

PENINGKATAN DEBIT SALURAN BANJIR SEDAYU LAWAS DENGAN MODIFIKASI INLET

TO INCREASE THE FLOOD WAY DISCHARGE OF SEDAYU LAWAS WITH INLET MODIFICATION

Sarwono¹⁾, Kirno²⁾

^{1,2)}Peneliti Madya Bidang Hidraulika dan Bangunan Air
Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air.
Jl. Solo-Kartasura KM 7 Solo 57162
e-mail: sarwono_bs@yahoo.go.id

Diterima: 02 Agustus 2013; Disetujui: 08 November 2013

ABSTRAK

Bengawan Solo bagian hilir khususnya di daerah Bojonegoro, Lamongan, dan Gresik hampir setiap tahun terjadi banjir, khususnya pada musim hujan. Sebetulnya sudah dilakukan upaya pengendalian banjir, salah satunya berupa saluran pengelak banjir (flood way) dari desa Plangwot sampai Brondong dengan panjang kurang lebih 12,30 km. Tujuan dari bangunan ini adalah untuk mengalirkan sebagian debit banjir di Bengawan Solo langsung ke laut Jawa. Kapasitas flood way direncanakan mampu mengalirkan debit dari Bengawan Solo sebesar 640 m³/s. Dari pengamatan di lapangan banjir ternyata masih tetap terjadi. Ada beberapa faktor penyebab antara lain: posisi mulut flood way diperkirakan kurang miring ke kanan terhadap arah aliran, pintu pengambilan kurang lebar, alur di beberapa ruas flood way terdapat endapan sedimen, dan kemungkinan adanya pengaruh pasang surut air laut. Untuk mengkaji pembagian debit flood way ini sudah sesuai dengan rencana dan untuk meningkatkan kapasitas ke flood way, maka perlu diadakan modifikasi yang sebelumnya diuji dengan uji model hidraulik fisik. Dari hasil uji model hidraulik fisik, kondisi eksisting ternyata menunjukkan pembagian debit tidak sesuai rencana. Setelah diadakan modifikasi perubahan bentuk mulut flood way serta menambah pelimpah berupa bendung tetap yang berada di sisi kanan dan kiri inlet gate, terjadi penambahan debit masuk ke flood way, sehingga upaya pengendalian banjir menjadi lebih baik.

Kata kunci: Pengendalian banjir, pembagian debit, saluran banjir, bendung tetap, kapasitas saluran

ABSTRACT

The Lower Solo river areas especially in Bojonegoro, Lamongan, and Gresik floods almost occur every year, especially during the rainy season. Actually flood control has been constructed, one of them is flood way from the Plangwot village to Brondong with a length of approximately 12.30 km. The purpose of flood way infrastructure is to partially drain the Solo River flood discharge directly into the Java Sea with flood discharge capacity of 640 m³/s. However, in the reality on the lower Solo River flooding still occurs. There are several factors, among others: the position of the upstream of flood way less skewed to the right against the direction of flow, making the inlet gate less wide, the flow of flood way is full of sediment, thereby reducing the possibility of the influence of tide of the sea water. To examine whether the distribution flood discharge is in accordance with the plan and to increase the capacity discharge into flood way, it is necessary to modify the previously plan and then tested with a physical hydraulic model test. Based on the test results of the physical condition of existing hydraulic model of the distribution of discharge does not turn out as planned. Subsequent modification of the oral form of flood way and adding a fixed weir that is in the right and left side of the inlet gate, an additional discharge into the flood way has been created.

Keywords: Flood control, discharge distribution, flood way, fixed weir, discharge capacity

PENDAHULUAN

Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa, dengan panjang 600 km. Sungai lintas provinsi ini mengalir dari

pengunungan Sewu di sebelah barat daya Surakarta (Provinsi Jawa Tengah) ke laut Jawa (Provinsi Jawa Timur) dengan luas daerah aliran sungai ± 16.100 km². Wilayah sungai Bengawan

Solo terdiri dari 3 (tiga) DAS. Antara lain Bengawan Solo Hulu dengan luas DAS 6.072 km², Bengawan Solo Hilir 6.273 km² dan DAS Kali Madiun dengan luas DAS 3.755 km².

Banjir merupakan suatu fenomena alam yang biasa terjadi karena luapan sungai-sungai, danau, laut atau badan air lain yang menggenangi dataran rendah yang biasanya tidak terendam air. Upaya pengendalian banjir telah banyak dilakukan Di Bengawan Solo, tetapi belum bisa berfungsi secara optimal. Salah satu pengendali banjir di Bengawan Solo hilir adalah dengan membuat saluran banjir (*flood way*), yang berlokasi di Kabupaten Lamongan, dari Desa Plangwot kecamatan Laren sampai laut Jawa di Desa Brondong, yang biasa disebut *flood way* Sedayu Lawas (Gambar 1). Panjang *flood way* kurang lebih 12,300 km, dengan lebar alur 100 m.

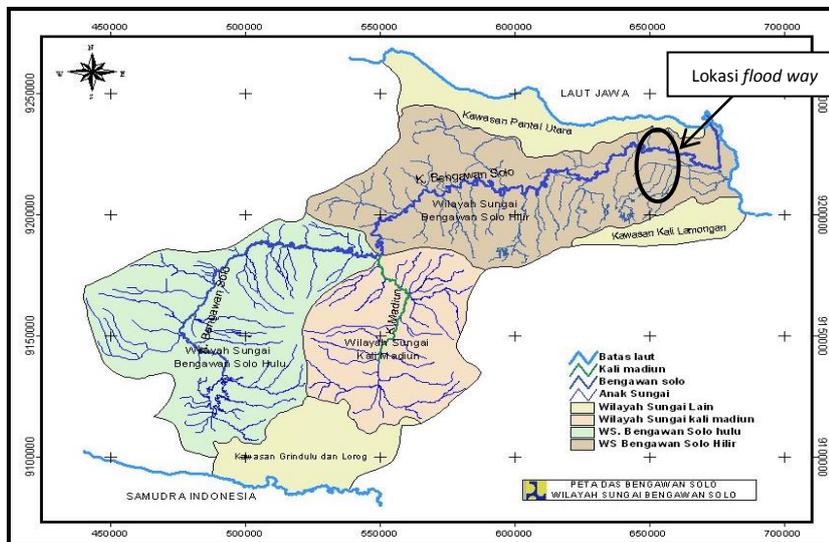
Banjir yang selalu terjadi secara rutin setiap tahun di Bengawan Solo hilir, salah satu sebabnya adalah kemiringan dasar sungai relatif kecil, daya tampung alur sungai yang telah terlampaui. Sudah banyak bangunan pengendali banjir yang dibuat oleh Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo (BBWSBS), antara lain: penampung banjir sementara (waduk, retensi), peningkatan kapasitas alur sungai (tanggul, pengerukan, normalisasi sungai) dan pengalihan aliran (saluran banjir) dan lain-lainnya.

Dengan dibangunnya saluran banjir (*flood way*) di Bengawan Solo hilir, menurut perhitungan dapat mengurangi banjir dan genangan di daerah Babat, Lamongan dan Gesik. Tetapi kenyataannya banjir yang melanda di daerah tersebut selalu berlangsung dan tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Dari perencanaan menyebutkan bahwa alur Bengawan Solo di hilir Kecamatan

Laren (di hilir mulut saluran banjir), hanya dapat mengalirkan debit maksimum 2500 m³/s, dan sisanya masuk ke Rawajabung dan sebagian mengalir lewat saluran banjir (*flood way*) dan bila debit kurang dari 550 m³/s akan mengalir semua ke alur bengawan Solo.

