

USAHA MEREDUKSI BANJIR DI BENGAWAN SOLO HILIR

EFFORTS TO REDUCE THE FLOOD IN LOWER SOLO RIVER

Sarwono

Peneliti bidang Sungai

Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum.

Jl. Solo-Kartasura Km.7 Surakarta. PO. Box 57101. Telp (0271) 719429

Email: sarwono_bs@yahoo.co.id

Diterima: 14 Maret 2013; Disetujui: 7 Mei 2013

ABSTRAK

Bengawan Solo Hilir yang terletak di Wilayah Provinsi Jawa Timur memiliki sumber daya strategis, yaitu sebagai pemasok air yang sangat besar di Jawa Timur. Di sisi lain permasalahan yang terjadi di Bengawan Solo Hilir adalah banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Oleh karena itu diperlukan upaya-upaya untuk penanggulangannya. Salah satu upayanya adalah dengan memanfaatkan rawa Jabung sebagai waduk retensi yang dilengkapi dengan inlet dan outlet, dikombinasikan dengan pembangunan bendung gerak Babat (Babad Barrage) dan saluran pengelak banjir (flood way) Sedayu Lawas yang berfungsi untuk mengalihkan sebagian debit banjir Bengawan Solo dialirkan langsung ke Laut Jawa. Dengan ketiga fungsi bangunan pengendali banjir tersebut diharapkan mampu mereduksi banjir di Bengawan Solo khususnya bagian hilir. Namun saat ini dengan kombinasi bangunan air tersebut di atas belum mampu mereduksi banjir sebagaimana yang diharapkan. Maka diperlukan usaha untuk meningkatkan kapasitas debit aliran salah satunya melalui saluran banjir Sedayu Lawas dengan jalan memodifikasi inletnya.

Kata kunci: Banjir, waduk retensi, flood way, bendung gerak, modifikasi inlet

ABSTRACT

Lower Solo river is located in the East Java Province has strategic resources, namely a very large water suppliers in East Java. On the other hand the problems that occur in the Lower Solo River was flooded in the rainy season and drought in the dry season. Therefore, it needs efforts to overcome. One of its effort is to utilize the Jabung swamp as retention equipped with inlet and outlet, combined with Babad Barrage and Sedayu Lawas flood way to divert some of Solo river discharge directly into the Java Sea. With these three functioning flood control infrastructures (Babad Barrage, Jabung Retarding Basin and Flood Way) are expected to reduced the flood in the Solo River especially the Lower Solo River. This time with a combination of the three infrastructures as above, has not been able to reduce the flooding as expected. So that the three functions of flood control infrastructure is particularly flood way should be increased the capacity with modified its inlet.

Keywords: Flood, retention ponds, flood way, barrage, inlet modification

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo Bagian Hilir yang berada dalam Wilayah Provinsi Jawa Timur, secara astronomi terletak antara 110°07' sampai dengan 112°39' Bujur Timur dan 6°45' sampai dengan 8°05' Lintang Selatan dengan luas wilayah 1.262.269 ha. DAS Bengawan Solo memiliki sumberdaya strategis, menjadi pemasok air yang sangat besar di Jawa Timur untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan air bersih, pertanian dan industri. Di sisi lain sebagaimana

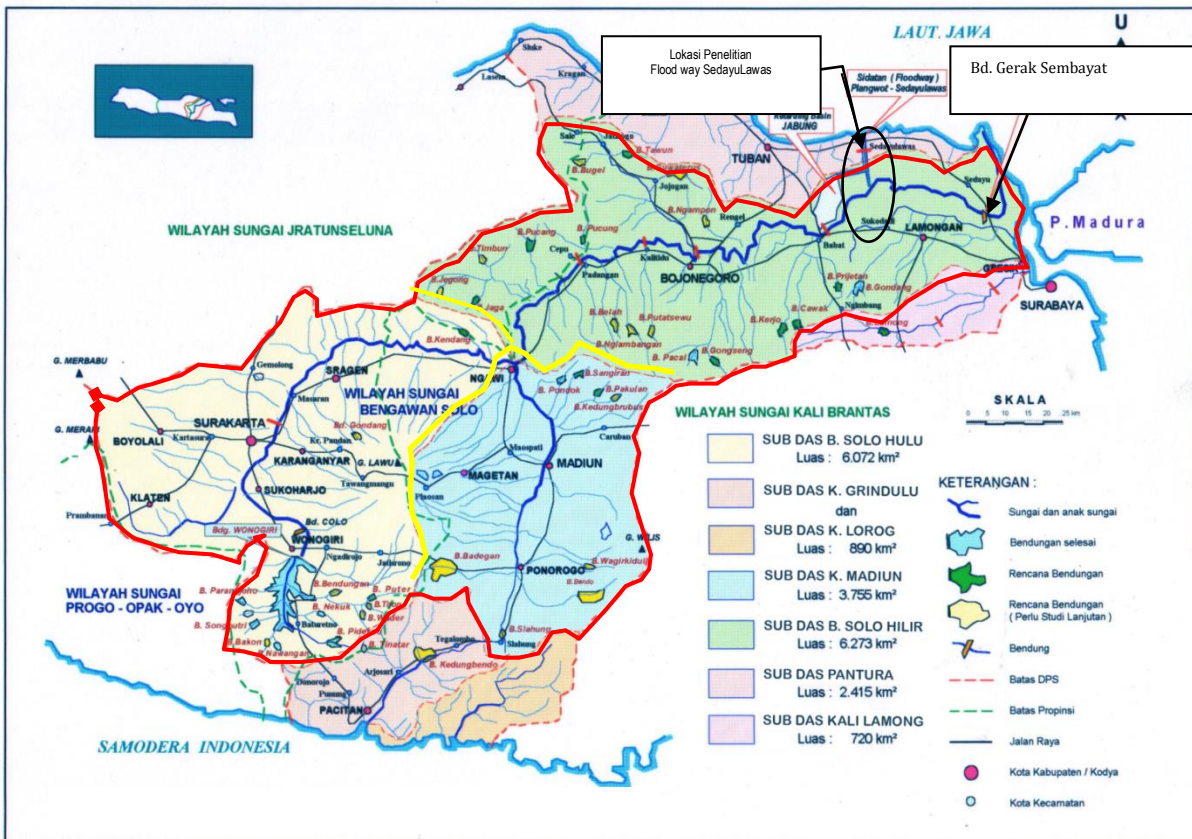
diketahui masalah pokok yang ada di Bengawan Solo khususnya bagian hilir, adalah ancaman banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau. Pada musim kemarau debit aliran terlalu kecil. Rasio debit ($Q_{max} = 2.530 \text{ m}^3/\text{det}/Q_{min} = 19 \text{ m}^3/\text{det}$) Bengawan Solo berkisar antara 106 -164 (pos Babat sebelum bendung gerak) sehingga termasuk dalam kategori fluktuasi debit yang tinggi. Semakin besar fluktuasinya maka aliran pada saat banjir pun menjadi semakin besar, tercatat debit banjir yang pernah terjadi lebih dari 3000 m^3/det (banjir Desember 2007).

