dan fasilitas laboratorium yang dimiliki. Berdasarkan kesepakatan antara pihak konsultan JICA sebagai perencana, Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo sebagai pengelola dan Puslitbang SDA, Balai Sungai sebagai pelaksana uji model fisik, ditentukan skala model 1: 66,667.

**Tabel 2** Parameter skala hidraulik

Parameter Hidraulik	Parameter skala Hidraulik		
	Notasi	Formula	Nilai
Panjang, (L)	$n_L$	$n_L$	66,6667
Tinggi, (h)	$n_h$	$n_h = n_L$	66,6667
Luas, (A)	$n_A$	$n_A = n_L^2$	4.444,4
Volume, (V)	$n_V$	$n_V = n_L^3$	296.296,7
Waktu, (t)	$n_t$	$n_t = n_L^{1/2}$	8,165
Kecepatan, (v)	$n_v$	$n_v = n_L^{1/2}$	8,165
Dedit, (Q)	$n_Q$	$n_Q = n_L^{5/2}$	36.288,73
Kekasaran, (k)	$n_k$	$n_k = n_L$	66,6667
Koef Manning, (n)	$n_n$	$n_n = n_L^{1/6}$	2,01365
Koef. Chezy, (C)	$n_C$	$n_C = 1$	1,000
Øbutuiran, (d)	$n_d$	$n_d = n_L$	66,6667

## 3 Pembuatan Uji Model Hidraulik Fisik

Uji Model Hidraulik Fisik dibuat sesuai dengan skala seperti di atas. Pembuatan model hidraulik fisik dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam menguji hidraulik bangunan *Spillway* baru waduk Wonogiri sbb:

1) Batas sungai yang ditirukan kedalam model fisik 250 m di hilir bangunan kolam olakan yang baru

2) Debit aliran maksimum untuk saluran lancar 400 m<sup>3</sup>/s.

3) Tinggi muka air di waduk maksimum + 140,10 m

Setiap debit aliran di model, pada bagian hilir kolam olakan dikendalikan dengan tinggi muka air dari perhitungan lengkung debit (*rating curve*).

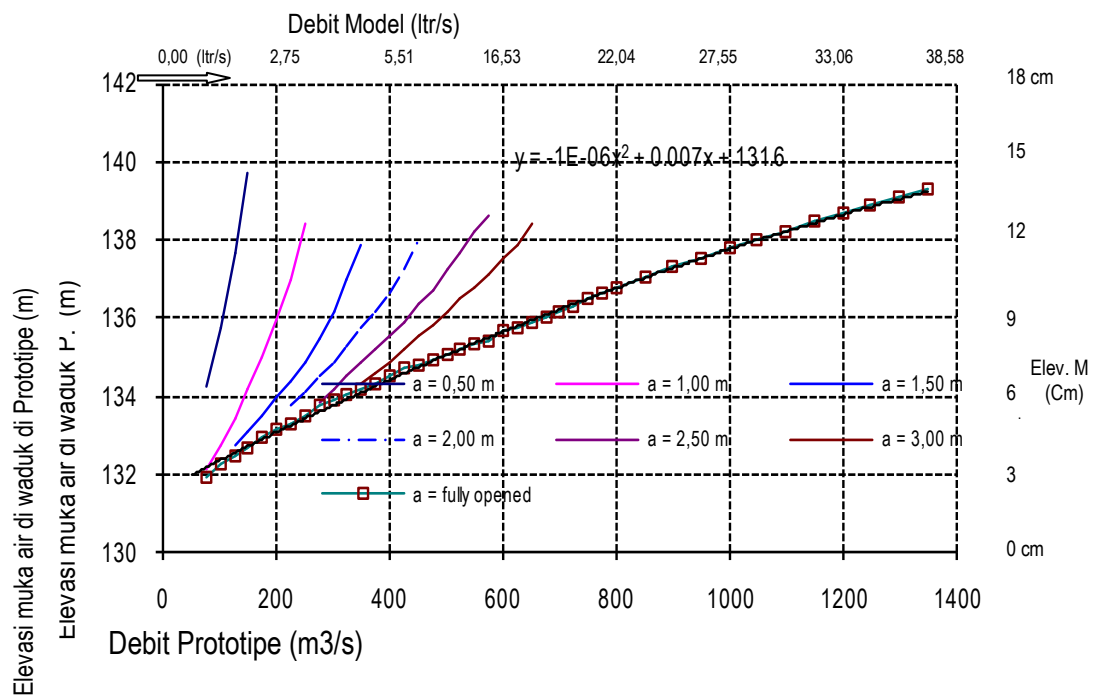
## 4 Tes Kesamaan (*similarity test*)

Sebelum dilakukan pengujian hidraulik fisik, perlu dilakukan tes kesamaan antara model fisik dengan prototipe yang dilaksanakan seperti di bawah ini:

a. Tes operasi pintu *Sillpway* lama di model, dengan berbagai variasi bukaan pintu, tinggi muka air di waduk dan debit keluaran.

b. Hasil operasi bukaan pintu *Spillway* lama ini dicocokkan dengan kondisi bukaan pintu di lapangan. Apabila belum cocok, dilakukan kontrol/ cek semua geometri waduk, dan bangunan *Spillway* sehingga sesuai gambar 1.

Setelah hasil operasi pintu *Spillway* lama ini sesuai dengan hasil operasi di lapangan maka dilanjutkan dengan penyelidikan tes desain. operasi bukaan pintu *Spillway* yang baru.