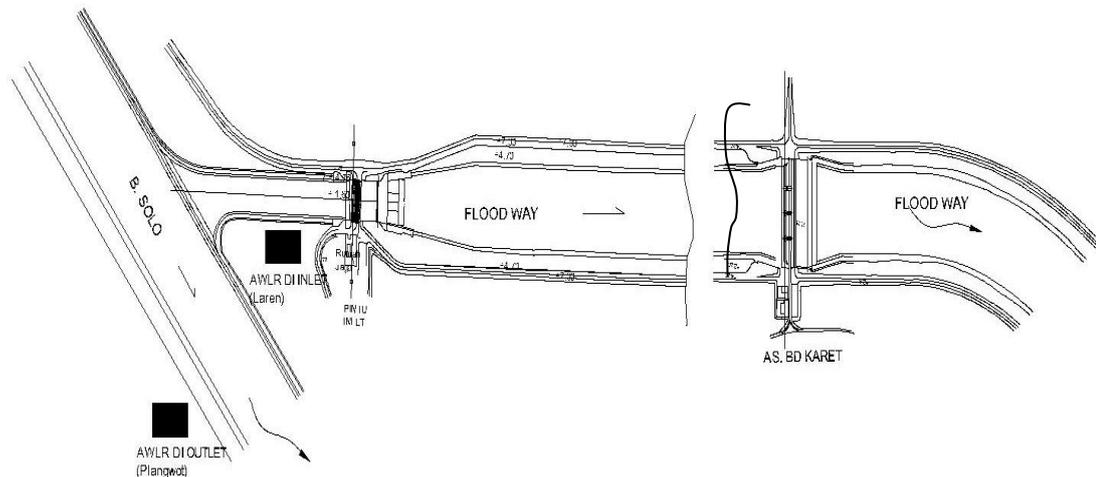
Untuk mengkaji pembagian debit *flood way* yang sudah dibangun dan untuk meningkatkan kapasitas debitnya maka perlu dikaji ulang dengan dilakukan uji model hidraulik fisik. Debit yang digunakan sebagai dasar adalah debit yang dilepas dari bendung gerak Babad ke hilir sebelum sebagian debit masuk ke *flood way* terekam di *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) Plangwot, dengan anggapan debit yang lewat di AWR Plangwot sama dengan debit yang dilepas dari AWR bendung gerak Babad. Setelah debit mengalir ke hilir melewati mulut *flood way* (sebagian mengalir ke *flood way* dan sebagian besar mengalir ke Bengawan Solo hilir) dipantau elevasi muka airnya dengan AWR di Laren (Gambar 2). Dari hasil uji model hidraulik fisik ini diharapkan dapat digunakan untuk memberikan masukan kepada pihak pengelola banjir Bengawan Solo (BBWS. Bengawan Solo).

Di lokasi Bengawan Solo hilir masih terjadi banjir dan penanganan banjir belum menyeluruh serta belum maksimal, melainkan masih secara parsial berdasarkan dana dan tingkat kepentingan. Khususnya pada bangunan *flood way* pembagian debit yang dirancang belum sesuai dengan rencana. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pembagian debit dan meningkatkan kapasitas *flood way*. Hasil kajian akan dipakai sebagai dasar rekomendasi perbaikannya.



Sumber: BBWS Bengawan Solo

Gambar 1 Lokasi saluran banjir (*flood way*)



Sumber : Laporan PT. Adhi Karya 2010

Gambar 2 Sketsa Lokasi *Automatic water level recorder* (AWLR) di Plangwot dan di Laren

KAJIAN PUSTAKA

Data Teknis *flood way* Sedayu Lawas sebagai berikut :

- 1) Panjang saluran banjir (*flood way*) : 12,30 km dengan lebar alur bagian bawah : 100 m.
- 2) Kemiringan dasar saluran banjir : 1/ 4.110 dan kemiringan dasar sungai bengawan Solo hilir 1/ 14.420.
- 3) Kemiringan tebing : 1/ 1,50 sampai 1/ 2,0.
- 4) Kapasitas debit rencana 640 m³/s. untuk debit kala ulang Bengawan Solo 20 tahun (3480 m³/s)
- 5) Pintu pengambilan (*inlet*) :
- 6) Bentuk pintu : pintu angkat (*stop lock*), lebar pintu 3 x 12,50 m, pintu pembilas 1 x 2,00 m, dan elevasi ambang pintu + 2,12 m.
- 7) Bendung Karet (*rubber dam*) :
- 8) Lebar bendung karet 4 x 25,00 m, tinggi bendung 3,00 m, dan elevasi ambang bendung karet -0,15 m.

Data teknis ini akan dipakai sebagai rujukan untuk pelaksanaan uji model hidraulik.

Elevasi Muka Air dan Debit

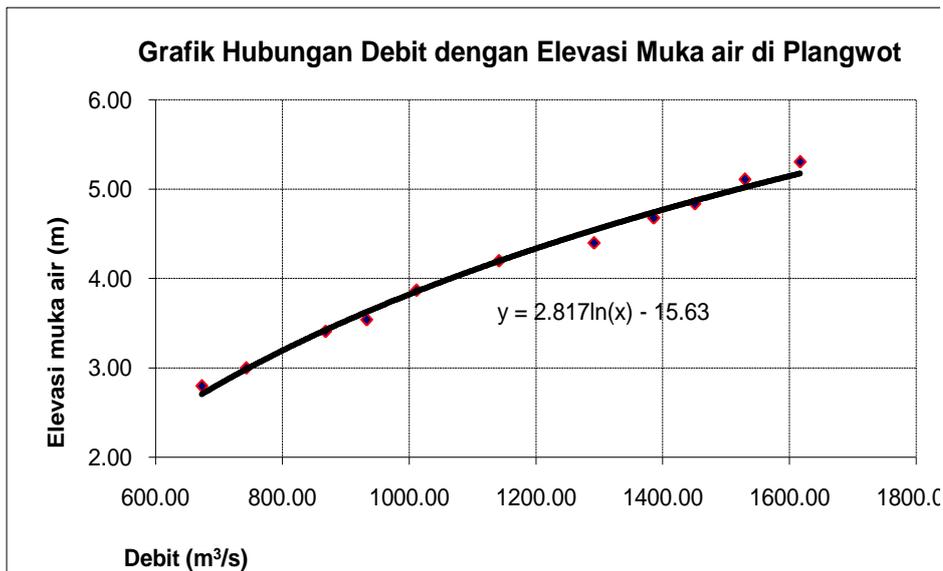
Berdasarkan *monitoring* hasil pengamatan elevasi muka air dan debit harian yang dikelola oleh Perum Jasa Tirta (PJT) I dan bulan Nopember 2010 sampai bulan Maret 2011 menunjukkan bahwa debit yang dilepas dari bendung gerak Babad ke hilir terekam di AWLR di Babad. Debit yang dilepas dari bendung gerak Babad ke hilir sebelum sebagian debit masuk ke *flood way* terekam di AWLR Plangwot, dengan anggapan debit yang lewat di AWLR Plangwot sama dengan debit yang dilepas dari AWLR bendung gerak Babad. Setelah debit mengalir ke hilir melewati

mulut *flood way* (sebagian mengalir ke *flood way* dan sebagian besar mengalir ke Bengawan Solo hilir) dipantau elevasi muka airnya dengan AWLR di Laren. Menurut Adhi Karya, 1991, bahwa alur *flood way* direncanakan untuk mengalirkan debit dari Bengawan Solo 640 m³/s, bila debit Bengawan Solo yang dilepas dari bendung gerak Babat sebesar 2500 m³/s. Untuk aliran di model fisik, data debit dan elevasi muka air mengacu data pengamatan elevasi muka air dan debit harian di lapangan di AWLR Bendung gerak Babat dan Plangwot. Analisa data pengamatan elevasi muka air dan debit harian di AWLR Plangwot dapat ditampilkan pada Gambar 3.