Untuk itu diperlukan upaya-upaya guna penanggulangannya. Menanggulangi banjir berarti merekayasa seluruh aliran sungai secara fisik dan nonfisik, meliputi lima aspek yaitu, konservasi, daya rusak, pemberdayaan masyarakat, sistem informasi dan pengelolaan (sebagaimana diamanatkan dalam UU No. 7/2004 tentang Sumber Daya Air). Untuk itu pemerintah secara bertahap sudah berusaha mengurangi dampak negatif akibat banjir. Salah satu upaya pengendalian banjir di Bengawan Solo hilir adalah membuat suatu sistem peredam banjir dengan memanfaatkan Rawa Jabung sebagai waduk retensi yang dilengkapi dengan *inlet* dan *outlet* (saat ini dalam tahap pelaksanaan), dikombinasikan dengan membangun Bendung Gerak Babat (*Babat Barrage*) tahun 1996 dan saluran pengelak banjir (*flood way*) Sedayu Lawas tahun 2002 yang berfungsi untuk mengalihkan sebagian debit banjir Bengawan Solo. Namun saat ini dengan kombinasi ketiga bangunan air tersebut di atas kenyataannya belum mampu mereduksi banjir sebagaimana yang diharapkan. Untuk itu harus dicari usaha-usaha guna meningkatkan fungsi reduksi banjir dari

ketiga bangunan air tersebut, dengan mencoba meningkatkan kapasitas *flood way* melalui modifikasi *inlet*nya. Permasalahan lain di *flood way* adalah sedimentasi di dasar saluran, yang penyebabnya adalah kemiringan dasar saluran cukup landai sebesar 1/4110, dengan kecepatan 1,95 m/det pada debit 640 m³/det (Q_{desain}). Sehingga di samping memodifikasi *inlet* juga harus dilakukan pengerukan dasar saluran agar mampu mengalirkan debit sebesar $\pm 900-1000$ m³/det sebagaimana yang diharapkan oleh Pemda Propinsi Jawa Timur.

Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan jenis modifikasi *inlet* yang tepat sehingga diperoleh debit aliran modifikasi lebih besar dari debit rencana awal, dan manfaat penelitian adalah dengan meningkatnya debit yang mengalir melalui sudetan, diharapkan mampu mereduksi genangan banjir di Bengawan Solo hilir lebih besar lagi.

Lokasi *flood way* terletak di Desa Plangwot memanjang ke utara sampai Laut Jawa di Desa Sedayu Lawas/ Brondong. (Gambar 1).



Gambar 1 Lokasi Penelitian

KAJIAN PUSTAKA

1 Karakteristik DAS Bengawan Solo

Bengawan Solo merupakan sungai terbesar dan terpanjang di Pulau Jawa dengan luasan DAS ± 16.100 km². Sungai lintas provinsi ini mengalir dari Pegunungan Sewu di sebelah barat daya Surakarta (Provinsi Jawa Tengah), ke Laut Jawa di utara Surabaya (Propinsi Jawa Timur) melalui alur sepanjang ± 600 km serta melewati 17 wilayah kabupaten dan 3 kota. WS Bengawan Solo terdiri atas 3 DAS, yakni Bengawan Solo Hulu dengan luas 6.072 km², Bengawan Solo Hilir dengan luas 6.273 km² dan Kali Madiun dengan luas 3.755 km². Dengan luasan DAS yang sangat besar tersebut, maka beban pengaliran yang harus ditampung Bengawan Solo, terutama di bagian hilirnya juga sangat besar. Berdasarkan hasil identifikasi lapangan yang dilakukan oleh Dinas Permukiman Prov. Jatim daerah yang berpotensi terkena bencana banjir di Bengawan Solo Hilir disajikan dalam Gambar 2. Pengendalian banjir di wilayah Bengawan Solo Hilir di samping dengan metode yang sudah ada, direncanakan dengan formulasi gabungan antara pembangunan tanggul, bendung gerak Babat (*Babat Barrage*), Rawa Jabung sebagai waduk *retensi* banjir dan *flood way* dari Plangwot ke Sedayu Lawas sebagai pengelak banjir. Diharapkan formulasi tersebut akan mampu mengendalikan banjir yang terjadi setiap tahun, di samping pemanfaatan sumber daya air yang

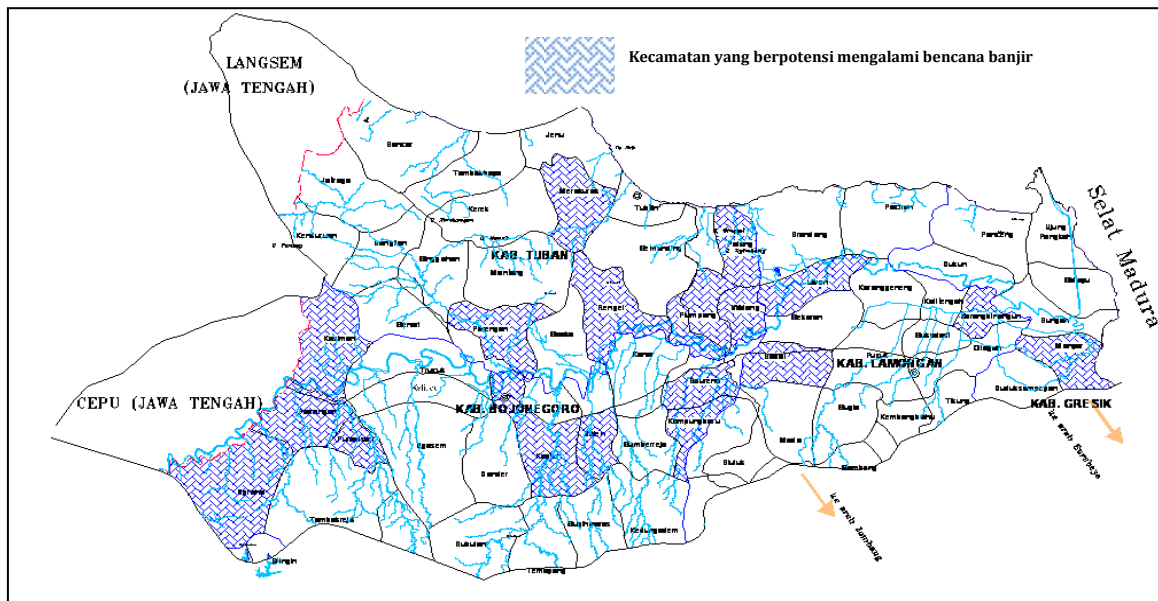
tersedia misalnya untuk penyediaan air baku, pencegahan intrusi air laut dan sarana transportasi. Fungsi dan data teknis dari ketiga bangunan air tersebut disajikan pada gambar 2.

Flood way Sedayu Lawas (*italic* atau tidak)

Flood way Sedayu Lawas dibangun antara Pelangwot sampai dengan Sedayu Lawas, mempunyai fungsi dan manfaat sebagai berikut:

- 1) Fungsi.

Pada musim hujan mengalihkan air banjir ke saluran *flood way*. Kondisi trasisi 970 m³/det < Q1 di Babat < 2.530 m³/det pintu *flood way* mulai dibuka, dan pada musim kemarau Pintu *Inlet flood way* tetap ditutup *selama* musim kemarau.
- 2) Manfaat:
 - a Meningkatkan kapasitas drainase Bengawan Solo hilir dengan Q_{mak} 640 m³/det.
 - b Dikombinasikan dengan waduk Rawa Jabung sangat efektif untuk menurunkan puncak debit banjir di hilir Babat yaitu dari 3.810 m³/det menjadi 2.530 m³/det.
 - c Dengan dibangunnya bendung karet di daerah muara *flood way* merupakan tampungan air memanjang (*long storage*) dengan kapasitas 2,0 juta m³/det yang dapat dimanfaatkan sebagai air industri maupun rumah tangga terutama pada musim kemarau.