**Gambar 1** Grafik bukaan pintu *Spillway* lama di Lapangan

Keterangan:

Skala Uji Model Fisik, vertikal = horisontal = 1: 66 2/3,

Panjang /tinggi 1,00 m = 1,50 cm  
Debit 100 m<sup>3</sup>/s = 2,755 liter/s

a = tinggi bukaan pintu  
P = dimensi Prototipe M = dimensi model

## 5 Pengamatan pada tes Pengaliran

Pengamatan pada tes pengaliran dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

### 1) Tes desain.

Pada kegiatan ini dilakukan pengukuran:

- a. operasi bukaan pintu *Spillway* baru, dengan parameter: tinggi muka air di hulu pintu *Spillway* baru dengan variasi bukaan pintu akan dihasilkan debit keluaran dari *Spillway*.
- b. kecepatan aliran dan pola aliran di hulu pintu *Spillway* baru.
- c. tes bilasan sadimen dengan variasi bukaan pintu, debit keluaran dan tebal endapan sedimen. Untuk mengetahui jumlah sedimen yang terbilas caranya adalah sbb:
  - a) Bahan dasar endapan sedimen di lapangan berupa lanau, ditirukan ke uji model fisik berupa serbuk batu bara dengan *specific gravity* 1,56 ton/ m<sup>3</sup>, diameter rata-rata < 0,50 mm.
  - b) Sebelum dilakukan pengaliran, ditentukan tebal endapan di hulu pintu *Spillway* dan disusun endapan tiruan dari serbuk batu-bara.
  - c) Sebelum serbuk batu bara disusun sebagai endapan, dicampur air sehingga dapat diketahui kadar air (kadar air pada serbuk batu bara yang digunakan sebagai endapan sedimen antara 17% sampai 20%), karena bila serbuk batu bara tidak dicampur air susah menyatu, sebagian mengapung, sebagian tenggelam.
  - d) Menakar volume atau berat serbuk batu-bara yang digunakan untuk menirukan endapan sebelum dilakukan pengaliran (volumenya X liter)
  - e) Menutup rapat pintu *Spillway* lama ataupun *Spillway* baru
  - f) Setelah tebal endapan sesuai rencana (1,00 m, 2,00 m atau lainnya), model digenangi air secara pelan-pelan sehingga lapisan endapan tidak berubah.
  - g) Mengatur tinggi muka air di waduk sesuai program pengaliran.
  - h) Membuka pintu *Spillway* baru dengan pelan-pelan, supaya tidak merusak bentuk endapan.
  - i) Mengalirkan debit masukan yang te-tap, nilai di model 2,76; 5,51; 8,27; 11,02 liter/s atau sama dengan 100, 200, 300 dan 400 m<sup>3</sup>/nilai di prototype.
  - j) Menentukan waktu pengaliran (dilakukan pengaliran selama 1 jam di model yang setara 8,165 jam di *prototype*)

k) Mengamati pergerakan sedimen pada saat pengaliran bilasan di hulu pintu, dengan interval waktu tertentu, mencatat panjang endapan yang terbilas, yang diukur dari mercu pelimpah .

- l) Setelah waktu pengaliran selesai, pintu *intake Spillway* ditutup dengan pelan-pelan.
- m) Membuat garis kontur akibat pembilasan dengan interval 1,50 m yang *equivalent* dengan 0,75 cm atau 1,00 m yang *equivalent* dengan 0,50 cm di prototipe.
- n) Mendata garis kontur. Untuk mempermudah penggambaran, pengujian direkam dengan kamera (foto).
- o) Menakar atau menimbang (volume / berat), sisa hasil pengaliran (volume Y liter)
- p) Menghitung volume endapan yang terbilas yaitu X - Y.

### 2) Pembahasan Hasil Penelitian Tes Desain

Berdasarkan pengamatan pada saat penelitian tes desain, diperlukan beberapa modifikasi guna mendapatkan hasil/kinerja pembilasan yang lebih baik.

### 3) Modifikasi yang dilakukan guna mendapatkan hasil/kinerja yang lebih baik meliputi:

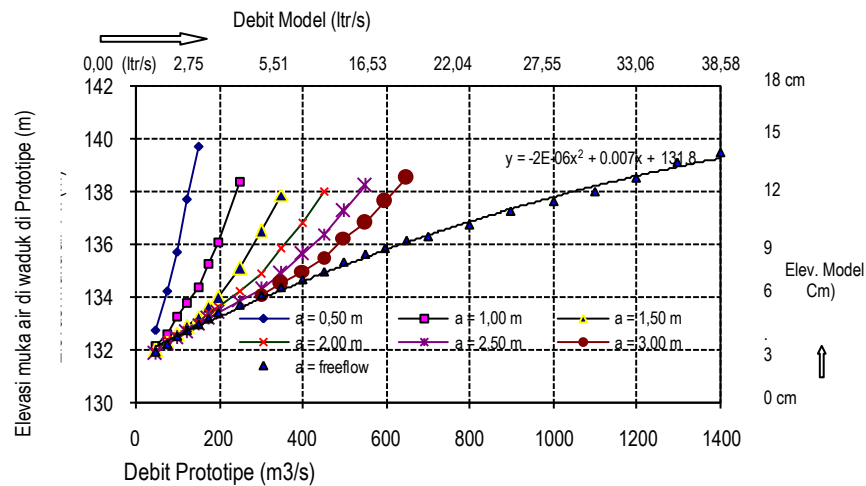
- a) Bentuk dinding sayap di hulu pintu *Spillway* dibuat miring, hal ini untuk memperlancar aliran sehingga endapan di hulu pintu bagian kanan/ kiri, bisa terbilas.

Tanggul pengarah (*closure dike*) dibuat double berm, karena selain menjadi lebih stabil juga memperkecil luas tampang basah, yang menyebabkan kecepatan bertambah besar, dengan demikian daya angkut sedimen akan bertambah besar.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1 Tes Kesamaan Model

Tes kesamaan model, yaitu menyesuaikan nilai angka kekasaran *manning* (*n*) pada tampungan, dan menyesuaikan grafik bukaan pintu *Spillway* lama sebagai acuan di lapangan. Ternyata hasil tes kesamaan model tidak bisa sekali pengaliran cocok dengan di lapangan, tetapi dilakukan pengaliran secara coba-coba (*trial and error*) baru operasi bukaan pintu *Spillway* lama di lapangan tidak jauh berbeda dengan hasil bukaan pintu di laboratorium. Gambar 2 menunjukkan grafik bukaan pintu *Spillway* lama dan dari uji model hidrolis fisik laboratorium, sehingga uji model hidraulis dapat dilaksanakan,



Gambar 2 Grafik bukaan pintu *Spillway* lama hasil tes di Laboratorium

## 2 Tes Desain

Hasil Pengaliran

- 1) Pembuatan *rating curve* di *upstream* pintu *spillway* baru.

Tujuan pembuatan *rating curve* di *upstream* *spillway* baru ini adalah sebagai dasar operasi bukaan pintu *Spillway* di lapangan sehingga *rating curve* dapat digunakan sebagai manual operasi bukaan pintu di lapangan yang hasilnya dapat dilihat pada table 3.