Untuk mengetahui pembagian debit di *flood way* secara rinci perlu parameter sebagai berikut: debit *inflow* pelepasan dari bendung gerak Babad, elevasi muka air di AWLR Plangwot dan kondisi muka air laut (pasang, rata-rata dan surut), dan dibuktikan dengan pengaliran uji model hidraulik fisik di laboratorium sungai. Perlu diketahui bahwa debit Bengawan Solo bisa mengalir ke *flood way* apabila tinggi muka air lebih besar dari elevasi + 2,12 (karena ambang pintu *inlet flood way* +2,12 m), dan debit Bengawan Solo lebih besar dari 550 m³/s (hasil dari pengamatan tinggi muka air AWLR Plangwot dan pelepasan debit dari bendung gerak Babat). Gambar 4 menunjukkan sketsa pembagian debit di *flood way*.

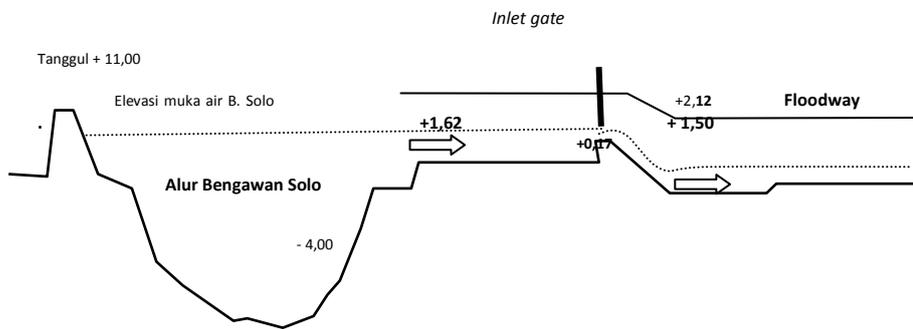
Standard Operational Procedure (SOP) Bendung Karet

Tes pengaliran di model fisik untuk operasi bendung karet, mengacu pada SOP bendung karet yang dilakukan di lapangan Sedayu Lawas, yaitu kapan saat dikembungkan dan kapan saat dikempeskan. Sketsa potongan memanjang bendung karet Sedayu lawas dapat dilihat pada Gambar 5.



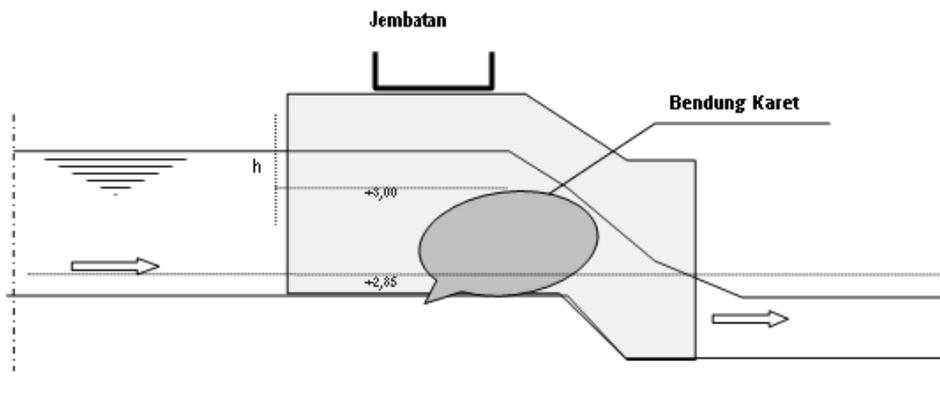
Sumber: Perum Jasa Tirta I

Gambar 3 Grafik hubungan debit dengan elevasi di AWLR Plangwot



Sumber: hasil kegiatan

Gambar 4 Sketsa Tampang Melintang Pintu Inlet flood way



Sumber: PT. Jawa Baru

Gambar 5 Sketsa Potongan Memanjang Bendung Karet

- 1) Saat akan dikembungkan :
 - a. Periksa bahwa air di hulu bendung cukup rendah, sehingga bila dikembungkan, air tidak akan mencapai muka air pengempisan (El. +3,45 m);

- b. Periksa apakah tidak ada orang di hulu bendung yang memperoleh efek merugikan bila bendung dikembungkan;
 - c. Jangan mengembungkan bendung karet dengan tekanan lebih tinggi dari 3.700 mmAq.
- 2) Bendung karet dikempiskan apabila tinggi muka air di atas bendung karet saat kembang lebih besar 0,60 m atau pada elevasi di atas +3,45 m, kempis secara otomatis.
- c. tes kesamaan model antara model dengan prototipe (similaritas model), terutama dalam hal penyamaan angka koefisien manning (n);
 - d. tes pembagian debit kondisi asli.
 - e. modifikasi model secara coba-coba (*trial and error*) untuk skenario model pengaliran guna mendapatkan hasil pembagian debit yang optimum;
 - f. tes pembagian debit untuk setiap modifikasi dimodifikasi;

Kondisi Batas Muka Air Laut

Elevasi muka air laut sangat berpengaruh terhadap muka air di *flood way* (adanya *back water*), untuk *running* model fisik kondisi batas muka air laut menurut *Nippon Koei, 2004* adalah sebagai berikut:

- 1) *Highest high tidal water level* (HHTL) : El. + 0,30 m;
- 2) *Average high tidal water level* (MHTL) : El - 0,50 m;
- 3) *Average low tidal water level* (MLTL) : El - 1,73 m;
- 4) *Lowest low tidal water level* (LLTL) : EL - 2, 20 m.

METODOLOGI

Pengkajian peningkatan kapasitas debit pengendali banjir *flood way* Sedayu lawas dengan uji model fisik ini dilakukan dengan metode sebagai berikut:

- 1) Pengumpulan data sekunder meliputi:
 - a. *asbuilt drawing flood way* yang telah diaplikasikan di lapangan: situasi, tampang melintang alur, tampang memanjang, bangunan *inlet gate*.
 - b. data hidrometri: elevasi muka air pada AWLR di Laren dan Plangwod, dan pelepasan debit dari bendung gerak Babad.
- 2) Peninjauan lapangan, untuk klarifikasi apakah kondisi gambar masih sesuai dengan keadaan sekarang.
- 3) Pengujian, pengujian dilakukan dengan cara menggunakan uji model hidrolis fisik, di laboratorium, baik kondisi eksisting maupun modifikasi meliputi:
 - a. penentuan skala model berdasarkan fasilitas laboratorium: lapangan, pompa air, peralatan pengukur hidraulik dan lainnya;
 - b. analisis data prototipe dikonversikan ke data model, dimensi arah horisontal dikonversikan skala horisontal, dimensi vertikal diikat dengan bidang persamaan dan dikonversikan skala vertikal;

Pelaksanaan Kegiatan

Skala Model

Skala model adalah perbandingan ukuran atau nilai yang menjadi parameter pada prototip (keadaan yang nyata di lapangan) dengan ukuran atau nilai parameter yang ada pada model fisik (miniatur). Prinsip skala adalah membentuk kembali problema yang ada di lapangan dalam skala kecil atau miniatur sehingga fenomena yang ada di prototip sebangun dengan yang ada di model fisik.

Berdasarkan fasilitas laboratorium sungai yang tersedia, serta syarat-syarat ketelitian, model dibuat dengan skala (N) = 1 : 66,667 baik skala tegak maupun datar, atau dengan kata lain Skala tegak (Nh) = 1 : 66,667 dan Skala datar (Nt) = 1 : 66,667.

Dari besaran skala model tersebut maka nilai yang sering digunakan untuk mengkonversikan ke *prototype* adalah: skala debit (NQ) = $Nh^{5/2} = 36289$, skala kekasaran manning (Nn) = $Nh^{1/6} = 2,013$ dan skala waktu (Nt) = $Nh^{1/2} = 8,164$. Lokasi UMH fisik di Kantor Balai Sungai dilihat pada Gambar 8.