Sumber: "Dinas Permukiman Prop. Jatim"

Gambar 2 Daerah yang berpotensi terkena bencana banjir di Bengawan Solo Hilir

Data Teknis Flood Way Sedayu Lawas:

- 1 Panjang *flood way* ± 12,300 km
- 2 Lebar alur 100,00 m
- 3 Kemiringan dasar sungai (i) 1/4110
- 4 Kemiringan tebing sungai 1/1,50 dan 1/2,0
- 5 Debit rencana 640m³/det
- 6 Bangunan *Inlet*:
 - a Bentuk pintu , stop lock (pintu angkat)
 - b Lebar pintu 3 x 12,50 m
 - c Lebar pintu pembilas 1 x 2,00 m
- 7 Bendung Karet (*Rubber Dam*)
 - a Lebar bendung karet 4 x 25,00 m
 - b Tinggi bendung karet 3,00 m
 - c Bentuk pilar, prisma dengan tebal bagian bawah 5,00 m dan tebal bagian atas 1,667 m

Bendung Gerak Babat (*Babat Barrage*)

Bendung Gerak Babat (Gambar. 3) dibangun di desa Simorejo, kecamatan Widang - Kabupaten Tuban, Desa Kendal, kecamatan Sekaran - Kabupaten Lamongan mempunyai tujuan sebagai berikut:

- 1) Pengendalian banjir Bengawan Solo Hilir (untuk jangka pendek Q_{20th})
- 2) Penyediaan Air Irigasi daerah Lamongan dan Tuban.
- 3) Penyediaan Air Rumah Tangga dan Industri daerah Lamongan dan Tuban.



Sumber: "Hasil survei lapangan Balai Sungai 2011"

Gambar 3 Bendung Gerak Babat

- 4) Data Teknis Bendung Gerak Babat
 - a Lebar bendung total: 282,3 m
 - b Panjang bendung: 154,0m
 - c Tinggi bendung: 12,9 m
 - d Tipe pintu air bendung gerak: radial gate
 - e Barrage check gate: 7 buah, lebar 15,0 m, tinggi: 7,1 m
 - f Discharge control gate: 1 bh, lb: 2,05 m, tinggi: 9,0 m
 - g *Intake gate (slide gate)*: 2 bh, lebar: 2,05 m, tinggi: 2,05 m
 - h El. Muka air normal 5,70 m, Muka air banjir: 8,4 m, El. Tanggul 11,0 m (SHVP)

Retensi Rawa Jabung

Waduk Retensi Rawa Jabung terletak di kecamatan Widang Kabupaten Tuban dan kecamatan Laren Kabupaten Lamongan. Waduk retensi ini dibangun untuk memotong debit puncak banjir Bengawan Solo yang akan disimpan di waduk retensi selama banjir berlangsung dan akan dikeluarkan setelah banjir reda. Fungsi waduk retensi selain untuk memangkas puncak banjir, juga sebagai penyimpan air untuk dilepaskan pada saat musim kemarau. Dengan adanya cadangan di waduk retensi, pada musim kemarau air dapat dipakai untuk kepentingan air baku dan industri.

Waduk retensi Rawa Jabung dilengkapi dengan bangunan *Inlet* dan *outlet* sebagai berikut:

1) *Inlet* Rawa Jabung (Gambar 4).

Inlet Rawa Jabung saat ini sedang dalam tahap pelaksanaan. Fungsi *Inlet* rawa Jabung adalah untuk mengalirkan debit banjir pada saat Bengawan Solo mencapai Q₂₀ tahun sebagai berikut:

- a. 2.530 m³/det < Q di Babat < 3.480 m³/det (Q₂₀ tahun);
- b. Pintu air *flood way* dibuka, debit maksimum 640 m³/det;
- c. Pintu air Jabung dibuka, maksimum 310 m³/det;



Sumber: "NIPPON KOEI CO, LTD"

Gambar 4 *Inlet* Rawa Jabung

2) *Outlet* Rawa Jabung (Gambar 5)

Fungsi pintu *Outlet* Jabung adalah untuk mengendalikan debit aliran yang mengalir dari Rawa Jabung ke *flood way* Sedayu Lawas. Pengoperasian pintu outlet adalah sebagai berikut:

Pada musim hujan pintu *outlet* Jabung dioperasikan berdasarkan kondisi pintu *Inlet flood way*. Operasi pintu *outlet* Jabung dilakukan sebelum dan setelah operasi pintu *Inlet flood way* untuk mencegah air sungai yang mengalir ke daerah rawa Jabung, sedangkan pada musim kemarau pintu *outlet* Jabung dibuka penuh selama musim kering tanpa operasi apapun.



Sumber: "Hasil survei lapangan"

Gambar 5 Pintu Outlet Jabung

Data Teknis Retensi Rawa Jabung

- Luas genangan : ± 1.150 ha
- Panjang ring dike : ± 25 km
- Volume tampungan : $\pm 30,5$ juta m^3
- Tinggi tanggul maksimum : 4,5 m

Sistem distribusi debit banjir.

Kondisi Normal, Q_1 di Babat $25 < 970$ m^3/det

- Pengaliran di alur bawah
- Pintu air Rawa Jabung dan pintu air *flood way* ditutup penuh
- Pintu *sluice way* yang berada di tanggul keliling Rawa Jabung semuanya dibuka agar genangan di luar tanggul keliling (*ring dike*) Rawa Jabung mampu mengalir ke Rawa Jabung.

Kondisi Transisi, 970 $m^3/det < Q_1$ di Babat < 2.530 m^3/det (Q_{10} tahun)

- Pintu air Jabung ditutup penuh
- Pintu air *flood way* mulai dibuka, Q_6 maksimum 640 m^3/det .

Pengendalian Banjir Q_{20} tahun, $Q. 2.530$ $m^3/det < Q_1$ di Babat < 3.480 m^3/det

- Pintu air *flood way* dibuka, Q_6 maksimum 640 m^3/det
- Pintu air Rawa Jabung dibuka, Q_4 maksimum 310 m^3/det
- Pintu *sluice way* ditutup penuh.
- Debit dikeluarkan menuju *flood way*, Q_5 maksimum 140 m^3/det .

Pada akhir musim hujan fungsi pengendalian banjir dari ketiga infrastruktur berakhir, pintu air ditutup, diperoleh tampungan air yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti untuk rumah tangga, industri dan irigasi sebesar 57,8 juta m^3 . Pengendali banjir, dalam satu kesatuan sistem dengan waduk penampung banjir Rawa Jabung, dan *Flood way* Sedayu Lawas, Bendung Gerak Babat berperan sebagai regulator pengendali banjir Bengawan Solo Hilir. Dengan tingkat perlindungan Q_{20} tahun. Distribusi debit banjir Bengawan Solo hilir diilustrasikan pada Gambar 6 Tabel 1.