- 2) Penyelidikan tinggi muka air di hulu pintu *Spillway*, untuk berbagai variasi debit aliran dan tinggi bukaan pintu adalah seperti terli-hat pada Tabel 4 dan Gambar 3. Hasil ini digunakan untuk pengoperasian bukaan pintu *Spillway*.

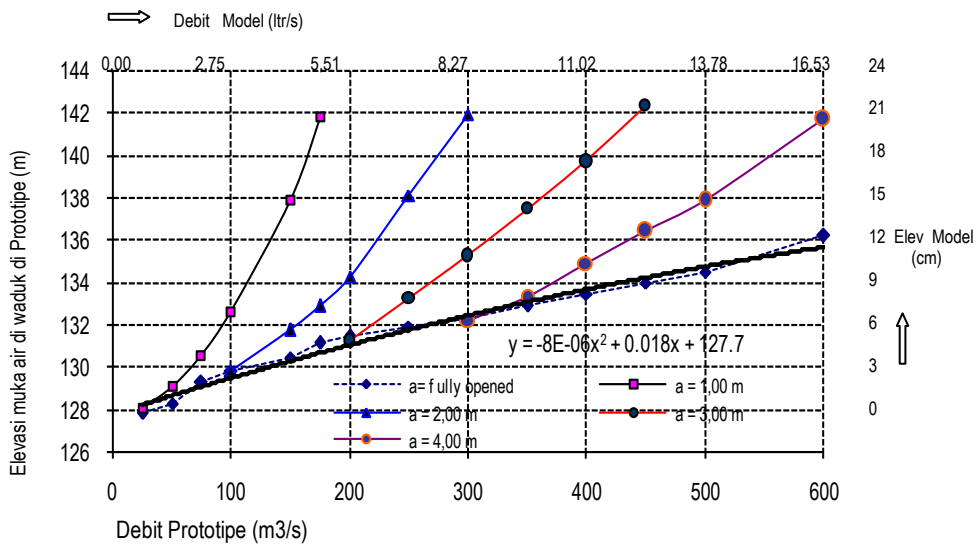
- 3) Kecepatan aliran  
Kecepatan aliran dilakukan pada tempat sesuai profil pengamatan tinggi muka air. Hasil pengukuran kecepatan aliran dapat dilihat pada Tabel 5. Hal ini menunjukkan kecepatan aliran yang cukup tinggi ( $v > 6$  m/s).

Tabel 3 Operasi bukaan pintu *Spillway* baru

No	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Tinggi Bukaan Pintu (m)				
		Freeflow	1,00	2,00	3,00	4,00
1	25	+27,80	+128,08			
2	50	+128,25	+129,13			
3	75	+129,25	+13055			
4	100	+129,86	+132,65	+129,85		
5	150	+130,43	+137,86	+131,75		
6	175	+131,13	+141,82	+132,91		
7	200	+131,45		+134,29	+131,22	
8	250	+131,90		+138,13	+133,23	
9	300	+132,35		+141,97	+135,27	+132,25
10	350	+132,90			+137,51	+133,37
11	400	+133,43			+139,75	+134,92
12	450	+134,00			+142,35	+136,43
13	500	+134,53				+137,92
14	600	+136,20				+141,70

**Tabel 4** Elevasi muka air di hulu pintu

NO	Jarak dari mercu ke No. STA (m)	Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)							
		400	200	100	400	200	100	400	
1	60,00	+133,34	+131,33	+129,95	+136,57	+136,37	+136,37	+140,00	
2	40,00	+133,30	+131,20	+129,77	+136,55	+136,33	+136,35	+139,97	
3	20,00	+133,23	+131,13	+129,71	+136,53	+136,32	+136,33	+139,92	
4	10,00	+133,20	+130,33	+129,58	+136,30	+136,30	+136,30	+139,90	
5	0,00	+131,23	+129,98	+129,02	+136,23	+136,30	+136,27	+139,89	
Tinggi bukaan pintu (m)		Free flow.(5,60 ) atau Pintu buka penuh			3,53	1,67	0,77	2,73	

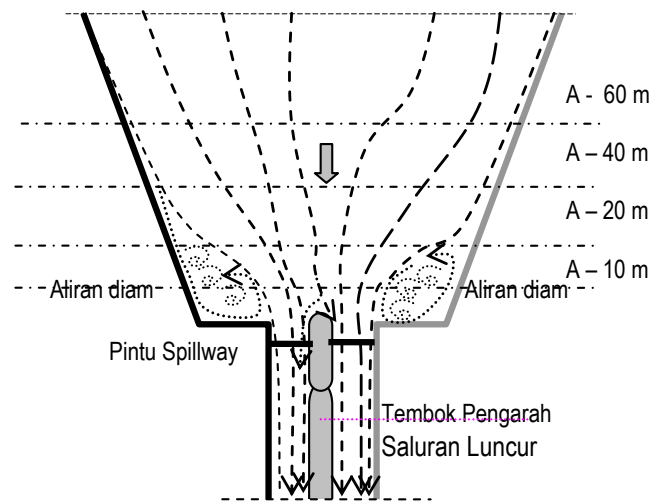


**Gambar 3** Garis lengkung di *upstream Spillway* baru dengan variasi tinggi bukaan pintu.

**Tabel 5** Kecepatan aliran (m/s), Seri I (Test desain)

NO	Jarak dari mercu ke No STA (m)	Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)							
		400	200	100	400	200	100	400	
		Kecepatan aliran (m/s)							
1	60,00	1,23	0,84	0,29	0,83	0,50	0,29	0,47	
2	40,00	1,35	0,90	0,31	0,85	0,53	0,31	0,60	
3	20,00	1,56	1,18	0,38	1,07	0,54	0,38	0,68	
4	10,00	1,70	1,27	0,43	1,23	0,55	0,43	0,84	
5	0,00	7,41	6,05	5,11	1,78	6,05	13,08	1,77	
Tinggi bukaan pintu (m)		Free flow.(5,60 ) atau Pintu buka penuh			3,53	1,67	0,77	2,73	