Program Pengaliran

Uji coba pengaliran Model fisik *flood way* direncanakan ada beberapa seri percobaan (skenario model), antara lain:

- 1) Model seri I (tes kondisi aktual), melakukan pembagian debit pada pintu inlet dibuka penuh dengan variasi debit aliran banjir Bengawan Solo (pelepasan debit dari bendung gerak Babad), model fisik dibuat dasar tetap (*fix bed*)
- 2) Model seri modifikasi (melakukan perubahan bentuk atau dimensi), di *inlet gate* dan mulut *flood way* sehingga didapat hasil debit masukan ke *flood way* yang maksimum.

Parameter yang diperlukan untuk tes pengaliran pembagian debit ini antara lain: Model fisik, Debit masukan, elevasi muka air di Bengawan Solo AWLR di Laren dan di Plangwod, dan kondisi muka air laut (pasang, rata-rata dan surut).

Skenario Pengujian

Untuk menguji kinerja dan merancang penyempurnaan desain peningkatan kapasitas debit *inlet gate* (Gambar 6), maka dilakukan simulasi pengaliran dan scenario pungguian (Gambar 7) dengan fasilitas UMH Fisik indoor di Balai Sungai (Gambar 8) sebagai berikut.

1) Pengaliran Seri-I

Pengaliran pada model dengan kondisi seperti *as built drawing* pembangunan dan hasil pengukuran geometri *flood way* tahun 2012.

Pada pengaliran seri-I ini dilakukan kalibrasi untuk kesesuaian hidraulik antara prototip dan model dan untuk mengukur parameter-parameter penting yang belum diketahui pada kondisi eksisting seperti misalnya debit pada *Inlet Gate*, profil muka air, pola aliran, gerusan lokal, sedimentasi dan lain-lain.

2) Pengaliran Seri-II

Model Seri-II dengan perbaikan alinyemen tebing kiri mulut *flood way* sampai tebing kiri Bengawan Solo. Pada pengaliran ini dilakukan pengukuran debit yang masuk ke *flood way*.

3) Pengaliran Seri-III

Pengaliran dengan perbaikan alinyemen tebing kiri mulut *flood way* sisi hulu *Inlet Gate*. Dan menambahkan *inlet gate* selebar 12,50 m pada sisi kiri inlet *flood way*. Pada pengaliran ini dilakukan pengukuran debit yang masuk ke *flood way*.

4) Pengaliran Seri-IV

Pengaliran model Seri - IV dibagi menjadi dua (2) yaitu:

a. Pengaliran Model Seri-IV,

Kondisi *inlet gate* ditambahkan bendung tetap pada sisi kiri inlet *flood way* lebar 12,50 m. Pada pengaliran ini diukur besarnya pembagian debit yang terjadi, diharapkan besarnya pembagian debit mendekati pengaliran model Seri -III

b. Pengaliran Model Seri - IVA

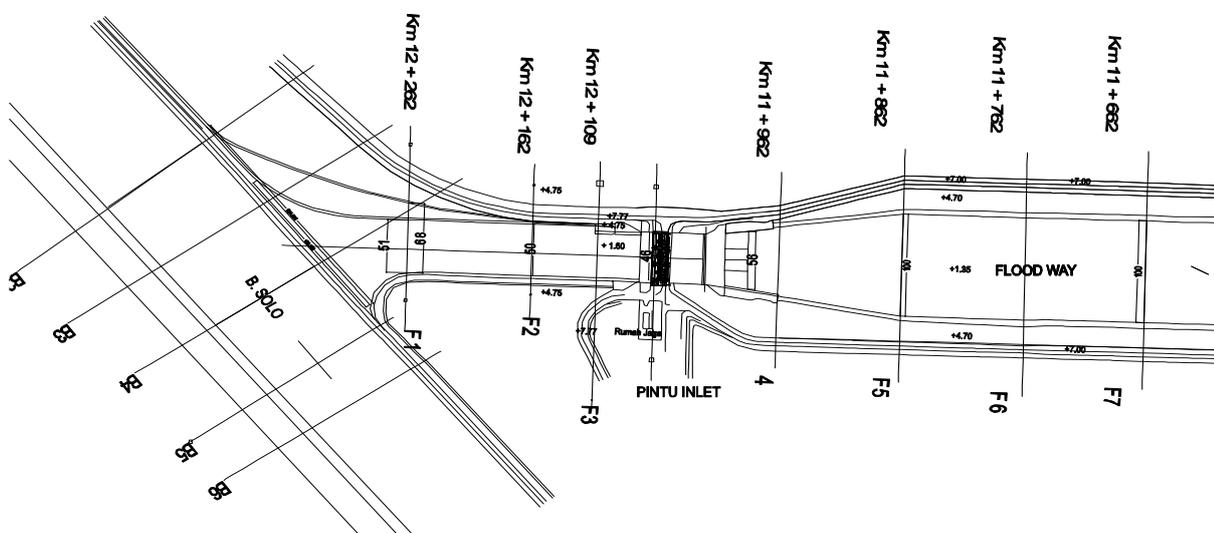
Kondisi *inlet gate* ditambahkan bendung tetap pada sisi kiri inlet *flood way* lebar 15,00 m. Pada pengaliran ini diukur besarnya pembagian debit yang terjadi, diharapkan besarnya pembagian debit mendekati pengaliran model Seri -III

5) Pengaliran Model Seri - V

Pengaliran Model Seri - V. Kondisi *inlet gate* sesuai model seri I, dengan ditambahkan bendung tetap pada sisi kanan inlet *flood way* lebar 15,00 m. Elevasi puncak bendung + 3,00 m. Pada pengaliran ini diukur besarnya pembagian debit yang ke *flood way*, diharapkan besarnya pembagian debit mendekati pengaliran model Seri -III