2 Sedimentasi *flood way* (hasil analisis Balai Sungai, th. 2012)

Berdasarkan hasil erodibilitas tanah DAS Sedayu Lawas menunjukkan bahwa jenis tanah yang dominan adalah *littosol*, dimana $2/3$ bagian luas DAS, jenis tanah ini mudah longsor apabila kena air dan mudah retak kalau kena panas.

Nilai konsentrasi sedimentasi pada *flood way* Sedayu Lawas sebesar $29,66$ kg/m^3 , dengan konsentrasi sedimen terletak pada ± 4 km dari inlet Sedayu Lawas.

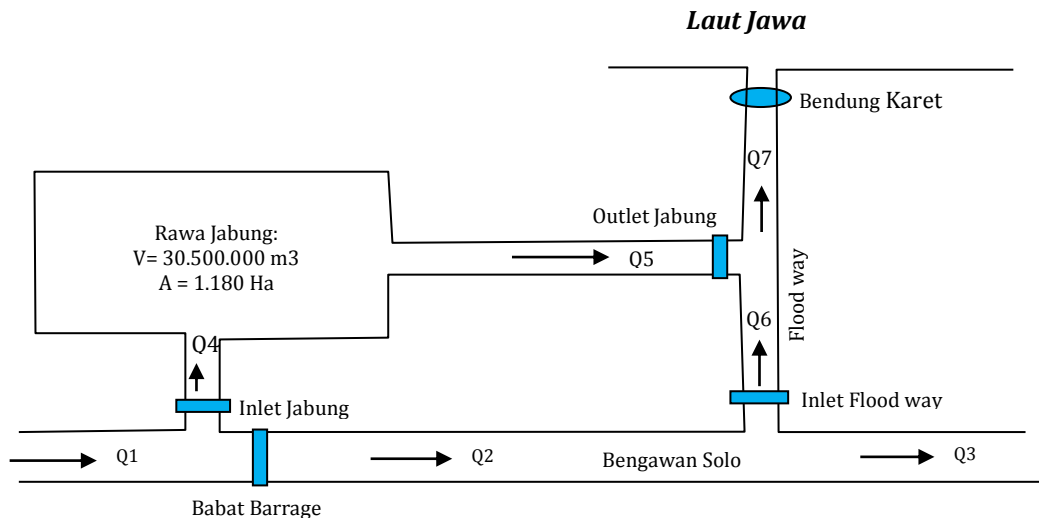
Deposit pada saluran Sedayu Lawas sebesar $37,88$ ton per tahun dengan sedimentasi yang melewati saluran tersebut sebesar $1.050,30$ ton pertahun.

3 Sistem Pengendalian Banjir Bengawan Solo (CDMP)

Kejadian banjir 1966 era penanganan Bengawan Solo lebih banyak diarahkan ke pengendalian banjir, sampai pada tersusunnya *Master Plan* Pengembangan Sungai Bengawan Solo pada tahun 1974. Setelah pembangunan waduk serbaguna Wonogiri pada tahun 1982, fenomena kejadian banjir Bengawan Solo (terutama untuk Kota Solo), berkurang secara signifikan. Namun demikian perencanaan yang dituangkan dalam *Master Plan* 1974 tersebut belum seluruhnya dilaksanakan. Seiring dengan persoalan peningkatan kebutuhan air untuk irigasi, muncullah kajian terpadu penanganan Bengawan Solo yang selanjutnya disebut "*Comprehensive Development and Management Plan* (CDMP) pada tahun 2001, yang sedikit berbeda dari perencanaan *Master Plan* 1974. Dengan adanya perubahan perancangan pengendalian banjir tersebut tentunya akan ada perubahan perilaku tata air di sepanjang kawasan bantaran sungai, termasuk pada ruas antara Cepu s/d Bendung Gerak Babat. Kehadiran Bendung Gerak Babat akan menyebabkan kenaikan elevasi muka air (karena garis pembendungan atau *backwater*) di sepanjang sungai di sebelah hulu bendung gerak, yang besarnya dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain:

- hidrograf aliran masuk di Sungai Bengawan Solo di titik kontrol Cepu atau Padangan,
- hidrograf aliran masuk di anak-anak sungai di sebelah hulu Bendung Gerak Babat,

Pada Gambar 7 disajikan skema penanganan Bengawan Solo, menurut kajian *Master Plan* CDMP 2001. (BPK, 2009). Kejadian banjir yang terjadi pada tahun 2007 merupakan kejadian banjir yang dinilai sangat luar biasa baik dari segi spasial maupun intensitasnya, serta dipicu dengan kondisi tataguna lahan dan belum siapnya sistem pengendalian banjir yang sudah direncanakan, menjadikan dampak banjir 2007 sangat luas.



Gambar 6 Distribusi debit banjir Bengawan Solo

Tabel 1 Distribusi Debit Banjir untuk Q₁₀, Q₂₀, dan Q₅₀

Kala Ulang	Q ₁ (m ³ /det)	Q ₂ = Q ₁ - Q ₄ (m ³ /det)	Q ₃ = Q ₂ - Q ₆ (m ³ /det)	Q ₄ (m ³ /det)	Q ₅ (m ³ /det)	Q ₆ (m ³ /det)	Q ₇ = Q ₅ + Q ₆ (m ³ /det)
Normal	25	10	10	0	0	0	0
10 th	2.530	2.530	2.530	0	0	0	0
20 th	3.480	3.170	2.530	310	70	640	710
50 th	3.810	3.170	2.530	640	140	640	780

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



Gambar 7 Sistem pengendalian banjir Bengawan Solo (CDMP – 2001)

METODOLOGI

Untuk mengetahui kinerja dari ketiga infrastruktur pengendali banjir di Bengawan Solo Hilir meliputi Bendung Gerak Babat (*Babat*

Barrage), Rawa Jabung sebagai waduk *retensi* banjir dan *flood way* Sedayu Lawas, maka metodologi penelitian yang dilakukan meliputi: a) pengumpulan data sekunder, dan data-data pelaksanaan, b) data primer meliputi pengukuran

geometri saluran *flood way* sebagai dasar pembuatan uji model hiraulik (UMH) fisik dengan melakukan modifikasi, c) penyelidik rekomendasi untuk perbaikan inlet *flood way*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a Simulasi Distribusi Debit dengan UMH Fisik