- 4) Pola Aliran  
Secara umum bentuk pola aliran di hulu *Spillway* seperti Gambar 4. Terjadi aliran mati (kecepatan 0 m/s) di kanan dan kiri dekat pintu masuk, sehingga akan memicu endapan sedimen.
- 5) Bilasan sedimen.  
Penyelidikan bilasan sedimen ini dilakukan dengan anggapan:
- a sedimen dianggap sudah mengendap setebal 2,00 m, dibilas secara hidrolis dengan variasi debit dan tinggi bukaan.
  - b sedimen dianggap sudah mengendap setebal 2,00 m, dibilas secara hidrolis dan dibantu alat pengaduk (*exavator*) untuk mencairkan endapan, dengan variasi debit dan tinggi bukaan.
  - c sedimen mengalir/ bergerak dari hulu dan dianggap endapan sedimen belum terjadi, ( untuk menirukan di model fisik, sedimen di suplai dari hulu dengan jumlah tertentu). Hasil bilasan sedimen seperti pada Tabel 6.
  - d Hasil bilas secara hidraulis dibantu dengan *excavator* pada saat *spillway* dioperasikan dengan anggapan endapan setebal 2 m disampaikan dalam Tabel 7.



**Gambar 4** Sketsa pola aliran di hulu *intake*

**Tabel 6** Hasil daya bilas sedimen secara hidraulis, pintu *spillway* dioperasikan, dengan anggapan tebal endapan 2,00 m

Debit aliran (m <sup>3</sup> /s)	Volume Endapan (m <sup>3</sup> )	Tinggi Bukaan Pintu (m)	Tma. U/s Pintu	Endapan	
				Tertinggal (m <sup>3</sup> )	Terbilas (%)
100	68673	0,77	136,30	67128	2,25
200	68673	5,60	131,20	66613	3,00
200	68673	1,67	136,30	67020	2,41
400	68673	5,60	133,30	65374	4,80
400	68673	3,53	136,30	66117	3,72
400	68673	2,73	139,90	66686	2,60

**Tabel 7** Hasil daya bilas sedimen secara hidraulis, pintu *spillway* dioperasikan, dengan anggapan tebal endapan 2,00 m, dan dibantu diaduk dengan *exavator*.

Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)	Volume Endapan (m <sup>3</sup> )	Tinggi Bukaan Pintu (m)	Tma U/s Pintu	Endapan Tertinggal (m <sup>3</sup> )	Endapan Terbilas (%)
100	68673	0,77	+ 136,30	55323,00	19,44
200	68673	1,67	+ 136,30	53233,00	22,48
400	68673	3,53	+ 136,30	52521,11	23,52

### 3 Modifikasi

Tujuan dari modifikasi bangunan di hulu pintu Spillway ini adalah untuk menghilangkan arus mati dan memperbesar kecepatan aliran (mendapatkan aliran kritis).

Bangunan yang dimodifikasi adalah tembok sayap di hulu pintu Spillway dan menambah berm tanggul pengarah aliran sedimen (*closure dike*), seperti terlihat pada Gambar 5, 6 dan 7.

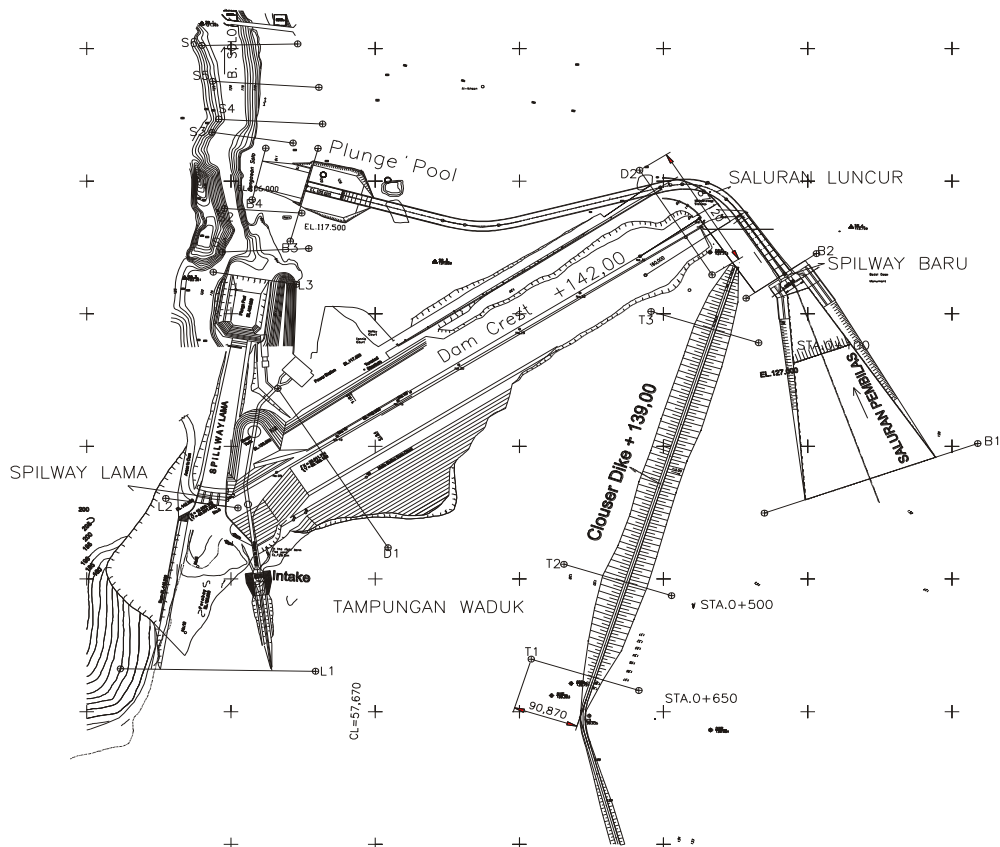
### 4 Hasil Pengaliran Tes Modifikasi

1) Tinggi muka air.

Pengamatan tinggi muka air di model setelah dimodifikasi dilakukan pada beberapa variasi aliran debit dan operasi bukaan pintu Spillway. Hasil pengamatan tinggi muka air diberikan pada Tabel 8.