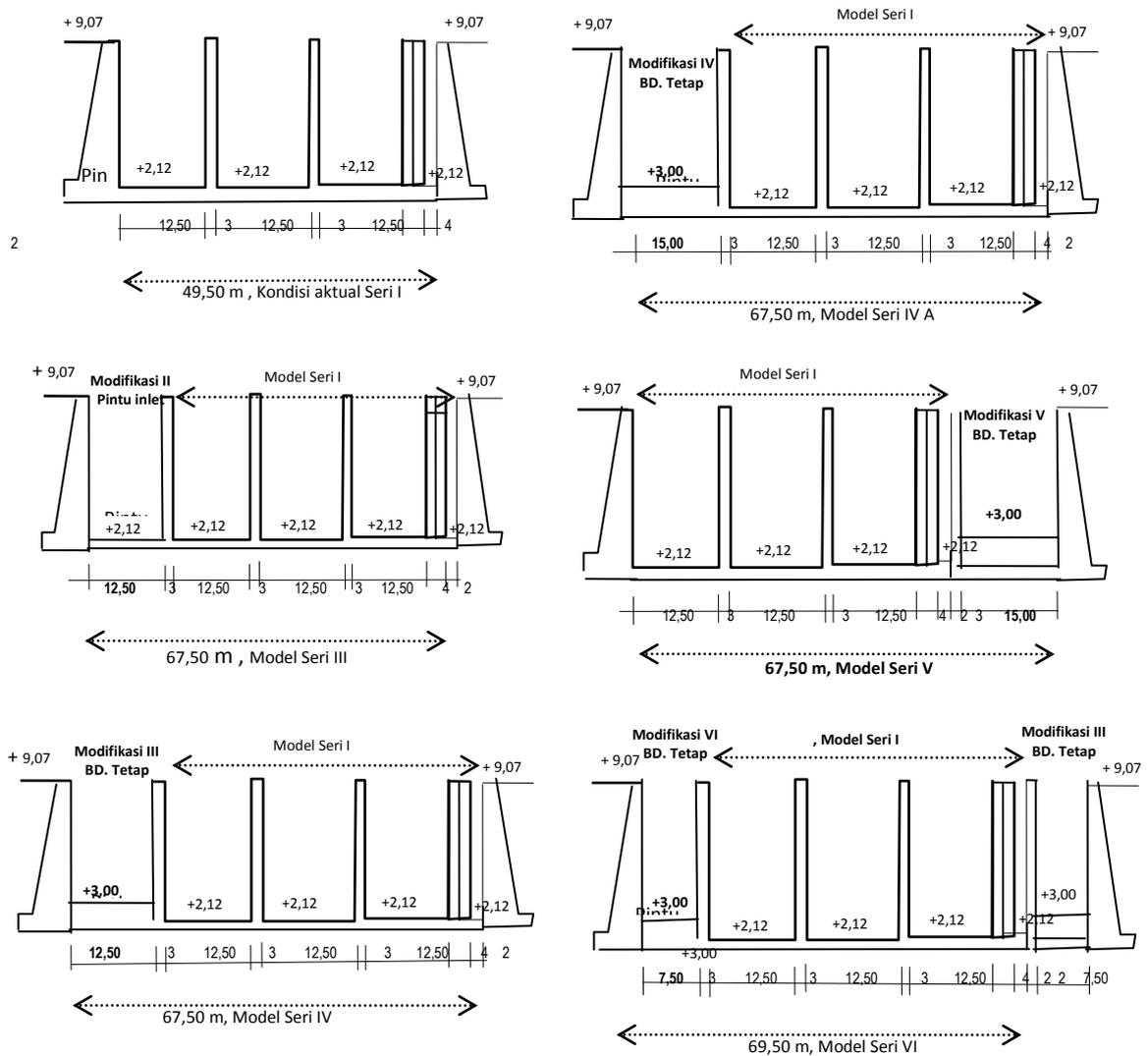
6) Pengaliran Model Seri - VI

Pengaliran Model Seri - VI, Kondisi *inlet gate* sesuai model seri I, dengan ditambahkan bendung tetap sisi kanan dan kiri inlet *flood way*, masing-masing lebar 7,50 m. Pada pengaliran ini diukur besarnya pembagian debit yang masuk ke *flood way*, diharapkan hasilnya mendekati pengaliran model Seri -III.

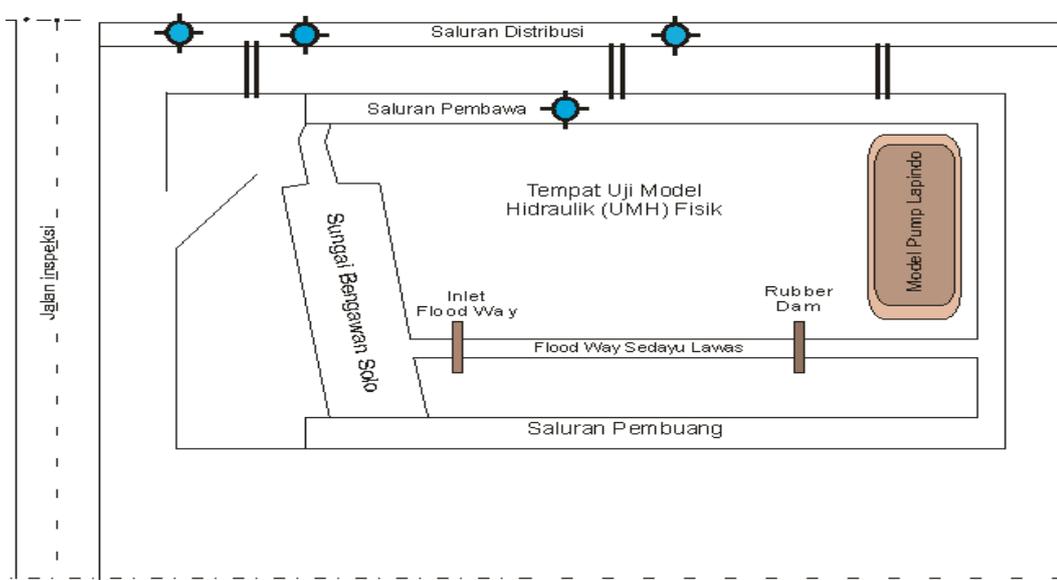


Sumber: hasil kegiatan Balai Sungai 2012

Gambar 6 Situasi *inlet gate flood way*, Model seri I dan Model Seri II



Gambar 7 Skenario Modifikasi Pengujian



Sumber: hasil kegiatan Balai Sungai 2012

Gambar 8 Lokasi Uji Model Hidraulik Fisik di indoor Balai Sungai Surakarta

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengaliran uji model fisik ini diuraikan tiap-tiap model seri atau modifikasi sebagai berikut:

Model Seri - I (kondisi existing)

1) Tes similaritas model

Kesamaan model fisik dengan prototip, setelah model fisik dibuat sesuai skala dan dimensi geometri Bengawan Solo, *flood way* maupun bangunan yang ada, maka sebagai acuan adalah nilai koefisien kekasaran *Manning* (n) di prototipe. Untuk alur Bengawan Solo n diambil sama dengan 0,022. Mengingat kekasaran untuk plesteran di model sama dengan 0,014, maka untuk mengetahui kondisi model kurang kasar/ halus, model fisik dialiri dengan debit alur penuh sebesar 2500 m³/s (untuk n alur) dan elevasi muka air untuk setiap tampang melintang yang telah dihitung dengan bantuan program *HEC-RAS* dengan acuan rating *curve* di *AWLR* di Laren untuk Bengawan Solo dan muka air laut kondisi pasang, rata-rata dan pasang untuk alur *flood way*. Dari hasil aliran ini dapat diamati bahwa elevasi muka air di model kurang tinggi (berarti kurang kasar) atau kurang rendah (berarti kurang licin). Sehingga diharapkan hasil elevasi muka air dari perhitungan *HEC-RAS* dengan hasil pengamatan di model fisik sama. Setelah dilakukan pengaliran dengan pengamatan elevasi muka air dengan menambah kekasaran secara *trial and error*, maka hasil akhir dari tes kesamaan model khususnya penyesuaian kekasaran dipresentasikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Tes Kesamaan Model elevasi muka air untuk debit 2500 m³/s

No. Sta	Elevasi Muka Air Laut Kondisi Rata-rata		
	El. MA. Pengamatan	El. MA. Perhitungan	Beda tinggi (cm)
FW.1	6.88	6.84	-0.04
FW.2	6.66	6.70	0.04
FW.3	6.62	6.64	0.02
U/s P. Inlet	6.60	6.58	-0.02
d/s P. Inlet	4.86	4.90	0.04
FW.4	4.99	5.02	0.03
FW.5	5.00	4.96	-0.04
FW.6	4,99	4.95	-0.04

Sumber: Hasil pengujian Balai Sungai 2012

2) Pengukuran Pembagian debit

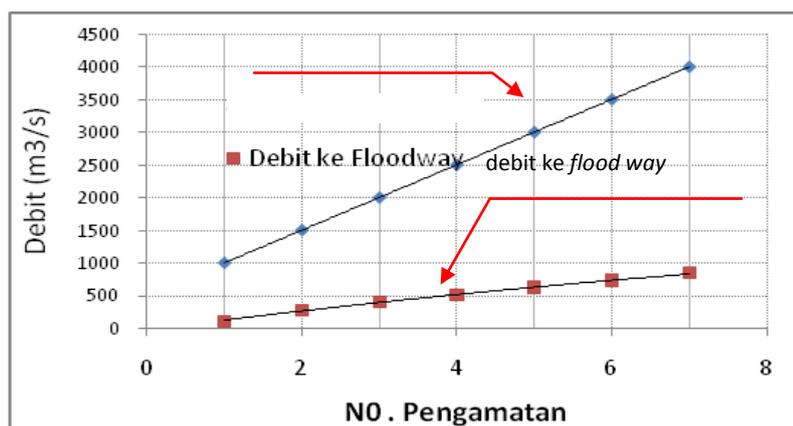
Hasil pengukuran pembagian debit pada *inlet gate* ini hanya ditampilkan pada kondisi muka air laut rata-rata saja, hasilnya dipresentasikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Pembagian debit Kondisi muka air laut rata-rata, model seri I