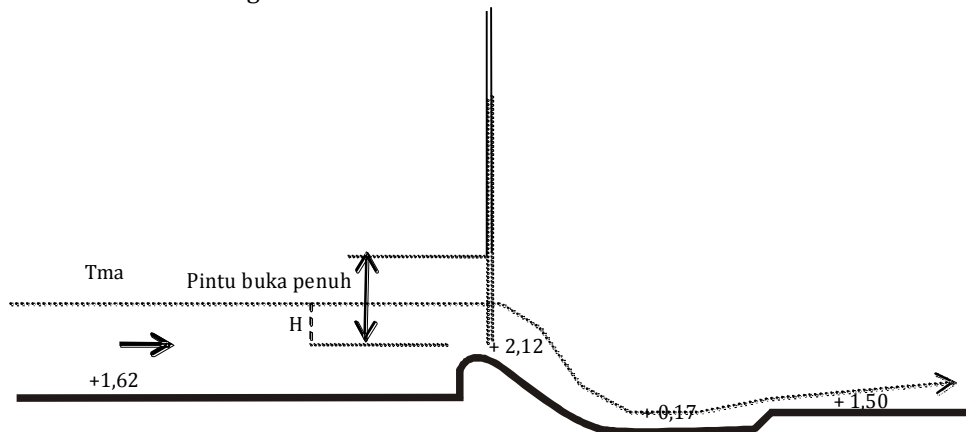
Pekerjaan uji model hidraulik fisik ini menggunakan elevasi acuan muka air laut rata-rata pada *Surabaya Harbour Vloed Peil* (SHVP). Semua data elevasi bangunan *flood way* diikatkan dengan elevasi acuan tersebut sehingga menjadi satu kesatuan sistem. Untuk mengetahui pembagian debit di *flood way* secara rinci perlu parameter - parameter sebagai berikut: a) debit *inflow* dari pelepasan bendung gerak Babat, b) tinggi muka air di AWLR Plangwot dan c) kondisi muka air laut (pasang, rata-rata dan surut). Perlu diketahui bahwa debit Bengawan Solo bisa

mengalir ke *flood way* apabila tinggi muka air lebih besar dari El. + 2,12 (karena ambang pintu *inlet flood way* +2,12 m) Gambar 8, dan debit Bengawan Solo lebih besar dari 550 m³/det hasil dari pengamatan tinggi muka air AWLR Plangwot dan pelepasan debit dari bendung gerak Babad disajikan dalam Gambar 9.

Dalam pelaksanaan pembuatan model dibuat 2 (dua) seri yaitu kondisi eksisting (seri I) dan modifikasi pada mulut *flood way* (*inlet*) (seri II)

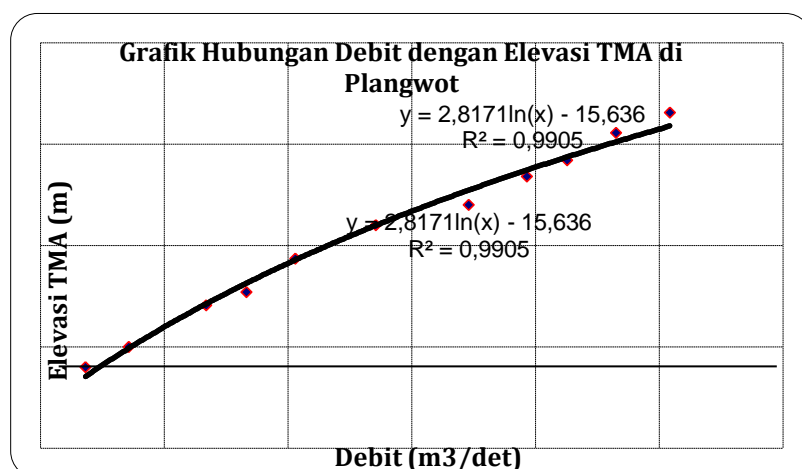
a. Kondisi eksisting (Model Seri I)

Model seri I (satu) adalah menirukan bangunan *flood way* yang terdiri dari: Sepenggal sungai Bengawan Solo di sekitar mulut *flood way* kurang lebih 400,00 m ke arah hulu dan ke arah hilir dari mulut *flood way* 200,00 m. Situasi pintu inlet yang dimodelkan disajikan dalam Gambar 10.



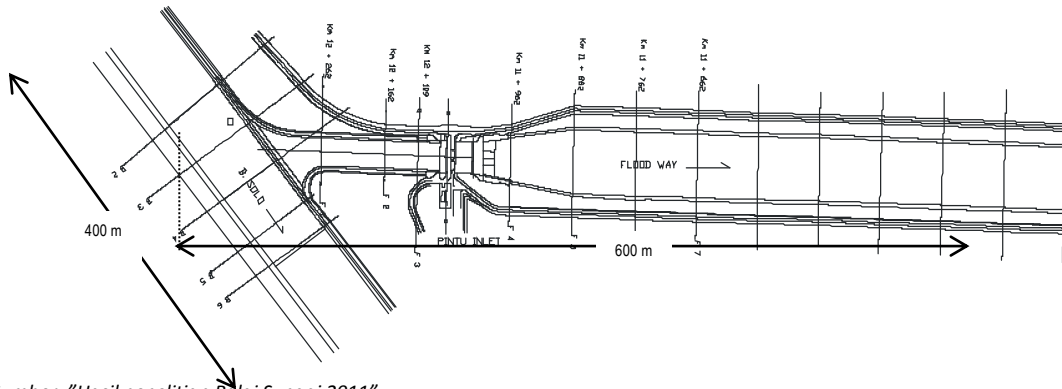
Sumber: "Balai Sungai 2011"

Gambar 8 Sketsa tampak melintang pintu Inlet *flood way*



Sumber: "Monitoring TMA SWS Bengawan Solo. Jasa Tirta I"

Gambar 9 Rating Curve di AWLR Plangwot (hulu Jembatan Plangwot)



Sumber: "Hasil penelitian Balai Sungai 2011"

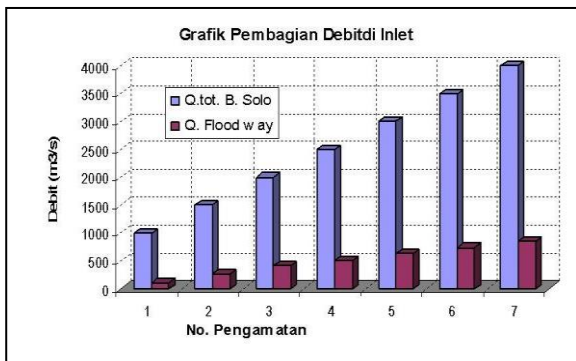
Gambar 10 Situasi Pintu Inlet (yang dimodelkan)

Hasil Pengaliran Seri Satu

1) Pembagian Debit Aliran

Untuk mengetahui pembagian debit yang masuk ke *flood way*, dengan anggapan pintu *inlet* dibuka penuh dan bendung karet dikempiskan, tinggi muka air di Bengawan Solo mengacu data pengamatan AWLR di Laren dan di Plangwot (oleh Perum Jasa Tirta I)

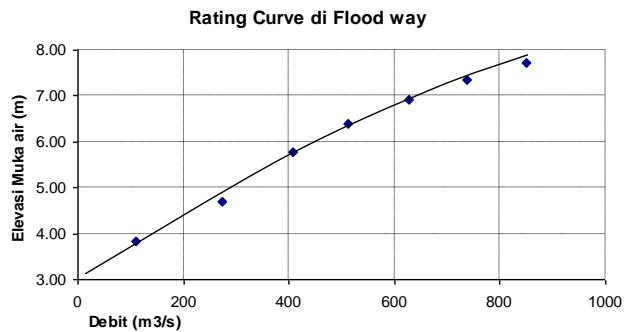
Hasil pembagian debit berdasarkan pengamatan di UMH fisik disajikan pada Gambar 11.



Sumber: "Penelitian Balai Sungai 2011"

Gambar 11 Grafik pembagian Debit di *Flood way* kondisi muka air laut rata-rata (desain awal)

Pengamatan tinggi muka air berdasarkan debit yang masuk ke *flood way*, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 12.



Sumber: "Penelitian Balai Sungai 2011"

Gambar 12 Rating curve di hulu *inlet flood way* kondisi muka air laut rata-rata.