**Tabel 8** Hasil pergerakan sedimen dengan sistem suplai

Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)	Volume Endapan Endap (m <sup>3</sup> )	Tinggi Bukaan Pintu (m)	Tma U/s Pintu	Endapan Tertinggal (m <sup>3</sup> )	Endapan Terbilas (%)
100	17778	5,60	+ 129,58	13630	23,33
200	17778	5,60	+ 131,20	13333	25,00
200	17778	1,67	+136,30	12444	30,00
400	17778	5,60	+ 133,30	11852	33,33
400	17778	3,53	+136,30	11407	35,83
200	68673	5,60	+131,20	66613	3,00
200	68673	1,67	+136,30	67020	2,41
400	68673	5,60	+133,30	65374	4,80
400	68673	3,53	+136,30	66117	3,72
400	68673	2,73	+139,90	66686	2,60



**Gambar 5** Denah Spillway Baru Waduk Wonogiri



2) Pola Aliran

Setelah diadakan modifikasi tembok sayap di hulu pintu *Spillway* (Gambar 6), arus balik dan arus mati sudah tidak terjadi lagi, pola aliran ini berlaku pada debit kecil sampai debit besar (Gambar 8).

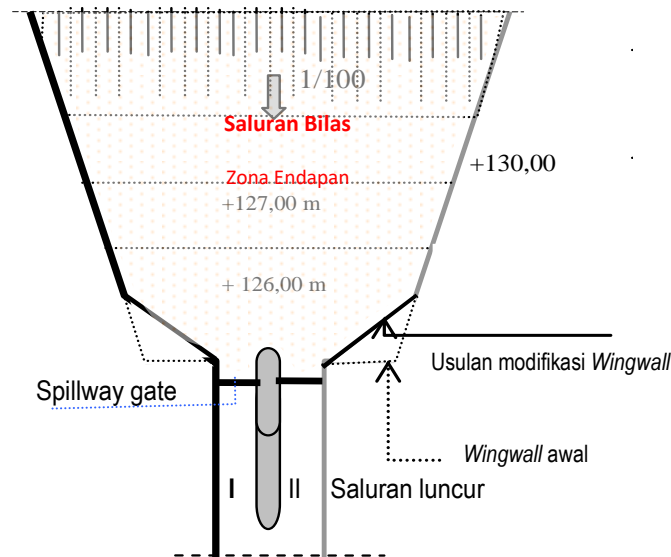
3) Bilasan sedimen.

Penyelidikan bilasan sedimen ini dilakukan dengan beberapa skenario bukaan pintu,

besarnya debit aliran, tinggi muka air di hulu pelimpah dan ketebalan endapan sedimen.

Penyelidikan ini dengan anggapan:

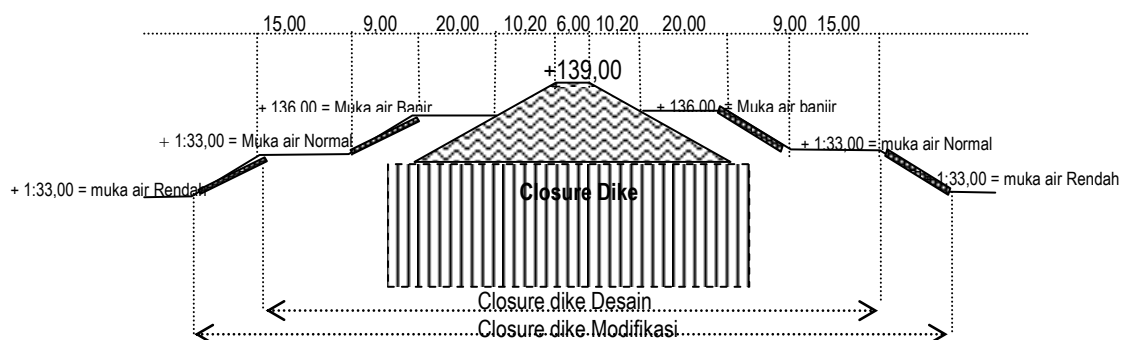
- a Anggapan tebal endapan sedimen awal 2,00 m. Sedimen dianggap sudah mengendap setebal 2,00 m, dibilas secara hidrolis dengan variasi debit dan tinggi bukaan. Hasil bilasannya disajikan pada Tabel 10.



Gambar 6 Sketsa Modifikasi Dinding sayap di hulu Pintu *Spillway*

Tabel 9 Hasil pengamatan tinggi muka air di Model modifikasi

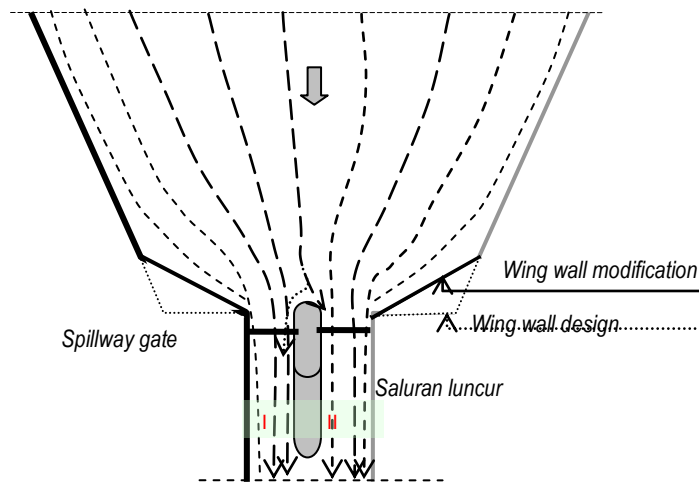
STA	Elevasi. Dasar	Elevasi. Dinding	Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)							
			400	200	100	400	200	100	400	
			Elevasi (m)							
A +60 m	+126,60	+142,00	133,34	131,37	129,95	136,56	136,37	136,37	140,00	
A +40 m	+126,40	+142,00	133,32	131,27	129,77	136,54	136,33	136,35	139,98	
A +20 m	+126,20	+142,00	133,22	131,15	129,71	136,53	136,32	136,33	139,93	
A +10 m	+126,10	+142,00	133,19	130,33	129,58	136,30	136,30	136,30	139,90	
1.u/s pintu	+127,00	+142,00	133,20	130,30	129,52	136,30	136,30	136,27	139,88	
Tinggi bukaan pintu <i>Spillway</i> (m)			5,60	5,60	5,60	3,53	1,67	0,77	2,73	