No	Debit (m ³ /s)		Elevasi muka air		
	QBS. tot	QFW	BS.6	FW.3	FW.6
1	1000	110	3,82	3,82	2,52
2	1500	272	4,68	4,68	3,26
3	2000	408	5,78	5,78	3,97
4	2500	512	6,20	6,20	4,49
5	3000	627	6,92	6,92	4,99
6	3500	737	7,36	7,36	5,32

Sumber : Data primer dari uji model hidraulik fisik Balai sungai 2012

Dari Tabel 2 Hasil pembagian debit, untuk mempermudah analisa dibuat grafik seperti Gambar 9.



Gambar 9 Pembagian debit Model Seri - I

Model Seri -II (Modifikasi I)

Pengukuran Pembagian debit model seri –II

Model seri – II adalah modifikasi perbaikan alinyemen tebing kiri mulut *flood way* sampai tebing kiri Bengawan Solo. Hasil pembagian debit pada *inlet gate* ini hanya ditampilkan pada kondisi muka air laut rata-rata saja, dan dipresentasikan pada Tabel 3.

Model Seri -III (Modifikasi II)

Model seri – III adalah modifikasi penambahan satu pintu *inlet gate* pada bagian kiri

dengan lebar 12,50 m. Hasil pengukuran pembagian debit pada *inlet gate* dipresentasikan pada Tabel 4.

Model Seri -IV (Modifikasi III)

Model seri – IV adalah *inlet gate* seperti model seri I, ditambah bendung tetap dengan lebar 12,50 m yang terletak di kiri *inlet gate* dengan puncak bendung tetap + 3,00 m, di atas elevasi ambang *inlet gate* (+2,12 m). Hasil pengukuran pembagian debit model seri –IV dipresentasikan pada Tabel 5.

Tabel 3 Pembagian debit Kondisi muka air laut rata-rata,model seri - I-

No	Debit (m ³ /s)		Elevasi muka air		
	QBS. tot	QFW	BS.6	FW.3	FW.6
1	1000	113	3,82	3,82	2,52
2	1500	278	4,68	4,68	3,26
3	2000	419	5,78	5,78	3,97
4	2500	525	6,20	6,20	4,49
5	3000	642	6,92	6,92	4,99
6	3500	752	7,36	7,36	5,32
7	4000	863	7,73	7,73	5,93

Sumber : Data primer dari uji model hidraulik fisik Balai sungai 2012

Tabel 4 Pembagian debit Kondisi muka air laut rata-rata , model seri- III

No	Debit (m ³ /s)		Elevasi muka air		
	QBS. tot	QFW	BS.6	FW.3	FW.6
1	1000	150	3,82	3,78	2,57
2	1500	368	4,68	4,68	3,26
3	2000	542	5,78	5,78	3,97
4	2500	698	6,20	6,20	4,57
5	3000	863	6,92	6,92	4,99
6	3500	977	7,36	7,36	5,41
7	4000	1106	7,73	7,73	5,93

Sumber : Data primer dari uji model hidraulik fisik Balai sungai 2012

Tabel 5 Pembagian debit Kondisi muka air laut rata-rata , model seri-IV

No	Debit (m ³ /s)		Elevasi muka air		
	QBS. tot	QFW	BS.6	FW.3	FW.6
1	1000	130	3,82	3,82	2,57
2	1500	344	4,97	4,68	3,26
3	2000	520	5,78	5,78	3,97
4	2500	666	6,41	6,41	4,50
5	3000	831	6,92	6,92	4,99
6	3500	937	7,35	7,35	5,41
7	4000	1062	7,73	7,73	5,93

Sumber : Data primer dari uji model hidraulik fisik Balai sungai 2012

Model Seri -IV A (Modifikasi IV)

Model seri - IVA adalah modifikasi seri IV, dengan mengubah lebar bendung tetap dari 12,50 m menjadi 15,00 m. dengan puncak bendung tetap + 3,00 m, di atas elevasi ambang *inlet gate* (+2,12 m). Hasil pengukuran pembagian debit model seri -IVA, dipresentasikan pada Tabel 6.

Model Seri - V (Modifikasi V)

Model seri - V adalah modifikasi bendung tetap dengan lebar 15,00 m yang terletak di kanan *inlet gate* dengan puncak bendung tetap + 3,00 m,

diatas elevasi ambang *inlet gate* (+2,12 m). Hasil pengukuran pembagian debit model seri-V, dipresentasikan pada Tabel 7.

Model Seri - VI (Modifikasi VI)

Model seri - VI adalah modifikasi bendung tetap dengan lebar 7,50 m, yang terletak di kanan dan kiri *inlet gate*, dengan puncak elevasi bendung tetap + 3,00 m, diatas elevasi ambang *inlet gate* (+2,12 m). Hasil pengukuran pembagian debit model seri - VI, hasil dipresentasikan pada Tabel 8.

Tabel 6 Pembagian debit Kondisi muka air laut rata-rata , model seri- IVA.

No	Debit (m ³ /s)		Elevasi muka air		
	QBS. tot	QFW	BS.6	FW.3	FW.6
1	1000	138	3,82	3,82	2,57
2	1500	358	4,97	4,68	3,26
3	2000	532	5,78	5,78	3,97
4	2500	688	6,41	6,41	4,50
5	3000	855	6,92	6,92	4,99
6	3500	969	7,35	7,35	5,41
7	4000	1096	7,73	7,73	5,93

Tabel 7 Pembagian debit Kondisi muka air laut rata-rata , model seri- V.

No	Debit (m ³ /s)		Elevasi muka air		
	QBS. tot	QFW	BS.6	FW.3	FW.6
1	1000	152	3,82	3,82	2,57
2	1500	370	4,97	4,68	3,26
3	2000	546	5,78	5,78	3,97
4	2500	700	6,41	6,41	4,50
5	3000	865	6,92	6,92	4,99
6	3500	980	7,35	7,35	5,41
7	4000	1110	7,73	7,73	5,93

Sumber : Data primer dari uji model hidraulik fisik Balai sungai 2012

Tabel 8 Pembagian debit Kondisi muka air laut rata-rata , model seri- VI.

No	Debit (m ³ /s)		Elevasi muka air		
	QBS. tot	QFW	BS.6	FW.3	FW.6
1	1000	146	3,82	3,82	2,57
2	1500	363	4,97	4,68	3,26
3	2000	537	5,78	5,78	3,97
4	2500	693	6,41	6,41	4,50
5	3000	860	6,92	6,92	4,99
6	3500	976	7,35	7,35	5,41
7	4000	1102	7,73	7,73	5,93

Sumber : Data primer dari uji model hidraulik fisik Balai sungai 2012

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari beberapa kali skenario pengujian pengaliran (modifikasi model seri), diuraikan bahasan uji pengaliran setiap model seri, terutama pengukuran pembagian debit yang masuk ke *flood way* dijelaskan sebagai berikut:

Model seri I,

Desain pembagian debit yang di rencanakan menurut buku laporan NIPPON KOEI CO, LTD" LSRIP Phase -I tahun 1994 dan Phase -2 tahun 2009, adalah seperti Gambar 10 dengan distribusi debit banjir dipresentasikan Tabel 9.