2) Tinggi Muka Air (TMA)

Tinggi muka air yang diamati pada tampang melintang;

- a. Bengawan Solo, dari Sta BS. 1 sampai BS. 6
- b. Di sekitar *inlet*, dari Sta FW.1 sampai FW.6
- c. Di sekitar bendung karet, dari Sta FW. 8 sampai FW.22

Hasil pengamatan tinggi muka air lihat Tabel 2.

3) Kecepatan Aliran.

Hasil pengamatan kecepatan aliran seri I, disajikan dalam Tabel 3.

4) Hasil pengaliran model Seri I secara keseluruhan dapat disimpulkan sbb:

- 1 Berdasarkan hasil pengamatan di UMH fisik dengan pintu *inlet flood way* dibuka penuh, maka debit yang masuk ke *flood way* dari Bengawan Solo sebesar 10 % - 21 % dari debit yang ada di Bengawan Solo.

- 2 Kecepatan aliran rata-rata di *flood way* pada debit 110 m³/det atau debit total dari Bengawan Solo 1000 m³/det adalah 1,00 m/det, sedangkan untuk debit *flood way* 512 m³/det (debit total dari Bengawan Solo 2500 m³/det) kecepatan rata-rata 1,95 m/det.
- 3 Bentuk pola aliran seragam, tanpa adanya arus mati maupun arus balik, karena alur *flood way* mempunyai bentuk penampang melintang seragam).
- 4 Untuk meningkatkan pembagian debit yang masuk ke *flood way* dan daya penggelontoran endapan sedimen khususnya yang berada di alur *flood way*

hulu bendung karet, maka perlu dilakukan modifikasi model.

Kondisi Modifikasi (Seri. II)

Model Seri II adalah memodifikasi pintu *inlet flood way* dimana kondisi *existing* tiga span dan satu lubang sebagai *flushing* sedimen dibagian kanan, sedangkan untuk seri II pintu *inlet* ditambah satu span dengan ukuran lebar 12,50 m, memperlebar mulut *flood way* khususnya di hulu pintu *inlet* dan menggeser posisi tanggul kiri, tetapi bentuk dan dimensi alur di hilir pintu *inlet* tetap seperti kondisi *existing* Gambar 13.

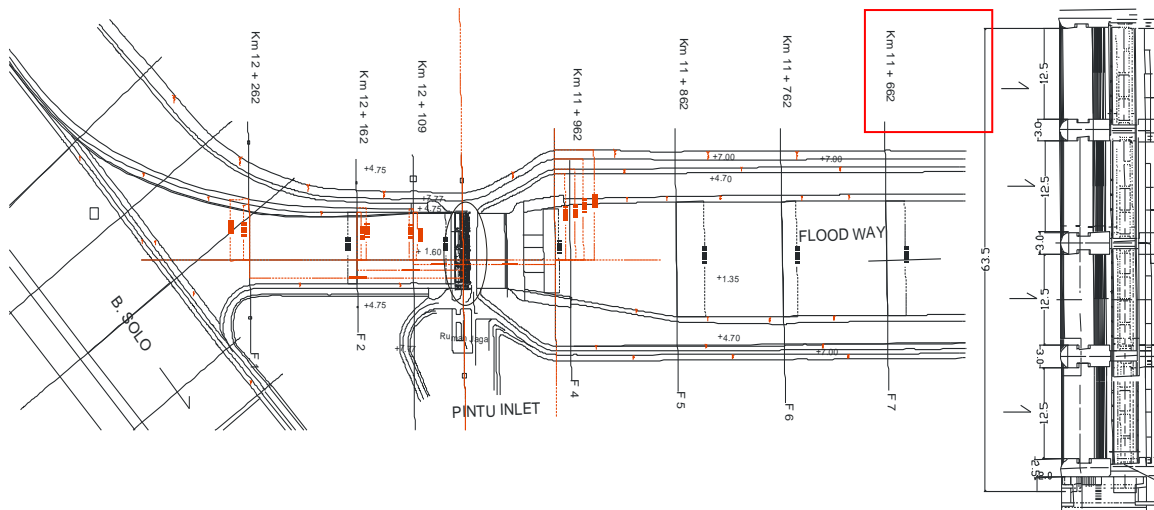
Tabel 2 Tinggi Muka Air Hasil Pengamatan di UMH-Fisik ,Seri I

No. Sta	Kondisi Muka Air Laut Pasang			Kondisi Muka air laut Rata-rata			Kondisi Muka Air Laut Surut		
	Debit Bengawan Solo (m ³ /det)			Debit Bengawan Solo (m ³ /det)			Debit B.Solo (m ³ /det)		
	1000	2500	3500	1000	2500	3500	1000	2500	3500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BS. 1	3.87	6.33	7.54	3.87	6.33	7.54	3.87	6.33	7.54
BS. 2	3.86	6.30	7.53	3.86	6.30	7.53	3.86	6.30	7.53
BS. 3	3.85	6.23	7.54	3.85	6.28	7.54	3.85	6.28	7.54
BS. 4	3.82	6.30	7.53	3.82	6.30	7.53	3.82	6.30	7.53
BS. 5	3.82	6.23	7.47	3.82	6.23	7.47	3.82	6.23	7.47
BS. 6	3.82	6.17	7.36	3.82	6.17	7.36	3.82	6.17	7.36
FW.1	3.82	6.30	7.53	3.82	6.30	7.42	3.80	6.32	7.54
FW.2	3.80	6.24	7.28	3.81	6.24	7.39	3.78	6.31	7.48
FW.3	3.78	6.20	7.06	3.77	6.13	7.27	3.76	6.30	7.28
d/s. Pintu	2.83	4.75	5.60	2.82	4.55	5.39	2.65	4.35	5.10
FW.4	2.73	4.62	5.47	2.74	4.61	5.45	2.71	4.40	5.17
FW.5	2.68	4.58	5.46	2.69	4.59	5.46	2.60	4.40	5.17
FW.6	2.60	4.57	5.45	2.57	4.50	5.41	2.52	4.39	5.26
FW.8	1.48	2.67	3.68	1.41	2.86	3.59	1.39	2.81	3.39
FW.9	1.40	2.67	3.57	1.35	2.75	3.39	1.32	2.70	3.28
FW.10	1.32	2.59	3.41	1.21	2.63	3.25	1.25	2.59	3.17
FW.11	1.24	2.51	3.25	1.09	2.48	3.11	1.18	2.48	3.06
FW.12	1.16	2.43	3.09	1.05	2.41	2.98	1.11	2.37	2.95
FW.13	1.08	2.35	2.93	1.00	2.27	2.85	1.04	2.26	2.84
FW.14	1.00	2.27	2.77	0.94	2.17	2.77	0.97	2.15	2.73
FW.15	0.92	2.19	2.61	0.82	2.15	2.69	0.90	2.04	2.62
FW.16	0.90	2.11	2.55	0.61	2.01	2.53	0.85	2.00	2.50