Gambar 7 Sketsa Potongan Melintang *Closure Dike*

**Tabel 10** Hasil daya bilas sedimen, pintu dioperasikan.

Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)	Volume Sedimen Suplai (m <sup>3</sup> )	Tinggi Bukaan Pintu (m)	Tma U/s Pintu <i>Spillway</i>	Endapan Tertinggal (m <sup>3</sup> )	Endapan Terbilas (%)
100	68673	0,77	136,30	66956	2,50
200	68673	5,60	131,20	66002	3,90
200	68673	1,67	136,30	66256	3,50
400	68673	5,60	133,30	64267	6,41
400	68673	3,53	136,30	65569	4,52
400	68673	2,73	139,90	66129	3,70



**Gambar 8** Pola aliran setelah tembok sayap dimodifikasi.

- b) Sedimen dianggap sudah mengendap setebal 2,00 m, dibilas secara hidrolis dan dibantu *Exavator* untuk mencairkan endapan, dengan variasi debit dan tinggi bukaan. Hasil bilasannya adalah seperti table 11.
- c) Dengan anggapan dasar waduk belum terjadi endapan, terjadi angkutan sedimen layang sedimen mengalir/ bergerak dari hulu ( untuk menirukan di model fisik sedimen di suplai dari hulu dengan jumlah volume dan waktu tertentu). Hasil bilasannya adalah seperti tabel 12.
- d) Sedimen dibilas dengan ketebalan interval 0,50 m, pintu dibuka penuh, tidak ada penambahan debit dari hulu (debit *inflow* 0), muka air di waduk turun beraturan, muka air di hulu pintu baik debit kecil maupun besar di atur +136,30 m. Hasil bilasan sedimen disajikan dalam tabel 13.

Guna mengetahui prosentase bilasan, dilakukan dengan mensimulasikan debit aliran, tebal endapan dan tinggi bukaan pintu konstan 5,60 m. Pengamatan dilakukan setiap ada penurunan muka air 1,00 m, diukur debit bilasan yang terkandung dalam aliran, dan panjang pergerakan bilasan di hulu pintu. Hasil bilasan disajikan pada table-14, Gambar 9 dan 10.

#### **Modifikasi Saluran Luncur**

Tujuan dari modifikasi saluran luncur adalah untuk menyeragamkan bentuk pola aliran, sehingga tidak terjadi bentuk pola aliran saling menyilang. Modifikasi ini dilakukan dengan memperpanjang tembok pengarah aliran (*Divider wall in the chute channel*). Menurut desain panjang tembok pengarah 108,00 m, diubah sesuai modifikasi terbaik menjadi 246,45 m (lihat Gambar 11 dan 12).

Dari hasil pengaliran untuk debit kecil – besar (100 m<sup>3</sup>/s – 400 m<sup>3</sup>/s), semakin ke hilir aliran hampir sejajar.

**Tabel 11** Hasil bilasan sedimen dibantu *Exavator*

Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)	Volume Endapan (m <sup>3</sup> )	Bukaan Pintu (m)	Tma U/s Pintu	Endapan Tertinggal (m <sup>3</sup> )	Endapan Terbilas (%)
100	17778	5,60	+ 129,58	13630	23,33
200	17778	5,60	+ 131,20	12444	30,00
200	17778	1,67	+136,30	13333	25,00
400	17778	5,60	+ 133,30	11407	35,84
400	17778	3,53	+136,30	11852	33,33

**Tabel 12** Hasil bilasan sedimen akibat aliran sedimen layang (suplai sedimen)

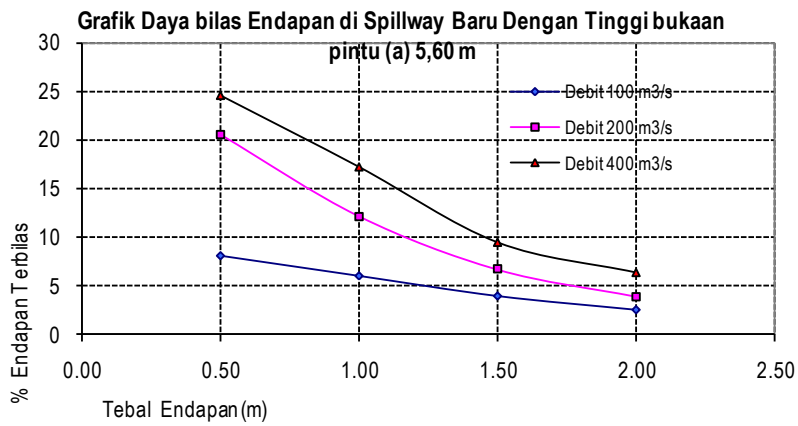
Debit Aliran (m <sup>3</sup> /s)	Volume Endapan Suplai (m <sup>3</sup> )	Tinggi Bukaan Pintu (m)	Tma U/s Pintu <i>Spillway</i>	Endapan Tertinggal (m <sup>3</sup> )	Endapan Terbilas (%)
100	17778	5,60	+ 129,58	13630	23,33
200	17778	5,60	+ 131,20	12444	30,00
200	17778	1,67	+136,30	13333	25,00
400	17778	5,60	+ 133,30	11407	35,84
400	17778	3,53	+136,30	11852	33,33

**Tabel 13** Prosentase bilasan, dengan berbagai tinggi bukaan pintu, debit aliran, tebal endapan

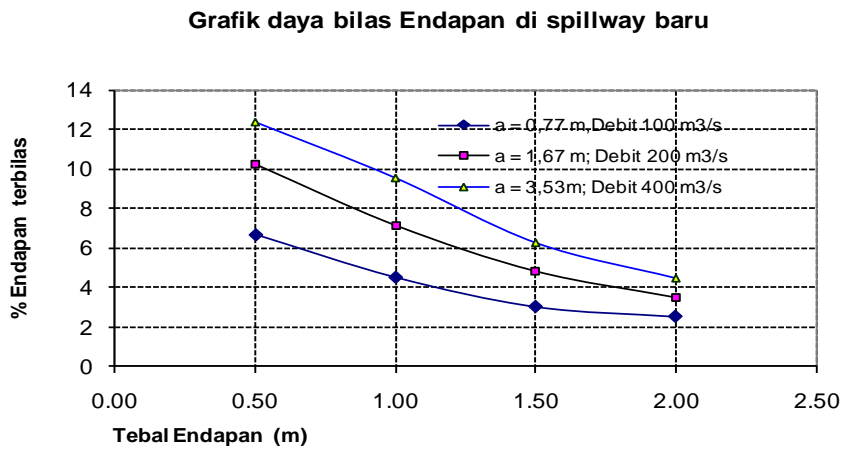
Tebal Endapan (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)		
	100	200	400
	Bilasan (%)		
0.50	6.67	10.24	12.34
1.00	4.50	7.15	9.51
1.50	3.00	4.83	6.24
2.00	2.50	3.50	4.44