Tabel 9 Distribusi Debit Banjir Q_{10} , Q_{20} , dan Q_{50} th

Kala Ulang	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7
	(m ³ /s)						
10 th	2530	2530	2530	0	0	0	0
20 th	3500	3,170	2,530	310	0	640	640
50 th	3400	3,170	2,530	640	140	640	780

Sumber:" NIPPON KOEI CO, LTD" LSRIP Phase -I

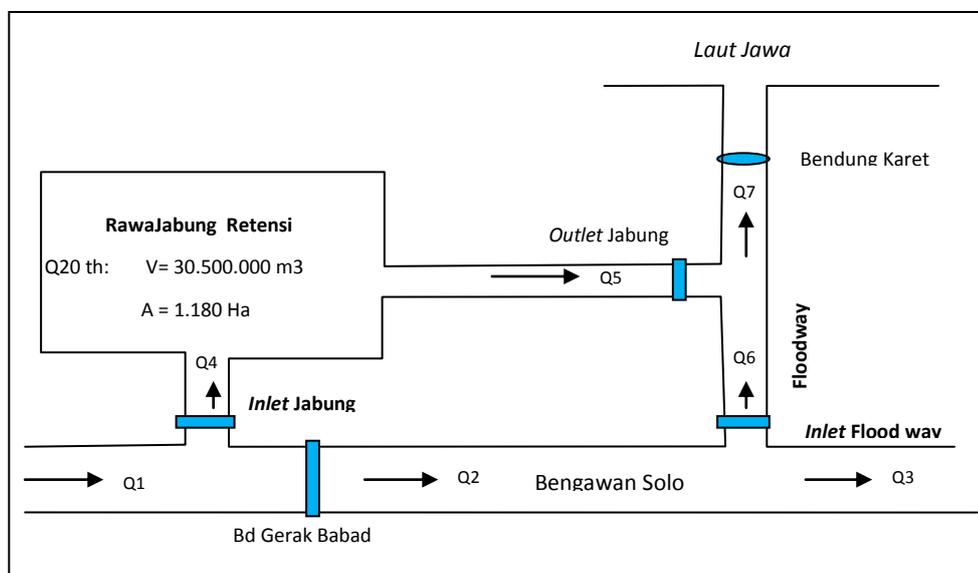
Menurut Gambar 10 dan Tabel 9, alur sungai Bengawan Solo di hilir mulut *flood way* (Q_3) hanya diijinkan mengalirkan debit 2530 m³/s, kelebihan debit itu direncanakan dialirkan ke retensi Rawajabung dan *flood way* yang maksimum kapasitasnya didesain 640 m³/s. Mengingat Bengawan Solo khususnya di hilir mulut *flood way* masih terjadi banjir, ini artinya debit Bengawan Solo di hilir mulut *flood way* (Q_3) masih lebih besar dari 2530 m³/s. Penyebabnya adalah: *inlet* Rawajabung belum difungsikan jadi pada Gambar 10 besarnya $Q_1 = Q_2$, debit yang masuk ke *flood way*

belum optimal dan masih bisa ditingkatkan, untuk itu perlu di kaji ulang dengan uji model fisik.

Model Seri I (kondisi aktual *flood way*) alur saluran banjir telah dilakukan pengerukan sedimen sesuai *asbuilt drawing* awal. Hasil tes pengukuran pembagian debit bila dibanding dengan desain dipresentasikan pada Tabel 10.

Dari hasil analisa pembagian debit menurut uji model fisik bahwa:

- 1) Debit Bengawan Solo di hilir mulut *flood way* (Q_3) menurut uji model hidraulik fisik (UMHF), kala ulang 20 dan 50 tahun > 2530 m³/s. Jadi memang betul bahwa Bengawan Solo hilir masih terjadi banjir.
- 2) Debit yang masuk ke *flood way* (Q_6):
 - a. debit kala ulang 20 tahun yang masuk ke *flood way* 627 m³/s, artinya debit *flood way* belum memenuhi 640 m³/s. Menurut desain, *inlet gate* apabila debit Bengawan Solo (Q_3) > 2530 m³/s. Kenyataan di lapangan, masyarakat menginginkan setiap banjir datang kecil/besar harus dibuka penuh.
 - b. debit kala ulang 50 tahun yang masuk ke *flood way* 737 m³/s, artinya debit *flood way* melebihi desain 640 m³/s, ini seharusnya *inlet gate* harus dioperasikan, tetapi kenyataan di lapangan pintu selalu dibuka penuh saat musim banjir dan ditutup saat musim kering, karena *flood way* difungsikan sebagai *long storage*. Menurut hasil uji model fisik alur *flood way* (Q_6) mampu mengalirkan debit 1100 m³/s, kondisi alur penuh.



Gambar 10 Distribusi debit banjir rencana di Bengawan Solo hilir

Tabel 10 Perbedaan debit antara desain dengan uji model fisik, seri I

Kala Ulang	Debit (Q) Desain (m ³ /s)			Debit Hasil Uji Model Fisik Seri I		
	Q _{1=Q₂}	Q ₃	Q ₆	Q _{1=Q₂}	Q ₃	Q ₆
10 th	2500	2530	0	2500	1988	512
20 th	3500	2530	640	3500	2873	627
50 th	4000	2530	640	4000	3263	737

Tabel 11 Perbandingan pembagian debit desain dengan Tes UMH- Fisik Seri III

Kala ulang	Debit (Q) Desain (m ³ /s)			Debit Hasil Uji Model Fisik Seri I (m ³ /s)			Beda Q <i>flood way</i>
	2	3	4	5	6	7	
1	Q _{1=Q₂}	Q ₃	Q ₆	Q _{1=Q₂}	Q ₃	Q ₆	8
10	2500	2530	0	2500	1801	699	- 699
20	3500	2530	640	3500	2523	977	- 337
50	4000	2530	640	4000	2897	1103	- 463

Model Seri II (Modifikasi I),

Menggeser tebing *flood way* bagian kiri, arah ke kiri (ke luar alur), dimulai dari *inlet gate* sampai tebing Bengawan Solo. Dari hasil tes pengukuran pembagian debit ada peningkatan debit yang masuk ke *flood way*, tetapi tidak signifikan. Yaitu bila debit Bengawan Solo (Q₂) dialirkan antara 1000- 4000 m³/s, maka debit yang masuk ke *flood way* (Q₆) antara 2-15 m³/s lebih besar dari pengukuran pembagian debit model seri I.

Model seri III (modifikasi II),

Dengan di tambahnya satu *inlet gate*, lebar 12,50 m. Debit yang masuk ke *flood way* semakin besar. Peningkatan debit antara desain dengan model seri III dipresentasikan pada Tabel 11. Catatan: pada saat pengaliran di uji model fisik *inlet gate* selalu dibuka penuh, tetapi menurut desain setelah debit Bengawan Solo (Q₃) > 2530 m³/s. *inlet gate* boleh dioperasikan.

Dari hasil modifikasi II (model seri III) debit yang mengalir ke Bengawan Solo di hilir mulut *flood way* (Q₃) seperti tabel 12 kolom 6. Kemungkinan banjir akan terjadi di hilir mulut *flood way*, apabila debit Bengawan Solo (Q₂) > 3500 m³/s. Debit kala ulang 50 tahun (4000 m³/s), ternyata dari hasil UMH-fisik debit yang lewat di Bengawan Solo tepatnya di hilir mulut *flood way* (Q₃) masih 2897 m³/s, padahal alurnya hanya mampu mengalirkan 2530 m³/s. Hal ini dapat teratasi bila *inlet* Rawajabung (Q₄) sudah berfungsi.