Catatan: BS : Bengawan Solo, FW : Flood Way

Tabel 3 Kecepatan Aliran , Model Seri I

No. Sta	Kondisi Muka Air Laut Pasang			Kondisi Muka Air Laut Rata-rata			Kondisi Muka Air Laut. Surut		
	Debit Flood way (m ³ /det)			Debit Flood way (m ³ /det)			Debit Flood way (m ³ /det)		
	101	504	733	110	512	737	114	525	750
	Kecepatan (m/det)			Kecepatan (m/det)			Kecepatan (m/det)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BS.3	1,45	2,36	2,60	1,45	2,36	2,60	1,45	2,36	2,60
BS.5	1,29	2,00	2,28	1,29	2,00	2,28	1,29	2,00	2,28
FW.2	0,98	1,79	1,72	0,98	1,75	1,80	0,98	1,75	1,80
FW. 5	1,09	1,76	1,97	1,09	1,98	2,11	1,10	2,06	2,28
FW.10	1,12	1,95	2,42	1,16	2,08	2,44	1,20	2,15	2,52
FW. 14	0,96	1,98	2,37	0,98	2,02	2,29	0,99	2,21	2,49
FW. 16	1,01	2,09	2,44	1,01	2,29	2,43	1,03	2,19	2,67
FW. 19	0,87	1,56	2,09	0,87	1,93	2,20	0,88	2,00	2,41



Sumber "Hasil analisis"

Gambar 13 Model Seri II, Modifikasi pintu inlet

Tujuan Model seri II

Tujuan model seri II adalah untuk meningkatkan debit aliran yang masuk ke flood way, meningkatkan daya bilas endapan sedimen di alur flood way khususnya di hulu bendung karet sampai dengan inlet structure dan meningkatkan kapasitas aliran khususnya untuk musim hujan.

Program pengamatan:

- 1) Pembagian debit dari Bengawan Solo dan debit yang masuk ke inlet flood way dengan kondisi muka air laut, pasang, rata-rata dan surut dengan mengacu data rating curve di AWLR Laren di BS.6 dan Plang wod di FW.3
- 2) Pengamatan tinggi muka air, kecepatan aliran, dan pola aliran dengan variasi debit 1000 m³/det, dan 3500 m³/det di Bengawan Solo dengan kondisi muka air laut, pasang, rata-rata dan surut.

- 3) Pergerakan sedimen (flushing) terutama di hulu Bendung Karet dengan variasi ketebalan sedimen 0,50 m - 1,50 m dengan debit aliran 1000 / 2500 m³/det dan kondisi muka air laut pasang, rata-rata dan surut.

Hasil Pengaliran.

- 1) Pembagian Debit Aliran
Pembagian Debit Model Seri II, saat operasional pintu di buka penuh, Bendung Karet dikempiskan. Pengaliran ini diperlakukan kondisi muka air laut pasang, rata-rata dan surut, hasilnya disajikan dalam Tabel 4, 5 dan 6.
- 2) Tinggi Muka Air.
Pengamatan tinggi muka air pada debit 1000, 2500 dan 3500 (m³/det), di Bengawan Solo hasilnya disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 4 Pembagian Debit Model seri II. Muka Air Laut Kondisi Pasang

Debit (m ³ /det)		Elevasi TMA di	
Q. B. Solo	Q.Flood way	BS. 6	FW.3
1000	122.21	3.82	3.78
1500	293.26	4.68	4.59
2000	479.08	5.78	5.39
2500	589.92	6.41	6.20
3000	742.80	6.92	6.63
3500	896.38	7.35	7.06

Tabel 5 Pembagian Debit Model seri II. Muka Air Laut Kondisi Rata-rata

Debit (m ³ /det)		Elevasi TMA di	
Q. B. Solo	Q.Flood way	BS. 6	FW.3
1000	126.57	3.82	3.77
1500	303.56	4.97	4.93
2000	497.74	5.78	5.57
2500	606.48	6.17	6.13
3000	755.55	6.92	6.67
3500	936.48	7.36	7.27

Tabel 6 Pembagian Debit Model seri II. Muka Air Laut Kondisi Surut

Debit (m ³ /det)		Elevasi Tma di	
Q. B. Solo	Q.Flood way	BS. 6	FW.3
1000	135.52	3.82	3.76
1500	312.23	4.97	4.90
2000	519.84	5.78	5.70
2500	669.81	6.41	6.35
3000	820.19	6.92	6.80
3500	964.84	7.35	7.28

- 3) Kecepatan Aliran
Posisi titik dan jarak pengukuran dilakukan seperti model seri I, hasilnya disajikan dalam Tabel 8.
- 4) Analisa pengaliran Model Seri II
Untuk mengetahui keberhasilan modifikasi model seri II, maka harus dibandingkan

dengan hasil pengaliran kondisi nyata (model seri I), analisisnya adalah sbb:

a) Pembagian debit.

Membandingkan pembagian debit yang masuk ke *flood way* antara model Seri I dengan model Seri II, disajikan dalam Tabel 9.

Tabel 7 Hasil Pengamatan Tinggi Muka air Model Seri II

No. Sta	Kondisi Muka Air Laut Pasang			Kondisi Muka Air Laut Rata-rata			Kondisi Muka Air Laut Surut		
	Debit di B. Solo (m ³ /det)			Debit di B. Solo (m ³ /det)			Debit di B. Solo (m ³ /det)		
	1000	2500	3500	1000	2500	3500	1000	2500	3500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BS. 1	3.87	6.33	7.54	3.87	6.33	7.54	3.87	6.33	7.54
BS. 2	3.86	6.30	7.53	3.86	6.30	7.53	3.86	6.30	7.53
BS. 3	3.85	6.23	7.54	3.85	6.28	7.54	3.85	6.28	7.54
BS. 4	3.76	6.26	7.49	3.78	6.26	7.49	3.78	6.26	7.49
BS. 5	3.76	6.19	7.43	3.78	6.19	7.43	3.78	6.19	7.43
BS. 6	3.76	6.13	7.32	3.78	6.13	7.32	3.78	6.13	7.32
FW.1	3.86	6.35	7.56	6.33	7.44	3.82	6.35	7.57	7.565
FW.2	3.85	6.30	7.32	6.27	7.42	3.81	6.34	7.51	7.51
FW.3	3.83	6.26	7.10	6.17	7.30	3.79	6.34	7.32	7.315
d/s. Pintu	2.89	4.82	5.65	4.60	5.42	2.69	4.39	5.14	5.14
FW.4	2.79	4.69	5.52	4.66	5.49	2.75	4.45	5.21	5.21
FW.5	2.75	4.66	5.52	4.64	5.50	2.65	4.45	5.22	5.22
FW.6	2.67	4.65	5.51	4.63	5.46	2.57	4.44	5.21	5.21
FW.8	1.56	2.76	3.75	2.93	3.65	1.45	2.88	3.46	3.46
FW.9	1.48	2.77	3.64	2.83	3.46	1.38	2.77	3.35	3.35
FW.10	1.41	2.69	3.49	2.71	3.32	1.32	2.67	3.25	3.25
FW.11	1.33	2.61	3.33	2.56	3.19	1.25	2.56	3.14	3.14
FW.12	1.26	2.54	3.18	2.50	3.06	1.19	2.46	3.04	3.04
FW.13	1.18	2.46	3.02	2.36	2.94	1.12	2.35	2.93	2.93
FW.14	1.11	2.39	2.87	2.27	2.86	1.06	2.25	2.83	2.83
FW.15	1.03	2.31	2.71	2.25	2.79	0.99	2.14	2.72	2.72
FW.16	1.02	2.24	2.66	2.12	2.63	0.95	2.10	2.61	2.61
d/s bdk	-0.43	1.29	2.36	0.93	1.56	0.16	0.81	1.39	1.39
FW.17	-0.47	1.20	2.24	0.95	1.68	0.07	0.86	1.50	1.50
FW.18	-0.49	1.18	2.13	0.90	1.68	-0.16	0.80	1.44	1.44
FW.19	-0.50	1.16	2.01	0.83	1.58	-0.24	0.73	1.37	1.37
FW.20	-0.52	1.14	1.90	0.77	1.52	-0.40	0.67	1.31	1.31
FW.21	-0.53	1.12	1.78	0.67	1.42	-0.60	0.60	1.24	1.24
FW.22	-0.54	1.11	1.68	0.66	1.40	-0.71	0.55	1.17	1.17