**Tabel 14** Prosentase bilasan, dengan berbagai debit aliran, tebal endapan dan tinggi bukaan pintu 5,60 m

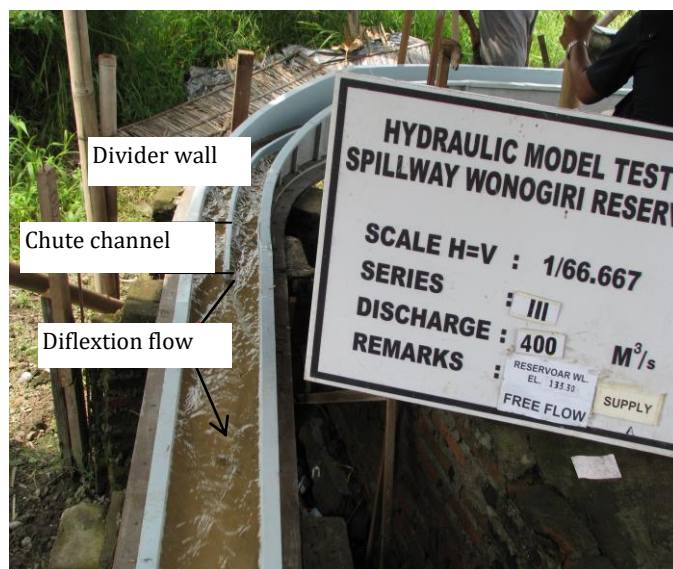
Tebal Endapan (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)		
	100	200	400
	Bilasan (%)		
0.50	8.10	20.55	24.50
1.00	6.05	12.14	17.20
1.50	4.00	6.67	9.50
2.00	2.60	3.89	6.42



**Gambar 9.** Grafik bilasan dengan tinggi bukaan pintu 5,60 m (*free flow*)



**Gambar 10** Grafik bilasan dengan tinggi bukaan pintu diatur  
Keterangan : a = Tinggi bukaan pintu (m)

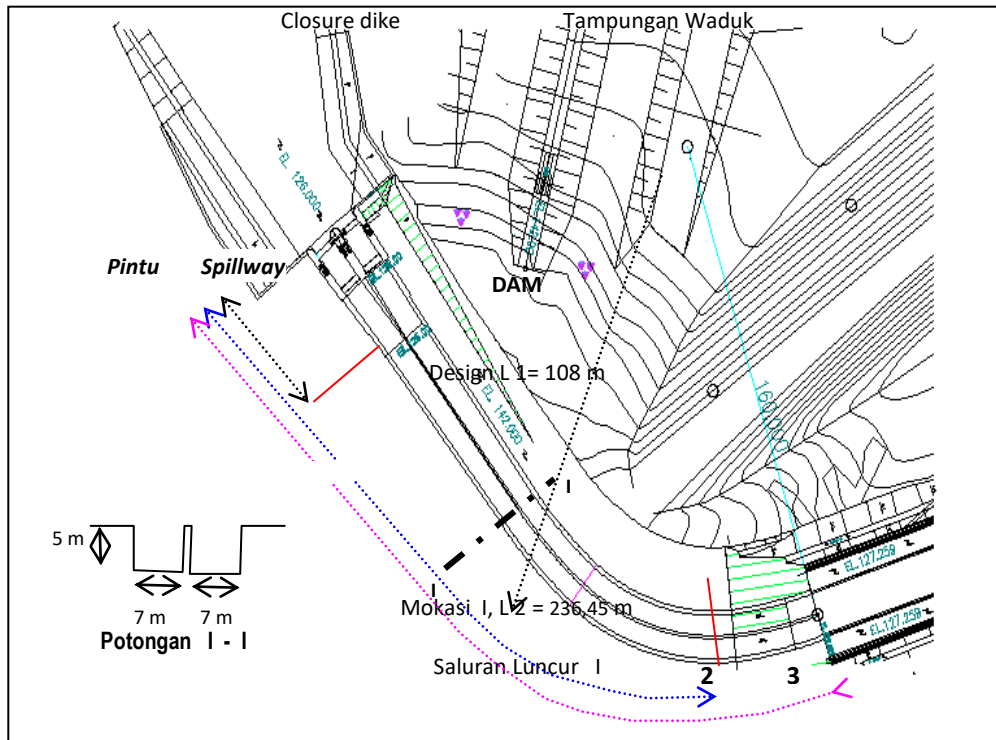


**Gambar 11** Bentuk pola aliran di saluran luncur

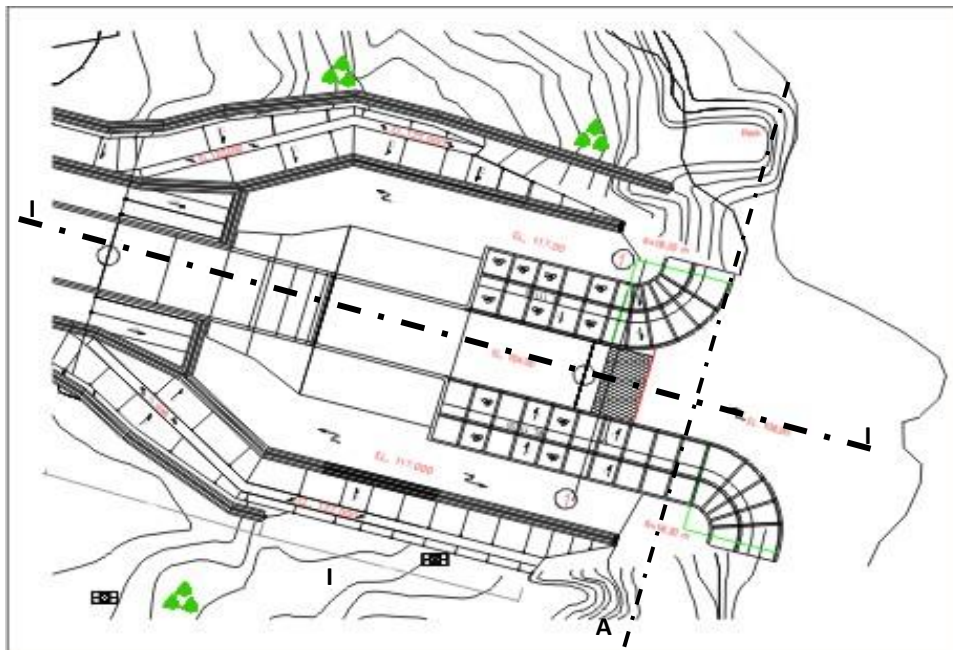
### Modifikasi Kolam Olakan (*Stilling Basin*)