Model seri IV (modifikasi III),

Inlet gate kondisi desain (model seri I) ditambah satu bendung tetap dibagian kiri dengan lebar 12,50 m. Tujuan modifikasi ini adalah agar debit yang masuk ke *flood way* bertambah seperti

model seri III. Dasar penetapan elevasi puncak bendung tetap direncanakan + 3,00 m yaitu mengacu elevasi puncak bendung karet di bagian hilir +2,85 m saat dikembungkan. Sehingga saat bendung karet dikembungkan sebagai *long storage*, air tumpungan di *flood way* tidak akan melimpas ke hulu bendung tetap. Dan pada musim kemarau *Inlet gate* selalu ditutup. Hasil pengukuran pembagian debit model seri IV justru menurun sedikit bila dibanding model seri III. Hal ini dikarenakan ambang bendung tetap (+3,00 m) lebih tinggi dari ambang *inlet gate* (+2,12). Lebih jelas perbedaan debit yang masuk ke *flood way* antara model seri III dengan model seri IV dipresentasikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Perbedaan debit yang masuk ke *flood way* model seri III dengan model seri IV

Q.BS. Tot (m ³ /s)	Q ₆ = Debit masuk <i>flood way</i> (m ³ /s)		Beda debit (m ³ /s)
	Model seri III	Model Seri IV	
1000	150	130	20
1500	368	344	24
2000	542	520	22
2500	698	666	32
3000	863	831	32
3500	977	937	40
4000	1106	1062	44

Jadi model seri IV dianggap kurang berhasil karena, *inlet gate* tidak dapat memasukan debit sebesar-besarnya, tetapi alur *flood way* masih mampu menampungnya. Dan keuntungan adanya bendung tetap adalah menghindari operasi pintu.

Model seri IVA (modifikasi IV),

Perubahan dimensi bendung tetap dari lebar 12,50 m, menjadi 15,00 m yang berada di kiri *inlet gate*, dengan harapan debit yang masuk ke *flood way* bertambah, tetapi justru menurun sedikit. Lebih jelas perbedaan debit yang masuk ke *flood way* antara model seri III dengan model seri IV A dipresentasikan pada Tabel 13.

Model seri V(modifikasi V),

Perubahan tempat bendung tetap lebar 15,00 m yang berada di kiri di menurun sedikit. Lebih jelas perbedaan debit yang masuk ke *flood way* antara model seri III dengan model seri IV A dipresentasikan pada Tabel 14.

Model seri VI(modifikasi VI),

Perubahan tempat bendung tetap lebar 15,00 m yang berada di kanan *inlet gate*, dimodifikasi 7,50 m diletakan di kanan dan kiri

inlet gate dengan harapan debit yang masuk ke *flood way* hasil pengukuran pembagian debit mendekati hasil model seri III. Perbedaan pembagian debit yang masuk ke *flood way* dipresentasikan pada Tabel 15.

Dari beberapa modifikasi pengkajian *inlet gate*, berdasarkan hasil pengukuran pembagian debit dan letak tambahan bendung tetap yang paling optimum adalah model seri VI, dengan alasan:

- 1) Debit yang masuk ke *flood way* bisa optimum, sehingga banjir Bengawan Solo hilir dapat terkendali, apa lagi inlet Rawajabung sudah beroperasi.
- 2) Letak bendung tetap didesain sebelah kanan dan kiri, sehingga transisi ke *flood way* semitris tidak berpengaruh terhadap hidraulik.

Tabel 13 Perbedaan debit yang masuk ke *flood way* model seri III dengan model seri IVA

Q (m ³ /s) Bengawan Solo (m ³ /s)	Q6 = Debit masuk <i>flood way</i> (m ³ /s)		Beda debit (m ³ /s)
	Model seri III	Model Seri IVA	
1000	150	138	12
1500	368	358	10
2000	542	532	10
2500	698	688	10
3000	863	855	8
3500	977	969	8

Tabel 14 Perbedaan debit yang masuk ke *flood way* model seri III dengan model seri V

Q.BS. Tot (m ³ /s)	Q6 = Debit masuk <i>flood way</i> (m ³ /s)		Beda Debit (m ³ /s)
	Model seri III	Model Seri V	
1000	150	152	-2
1500	368	370	-2
2000	542	546	-4
2500	698	700	-2
3000	863	865	-2
3500	977	980	-3

Tabel 15 Perbedaan debit yang masuk ke *flood way* antara model seri III dengan model seri VI

No	Q2 B.Solo	Q ₆ = Debit masuk <i>flood way</i> (m ³ /s)		
	(m ³ /s)	Model Seri I	Model seri III	Model Seri V
1	1000	110	150	146
2	1500	272	368	363
3	2000	408	542	537
4	2500	512	698	693
5	3000	627	863	860
6	3500	737	977	976

KESIMPULAN

Hasil pengaliran pengukuran pembagian debit dari beberapa model Seri, secara keseluruhan dapat disimpulkan sebagai berikut:

Pembagian debit di *flood way* berdasarkan hasil pengamatan model fisik untuk model seri III ada peningkatan debit masukan antara 36 m³/s sampai 254 m³/s. (tergantung debit Bengawan Solo yang dilepas dari Bendung gerak Babad). Debit yang masuk ke *flood way* dalam kisaran 15 % sampai 27 % dari debit Bengawan Solo yang dilepas dari Bendung gerak Babad.

Flood way dapat berfungsi mengalirkan debit, apabila debit Bengawan Solo lebih besar dari 550 m³/s, mengingat ambang *inlet gate* + 2,12 m.

Kapasitas alur rendah *flood way* mampu mengalirkan debit ± 1000 m³/s, atau bila debit Bengawan Solo total 3500 m³/s.

Modifikasi *inlet gate* untuk meningkatkan debit masuk ke *flood way* sesuai dengan hasil kajian yang efektif adalah Model Seri VI, yaitu dengan penambahan dua bendung tetap di kanan dan kiri *inlet gate* dengan lebar masing-masing 7,50 m, dengan elevasi puncak bendung tetap +3,00 m.

Dari hasil kajian dengan uji model fisik, model seri VI dianggap yang paling optimum, sehingga ini menjadi rekomendasi untuk perbaikannya, dengan alasan debit yang masuk ke *flood way* bisa optimum, sehingga banjir Bengawan Solo hilir dapat terkendali menurut angka pengukuran pembagian debit.

DAFTAR PUSTAKA

Balai Sungai. 2011. *Buku Teknologi flood way Sedayu Lawas*. Surakarta: Pusair.

Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. 2010/2011. *Pedoman Siaga Banjir Wilayah Sungai Bengawan Solo Musim Hujan*. Surakarta. BBWS Bengawan Solo.

Jo. Adhi Karya, Waskita Karya. 2010. *Gambar Galian/ Pengerukan Alur Flood Way Sedayu Lawas*. Surakarta.

Nippon Koei. 2004. *Drawing Flood Way Main Chanel As- Built Drawing Of Package F*.

Perum Jasa Tirta I Perusahaan Umum Dan Sumber Air (DJA) V/3. 2010. *Monitoring Tinggi Muka Air Sistem Wilayah Sungai Bengawan Solo*. Surakarta: Perum Jasa Tirta I.

PT. Adhi Karya. 1991. *Drawing Flood Way Main Chanel As Built Drawing*. Surakarta.

PT. Jawa Baru. 1999. *Petunjuk dan Operasi dan Pemeliharaan Bendung Karet Sedayu Lawas*. Surakarta.

SNI 3965:2008, *Tata cara pembuatan model fisik sungai dengan dasar tetap*. BSN

SNI 3411:2008, *Tata cara pengukuran tinggi muka air pada model fisik*. BSN

SNI 03-3408-1994, *Pengukuran kecepatan aliran pada model fisik dengan alat ukur tipe baling-baling*. BSN

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan dan informasi yang diberikan terutama Kepala Balai Sungai, BBWS Bengawan Solo, Perum Jasa Tirta I dan semua pihak yang telah membantu sampai selesainya tulisan ini.