Sumber: "Hasil pengamatan"

Tabel 8 Hasil pengukuran kecepatan aliran, Model seri II

No. Sta	Kondisi Ma. Pasang			Kondisi Ma. Rata-rata			Kondisi Ma. Surut		
	Debit <i>Flood way</i> (m ³ /det)			Debit <i>Flood way</i> (m ³ /det)			Debit <i>Flood way</i> (m ³ /det)		
	129.51	626.21	896.38	130.20	562.92	936.46	135.52	669.81	964.84
	Kecepatan (m/det)			Kecepatan (m/det)			Kecepatan (m/det)		
BS.3	1.45	2.37	2.61	1.46	2.36	2.61	1.45	2.36	2.60
BS.5	1.29	2.01	2.28	1.30	2.00	2.28	1.29	2.00	2.28
FW.2	1.24	1.95	1.88	1.30	1.98	2.03	1.26	2.01	2.02
FW. 5	1.42	2.30	2.56	1.28	2.33	2.57	1.27	2.38	2.63
FW.10	1.38	2.41	2.99	1.28	2.29	2.68	1.32	2.36	2.76
FW. 14	1.06	2.19	2.62	1.08	2.23	2.53	1.03	2.30	2.59
FW. 16	1.19	2.47	2.75	1.10	2.51	2.67	1.19	2.55	3.11
FW. 19	1.16	2.07	2.79	0.95	2.10	2.39	0.96	2.16	2.61

Sumber: "Hasil pengamatan"

Tabel 9 Analisa hasil pembagian debit antara model Seri I dengan model Seri II

Q. Total	Model Seri I			Model Seri II			Peningkatan Pembagian Debit (m ³ /det) yang masuk ke <i>Flood way</i>		
	Kondisi Muka Air Laut			Kondisi Muka Air Laut					
B. Solo	pasang	rata-rata	surut	pasang	rata-rata	surut			
QBS (m ³ /det)	QFW (m ³ /det)	QFW (m ³ /det)	QFW (m ³ /det)	QFW (m ³ /det)	QFW (m ³ /det)	QFW (m ³ /det)	pasang	rata-rta	surut
1000	101.02	110.02	114	118.59	128.46	135.52	17.57	18.44	21.52
1500	261.75	272.54	278	289.81	303.19	312.23	28.06	30.65	34.23
2000	378.32	408.67	418	446.42	497.74	519.84	68.10	89.07	101.84
2500	504.07	512.58	525	589.92	606.48	669.81	85.85	93.90	144.81
3000	622.25	627.63	640	742.80	755.55	820.19	120.55	127.92	180.19
3500	733.83	737.81	750	896.38	936.48	964.84	162.55	198.67	214.84
4000	830.81	848.63	865	1049.94	1087.38	1110.28	219.13	238.75	245.28

Dengan adanya penambahan pintu *inlet* satu span terjadi peningkatan masukan debit ke *flood way* antara 18,00 sampai 230,00 m³/det, jadi modifikasi model seri II dianggap yang terbaik selama pengaliran ditinjau dari penambahan debit yang masuk ke *flood way*.

b) Tinggi muka air.

Dengan memodifikasi pintu outlet pada Seri II telah terjadi penambahan debit yang cukup signifikan dan alur *flood way* masih mampu menampung debit 936,48 m³/det.

c) Kecepatan aliran.

Mengingat debit yang lewat pada alur *flood way* bertambah, maka kecepatan juga bertambah. Dari analisa kecepatan aliran untuk debit banjir Bengawan Solo 3500 m³/det, debit yang masuk ke *flood way* 936,48 m³/det dan terjadi peningkatan kecepatan aliran antara 0,20 m/det sampai 0,50 m/det.

KESIMPULAN

Pembagian debit di *flood way* berdasarkan hasil pengamatan UMH Fisik seri II ada peningkatan debit masukan antara 18 m³/det sampai 230 m³/det. (tergantung debit Bengawan Solo yang dilepas dari Bendung Gerak Babad).

Dari hasil penyelidikan diperoleh prosentase debit yang masuk ke *flood way* antara 10 % sampai 21 % dari debit total dari Bengawan Solo (debit pengamatan yang dilakukan di Bengawan Solo antara 1000 m³/det sampai 3500 m³/det).

Kapasitas tampung alur *flood way* mampu mengalirkan debit $\pm 936,48$ m³/det, atau bila debit Bengawan Solo total 3500 m³/det.

Kecepatan aliran rata-rata di *flood way* debit 130 m³/det atau debit total dari B. Solo 1000 m³/det adalah 1,00 m/det, untuk debit *flood way* 606 m³/det (debit total dari B. Solo 2500 m³/det) kecepatan rata-rata 2,00 m/det.

Dengan menambah satu span pintu *inlet*, maka *flood way* akan mampu menaikkan debit aliran dari 640 m³/det menjadi $\pm 936,48$ m³/det. (mendekati permintaan Pemda Jawa Timur sebesar 1000 m³/det)

Diperlukan pemeliharaan secara rutin alur *flood way* dari sedimentasi, agar selalu bisa mengalirkan debit sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. 2010/2011. Pedoman Siaga Banjir Wilayah Sungai Bengawan Solo Musim Hujan. BBWS Bengawan Solo. Surakarta.
- Nippon Koei Co, LTD. 1994. Operation And Maintenance For Lower. Nippon Koei LTD.
- Nippon Koei Co, LTD. 2004. Drawing Flood Way Main Chanel As- Built Drawing Of Package. Nippon Koei Co LTD.
- Perum Jasa Tirta I. 2010/2011. Laporan Pengamatan Tinggi Muka Air Harian Operasional Pintu Inlet Flood Way. Surakarta.
- Perum Jasa Tirta I. 2010/2011. Monitoring Tinggi Muka Air Sistem Wilayah Sungai Bengawan Solo. Surakarta.
- Van Te Chow. 1985. Hidrolika Saluran Terbuka. (open Channel Hydraulics). Penerbit Erlangga.
- Sarwono, Harianto, dan Ibnu Suprianto. 2012. *Jurnal Teknik Hidraulik vol. 3 No.2 2012, Analisis Angkutan Sedimen Flood way Sedayu Lawas di Bengawan Solo 10 th Pasca Pelaksanaan*. Bandung: Pusat Litbang Sumber Daya Air

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh tim penelitian "Pengelolaan bencana banjir Bengawan Solo" dan semua pihak yang telah membantu sehingga terwujudnya tulisan ini.