Tujuan dari modifikasi kolam olakan ini adalah untuk menurunkan kecepatan dan energi aliran, memperpendek panjang loncatan di kolam olakan. Modifikasi Kolam olakan 25,00 m di bagian hulu

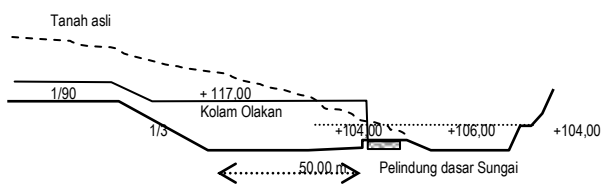
dibuat tampang tunggal segi empat dan 25,00 m ke hilir dibuat tampang ganda berbentuk trapesium dengan kemiringan tebing 1:1 dapat dilihat pada Gambar 13, 14 dan 15.



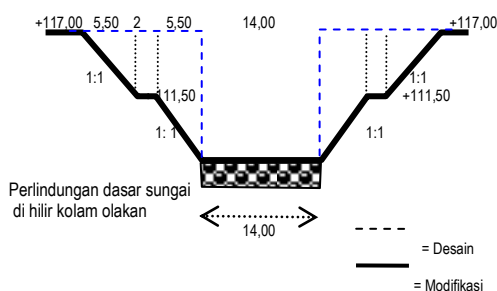
Gambar 12 Modifikasi Denah Saluran Luncur



Gambar 13 Modifikasi Denah Stilling Basin



**Gambar 14** Potongan Memanjang Kolam Olakan (I - I)



**Gambar 15** Potongan Melintang Kolam Olakan (A - A)

### Hasil pengaliran

Kecepatan aliran pada kolam olakan menurut tes desain mencapai 3,00 m/s, setelah dimodifikasi kecepatan aliran turun menjadi 2,15 m/s, hal ini akibat luas tampang basah kolam olakan menjadi perbesar.

### KESIMPULAN

Dari beberapa kali pengaliran pada uji model hidraulik *spillway* baru Wonogiri, mulai dari tes keadaan *existing*, tes disain, dan beberapa modifikasi pada model fisik, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

Sebagai awal tes desain *Spillway* baru, dilakukan tes kesamaan model dengan cara mengoperasikan pintu *Spillway* lama. Hasil pengamatan operasi pintu *spillway* lama di model fisik dengan operasi pintu yang diaplikasikan di prototipe tidak jauh berbeda.

Saluran luncur mampu mengalirkan debit rencana 400 m<sup>3</sup>/s, dengan tinggi jagaan 2,00 m, Saluran luncur maksimum dapat mengalirkan debit 623 m<sup>3</sup>/s (tanpa tinggi jagaan).

Modifikasi tembok pengarah di hulu pintu *spillway* sangat diperlukan guna menghilangkan aliran mati di hulu pintu *spillway* baik kanan dan kiri sehingga daya bilas semakin kuat dibanding tes desain. Tembok sayap (*wing wall*) di depan pintu *Spillway* dibuat miring 1:1, mulai dari dinding tembok pintu *Spillway* menuju elevasi puncak *closure dike*.

Guna menambah kestabilan, diperlukan modifikasi bentuk tampang melintang *closure dike*,

dengan menambah *double berm* di kanan dan kiri tanggul. Modifikasi ini tidak berpengaruh terhadap aliran hidraulik di *spillway*.

Lantai dasar depan pintu *spillway* pada + 126,00 dibuat mendatar sepanjang 30,00 m dan diteruskan ke hulu dengan kemiringan 1:100 sampai elevasi + 127,00. Ke arah hulu lantai di buat datar sepanjang 211,00 m selanjutnya mengikuti garis kontur topografi waduk

Daya bilas endapan didasar waduk akibat operasi pintu *Spillway* (dengan anggapan sedimen sudah masif) hanya mampu membilas kurang dari 6,40 % dari anggapan volume sedimen yang ditirukan di model. Pembilasan ini akan lebih besar kapasitas bilasnya jika pembilasan sedimen yang telah masif dibantu diaduk dengan alat pelarutan seperti exavator.

Diperlukan perpanjangan tembok pengarah saluran luncur dari 108,00 m menjadi 246,45 m.

Guna menyempurnakan peredaman energi, diperlukan modifikasi kolam olakan yaitu 25,00 m di bagian hulu dibuat penampang tunggal segi empat dan 25,00 m ke hilir dibuat penampang ganda berbentuk trapesium dengan kemiringan tebing 1:1.

### DAFTAR PUSTAKA

- Balai Sungai " Uji Model Fisik Dan Perhitungan Water balance Pemantapan Pelaksanaan Spillway Waduk Pondok " Desember 1994
- Balai Sungai " Uji Model Fisik Spillway Bendungan Sangiran " Tahun 1999/2000
- Experimental Station for Hydraulic Structures and Geotechnics, Report of Hydraulic Model Test on Leuwi Goong, 2007
- Isnugroho " Bangunan Pengelak Sedimen Sebagai Upaya Mereduksi Sedimentasi waduk Wonogiri", Prosiding Ekspose Hasil Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS dalam Upaya Pengendalian Banjir dan Erosi-Sedimentasi, 2009.
- Japan International Cooperation Agency "Detailed Design report (Draft) New Spillway Wonogiri Reservoir" July 2007
- Jica Master Plan Study, "The Study on Countermeasures for Sedimentation in the Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir of Republic Indonesia" July 2007
- Puslitbang Sumber Daya Air " Hydraulic Model Test On Sembayat Barrage " December 2008.